



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Βελτιστοποίηση Αυτοματοποιημένων Διαπραγματεύσεων με
Ποικίλες Τεχνικές Μάθησης**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Ιωάννη Β. Παπαϊωάννου
Διπλωματούχου Μηχανικού Η/Υ & Πληροφορικής

Αθήνα, Ιούνιος 2009



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Βελτιστοποίηση Αυτοματοποιημένων Διαπραγματεύσεων με Ποικίλες Τεχνικές Μάθησης

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Ιωάννη Β. Παπαϊωάννου
Διπλωματούχου Μηχανικού Η/Υ & Πληροφορικής

Συμβουλευτική Επιτροπή : Μιλτιάδης, Ε., Αναγνώστου
Ευστάθιος, Δ., Συκάς
Μιχαήλ, Ε., Θεολόγου

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την 29^η Ιουνίου 2009.

.....
Μιλτιάδης Αναγνώστου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ευστάθιος Συκάς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Μιχαήλ Θεολόγου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ανδρέας-Γεώργιος
Σταφυλοπάτης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Συμεών Παπαβασιλείου
Αναπληρωτής Καθηγητής
Ε.Μ.Π.

.....
Ιωάννα Ρουσσάκη
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

.....
Άγγελος Ρούσκας
Επίκουρος Καθηγητής
Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Αθήνα, Ιούνιος 2009

.....
Ιωάννης Β. Παπαϊωάννου

Διδάκτωρ Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ιωάννης Β. Παπαϊωάννου, 2009.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια, οι αυτοματοποιημένες διαπραγματεύσεις αποτελούν μια αναδυόμενη κατηγορία εφαρμογών ηλεκτρονικής αλληλεπίδρασης των χρηστών για την απόκτηση αγαθών και υπηρεσιών από πολλαπλούς και καταναμημένους παροχείς, με επέκταση της κλασικής διαπραγμάτευσης με τη βοήθεια υπολογιστικών μηχανισμών. Στα πλαίσια αυτών, κινητοί πράκτορες αναλαμβάνουν να διεκπεραιώσουν συναλλαγές σε πραγματικό χρόνο και με την μεγαλύτερη δυνατή ικανοποίηση των στόχων που έχουν αρχικά τεθεί από τους εντολείς τους. Οι διαδικασίες αυτές εμφανίζουν μεγάλη πολυπλοκότητα, ενώ κοινή απαίτηση είναι η απόκτηση των περισσότερων δυνατών αγαθών, στην καλύτερη δυνατή ποιότητα και βέβαια με το χαμηλότερο κόστος, αν το πρόβλημα αντιμετωπίζεται από την πλευρά του πελάτη και αντίστροφα από την πλευρά του παροχέα. Η παρούσα διατριβή αξιοποιεί στο έπακρο τις εξελίξεις στην περιοχή, υιοθετώντας τα θεμελιωμένα περιβάλλοντα ηλεκτρονικών διαπραγματεύσεων, τα πρωτόκολλα που ακολουθούνται και τις στρατηγικές που χαρακτηρίζουν τον εκάστοτε συμμετέχοντα επιχειρώντας να προτείνει λύσεις για το πρόβλημα της εκτίμησης της μελλοντικής συμπεριφοράς του αντιπάλου, προσφέροντας με τον τρόπο αυτό το πλεονέκτημα των κινήσεων προς συμφωνίες με μεγαλύτερο όφελος, μικρότερη κατανάλωση πόρων και σε μικρότερους χρόνους. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται και αντιπαραβάλλονται ευρύτατα χρησιμοποιούμενα μοντέλα μηχανικής μάθησης τα οποία ελέγχονται ως προς την αξιοπιστία και τη σταθερότητά τους, μέσω εξαντλητικών πειραμάτων που αποδεικνύουν την επάρκεια των λύσεων που προτείνονται να προσφέρουν τα προσδοκώμενα αποτελέσματα.

Λέξεις Κλειδιά: Αυτοματοποιημένη Διαπραγμάτευση Πόρων, Κινητοί Πράκτορες, Νευρωνικά Δίκτυα, Προσέγγιση Σειρών μη Γραμμικών Δεδομένων, Ευριστικοί Αλγόριθμοι.

ABSTRACT

Over the last years, automated negotiations constitute an emerging area of electronically interacting applications available to the end users for the acquisition of goods and services from multiple and distributed providers and thus, extend the classical notion of negotiation using computational mechanisms. For this purpose, mobile agents are configured to accomplish real time transactions, trying to achieve the maximum possible satisfaction of the predefined targets from their assignors. Such procedures are highly complex, whereas there is always the common demand to acquire the required goods or services, on the best possible quality and in the lowest possible value with regards to the client. Off course the opposite is required if the problem is faced from the provider's side. This dissertation exploits to the maximum possible extent, all the achievements and rules of the area of automated negotiations, employing the well-defined negotiation frameworks, protocols and strategies designated for each negotiating party, thus attempting to propose solutions on the problem of estimating the future behaviour of the opponent. Therefore, the utmost purpose is to offer the advantage of the procedure to the party that employs the mechanisms proposed, leading to agreements with the maximum possible profit, the minimum resource consumption and also in minimal time periods. The mechanisms proposed here utilize and compare machine-learning models that have been prevalently used in many different scientific areas, while they are evaluated for their stability and reliability through extensive experiments that justify practically the competence of the proposed solutions.

Keywords: Automated Negotiation, Mobile Agents, Neural Networks, Non-Linear Data Series Approximation, Heuristic Algorithms.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η ενότητα αυτή αποτελεί τις τελευταίες γραμμές που γράφονται για αυτό το κείμενο που αποτυπώνει τους κόπους τεσσάρων και πλέον χρόνων. Χρόνια τα οποία πέρασαν γρήγορα αλλά και κάποιες στιγμές βασανιστικά. Πάντοτε όμως δίπλα σε κάποιους ανθρώπους με διαφορετικό ρόλο και συμβολή που στο σημείο αυτό θα ήθελα να αναφέρω.

Αρχικά θέλω να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Μιλτιάδη Αναγνώστου για την εμπιστοσύνη του, τις όμορφες συζητήσεις μας για τα προβλήματα που αντιμετώπισα και τέλος την ευκαιρία που μου έδωσε να εργαστώ στο έργο *Amigo*, μέσα από το οποίο γνώρισα και δούλεψα με ανθρώπους που ανήκουν στην αφρόκρεμα της ερευνητικής κοινότητας σε πανευρωπαϊκό επίπεδο, διευρύνοντας έτσι τους ορίζοντες και τις αντιλήψεις μου για πολλά θέματα. Στη συνέχεια θέλω να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Ευστάθιο Συκά για την άψογη συνεργασία και την υποστήριξη προς το πρόσωπό μου όλα αυτά τα χρόνια, τόσο στο θέμα της διατριβής μου, όσο και στα έργα *ΜΙΑΙ-A* και *Persist*.

Φυσικά, καθ' όλη τη διάρκεια των χρόνων αυτών, η Ιωάννα Ρουσσάκη ήταν ο άνθρωπος που δουλεύαμε μαζί κάθε μέρα, είτε για τη διατριβή αυτή, είτε για τα έργα που έτρεχαν και βέβαια ένα μεγάλο ευχαριστώ, ανήκει σε αυτήν για πολλούς λόγους: γιατί με βοήθησε να προσαρμοστώ, να μπορώ να αντιμετωπίζω πρωτόγνωρες καταστάσεις, να βλέπω τη θετική πλευρά των πραγμάτων και βέβαια γιατί με στήριζε με τρόπο εξαιρετικό όταν τα πράγματα δυσκόλευαν. Είναι σίγουρο ότι χωρίς τη δική της εμπειρία και συμβολή, η διατριβή αυτή δε θα είχε τη μορφή που έχει, αλλά και εγώ προσωπικά θα είχα βιώσει διαφορετικά και σαφώς πιο δύσκολα τα χρόνια που πέρασαν.

Θέλω να ευχαριστήσω θερμά το Διοικητικό Συμβούλιο του Ιδρύματος Μποδοσάκη για την οικονομική στήριξη που μου παρείχε όλα αυτά τα χρόνια, περιβάλλοντας με, με αμέριστη εμπιστοσύνη.

Επιθυμώ επίσης να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους καθηγητές κ. Μ. Θεολόγου και κ. Α.-Γ. Σταφυλοπάτη για τις συζητήσεις μας, και τη συνεργασία και υποστήριξή τους, καθώς και τους καθηγητές κ. Σ. Παπαβασιλείου και κ. Α. Ρούσκα που μου έκαναν την τιμή να είναι μέλη της επιτροπής αξιολόγησης της διατριβής μου.

Την παρέα που με συντρόφευε όλα αυτά τα χρόνια, τόσο από το «δικό» μας εργαστήριο, όσο και από το «διπλανό». Το Δημήτρη Τσεσμετζή, το Νίκο Καλατζή, το Νίκο Λιαμπότη, με τους οποίους δουλέψαμε μαζί, τον Τάσο Ζαφειρόπουλο, το Μανόλη Σολιδάκη, το Νίκο Κωνσταντίνου, το Δημήτρη Σπανό και το Σταμάτη Αρκουλή, για τις άπειρες ώρες συζητήσεων και προβληματισμών. Από το «διπλανό» εργαστήριο, το Χρήστο Κατσιγιάννη, το Δημήτρη Τσιλιμαντό, το Δημήτρη Κατέρο, το Θοδωρή Αθανηλέα, το Φώτη Γόγουλο και το Χρήστο Παππά, για τις ατελείωτες ώρες χαλαρών συζητήσεων επί παντός επιστητού.

Και βέβαια κλείνω με ένα μεγάλο ευχαριστώ στα τέσσερα πρόσωπα που ομορφαίνουν με την αγάπη τους και τη στήριξή τους τη ζωή μου, που μου δίνουν τη δύναμη να πιστεύω ότι είμαι σε θέση να καταφέρω τα πάντα. Σας ευχαριστώ από τα βάθη της καρδιάς μου.

Ιωάννης Β. Παπαϊωάννου

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	18
2	ΒΑΣΙΚΕΣ ΈΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΑΡΧΕΣ	28
2.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	30
2.2	ΠΡΑΚΤΟΡΕΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ	30
2.2.1	Βασικά Χαρακτηριστικά Πρακτόρων Λογισμικού.....	31
2.2.2	Είδη Πρακτόρων Λογισμικού.....	32
2.2.3	Πράκτορες Λογισμικού στην Αυτοματοποιημένη Διαπραγμάτευση Πόρων	34
2.3	ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗΣ	35
2.3.1	Το Μοντέλο Διαπραγμάτευσης Διμερών Διαδικασιών	36
2.3.2	Ενσωμάτωση των Ποιοτικών Μεγεθών στο Μοντέλο	37
2.3.3	Απαιτήσεις από το Περιβάλλον Διαπραγμάτευσης	37
2.3.4	Αυστηρός Ορισμός του Μοντέλου Διαπραγμάτευσης	38
2.3.5	Στρατηγικές Διαπραγμάτευσης.....	42
2.3.5.1	Στρατηγικές Εξαρτώμενες από το Χρόνο (Time-Dependent Strategies).....	43
2.3.5.2	Στρατηγικές Εξαρτώμενες από Πόρους (Resource-Dependent Strategies)	47
2.3.5.3	Στρατηγικές Εξαρτώμενες από Συμπεριφορά (Behaviour-Dependent Strategies).....	49
2.3.5.4	Υβριδικές Στρατηγικές Διαπραγμάτευσης.....	52
2.4	ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ	53
2.4.1	Εισαγωγή.....	53
2.4.2	Βασικές Αρχιτεκτονικές Νευρωνικών Δικτύων.....	55
2.4.3	Perceptron Πολλαπλών Επιπέδων (Multi-layer Perceptrons - MLP).....	59
2.4.3.1	Ο Αλγόριθμος Πίσω Διάδοσης του Σφάλματος (Error Back-Propagation).....	60
2.4.3.2	Ο Τροποποιημένος Αλγόριθμος Levenberg-Marquardt.....	64
2.4.3.3	Προσέγγιση Συναρτήσεων	67
2.4.4	Radial Basis Function Δίκτυα (RBF).....	68
2.4.5	Σύγκριση των Δοο Αρχιτεκτονικών.....	70
3	ΣΧΕΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	72
3.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	74
3.2	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗΣ	74
3.2.1	Διαπραγμάτευση Ενός Πελάτη με Έναν Παροχέα (One-to-One)	74
3.2.2	Διαπραγμάτευση Ενός πελάτη με Πολλούς Παροχείς (One-to-Many).....	77
3.2.3	Διαπραγμάτευση Πολλών Πελατών με Πολλούς Παροχείς (Many-to-Many).....	78
3.3	ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗΣ ΠΟΡΩΝ.....	80
3.4	ΜΑΘΗΣΗ ΣΕ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΕΙΣ ΠΟΡΩΝ	86
3.4.1	Bayesian Μάθηση	87
3.4.2	Ενισχυτική Μάθηση.....	89
3.4.2.1	Q-Learning Τεχνικές.....	90
3.4.2.2	Γενετικοί Αλγόριθμοι.....	91
3.4.3	Εξαγωγή Συμπερασμάτων βάσει Περιπτώσεων.....	94
3.4.4	Εξαγωγή Συμπερασμάτων βάσει Μοντέλων	96
3.4.5	Στατιστικές Μέθοδοι	99
3.5	ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΣΕ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΕΙΣ ΠΟΡΩΝ.....	101
3.5.1	Νευρωνικά Δίκτυα σε Διαπραγματεύσεις Ένας-προς-Έναν	101
3.5.2	Νευρωνικά Δίκτυα σε Διαπραγματεύσεις Πολλών Πρακτόρων.....	105

3.6	ΠΡΩΤΟΤΥΠΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗΣ	108
4	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΟΜΕΝΗΣ ΤΙΜΗΣ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ ΤΟΥ	
	ΑΝΤΙΠΑΛΟΥ.....	118
4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	120
4.2	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗΣ ΠΟΡΩΝ	121
4.2.1	<i>Πρωτόκολλο και Μοντέλο Διαπραγμάτευσης Μονού Αγαθού.....</i>	<i>121</i>
4.2.2	<i>Αυστηρός Ορισμός του Προβλήματος.....</i>	<i>122</i>
4.3	ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΕΣ.....	127
4.3.1	<i>Πολυωνυμικοί Προσεγγιστές.....</i>	<i>127</i>
4.3.2	<i>Κυβικά Splines.....</i>	<i>128</i>
4.3.3	<i>Πολυωνυμικός Προσεγγιστής Ελαχίστων Τετραγώνων.....</i>	<i>131</i>
4.3.4	<i>Αρχιτεκτονική Νευρωνικών Δικτύων.....</i>	<i>134</i>
4.4	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	139
4.4.1	<i>Αποσύζευξη των Αποτελεσμάτων από την Πολιτική του Πελάτη.....</i>	<i>156</i>
4.5	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΆΛΛΟΥΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΕΣ	159
4.6	ΕΠΕΚΤΕΙΝΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΓΙΑ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΕΩΝ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΠΟΡΩΝ	164
4.7	ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	166
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 4.....	169
Π4.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ	169
Π4.2.	ΓΕΝΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ	169
Π4.3.	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ.....	173
Π4.4.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ.....	175
Π4.5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	179
5	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΟΥ	
	ΑΝΤΙΠΑΛΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΦΥΓΗ ΑΝΕΠΙΤΥΧΩΝ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΕΩΝ	
	180
5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	182
5.2	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗΣ	183
5.2.1	<i>Ορισμός του Προβλήματος.....</i>	<i>183</i>
5.2.2	<i>Το Διάστημα Στρατηγικών.....</i>	<i>185</i>
5.2.3	<i>Εκτίμηση του Είδους της Στρατηγικής του Παροχέα.....</i>	<i>186</i>
5.2.4	<i>Ενσωμάτωση των Νευρωνικών Δικτύων στη Στρατηγική του Πελάτη.....</i>	<i>189</i>
5.3	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΩΝ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	191
5.4	ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ.....	194
5.5	ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	212
6	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ	
	ΑΝΤΙΠΑΛΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΦΥΓΗ ΑΝΕΠΙΤΥΧΩΝ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΕΩΝ	
	214
6.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	216
6.2	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗΣ	217
6.2.1	<i>Περιγραφή του Προβλήματος Διαπραγμάτευσης.....</i>	<i>217</i>
6.2.2	<i>Χώρος Διαπραγμάτευσης για τον Παροχέα.....</i>	<i>219</i>
6.3	ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗΣ ΤΟΥ ΠΕΛΑΤΗ	220
6.4	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΩΝ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	222
6.5	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ.....	224
6.6	ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	240
7	ΕΠΙΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	242

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – ΕΥΡΙΣΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ ΤΟΥ ΑΝΤΙΠΑΛΟΥ ΟΤΑΝ ΥΙΟΘΕΤΕΙ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΗ ΑΠΟ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ.....	248
ΠΑ.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	248
ΠΑ.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΥΡΙΣΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ.....	248
ΠΑ.3 ΣΥΝΟΨΗ.....	253
ΑΡΤΙΚΟΛΕΞΑ.....	254
ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ ΟΡΩΝ.....	255
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	258
ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ.....	267

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 2-1. ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ ΠΡΑΚΤΟΡΑ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ ΧΡΟΝΙΚΑ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΚΑΙ ΤΗΝ ΤΙΜΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ ΣΥΓΚΛΙΣΗΣ β	45
ΣΧΗΜΑ 2-2. ΠΟΛΥΩΝΥΜΙΚΗ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΕΚΘΕΤΙΚΗ (ΔΕΞΙΑ) ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΣΥΓΚΛΙΣΗΣ ΓΙΑ ΧΡΟΝΙΚΑ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΕΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΜΕ ΒΑΣΕΙ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗΣ	47
ΣΧΗΜΑ 2-3. ΠΟΙΚΙΛΛΕΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΠΕΛΑΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΟΧΕΑ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΩΝ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΕΩΝ	51
ΣΧΗΜΑ 2-4. Ο ΒΑΣΙΚΟΣ ΝΕΥΡΩΝΑΣ ΚΑΙ Η ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗΣΗ ΤΟΥ ΣΤΟ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	56
ΣΧΗΜΑ 2-5. ΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	57
ΣΧΗΜΑ 2-6. Η ΒΑΣΙΚΗ ΔΟΜΗ ADALINE ΤΡΙΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ	58
ΣΧΗΜΑ 2-7. ΠΟΛΥΕΠΙΠΕΔΟ PERCEPTRON ΜΕ ΕΝΑ ΚΡΥΦΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΝΕΥΡΩΝΩΝ	60
ΣΧΗΜΑ 2-8. RADIAL BASIS FUNCTION ΝΕΥΡΩΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΑΔΙΚΟ RBF ΕΠΙΠΕΔΟ ΝΕΥΡΩΝΩΝ ΕΙΔΙΚΟΥ ΣΚΟΠΟΥ	70
ΣΧΗΜΑ 3-1. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΔΙΜΕΡΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗΣ	83
ΣΧΗΜΑ 3-2. Η ΜΗΧΑΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΤΕΙΝΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ FARATIN	84
ΣΧΗΜΑ 3-3. ΤΟ CONTRAST NET ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ	85
ΣΧΗΜΑ 3-4. ΤΟ ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΜΕΝΟ ΣΕ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗΣ, ΟΠΩΣ ΠΡΟΤΑΘΗΚΕ ΑΠΟ ΤΗΝ OPREA.	86
ΣΧΗΜΑ 4-1. ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΥΜΦΩΝΙΩΝ ΠΟΥ ΕΠΙΤΥΓΧΑΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΠΟΛΥΩΝΥΜΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΒΑΘΜΩΝ ΣΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ LS ΚΑΙ ΓΙΑ ΤΡΕΙΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ	133
ΣΧΗΜΑ 4-2. ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΤΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΟΥ ΝΕΥΡΩΝΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΤΙΜΗ p_{\min}^P ΣΑΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΝΕΥΡΩΝΩΝ ΚΡΥΦΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ	137
ΣΧΗΜΑ 4-3. ΤΙΜΕΣ ΣΥΜΦΩΝΙΑΣ ΓΙΑ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΠΑΡΟΧΕΑ, $L_C = 100$, $L_P \in [100,200]$ ΚΑΙ $p_{\max}^C \in [0,100]$ (ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ FRTFT, MLP-ASSISTED FRTFT ΚΑΙ RBF-ASSISTED FRTFT)	144
ΣΧΗΜΑ 4-4. ΤΙΜΕΣ ΣΥΜΦΩΝΙΑΣ ΓΙΑ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΠΑΡΟΧΕΑ, $L_C = 100$, $L_P \in [100,200]$ ΚΑΙ $p_{\max}^C \in [0,100]$ (ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ FRTFT, CS-ASSISTED FRTFT ΚΑΙ POLY-7 ASSISTED FRTFT ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΩΝ)	145
ΣΧΗΜΑ 4-5. ΤΙΜΕΣ ΣΥΜΦΩΝΙΑΣ ΓΙΑ 100% ΕΠΙΚΑΛΥΠΤΟΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΑΝΕΚΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΣΥΜΦΩΝΙΑΣ ΚΑΙ $L_C = 100$, $L_P \in [100,200]$ AND $\beta \in [0.1,10]$ (ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ FRTFT, MLP-ASSISTED FRTFT ΚΑΙ RBF-ASSISTED FRTFT)	147
ΣΧΗΜΑ 4-6. ΤΙΜΕΣ ΣΥΜΦΩΝΙΑΣ ΓΙΑ 100% ΕΠΙΚΑΛΥΠΤΟΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΑΝΕΚΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΣΥΜΦΩΝΙΑΣ ΚΑΙ $L_C = 100$, $L_P \in [100,200]$ AND $\beta \in [0.1,10]$ (ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ FRTFT, CS-ASSISTED FRTFT ΚΑΙ POLY-7 ASSISTED ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ)	148
ΣΧΗΜΑ 4-7. ΤΙΜΕΣ ΣΥΜΦΩΝΙΑΣ ΓΙΑ $L_P = 200$, $p_{\max}^C \in [0,100]$ ΚΑΙ $\beta \in [0.1,10]$ (ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ FRTFT, MLP-ASSISTED FRTFT ΚΑΙ RBF-ASSISTED FRTFT ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ)	149
ΣΧΗΜΑ 4-8. ΤΙΜΕΣ ΣΥΜΦΩΝΙΑΣ ΓΙΑ $L_P = 200$, $p_{\max}^C \in [0,100]$ AND $\beta \in [0.1,10]$ (ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ FRTFT, CS-ASSISTED FRTFT ΚΑΙ POLY-7 ASSISTED ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ)	150
ΣΧΗΜΑ 4-9. ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙΤΥΧΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ ΣΥΜΦΩΝΙΩΝ ΤΩΝ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ: (Α) ΡΥΘΜΟΥΣ ΣΥΓΚΛΙΣΗΣ, (Β) ΧΡΟΝΙΚΑ ΠΕΡΙΘΩΡΙΑ ΠΕΛΑΤΗ, (Γ) ΔΙΑΣΤΗΜΑ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΩΝ	159
ΣΧΗΜΑ 4-10. ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΤΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΦΟΡΑ ΤΟΥ ΠΑΡΟΧΕΑ ΟΤΑΝ $\beta = 0.2$	162
ΣΧΗΜΑ 4-11. ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΤΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΦΟΡΑ ΤΟΥ ΠΑΡΟΧΕΑ ΟΤΑΝ $\beta = 0.5$	162
ΣΧΗΜΑ 4-12. ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΤΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΦΟΡΑ ΤΟΥ ΠΑΡΟΧΕΑ ΟΤΑΝ $\beta = 1$	163
ΣΧΗΜΑ 4-13. ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΤΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΦΟΡΑ ΤΟΥ ΠΑΡΟΧΕΑ ΟΤΑΝ $\beta = 2$	163
ΣΧΗΜΑ 4-14. ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΤΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΦΟΡΑ ΤΟΥ ΠΑΡΟΧΕΑ ΟΤΑΝ $\beta = 5$	163

ΣΧΗΜΑ 4-15. ΜΕΣΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΥΜΦΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥΣ ΠΡΟΣΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΑΝΤΙΠΑΛΟΥ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΘΟΥΝ ΣΤΟΝ ΓΑ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΓΚΛΙΣΗ ΤΟΥ ΣΤΗΝ ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΛΥΣΗ	175
ΣΧΗΜΑ 4-16. ΤΙΜΕΣ ΣΥΜΦΩΝΙΑΣ ΓΙΑ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΠΑΡΟΧΕΑ, $L_C = 100$, $L_P \in [100,200]$ ΚΑΙ $p_{\max}^C \in [0,100]$, ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΓΑ	176
ΣΧΗΜΑ 4-17. ΤΙΜΕΣ ΣΥΜΦΩΝΙΑΣ ΓΙΑ 100% ΕΠΙΚΑΛΥΠΤΟΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΑΝΕΚΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΣΥΜΦΩΝΙΑΣ ΚΑΙ $L_C = 100$, $L_P \in [100,200]$ AND $\beta \in [0.1,10]$, ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΓΑ .	176
ΣΧΗΜΑ 4-18. ΤΙΜΕΣ ΣΥΜΦΩΝΙΑΣ ΓΙΑ $L_P = 200$, $p_{\max}^C \in [0,100]$ ΚΑΙ $\beta \in [0.1,10]$, ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΓΑ.....	177
ΣΧΗΜΑ 5-1. ΒΑΘΜΟΣ ΕΠΙΤΥΧΙΑΣ ΑΝΑΦΟΡΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΟΥ ΕΙΔΟΥΣ ΤΗΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ ΤΟΥ ΠΑΡΟΧΕΑ ΣΕ ΕΚΘΕΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΟΛΥΩΝΥΜΙΚΕΣ ΧΡΟΝΙΚΑ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΕΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΓΙΑ ΠΟΙΚΙΛΑ ΧΡΟΝΙΚΑ ΠΕΡΙΘΩΡΙΑ	189
ΣΧΗΜΑ 5-2. Η ΠΡΟΣΦΕΡΟΜΕΝΗ ΚΑΙ Η ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΑΡΟΧΕΑ ΑΠΟ, (Α) ΤΟ MLP ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ (Β) ΤΟ GR-NN, ΓΙΑ 100 ΓΥΡΟΥΣ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗΣ ΟΤΑΝ Ο ΠΑΡΟΧΕΑΣ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΧΡΟΝΙΚΑ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΜΕ $L_P = 150$, $p_m^p = 0$, $p_M^p = 100$ ΚΑΙ $\beta \in [0.5,5]$	196
ΣΧΗΜΑ 5-3. Η ΠΡΟΣΦΕΡΟΜΕΝΗ ΚΑΙ Η ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΑΡΟΧΕΑ ΑΠΟ, (Α) ΤΟ MLP ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ (Β) ΤΟ GR-NN, ΓΙΑ 100 ΓΥΡΟΥΣ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗΣ ΟΤΑΝ Ο ΠΑΡΟΧΕΑΣ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΧΡΟΝΙΚΑ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΜΕ $L_P = 200$, $p_m^p = 0$, $p_M^p = 100$ ΚΑΙ $\beta \in [0.5,5]$	197
ΣΧΗΜΑ 5-4. Η ΠΡΟΣΦΕΡΟΜΕΝΗ ΚΑΙ Η ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΑΡΟΧΕΑ ΑΠΟ, (Α) ΤΟ MLP ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ (Β) ΤΟ GR-NN, ΓΙΑ 100 ΓΥΡΟΥΣ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗΣ ΟΤΑΝ Ο ΠΑΡΟΧΕΑΣ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΧΡΟΝΙΚΑ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΜΕ $L_P = 250$, $p_m^p = 0$, $p_M^p = 100$ ΚΑΙ $\beta \in [0.5,5]$	198
ΣΧΗΜΑ 5-5. Η ΠΡΟΣΦΕΡΟΜΕΝΗ ΚΑΙ Η ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΑΡΟΧΕΑ ΑΠΟ, (Α) ΤΟ MLP ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ (Β) ΤΟ GR-NN, ΓΙΑ 100 ΓΥΡΟΥΣ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗΣ ΟΤΑΝ Ο ΠΑΡΟΧΕΑΣ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ ΠΟΛΥΩΝΥΜΙΚΗ ΧΡΟΝΙΚΑ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΜΕ $L_P = 150$, $p_m^p = 0$, $p_M^p = 100$ ΚΑΙ $\beta \in [0.5,5]$	200
ΣΧΗΜΑ 5-6. Η ΠΡΟΣΦΕΡΟΜΕΝΗ ΚΑΙ Η ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΑΡΟΧΕΑ ΑΠΟ, (Α) ΤΟ MLP ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ (Β) ΤΟ GR-NN, ΓΙΑ 100 ΓΥΡΟΥΣ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗΣ ΟΤΑΝ Ο ΠΑΡΟΧΕΑΣ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ ΠΟΛΥΩΝΥΜΙΚΗ ΧΡΟΝΙΚΑ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΜΕ $L_P = 200$, $p_m^p = 0$, $p_M^p = 100$ ΚΑΙ $\beta \in [0.5,5]$	201
ΣΧΗΜΑ 5-7. Η ΠΡΟΣΦΕΡΟΜΕΝΗ ΚΑΙ Η ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΑΡΟΧΕΑ ΑΠΟ, (Α) ΤΟ MLP ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ (Β) ΤΟ GR-NN, ΓΙΑ 100 ΓΥΡΟΥΣ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗΣ ΟΤΑΝ Ο ΠΑΡΟΧΕΑΣ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ ΠΟΛΥΩΝΥΜΙΚΗ ΧΡΟΝΙΚΑ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΜΕ $L_P = 250$, $p_m^p = 0$, $p_M^p = 100$ ΚΑΙ $\beta \in [0.5,5]$	202
ΣΧΗΜΑ 5-8. ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΠΑΡΟΧΕΑ ΣΤΟ ΓΥΡΟ 100 ΓΙΑ ΟΛΑ ΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΟΤΑΝ Ο ΑΥΤΟΣ ΥΙΟΘΕΤΕΙ: (Α) ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΚΑΙ (Β) ΠΟΛΥΩΝΥΜΙΚΗ ΧΡΟΝΙΚΑ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗΣ. ΜΑΖΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΤΑΙ ΚΑΙ ΤΟ ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ ...	205
ΣΧΗΜΑ 5-9. ΑΠΟΤΥΧΙΑ ΤΩΝ ΔΥΟ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΝΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΟΥΝ ΟΡΘΑ ΤΙΣ ΕΠΙΤΥΧΕΙΣ Η ΜΗ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΚΘΕΤΙΚΟ ΚΑΙ ΠΟΛΥΩΝΥΜΙΚΟ ΠΑΡΟΧΕΑ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΙΜΕΣ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΤΟΥ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟΥ	211
ΣΧΗΜΑ 6-1. ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΙΜΗΣ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΠΑΡΟΧΕΑ (ΑΠΟ MLP ΚΑΙ GR ΔΙΚΤΥΟ) ΣΤΟΝ ΓΥΡΟ ΕΞΑΝΤΛΗΣΗΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟΥ ΤΟΥ ΠΕΛΑΤΗ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥΣ ΑΠΛΩΝ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΚΑΙ ΓΙΑ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΟ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΤΗΣ TD ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ, ΟΤΑΝ Η ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΕΙΝΑΙ (Α) ΠΟΛΥΩΝΥΜΙΚΗ ΚΑΙ (Β) ΕΚΘΕΤΙΚΗ	226
ΣΧΗΜΑ 6-2. ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ (ΑΠΟ MLP ΚΑΙ GR ΔΙΚΤΥΟ) ΤΗΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΤΙΜΗΣ ΤΟΥ ΠΑΡΟΧΕΑ ΣΤΗΝ ΕΞΑΝΤΛΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟΥ ΤΟΥ ΠΕΛΑΤΗ ΓΙΑ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΡΥΘΜΟΥΣ ΣΥΓΚΛΙΣΗΣ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΑ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ ΤΗΣ ΥΒΡΙΔΙΚΗΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ ΤΟΥ ΠΑΡΟΧΕΑ ΟΤΑΝ Η ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΕΙΝΑΙ (Α) ΠΟΛΥΩΝΥΜΙΚΗ ΚΑΙ (Β) ΕΚΘΕΤΙΚΗ.....	229
ΣΧΗΜΑ 6-3. ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ (ΑΠΟ MLP ΚΑΙ GR ΔΙΚΤΥΟ) ΤΗΣ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΠΑΡΟΧΕΑ ΣΤΟ ΓΥΡΟ ΕΞΑΝΤΛΗΣΗΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟΥ ΤΟΥ ΠΕΛΑΤΗ ΓΙΑ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ ΤΟΥ ΠΑΡΟΧΕΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΤΟΥ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟΥ, ΟΤΑΝ Ο TD ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΣΤΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΤΟΥ ΠΑΡΟΧΕΑ ΕΙΝΑΙ (Α) ΠΟΛΥΩΝΥΜΙΚΟΣ ΚΑΙ (Β) ΕΚΘΕΤΙΚΟΣ	231

ΣΧΗΜΑ 6-4. ΣΦΑΛΜΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗΣ (ΣΚΔΔ) ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΙΜΕΣ ΚΑΤΩΦΛΙΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ (Α) ΝΕΥΡΩΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ MLP ΚΑΙ (Β) ΝΕΥΡΩΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ GR ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΕΛΑΤΗ.....	234
ΣΧΗΜΑ 6-5. ΑΝΤΙΠΑΡΑΘΕΣΗ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΠΑΡΟΧΕΑ (Α) ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΚΤΙΜΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ((Β) ΓΙΑ ΤΟ MLP ΚΑΙ (Γ) ΓΙΑ ΤΟ GR) ΓΙΑ ΟΛΑ ΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	240
ΣΧΗΜΑ ΠΑ-1. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΟΥ ΕΥΡΙΣΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ.	252

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 4-1. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑΣ ΤΙΜΗΣ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΑΝΤΙΠΑΛΟΥ ΑΠΟ ΠΟΛΥΩΝΥΜΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΒΑΘΜΩΝ ΓΙΑ ΤΡΕΙΣ ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ, ΣΕ ΟΡΟΥΣ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΕΠΙΤΥΧΙΑΣ	134
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-2. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΒΑΘΜΟ ΕΠΙΤΥΧΙΑΣ ΤΩΝ ΠΕΝΤΕ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ ΠΟΥ ΕΞΕΤΑΣΤΗΚΑΝ	151
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-3. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ ΚΑΙ ΤΙΣ ΤΙΜΕΣ ΣΥΜΦΩΝΙΑΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΠΕΝΤΕ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ	153
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-4. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΒΑΘΜΟ ΕΠΙΤΥΧΙΑΣ, ΤΟ ΣΦΑΛΜΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΤΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΠΕΝΤΕ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ	155
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-5. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΒΑΘΜΟ ΕΠΙΤΥΧΙΑΣ ΤΩΝ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ ΠΟΥ ΕΞΕΤΑΣΤΗΚΑΝ ΣΕ ΑΝΤΙΠΑΡΑΘΕΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΓΑ	177
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-6. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΣΦΑΛΜΑ ΠΟΥ ΕΠΙΤΥΓΧΑΝΟΥΝ ΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΟΥ ΕΞΕΤΑΣΤΗΚΑΝ ΣΥΜΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΓΑ.....	178
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-1. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΙΚΑ ΜΕ ΤΟ ΜΕΣΟ ΣΦΑΛΜΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΣΗ ΑΛΛΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΤΙΜΗ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΑΝΤΙΠΑΛΟΥ. ΚΑΘΕ ΓΡΑΜΜΗ ΤΟΥ ΠΙΝΑΚΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΙ ΣΕ ΕΝΑ ΣΥΝΟΛΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΟΠΟΙΟ Ο ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΧΕΙ ΓΙΝΕΙ ΓΙΑ 6461 ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ (30-100 ΓΥΡΟ=71 ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΑΝΑ ΠΕΙΡΑΜΑ ΓΙΑ 91 ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ/ ΓΡΑΜΜΗ) ΚΑΙ ΓΙΑ ΡΥΘΜΟ ΣΥΓΚΛΙΣΗΣ [0.5:0.01:1 1:0.1:5], ΚΑΙ $[p_m^p, p_M^p] = [0,100]$, ΕΝΩ ΤΟ ΧΡΟΝΙΚΟ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ ΤΟΥ ΠΑΡΟΧΕΑ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΤΙΜΗ ΣΤΗΝ ΠΡΩΤΗ ΣΤΗΛΗ.....	205
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-2. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΙΚΑ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ ΑΝΕΠΙΤΥΧΩΝ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΕΩΝ (ΑΔ) ΠΟΥ ΑΝΑΓΝΩΡΙΖΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΑ ΔΥΟ ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ (ΝΔ) ΟΤΑΝ Ο ΠΑΡΟΧΕΑΣ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ. ΚΑΘΕ ΓΡΑΜΜΗ ΤΟΥ ΠΙΝΑΚΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΙ ΣΕ ΕΝΑ ΣΥΝΟΛΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΓΙΑ ΡΥΘΜΟ ΣΥΓΚΛΙΣΗΣ [0.5:0.01:1 1:0.1:5], $[p_m^p, p_M^p] = [0,100]$, $[p_m^c, p_M^c] = [0,50]$ ΚΑΙ $L_c = 100$, ΕΝΩ ΤΟ ΧΡΟΝΙΚΟ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ ΤΟΥ ΠΑΡΟΧΕΑ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΤΙΜΗ ΣΤΗΝ ΠΡΩΤΗ ΣΤΗΛΗ	206
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-3. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΙΚΑ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ ΑΝΕΠΙΤΥΧΩΝ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΕΩΝ (ΑΔ) ΠΟΥ ΑΝΑΓΝΩΡΙΖΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΑ ΔΥΟ ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ (ΝΔ) ΟΤΑΝ Ο ΠΑΡΟΧΕΑΣ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ ΠΟΛΥΩΝΥΜΙΚΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ. ΚΑΘΕ ΓΡΑΜΜΗ ΤΟΥ ΠΙΝΑΚΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΙ ΣΕ ΕΝΑ ΣΥΝΟΛΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΓΙΑ ΡΥΘΜΟ ΣΥΓΚΛΙΣΗΣ [0.5:0.01:1 1:0.1:5], $[p_m^p, p_M^p] = [0,100]$, $[p_m^c, p_M^c] = [0,50]$ ΚΑΙ $L_c = 100$, ΕΝΩ ΤΟ ΧΡΟΝΙΚΟ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ ΤΟΥ ΠΑΡΟΧΕΑ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΤΙΜΗ ΣΤΗΝ ΠΡΩΤΗ ΣΤΗΛΗ	206
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-4. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΚΑΙ ΤΙΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	207
ΠΙΝΑΚΑΣ 6-1. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΩΝ ΑΝΕΠΙΤΥΧΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗΣ ΠΟΡΩΝ (ΑΔΔ) ΑΠΟ ΤΑ ΔΥΟ ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΟΥ ΥΙΟΘΕΤΗΘΗΚΑΝ, ΟΤΑΝ Ο ΠΑΡΟΧΕΑΣ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ ΜΙΑ ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗΣ. ΚΑΘΕ ΣΕΙΡΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΙ ΣΕ ΕΝΑ ΣΥΝΟΛΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ, ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙΤΑΙ ΕΝΑ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟ ΖΕΥΓΑΡΙ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ, ΜΕ ΜΙΑ ΧΡΟΝΙΚΑ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΗ ΚΑΙ ΜΙΑ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΗ ΑΠΟ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ	235
ΠΙΝΑΚΑΣ 6-2. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΟΡΘΗ Η ΕΣΦΑΛΜΕΝΗ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΤΥΧΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗΣ (ΕΔΔ) ΚΑΙ ΤΩΝ ΑΝΕΠΙΤΥΧΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗΣ (ΑΔΔ) ΑΠΟ ΤΑ ΔΥΟ ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ, ΟΤΑΝ Ο ΠΑΡΟΧΕΑΣ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ ΤΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ ΣΤΟ ΖΕΥΓΟΣ ΤΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΣΤΗΛΗΣ	236

1 Εισαγωγή

Η μεγάλη διείσδυση του ηλεκτρονικού εμπορίου έχει αλλάξει ριζικά τον τρόπο διακίνησης των αγαθών μέσω του διαδικτύου σε παγκόσμια κλίμακα (Trastour et.al. 2001). Καθημερινά, νέες τεχνολογίες και καινοτόμες λύσεις έρχονται στο φως για να βελτιώσουν τις δυνατότητες του μέσου χρήστη και υποψήφιου αγοραστή. Τα τελευταία χρόνια, μια τεχνολογία που αφήνει πολλές υποσχέσεις για το μέλλον είναι αυτή των κινητών πρακτόρων (Jennings et.al. 1998)(Silva et.al. 2001)(Sierra 2004), που υπόσχεται να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις των χρηστών στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό και με τη μικρότερη επέμβαση των τελευταίων.

Πέραν από τους κινητούς πράκτορες, το ηλεκτρονικό εμπόριο και οι τεχνολογίες που το συνοδεύουν, υπόσχονται σε πρώτη φάση να μειώσουν το κόστος παροχής των υπηρεσιών και πώλησης των αγαθών, μιας και η αλληλεπίδραση δεν περιλαμβάνει πλέον την ύπαρξη φυσικών προσώπων, αλλά μηχανών, που είναι σε θέση να διεκπεραιώσουν με τη μέγιστη αξιοπιστία τις διαδικασίες αγοράς και πώλησης. Από την άλλη πλευρά, οι τεχνολογίες αυτές δίνουν τη δυνατότητα στον εκάστοτε υποψήφιο αγοραστή να έχει ένα σύνολο εργαλείων στη διάθεσή του που μπορούν να τον βοηθήσουν να αποκομίσει τα μεγαλύτερα δυνατά οφέλη. Στο περιβάλλον που σχηματίζεται, οι κινητοί πράκτορες αναλαμβάνουν το ρόλο του αγοραστή, του πωλητή, του μεσάζοντα, του πληροφοριοδότη, ή ακόμη και συνδυασμούς ρόλων, στην προσπάθεια να αυτοματοποιηθεί μέρος ή το σύνολο των λειτουργιών του εκάστοτε μέρους στο σύγχρονο ηλεκτρονικό εμπορικό περιβάλλον.

Προτού εδραιωθούν οι κινητοί πράκτορες ως η βασική λύση για τις αλληλεπιδράσεις που προαναφέρθηκαν, διακρίνονται τα συστήματα πρώτης γενιάς (Lomuscio et.al. 2003) τα οποία συνίστανται στην ύπαρξη εξυπηρετητών που είναι συνδεδεμένοι στο διαδίκτυο και επιτρέπουν στους χρήστες την πρόσβαση σε καταλόγους υπηρεσιών ή αγαθών με τη μορφή φυλλομέτρησης, όπως δηλαδή γίνεται και με κάθε ιστοτόπο του διαδικτύου. Η γενιά αυτή των συστημάτων, παρόλο που πρόσφερε σημαντικά και συνεχίζει να προσφέρει πραγματώνοντας την πρώτη γενιά συστημάτων αυτού που αποκαλείται ηλεκτρονικό εμπόριο, έχει τον περιορισμό ότι πρέπει κανείς να γνωρίζει τη θέση και τις δυνατότητες κάθε ιστοτόπου για να τον επισκεφθεί και στη συνέχεια οφείλει να ξοδέψει προσωπικό χρόνο και ενέργεια στον εντοπισμό της κατάλληλης λύσης για το προϊόν ή την υπηρεσία που αναζητεί. Στην πραγματικότητα, τα συστήματα αυτά είναι εξαιρετικά διαδεδομένα σήμερα, μιας και όλοι έχουν αγοράσει πλέον κάποιο αγαθό, πληρώνοντας με πιστωτική κάρτα και περιμένοντας στη συνέχεια την αποστολή του προϊόντος. Το πρόβλημα όμως που ανακύπτει για τα συστήματα αυτά είναι διττό. Από τη μια περιορίζουν τις δυνατότητες του υποψήφιου αγοραστή καθώς και ο χρόνος του αλλά και η διάθεση αναζήτησης είναι περιορισμένη, με αποτέλεσμα να καταλήγει στην απόφαση αγοράς προτού επισκεφθεί ή εξαντλήσει έναν ικανό αριθμό επιλογών. Δεύτερον, όλα αυτά τα συστήματα περιορίζουν τις δυνατότητές τους σε ένα μόνο αντικείμενο έρευνας, την τιμή του εκάστοτε αγαθού. Στην πραγματικότητα όμως τα δεδομένα έχουν αλλάξει.

Όταν κάποιος πελάτης επιθυμεί να αποκτήσει ένα αγαθό ή μια υπηρεσία, ενδιαφέρεται πρωτίστως για το συνδυασμό τιμής και ποιότητας ή ακόμα και ποσότητας. Έτσι, κανένας καταναλωτής, ούτε σε ένα πραγματικό μη ηλεκτρονικό κατάστημα δεν επικεντρώνεται μόνο στην αξία ενός προϊόντος, αλλά ενδιαφέρεται και για άλλες παραμέτρους, όπως πιθανά η προσφερόμενη εγγύηση, ο χρόνος παράδοσης, η αξιοπιστία του κατασκευαστή ή παροχέα (αν πρόκειται για υπηρεσία), κλπ. (Lai et.al. 2004). Προκειμένου να μπορέσει να δοθεί μια τεχνική λύση σε αυτού του είδους τα προβλήματα, οι πρώτοι «έξυπνοι» βοηθοί έκαναν την εμφάνισή τους (shopping assistants). Οι δυο πιο γνωστοί και ευρέως διαδεδομένοι ήταν οι priceline¹ και hotwire², οι οποίοι επέτρεπαν στους χρήστες να καθορίσουν και άλλες παραμέτρους στις ηλεκτρονικές διαδικασίες αγοράς, πέρα φυσικά από την επιθυμητή τιμή. Παρόλα αυτά όμως, σημαντικότερη ήταν η προσοχή στην τιμή του προϊόντος, ενώ δεν υπήρχε η δυνατότητα να αποτιμηθούν από κοινού οι διάφορες παράμετροι.

Στην πραγματικότητα, όταν κάποιος επιθυμεί να συμφωνήσει με κάποιον άλλον για ένα σύνολο παραμέτρων, οποιασδήποτε φύσης, ακολουθεί το δρόμο της διαπραγμάτευσης. Πρόκειται για μια διαδικασία που περιγράφεται ήδη από την αρχαιότητα, όταν δεν υπήρχαν ακόμα χρήματα και οι αγοραπωλησίες βασιζόνταν στον αντιπραγματισμό (Gelfand and Brett 2004). Η διαπραγμάτευση επομένως αποτελεί μια μάλλον εγγενή δυνατότητα του ανθρώπου.

Η ύπαρξη αυτών των πολλαπλών παραμέτρων καθιστά τη διαδικασία της διαπραγμάτευσης κυρίαρχη στα πλαίσια των σύγχρονων ηλεκτρονικών περιβαλλόντων αγοραπωλησιών. Επεκτείνοντας τη σκέψη αυτή, η αυτοματοποίηση των διαπραγματεύσεων μπορεί να συμβάλλει αποτελεσματικά στην ελαχιστοποίηση των χρονικών απαιτήσεων και την ανάγκη επέμβασης του ανθρώπου στη διαδικασία, ενώ ταυτόχρονα να υποσχεθεί αύξηση του οφέλους που μπορεί να προκύψει μιας και οι δυνατότητες των μηχανών στο να επισκέπτονται ιστοτόπους και να διενεργούν διαπραγματεύσεις και υπολογισμούς για την κάθε μια από αυτές είναι σαφώς μεγαλύτερες των ανθρώπων. Για το λόγο αυτό, η έννοια της αυτοματοποιημένης διαπραγμάτευσης, έχει δημιουργήσει μια μεγάλη ερευνητική περιοχή με έντονη δραστηριότητα σε κάθε επίπεδο τις τελευταίες δυο και πλέον δεκαετίες.

Έχοντας διακρίνει την ανάγκη για αυτοματοποίηση των διαπραγματεύσεων και τα πιθανά οφέλη που πηγάζουν από μια τέτοια πραγματικότητα για το μέσο καταναλωτή στο σύγχρονο ηλεκτρονικό περιβάλλον, αυτό που πρέπει να οριστεί και αποτελεί το σημαντικότερο ίσως βήμα προς την επιθυμητή αυτοματοποίηση είναι ο χώρος διαπραγμάτευσης. Πρόκειται για όλα εκείνα τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που απαρτίζουν το πλαίσιο στο οποίο δυο ή περισσότερα μέρη διαπραγματεύονται, με τη βοήθεια κινητών πρακτόρων, και τους κανόνες που πρέπει να πληρούνται σε κάθε στιγμιότυπο των

¹ www.priceline.com

² www.hotwire.com

διαδικασιών. Αυτό το εννοιολογικό μοντέλο περιλαμβάνει πρωτόκολλα, συναρτήσεις και χαρακτηριστικά που καθιστούν το κάθε περιβάλλον μοναδικό, ενώ ταυτόχρονα στοχεύουν στο να είναι δίκαιο, σταθερό και ασφαλές για όλους τους συμμετέχοντες.

Αρχικά, αυτό που πρέπει να τονιστεί είναι ότι ένα περιβάλλον αυτοματοποιημένης διαπραγμάτευσης πόρων και αγαθών, είναι ένα σύνολο από πρωτόκολλα υψηλού επιπέδου που επιτρέπουν την αποδοτική αλληλεπίδραση κινητών πρακτόρων που υλοποιούν τους διακριτούς ρόλους των συμμετεχόντων δρώντας εξ αυτών. Ένας απλοϊκός ορισμός για τη διαπραγμάτευση δίδεται στο σημείο αυτό (Lee 1996):

Διαπραγμάτευση είναι η διαδικασία στην οποία ένα σύνολο πρακτόρων επικοινωνούν μεταξύ τους με στόχο μια κοινά αποδεκτή συμφωνία κοινού ενδιαφέροντος

Ένας πιο σύνθετος και συνάμα καθολικότερα αποδεκτός ορισμός είναι ο παρακάτω (Walton and Krabbe 1995):

Η Διαπραγμάτευση είναι μια μορφή αλληλεπίδρασης στην οποία ένα σύνολο πρακτόρων, με αλληλοσυγκρουόμενα συμφέροντα και με τη διάθεση να συνεργαστούν, επιχειρούν να καταλήξουν σε μια κοινά αποδεκτή συμφωνία για τη διαμοίραση ανεπαρκών πόρων

Κάθε κινητός πράκτορας όταν καλείται να συμμετάσχει σε μια διαπραγμάτευση, καλείται να υλοποιεί και να διασφαλίζει δυο βασικές έννοιες: το πρωτόκολλο διαπραγμάτευσης και την τακτική που ακολουθεί (Faratin et.al. 1998)(Rosenschein and Zlotkin 1994)(Jennings et.al. 2001). Το πρώτο αποτελεί όλους εκείνους τους κανόνες που πρέπει να ακολουθούνται από τους συμμετέχοντες προκειμένου να μπορούν να αλληλεπιδράσουν και περιλαμβάνει μεταξύ άλλων κανόνες για το ποιες συμφωνίες μπορούν να επιτευχθούν, ποια αλληλουχία και ποια μορφή πρέπει να έχουν οι προσφορές και αντιπροσφορές από τον εκάστοτε πράκτορα, πότε αρχίζει και πότε τελειώνει μια διαδικασία, κλπ. Από την άλλη πλευρά, η τακτική του συμμετέχοντος είναι το σύνολο των ενεργειών του κατά τη διάρκεια της διαδικασίας και ο τρόπος που οι ενέργειες αυτές δομούνται. Πρόκειται επί της ουσίας για τις αποφάσεις που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σχετικά με το ποιες είναι οι προσφορές που σχηματίζονται, ποιες αποφάσεις λαμβάνονται για την αλλαγή της συμπεριφοράς, πότε γίνεται αποδεκτή ή μη μια προσφορά από τον (τους) αντίπαλο, κλπ. Σε συνδυασμό με τη συμμόρφωση στο πρωτόκολλο, δημιουργεί ένα στιβαρό πλαίσιο για την ενέργεια των πρακτόρων και τη διεκπεραίωση των διαδικασιών.

Όπως κάθε διαδικασία, έτσι και οι αυτοματοποιημένες διαπραγματεύσεις διακρίνονται από μια μεγάλη ποικιλία πιθανών στιγμιότυπων, που οφείλεται στα ακόλουθα χαρακτηριστικά: στο βαθμό της διαπραγμάτευσης, στα χαρακτηριστικά των πρακτόρων, στο περιβάλλον και τα χαρακτηριστικά των αγαθών, στα εξωτερικά γεγονότα και σε πληροφοριακούς και άλλους παράγοντες.

Ο βαθμός της διαπραγμάτευσης, που αποτελεί και την ειδοποιό διαφορά μεταξύ των περιβαλλόντων, μπορεί να χωριστεί με βάση το πεδίο των αγαθών σε μονού αγαθού και πολλαπλών αγαθών, και με βάση την πιθανή αλληλεπίδραση των πρακτόρων σε ένας-προς-έναν, ένας-προς-πολλούς και πολλούς-προς-πολλούς. Η επεξήγηση των παραπάνω πιθανών περιπτώσεων είναι προφανής, ωστόσο ιδιαίτερη έμφαση δίδεται στην περίπτωση της ένας-προς-έναν διαπραγμάτευσης μονού αγαθού, καθότι αυτή αποτελεί και το βασικό θεωρητικό μοντέλο με μεγάλη όμως και πρακτική σημασία. Για να γίνει αυτό περισσότερο κατανοητό, αρκεί να τονιστεί ότι πολλά παίγνια που προκύπτουν από τέτοιου είδους διαδικασίες μπορεί να έχουν περισσότερα από ένα σημεία ισορροπίας, με αποτέλεσμα μια εφαρμογή των εργαλείων από τη θεωρία παιγνίων να μην είναι εφικτή (Osborne and Rubinstein 1994).

Τα χαρακτηριστικά των πρακτόρων μπορούν να διακριθούν με βάση τη συνέπεια τους και τη στάση τους στα παρακάτω θέματα: στο ρόλο τους, αν πρόκειται δηλαδή για αγοραστής, πωλητής ή και τα δυο, στη δυνατότητα να διενεργούν σύνθετους ή απλούς υπολογισμούς, στη γνώση που διαθέτουν, στη στάση τους απέναντι στους αντιπάλους, αν δηλαδή επιθυμούν να συμμετέχουν ενεργά ή απλά κάνουν μια προσφορά και περιμένουν πότε αυτή θα γίνει αποδεκτή χωρίς άλλες επεμβάσεις, στην κοινωνική τους συμπεριφορά, ανάλογα με το αν εμφανίζονται αλτρουιστές ή όχι, και τέλος ανάλογα με τη στρατηγική που ακολουθούν στο σχηματισμό των προσφορών και στη λήψη αποφάσεων, μια παράμετρος που επηρεάζει και επηρεάζεται από όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά (Sandholm 1999).

Αναφορικά τώρα με το περιβάλλον διαπραγμάτευσης, αυτό μπορεί να είναι στατικό ή δυναμικό. Στην πρώτη περίπτωση, οι τιμές και οι ποσότητες των αγαθών παραμένουν σταθερές κατά τη διάρκεια της διαδικασίας διαπραγμάτευσης, ενώ στην περίπτωση του δυναμικού περιβάλλοντος, τα αγαθά μπορούν να μεταβάλλονται τόσο σε αξία όσο και σε ποσότητα καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας και χωρίς μάλιστα προηγούμενη προειδοποίηση προς τους εκάστοτε διαπραγματευόμενους πράκτορες (Lomuscio et.al. 2003).

Από την άλλη πλευρά τα αγαθά έχουν χαρακτηριστικά που μπορούν να τα καταστήσουν εύκολα ή δύσκολα διαπραγματεύσιμα. Αυτά τα χαρακτηριστικά συνίστανται στο εύρος τιμών που μπορεί να έχουν, στο αν πρόκειται για διακριτές ή συνεχείς τιμές και τέλος στο αν πρόκειται για αγαθά κοινής χρήσεως, που η μεταβολή τους δύναται να επηρεάσει περισσότερους από έναν συμμετέχοντες σε μια διαδικασία. Στην πράξη, αυτό που πραγματοποιείται όταν πρόκειται για τέτοια σύνθετα χαρακτηριστικά είναι μια απλοποίηση προς όφελος των διαδικασιών, με διακριτοποίηση των τιμών και αμοιβαίες συμφωνίες μεταξύ των συμμετεχόντων (Lomuscio et.al. 2003).

Τέλος, εξωτερικά γεγονότα μπορούν να περιλαμβάνουν ενεργοποίηση ειδικών καταστάσεων, όπως για παράδειγμα αιτήσεις για άμεσο τερματισμό των διαδικασιών ή αλλαγή στον τρόπο που αντιμετωπίζονται οι προσφορές ενός πράκτορα και στην ορατότητα που μπορεί να έχουν οι άλλοι συμμετέχοντες για αυτές. Έτσι, μια διαδικασία μπορεί να ήταν

εμφανής για όλους τους παρόντες πράκτορες, αλλά ξαφνικά να αποφασίστηκε από κάποιον από τα διαπραγματευόμενα μέρη να καταστεί εφεξής κρυφή (Lomuscio et.al. 2003). Κλείνοντας την αναφορά στις παραμέτρους που επηρεάζουν ένα περιβάλλον διαπραγμάτευσης, αξίζει να αναφερθεί η ύπαρξη περιπτώσεων όπου συντηρείται ένα σύνολο ιστορικού άλλων διαδικασιών που έχουν προηγηθεί, η ύπαρξη μηνυμάτων που συνοδεύουν προσφορές και αιτιολογούν τη λογική σχηματισμού τους, κλπ (Sierra et.al. 1998)(Kraus et.al. 1998). Στις περιπτώσεις αυτές μεταβάλλεται τόσο το πρωτόκολλο, όσο και η στρατηγική η ίδια των συμμετεχόντων, αφού πλέον πρόκειται για αυξημένης πολυπλοκότητας περιβάλλοντα.

Τα ανεξάρτητα αυτά χαρακτηριστικά που σχηματοποιούν ένα περιβάλλον διαπραγμάτευσης πόρων, δεν αλλοιώνουν τη βασική ταξινόμηση των τελευταίων σε δυο μεγάλες κατηγορίες με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά στην κάθε μια. Η πρώτη κατηγορία αφορά στα διμερή (bilateral) ηλεκτρονικά περιβάλλοντα διαπραγμάτευσης (Jennings et.al. 2001)(Faratin et.al. 2002), όπου η όλη διαδικασία περιλαμβάνει έναν παροχέα και έναν πελάτη που ενεργώντας απολύτως ανταγωνιστικά επιχειρούν ο μιν πρώτος να πουλήσει όσο το δυνατόν πιο ακριβά και με τη χειρότερη δυνατή ποιότητα δεδομένης της τιμής, ο δε δεύτερος να επιτύχει το μικρότερο αντίτιμο για την καλύτερη δυνατή ποιότητα. Στα περιβάλλοντα αυτά απουσιάζει συνήθως κάθε είδους συνεργασία, επιχειρηματολογία ή επεξήγηση της λογικής σχηματισμού των προσφορών, ενώ πολλές προσπάθειες έχουν γίνει για την εφαρμογή μηχανισμών μάθησης. Αξίζει να τονιστεί ότι η παρούσα διατριβή στο σύνολό της εστιάζει σε περιβάλλοντα αυτής της μορφής, μιας και ομοιάζουν περισσότερο στις πραγματικές διαπραγματεύσεις. Από την άλλη πλευρά υφίστανται τα περιβάλλοντα που περιλαμβάνουν ταυτόχρονη αλληλεπίδραση πολλών πρακτόρων με πολλαπλούς ρόλους, είτε αυτόν του πελάτη, είτε του παροχέα, είτε και τους δυο ταυτόχρονα. Τα περιβάλλοντα αυτά διακρίνονται για τη σαφώς πιο περιορισμένη ανταγωνιστικότητα των πρακτόρων, την ύπαρξη χαρακτηριστικών δημοπρασίας (He et.al. 2003)(Endriss 2006)(Lin et.al. 2006) στις διαδικασίες και τέλος, την υιοθέτηση τεχνικών επιχειρηματολογίας ή πειθούς προκειμένου να πειστεί ο αντίπαλος να συμφωνήσει (Rahwan et.al. 2003)(Karunatilake and Jennings 2004). Και εδώ οι μηχανισμοί μάθησης είναι παρόντες σε αρκετές περιπτώσεις στη βιβλιογραφία, όμως βασίζονται, όπως θα φανεί και παρακάτω, σε πιο θεωρητικές προσεγγίσεις, με περιορισμένη εφαρμογή, αλλά και ένα σύνολο παραχωρήσεων για να επιτευχθεί ο τελικός στόχος, που είναι άλλοτε η επίτευξη συμφωνιών και άλλοτε η πρόβλεψη της συμπεριφοράς του αντιπάλου με σκοπό το ίδιον κέρδος.

Στην παρούσα διατριβή, όπως τονίστηκε και παραπάνω, αλλά θα αναλυθεί και εκτενέστερα στα κεφάλαια που ακολουθούν, επιλέχθηκε ο δύσκολος δρόμος της ενασχόλησης με ανταγωνιστικά περιβάλλοντα, χωρίς αξιοποίηση πρότερης γνώσης (περιβάλλοντα μονού στιγμιότυπου όπως θα φανεί και παρακάτω), με άγνωστους αντιπάλους,

που διαπραγματεύονται με αυστηρά χρονικά κριτήρια για ένα αγαθό ή υπηρεσία, με ευθεία γενίκευση σε περισσότερα αγαθά ταυτόχρονα. Το περιβάλλον, που είναι κοινό για όλες τις περιπτώσεις που αντιμετωπίζονται, ορίστηκε και μοντελοποιήθηκε αυστηρά, περιλαμβάνοντας εκτός από το πρωτόκολλο και ένα σύνολο στρατηγικών που αποτελούν πλέον θεμελιώδεις έννοιες στην περιοχή των αυτοματοποιημένων διαπραγματεύσεων για τον έλεγχο της ποιότητας των αποτελεσμάτων μιας ερευνητικής προσπάθειας (Faratin et.al. 1998).

Μετά την εισαγωγή αυτή, η διατριβή παραθέτει τις βασικές έννοιες που είναι απαραίτητες για να μπορέσει κανείς να παρακολουθήσει τα προβλήματα που παρουσιάζονται παρακάτω και αποτελούν τις καινοτομίες της (κεφάλαιο 2). Έτσι, αρχικά δίδονται τα βασικά χαρακτηριστικά των κεντρικών οντοτήτων των σύγχρονων περιβαλλόντων διαπραγμάτευσης, των κινητών πρακτόρων, ενώ ακολουθεί η παρουσίαση του μοντέλου του περιβάλλοντος διαπραγμάτευσης, με καταγραφή του πρωτοκόλλου, των στρατηγικών και των υπολοίπων αρχών. Το κεφάλαιο κλείνει με τη θεωρητική περιγραφή των βασικών μηχανισμών μάθησης που συναντώνται σε όλα τα προβλήματα της διατριβής. Στη συνέχεια, στο κεφάλαιο 3, γίνεται μια κριτική καταγραφή των ερευνητικών προσπαθειών στην περιοχή των αυτοματοποιημένων διαπραγματεύσεων, με παρουσίαση περιβαλλόντων, πρωτοκόλλων και στρατηγικών για διαφορετικά προβλήματα που έχουν επιλυθεί. Επιπρόσθετα, γίνεται ειδική και εκτεταμένη αναφορά στις απόπειρες εφαρμογής τεχνικών μάθησης σε πράκτορες που διαπραγματεύονται πόρους και παρουσιάζονται τα θετικά και αρνητικά σημεία της εκάστοτε προσπάθειας. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την παρουσίαση των υπαρκτών πρωτοτύπων για ηλεκτρονικές διαπραγματεύσεις, όπου καταγράφονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε προσπάθειας, ενώ τονίζεται και η απουσία οποιουδήποτε μηχανισμού μάθησης σε κάθε περίπτωση.

Τα προβλήματα που αντιμετωπίζονται στην παρούσα διατριβή κινούνται σε τέσσερις διακριτούς άξονες. Ο πρώτος είναι η επίλυση του προβλήματος πρόβλεψης της επόμενης τιμής του αντιπάλου στον τελευταίο γύρο διαπραγμάτευσης, προκειμένου να αποφευχθεί η αποτυχία μιας διαδικασίας που φαντάζει εξαιρετικά πιθανή στο σημείο εκείνο. Για το συγκεκριμένο πρόβλημα επιστρατεύτηκε ένα σύνολο μηχανισμών μάθησης, η συγκριτική παρουσίαση των οποίων αναλύεται στο κεφάλαιο 4. Στο κεφάλαιο 5, παρουσιάζεται η λύση που επιτεύχθηκε για το πρόβλημα της πρόβλεψης της επιτυχίας ή μη μιας διαπραγμάτευσης ήδη από τους πρώτους γύρους αυτής, με στόχο την αποφυγή σπατάλης ωφέλιμων υπολογιστικών και χρονικών πόρων, και την παροχή στους πράκτορες της δυνατότητας να επιτύχουν μια αποδοτική συμφωνία χωρίς κίνδυνο αποτυχίας με κάποιον άλλο αντίστοιχο αντίπαλο. Στη συνέχεια, το ίδιο πρόβλημα επιχειρείται να επιλυθεί για έναν αντίπαλο που ομοιάζει σε λογική με τον άνθρωπο, συνδυάζοντας τόσο την παρατήρηση του αντιπάλου, όσο και τη χρήση της δικής του στρατηγικής όπως αυτή έχει χαραχθεί εξ αρχής (κεφάλαιο 6).

Τέλος, στο παράρτημα Α παρουσιάζεται η επίλυση του προβλήματος εκτίμησης της στρατηγικής του αντιπάλου όταν αυτός μιμείται αμιγώς αυτή του «έξυπνου» πράκτορα, με τη χρήση ενός κατάλληλα σχεδιασμένου ευριστικού αλγορίθμου που εμφανίζει απόλυτη επιτυχία στα πειράματα που διενεργήθηκαν. Τα αποτελέσματα από την επίλυση των προβλημάτων αυτών έχουν δημοσιευθεί στις εργασίες (Papaioannou et. al. 2008) (Papaioannou et. al. 2009) (Papaioannou et. al. 2009)(Roussaki et. al. 2009).

Η διατριβή ολοκληρώνεται στο κεφάλαιο 7, με την εκτενή αναφορά των συμπερασμάτων που προέκυψαν από την έρευνα που διενεργήθηκε τα τελευταία τέσσερα και πλέον χρόνια και τις δυνατότητες που υπάρχουν για συνέχιση αυτής, τόσο από τον ίδιο το συγγραφέα όσο και από οποιονδήποτε επιθυμεί να συμβάλει προς την κατεύθυνση της δημιουργίας πραγματικών περιβαλλόντων αυτοματοποιημένων διαπραγματεύσεων με μηχανισμούς μάθησης χωρίς καμία πρότερη γνώση ή πληροφορία για τον αντίπαλο ή το περιβάλλον, διαδικασίες αληθινά σε πραγματικό χρόνο.

2 Βασικές Έννοιες και Αρχές

2.1 Εισαγωγή

Στην ενότητα αυτή θα περιγραφούν οι βασικές έννοιες της παρούσας διατριβής, προτού γίνει αναφορά στη σχετική βιβλιογραφία και παρουσιαστούν τα προβλήματα που επιλύθηκαν. Για το σκοπό η εργασία ξεκινά με μια συνοπτική αναφορά στους πράκτορες λογισμικού (παράγραφος 2.2), που αποτελούν κεντρικές οντότητες στις αυτοματοποιημένες διαπραγματεύσεις πόρων, αφού πρόκειται επί της ουσίας για τους διεκπεραιωτές της εκάστοτε διαδικασίας. Η αναφορά συνεχίζεται στο μαθηματικό και εννοιολογικό μοντέλο των περιβαλλόντων διαπραγμάτευσης πόρων που διέπει όλες τις αντίστοιχες προσπάθειες στη βιβλιογραφία και υιοθετείται και στην παρούσα εργασία (παράγραφος 2.3) και κλείνει με μια συνοπτική και ουσιαστική αναφορά στα νευρωνικά δίκτυα που χρησιμοποιήθηκαν, μιας και τα τελευταία αποτελούν τα εργαλεία πάνω στα οποία βασίζονται κατά κύριο λόγο οι λύσεις που προτείνονται (παράγραφος 2.4).

2.2 Πράκτορες Λογισμικού

Ένας πράκτορας (λογισμικού) είναι ένα υπολογιστικό σύστημα που τοποθετείται μέσα σε ένα περιβάλλον, με στόχο να μπορεί να δρα αυτόνομα προς κάθε κατεύθυνση και να επιτελεί τις λειτουργίες που έχουν οριστεί κατά τη σχεδίαση και υλοποίησή του (Bradshaw 1997). Από τα πρώιμα στάδια εξέλιξης (δεκαετία του '80) της τεχνολογίας των πρακτόρων και τα αντίστοιχα σχήματα πολλαπλών και έξυπνων πρακτόρων που δημιουργήθηκαν καταλήξαμε στην δημιουργία μιας ολόκληρης ερευνητικής περιοχής που περιγράφεται από τον όρο *σχετική με πράκτορες μηχανική λογισμικού (agent-oriented software engineering-AOSE)*. Η περιοχή αυτή διαθέτει, όπως και οι περισσότερες ερευνητικές περιοχές λογισμικού ασαφή όρια, μιας και περιλαμβάνει όλες εκείνες τις προσπάθειες να ενσωματωθούν οι απαραίτητες τεχνολογίες λογισμικού προκειμένου να μπορούν να λειτουργήσουν οι διάφορες εφαρμογές για πράκτορες, ενώ ταυτόχρονα απαιτείται και η αναγνώριση των επιμέρους σχεδιαστικών απαιτήσεων προκειμένου να μπορούν να υλοποιηθούν οι πράκτορες αυτοί.

Οι πράκτορες λογισμικού συμμετέχουν ενεργά στη διαδικασία της διαπραγμάτευσης πόρων, διεκπεραιώνοντας σε μεγάλο βαθμό τα βασικά της βήματα. Κάθε τέτοιος πράκτορας υποτίθεται ότι είναι σε θέση να αξιολογεί τις επιθυμίες του και τους σκοπούς του για κάθε συγκεκριμένη περίπτωση με βάση τον αρχικό του προγραμματισμό από τον εντολέα του. Η δυνατότητα αυτή ολοκληρώνεται και με την ικανότητα να αποτιμά τα αποτελέσματα κάθε διαδικασίας στην οποία συμμετέχει και να οδηγείται έτσι στην όσο το δυνατό αποδοτικότερη συμφωνία.

Η έννοια του πράκτορα δεν είναι καινούρια, ούτε περιορίζεται στα περιβάλλοντα διαπραγμάτευσης πόρων. Στην πραγματικότητα, ένας πράκτορας λογισμικού (software agent) είναι μια αυτόνομη (autonomous) υπολογιστική οντότητα που προγραμματίζεται ανάλογα με το περιβάλλον και τη λειτουργία που καλείται να επιτελέσει. Επομένως, έχει τη δυνατότητα να προσαρμόζεται στο περιβάλλον αυτό και να εξυπηρετεί τους σκοπούς του χρήστη του. Στην ουσία, τα προγράμματα αυτά είναι ιδιαίτερος εξελιγμένα και λόγω της πολυπλοκότητάς τους αυτής είναι σε θέση να λειτουργούν επιτυχώς σε σύνθετα και ετερογενή περιβάλλοντα. Η ανάπτυξη τους μάλιστα είναι τέτοια που έχουν βρει πεδίο δράσης σε μια τεράστια ποικιλία εφαρμογών διεκπεραιώνοντας λειτουργίες που χωρίς αυτούς θεωρούνταν αδύνατες και προσφέροντας πολύτιμες λύσεις.

Η βασική διαφορά ενός πράκτορα λογισμικού από ένα απλό πρόγραμμα που εκτελείται σε μια μηχανή είναι ότι ο πρώτος έχει τη δυνατότητα να επηρεάσει το περιβάλλον του και να αποφασίσει για τις ενέργειές του και το πεδίο δράσης του ανάλογα με τις συνθήκες και τις δυνατότητές του (Sundsted 1998). Αντίθετα τα απλά προγράμματα εκτελούνται για πεπερασμένο χρόνο και με τρόπο που είναι a-priori καθορισμένος. Είναι προφανές επομένως ότι κάθε πράκτορας αποτελεί από μόνος του ένα πρόγραμμα, ενώ το αντίστροφο δεν ισχύει.

Οι πράκτορες δεν είναι απομονωμένες οντότητες αλλά μπορούν και οφείλουν να επικοινωνούν και να συνεργάζονται με άλλους πράκτορες. Αυτή η υπόθεση οδήγησε στη δημιουργία συστημάτων πολλαπλών πρακτόρων (multi-agent systems) (Genesereth and Ketchpel 1994). Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από πολλαπλούς αυτόνομους πράκτορες που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους σε ένα περιβάλλον χωρίς κεντρικό σύστημα ελέγχου, με αποκεντρωμένα δεδομένα και ασύγχρονες λειτουργίες. Στο περιβάλλον αυτό, κάθε πράκτορας οφείλει να είναι σε θέση να επιλύει μόνος του τα προβλήματά του, είτε ιδιοτελώς, είτε σε συνεργασία με άλλους πράκτορες. Στο πεδίο εφαρμογής της διαπραγμάτευσης πόρων και υπηρεσιών, τα συστήματα πολλαπλών πρακτόρων αποτελούν τον κανόνα, μιας και η ποικιλία των υπό διαπραγμάτευση αγαθών και η πολλαπλότητα των πιθανών παροχών και πελατών τους είναι τέτοια, που αν αναλογιστούμε ότι τουλάχιστον ένας πράκτορας θεωρητικά αντιστοιχεί σε κάθε διαπραγματευόμενο μέρος, εύκολα καταλήγουμε στην αιτιολόγηση της ύπαρξής τους.

2.2.1 Βασικά Χαρακτηριστικά Πρακτόρων Λογισμικού

Οι πράκτορες λογισμικού διαθέτουν μια πληθώρα χαρακτηριστικών που τους καθιστούν κατάλληλους για συγκεκριμένες εφαρμογές και εντελώς ακατάλληλους για άλλες.

Κάθε πράκτορας είναι ένα μικρό πρόγραμμα, που αποτελεί τμήμα μιας μεγαλύτερης εφαρμογής (Bradshaw 1997). Είναι προγραμματισμένος ώστε να μπορεί να ενσωματώνεται εύκολα στο περιβάλλον στο οποίο καλείται να δράσει και μάλιστα να θεωρείται κατάλληλος αποκλειστικά για αυτό. Η λειτουργία του πράκτορα προϋποθέτει την ύπαρξη μιας συνεργατικής δομής ώστε να είναι δυνατή η επικοινωνία του με άλλους ομοειδείς πράκτορες ή προγράμματα με παρόμοια αντικείμενα και σκοπούς. Ποτέ κανένας πράκτορας δεν είναι αποκομμένος λειτουργικά.

Επιπρόσθετα, κάθε πράκτορας μπορεί να αποτελεί υπερσύνολο ή υποσύνολο μιας ομάδας πρακτόρων ή ενός άλλου πράκτορα, επιτελώντας με τον τρόπο αυτό, μέρος μιας συγκεκριμένης εργασίας (Bradshaw 1997). Για το σκοπό αυτό πρέπει να μπορεί να συνεργάζεται με τους υπόλοιπους πράκτορες, σχηματίζοντας ένα σύστημα πολλαπλών πρακτόρων. Στο περιβάλλον που μας ενδιαφέρει, για να σχηματίσουμε την εικόνα ενός τέτοιου συστήματος, μπορούμε να υποθέσουμε ότι κάθε πράκτορας ενεργεί για λογαριασμό ενός πελάτη ή ενός παροχέα κάποιου αγαθού και ότι, προφανώς, υπάρχουν πολλοί τέτοιοι ακόμα και σε περιορισμένης έκτασης αγορές.

Οι πράκτορες δεν είναι κατ' ανάγκη εφοδιασμένοι με τη μεγαλύτερη δυνατή οξυδέρκεια. Προγραμματίζονται με τρόπο που να επιτελούν πλήρως μια συγκεκριμένη λειτουργία και τίποτα πέρα από αυτή. Αυτό δικαιολογεί και το απαιτούμενο μικρό τους μέγεθος, μιας και επειδή τα περιβάλλοντα στα οποία συνήθως καλούνται να δράσουν είναι περιβάλλοντα κατανομημένα, ετερογενή και περιορισμένων πόρων (Jennings et.al. 1998). Τα πράγματα αρχίζουν να γίνονται διαφορετικά όταν πρέπει, οι συγκεκριμένες οντότητες να λάβουν αποφάσεις για λογαριασμό του χρήστη συνδυάζοντας πολλαπλά γεγονότα που συμβαίνουν σε πραγματικό χρόνο. Πρόκειται για την εφαρμογή τεχνικών μάθησης στους πράκτορες, μια περιοχή με εξαιρετικό ενδιαφέρον που θα μας απασχολήσει εκτενώς και στην περίπτωση της διαπραγμάτευσης πόρων.

Κλείνοντας την αναφορά στα βασικά χαρακτηριστικά των πρακτόρων, μπορεί να αναφερθεί εν συντομία, ότι οι πράκτορες είναι αυτόνομοι, δηλαδή έχουν τη δυνατότητα εκ φύσεως να αντιδρούν στις μεταβολές του περιβάλλοντος με αποκλειστικό στόχο την επίτευξη του στόχου για τον οποίο έχουν δημιουργηθεί. Για το σκοπό αυτό διαθέτουν εξελιγμένες δυνατότητες επικοινωνίας με άλλους πράκτορες ή εφαρμογές και μπορούν να προγραμματιστούν ώστε να μαθαίνουν από το περιβάλλον τους και την αλληλεπίδρασή τους με τους υπόλοιπους πράκτορες. Αυτά είναι τα βασικά χαρακτηριστικά που βοηθούν στην ταξινόμηση των πρακτόρων.

2.2.2 Είδη Πρακτόρων Λογισμικού

Οι πράκτορες λογισμικού ανάλογα με τα λειτουργικά τους χαρακτηριστικά και το περιβάλλον στο οποίο καλούνται να δράσουν, διακρίνονται σε κατηγορίες. Στην υπο-ενότητα αυτή θα αναφερθούν οι βασικές από αυτές όπως εμφανίζονται στη βιβλιογραφία (Bradshaw 1997).

Η πρώτη και βασική μεγάλη ταξινόμηση μπορεί να γίνει με βάση το αν είναι κινητοί ή στατικοί (mobile or static). Οι πρώτοι έχουν την ικανότητα μετακίνησης από ένα σημείο ενός δικτύου (ή γενικά του Διαδικτύου) σε ένα άλλο, ενώ οι δεύτεροι βρίσκονται εγκατεστημένοι και λειτουργούν αποκλειστικά και μόνο σε ένα μηχάνημα. Οι κινητοί πράκτορες έχουν τη δυνατότητα να μεταναστεύουν από ένα σημείο σε ένα άλλο και να διατηρούν την κατάσταση και τις πληροφορίες που έχουν συλλέξει από τον προηγούμενο σταθμό στον επόμενο. Οι κινητοί πράκτορες απαντώνται σε μια μεγάλη ποικιλία εφαρμογών και κυρίως όπου υπάρχει η ανάγκη για χαμηλού υπολογιστικού και επικοινωνιακού κόστους εφαρμογές. Οι κινητοί πράκτορες ενσωματώνουν τεχνολογίες με χαρακτηριστικά φορητότητας και ανεξαρτησίας από μηχανές. Στο περιβάλλον της αυτοματοποιημένης διαπραγμάτευσης πόρων, οι κινητοί πράκτορες μπορούν να προσφέρουν ουσιαστικά, αναζητώντας μεταξύ πολλαπλών επιλογών την καλύτερη δυνατή συμφωνία για τον ιδιοκτήτη τους. Η ανάγκη όμως για φορητότητα, καθιστά τις λειτουργικές προδιαγραφές των πρακτόρων εξαιρετικά περιορισμένες, γεγονός που επηρεάζει την προοπτική ενσωμάτωσης ευφυΐας στα προγράμματα αυτά, λόγω ακριβώς των περιορισμένων πόρων.

Πέρα όμως από τη διάκριση κινητών και στατικών πρακτόρων, έχουμε τους συνεργατικούς, μαθησιακούς και διαδραστικούς (cooperative, learning and interactive) (Bradshaw 1997). Υπερσύνολο αυτών είναι οι έξυπνοι (intelligent) πράκτορες που επιχειρούν να ενσωματώσουν χαρακτηριστικά και από τις τρεις παραπάνω κατηγορίες. Οι συνεργατικοί πράκτορες διαθέτουν ένα βασικό λειτουργικό μοντέλο και επιχειρούν με βάση αυτό να συνεργαστούν με άλλους πράκτορες ή εφαρμογές, βάσει μιας αυστηρά ορισμένης γλώσσας επικοινωνίας, προκειμένου να επιτύχουν το στόχο που έχει τεθεί. Οι πράκτορες αυτοί έχουν συνήθως περιορισμένες δυνατότητες. Οι μαθησιακοί πράκτορες διακρίνονται για την αυξημένη ευφυΐα που ενσωματώνουν, η οποία συνίσταται στην ικανότητα απορρόφησης της πληροφορίας του περιβάλλοντός και αξιοποίησής της στη λήψη αποφάσεων. Έτσι, μπορεί να θεωρηθεί ότι αποκτούν μια μορφή γνώσης για το περιβάλλον ακριβώς όπως ο άνθρωπος αντιδρά σε ένα ερέθισμα βάσει πρότερης εμπειρίας, αλλά και σκέψης. Τέλος, οι διαδραστικοί πράκτορες, είναι περισσότερο αυτόνομοι και αυτόβουλοι από τις υπόλοιπες κατηγορίες, και χρησιμοποιούν αυτό το χαρακτηριστικό τους για την επίτευξη των στόχων τους. Οι πράκτορες αυτοί δεν ενσωματώνουν κάποια μορφή γνώσης, αλλά λαμβάνουν πρωτοβουλίες και βάσει των αποτελεσμάτων των πράξεών τους κινούνται προς την ολοκλήρωση του στόχου τους. Η μεγάλη πρόκληση όμως για τους ερευνητές είναι οι έξυπνοι πράκτορες που καλούνται να συνδυάσουν παραμετρικά τα χαρακτηριστικά και των τριών κατηγοριών που αναφέρθηκαν στο σημείο αυτό (Bradshaw 1997).

2.2.3 Πράκτορες Λογισμικού στην Αυτοματοποιημένη Διαπραγμάτευση Πόρων

Οι πράκτορες λογισμικού ενσωματώνουν μια σειρά χαρακτηριστικών στο περιβάλλον αυτοματοποιημένης διαπραγμάτευσης πόρων (Lomuscio 2003), που τους καθιστούν ιδιαίτερα χρήσιμους για τις νέες τάσεις που αναπτύσσονται στο χώρο.

Οι πράκτορες μπορούν να λειτουργούν σε μια διαπραγμάτευση για λογαριασμό είτε του πελάτη, είτε του παροχέα, είτε ακόμα και σαν πελάτες και παροχείς ταυτόχρονα. Η διάκριση αυτή χαρακτηρίζει το ρόλο που μπορούν να έχουν σε μια διαπραγμάτευση. Για τα περισσότερα τέτοια περιβάλλοντα, οι παροχείς και οι πελάτες είναι οι κυρίαρχες φιγούρες, αλλά σε άλλες περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα οι δημοπρασίες, οι μεσάζοντες μπορεί να έχουν σημαντικό ρόλο. Ωστόσο, στο σημείο αυτό δεν θα γίνει περαιτέρω αναφορά, καθότι οι δημοπρασίες ελάχιστα αποτελούν αντικείμενο της παρούσας διατριβής.

Επιπλέον, μπορούν να διακριθούν και με βάση τον ορθολογισμό που ενσωματώνουν (Sandholm 1999). Ο ορθολογισμός (rationality) αυτός μπορεί να μοντελοποιηθεί είτε σαν τέλειος (perfect) είτε σαν περιορισμένος (restricted). Η υπόθεση του τέλειου ορθολογισμού, εμφανίζεται κυρίως σε πράκτορες που είναι ικανοί να φέρουν σε πέρας μεγάλες υπολογιστικές εργασίες σε περιορισμένο και σταθερό χρόνο. Σε όλα τα πρακτικά σενάρια οι πράκτορες δεν είναι σε θέση να φέρουν σε πέρας εργασίες με αυτά τα χαρακτηριστικά και αναγκάζονται να υπερθεματίζουν ή να αποσύρονται όταν εξαντλούνται τα περιορισμένα χρονικά τους όρια. Για το λόγο αυτό, τα μοντέλα διαπραγμάτευσης που έχουν αναπτυχθεί και υποθέτουν τέλειο ορθολογισμό, τα περισσότερα από τα οποία προέρχονται από τη θεωρία παιγνίων, αναγκάζονται να χρησιμοποιούν προσεγγίσεις. Επομένως, τα μοντέλα που υποθέτουν περιορισμένο ορθολογισμό είναι και τα πιο ρεαλιστικά και αυτά που χρησιμοποιούνται στην πράξη.

Οι πράκτορες διαθέτουν γνώση για τα αγαθά που διαπραγματεύονται και πιθανά διαθέτουν γνώση και για το πώς τα αγαθά αυτά αποτιμώνται από άλλους πράκτορες. Ανάλογα λοιπόν με το πώς η γνώση αυτή κατανέμεται και πόσο επαρκής θεωρείται, οι πράκτορες είναι σε θέση να επιλέγουν την καταλληλότερη στρατηγική για τη διαπραγμάτευση. Το αν και κατά πόσο οι πράκτορες διατηρούν ιδιωτική πληροφορία, μπορεί επίσης να καθορίσει ουσιαστικά την επιλογή συγκεκριμένης στρατηγικής. Επιπλέον, ιδιαίτερα σημαντικές παράμετροι αυτής της ιδιωτικής πληροφορίας που διατηρεί κάθε πράκτορας και καθορίζουν την επιλεγόμενη στρατηγική, είναι τα διαστήματα διαπραγμάτευσης που αφιερώνει κάθε πράκτορας και η συνάρτηση ικανοποιησιμότητας (Jennings et.al. 1998).

Επιπλέον, είναι δυνατό να καθοριστούν και διάφορα επίπεδα δέσμευσης των πρακτόρων στη διαδικασία της διαπραγμάτευσης. Για παράδειγμα, ένας πράκτορας μετά από μια προσφορά, μπορεί να έχει καθοριστεί να σταματάει να διαπραγματεύεται για παρόμοια αγαθά έως ότου λάβει μια θετική απάντηση ή μια αντιπροσφορά. Εναλλακτικά, οι πράκτορες μπορεί να διαθέτουν μηχανισμούς και τις διαδικασίες να ακυρώνουν συμφωνίες που έχουν επιτευχθεί προηγούμενα (Sandholm 1999).

Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς τους, οι πράκτορες μπορεί να λειτουργούν εγωιστικά, με αποκλειστικό στόχο το προσωπικό τους συμφέρον, ή αλτρουιστικά, με γνώμονα το κοινό συμφέρον, ή με μια ισορροπία ανάμεσα στα δυο προηγούμενα. Είναι λοιπόν δυνατό να σχηματιστούν ομάδες πρακτόρων (συμμαχίες), με στόχο την επίτευξη καλύτερων συμφωνιών, όταν αυτές μπορούν να επιτευχθούν από συνεργατική διαπραγμάτευση (Vulkan and Jennings 2000).

Η στρατηγική ενός πράκτορα είναι ουσιαστικά ο παράγοντας εκείνος που καθορίζει πως θα αντιδράσει ο πράκτορας σε κάθε επικείμενη προσφορά, αν δηλαδή, θα αποδεχθεί την προσφορά, θα αντιπροτείνει κάποια ή θα αποσυρθεί από τη διαπραγμάτευση. Παρόλο που διαισθητικά αυτή η στρατηγική φαίνεται να σχετίζεται με τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά των πρακτόρων που διαπραγματεύονται, τα πράγματα δεν είναι έτσι. Η βασική υπόθεση, που πρέπει πάντα να ικανοποιείται ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του πράκτορα, είναι ότι οι πράκτορες αυτοί πρέπει να είναι ορθολογικοί στο να απορρίπτουν συμφωνίες που θα μπορούσαν να τους οδηγήσουν σε χειρότερη κατάσταση από αυτή που ήδη είναι πριν μπουν στη διαδικασία της διαπραγμάτευσης (Faratin et.al. 1998).

2.3 Μοντέλο Διαπραγμάτευσης

Σε αυτό το σημείο περιγράφεται αναλυτικά το μοντέλο διαπραγμάτευσης που βασίζεται στο βασικό μοντέλο των δυο μερών και πολλαπλών αγαθών, όπως αυτό παρουσιάζεται στο (Raiffa 1982). Πρόκειται για ένα μοντέλο που χαρακτηρίζει τις διμερείς διαδικασίες για ένα σύνολο ποσοτικών αγαθών. Αυτό το μοντέλο μπορεί να επεκταθεί με απλό και ευθύ τρόπο σε κατάλληλο για διαδικασίες πολλαπλών μερών και αγαθών, με τρόπο που θεμελιώνεται θεωρητικά στη συνέχεια. Αυτές οι διαδικασίες ονομάζονται και πολυμερείς και αποτελούν σήμερα την πλειοψηφία των διαπραγματεύσεων που λαμβάνουν χώρα στο Διαδίκτυο και σε αντίστοιχα περιβάλλοντα ηλεκτρονικών αλληλεπιδράσεων.

Προτού προχωρήσει η ανάλυση του μοντέλου και δοθούν και οι βασικές μαθηματικές σχέσεις, αξίζει να παρατεθούν κάποιοι ορισμοί οι οποίοι θα χρησιμοποιούνται ευρέως στο κείμενο που ακολουθεί. Έτσι λοιπόν, ορίζουμε ως *νήμα διαπραγμάτευσης* (negotiation thread) κάθε σύνολο προσφορών και αντιπροσφορών σε ένα περιβάλλον

διαπραγμάτευσης δυο μερών. Οι προσφορές και αντιπροσφορές αυτές σχηματίζονται με τη βοήθεια ειδικών γραμμικών συνδυασμών βασικών συναρτήσεων διαπραγμάτευσης που ονομάζονται στρατηγικές. Αυτές γεννούν προσφορές και αντιπροσφορές, χρησιμοποιώντας συγκεκριμένα κριτήρια και παραμέτρους, που έχουν σχέση με χρόνο, πόρους, συμπεριφορές και μεταβλητές από το περιβάλλον γενικότερα. Οι γραμμικοί αυτοί συνδυασμοί των στρατηγικών μπορούν να οδηγήσουν σε μια εξαιρετικά μεγάλη ποικιλία στρατηγικών, με αποτέλεσμα να προσεγγίζεται η συμπεριφορά που μπορεί να επιδείξει ακόμα και ένας άνθρωπος με τη βοήθεια των μαθηματικών αυτών μοντέλων και συγκεκριμένων υπολογισμών, και κατά περιπτώσεις ακόμα ευφυέστερες συμπεριφορές. Για παράδειγμα, μια στρατηγική μπορεί να σχηματίζεται από την ανάγκη ενός συμμετέχοντα να δώσει μεγαλύτερο βάρος στα χρονικά όρια της διαδικασίας, χωρίς όμως να αγνοεί και τη διαθεσιμότητα πόρων που διαθέτει, οπότε στην περίπτωση αυτή έχουμε ένα αποτέλεσμα που είναι γραμμικός συνδυασμός των δύο στρατηγικών με μεγαλύτερη έμφαση (μεγαλύτερο παράγοντα βάρους) στο χρονικά εξαρτώμενο κομμάτι της στρατηγικής.

Σε άλλες περιπτώσεις είναι πιθανό να μεταβάλλεται η στρατηγική του συμμετέχοντος με την πάροδο του χρόνου, από μια αμιγή μορφή στρατηγικής σε μια άλλη. Για παράδειγμα μπορεί κάποιος να προβάλλει μια στρατηγική που εξαρτάται από τη διαθεσιμότητά του σε κάποιον πόρο για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και όταν πλησιάζει προς το χρονικό περιθώριο που έχει θέσει, να τη μεταβάλλει αντιγράφοντας τον αντίπαλό του, επειδή έτσι θεωρεί πως έχει περισσότερες πιθανότητες να επιτευχθεί κάποια συμφωνία.

2.3.1 Το Μοντέλο Διαπραγμάτευσης Διμερών Διαδικασιών

Ας υποθέσουμε ότι $i, (i \in \{a, b\})$, είναι οι διαπραγματευόμενοι συμμετέχοντες πράκτορες και ότι $j, (j \in \{1, \dots, n\})$, είναι τα αγαθά για τα οποία διαπραγματεύονται. Επίσης, υποθέτουμε ότι $x_j \in [\min_j, \max_j]$, η τιμή για το αγαθό j . Με τον τρόπο αυτό θέτουμε όρια για τα αγαθά που είναι υπό διαπραγμάτευση, ώστε να μπορούν να λάβουν συγκεκριμένες τιμές. Κάθε πράκτορας διαθέτει μια συνάρτηση βαθμολόγησης (scoring function) $V_j^i : [\min_j, \max_j] \rightarrow [0, 1]$, που αποδίδει το βαθμό του πράκτορα i για το αγαθό j , πάντοτε μέσα στα όρια των αποδεκτών τιμών για το τελευταίο. Για λόγους απλότητας και ομοιομορφίας, το πεδίο τιμών της συνάρτησης αυτής διατηρείται στο διάστημα $[0, 1]$.

Το επόμενο στοιχείο που διακρίνει το μοντέλο είναι η σχετική σπουδαιότητα (relative importance) που αποδίδει ο εκάστοτε πράκτορας σε κάθε αγαθό υπό διαπραγμάτευση. Έτσι, ορίζουμε ως w_j^i τη σημαντικότητα που ορίζει ο πράκτορας i για το αγαθό j . Υποθέτουμε

ότι τα βάρη και των δύο συμμετεχόντων πρακτόρων είναι κανονικοποιημένα, με την έννοια ότι το επιμέρους άθροισμα για καθένα από αυτά ισούται με 1. Ισχύει δηλαδή ότι $\sum_{1 \leq j \leq n} w_j^i = 1$, $i, (i \in \{a, b\})$. Με βάση τους παραπάνω ορισμούς, εισάγεται τώρα η έννοια της συνάρτησης βαθμολόγησης συμβολαίου, για ένα σύνολο αγαθών $x = (x_1, \dots, x_n)$:

$$V^i(x) = \sum_{1 \leq j \leq n} w_j^i V_j^i(x_j)$$

Αν τώρα και οι δυο πράκτορες που συμμετέχουν στη διαδικασία, χρησιμοποιούν αυτή τη συνάρτηση, έχει αποδειχθεί ότι η βέλτιστη τιμή για το σύνολο x μπορεί να υπολογιστεί μέσα στα όρια των επιμέρους επιτρεπτών τιμών.

2.3.2 Ενσωμάτωση των Ποιοτικών Μεγεθών στο Μοντέλο

Αναφέρθηκε παραπάνω, πως το συγκεκριμένο μοντέλο δεν προβλέπει τη διαπραγμάτευση αγαθών που είναι μη-ποσοτικά. Όμως πέρα από τα ποσοτικά αγαθά, υπάρχουν στη φύση και στα ηλεκτρονικά περιβάλλοντα περισσότερο, αγαθά τα οποία δεν είναι ποσοτικά, αλλά η σημασία τους είναι πολύ μεγάλη, όπως για παράδειγμα η ποιότητα μιας υπηρεσίας. Για το σκοπό αυτό θα αναφερθούν στο σημείο αυτό τρόποι ενσωμάτωσης των μη-ποσοτικών αγαθών στο μοντέλο.

Στην περίπτωση των ποιοτικών μεγεθών, η συνάρτηση βαθμολόγησης ορίζεται απευθείας στο σύνολό τους. Έτσι αν $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_r\}$ είναι οι τιμές των ποιοτικών μεγεθών: $\bar{V}_j : Q \rightarrow [0,1]$, ως διακριτή συνάρτηση στην περιοχή των ποιοτικών τιμών. Αυτή η προσέγγιση να αναπαρίστανται οι ποιότητες είναι μια απλοποίηση της προσέγγισης που ακολουθήθηκε στην προηγούμενη ενότητα.

2.3.3 Απαιτήσεις από το Περιβάλλον Διαπραγμάτευσης

Το μοντέλο διαπραγμάτευσης μεταξύ δυο μερών που περιγράφηκε προηγουμένως, απαιτεί την ενεργοποίηση και καθολική ικανοποίηση συγκεκριμένων προϋποθέσεων, προκειμένου να διασφαλίζεται η φύση των πραγματικών διαπραγματεύσεων με την εφαρμογή των όσων περιγράφονται εδώ. Οι προϋποθέσεις αυτές περιλαμβάνουν (Faratin et.al. 1998):

- **Ιδιωτικότητα της πληροφορίας:** Προκειμένου για την εξεύρεση της βέλτιστης τιμής, οι συναρτήσεις βαθμολόγησης απαιτείται να είναι κοινώς γνωστές, κάτι που όμως

παραβιάζει την ανταγωνιστικότητα των περιβαλλόντων διαπραγμάτευσης και πρέπει να αποφεύγεται.

- **Ιδιωτικότητα των μοντέλων:** Οι δυο συμμετέχοντες πρέπει να χρησιμοποιούν την ίδια συνάρτηση βαθμολόγησης. Όμως, οι συναρτήσεις αυτές οφείλουν να αποκρύβονται από τον εκάστοτε αντίπαλο, καθότι αποτελούν τη βασική παράμετρο σχηματισμού των προσφορών και αντιπροσφορών.
- **Περιορισμοί Τιμών:** Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, κάθε πράκτορας που συμμετέχει σε μια διαπραγμάτευση, διατηρεί ένα εύρος διαστήματος, που ορίζεται από το μέγιστο και το ελάχιστο που μπορεί να ανεχθεί για την τιμή ενός αγαθού. Αυτό ισχύει και για τους δυο συμμετέχοντες. Για να υπάρξει όμως αποτέλεσμα από την εκάστοτε διαδικασία, τα δυο διαστήματα, του παροχέα και του πελάτη, οφείλουν να είναι επικαλυπτόμενα, για να μπορέσουν να συγκλίνουν σε μια τιμή. Κάτι τέτοιο δεν είναι πάντα εφικτό, με αποτέλεσμα να δυσκολεύουν οι διαδικασίες και να υπάρχει σπατάλη πόρων. Μάλιστα, έχουν γίνει προσπάθειες να υπολογίζεται η εφικτότητα της εκάστοτε διαδικασίας εξαρχής, χωρίς όμως καθολικά αποδεκτά αποτελέσματα.
- **Χρονικοί Περιορισμοί:** Στις πραγματικές διαπραγματεύσεις δεν υπάρχει πάντοτε η έννοια του χρόνου. Στις αυτοματοποιημένες όμως ο παράγοντας αυτός είναι εξαιρετικά σημαντικός και πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψιν, καθότι κάθε πράκτορας διαθέτει ένα χρονικό περιθώριο να διαπραγματευτεί, μέσα στο οποίο οφείλει να έχει ολοκληρώσει τη διαδικασία. Αυτό το περιθώριο μπορεί να είναι μια απόλυτη χρονική τιμή ή ένα σχετικό χρονικό διάστημα.
- **Περιορισμοί Πόρων:** Η ποσότητα ενός πόρου έχει πολύ σημαντική επίδραση στη διαδικασία διαπραγμάτευσης και καθορίζει εν πολλοίς τη συμπεριφορά του εκάστοτε πράκτορα, ενώ η ορθή αποτίμηση των υπολειπόμενων πόρων είναι βασικό χαρακτηριστικό του καλού διαπραγματευτή. Είναι προφανές ότι διαφορετική αξία έχει για τον παροχέα η αποτίμηση των διαθέσιμων πόρων και διαφορετική για τον πελάτη.

Οι περιορισμοί που αναφέρθηκαν στο σημείο αυτό, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι δεν μπορούμε να αναζητήσουμε μια κοινά αποδεκτή και ταυτόχρονα βέλτιστη λύση από τη στιγμή που τα δεδομένα του ενός από τους δυο πράκτορες δεν μπορούν να είναι γνωστά στον άλλον. Επομένως, καταλήγουμε σε ένα μοντέλο που στοχεύει στην βελτιστοποίηση του εκάστοτε πράκτορα, υπό την έννοια της επίτευξης συμφωνίας που μεγιστοποιεί τη συνάρτηση βαθμολόγησης.

2.3.4 Αυστηρός Ορισμός του Μοντέλου Διαπραγμάτευσης

Στις διαδικασίες διαπραγμάτευσης που περιγράφονται, οι πράκτορες μπορούν να έχουν διττό ρόλο, να είναι δηλαδή είτε πελάτες, είτε παροχείς. Οι ρόλοι αυτοί είναι αλληλοσυγκρουόμενοι, με αποτέλεσμα να απαιτείται διαχωρισμός στο συμβολισμό των δυο συνόλων των πρακτόρων. Έτσι, ορίζεται το $Agents = Clients \cup Providers$, ως το σύνολο στο οποίο ανήκουν όλοι οι πράκτορες, ενώ η τομή του συνόλου αυτού, μπορεί να είναι μη-μηδενική αν και μόνο αν ένας πράκτορας είναι ταυτόχρονα και πελάτης και παροχέας. Οι πράκτορες που έχουν το ρόλο του πελάτη αναπαρίστανται ως c, c_1, c_2, \dots , ενώ οι παροχείς ως p, p_1, p_2, \dots και με τα υπόλοιπα λατινικά γράμματα μπορεί να αναπαρασταθεί ένας πράκτορας που δεν έχει ταξινομηθεί στη μια ή την άλλη οικογένεια.

Παράλληλα, υιοθετείται μια προσθετική συνάρτηση βαθμολόγησης, στα πρότυπα αυτής που ορίστηκε στην ενότητα 2.3.1 και στην οποία για λόγους απλότητας και δικαιοσύνης, η συνάρτηση V_j^a είναι είτε γνησίως αύξουσα, είτε γνησίως φθίνουσα.

Εν γένει, οι πράκτορες που λαμβάνουν μέρος στις διαπραγματεύσεις έχουν αλληλοσυγκρουόμενα συμφέροντα, δηλαδή είναι προφανές ότι ένας πελάτης επιθυμεί να αγοράσει φθηνά ένα αγαθό, το οποίο ο αντίστοιχος παροχέας επιθυμεί να το πουλήσει στην υψηλότερη δυνατή τιμή. Ταυτόχρονα, άλλα χαρακτηριστικά, όπως η ποιότητα ενός προϊόντος είναι σημαντικά για έναν πελάτη, αλλά όχι τόσο για τον εκάστοτε παροχέα. Συνακόλουθα, οι συναρτήσεις βαθμολόγησης επιβεβαιώνουν ότι δοθέντος ενός πελάτη c και ενός παροχέα p , που διαπραγματεύονται για το αγαθό j , τότε αν $x_j, y_j \in [\min_j, \max_j]$ και $x_j \geq y_j$, τότε $V_j^c(x_j) \geq V_j^c(y_j)$ αν και μόνο αν $V_j^p(x_j) \leq V_j^p(y_j)$. Αυτή η περίπτωση που μόλις περιγράφηκε είναι η χαρακτηριστική περίπτωση αλληλοσυγκρουόμενων συμφερόντων των δυο διαπραγματευόμενων μερών.

Οι συμμετέχοντες, αρχικά και προτού εφαρμόσουν οποιαδήποτε στρατηγική διαπραγμάτευσης, πρέπει να συμφωνήσουν για τα αγαθά τα οποία θα διαπραγματευτούν. Στη συνέχεια και μόνο αν υπάρχει αρχική συμφωνία των αγαθών υπό διαπραγμάτευση, εισέρχονται σε μια διαδικασία προσφορών και αντιπροσφορών για τα αγαθά αυτά. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρις ότου υπάρξει μια προσφορά ή αντιπροσφορά που μπορεί να γίνει δεκτή από τον αντίπαλο, οπότε έχουμε συμφωνία, διαφορετικά έχουμε την εξάντληση των χρονικών ή άλλων περιθωρίων του ενός ή και των δυο συμμετεχόντων, οπότε η διαδικασία αποτυγχάνει. Τέλος, η έναρξη της διαδικασίας μπορεί να γίνει τόσο από τον πελάτη, όσο και από τον παροχέα, με συχνότερη την πρώτη περίπτωση.

Αναπαρίσταται τώρα ως $x_{a \rightarrow b}^t$ το διάλυσμα των τιμών που προτείνονται από τον πράκτορα a στον πράκτορα b τη χρονική στιγμή t , και ως $x_{a \rightarrow b}^t[j]$, την τιμή για το αγαθό j από τον ίδιο πράκτορα την ίδια χρονική στιγμή. Το διάστημα αποδεκτών τιμών για την

ποσότητα του αγαθού j και τον πράκτορα a , αναπαρίσταται ως $[\min_j^a, \max_j^a]$. Για λόγους απλότητας, ο χρονικός παράγοντας είναι κοινός για τους δυο πράκτορες, χωρίς αυτό να παραβιάζει κάποια από τις αρχές που προαναφέρθηκαν, ενώ το μέσο επικοινωνίας θεωρείται αξιόπιστο και χωρίς απώλειες, καθώς και με σταθερό ρυθμό μετάδοσης.

Ορισμός: Ένα Νήμα Διαπραγμάτευσης ανάμεσα στους πράκτορες $a, b \in Agents$, τη χρονική στιγμή t , που συμβολίζεται ως $x_{a \rightarrow b}^t$ ή $x_{b \rightarrow a}^t$, είναι κάθε πεπερασμένη ακολουθία της μορφής $\{x_{d_1 \rightarrow e_1}^{t_1}, x_{d_2 \rightarrow e_2}^{t_2}, \dots, x_{d_n \rightarrow e_n}^{t_n}\}$, όπου:

1. Οι προσφορές είναι αυστηρώς εναλλασσόμενες, δηλαδή $e_i = d_{i+1}$
2. Οι προσφορές είναι ταξινομημένες χρονικά, δηλαδή $t_k \leq t_l \quad \alpha \nu \quad k \leq l$
3. Το νήμα περιέχει μόνο προσφορές και αντιπροσφορές ανάμεσα στους πράκτορες a, b
4. Οι προσφορές είναι μεταξύ των πρακτόρων, δηλαδή $e_i \neq d_i$, και
5. $x_{d_i \rightarrow e_i}^{t_i} [j] \in [\min_j^{d_i}, \max_j^{d_i}]$ ή είναι ένα από τα $\{accept, reject\}$

Θα ορίζουμε επομένως κάθε τέτοιο νήμα ως ενεργό, αν και μόνο αν $x_{d_n \rightarrow e_n}^{t_n} [j] \notin \{accept, reject\}$.

Για λόγους απλότητας θεωρείται ότι ο αρχικός χρόνος είναι ο μηδενικός, δηλαδή $t_1 = 0$. Με άλλα λόγια, ο χρόνος για την εκάστοτε διαπραγμάτευση ξεκινά κατόπιν της απαίτησης για έναρξη της διαδικασίας, συνήθως από την πλευρά του πελάτη. Όταν ο πράκτορας a , λαμβάνει μια προσφορά από τον πράκτορα b , τη χρονική στιγμή t , η οποία είναι $x_{b \rightarrow a}^t$, οφείλει να αποτιμήσει την προσφορά αυτή χρησιμοποιώντας την προσωπική συνάρτηση βαθμολόγησης που διαθέτει. Αν η τιμή που θα προκύψει από τη βαθμολόγηση αυτή ($V^a(x_{b \rightarrow a}^t)$) είναι μεγαλύτερη από αυτή που αντιστοιχεί στην αντιπροσφορά του πράκτορα a , η οποία θα αποσταλεί στον b τη χρονική στιγμή t' , τότε ο πράκτορας a αποδέχεται την αρχική προσφορά του b στο χρόνο t και προφανώς δεν αντιπροτείνει κάτι. Διαφορετικά σχηματίζει τη δική του αντιπροσφορά και την στέλνει στον αντίπαλο. Η συνάρτηση που «αποφασίζει» για τη δράση αυτή είναι συμβολίζεται εδώ ως I^a και εκφράζεται αυστηρά ως εξής:

Ορισμός: Δοθέντος ενός πράκτορα a και της σχετικής του συνάρτησης βαθμολόγησης V^a , η αξιολόγηση του πράκτορα αυτού τη χρονική στιγμή t' , της προσφοράς $x_{b \rightarrow a}^{t'}$ που έλαβε στο χρόνο $t < t'$, ορίζεται ως εξής:

$$I^a(t', x_{b \rightarrow a}^{t'}) = \begin{cases} \text{reject, if } t' > t_{\max}^a \\ \text{accept, if } V^a(x_{b \rightarrow a}^{t'}) \geq V^a(x_{a \rightarrow b}^{t'}), \\ x_{a \rightarrow b}^{t'}, \text{ otherwise} \end{cases}$$

όπου $x_{a \rightarrow b}^{t'}$ είναι το συμβόλαιο που ο πράκτορας a προσφέρει στον b τη στιγμή της αξιολόγησης και t_{\max}^a , είναι το μέγιστο χρονικό περιθώριο του πράκτορα να διαπραγματευτεί στην τρέχουσα διαδικασία, έχοντας ολοκληρώσει έως το χρόνο αυτό τη διαπραγμάτευση. Το αποτέλεσμα της αξιολόγησης, χρησιμοποιείται για την πρόοδο της διαδικασίας, ενώ η αποτυχία λόγω του χρονικού παράγοντα δείχνει ότι η διαδικασία μπορεί να έχει επιτυχή κατάληξη στο μέλλον, αν αυξηθούν τα προβλεπόμενα χρονικά όρια.

Η προετοιμασία μιας αντιπροσφοράς από τον εκάστοτε πράκτορα, ανεξάρτητα με το αν είναι πελάτης ή παροχέας, ακολουθεί μια στρατηγική διαπραγμάτευσης για κάθε μεταβλητή της διαδικασίας (κάθε αγαθό). Έτσι, με βάση τις ανάγκες των πραγματικών διαπραγματεύσεων και τα θεωρητικά μοντέλα που μπορούμε να δανειστούμε από το χώρο των οικονομικών μαθηματικών, καταλήγουμε σε τρεις μεγάλες κατηγορίες στρατηγικών, που σήμερα αποτελούν το θεμέλιο λίθο της περιοχής των αυτοματοποιημένων διαπραγματεύσεων πόρων παγκοσμίως (Faratin et.al. 1998):

- Χρονικά Εξαρτώμενες Στρατηγικές: Αν ένας πράκτορας έχει ένα χρονικό περιθώριο μέχρι το οποίο οφείλει να έχει ολοκληρώσει τη διαδικασία και να έχει συμφωνήσει, οι στρατηγικές αυτές υποδεικνύουν ότι είναι περισσότερο πιθανό ο πράκτορας να συγκλίνει ταχύτερα όσο πλησιάζει το περιθώριο αυτό. Ο τύπος (και το σχήμα) της σύγκλισης αυτής, που είναι συνάρτηση του χρόνου, διαχωρίζει τις στρατηγικές αυτής της οικογένειας.
- Εξαρτώμενες από Πόρους Στρατηγικές: Οι στρατηγικές αυτές μοντελοποιούν την πίεση που ασκείται για την επίτευξη μιας συμφωνίας, όσο οι διαθέσιμοι πόροι μειώνονται (πχ. περιορισμένο εύρος ζώνης, αριθμός διαθέσιμων πρακτόρων προς διαπραγμάτευση, κλπ.). Οι παράγοντες αυτοί πιέζουν τον εκάστοτε πράκτορα να συγκλίνει ταχύτερα προς τη τελική του τιμή. Η μορφή των συναρτήσεων που μοντελοποιούν τις στρατηγικές της οικογένειας αυτής είναι όμοια με αυτές τις προηγούμενης κατηγορίας, με τη μόνη

διαφορά ότι εδώ η παράμετρος που καθορίζει τη μορφή τους είναι οι διαθέσιμοι πόροι και όχι ο χρόνος, όπως προηγουμένως.

- Εξαρτώμενες από Συμπεριφορά: Σε περιπτώσεις που ο πράκτορας δεν πιέζεται ιδιαίτερα για την επίτευξη μιας συμφωνίας, μπορεί να επιλεγεί η χρήση μιας στρατηγικής που μιμείται τον αντίπαλο και αντιγράφει κατά κάποιο τρόπο τη συμπεριφορά του. Αυτές οι στρατηγικές διαφέρουν μεταξύ τους ανάλογα με το πόσο μιμούνται τη συμπεριφορά του αντιπάλου, αλλά και ποιο μέρος της, όλο ή ένα κομμάτι.

Η ανάλυση που ακολουθεί περιγράφει αναλυτικά όλες τις στρατηγικές που αναφέρθηκαν παραπάνω.

2.3.5 Στρατηγικές Διαπραγμάτευσης

Οι στρατηγικές διαπραγμάτευσης είναι ένα σύνολο συναρτήσεων που καθορίζουν πως υπολογίζεται η τιμή ενός αγαθού σαν συνάρτηση ενός κριτηρίου, πχ. χρόνου, πόρου, κλπ. Το σύνολο των τιμών αυτών για ένα διαπραγματευόμενο αγαθό είναι το εύρος τιμών μιας συνάρτησης συνεχούς και γνησίως μονότονης, ενώ το κριτήριο είναι το πεδίο ορισμού. Τα κριτήρια που επιλέγονται είναι ο χρόνος, οι πόροι και οι προηγούμενες προσφορές και αντιπροσφορές (συμπεριφορά αντιπάλου), όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα.

Σε διάφορες περιπτώσεις, οι πράκτορες που διαπραγματεύονται δεν επιθυμούν τη χρήση μιας αμιγούς στρατηγικής διαπραγμάτευσης, αλλά το συνδυασμό δύο ή περισσότερων στρατηγικών, επιθυμώντας να συνυπολογίσουν περισσότερες της μιας παραμέτρους. Έτσι, είναι πιθανό να υπάρχει μια στρατηγική, η οποία να είναι το ζυγισμένο άθροισμα δύο στρατηγικών εξαγόμενων από διαφορετικές οικογένειες. Ας υποθέσουμε λοιπόν, ότι έχουμε έναν πράκτορα που επιθυμεί να ακολουθήσει μια στρατηγική που είναι ο συνδυασμός μιας χρονικά εξαρτώμενης και μιας εξαρτώμενης από τη συμπεριφορά του αντιπάλου, με στόχο να συνυπολογίσει και την τελευταία στη διαδικασία, προκειμένου να μην αδικηθεί αν ο αντίπαλος είναι απρόθυμος να συναινέσει και επιθυμεί την εξάντλησή του για να αποκομίσει όσο το δυνατό μεγαλύτερο κέρδος αν μια συμφωνία επιτευχθεί γρήγορα.

Υποθέτουμε λοιπόν έναν πράκτορα που διαπραγματεύεται με κάποιον άλλο για ένα αγαθό με κάποια τιμή αγοράς. Ο πράκτορας έχει στη διάθεσή του κάποιον χρόνο για το σκοπό αυτό, ενώ τα δεδομένα του αντιπάλου προφανώς του είναι άγνωστα. Επιθυμεί όμως, να χρησιμοποιήσει μια χρονικά εξαρτημένη στρατηγική κατά ένα ποσοστό βάρους 75% και μια εξαρτώμενη από συμπεριφορά για το υπόλοιπο 25%. Το άθροισμα των βαρών αυτών προφανώς πρέπει να είναι πάντοτε 1. Ας υποθέσουμε ακόμη ότι το διάστημα των επιτρεπτών τιμών για τη διαδικασία αυτή και το αγαθό που είναι υπό διαπραγμάτευση είναι το $[0, 20]$ για

τον πράκτορα-πελάτη του οποίου τη συμπεριφορά εξετάζουμε. Η διαδικασία ξεκινά με μια προσφορά από αυτόν ίση με 10, ενώ ο αντίπαλος απαντά με 25 (υποθέτουμε διάστημα γι' αυτόν [17, 35], το οποίο όμως είναι άγνωστο στον πελάτη). Στη συνέχεια ο πελάτης μπορεί να προτείνει 12 με βάση αποκλειστικά την χρονικά εξαρτώμενη στρατηγική του, μιας και δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα για την εξαρτώμενη από τη συμπεριφορά του αντιπάλου, ενώ ο αντίπαλος-παροχέας να απαντήσει με 20. Παρατηρούμε ότι οι προσφορές του πελάτη είναι γνησίως φθίνουσες, ενώ του παροχέα γνησίως αύξουσες, προκειμένου να διασφαλιστεί η δικαιοσύνη στη διαδικασία. Με βάση αυτές τις δυο αρχικές τιμές, η στρατηγική του πελάτη, που θεωρείται ζυγισμένο άθροισμα των στρατηγικών που προαναφέρθηκαν, οδηγεί σε μια προσφορά η οποία αφενός είναι 15 από την χρονικά εξαρτώμενη, αφετέρου είναι 17, προκειμένου να γίνει μίμηση της μείωσης -5 της τιμής που πρότεινε ο αντίπαλος (από 25 → 20). Όμως, η τελική προσφορά θα είναι: $0.75 \cdot 15 + 0.25 \cdot 17 = 15.5$. Η τιμή αυτή έχει διαμορφωθεί και επηρεαστεί άμεσα από το βάρος των δυο στρατηγικών που «συμμετέχουν» στην υβριδική ή μεικτή στρατηγική του πελάτη.

Προτού παρατεθούν και αναλυθούν διεξοδικά οι διάφορες στρατηγικές, πρέπει να τονιστεί ότι δεν είναι όλες οι στρατηγικές κατάλληλες για όλες τις περιπτώσεις. Για παράδειγμα, μια εξαρτώμενη από συμπεριφορά στρατηγική δεν μπορεί να εφαρμοστεί στην περίπτωση που ο αντίπαλος έχει αποκαλύψει επαρκώς τη συμπεριφορά του και γι' αυτό πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στο πού είναι κατάλληλη η εφαρμογή στρατηγικών και πού όχι.

2.3.5.1 Στρατηγικές Εξαρτώμενες από το Χρόνο (Time-Dependent Strategies)

Στις στρατηγικές αυτές, ο βασικός παράγοντας που χρησιμοποιείται για να αποφασιστεί ποια θα είναι η επόμενη τιμή προσφοράς είναι ο χρόνος t . Έτσι, οι στρατηγικές αυτές συνίστανται στη μεταβολή της τιμής προσφοράς σαν αποτέλεσμα μιας χρονικής συνάρτησης, που λαμβάνει ως ανεξάρτητη μεταβλητή το χρόνο που έχει παρέλθει, καθώς και το συνολικό. Η αρχική προσφορά του εκάστοτε πράκτορα καθορίζεται από μια σταθερά k_j^a , για τον πράκτορα a και το αγαθό j . Αυτή η σταθερά καθορίζει την τάση του πράκτορα να είναι περισσότερο ή λιγότερο προσκολλημένος στο μέγιστο ή ελάχιστό του, ανάλογα με το ρόλο του, υποδεικνύοντας την τάση για συνεργασία ή όχι στην τελική συμφωνία. Είναι προφανές ότι η σταθερά αυτή λαμβάνει τιμές από 0 έως 1.

Η τιμή που προτείνεται από τον πράκτορα a στον πράκτορα b για το αγαθό j , σαν συνάρτηση του χρόνου t , με $0 \leq t \leq t_{\max}^a$, προκύπτει από μια συνάρτηση a_j^a του χρόνου σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$x_{a \rightarrow b}^t[j] = \begin{cases} \min_j^a + a_j^a(t)(\max_j^a - \min_j^a) & \text{if } V_j^a \text{ is decreasing} \\ \min_j^a + (1 - a_j^a(t))(\max_j^a - \min_j^a) & \text{if } V_j^a \text{ is increasing} \end{cases}$$

Μια μεγάλη κατηγορία χρονικά-εξαρτώμενων συναρτήσεων μπορεί να οριστεί απλά αλλάζοντας τον τρόπο υπολογισμού της συνάρτησης $a_j^a(t)$. Παρόλα αυτά όμως, οι συναρτήσεις αυτές πρέπει να ικανοποιούν απαραίτητα τις εξής συνθήκες:

$$\begin{aligned} 0 &\leq a_j^a(t) \leq 1 \\ a_j^a(0) &= \kappa_j^a \\ a_j^a(t_{\max}^a) &= 1 \end{aligned}$$

Οι συνθήκες αυτές υποδηλώνουν ότι η εκάστοτε προσφορά θα βρίσκεται πάντοτε μέσα στα όρια τιμών που έχουν τεθεί, στην αρχική προσφορά θα δίνεται η σταθερά που έχει προαποφασιστεί και χρησιμοποιείται για αυτόν ακριβώς το λόγο, ενώ όταν ο χρόνος εξαντληθεί ο πράκτορας θα προτείνει την χειρότερη προσωπική τιμή συμφωνίας (reservation value). Στην πράξη χρησιμοποιούνται δυο διαφορετικές οικογένειες συναρτήσεων για την $a_j^a(t)$: εκθετικές και πολυωνυμικές συναρτήσεις. Προτού όμως αναλυθούν οι συναρτήσεις αυτές μπορεί να σχολιαστεί λίγο η βασική σχέση παραγωγής προσφορών, προκειμένου να γίνει κατανοητή. Ας υποθέσουμε ότι ο πράκτορας που ενδιαφέρει έχει το ρόλο του πελάτη. Τότε με την πάροδο του χρόνου οι προσφορές του θα κινούνται από μια ελάχιστη προς μια μέγιστη τιμή. Ταυτόχρονα η ικανοποιησιμότητά του θα μειώνεται με την αύξηση της τιμής προσφοράς. Επομένως, ο πελάτης θα χρησιμοποιήσει το πρώτο σκέλος της σχέσης, που επαληθεύει και τον ισχυρισμό για την «κίνηση» των προσφορών από το ελάχιστο στο μέγιστο αποδεκτό, μιας και η συνάρτηση $a_j^a(t)$ λαμβάνει τιμές από 0 έως 1, συναρτήσει του χρόνου. Ευθέως αντίστροφα είναι τα πράγματα στην περίπτωση του παροχέα.

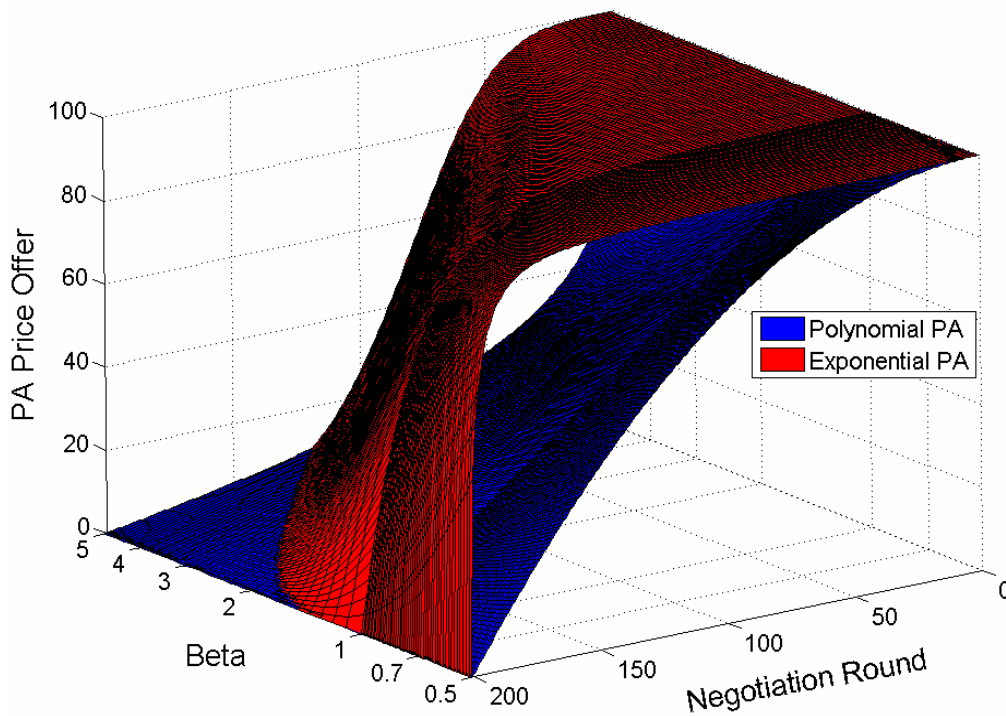
Στο σημείο αυτό θα συζητηθούν οι δυο οικογένειες συναρτήσεων που δανείζουν τη μορφή τους στην χρονικά μεταβαλλόμενη συνάρτηση $a_j^a(t)$. Αρχικά, πρέπει να τονιστεί ότι οι συναρτήσεις αυτές διαθέτουν μια παράμετρο $\beta \in \mathfrak{R}^+$ και καθορίζει την ταχύτητα με την οποία η συνάρτηση συγκλίνει. Οι δύο αυτές οικογένειες συναρτήσεων έχουν επιλεγεί γιατί συμπληρώνουν η μια την άλλη, αλλά και γιατί με διαφορετικούς βαθμούς σύγκλισης η εκθετική συγκλίνει πιο αργά από την πολυωνυμική στην αρχή των χρονικών διαστημάτων, ενώ στη συνέχεια συμπεριφέρονται παραπλήσια, με αποτέλεσμα να καλύπτεται όλο το εύρος του διαστήματος των πιθανών χρονικά εξαρτώμενων στρατηγικών. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να δημιουργηθεί ένα απειροσύνολο τέτοιων συναρτήσεων και επομένως ένα απειροσύνολο στρατηγικών. Αντίστροφα, για μικρότερες τιμές της παραμέτρου σύγκλισης β

η εκθετική συνάρτηση θα «περιμένει» περισσότερο από την πολυωνυμική προτού κινηθεί προς την ελάχιστη τιμή. Η μορφή των δυο οικογενειών είναι:

$$\text{Πολυωνυμική: } f^a(t_l) = \kappa_j^\alpha + (1 - \kappa_j^\alpha) \left(\frac{\min(t_l, t_{\max})}{t_{\max}} \right)^{\frac{1}{\beta}}$$

$$\text{Εκθετική: } f^a(t_l) = e^{\left[1 - \frac{\min(t_l, t_{\max})}{t_{\max}} \right]^\beta \ln \kappa_j^\alpha}$$

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται ένα σύνολο συναρτήσεων της μιας και της άλλης μορφής, για τιμές β από 0.5 έως 5 (αντιπροσωπευτικό διάστημα πραγματικών διαδικασιών), χρονικά περιθώρια από 0 έως 200 και όρια μέγιστου-ελάχιστου του πράκτορα, $[0, 100]$. Με τη βοήθεια του σχήματος αυτού φαίνεται η συμπληρωματική ιδιότητα των δυο οικογενειών και η διαφορά στη σύγκλισή τους για τις ίδιες τιμές της παραμέτρου β .



Σχήμα 2-1. Αναπαράσταση της στρατηγικής πράκτορα που ακολουθεί χρονικά εξαρτώμενη στρατηγική σε συνάρτηση με το χρόνο και την τιμή της παραμέτρου σύγκλισης β

Οι δυο οικογένειες συναρτήσεων μπορούν να ομαδοποιηθούν και με βάση τις τιμές της παραμέτρου σύγκλισης β , όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί (αναπαράσταση της τιμής της συνάρτησης $a(t)$ βάσει του βαθμού σύγκλισης β), σε δυο οικογένειες:

1. Αργής Σύγκλισης (Boulware): Η κατηγορία αυτή χαρακτηρίζεται από τις στρατηγικές εκείνες για τις οποίες $\beta < 1$. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο πράκτορας διατηρεί τις προσφορές του στα αρχικά επίπεδα, μέχρις ότου ο χρόνος πλησιάζει προς την εξάντλησή του. Η συμπεριφορά που επιδεικνύεται στην περίπτωση αυτή μπορεί να κατανοηθεί εύκολα αν πάρουμε τα:

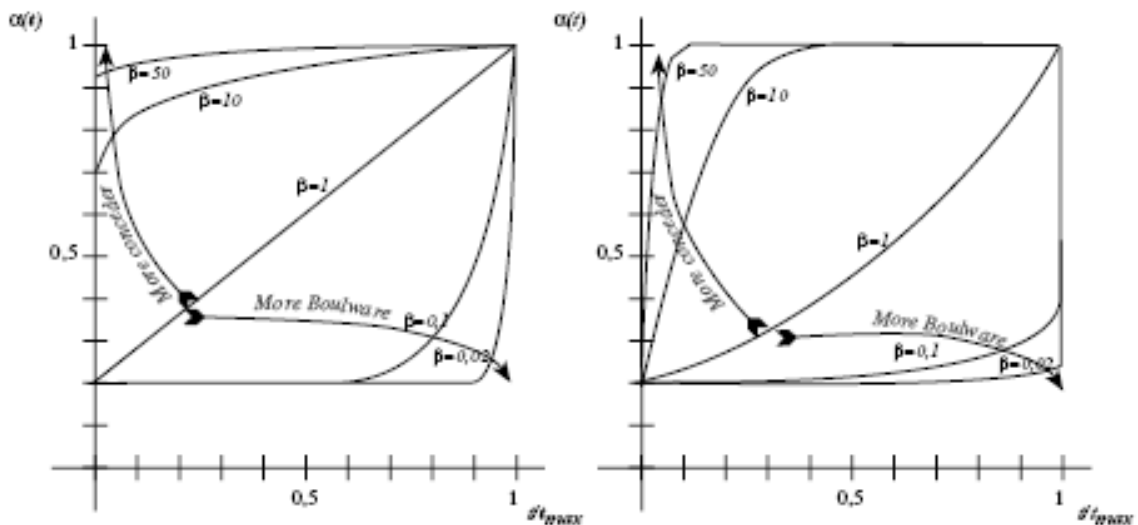
$$\lim_{\beta \rightarrow 0^+} \kappa_j^a + (1 - \kappa_j^a) \left(\frac{\min(t, t_{\max})}{t_{\max}} \right)^{\frac{1}{\beta}} = \kappa_j^a$$

$\lim_{\beta \rightarrow 0^+} e^{\left(1 - \frac{\min(t, t_{\max})}{t_{\max}}\right)^\beta \ln \kappa_j^a} = \kappa_j^a$, οπότε η τελική τιμή είναι ταυτόσημη με την αρχική για β οσοδήποτε μικρό.

2. Γρήγορης Σύγκλισης (Conceder): Η κατηγορία αυτή χαρακτηρίζεται από τις στρατηγικές για τις οποίες ισχύει $\beta > 1$. Ο πράκτορας στην περίπτωση αυτή συγκλίνει ταχύτατα στην τελική τιμή (reservation value). Μάλιστα ισχύουν οι σχέσεις:

$$\lim_{\beta \rightarrow +\infty} \kappa_j^a + (1 - \kappa_j^a) \left(\frac{\min(t, t_{\max})}{t_{\max}} \right)^{\frac{1}{\beta}} = 1$$

$\lim_{\beta \rightarrow +\infty} e^{\left(1 - \frac{\min(t, t_{\max})}{t_{\max}}\right)^\beta \ln \kappa_j^a} = 1$, οπότε η τελική τιμή είναι περίπου ίση με την τιμή συμφωνίας που έχει αρχικά θεθεί, ανάλογα με το αν ο πράκτορας είναι πελάτης (μέγιστο) ή παροχέας (ελάχιστο).



Σχήμα 2–2. Πολυωνυμική (αριστερά) και Εκθετική (δεξιά) συνάρτηση σύγκλισης για χρονικά εξαρτώμενες στρατηγικές με βάση τον χρόνο διαπραγμάτευσης

Τέλος, υπάρχουν και οι γραμμικά μεταβαλλόμενες συναρτήσεις στις οποίες ισχύει ότι $\beta = 1$ και η μορφή τους φαίνεται στις κεντρικές γραμμές του παραπάνω σχήματος. Αντιστοιχούν δε, σε πράκτορες ουδέτερης χρονικά εξαρτώμενης συμπεριφοράς.

2.3.5.2 Στρατηγικές Εξαρτώμενες από Πόρους (Resource-Dependent Strategies)

Οι στρατηγικές αυτές είναι παρόμοιες με τις χρονικά εξαρτώμενες. Πράγματι, οι τελευταίες μπορούν να θεωρηθούν ως εξαρτώμενες από πόρους, αν υποθέσουμε ότι ο προς εξέταση πόρος είναι ο χρόνος. Βέβαια, ενώ ο χρόνος όσο οδεύουμε προς το τέλος της εκάστοτε διαδικασίας εξαντλείται, δε συμβαίνει το ίδιο και με άλλους πόρους, οπότε γι' αυτό το εκάστοτε πρότυπο της εξαρτώμενης από πόρους στρατηγικής μεταβάλλεται. Η μοντελοποίηση που πραγματοποιείται για τις στρατηγικές αυτές, δεν διαφέρει ουσιαστικά από τη μοντελοποίηση αυτών που προηγήθηκαν, ωστόσο πρέπει να γίνει μια διαφοροποίηση με βάση το αν ο χρόνος μοντελοποιείται δυναμικά ή όχι.

Στο σημείο αυτό εισάγεται η έννοια της δυναμικής τιμής t_{\max}^a που αναπαριστά μια ευριστική τιμή σχετικά με το πόσοι πόροι υπάρχουν στο περιβάλλον. Όσο πιο αραιοί είναι οι πόροι αυτοί, τόσο μεγαλύτερη είναι η ανάγκη για συμφωνία. Στα περισσότερα περιβάλλοντα μάλιστα, ο πιο σημαντικός πόρος που πρέπει να μοντελοποιηθεί είναι ο αριθμός των πρακτόρων που διαπραγματεύονται με έναν άλλο πράκτορα και μάλιστα σημαντική παράμετρος είναι και η προθυμία ή όχι για συμφωνία. Από τη μια, όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των πρακτόρων που διαπραγματεύονται με έναν πράκτορα a για ένα συγκεκριμένο αγαθό ή υπηρεσία, τόσο μικρότερη είναι η πίεση για τον συγκεκριμένο πράκτορα να καταλήξει σε μια συμφωνία. Από την άλλη πλευρά όμως, όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια μιας διαδικασίας διαπραγμάτευσης, τόσο μεγαλώνει η πίεση προς τον πράκτορα a να πετύχει μια συμφωνία. Επιπρόσθετα, όσο μεγαλώνει η χρονική διάρκεια της διαπραγμάτευσης, τόσο αυξάνεται η πίεση προς τον ίδιο πράκτορα προκειμένου να επιτύχει μια συμφωνία. Έτσι, αναπαριστώντας το σύνολο των πρακτόρων που διαπραγματεύονται με τον παραπάνω πράκτορα ως $N^a(t) = \{i \mid x_{i \leftrightarrow a}^t \text{ is active}\}$, ορίζουμε την δυναμική χρονική εξάντληση του πράκτορα a ως εξής:

$$t_{\max}^a = \mu^a \frac{|N^a(t_c)|^2}{\sum_i |x_{i \leftrightarrow a}^{t_c}|}$$

Στην παραπάνω σχέση, ο παράγοντας μ^a αναπαριστά τη χρονική διάρκεια που ο πράκτορας a θεωρεί λογικό ότι μπορεί να αφιερώσει στη διαδικασία, ενώ στον παρονομαστή, ο παράγοντας $|x_{i \leftrightarrow a}^t|$ αντιστοιχεί στο μήκος της τρέχουσας διαπραγμάτευσης μεταξύ των δυο πρακτόρων. Είναι προφανές ότι ο αριθμός των πρακτόρων βρίσκεται στον αριθμητή επομένως, ο χρόνος είναι ευθέως ανάλογος με αυτόν, ενώ από την άλλη πλευρά το μέσο μήκος της διαπραγμάτευσης είναι στον παρονομαστή, καθιστώντας το μέγεθος αυτό αντιστρόφως ανάλογο του χρόνου.

Πέρα από τις στρατηγικές της παραπάνω μορφής, οι πιο διαδεδομένες στρατηγικές εξαρτώμενες από πόρους είναι εκείνες που οι προσφορές που σχηματίζονται είναι συνάρτηση του πως καταναλώνεται ένας πόρος. Οι πόροι αυτοί μπορεί να αντιστοιχούν στους οικονομικούς πόρους που ανταλλάσσονται μεταξύ των πρακτόρων, στον αριθμό των πρακτόρων που ενδιαφέρονται για μια διαπραγμάτευση ή/και στο χρόνο, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένα. Αυτό που περιμένουμε από διαδικασίες με τέτοιου είδους στρατηγικές, είναι ο εκάστοτε πράκτορας να γίνεται πιο συμβιβαστικός όσο ελαττώνεται ο πόρος που αποτελεί κριτήριο της στρατηγικής του. Έτσι, όταν η τιμή προσφοράς του εκάστοτε πράκτορα συγκλίνει προς την τελική τιμή, ο αντίστοιχος πόρος οδεύει προς εξάντληση. Όταν υπάρχει ο πόρος σε αφθονία, η στάση του πράκτορα είναι σαφώς λιγότερο συμβιβαστική, καταλήγοντας σε μια πιο Boulware συμπεριφορά. Η στάση αυτή μοντελοποιείται ως εξής:

$$a_j^a(t) = \kappa_j^a + (1 - \kappa_j^a) e^{-resource(t)}$$

Είναι προφανές ότι η συνάρτηση $-resource(t)$ αντιστοιχεί στην ποσότητα του εκάστοτε πόρου τη χρονική στιγμή t . Για τη συνάρτηση αυτή μπορούν να χρησιμοποιηθούν κάποιες από τις παρακάτω συναρτήσεις:

$$resource(t) = |N^a(t)|$$

$$resource(t) = \mu^a \frac{|N^a(t)|^2}{\sum_i |x_{i \leftrightarrow a}^t|}$$

$$resource(t) = \min(0, t_{\max} - t)$$

Στο πρώτο παράδειγμα, ο πόρος είναι ο αριθμός των πρακτόρων που διαπραγματεύονται, δηλαδή όσο περισσότεροι οι πράκτορες τόσο μικρότερη η ανάγκη για την επίτευξη συμφωνίας. Το δεύτερο παράδειγμα αναλύθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, σημειώνοντας ότι όσο περισσότεροι είναι οι πράκτορες, τόσο μικρότερη είναι η πίεση και ταυτόχρονα όσο μεγαλύτερη η διάρκεια των διαδικασιών, τόσο μεγαλύτερη η πίεση να ολοκληρωθούν. Τέλος, στο τρίτο παράδειγμα, ο χρόνος μοντελοποιείται και πάλι ως πόρος, με τη μόνη διαφορά ότι εδώ η ποσότητα του πόρου μειώνεται γραμμικά με το χρόνο που παύεται.

2.3.5.3 Στρατηγικές Εξαρτώμενες από Συμπεριφορά (Behaviour-Dependent Strategies)

Στην κατηγορία αυτή των στρατηγικών διαπραγμάτευσης η επόμενη προσφορά υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψιν τη συμπεριφορά που επέδειξε ο αντίπαλος πράκτορας. Οι στρατηγικές αυτές έχουν αποδειχθεί εξαιρετικά σημαντικές σε περιπτώσεις που έχουμε συνεργατική στάση των πρακτόρων και επιχειρούνται αμοιβαία βήματα για την επίλυση των διαφορών και την επίτευξη συμφωνιών (Axelrod 1994). Οι στρατηγικές αυτές διαφοροποιούνται και ομαδοποιούνται σε τρεις βασικές κατηγορίες. Η μια κατηγορία ενσωματώνει εκείνες τις στρατηγικές στις οποίες η μίμηση του αντιπάλου (όπως χαρακτηριστικά αναφέρεται ο όρος για τις στρατηγικές αυτές) είναι αναλογική, η δεύτερη περιλαμβάνει στρατηγικές απόλυτης μίμησης και τέλος η τρίτη στρατηγικές μίμησης αναλογικής και μέσου όρου. Πιο αναλυτικά, οι παραπάνω τρεις κατηγορίες αναφέρονται παρακάτω: Δοθείσης λοιπόν μιας αλληλουχίας προσφορών και αντιπροσφορών $\{ \dots, x_{b \rightarrow a}^{t_{n-2\delta}}, x_{a \rightarrow b}^{t_{n-2\delta+1}}, x_{b \rightarrow a}^{t_{n-2\delta+2}}, \dots, x_{b \rightarrow a}^{t_{n-2}}, x_{a \rightarrow b}^{t_{n-1}}, x_{b \rightarrow a}^{t_n} \}$, $\delta \geq 1$, έχουμε:

1. Σχετικά Αποκρινόμενες (Relative Tit-For-Tat)

Ο πράκτορας αναπαράγει την συμπεριφορά που επέδειξε ο αντίπαλός του $\delta \geq 1$, σε όρους ποσοστού %. Αν δηλαδή ο αντίπαλος μείωσε την προσφορά του κατά 5% στο βήμα ενδιαφέροντος $\delta \geq 1$ σε σχέση με το αμέσως προηγούμενο, τότε και ο ίδιος θα προχωρήσει σε μια αντίστοιχη αύξηση κατά το ίδιο ποσοστό στην επόμενη προσφορά του. Για την εφαρμογή της συγκεκριμένης στρατηγικής πρέπει να ισχύει ότι $n > 2\delta$, όπου n το σύνολο των διαθέσιμων προς διαπραγμάτευση γύρων. Η σχέση εφαρμογής της στρατηγικής αυτής είναι:

$$x_{a \rightarrow b}^{t_{n+1}}[j] = \min(\max(\frac{x_{b \rightarrow a}^{t_{n-2\delta}}[j]}{x_{b \rightarrow a}^{t_{n-2\delta+2}}[j]} x_{a \rightarrow b}^{t_{n-1}}[j], \min_j^a), \max_j^a)$$

2. Τυχαία Απόλυτα Αποκρινόμενες (Random Absolute Tit-for-Tat)

Η κατηγορία αυτή ταυτίζεται με τις προηγούμενες, αλλά σε απόλυτες τιμές. Δηλαδή, ενώ πριν είχαμε αναπαραγωγή της συμπεριφοράς του αντιπάλου με αναλογικό τρόπο, τώρα η αναπαραγωγή αυτή γίνεται κατ' απόλυτους ρυθμούς. Αν για παράδειγμα έχουμε μια προσφορά του αντιπάλου με μείωση κατά μια απόλυτη τιμή ίση με 2, τότε η αντίστοιχη προσφορά του αντιπάλου πράκτορα πρέπει να είναι αύξηση κατά το ίδιο ποσό, δηλαδή 2. Μάλιστα, λόγω της ιδιαιτερότητας αυτής της οικογένειας, που μπορεί να οδηγήσει σε αδιέξοδα τις διαδικασίες, έχει προστεθεί μια γεννήτρια τυχαίων αριθμών για να διαφοροποιεί ελαφρώς την απόκριση κατ' απόλυτο τρόπο. Έτσι αποφεύγονται πιθανά τοπικά ακρότατα που θα μπορούσαν να

εγκλωβίσουν τις προσφορές του εκάστοτε πράκτορα. Επίσης, M στην σχέση που ακολουθεί, είναι ο παράγοντας εκείνος που καθορίζει το μέγιστο όριο για το οποίο ο πράκτορας που ακολουθεί τη στρατηγική μπορεί να μεταβάλλει την αποκρινόμενη συμπεριφορά του. Και εδώ ισχύει ο ίδιος κανόνας εφαρμογής όπως και πριν:

$$x_{a \rightarrow b}^{t_{n+1}}[j] = \min(\max(x_{a \rightarrow b}^{t_{n-1}}[j] + (x_{b \rightarrow a}^{t_{n-2\Delta}}[j] - x_{b \rightarrow a}^{t_{n-2\Delta+2}}[j]) + (-1)^s R(M), \min_j^a), \max_j^a)$$

και $s = \begin{cases} 0 & \text{if } V_j^a \text{ is decreasing} \\ 1 & \text{if } V_j^a \text{ is increasing} \end{cases}$, ενώ $R(M)$ είναι η γεννήτρια τυχαίων αριθμών

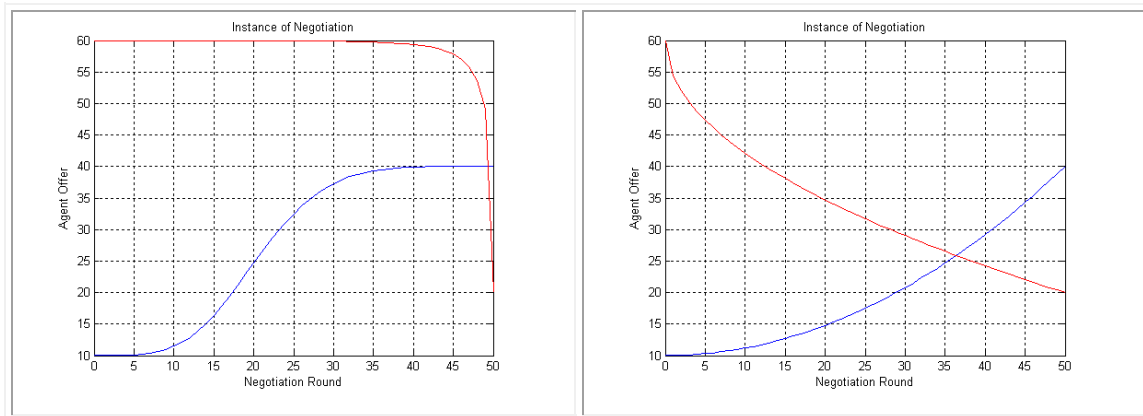
για την αποφυγή τοπικών ακρότατων στο διάστημα $[0, M]$.

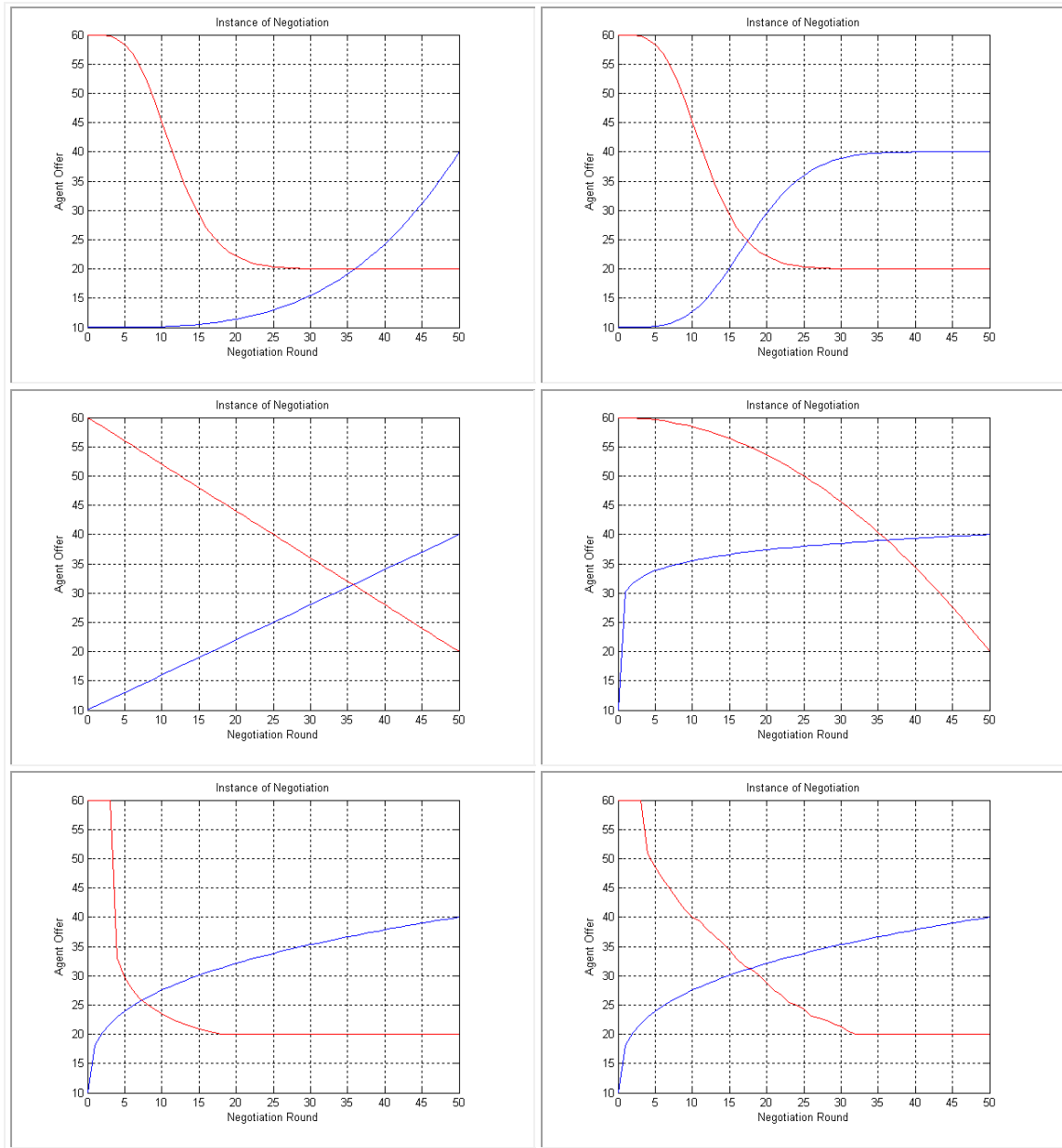
3. Μέσου Όρου Αποκρινόμενες (Average Tit-for-Tat)

Στην κατηγορία αυτή, ο πράκτορας που μιμείται τον αντίπαλο πραγματοποιεί προσφορές που βασίζονται, όχι σε μια αύξηση ή μείωση της προσφοράς του αντιπάλου, αλλά σε ένα μέσο όρο προσφορών του αντιπάλου σε ένα σύνολο προσφορών του μήκους $\gamma \geq 1$. Στην ακραία περίπτωση που η παράμετρος αυτή ισούται με 1, έχουμε την πρώτη κατηγορία στρατηγικών μίμησης. Και εδώ η προϋπόθεση εφαρμογής είναι $n > 2\delta$, ενώ η σχέση εφαρμογής γίνεται:

$$x_{a \rightarrow b}^{t_{n+1}}[j] = \min(\max(\frac{x_{b \rightarrow a}^{t_{n-2\gamma}}[j]}{x_{b \rightarrow a}^{t_n}[j]} x_{a \rightarrow b}^{t_{n-1}}[j], \min_j^a), \max_j^a)$$

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμη η παράθεση κάποιων γραφικών παραδειγμάτων στιγμιότυπων διαπραγματεύσεως με στόχο να γίνουν περισσότερο κατανοητές οι στρατηγικές που μπορούν να ακολουθηθούν και ο τρόπος που επιτυγχάνεται η εκάστοτε συμφωνία.





Σχήμα 2–3. Ποικίλες στρατηγικές πελάτη και παροχέα και επισκόπηση στιγμιότυπων διαπραγματεύσεων

Στα παραπάνω σχήματα (στο Σχήμα 2.3) φαίνεται παραστατικά το ιστορικό προσφορών και αντιπροσφορών για διάφορες στρατηγικές πελάτη και παροχέα. Να σημειωθεί εδώ πως οι ακραίες τιμές για τον πελάτη είναι μέγιστο 40 και ελάχιστο 10, ενώ για τον παροχέα, μέγιστο 60 και ελάχιστο 20. Οι χρόνοι διαπραγμάτευσης που διαθέτουν και οι δύο έχουν επιλεγεί ταυτόσημοι και ίσοι με 50. Τα πέντε πρώτα γραφήματα που φαίνονται στο παραπάνω σχήμα αντιστοιχούν σε στρατηγικές χρονικά εξαρτώμενες για διάφορες τιμές του βαθμού σύγκλισης και επίσης για πολωνυμική και εκθετική σύγκλιση. Συγκεκριμένα, το πρώτο σχήμα αντιστοιχεί σε εκθετικό πελάτη και εκθετικό παροχέα με ρυθμούς σύγκλισης 5 και 0.5 αντίστοιχα. Στο δεύτερο έχουμε πολωνυμικό πελάτη και παροχέα με ρυθμούς σύγκλισης 0.5 και 2 αντίστοιχα. Στο τρίτο σχήμα αναπαρίσταται ένας εκθετικός παροχέας με ρυθμό 10 και

έναν πολυωνυμικό πελάτη με ρυθμό 0.3. Στο τέταρτο σχήμα έχουμε εκθετικό πελάτη και παροχέα με ρυθμούς σύγκλισης 6 και 10 αντίστοιχα, ενώ στο πέμπτο σχήμα έχουμε γραμμικούς πολυωνυμικούς πελάτη και παροχέα. Στο έκτο σχήμα έχουμε εξαρτώμενο από πόρο απαιτητικό πελάτη (τιμή αγοράς) και πολυωνυμικό παροχέα με ρυθμό 0.5. Τέλος, στα σχήματα 7 και 8 έχουμε πελάτη πολυωνυμικό χρονικά εξαρτώμενο με ρυθμό 3 και αφενός σχετικά αποκρινόμενο παροχέα και αφετέρου τυχαία απόλυτα αποκρινόμενο με $\delta = 2$.

2.3.5.4 Υβριδικές Στρατηγικές Διαπραγμάτευσης

Ένα βασικό τμήμα της παρούσας διατριβής αφιερώνεται σε στρατηγικές που αποτελούν συνδυασμό βασικών στρατηγικών από δύο ή περισσότερες κατηγορίες, που εκφράζονται ως ζυγισμένο άθροισμα αυτών. Έτσι, η στρατηγική που προκύπτει δεν αποτελεί υποσύνολο της βασικής, αλλά μια ανάγκη να μοντελοποιηθεί μια εναλλακτική συμπεριφορά, που αποσκοπεί συνήθως στο να εκφραστεί η διάθεση του πράκτορα που την υιοθετεί να συνεργαστεί με τον αντίπαλο και να εμφανίσει με τον τρόπο αυτό μια πιο ουδέτερη συμπεριφορά.

Ορισμός: Δοθέντος ενός στιγμιοτύπου διαπραγμάτευσης πόρων μεταξύ των πρακτόρων a και b τη χρονική στιγμή t_n στο πεδίο $X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_p$, με $x_{a \leftrightarrow b}^{t_n} = \{\dots, x_{b \rightarrow a}^{t_n}\}$ και ενός πεπερασμένου συνόλου στρατηγικών $T^a = \{\tau_i \mid \tau_i : MS_a \rightarrow X\}_{i \in [1, m]}$, τότε μια ζυγισμένη αντιπροσφορά, είναι κάθε γραμμικός συνδυασμός των στρατηγικών που παράγουν την τιμή τη χρονική στιγμή t_{n+1} μέσα στο τρέχον στιγμιότυπο. Έτσι, για το αγαθό j ισχύει:

$x_{a \rightarrow b}^{t_{n+1}}[j] = \gamma_{j1} \tau_1 (MS_a^{t_{n+1}})[j] + \gamma_{j2} \tau_2 (MS_a^{t_{n+1}})[j] + \dots + \gamma_{jm} \tau_m (MS_a^{t_{n+1}})[j]$, έτσι ώστε για κάθε αγαθό j , $\sum_{i \in [1, m]} \gamma_{ji} = 1$ και $x_{a \leftrightarrow b}^{t_{n+1}} = \{\dots, x_{b \rightarrow a}^{t_{n+1}}, x_{a \rightarrow b}^{t_{n+1}}\}$.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα για το πότε αυτό το ζυγισμένο άθροισμα μπορεί να είναι χρήσιμο, προκύπτει αν επιχειρηθεί η μοντελοποίηση μιας λείας μετάβασης από μια εξαρτώμενη από συμπεριφορά στρατηγική σε μια άλλη της ίδιας ή άλλης οικογένειας. Είναι προφανές ότι η μετάβαση αυτή γίνεται με διαδοχική προσαρμογή των βαρών της παραπάνω σχέσης κλιμακωτά με το πέρασμα του χρόνου.

Πέρα από την κατηγορία αυτή, υπάρχουν οι περιπτώσεις όπου ένας πράκτορας επιθυμεί να έχει ταυτόχρονα και για όλο το στιγμιότυπο, μια στρατηγική που είναι ζυγισμένο άθροισμα επιμέρους βασικών στρατηγικών. Αυτή η περίπτωση που είναι και η δυσκολότερα αντιμετωπίσιμη, μπορεί να προκύψει αν κάποιος πράκτορας επιθυμεί να εμφανίζει ταυτόχρονα διαφορετικές πτυχές της συμπεριφοράς του και να ωθεί τη διαδικασία προς το επιθυμητό αποτέλεσμα θέλοντας ίσως να παραπλανήσει τον αντίπαλό του. Οι στρατηγικές

αυτές, που αποτελούν ζυγισμένο άθροισμα επιμέρους στρατηγικών για όλο το στιγμιότυπο της διαδικασίας και εκφράζονται μέσω του παραπάνω ορισμού ονομάζονται υβριδικές στρατηγικές και θα εξεταστούν στα προς επίλυση προβλήματα όπως και οι βασικές στρατηγικές.

2.4 Νευρωνικά Δίκτυα

2.4.1 Εισαγωγή

Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούν μια σχετικά νέα περιοχή στις φυσικές επιστήμες, καθότι έχουν γίνει γνωστά και έχουν αναπτυχθεί μόνο κατά τα τελευταία σαράντα περίπου χρόνια. Εν τούτοις, η περιοχή αυτή έχει δει μια μεγάλη άνθηση. Το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι ότι οι πρώτες αρχές και λειτουργίες τους βασίζονται στο νευρικό σύστημα των ζώων οργανισμών (και φυσικά του ανθρώπου), αλλά η μελέτη και η χρήση τους έχει προχωρήσει πολύ πέρα από τους βιολογικούς οργανισμούς, και σήμερα τα νευρωνικά δίκτυα χρησιμοποιούνται για να λύσουν κάθε είδους προβλήματα με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η φιλοσοφία τους όμως είναι διαφορετική από τον τρόπο με τον οποίο δουλεύουν οι κλασικοί υπολογιστές. Η λειτουργία τους προσπαθεί να συνδυάσει τον τρόπο σκέψης του ανθρώπινου εγκεφάλου με τον αφηρημένο μαθηματικό τρόπο σκέψης. Έτσι στα νευρωνικά δίκτυα χρησιμοποιούνται ιδέες όπως, π.χ. ένα δίκτυο μαθαίνει και εκπαιδεύεται, θυμάται ή ξεχνά μια αριθμητική τιμή, κλπ. πράγματα που μέχρι τώρα αποδίδονταν μόνο στην ανθρώπινη σκέψη.

Η έμπνευση για κάθε μορφής νευρωνικό δίκτυο ξεκινά από την βιολογία. Οι ζώντες οργανισμοί, από τους πιο απλούς μέχρι τον άνθρωπο, έχουν ένα νευρικό σύστημα, το οποίο είναι υπεύθυνο για μια πλειάδα από διεργασίες, όπως είναι η επαφή με τον εξωτερικό κόσμο, η μάθηση, η μνήμη, κλπ. Το νευρικό σύστημα των οργανισμών αποτελείται από πολλά νευρωνικά δίκτυα τα οποία είναι εξειδικευμένα στις διεργασίες αυτές. Η κεντρική μονάδα του νευρικού συστήματος είναι, οπωσδήποτε, ο εγκέφαλος, ο οποίος επίσης αποτελείται από νευρωνικά δίκτυα. Κάθε νευρωνικό δίκτυο με τη σειρά του, αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό μονάδων, που λέγονται νευρώνες, ή νευρόνια (neurons). Ο νευρώνας είναι η πιο μικρή ανεξάρτητη μονάδα του δικτύου. Οι νευρώνες συνεχώς και ασταμάτητα επεξεργάζονται πληροφορίες, παίρνοντας και στέλνοντας ηλεκτρικά σήματα σε άλλους νευρώνες. Βλέπουμε λοιπόν ότι οι πρώτες γνώσεις μας για τα νευρωνικά δίκτυα προέρχονται από την βιολογία και την ιατρική.

Η έννοια του νευρωνικού δικτύου αναγνωρίστηκε και διατυπώθηκε πρώτη φορά από τον φυσιολόγο Hebb το 1949 (Hebb 1949), ο οποίος ήταν ο πρώτος που περιέγραψε τη δομή

και τη συμπεριφορά ενός βιολογικού νευρωνικού συστήματος, ενώ οι προσεγγίσεις που ακολούθησαν αυτή τη βασική δομή οδήγησαν στα σημερινά πολύπλοκα μοντέλα των νευρωνικών δικτύων. Ο ακρογωνιαίος λίθος ωστόσο όλων των μοντέλων και περιγραφών είναι ο γνωστός νευρώνας McCulloch-Pitts (McCulloch and Pitts 1943), από τα ονόματα των δυο διακεκριμένων νευρολόγων που ακολουθώντας αυστηρή λογική, μοντελοποίησαν ένα νευρωνικό δίκτυο χρησιμοποιώντας νευρώνες ως δυαδικές συσκευές με καθορισμένα επίπεδα απόκρισης βάσει της εισόδου, και με ένα δίκτυο συνάψεων για τη διάδοση των σημάτων μεταξύ των νευρώνων. Το μοντέλο αυτό ακολουθήθηκε από το μοντέλο του υπολογιστικού νευρώνα, που εξελίχθηκε στο γνωστό perceptron από τον Rosenblatt (Rosenblatt 1958). Το συγκεκριμένο μοντέλο είναι το πρώτο που ορίζει ένα αυτό-οργανώσιμο υπολογιστικό δίκτυο, ικανό να εκπαιδευτεί με τρόπο αναδρομικό και πολλαπλών επαναλήψεων. Επιπλέον, οι Widrow και Hoff (Widrow and Hoff 1960) δημιούργησαν το ADALINE (Adaptive Linear Element) και το MADALINE (Multiple Adaline) με στόχο να μιμηθούν τους νευρώνες του perceptron. Για την εκπαίδευση των νευρώνων χρησιμοποίησαν τον αλγόριθμο ελαχίστων τετραγώνων, ή αλλιώς delta rule. Στη συνέχεια το 1969, οι Minsky και Papert (Minsky and Papert 1969) προσπάθησαν να διαψεύσουν τη δυνατότητα των perceptron, όπως αυτή είχε περιγραφεί, να μαθαίνουν αποδοτικά προκειμένου για δίκτυα μεγάλης έκτασης, κάτι που ωστόσο αναιρέθηκε από τους Rumelhart και McClelland (Rumelhart and McClelland 1986). Οι τελευταίοι μάλιστα, απέδειξαν ότι τα πολυεπίπεδα perceptron έχουν αξιοσημείωτες δυνατότητες μη-γραμμικής διαφοροποίησης δεδομένων εισόδου, και ότι μπορούν να εκπαιδευτούν για ακόμα δυσκολότερα πρότυπα μέσω της εκμάθησης πίσω διάδοσης του σφάλματος (backpropagation). Με την απόδειξη αυτή ουσιαστικά τερματίζεται η προσπάθεια θεμελίωσης των νευρωνικών δικτύων με μοντέλα perceptron.

Μετά από μια περίοδο ύφεσης, το ερευνητικό ενδιαφέρον επικεντρώθηκε σε εναλλακτικές μορφές δικτύων, όπως τα αυτό-οργανώσιμα δίκτυα (self organizing (Amari and Maginu 1988)), τα ταλαντώσιμα (resonating (Grossberg 1988)), τα δίκτυα εμπρός τροφοδότησης (feedforward (Werbos 1974)), τα δίκτυα συσχετιζόμενης μνήμης (associative memory (Kohonen 1989)), τα αναδρομικά δίκτυα (recurrent networks (Elman 1980)), τα δίκτυα τύπου RBF (radial basis function networks (Broomhead, and Lowe 1988)), τα πιθανοτικά δίκτυα (probabilistic (Specht 1988)), κλπ. Παρόλα αυτά όμως και παρά τη δεδομένης έκτασης ερευνητική προσπάθεια σε όλους τους παραπάνω τύπους νευρωνικών δικτύων, τα πιο κατανοητά και περισσότερο μελετημένα δίκτυα, καθώς και τα ευρύτερα χρησιμοποιούμενα είναι τα πολυεπίπεδα δίκτυα τύπου perceptron (MLP) και τα δίκτυα radial basis function (RBF). Πρόκειται για δύο τύπους δικτύων με πρακτικές εφαρμογές στο σύνολο σχεδόν των περιοχών της επιστήμης των υπολογιστών και όπου απαιτείται προσέγγιση, πρόβλεψη και μοντελοποίηση δεδομένων, με πολύ σημαντικά αποτελέσματα και τεράστια χρησιμότητα.

Εν γένει τα νευρωνικά δίκτυα ξεχώρισαν για τις πρακτικές τους εφαρμογές, ήδη από την αρχή της χρήσης τους, για την αντιμετώπιση προβλημάτων, όπως ανάλυση σημάτων, εξαγωγή χαρακτηριστικών, κατανομή δεδομένων, αναγνώριση προτύπων, κλπ. Εξαιτίας της ικανότητας τους να αφομοιώνουν αποδοτικά γνώση για τα δεδομένα που τους προβάλλονται, τα νευρωνικά δίκτυα έχουν γίνει ιδιαίτερος αποδεκτά από το σύνολο σχεδόν της επιστημονικής κοινότητας, μιας και έχει πλέον αναγνωριστεί ότι μπορούν να μειώσουν αποτελεσματικά τις υπολογιστικές απαιτήσεις που απαιτούνται για την επίλυση προβλημάτων και λόγω της δυνατότητας για παράλληλη επεξεργασία μπορούν να επιταχύνουν την υπολογιστική διαδικασία και άρα την εξαγωγή συμπερασμάτων και μετρήσεων. Οι λόγοι αυτοί είναι και η βασική εξήγηση για το γεγονός ότι πλέον, νευρωνικά δίκτυα υπάρχουν σε πολλά προϊόντα, ακόμα και για στρατιωτικούς σκοπούς και μάλιστα ανταποκρίνονται πλήρως στις απαιτήσεις που είχαν τεθεί. Μάλιστα, οι λύσεις που προτάθηκαν με τη βοήθεια των νευρωνικών δικτύων, συνετέλεσαν στην επίλυση των προβλημάτων για την ανάλυση σειρών χρονικών δεδομένων, την εκτίμηση και την πρόβλεψη μελλοντικής συμπεριφοράς, μόνο από τη συλλογή παρατηρήσεων από το περιβάλλον. Συνοψίζοντας την εισαγωγή αυτή στα νευρωνικά δίκτυα, αναφέρονται εδώ οι βασικές τους ιδιότητες και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους:

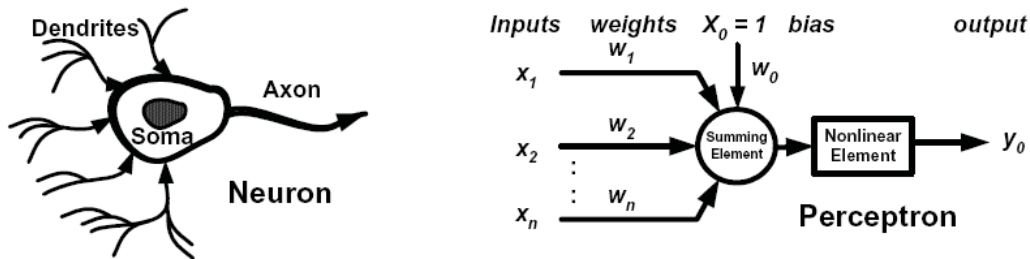
- Έχουν την ικανότητα να εκτελούν γενική μη-γραμμική αντιστοίχιση ανάμεσα σε ένα υποσύνολο δεδομένων από παρελθούσες χρονικές στιγμές σε μελλοντικές
- Έχουν την ικανότητα να συλλέγουν αξιόπιστα συγκεκριμένα λειτουργικά χαρακτηριστικά από απλά δεδομένα, κάτι που είναι εξαιρετικά σημαντικό όταν οι σχέσεις μεταξύ των δεδομένων δεν είναι γνωστές εξαρχής ή είναι δύσκολο να μοντελοποιηθούν με τη βοήθεια μαθηματικών συναρτήσεων και μόνο από τα συλλεγμένα δεδομένα
- Πρόκειται για καθολικούς προσεγγιστείς συναρτήσεων που επιτρέπουν τη μοντελοποίηση τυχαίων μη γραμμικών και συνεχών συναρτήσεων με κάθε βαθμό ακρίβειας
- Μπορούν να μαθαίνουν και να γενικεύουν από απλά παραδείγματα χρησιμοποιώντας αυτό-προσεγγιζόμενες τεχνικές στα δεδομένα.

2.4.2 Βασικές Αρχιτεκτονικές Νευρωνικών Δικτύων

Το βασικό μοντέλο κάθε νευρωνικού δικτύου είναι ο νευρώνας, και η μοντελοποίηση του οφείλεται κατά βάση στους Widrow και Hoff (Widrow and Hoff 1960). Συγκεκριμένα, το perceptron είναι ένα προσαρμοζόμενο στοιχείο που μοιάζει με βιολογικό νευρώνα και αποτελείται από τα παρακάτω:

- Ένα κύριο σώμα (cell body) με έναν αντίστοιχο πυρήνα (nucleus)
- Δενδρίτες (dendrites) που τροφοδοτούν το κύριο σώμα με εξωτερικά σήματα
- Άξονες (axons) που μεταφέρουν τα σήματα έξω από το κύριο σώμα προς άλλα αντίστοιχα σώματα.

Ένα σχεδιάγραμμα νευρώνα φαίνεται αριστερά στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 2-4. Ο βασικός νευρώνας και η αντιστοίχιση του στο μαθηματικό μοντέλο

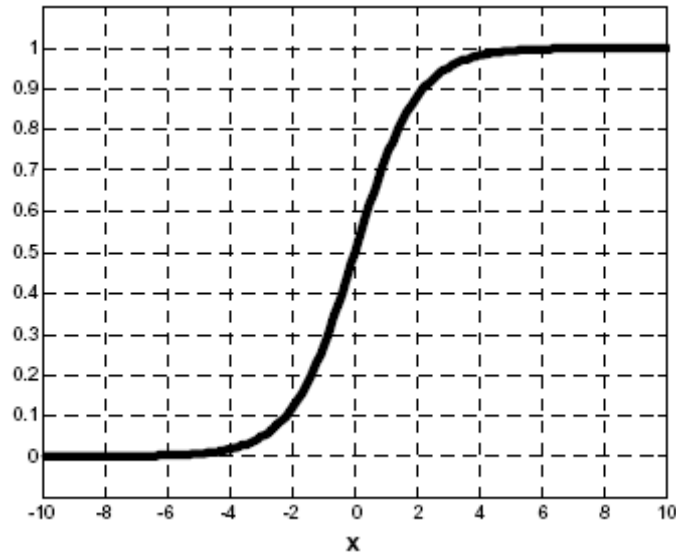
Το σχήμα του βιολογικού νευρώνα στα αριστερά, μεταφράζεται στο αναλογικό μοντέλο που απεικονίζεται στα δεξιά του παραπάνω σχήματος. Έτσι, βλέπουμε ότι το βασικό σώμα του νευρώνα μοντελοποιείται με τη βοήθεια ενός αθροιστικού στοιχείου και ενός μη γραμμικού στοιχείου και τα δύο αυτά μαζί αποτελούν το perceptron. Τα πολλαπλά σήματα εισόδου συνδέονται με τη βοήθεια ειδικών συνδέσμων με αντίστοιχα βάρη με το αθροιστικό στοιχείο, ενώ η απόκριση του νευρώνα είναι το αποτέλεσμα της εφαρμογής μιας άθροισης και ενός παράγοντα μη-γραμμικού στα στοιχεία εισόδου. Ένα επιπρόσθετο στοιχείο εισόδου $w_0 x_0$, που καλείται πολωτής (bias) είναι ο παράγοντας εκείνος που καθορίζει το όριο για το οποίο ο νευρώνας αποκρίνεται με τον έναν ή τον άλλο τρόπο (threshold). Το σήμα που προκύπτει στην έξοδο δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$y_0 = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + w_0\right), x_0 = 1, \text{ ενώ ο πολωτής ικανοποιεί τη σχέση } w^T x + w_0 \geq 0, \text{ που}$$

σημαίνει ότι το perceptron ενεργοποιείται και παράγει ένα σήμα εξόδου όταν η σχέση ικανοποιείται, διαφορετικά δεν αποκρίνεται.

Έχοντας περιγράψει τη βασική δομή του perceptron, πρέπει τώρα να δώσουμε έμφαση στον παράγοντα εκείνο που προκαλεί την ενεργοποίηση του νευρώνα ώστε να αποκριθεί ή όχι. Ο παράγοντας αυτός είναι γνωστός ως συνάρτηση ενεργοποίησης και ενώ αρχικά είχε τη μορφή μιας δυαδικής συνάρτησης βηματισμού (binary step function), αργότερα τροποποιήθηκε σε αυτό που γνωρίζουμε σήμερα τη sigmoid συνάρτηση μεταφοράς

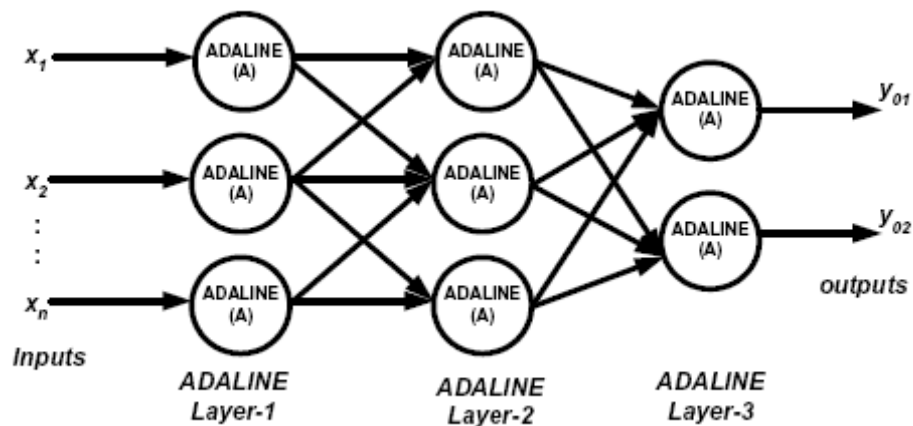
που έχει τη μορφή: $f(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)}$ και που γραφικά απεικονίζεται στο σχήμα που ακολουθεί (Block 1962):



Σχήμα 2-5. Λογιστική συνάρτηση μεταφοράς νευρωνικού δικτύου

Για την εκμάθηση του perceptron χρησιμοποιείται μια διαδικασία εκπαίδευσης που βασίζεται σε ένα σύνολο δεδομένων εκμάθησης, που δεν είναι τίποτε άλλο παρά συλλεγμένα δεδομένα από το περιβάλλον μέσα στο οποίο καλείται να δράσει. Κατά την εκπαίδευση αυτή, το perceptron προσαρμόζει τα βάρη που συνδέουν τους νευρώνες μεταξύ τους σύμφωνα πάντα με τα δεδομένα εισόδου και τα αναμενόμενα δεδομένα εξόδου. Η αρχική πρόταση για την εκπαίδευση του perceptron αποδίδεται στους Widrow και Hoff (Widrow and Hoff 1960) και προβλέπει τη χρησιμοποίηση του κανόνα δέλτα, δηλαδή μια αναδρομική εφαρμογή του αλγορίθμου α -LMC που προσθέτει σε κάθε βάρος $w(k)$ έναν παράγοντα «αποζημίωσης» $\eta\varepsilon(k)x(k)$, για τον υπολογισμό της επόμενης τιμής βάρους: $w(k+1) = w(k) + \eta\varepsilon(k)x(k)$, όπου η είναι ένας αναλογικός παράγοντας, $\varepsilon(k)$ είναι το σφάλμα στο βήμα k και $x(k)$ είναι το σήμα εισόδου στο ίδιο βήμα. Ο συγκεκριμένος κανόνας, παρά την απλότητά του, επιδεικνύει μεγάλη αποδοτικότητα και πολύ καλή ταχύτητα σύγκλισης στην εκπαίδευση του perceptron και μάλιστα για την πλειοψηφία των περιπτώσεων. Παρόλα αυτά, ένα απλό perceptron δεν μπορεί από μόνο του να «μάθει» αρκετά ώστε να είναι ικανό να επιλύσει πολύπλοκα προβλήματα, εξαιτίας του εύρους των υπολογιστικών του δυνατοτήτων λόγω της μεγάλης του απλότητας. Για το λόγο αυτό έχει αποδειχθεί και είναι πλέον ευρέως κατανοητό ότι το perceptron, είναι σε θέση να επιλύει μόνο γραμμικά προβλήματα διάκρισης δεδομένων και για το σκοπό αυτό δεν μπορεί να θεωρηθεί σε καμία περίπτωση μια συσκευή υπολογισμού γενικού σκοπού. Το πρόβλημα όμως αυτό καλείται και καταφέρνει να επιλύσει

ο συνδυασμός πολλαπλών νευρώνων perceptron με οργάνωση σε πολλαπλά επίπεδα, σχηματίζοντας τα perceptron πολλαπλών επιπέδων (MLP). Τα νευρωνικά αυτά δίκτυα, διαθέτουν εκτός από τα απλά επίπεδα εισόδου και εξόδου, ένα ή περισσότερα επίπεδα κρυφών νευρώνων που εισάγονται μεταξύ των επιπέδων εισόδου και εξόδου, σχηματίζοντας έτσι μια σειριακή δικτυακή δομή με εκτεταμένες συνδυαστικές και υπολογιστικές δυνατότητες όπως θα αναφερθεί και παρακάτω. Μάλιστα ο όρος κρυφό επίπεδο προτιμήθηκε έναντι του ενδιάμεσου επιπέδου, επειδή το επίπεδο αυτό είναι προσεγγίσιμο μόνο από τα επίπεδα εισόδου και εξόδου ή από τα υπόλοιπα επίπεδα που βρίσκονται στη σειρά με αυτό. Στην πράξη, ένα κρυφό επίπεδο είναι τις περισσότερες φορές επαρκές για ένα δίκτυο με υπολογιστικές δυνατότητες για την επίλυση των περισσότερων πρακτικών προβλημάτων. Σε κάποιες μόνο σπάνιες περιπτώσεις κάποια επιπρόσθετα επίπεδα μπορεί να χρειάζονται. Αυτό ισχύει και για χρονικές σειρές δεδομένων, αλλά και για εφαρμογές πρόβλεψης. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ιδέα του perceptron ανέκυψε όταν η επίλυση υπολογιστικών προβλημάτων με τα κλασικά υπολογιστικά αυτόματα του Neumann ήταν αδύνατη. Τότε, ανέκυψε η ανάγκη για μαζικές, παράλληλες και καταναμημένες μηχανές, από όπου προέκυψαν και τα ADALINE (βασικό στοιχείο το perceptron) και MADALINE (πολλαπλά ADALINE) από το από perceptron, ανάλογα με το πρόβλημα που έπρεπε να επιλυθεί. Η βασική αρχιτεκτονική των τελευταίων, που βασίζεται τελικώς στο perceptron, φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 2–6. Η βασική δομή ADALINE τριών επιπέδων

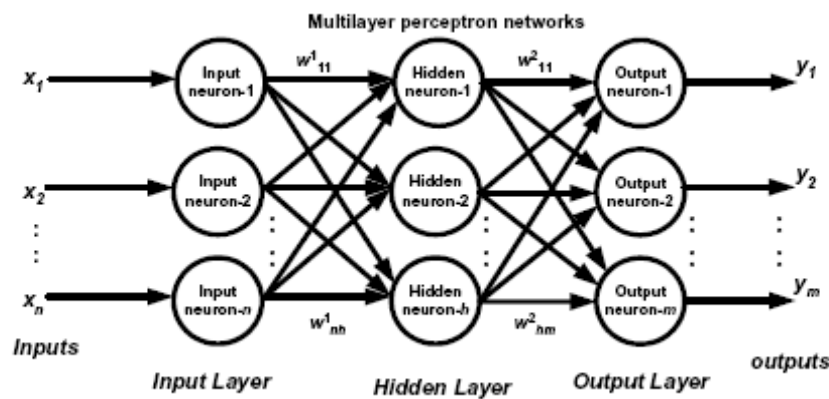
Κλείνοντας την αναφορά των απλών νευρωνικών δικτύων, αξίζει να αναφερθεί ότι η πρώτη αξιόλογη εφαρμογή των νευρωνικών δικτύων προέκυψε μόλις το 1958, όταν ο Rosenblatt (Rosenblatt 1958) χρησιμοποίησε ένα απλό επίπεδο από perceptrons για την οπτική αναγνώριση χαρακτήρων. Η αναγνώριση αυτή έγινε με την ταξινόμηση των χαρακτήρων σε κατηγορίες ανάλογα με τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά, με τη δημιουργία (κατόπιν εκπαίδευσης) τόσων κατηγοριών όσοι και οι χαρακτήρες που επρόκειτο να αναγνωριστούν.

2.4.3 Perceptron Πολλαπλών Επιπέδων (Multi-layer Perceptrons - MLP)

Ένα Multilayer-perceptron (MLP) είναι μια κοινή αρχιτεκτονική νευρωνικού δικτύου, που χρησιμοποιείται ευρύτατα σε πολλές ερευνητικές περιοχές, όταν απαιτείται η επίλυση πυκνών και δύσκολων προβλημάτων (Haykin 1999)(Caudill and Butler 1992). Στην πράξη, ένα MLP είναι μια δομή που εκπαιδεύεται να αντιστοιχίζει συγκεκριμένα δεδομένα εισόδου σε εξόδους, μέσω μη-γραμμικών συναρτήσεων. Αυτή η αντιστοίχιση πραγματοποιείται με το «πέρασμα» των εισόδων προς τις εξόδους του δικτύου, μέσα από ένα ή περισσότερα επίπεδα κρυφών νευρώνων που είναι ισχυρά συνδεδεμένα μεταξύ τους μέσω πολλαπλών συνδέσμων. Το τελευταίο επίπεδο είναι και το επίπεδο εξόδου, που συνήθως αποτελείται από γραμμικούς νευρώνες που αποκρίνονται με τη βοήθεια απλών συναρτήσεων που συνδυάζουν γραμμικά τις εισόδους στο νευρώνα. Στα δίκτυα αυτά υπάρχουν συγκεκριμένες παράμετροι, που καθορίζουν αποφασιστικά τη συμπεριφορά και την πολυπλοκότητα των υπολογισμών, καθώς και την εν γένει αποδοτικότητα στο πρόβλημα που πρέπει να επιλυθεί. Οι παράμετροι αυτές είναι ο αριθμός των κρυφών επιπέδων, ο αριθμός των νευρώνων του κάθε επιπέδου, τα βάρη κάθε σύνδεσης μεταξύ των νευρώνων και οι συναρτήσεις μεταφοράς (ή ενεργοποίησης) που ακολουθούνται από κάθε νευρώνα. Οι πρώτες παράμετροι καθορίζονται αποκλειστικά και μόνο από την πολυπλοκότητα του προβλήματος που πρέπει να επιλυθεί, ενώ η διαδικασία αυτή απαιτεί τις περισσότερες φορές εκτεταμένα πειράματα προκειμένου να επιτευχθεί μια ικανοποιητική λύση (Hagan et.al. 1996). Έτσι, η καταλληλότερη αρχιτεκτονική του εκάστοτε νευρωνικού δικτύου καθορίζεται από την ποιότητα των αποκρίσεων, με κριτήριο το μικρότερο δυνατό σφάλμα για την εφαρμογή συγκεκριμένων τιμών στις εισόδους του δικτύου. Αναφορικά τώρα με τα βάρη των συνάψεων του δικτύου, τα πολυεπίπεδα perceptron χρησιμοποιούν τον αλγόριθμο πίσω διάδοσης του σφάλματος (error back propagation) για την εκπαίδευση των παραμέτρων αυτών κατά την επιβλεπόμενη φάση μάθησης (supervised learning phase). Η φάση αυτή αποτελείται από ένα εμπρός πέρασμα (forward passing) κάποιων προκαθορισμένων εισόδων προς τις αντίστοιχες εξόδους και μια συνακόλουθη εκτίμηση για το πόσο κοντά βρίσκονται οι τιμές που προέκυψαν στην έξοδο σε σχέση με τις αναμενόμενες για τις προκαθορισμένες εισόδους. Το αποτέλεσμα αυτό χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του σήματος του σφάλματος (error signal), το οποίο με τη σειρά του εφαρμόζεται προς τα πίσω, από τις εξόδους προς τις εισόδους με στόχο την προσαρμογή των βαρών του δικτύου. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρις ότου το εκτιμώμενο σφάλμα δεν οδηγεί σε αξιοσημείωτη μεταβολή των τιμών των βαρών των συνάψεων, κατά το πίσω πέρασμά τους προς τις εισόδους του δικτύου. Όταν αυτό συμβαίνει, το δίκτυο είναι πλέον σε

θέση να αποκρίνεται με αξιοπιστία και σταθερότητα στις τιμές εισόδου που εφαρμόζονται σε αυτό και προέρχονται από το φυσικό περιβάλλον και μπορούμε τότε να πούμε ότι «γενικεύει» καλά.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί οι νευρώνες διαθέτουν κάποια συνάρτηση ενεργοποίησης που τους επιτρέπει να αντιστοιχίζουν συγκεκριμένες τιμές εισόδου σε εξόδου. Η πιο διαδεδομένη τέτοια συνάρτηση είναι η λογιστική (logsig), που αποτελεί και τη βασική μη-γραμμική παράμετρο του perceptron, όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα. Άλλες γνωστές συναρτήσεις είναι η βηματική (hard-limiter), για την οποία η απόκριση είναι σταθερά θετική για κάποιες τιμές και σταθερά αρνητική για κάποιες άλλες, και η γραμμική (linear), όπου η απόκριση είναι γραμμική συνάρτηση της εισόδου (Caudill and Butler 1992)(Duch and Jankowski 1999). Η χαρακτηριστική αρχιτεκτονική ενός πολυεπίπεδου perceptron φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 2–7. Πολυεπίπεδο perceptron με ένα κρυφό επίπεδο νευρώνων

Εδώ παρατηρείται η ύπαρξη n νευρώνων εισόδου (όσες δηλαδή και οι τιμές των διανυσμάτων εισόδου), ενός κρυφού επιπέδου με h νευρώνες και τέλος, του επιπέδου εξόδου με m νευρώνες (όσες και οι εξόδοι). Χαρακτηριστική είναι η ισχυρή συνεκτικότητα του δικτύου, όπου κάθε νευρώνας συνδέεται με κάθε άλλον με τη βοήθεια των συνάψεων που διαθέτουν αντίστοιχα βάρη. Στο σημείο αυτό αναφέρεται με λίγο μεγαλύτερη λεπτομέρεια η λειτουργία του αλγορίθμου πίσω διάδοσης των σφαλμάτων και ενημέρωσης των βαρών και η ικανότητα του πολυεπίπεδου perceptron να προσεγγίζει αποδοτικά οποιαδήποτε συνεχή συνάρτηση.

2.4.3.1 Ο Αλγόριθμος Πίσω Διάδοσης του Σφάλματος (Error Back-Propagation)

Στο σημείο αυτό αναλύεται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια η διαδικασία ενημέρωσης των βαρών των συνάψεων του πολυεπίπεδου perceptron νευρωνικού δικτύου, με στόχο να γίνει κατανοητή η δυνατότητα του να αφομοιώνει πρότυπα και να γενικεύει αποδοτικά, με αποτέλεσμα να μπορεί να χρησιμοποιείται εκτενώς για δύσκολα προβλήματα προσέγγισης και εκτίμησης φυσικών φαινομένων.

Ας υποθέσουμε επομένως πως έχουμε ένα νευρωνικό δίκτυο τυχαίας αρχιτεκτονικής. Συμβολίζουμε με $e_j(n)$ το σφάλμα απόκρισης του νευρώνα j στην εφαρμογή μιας εισόδου εκπαίδευσης που δίνει σαν απόκριση $y_j(n)$, τη στιγμή που η επιθυμητή απόκριση είναι $d_j(n)$, όπου n είναι η παρουσίαση του n -οστού διανύσματος εκπαίδευσης στην είσοδο του δικτύου. Τότε οι τιμές αυτές συνδέονται με τη σχέση: $e_j(n) = d_j(n) - y_j(n)$. Ορίζουμε στο σημείο αυτό την στιγμιαία τιμή της ενέργειας του σφάλματος για τον νευρώνα j ως $\frac{1}{2} e_j^2(n)$. Αντίστοιχα, η στιγμιαία τιμή $E(n)$ της συνολικής ενέργειας σφάλματος προκύπτει αθροίζοντας όλες τις επιμέρους ενέργειες σφάλματος για όλους τους νευρώνες του επιπέδου εξόδου. Άλλωστε αυτοί είναι και οι μόνοι ορατοί νευρώνες για τους οποίους μπορούμε να έχουμε τέτοια πληροφορία. Έτσι μπορούμε να γράψουμε: $E(n) = \frac{1}{2} \sum_{j \in C} e_j^2(n)$, όπου C είναι

το σύνολο των νευρώνων του επιπέδου εξόδου του δικτύου που εξετάζουμε. Ας υποθέσουμε τώρα ότι N είναι το σύνολο των προτύπων εισόδου που χρησιμοποιούνται από το δίκτυο ως σύνολο εκμάθησης. Η μέση τιμή της συνολικής ενέργειας σφάλματος σε αυτή την περίπτωση

θα είναι: $E_{aver}(n) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N E(n)$. Είναι δε προφανές ότι η τιμή αυτή είναι συνάρτηση όλων

των παραμέτρων του δικτύου, μιας και το σφάλμα προκύπτει από την επίδραση όλων αυτών στον τελικό υπολογισμό. Έτσι, για ένα συγκεκριμένο σύνολο εκμάθησης, η μέση τιμή που υπολογίστηκε παραπάνω μπορεί να θεωρηθεί ως μια συνάρτηση κόστους που μετρά την συμπεριφορά μάθησης του δικτύου. Ο στόχος αυτής της διαδικασίας είναι τελικά να ελαχιστοποιηθεί αυτό το μέγεθος $E_{aver}(n)$, έτσι ώστε να σταθεροποιηθούν οι ανεξάρτητες παράμετροι του δικτύου που το επηρεάζουν.

Για να γίνει αυτό ακολουθείται μια διαδικασία στην οποία τα βάρη των συνάψεων του δικτύου ενημερώνονται σε κάθε νέα εισαγωγή εισόδου στο δίκτυο μέχρις ότου ένα epoch, δηλαδή μια ολόκληρη εφαρμογή του συνόλου μάθησης έχει παρουσιαστεί στις εισόδους του δικτύου και οι αντίστοιχοι υπολογισμοί έχουν πραγματοποιηθεί. Οι προσαρμογές στα βάρη γίνονται ως αποτέλεσμα ακριβώς αυτής της εφαρμογής.

Ακολουθώντας το βασικό perceptron μοντέλο νευρώνα, το οποίο τροφοδοτείται από τους νευρώνες αριστερά του στην ιεραρχία του δικτύου, η είσοδος που θα προκύψει για την συνάρτηση ενεργοποίησής του θα έχει ως εξής: $v_j(n) = \sum_{i=0}^m w_{ji}(n)y_i(n)$, όπου m είναι ο συνολικός αριθμός εισόδων, εξαιρουμένου του πολωτή (bias) που εφαρμόζονται στον νευρώνα j . Το βάρος w_{j0} που αντιστοιχεί στην τιμή εισόδου +1 ισοδυναμεί με τον πολωτή που εφαρμόζεται στον συγκεκριμένο νευρώνα. Έτσι, το σήμα που εμφανίζεται στην έξοδο του νευρώνα j , μετά και την εφαρμογή της συνάρτησης ενεργοποίησης είναι: $y_j(n) = \varphi_j(v_j(n))$ και βέβαια κατά την επανάληψη n , όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα. Θα επιχειρηθεί τώρα η ελαχιστοποίηση του σφάλματος που έχει αναφερθεί προηγούμενα, με τη βοήθεια της θεωρίας των μερικών παραγώγων και του κανόνα αλυσιδωτής παραγωγίσης. Έχουμε επομένως,

$$\frac{\partial E(n)}{\partial w_{ji}(n)} = \frac{\partial E(n)}{\partial e_j(n)} \frac{\partial e_j(n)}{\partial y_j(n)} \frac{\partial y_j(n)}{\partial v_j(n)} \frac{\partial v_j(n)}{\partial w_{ji}(n)} \quad (0)$$

Η μερική παράγωγος $\frac{\partial E(n)}{\partial w_{ji}(n)}$ αναπαριστά έναν παράγοντα ευαισθησίας, που καθορίζει την κατεύθυνση της αναζήτησης του βάρους w_{ji} στο χώρο των πιθανών λύσεων. Παραγωγίζοντας επομένως τις παρακάτω σχέσεις έχουμε:

$$E(n) = \frac{1}{2} \sum_{j \in C} e_j^2(n) \Rightarrow \frac{\partial E(n)}{\partial e_j(n)} = e_j(n) \quad (1)$$

$$e_j(n) = d_j(n) - y_j(n) \Rightarrow \frac{\partial e_j(n)}{\partial y_j(n)} = -1 \quad (2)$$

$$y_j(n) = \varphi_j(v_j(n)) \Rightarrow \frac{\partial y_j(n)}{\partial v_j(n)} = \varphi_j'(v_j(n)) \quad (3)$$

$$v_j(n) = \sum_{i=0}^m w_{ji}(n)y_i(n) \Rightarrow \frac{\partial v_j(n)}{\partial w_{ji}(n)} = y_i(n) \quad (4)$$

Εφαρμόζοντας τώρα τις εξισώσεις (1)-(4) στην εξίσωση (0) έχουμε:

$$\frac{\partial E(n)}{\partial w_{ji}(n)} = -e_j(n)\varphi_j'(v_j(n))y_i(n) \quad (5)$$

Ξέρουμε όμως από τη θεωρία του Least Mean Squares (LMS) αλγορίθμου (Haykin 1999) ότι για την διόρθωση των βαρών του δικτύου που ισοδυναμεί με την ελαχιστοποίηση του σφάλματος, μπορούμε να εφαρμόσουμε τον κανόνα δέλτα, οπότε έχουμε:

$$\Delta w_{ji}(n) = -\eta \frac{\partial E(n)}{\partial w_{ji}(n)} \quad (6)$$

όπου η ο παράγοντας που καθορίζεται ως η παράμετρος μάθησης του αλγορίθμου πίσω διάδοσης του σφάλματος, με το αρνητικό πρόσημο να αντιστοιχεί στην προσπάθεια που καταβάλλεται για την ελαχιστοποίηση της τιμής του σφάλματος $E(n)$. Με βάση τις δυο τελευταίες εξισώσεις έχουμε την εξής:

$$\Delta w_{ji}(n) = \eta \delta_j(n) y_i(n) \quad (7)$$

με την τιμή δ να ορίζεται ως η τοπική κλίση (local gradient) και να ορίζεται ως:

$$\delta_j(n) = -\frac{\partial E(n)}{\partial v_j(n)} = -\frac{\partial E(n)}{\partial e_j(n)} \frac{\partial e_j(n)}{\partial y_j(n)} \frac{\partial y_j(n)}{\partial v_j(n)} = e_j(n) \phi'_j(v_j(n)) \quad (8)$$

Η τοπική κλίση αντιστοιχεί στις αλλαγές που πρέπει να γίνουν στα συναπτικά βάρη και σύμφωνα μάλιστα με την τελευταία εξίσωση, η τιμή αυτή για την έξοδο του νευρώνα j ισοδυναμεί με το γινόμενο του σφάλματος με την παράγωγο της συνάρτησης ενεργοποίησης για το νευρώνα αυτό. Από τις εξισώσεις μάλιστα (7) και (8) συμπεραίνουμε ότι ο καθοριστικός παράγοντας που υπεισέρχεται στον υπολογισμό των νέων βαρών από τον παράγοντα $\Delta w_{ji}(n)$, είναι αυτός του σφάλματος στην έξοδο του νευρώνα j .

Στο σημείο αυτό πρέπει να γίνει διάκριση για το πώς εφαρμόζεται αυτή η σχέση στην περίπτωση που έχουμε νευρώνα κρυφού επιπέδου και νευρώνα εξόδου, καθώς εδώ υπάρχει μια ειδοποιός διαφορά. Η γενική σχέση που ισχύει είναι η εξής:

$$\begin{pmatrix} \text{Διόρθωση} \\ \text{Σφάλματος} \\ \Delta w_{ji}(n) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{Παράμετρος} \\ \text{μάθησης} \\ \eta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{Τοπική} \\ \text{κλίση} \\ \delta_j(n) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{Σήμα} \\ \text{Εισόδου} \\ j, y_i(n) \end{pmatrix}$$

Ανάλογα λοιπόν με το αν ο νευρώνας είναι εξόδου ή κρυφού επιπέδου, διακρίνουμε δυο περιπτώσεις:

1. Αν ο νευρώνας είναι εξόδου τότε η τοπική κλίση ισούται με το γινόμενο της παραγωγίσης της συνάρτησης ενεργοποίησής του με το σφάλμα, που και τα δυο σχετίζονται αποκλειστικά με αυτόν το νευρώνα.
2. Αν ο νευρώνας είναι κρυφού επιπέδου όμως, τότε το ίδιο μέγεθος ισούται με το γινόμενο της σχετικής παραγώγου του νευρώνα με το ζυγισμένο άθροισμα των τοπικών κλίσεων των νευρώνων στο επόμενο επίπεδο, είτε αυτό είναι κρυφό, είτε εξόδου.

Πολλάκις έχει αναφερθεί το διπλό πέρασμα των διανυσμάτων εκπαίδευσης από το εκάστοτε δίκτυο που καλούνται να εκπαιδεύσουν. Έτσι, το εμπρός πέρασμα αντιστοιχεί στην εφαρμογή των εισόδων στο δίκτυο από το επίπεδο εισόδου και τη διάδοσή τους μέχρι το επίπεδο εξόδου, με τον αντίστοιχο υπολογισμό των σφαλμάτων και το πίσω πέρασμα με τη διάδοση των σφαλμάτων προς τα πίσω και μέχρι το επίπεδο εισόδου για την ενημέρωση των βαρών των συνάψεων μέχρις ότου αυτά σταθεροποιηθούν ή πρακτικά η μεταβολή τους είναι μικρότερη από το αριθμητικό κριτήριο που έχει τεθεί.

2.4.3.2 Ο Τροποποιημένος Αλγόριθμος Levenberg-Marquardt

Ο βασικός αλγόριθμος που χρησιμοποιείται στα πλαίσια της διατριβής αυτής για την εκπαίδευση των νευρωνικών δικτύων τύπου MLP, όπου αυτά συναντώνται, είναι μια τροποποιημένη έκδοση του αλγορίθμου Levenberg-Marquardt (LM) (Levenberg 1944)(Marquardt 1963) με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του να περιγράφονται στην ενότητα αυτή. Η ανάγκη για τη χρήση του προκύπτει από το γεγονός ότι τα αποτελέσματα εφαρμογής του αλγορίθμου πίσω διάδοσης κρίνονται ως εξαιρετικά αργά βάσει χρονικών κριτηρίων όταν αυτός καλείται να εφαρμοστεί σε πραγματικά περιβάλλοντα και προβλήματα. Έτσι, ένα σύνολο άλλων αλγορίθμων έχουν προταθεί για την ταχύτερη εκπαίδευση των νευρωνικών δικτύων εμπρός τροφοδότησης, με αποδοτικότερο και καταλληλότερο για την περίπτωση της προσέγγισης συνεχών συναρτήσεων τον αλγόριθμο LM (Haykin 1999).

Ο αλγόριθμος αυτός είναι μια επαναληπτική διαδικασία εντοπισμού των ελαχίστων μιας πολυδιάστατης συνάρτησης που μπορεί να εκφραστεί σαν άθροισμα τετραγώνων μη γραμμικών συναρτήσεων, με αξιοσημείωτες εφαρμογές σε ένα σύνολο πολλών διαφορετικών επιστημών και πεδίων, μεταξύ των οποίων είναι και τα νευρωνικά δίκτυα εμπρός τροφοδότησης. Στην πραγματικότητα πρόκειται για ένα συνδυασμό του αλγορίθμου απότομης καθόδου (steepest descent) και της μεθόδου Gauss-Newton. Όταν η λύση που υπολογίζει είναι «μακριά» από τη σωστή, ο αλγόριθμος συμπεριφέρεται σαν τον πρώτο, συγκλίνοντας αργά αλλά εγγυημένα. Διαφορετικά, όταν η λύση είναι κοντά στη σωστή

μοιάζει με τη μέθοδο Gauss-Newton, εξ ου και ο ισχυρισμός του συνδυασμού. Στη συνέχεια παρουσιάζεται συνοπτικά η μοντελοποίηση του αλγορίθμου και ο τρόπος λειτουργίας του.

Ας υποθέσουμε αρχικά ότι f είναι μια συναρτησιακή σχέση που αντιστοιχίζει ένα διάνυσμα $p \in \mathfrak{R}^m$ σε ένα διάνυσμα εκτίμησης $\hat{x} = f(p)$, $\hat{x} \in \mathfrak{R}^n$. Μια αρχική τιμή p_0 και ένα διάνυσμα x παρέχονται και στόχος είναι να βρεθεί το διάνυσμα p^+ , το οποίο ικανοποιεί κατά τον καλύτερο τρόπο τη συναρτησιακή σχέση f , δηλαδή ελαχιστοποιεί την τετραγωνική απόσταση $e^T e$, όπου $e = x - \hat{x}$. Η βάση του LM αλγορίθμου είναι η γραμμική προσέγγιση της συνάρτησης f στην περιοχή τιμών του p . Έτσι αν θεωρηθεί μια ανεξάρτητη παράμετρος $\|\delta_p\|$ οσοδήποτε μικρή, τότε υπάρχει σειρά Taylor για τη συνάρτηση f που δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$f(p + \delta_p) \approx f(p) + J\delta_p$$

Με J συμβολίζεται ο Ιακωβιανός πίνακας $\frac{\partial f(p)}{\partial p}$. Να σημειωθεί εδώ ότι ο αλγόριθμος LM,

όπως όλες οι μη γραμμικές μέθοδοι βελτιστοποίησης είναι μια επαναληπτική μέθοδος. Έτσι, αρχικοποιείται με το διάνυσμα p_0 και στη συνέχεια παράγει μια σειρά από διανύσματα p_1, p_2, \dots , που συγκλίνουν σε ένα τοπικό ελάχιστο p^+ για την εν λόγω συνάρτηση. Σε κάθε βήμα απαιτείται να υπολογίζεται η τιμή δ_p , για την οποία ελαχιστοποιείται η ποσότητα $\|x - f(p + \delta_p)\| \approx \|x - f(p) - J\delta_p\| \approx \|e - J\delta_p\|$. Η ποσότητα αυτή είναι η λύση σε ένα γραμμικό πρόβλημα ελαχίστων τετραγώνων, με το ελάχιστο να προσδιορίζεται όταν η τιμή $J\delta_p - e$ είναι ορθογώνια με την περιοχή των στηλών του πίνακα J . Η διαπίστωση αυτή μας οδηγεί στην απαίτηση ότι πρέπει $J^T(J\delta_p - e) = 0$ και με απλή αριθμητική πινάκων καταλήγουμε στο: $J^T J\delta_p = J^T e$. Ο πίνακας $J^T J$ είναι ο Hessian πίνακας, η προσέγγιση δηλαδή του πίνακα των παραγώγων δευτέρου βαθμού της συνάρτησης f . Ο υπολογισμός αυτός όμως είναι ως γνωστόν αρκετά πολύπλοκος και χρονοβόρος, με αποτέλεσμα η μέθοδος LM να καταφεύγει σε μια ταχύτερα εξαγόμενη λύση, που δίνεται από την ακόλουθη σχέση: $N\delta_p = J^T e$, όπου ο πίνακας N ταυτίζεται με τον Hessian πίνακα στα μη διαγώνια στοιχεία, ενώ τα διαγώνια δίνονται από τη σχέση $N_{ii} = \mu + [J^T J]_{ii}$, για θετικές τιμές του μ . Η τεχνική αυτή λέγεται εξασθένιση (damping) και η αντίστοιχη παράμετρος μ , είναι γνωστή ως όρος εξασθένισης. Μάλιστα, η τροποποίηση αυτή (ο μη υπολογισμός του Hessian πίνακα) είναι και η ειδοποιός διαφορά του αλγορίθμου LM σε αντιδιαστολή με την τεχνική πίσω

διάδοσης. Σε κάθε βήμα υπολογισμού, αν το ενημερωμένο διάνυσμα $p + \delta_p$ οδηγεί σε μείωση του σφάλματος, η ενημέρωση γίνεται δεκτή από τον αλγόριθμο και η διαδικασία επαναλαμβάνεται με μικρότερο όρο εξασθένισης. Διαφορετικά ο παράγοντας αυτός αυξάνεται και οι εξισώσεις επιλύονται και πάλι μέχρι να βρεθεί τιμή του δ_p που οδηγεί σε μείωση του σφάλματος. Η διαδικασία που καταλήγει στο μικρότερο σφάλμα σε κάθε επανάληψη και περιγράφηκε μόλις, αποτελεί μια επανάληψη του LM αλγορίθμου. Έτσι, στον αλγόριθμο αυτό ο όρος εξασθένισης προσαρμόζεται σε κάθε επανάληψη προκειμένου να διασφαλιστεί η μείωση του σφάλματος e . Αν ο όρος αυτός μάλιστα είναι μεγάλος και ο πίνακας N που αναφέρθηκε προηγούμενα είναι περίπου διαγώνιος, τότε και το βήμα ενημέρωσης του δ_p οδηγεί σε μείωση της τιμής του (steepest descent). Αυτή η τεχνική καταφέρνει να παράγει αποτελέσματα ακόμα και σε περιπτώσεις που ο Hessian πίνακας είναι μηδενικής ορίζουσας (singular). Για τον τερματισμό του αλγορίθμου LM απαιτείται να ικανοποιείται το λιγότερο μια από τις ακόλουθες συνθήκες:

- Το μέγεθος της ποσότητας $e^T e$ πέφτει κάτω από ένα καθορισμένο κατώφλι
- Η μεταβολή της τιμής της παραμέτρου δ_p πέφτει κάτω από ένα καθορισμένο κατώφλι
- Το σφάλμα της ποσότητας $e^T e$ πέφτει κάτω από ένα κατώφλι
- Έχει προηγηθεί ένας συγκεκριμένος μέγιστος αριθμός επαναλήψεων του αλγορίθμου.

Το πρώτο από τα παραπάνω σημεία αποτελεί ένα κριτήριο το οποίο έχει εισαχθεί ειδικά για την περίπτωση της παρούσας διατριβής με στόχο να χαλαρώσει ελαφρώς τα κριτήρια τερματισμού για να επιταχυνθεί κατά το δυνατόν η διαδικασία χωρίς να απαιτούνται αξιοσημείωτες θυσίες αναφορικά με την ποιότητα και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Στο σημείο αυτό ολοκληρώνεται η σύντομη αναφορά στον αλγόριθμο LM. Στόχος δεν ήταν να περιγραφεί αναλυτικά, αλλά να δοθεί μια διαισθητική και σύντομη προσέγγιση του τρόπου που οδηγεί στην ενημέρωση των βαρών των συνάψεων των νευρωνικών δικτύων εμπρός τροφοδότησης και στη συνακόλουθη τελική τους εκπαίδευση (μετά από ένα σύνολο τέτοιων ενημερώσεων) με τρόπο κατάλληλα προσαρμοσμένο στις απαιτήσεις των περιβαλλόντων αυτοματοποιημένων διαπραγματεύσεων. Ο ενδιαφερόμενος αναγνώστης παραπέμπεται για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τον LM αλγόριθμο στην αντίστοιχη βιβλιογραφία (Levenberg 1944)(Marquardt 1963)(Hagan and Menhaj 1994)(Hagan et.al. 1996)(Gill et.al. 1981).

2.4.3.3 Προσέγγιση Συναρτήσεων

Στο σημείο αυτό θα δικαιολογηθεί πλήρως η επιλογή των νευρωνικών δικτύων αυτού του τύπου προκειμένου για την προσέγγιση της πολιτικής του αντιπάλου σε κάθε περίπτωση, μιας και πρόκειται για μια συνεχή συνάρτηση γνησίως μονότονη. Τα δίκτυα αυτά έχουν την ικανότητα να προσεγγίζουν οποιαδήποτε συνάρτηση από το σύνολο των δειγμάτων που έχουν στη διάθεσή τους και μόνο και αυτό το χαρακτηριστικό συμπίπτει με τις απαιτήσεις από το περιβάλλον διαπραγματεύσεως, όπου μόνο οι προσφορές του αντιπάλου είναι διαθέσιμες και τίποτε άλλο, σε κάθε πρόβλημα που επιχειρείται να επιλυθεί στη διατριβή αυτή.

Ένα πολυεπίπεδο perceptron που εκπαιδεύεται με τον αλγόριθμο πίσω τροφοδότησης του σφάλματος, μπορεί να θεωρηθεί ως μια δομή που είναι σε θέση να πραγματοποιεί μη γραμμική αντιστοίχιση εισόδου-εξόδου για κάθε είδους προβλήματα. Πιο συγκεκριμένα, αν υποθέσουμε ότι έχουμε m_0 νευρώνες εισόδου και $M = m_L$ νευρώνες εξόδου. Είναι προφανές τότε, ότι το δίκτυο επιχειρεί μια αντιστοίχιση από έναν m_0 ευκλείδειο χώρο σε έναν m_L ευκλείδειο χώρο και δεδομένης της δυνατότητας άπειρης παραγωγίσιμης της λογιστικής συνάρτησης μπορούμε να διατυπώσουμε το θεώρημα καθολικής προσέγγισης που καθιστά τα δίκτυα αυτά ικανά να πραγματοποιούν αποδοτικά την αντιστοίχιση και να γενικεύουν σωστά για κάθε συνεχή και μονότονη συνάρτηση, απαντώντας παράλληλα στο ερώτημα πόσα κρυφά επίπεδα απαιτούνται για την αντιστοίχιση αυτή.

Θεώρημα Καθολικής Προσέγγισης:

Υποθέτουμε ότι $\varphi()$ είναι μια μη σταθερή, πεπερασμένη και γνησίως μονότονη συνεχής συνάρτηση. Επίσης, υποθέτουμε ότι I_{m_0} είναι ο m_0 διαστάσεων μοναδιαίος υπερ-κύβος $[0,1]^{m_0}$. Ο χώρος των συνεχών συναρτήσεων στον I_{m_0} απεικονίζεται ως $C(I_{m_0})$. Τότε, για κάθε συνάρτηση $f \in C(I_{m_0})$ και $\varepsilon > 0$, υπάρχει ένας ακέραιος m_1 και σύνολα πραγματικών σταθερών a_i, b_i, w_{ij} , όπου $i = 1, \dots, m_1$ και $j = 1, \dots, m_0$, έτσι ώστε να μπορούμε να ορίσουμε:

$$F(x_1, \dots, x_{m_0}) = \sum_{i=1}^{m_1} a_i \varphi\left(\sum_{j=1}^{m_0} w_{ij} x_j + b_i\right) \quad (0)$$

Η (0) είναι μια απόπειρα προσέγγισης της συνάρτησης $f()$, έτσι ώστε να ισχύει,

$$|F(x_1, \dots, x_{m_0}) - f((x_1, \dots, x_{m_0}))| < \varepsilon \quad (1)$$

για όλα τα x_i που βρίσκονται στο χώρο των τιμών εισόδου και για $\varepsilon > 0$, οσοδήποτε μικρό.

Το θεώρημα αυτό, η απόδειξη του οποίου παραλείπεται καθώς είναι εκτός των σκοπών της παρούσας διατριβής (επέκταση του θεωρήματος του Weierstass, 1885), είναι ευθέως εφαρμόσιμο στα πολυεπίπεδα perceptrons. Αρχικά, η συνάρτηση ενεργοποίησης αντιστοιχεί στη συνάρτηση $\varphi()$, αφού ικανοποιεί όλα τα κριτήρια που αυτή θέτει. Επιπλέον, αν παρατηρήσουμε τη σχέση (0) βλέπουμε ότι ταυτίζεται με την έξοδο ενός νευρώνα εξόδου σύμφωνα με τις παρακάτω προϋποθέσεις:

1. Το δίκτυο διαθέτει m_0 νευρώνες εισόδου και ένα μοναδικό κρυφό επίπεδο νευρώνων που είναι m_1 σε αριθμό, ενώ τα x_i είναι οι τιμές εισόδου.
2. Ο κρυφός νευρώνας i διαθέτει τα συναπτικά βάρη $w_{i_1}, \dots, w_{i_{m_0}}$ και πολωτή b_i .
3. Η έξοδος του δικτύου είναι γραμμικός συνδυασμός των επιμέρους εξόδων από το κρυφό επίπεδο με τα a_1, \dots, a_{m_1} να καθορίζουν τα συναπτικά βάρη του επιπέδου εξόδου.

Το θεώρημα λοιπόν αυτό είναι κατά μια έννοια ένα θεώρημα ύπαρξης μιας και παρέχει την μαθηματική απόδειξη για την προσέγγιση κάθε τυχαίας συνεχούς συνάρτησης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ότι ένα πολυεπίπεδο perceptron είναι ικανό να προσεγγίσει οποιαδήποτε συνεχή συνάρτηση και μάλιστα απαιτώντας ένα μόνο κρυφό επίπεδο νευρώνων, όπως υποδεικνύεται από την ανάλυση που προηγήθηκε. Παρόλα αυτά όμως το θεώρημα δεν ισχυρίζεται ότι η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική είναι βέλτιστη από πλευράς χρόνου εκπαίδευσης, ευκολίας υλοποίησης και γενίκευσης, στοιχεία που πρέπει να εξετάζονται ανά περίπτωση και ανά πρόβλημα.

Στην περίπτωση της παρούσας διατριβής αναζητούνται για το εκάστοτε πρόβλημα οι καταλληλότερες αρχιτεκτονικές μονού κρυφού επιπέδου με τη βοήθεια θεωρητικής ανάλυσης και επαλήθευσης μέσω πειραμάτων της ορθότητας των ισχυρισμών αυτών. Σε όλες τις περιπτώσεις άλλωστε, τα αποτελέσματα είναι άκρως ικανοποιητικά, ανεξάρτητα από την πολυπλοκότητα των προβλημάτων και την πραγματικού χρόνου ανάλυση και απόκριση που απαιτείται.

2.4.4 Radial Basis Function Δίκτυα (RBF)

Μια επίσης διαδεδομένη αρχιτεκτονική νευρωνικών δικτύων είναι και τα δίκτυα Radial Basis Function, ή εν συντομία RBF (Haykin 1999). Τα δίκτυα αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως σε προβλήματα παρεμβολής σε πολυδιάστατους χώρους. Αυτή η διαδικασία απαιτεί δίκτυα τα οποία είναι μάλλον μη πρακτικά λόγω του μεγέθους τους για πραγματικές εφαρμογές, μιας και υποτίθεται πως το RBF δίκτυο διαθέτει τόσους νευρώνες κρυφού επιπέδου όσα και τα διαφορετικά πρότυπα εισόδου που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του. Παρόλα αυτά, η ύπαρξη τρόπων μείωσης αυτής της απαίτησης, έχει καταστήσει τα δίκτυα αυτά εξαιρετικά δημοφιλή και αποδοτικά σε μια πληθώρα εφαρμογών, αποδεικνύοντας πως είναι εφάμιλλα με τα προηγούμενα στο σύνολο σχεδόν των περιπτώσεων.

Στην πράξη, κάθε RBF δίκτυο είναι ένα καθορισμένο δίκτυο δύο επιπέδων, ενός κρυφού επιπέδου μέσα στο οποίο απομονώνονται όλα τα μη-γραμμικά χαρακτηριστικά του και ενός επιπέδου εξόδου που είναι υπεύθυνο για το γραμμικό συνδυασμό που πρέπει να προκύψει από το προηγούμενο επίπεδο. Οι παράμετροι που καθορίζουν τις τιμές εξόδου είναι τα κέντρα (centers) των νευρώνων RBF και τα βάρη από το μοναδικό κρυφό επίπεδο προς το επίπεδο εξόδου. Αυτά τα δύο σύνολα παραμέτρων είναι εκείνα που καθορίζουν την απόδοση του δικτύου και την εν γένει συμπεριφορά του.

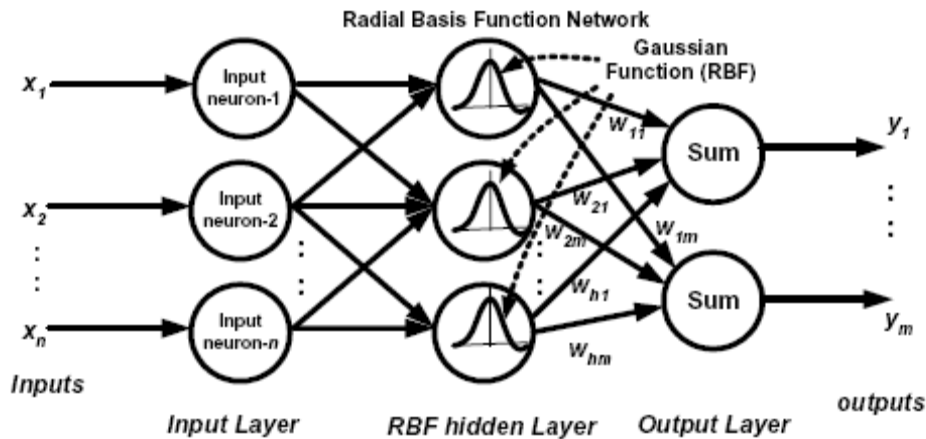
Οι τιμές των κέντρων που προαναφέρθηκαν επιλέγονται με τη βοήθεια του αλγορίθμου των Ορθογωνίων Ελαχίστων Τετραγώνων (Orthogonal Least Squares, OLS) (Chen et.al. 1991) από το σύνολο των τιμών εισόδου, με στόχο το μέγεθος του δικτύου να κρατηθεί σε χαμηλά επίπεδα και η πολυπλοκότητα της διαδικασίας να είναι ανεκτή για τις εφαρμογές στις οποίες απευθύνεται.

Τα βάρη του των συνάψεων του δικτύου επιλέγονται με τη βοήθεια του απλού αλγορίθμου Ελαχίστων Τετραγώνων (Least Squares, LS) (Draper and Smith 1998) ικανοποιώντας παραπλήσια κριτήρια. Για κάθε νευρώνα εξόδου η τιμή του προκύπτει από την ακόλουθη σχέση για πραγματικές τιμές των διανυσμάτων εισόδου και εξόδου $x \in R \rightarrow y \in R$,

$$y = w_0 + \sum_{i=1}^n w_i \exp(-\|x - c_i\|^2 / \beta^2),$$

όπου w είναι οι τιμές των βαρών, c είναι οι τιμές των κέντρων RBF, $\| \cdot \|$ είναι η ευκλείδεια νόρμα, n είναι ο αριθμός των κέντρων and β είναι η παράμετρος που καθορίζει την ευαισθησία της εκθετικής συνάρτησης.

Για να γίνει κατανοητή η λειτουργία ενός δικτύου τύπου RBF αρκεί να «ακολουθηθεί» μια είσοδος, μέσω του κρυφού επιπέδου προς την έξοδο. Παρακάτω φαίνεται η βασική αρχιτεκτονική του δικτύου αυτού για να είναι εφικτή η εποπτεία της διαδικασίας διάδοσης της τιμής που προαναφέρθηκε.



Σχήμα 2–8. Radial Basis Function νευρωνικό δίκτυο με το μοναδικό RBF επίπεδο νευρώνων ειδικού σκοπού

Με βάση την παραπάνω σχέση αν παρουσιαστεί μια είσοδος στο δίκτυο, κάθε νευρώνας του κρυφού επιπέδου (radial basis επιπέδου) θα αποκριθεί με μια τιμή η οποία θα είναι αντίστοιχη του πόσο κοντά είναι η είσοδος στο βάρος του εκάστοτε νευρώνα βάσει της ευκλείδειας νόρμας. Έτσι, οι νευρώνες με διανύσματα βαρών εισόδου αρκετά διαφορετικά από την είσοδο θα δώσουν τιμές κοντά στο 0. Αντίθετα, κάθε νευρώνας με τιμές βαρών κοντά στις εισόδους θα δώσει μια τιμή κοντά στο 1, με βάση τη σχέση που προαναφέραμε. Αν τώρα ένας νευρώνας έχει έξοδο την τιμή 1, τα βάρη του στο δεύτερο επίπεδο «περνούν» τις τιμές τους στο γραμμικό νευρώνα του επιπέδου εξόδου. Με τον ίδιο τρόπο και για καθορισμένα κέντρα και βάρη με βάση τους αλγορίθμους που προαναφέρθηκαν, το RBF εκπαιδεύεται (και αυτό είναι κάτι που μπορεί να αποδειχθεί με τη βοήθεια της θεωρίας κανονικοποίησης [regularization theory]), να προσεγγίζει αποδοτικά κάθε συνεχή συνάρτηση, δοθέντος ενός ικανού αριθμού RBF νευρώνων (Haykin 1999).

2.4.5 Σύγκριση των Δυο Αρχιτεκτονικών

Έχοντας περιγράψει με σαφήνεια και συντομία τα δύο βασικά είδη νευρωνικών δικτύων που απασχολούν τη διατριβή αυτή, παρατίθεται στο σημείο αυτό μια σύντομη σύγκριση των βασικών στοιχείων των δυο με στόχο να γίνουν σαφείς οι βασικές τους διαφορές, αλλά και να τονιστούν οι όποιες ομοιότητες.

Είναι δεδομένο ότι πρόκειται για δυο αρχιτεκτονικές δικτύων που αποτελούν τα σημαντικότερα παραδείγματα μη-γραμμικών δικτύων εμπρός τροφοδότησης (feedforward), με την έννοια της διάδοσης των σημάτων από την είσοδο προς την έξοδο. Επιπλέον, πρόκειται για δύο αρχιτεκτονικές που θεωρούνται καθολικοί προσεγγιστές, με την έννοια που

περιγράφηκε παραπάνω στο θεώρημα καθολικής προσέγγισης. Επομένως, δεν προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι οι δυο αυτές οικογένειες νευρωνικών δικτύων μπορούν να θεωρηθούν ισοδύναμες, υπό την έννοια ότι για κάθε εφαρμογή που είναι κατάλληλη για επίλυση με νευρωνικό δίκτυο RBF υπάρχει πάντοτε ένα αντίστοιχο perceptron πολλαπλών επιπέδων (συνήθως ενός κρυφού επιπέδου MLP) που μπορεί να αποδώσει εξίσου καλά. Προφανώς ισχύει και το αντίστροφο. Παρόλα αυτά όμως τα δυο δίκτυα διαφέρουν σε κάποια σημεία τα οποία συνοψίζονται εδώ (Haykin 1999):

- Το RBF δίκτυο έχει πάντα ένα κρυφό επίπεδο νευρώνων σε αντίθεση με το MLP που μπορεί να έχει και παραπάνω.
- Οι νευρώνες του MLP μοιράζονται ένα κοινό υπολογιστικό μοντέλο, είτε βρίσκονται στο κρυφό επίπεδο, είτε στο επίπεδο εξόδου, σε αντίθεση με τους νευρώνες του RBF που ανάλογα με το που εντοπίζονται έχουν και διαφορετικό υπολογιστικό μοντέλο (πχ. νευρώνες κρυφού επιπέδου σε αντίθεση με τους νευρώνες εξόδου).
- Το RBF διαθέτει πάντοτε ένα γραμμικό επίπεδο και αυτό είναι το επίπεδο εξόδου του, σε αντίθεση με το MLP, όπου το γραμμικό επίπεδο δεν είναι πάντοτε παρόν.
- Οι νευρώνες του RBF υπολογίζουν την ευκλείδεια νόρμα ως βασικό μοντέλο για την ενεργοποίηση της απόκρισης τους, σε αντίθεση με το MLP όπου το μοντέλο είναι ένα εσωτερικό γινόμενο των συναπτικών βαρών και των εισόδων στο νευρώνα.
- Τα δίκτυα τύπου MLP θεωρούνται καθολικοί προσεγγιστές (global approximators) στα προβλήματα αντιστοίχισης εισόδων και εξόδων. Από την άλλη πλευρά, τα δίκτυα RBF, χρησιμοποιώντας εκθετικές τοπικές συναρτήσεις (πχ. Gaussian) θεωρούνται τοπικοί προσεγγιστές (local approximators) σε τέτοιου είδους προβλήματα. Γι' αυτόν ακριβώς το λόγο τα πρώτα απαιτούν τις περισσότερες φορές λιγότερες παραμέτρους από τα δεύτερα, λόγω της καθολικής προσέγγισης που μπορεί κάθε νευρώνας τους να επιτύχει.

3 Σχετική Βιβλιογραφία

3.1 Εισαγωγή

Στην ενότητα αυτή θα αποτυπωθούν οι προσπάθειες που συναντώνται στη βιβλιογραφία σε συγκεκριμένες κατευθύνσεις και που είναι άμεσα συνδεδεμένες με το χώρο στον οποίο θα κινηθεί η έρευνά μας, δηλαδή την ενσωμάτωση λειτουργιών μάθησης της πολιτικής του αντιπάλου, σε κινητούς πράκτορες που αυτενεργούν σε περιβάλλοντα διαπραγμάτευσης πόρων.

Στόχος είναι να αναλυθεί η σχετική βιβλιογραφία, για τα περιβάλλοντα διαπραγμάτευσης πόρων που συναντώνται, για τα πρωτόκολλα διαπραγμάτευσης που έχουν προταθεί και τέλος, για τις προσπάθειες που έχουν γίνει να ενσωματωθούν διαδικασίες ανάκτησης γνώσης από το περιβάλλον και από τους αντίπαλους πράκτορες, με στόχο την αύξηση της ικανοποιησιμότητας και τη μείωση των αποτυχιών. Η αναφορά στη βιβλιογραφία της περιοχής κλείνει με την ανεξάρτητη παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τη χρήση νευρωνικών δικτύων στις αυτοματοποιημένες διαπραγματεύσεις, μιας και αυτά αποτελούν σημαντικό μέρος της παρούσας διατριβής και τέλος, με την αναφορά στα πιο σημαντικά πρωτότυπα περιβάλλοντα διαπραγμάτευσης πόρων.

3.2 Περιβάλλοντα Διαπραγμάτευσης

Στην ενότητα αυτή επιχειρείται να περιγραφούν τα πιο δημοφιλή περιβάλλοντα διαπραγμάτευσης που συναντώνται στη βιβλιογραφία και να αναλυθούν τα επιμέρους χαρακτηριστικά τους, που θέτουν και τις παραμέτρους αλληλεπίδρασης των πρακτόρων που συμμετέχουν. Οι βασικές κατηγορίες είναι τρεις, τα περιβάλλοντα διαπραγμάτευσης όπου πράκτορες αλληλεπιδρούν σε ανοιχτές διαδικασίες ένας προς έναν, αυτά που η αλληλεπίδραση περιλαμβάνει έναν πελάτη και πολλούς πράκτορες που επιθυμούν να προσφέρουν ένα αγαθό και αυτά πολλών παροχέων και πολλών πελατών. Η τέταρτη κατηγορία που διαφαίνεται να υφίσταται, δηλαδή αυτή των πολλαπλών πελατών και ενός παροχέα δεν εξετάζεται καθώς αντιστοιχεί σε πολλαπλές διαδικασίες ένας προς έναν και πέραν αυτού, είναι θέμα της εσωτερικής λογικής του πράκτορα του παροχέα το πώς θα διαχειριστεί τις πολλαπλές εισερχόμενες αιτήσεις για διαπραγμάτευση.

3.2.1 Διαπραγμάτευση Ενός Πελάτη με Έναν Παροχέα (One-to-One)

Πολλές διαπραγματευτικές διαδικασίες λαμβάνουν χώρα μεταξύ δύο μόνο μερών, ή των εκπροσώπων τους, των πρακτόρων (Zlotkin and Rosenschein 1989). Στις περιπτώσεις αυτές, οι πράκτορες εκπροσωπούν, ο ένας τον πελάτη και ο άλλος τον παροχέα ενός αγαθού ή μιας υπηρεσίας. Για τις περιπτώσεις αυτές, της ένας-προς-ένα διαπραγμάτευσης (one-to-one negotiation), υπάρχουν δύο κατηγορίες περιβαλλόντων. Εκείνα που προϋποθέτουν συνεργατική σχέση των δύο πρακτόρων και εκείνα που είτε οι πράκτορες είναι συνεργατικοί είτε ανταγωνιστικοί (competitive). Κάθε ένα από τα δύο αυτά είδη έχει τα δικά του χαρακτηριστικά και γι' αυτό το λόγο πρέπει να αντιμετωπιστεί ανεξάρτητα.

Στα πρώτα περιβάλλοντα, τα συνεργατικά (cooperative), προϋποτίθεται ότι οι διαπραγματευόμενοι πράκτορες διατηρούν τη δική τους προσωπική συνάρτηση ικανοποιησιμότητας και διαπραγματεύονται με στόχο την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους (Monotonic Concession Protocol-MCP). Με τον τρόπο αυτό και οι δύο πράκτορες παραμένουν ικανοποιημένοι από την όποια συμφωνία, με τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιείται η Pareto αποδοτικότητα. Η διαπραγμάτευση εξελίσσεται σε γύρους, με τρόπο που σε κάθε γύρο κάθε πράκτορας, είτε προσφέρει μια τιμή που χειροτερεύει τη δική του ικανοποιησιμότητα βελτιώνοντας ταυτόχρονα την ικανοποιησιμότητα του αντιπάλου (opponent), είτε αν το πρώτο δεν είναι εφικτό, καταφεύγει σε ταυτόσημη με πριν προσφορά. Έτσι, δικαιολογείται και ο όρος της συνεργατικότητας. Η διαπραγμάτευση ολοκληρώνεται όταν, είτε και οι δύο πράκτορες είναι ικανοποιημένοι από το αποτέλεσμα, είτε και οι δύο αποτυγχάνουν να βελτιώσουν περαιτέρω, με τον τρόπο που περιγράφηκε, την ικανοποιησιμότητα του αντιπάλου. Φαίνεται επομένως ότι η συγκεκριμένη κατηγορία διαπραγματευτικών περιβαλλόντων, είτε οδηγεί σε αμοιβαία ικανοποιησιμότητα, είτε σε διαφωνία. Έτσι, η συμφωνία δεν είναι εξασφαλισμένη. Η βασική στρατηγική που χρησιμοποιείται στην κατηγορία αυτή δεν είναι πρωτόγνωρη, αλλά αποτελεί επέκταση μιας πολύ γνωστής από το χώρο των οικονομικών (Zeuthen 1930). Η στρατηγική αυτή προβλέπει την καλύτερη δυνατή αρχική προσφορά από την πλευρά του πράκτορα που αρχικά προτείνει και τη διατήρηση των υπόλοιπων προσφορών σε επίπεδο μειωμένου κοινού ρίσκου, μέσω υπολογισμού μιας συνάρτησης ρίσκου σε κάθε βήμα. Η συγκεκριμένη στρατηγική έχει τροποποιηθεί στο (Zlotkin and Rosenschein 1989), προκειμένου να οδηγεί σε προσφορές με έννοια αμοιβαίας ικανοποιησιμότητας και όχι απλά μειωμένου ρίσκου. Στο συγκεκριμένο περιβάλλον, οι πιθανοί υπολογισμοί είναι πεπερασμένοι, το αντικείμενο διαπραγμάτευσης είναι η τιμή αγοράς και οι διαπραγματευόμενοι πράκτορες είναι δύο. Οι συγκεκριμένοι πράκτορες στην πραγματικότητα δεν έχουν το χαρακτηριστικό παροχέα-πελάτη. Πρόκειται μάλλον για δυο συνεργαζόμενους πράκτορες, με στόχο την από κοινού ικανοποίηση των εκπροσώπων τους. Οι διάφορες παράμετροι της διαδικασίας είναι δημοσιευμένες, μιας και οι δύο πράκτορες πρέπει να συνεργαστούν. Τα χαρακτηριστικά αυτά φαίνεται να αντίκεινται

στη φιλοσοφία των σύγχρονων ανταγωνιστικών περιβαλλόντων, ωστόσο υπάρχουν και περιβάλλοντα με στόχο την από κοινού βελτιστοποίηση, απλά δεν θα μας απασχολήσουν.

Η δεύτερη κατηγορία περιβαλλόντων διαπραγμάτευσης ενός-προς-ένα περιλαμβάνει περιπτώσεις που μπορούμε να έχουμε ανταγωνιστικούς πράκτορες αντί συνεργατικούς. Για τις περιπτώσεις αυτές, οι Faratin, Jennings και Sierra (Faratin et.al. 1998) ανέπτυξαν μια συλλογή μοντέλων που ακολουθούν μια ευριστική διαδικασία. Η συγκεκριμένη διαδικασία επιλέχθηκε για να ξεπεράσει τα υπολογιστικά αδιέξοδα που αντιμετωπίζονται στις παραδοσιακές τεχνικές που βασίζονται στη θεωρία παιγνίων. Σε γενικές γραμμές, οι τεχνικές αυτές υποθέτουν ότι για κάθε ενέργεια κατά τη διάρκεια της διαδικασίας υπάρχει ένα κόστος που πρέπει να πληρωθεί, οπότε στόχος είναι να χαραχθεί μια πολιτική με το μικρότερο δυνατό κόστος. Με τον τρόπο, ενώ η προσέγγιση είναι κοντά στις πραγματικές απαιτήσεις, βέλτιστες λύσεις δεν μπορούν να επιτευχθούν, στη γενική περίπτωση. Η κατηγορία αυτή, σε αντίθεση με την προηγούμενη, προβλέπει την προαγωγή και ικανοποίηση των προσωπικών αναγκών του κάθε πράκτορα, ανεξάρτητα από το αντίπαλο μέρος. Οι προσφορές ανταλλάσσονται διαδοχικά σε ένα σύνολο γύρων, και ο τελικός αριθμός των γύρων αυτών καθορίζεται από το ελάχιστο των χρονικών διαστημάτων που τα δύο μέρη είναι διατεθειμένα να αφιερώσουν στη διαδικασία. Οι στόχοι, οι επιδιώξεις και άρα οι στρατηγικές των δύο πρακτόρων είναι αυστηρά ιδιωτικές και σε καμία περίπτωση δεν αποκαλύπτονται οικειοθελώς, γιατί στην περίπτωση αυτή ο αντίπαλος θα αποκτούσε πλεονέκτημα. Η παράμετρος που καθορίζει το βαθμό ικανοποιησιμότητας είναι μια συνάρτηση, αυστηρά ιδιωτική, και σαφώς διαφορετική για κάθε πράκτορα, η οποία καθορίζεται εξ' αρχής από τον εκάστοτε εντολοδόχο. Η διαπραγμάτευση τελειώνει είτε επιτυχώς, αν οι στρατηγικές των δύο συμπίπτουν, είτε ανεπιτυχώς αν δεν υπάρξει σύγκλιση τη στιγμή που κάποιο από τα δύο μέρη εγκαταλείπει τη διαδικασία. Το σύνολο των προτάσεων των δύο πρακτόρων όπως εύκολα μπορεί να υποθέσει κανείς, καθορίζεται από ένα σύνολο στρατηγικών, που έχουν τη μορφή συναρτήσεων όπως αυτές προδιαγράφονται στο και έχουν ήδη παρουσιαστεί σε προηγούμενη ενότητα. Ακόμα όμως και σε αυτό το ανταγωνιστικό περιβάλλον, οι στρατηγικές μπορούν να επιλεγούν με τρόπο που να καθορίζει μια συνεργατική αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο πρακτόρων. Οι δύο πράκτορες μπορούν να διαπραγματευτούν πάνω σε ένα ή περισσότερα στοιχεία, πάντα όμως ένας προς έναν.

Συνοψίζοντας, πρόκειται για ένα περιβάλλον με πολλά κοινά στοιχεία με τα πραγματικά ανταγωνιστικά περιβάλλοντα αυτοματοποιημένης διαπραγμάτευσης πόρων, και αναμένεται να μας απασχολήσει εκτενώς.

3.2.2 Διαπραγμάτευση Ενός πελάτη με Πολλούς Παροχείς (One-to-Many)

Το πρόβλημα της αυτοματοποιημένης διαπραγμάτευσης πόρων σε περιβάλλον ένας προς πολλούς έχει αποδειχθεί μια ιδιαίτερη πρόκληση (Ungar et.al. 1998). Στην περίπτωση αυτή έχουν υιοθετηθεί στρατηγικές που βασίζονται σε πλειστηριασμούς, ως η πιο κατάλληλη προσέγγιση για διαδικασίες που περιλαμβάνουν απόκτηση ενός αγαθού από πολλούς παροχείς (Sandholm 1999). Τα μοντέλα αυτά, παρόλο που αποδεικνύονται αποδοτικά και εύκολα υλοποιήσιμα για διαδικασίες πραγματικού χρόνου, αποτυγχάνουν να υποστηρίξουν σενάρια τα οποία είναι περισσότερο πολύπλοκα και με λιγότερο αυστηρά δομημένη πληροφορία. Ένα σημαντικό μειονέκτημα των διαδικασιών αυτών είναι ότι δεν επιτρέπουν εύκολα αλληλεπιδραστικές διαπραγματεύσεις μεταξύ των πρακτόρων. Έτσι, στερούνται των χαρακτηριστικών ευελιξίας και δυνατότητας εφαρμογής πιο πολύπλοκων και ποικίλων στρατηγικών που εμφανίζονται στα σύγχρονα δυναμικά και αλληλεπιδραστικά περιβάλλοντα, με ανταγωνιστικές διαδικασίες πραγματικού χρόνου.

Για τη δημιουργία ενός περιβάλλοντος που δεν θα στηρίζεται σε διαδικασίες πλειστηριασμού, αλλά σε ανεξάρτητα και πολύπλοκα παράλληλα νήματα διαπραγμάτευσης, είναι αναγκαίο να σχεδιαστούν πράκτορες που θα είναι σε θέση να διατηρούν πληροφορία για κάθε έναν από τους παροχείς με τους οποίους διαπραγματεύονται. Βεβαίως, κάτι τέτοιο αυξάνει δραματικά τις λειτουργικές απαιτήσεις του πράκτορα, καθώς αυξάνει το πλήθος των παροχέων με τους οποίους διαπραγματεύεται.

Επιπλέον, αυτό που πρέπει να αποφασίζεται εδώ είναι το είδος της πληροφορίας που πρέπει να αποθηκεύεται για κάθε ενεργή μεμονωμένη διαδικασία. Σε πολλά συστήματα, προκειμένου να αποφευχθεί η διατήρηση πολλαπλών νημάτων σε μια ένας προς πολλούς διαδικασία, ο ένας πράκτορας που διαθέτει τη λογική διατήρησης αυτών των πολλών νημάτων αντικαθίσταται από πολλαπλούς υπό-πράκτορες του που λειτουργούν για λογαριασμό του και έτσι διατηρεί τον κεντρικό έλεγχο χωρίς να αυξάνει την πολυπλοκότητα του και βέβαια τις υπολογιστικές του απαιτήσεις (Rahwan et.al. 2002). Απλά προσλαμβάνει πράκτορες που προγραμματίζονται για τη διενέργεια πολλαπλών ένας προς έναν διαδικασιών. Έτσι, συναντάμε μια αναγωγή της ένας προς πολλούς διαδικασίας σε πολλαπλές ένας προς έναν. Η μέθοδος αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι η όλη διαδικασία δεν εξαρτάται από έναν και μόνο πράκτορα, μειώνει την επιβάρυνση συνολικά, ενώ δίνεται η δυνατότητα να εφαρμοστεί διαφορετική πολιτική στρατηγικής για κάθε ενεργό νήμα. Για παράδειγμα, μπορεί ένας πράκτορας να οπλιστεί με δυνατότητες εκμάθησης για έναν παροχέα, ενώ ένας άλλος όχι. Η

ευελιξία είναι ένα συγκριτικά σημαντικό πλεονέκτημα σε περίπτωση που επιθυμούμε να αναζητήσουμε πόρους σε άγνωστα περιβάλλοντα ασαφούς γνώσης.

Τέλος, η παρουσία ενός πράκτορα σε αντιδιαστολή με τους πολλούς αντιπροσώπους, περιορίζει και τη δυνατότητα ενσωμάτωσης μιας νέας στρατηγικής σε αυτόν, μιας και μια τέτοια δυνατότητα θα απαιτούσε τερματισμό των ενεργών διαδικασιών και επανεκκίνηση του πράκτορα, γεγονός αδιανόητο για μια διαπραγμάτευση. Αντίθετα, κάτι τέτοιο επιτρέπεται να γίνει αποδοτικότερα παρουσία της αναγωγής. Διαφορετικές προσπάθειες και προσεγγίσεις στην κατηγορία των διαδικασιών ένας προς πολλούς είτε δεν είναι ιδιαίτερα δημοφιλείς, είτε δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε δυναμικές συνθήκες, οπότε και δεν αναλύονται περαιτέρω.

3.2.3 Διαπραγμάτευση Πολλών Πελατών με Πολλούς Παροχείς (Many-to-Many)

Στην περίπτωση αυτή θα αναφερθούμε στις διαδικασίες που περιλαμβάνουν πολλαπλούς εσωστρεφείς, λογικούς και αυτόνομους πράκτορες. Οι πράκτορες αυτοί διαθέτουν επίσης, συγκεκριμένους χρονικούς περιορισμούς και ένα πρωτόκολλο διαπραγμάτευσης, που ταυτίζεται με ότι έχει αναφερθεί παραπάνω (Kraus 2001). Το πρωτόκολλο που υιοθετείται από κάθε πράκτορα, πρέπει να διαθέτει χαρακτηριστικά συμμετρίας, απλότητας, αποδοτικότητας και σταθερότητας, ειδικότερα στην περίπτωση των πολλαπλών πρακτόρων που επιθυμούμε να είμαστε περισσότερο ταχείς στις διαδικασίες προκειμένου να μην σπαταλούνται πόροι. Η ιδανική περίπτωση βέβαια, είναι να επιτευχθεί συμφωνία από τον πρώτο γύρο. Ο Kraus παρέχει μια λίστα προϋποθέσεων για μια οικογένεια σεναρίων που αντιστοιχούν σε τέτοιου είδους διαπραγματεύσεις. Οι δύο βασικές προϋποθέσεις προβλέπουν αφενός, ότι αν και στη διαδικασία προβλέπεται η ενεργή παρουσία πολλών πρακτόρων, μόνο δύο μπορούν να επικοινωνούν σε κάθε γύρο της διαπραγμάτευσης, και αφετέρου, ότι οι πράκτορες που συμμετέχουν αποσκοπούν στην βελτιστοποίηση της συνάρτησης ικανοποιησιμότητας. Τα χαρακτηριστικά που καθορίζουν αυστηρά τη δομή του περιβάλλοντος διαπραγμάτευσης με πολλαπλούς πράκτορες, προβλέπουν ένα προς ένα διαπραγμάτευση για κάθε αγαθό, πράκτορες οι οποίοι είναι αυτό-ενδιαφερόμενοι, πλήρως λογικοί και πλήρως προσηλωμένοι στο σκοπό τους, και τέλος, αγαθά των οποίων η τιμή είναι δημοσίως γνωστή ανά πάσα στιγμή.

Τα σενάρια που προβλέπονται από τη βιβλιογραφία, στο περιβάλλον αυτό των πολλαπλών πρακτόρων που διαπραγματεύονται για πολλαπλά αγαθά, αποτέλεσαν και αποτελούν βασικό χαρακτηριστικό κάθε ερευνητικής προσπάθειας, καθώς οι παραδοχές που γίνονται αλλάζουν δραματικά την ποιότητα και τα συμπεράσματα των αποτελεσμάτων που

εξάγονται από τα πειράματα. Οι βασικές προσπάθειες αναγνωρίζονται σε πέντε επιμέρους κατηγορίες:

Το πρώτο σενάριο προβλέπει την παρουσία δύο πρακτόρων με τέλεια γνώση, που διαπραγματεύονται πάνω σε ένα διαμοιραζόμενο πόρο, χωρίς δυνατότητα εναλλακτικής συμφωνίας. Στην περίπτωση αυτή, πλήρης γνώση υποτίθεται για τους δυο πράκτορες, ενώ οι συναρτήσεις ικανοποιησιμότητας είναι δημοσίως γνωστές. Η μη επίτευξη συμφωνίας είναι το χειρότερο δυνατό αποτέλεσμα για κάθε πράκτορα, ενώ τόσο οι πόροι, όσο και τα χρονικά περιθώρια κάθε πράκτορα είναι ιδιαιτέρως πολύτιμα. Κάτω από αυτές τις υποθέσεις, ο Kraus (Kraus 2001) αποδεικνύει ότι για κάθε διαπραγμάτευση υπάρχει βέλτιστη ισορροπία, που εγγυάται τερματισμό της διαδικασίας από τον πρώτο ακόμα γύρο. Το σενάριο αυτό δεν είναι εφαρμόσιμο σε δυναμικά περιβάλλοντα περιορισμένης γνώσης, γύρω από τα οποία περιστρέφεται η έρευνά μας, ωστόσο είναι χρήσιμο στην περίπτωση που απαιτείται η εξαγωγή συμπερασμάτων για περιβάλλοντα διαπραγμάτευσης και η αναζήτηση βέλτιστων ισορροπιών.

Το δεύτερο σενάριο μελέτης που αναφέρεται, προβλέπει παρουσία δύο πρακτόρων με τέλεια γνώση για κάποιο κοινό σκοπό, με δυνατότητα εναλλακτικών προσφορών. Η κατηγορία αυτή διαφέρει από την προηγούμενη σε δύο σημεία: κάθε πράκτορας υποτίθεται ότι διαθέτει τις δυνατότητες για να φέρει σε πέρας μια διαδικασία, ενώ τα αγαθά είναι διακριτά. Οι υποθέσεις που πρέπει να γίνουν προκειμένου να πρωτοτυποποιηθεί το περιβάλλον, συνοψίζονται στο, ότι μια πιθανή διαφωνία είναι καταστροφική για τον κάθε πράκτορα, η παράμετρος χρόνου είναι σημαντική και τέλος, ότι οι διαδικασίες κοστίζουν, οπότε μια πιθανή αποχώρηση κοστίζει από πλευράς χρόνου και πόρων, γεγονός απευκταίο.

Σε αντιστοιχία, το τρίτο σενάριο προβλέπει πράκτορες με άριστη γνώση που διαπραγματεύονται πάνω σε ένα διαμοιραζόμενο πόρο, στον οποίο έχει αποκλειστική πρόσβαση ένας μόνο κάθε στιγμή, με δυνατότητα εναλλακτικών προσφορών. Αυτό είναι το κλασικό εναλλακτικό σενάριο, στο οποίο κάθε πράκτορας βγαίνει κερδισμένος με την πάροδο του χρόνου, την ίδια στιγμή που ο αντίπαλος χάνει. Η προϋπόθεση ότι μια πιθανή διαφωνία είναι καταστροφική, είναι και εδώ παρούσα.

Το τέταρτο και προτελευταίο σενάριο, περιλαμβάνει πράκτορες με ατελή γνώση για το περιβάλλον, που διαπραγματεύονται έναν διαμοιραζόμενο πόρο, με μοναδική πρόσβαση και δυνατότητα εναλλακτικών προσφορών. Το σενάριο αυτό δεν προϋποθέτει γνώσεις για το μέλλον της διαδικασίας, αλλά κάθε πράκτορας επιχειρεί να μεγιστοποιήσει την ικανοποιησιμότητά του αποτιμώντας τις στρατηγικές του αντιπάλου σε κάθε βήμα.

Τέλος, το πέμπτο σενάριο προβλέπει την παρουσία πολλαπλών πρακτόρων με πλήρη γνώση για έναν κοινό σκοπό και με δυνατότητα εναλλακτικών προσφορών. Συγκριτικά με τα προηγούμενα σενάρια, εδώ έχουμε μια μετάβαση από τη διαδικασία ένας προς έναν, στην πολλούς προς πολλούς διαπραγμάτευση. Προφανώς, το παρόν σενάριο ταιριάζει περισσότερο

στον τίτλο της υπό-ενότητας αυτής, αν και στην πραγματικότητα, όπως αυτή εμφανίζεται στα αληθινά περιβάλλοντα, κάθε ένας προς έναν περιβάλλον μπορεί να γενικευθεί σε πολλά προς πολλούς, υπό την λογική προϋπόθεση ότι κάθε διαπραγμάτευση πολλών με πολλούς εκφυλίζεται σε πολλαπλές διαδικασίες ένας προς έναν. Η παραδοχή αυτή είναι θεμιτή και αποδεικνύεται και αποδοτική από τα πειραματικά αποτελέσματα (Lomuscio et.al. 2003). Το πρωτόκολλο έχει τη μορφή εναλλακτικών προσφορών και προχωρά βήμα-βήμα, με κάθε πράκτορα να επιχειρεί μια προσφορά και αν υπάρχει συμφωνία η διαπραγμάτευση τερματίζεται επιτυχώς. Διαφορετικά, αν κάποιος αποχωρήσει λόγω διαφωνίας η διαδικασία τερματίζεται ανεπιτυχώς. Αν τίποτα από τα δύο δε συμβαίνει, κάποιος άλλος πράκτορας αναλαμβάνει την υποχρέωση να προτείνει μια προσφορά και η διαδικασία συνεχίζεται με τον τρόπο αυτό μέχρι τον τερματισμό της. Κάθε πράκτορας μπορεί να συμμετάσχει σε μια παρόμοια διαδικασία είτε σαν παροχέας, είτε σαν πελάτης. Οι βασικές υποθέσεις που ισχύουν και εδώ, προϋποθέτουν ότι οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα κοστίζουν χρονικά, ο χρόνος είναι πολύτιμος, οι συμφωνίες είναι προτιμώμενες από τις αποχωρήσεις και τέλος, η πιθανή αποχώρηση κοστίζει πολύ ακριβότερα, καθώς η διαδικασία προχωρά.

Συνοψίζοντας, καταλήγουμε ότι τα περιβάλλοντα αυτά βασίζονται σε διαδικασίες με συγκεκριμένες προϋποθέσεις και με συγκεκριμένους κανόνες αλληλεπίδρασης που μοντελοποιούν ένα περιβάλλον πολλαπλών πρακτόρων σαν ένα περιβάλλον με πολλούς πράκτορες που διαπραγματεύονται για ένα κοινό αγαθό ή σαν ένα περιβάλλον με πολλούς πράκτορες σε ένας προς έναν όμως διαδικασίες. Οι προϋποθέσεις που τίθενται σε κάποια από τα παραπάνω σενάρια για τα περιβάλλοντα πολλαπλών πρακτόρων, δεν συνάδουν με τις προϋποθέσεις που τίθενται από τα δυναμικά περιβάλλοντα περιορισμένης γνώσης, οπότε απορρίπτουμε τη χρήση τους και εστιάζουμε σε εκείνα μόνο που ταιριάζουν στη φιλοσοφία της δικής μας αρχιτεκτονικής.

3.3 Πρωτόκολλα Διαπραγμάτευσης Πόρων

Ανεξάρτητα από τους πράκτορες που διαπραγματεύονται και τις τεχνολογίες λογισμικού που χρησιμοποιούνται σε ένα περιβάλλον διαπραγμάτευσης πόρων, οι κανόνες που καθορίζουν πλήρως μια διαδικασία διαπραγμάτευσης πρέπει επίσης να ορίζονται αυστηρά, όπως έχει ήδη αναφερθεί (Paurobally et.al. 2003). Οι κανόνες αυτοί καθορίζουν πλήρως τον τρόπο που οι πράκτορες επικοινωνούν διαλογικά και τα μηνύματα τα οποία ανταλλάσσουν. Έτσι, με την προϋπόθεση ότι μιλούν την ίδια γλώσσα, μπορούν να διατυπώνουν συγκεκριμένες αιτήσεις και να περιμένουν συγκεκριμένες απαντήσεις, συμμετέχοντας έτσι σε μια διαδικασία διαπραγμάτευσης. Αυτό που μόλις περιγράφηκε είναι ένα πρωτόκολλο διαπραγμάτευσης και σε αυτή την ενότητα επιχειρούμε να περιγράψουμε τα πιο σημαντικά από αυτά, όπως

εμφανίζονται στη βιβλιογραφία. Να σημειώσουμε πρώτα όμως, ότι εδώ ενδιαφερόμαστε αποκλειστικά και μόνο για τους μηχανισμούς μηνυμάτων και όχι για τη λογική που ενσωματώνουν οι πράκτορες και τον τρόπο που λαμβάνουν αποφάσεις και διατυπώνουν απαντήσεις και ερωτήσεις. Επιπλέον, μιας και η πλειοψηφία στην κατηγορία αυτή ασχολείται με διμερή πρωτόκολλα (bilateral protocols), θα περιγράψουμε τη σχετική δουλειά που έχει γίνει όταν οι πράκτορες που διαπραγματεύονται για ένα αγαθό είναι δυο. Προφανώς, ο ένας είναι ο παροχέας που επιθυμεί να πουλήσει ένα αγαθό ή μια υπηρεσία στην υψηλότερη δυνατή τιμή και ο άλλος ο πελάτης και υπονήφιος αγοραστής που διαπραγματεύεται με τον πρώτο με στόχο την ελάχιστη δυνατή τιμή αγοράς.

Αρχικά, το πρωτόκολλο διαπραγμάτευσης πρέπει να καθορίζει κανόνες συμπεριφοράς για τους πράκτορες. Για παράδειγμα, όταν ένας πράκτορας προτείνει κάτι, ο αντίπαλος πρέπει να απαντήσει, στέλνοντας μήνυμα αποδοχής, απόρριψης ή αντιπροσφοράς και ποτέ να αγνοεί την αρχική προσφορά. Έτσι, τα μηνύματα που μπορούν να ανταλλαχθούν όταν οι πράκτορες επιθυμούν να αποκαταστήσουν μια διαλογική διαπραγμάτευση, να τερματίσουν τη διαδικασία και να σχηματίσουν αντιπροσφορές πρέπει να μοντελοποιούνται αυστηρά και αποδοτικά για κάθε πρωτόκολλο διαπραγμάτευσης. Και προτού αναφερθούμε σε συγκεκριμένες ερευνητικές προσπάθειες μοντελοποίησης, πρέπει να τονιστεί η ανάγκη να διαθέτει το πρωτόκολλο σταθερότητα (Esteva et.al. 2001), σαν ελάχιστη προϋπόθεση προκειμένου να αποτιμηθεί ως κατάλληλο. Με αυτό εννοείται ότι το εκάστοτε πρωτόκολλο, οφείλει να διαθέτει τερματικούς μηχανισμούς και να αποφεύγει πιθανά αδιέξοδα. Αυτό είναι εξαιρετικά σημαντικό σε ευαίσθητα καταναεμημένα περιβάλλοντα, όπου πιθανά αδιέξοδα μπορεί να οδηγήσουν σε υποβιβασμό των διαδικασιών του συνολικού αριθμού των πρακτόρων που συμμετέχουν. Τέλος, το κάθε πρωτόκολλο πρέπει να είναι σαφές, με την έννοια ότι σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να υπάρχουν ασαφώς ορισμένες καταστάσεις, προκειμένου να διασφαλίζεται η ορθότητα των διαδικασιών.

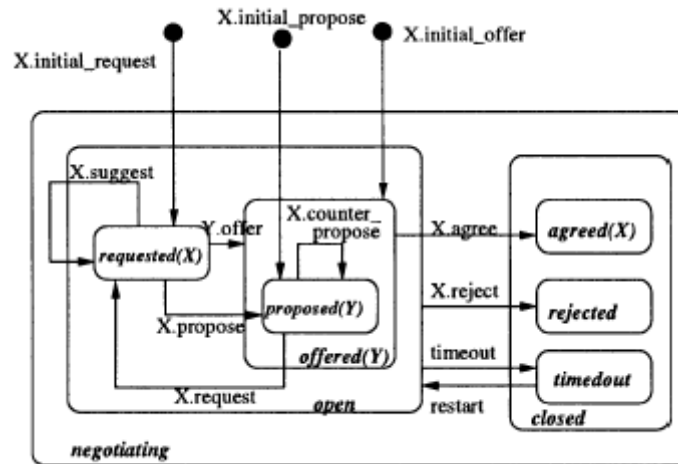
Στο (Paurobally et.al. 2003) παρουσιάζεται ένα πρωτόκολλο σχετικά αυξημένης πολυπλοκότητας. Το γεγονός αυτό το καθιστά μερικώς ακατάλληλο για πραγματικές εφαρμογές, ωστόσο υποδηλώνονται με τον καλύτερο τρόπο οι απαιτούμενες εκφραστικές δυνατότητες που ένα τέτοιο πρωτόκολλο μπορεί να έχει, μέσω μιας γλώσσας προδιαγραφής. Συν τοις άλλοις, πρόκειται για ένα πρωτόκολλο που υποστηρίζει διαπραγμάτευση πολλαπλών μερών (multi-lateral), αλλά προσαρμόζεται άριστα στην περίπτωση των διμερών διαδικασιών. Η δομή του στηρίζεται σε μια μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων με καλά δομημένη αλληλουχία μεταβάσεων και καταστάσεων. Έτσι, υπάρχουν 7 καταστάσεις, συμπεριλαμβανομένης της αρχικής. Οι καταστάσεις αυτές είναι τερματικές (rejected, agreed, withdraw), αλλά και καταστάσεις δράσης (pending, seconded, voting), πέρα από την αρχική (initial). Κάθε τέτοια κατάσταση διαθέτει λογικές μεταβάσεις στις επιτρεπόμενες καταστάσεις προκειμένου να ολοκληρωθεί μια διαπραγμάτευση. Τα μηνύματα που

ανταλλάσσονται είναι αυτά που ενεργοποιούν μια μετάβαση από μια κατάσταση σε μια άλλη. Το πιο σημαντικό βέβαια από αυτά, θεωρείται το process μήνυμα που ανταλλάσσεται περιοδικά με στόχο να ενημερώσει για αιτήσεις και αυτό που προκαλεί τη μετάβαση από ενδιάμεσες καταστάσεις στις τελικές ή στην κατάσταση αναμονής.

Το (Jyh-Cheng et.al. 2002) περιγράφει ένα περιβάλλον διαπραγμάτευσης με χαρακτηριστικά ποιότητας υπηρεσίας που βασίζεται σε κινητούς πράκτορες-πελάτες που μπορούν να εναλλάσσουν τους πράκτορες-παροχείς με τους οποίους διαπραγματεύονται με ευκολία. Οι προτιμήσεις των χρηστών μπορούν να προσαρμόζονται δυναμικά και οι παροχείς μπορούν να χρησιμοποιούν καλύτερα το δίκτυο και τους πόρους του. Το συγκεκριμένο περιβάλλον μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε ενσύρματα όσο και σε ασύρματα περιβάλλοντα με πολλαπλούς πράκτορες, αλλά είναι εξαιρετικά χρήσιμο στις διμερείς διαδικασίες, κυρίως λόγω της απλότητας των μηνυμάτων του. Τα μηνύματα αυτά ακολουθούν την κλασική επικοινωνία πελάτη-εξυπηρετητή (client-server), με τον πελάτη να ρωτά και τον εξυπηρετητή-παροχέα να αποκρίνεται. Στο πρωτόκολλο αυτό προβλέπονται, 3 είδη μηνυμάτων ερωτήσεων (requests) και αντίστοιχα 3 είδη μηνυμάτων αποκρίσεων (responses). Ο πελάτης στέλνει SLS_LIST_REQUEST προκειμένου να εκκινηθεί η διαδικασία διαπραγμάτευσης και ο παροχέας αποκρίνεται με SLS_LIST_RESPONSE, παρέχοντας μια λίστα των παρεχόμενων αγαθών και υπηρεσιών. Στη συνέχεια στέλνεται ένα SLS_NEGO_REQUEST που συγκεκριμενοποιεί την αίτηση του πελάτη για απόκτηση ενός συγκεκριμένου αγαθού και σχηματίζεται μια διαπραγμάτευση με τον εξυπηρετητή-παροχέα. Ο τελευταίος απαντά με ένα SLS_NEGO_RESPONSE, γνωστοποιώντας αν αποδέχεται την αίτηση ή όχι, επεξηγώντας και τους λόγους μιας πιθανής άρνησης. Στατιστικά στοιχεία είναι επίσης διαθέσιμα, μέσω των μηνυμάτων SLS_STAT_REQUEST και SLS_STAT_RESPONSE. Έχοντας περιγράψει τις βασικές λειτουργικές διαδικασίες, αυτό που μπορεί να τονιστεί για το συγκεκριμένο πρωτόκολλο είναι, ότι πρόκειται για ένα απλό και σταθερό πρωτόκολλο που επιτρέπει την εύκολη και γρήγορη διαπραγμάτευση για συγκεκριμένα αγαθά, ένα συμπέρασμα που επαληθεύεται εύκολα από τον αριθμό και τη φύση των μηνυμάτων. Παρόλα αυτά, είναι εντελώς ακατάλληλο για πολύπλοκα περιβάλλοντα, όπου σύνθετες στρατηγικές μπορεί να υιοθετούνται από τους πράκτορες ή τα αγαθά είναι πολλά.

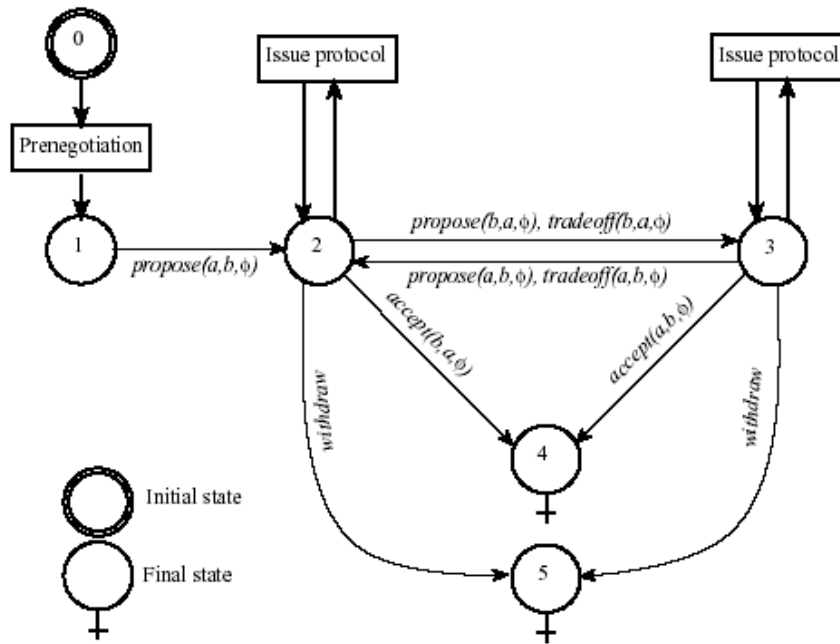
Ένα διμερές πρωτόκολλο διαπραγμάτευσης που επιτρέπει αιτήσεις, προσφορές, προτάσεις και συμφωνίες, περιγράφεται στο (Paurobally et.al. 2003). Όπως υποστηρίζουν οι δημιουργοί του, το συγκεκριμένο πρωτόκολλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση για περαιτέρω προσαρμογή, ανάλογα με το περιβάλλον. Εν γένει, ένα διάγραμμα καταστάσεων (Σχήμα 3-1) προτείνεται για την κατάλληλη αποτίμηση κάθε πιθανής αλληλουχίας μηνυμάτων διαπραγμάτευσης (Paurobally and Cunningham 2002). Οι πράκτορες αρχικά, αρχικοποιούν τη διαδικασία στέλνοντας είτε ένα initial_request, είτε ένα initial_offer, είτε

ένα `initial_propose` μήνυμα. Επιπλέον, οι πράκτορες μπορούν να ενεργοποιήσουν `reject`, `accept`, `suggest` και `timeout` γεγονότα και μπορούν να επαναρχικοποιούν διαδικασίες που έχουν τερματιστεί λόγω χρονικών αδιεξόδων. Σύμφωνα με τα εισερχόμενα μηνύματα, κάθε πράκτορας μπορεί να ακολουθεί μεταβάσεις προς συγκεκριμένες καταστάσεις, οι οποίες είναι οι `requested`, `offered`, `proposed`, `agreed` και `timed-out`. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο αποδεικνύεται απλό και συνάμα εκφραστικό, όντας έτσι κατάλληλο για μια μεγάλη ποικιλία περιπτώσεων και την υλοποίησή του από κάθε τεχνολογία πρακτόρων.



Σχήμα 3-1. Διάγραμμα Καταστάσεων για Διμερές Μοντέλο Διαπραγμάτευσης

Ένα ακόμα αξιόλογο πρωτόκολλο περιγράφεται στο (Faratin et.al. 1999), που εκκινείται από ένα διάλογο που επιθυμεί να καθορίσει τα χαρακτηριστικά της διαπραγμάτευσης με όρους προθεσμιών, αγαθών, κλπ. Το πρωτόκολλο αυτό αποτελείται κυρίως από προσφορές και αντιπροσφορές που ενεργοποιούν αντίστοιχες μεταβάσεις σε μηχανές καταστάσεων. Κάθε ενεργός διαπραγματευτής διατηρεί τη δική του προσωπική μηχανή καταστάσεων, μπορεί να ανακοινώνει αποδοχές ή απορρίψεις, να αποσύρεται από διαπραγματεύσεις και τέλος, είναι σε θέση να διαμορφώνει και να ανακοινώνει νέα σύνολα αγαθών που επιθυμεί να αποκτήσει μέσω μιας νέας διαδικασίας διαπραγμάτευσης. Η μηχανή καταστάσεων που αναπτύχθηκε στη συγκεκριμένη πρόταση φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 3-2).

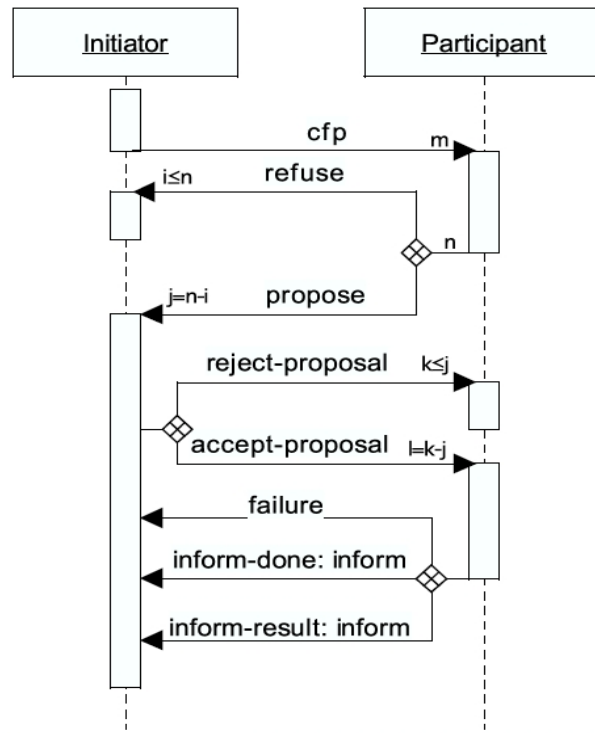


Σχήμα 3–2. Η Μηχανή Καταστάσεων που προτείνεται από τον Faratin

Πριν κλείσουμε την αναφορά μας στην εργασία αυτή πρέπει να τονίσουμε ότι το πρωτόκολλο αυτό μοιάζει πολύ με την προσέγγιση που ακολουθείται από το Contract Net πρωτόκολλο για την αλληλεπίδραση των πρακτόρων.

Μια και αναφερθήκαμε σε αυτό, επιχειρούμε εδώ να δώσουμε μια σύντομη αναφορά για το τι είναι και ποιοι ήταν οι σκοποί των δημιουργών του. Το Contract Net (FIPA 2002) είναι ένα εξαιρετικά δημοφιλές πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται ευρέως στην περιοχή της αυτοματοποιημένης διαπραγμάτευσης πόρων. Έχοντας προταθεί αρχικά από τον Smith στις αρχές της δεκαετίας του 1980 (Smith 1980), εξελίχθηκε σε ένα πολύ σημαντικό πρότυπο για την επίλυση μεγάλης ποικιλίας κατανεμημένων προβλημάτων σε κάθε λογής αγορές ηλεκτρονικού εμπορίου. Προβλέπει δύο είδη πρακτόρων, τον αρχικοποιητή (initiator) και τον συμμετέχοντα (participant) πράκτορα. Κάθε ενεργός πράκτορας μπορεί σε κάθε στιγμή να έχει οποιονδήποτε από τους δύο ρόλους ή και τους δύο. Βασική του επιδίωξη είναι η σύναψη συμβολαίων μεταξύ των διαπραγματευόμενων πρακτόρων και προκειμένου αυτό να είναι επιτεύξιμο, προτείνεται ένα πολύ αυστηρό πρωτόκολλο αλληλεπίδρασης σαν μια αλληλουχία τεσσάρων βημάτων: αρχικά, ο αρχικοποιητής στέλνει μια κλήση για προσφορές (call for proposals - CFP). Στη συνέχεια, κάθε συμμετέχοντας που «ακούει», αποτιμά το CFP και παράγει προσφορές προσαρμοσμένες σε προσωπικά κριτήρια. Ακολούθως, ο αρχικοποιητής, συλλέγει τις πιθανές προσφορές, τις αποτιμά και συνάπτει συμβόλαιο (contract) με εκείνον που δίνει την καλύτερη για εκείνον προσφορά. Τέλος, απορρίπτει όλες τις υπόλοιπες προσφορές και το πρωτόκολλο τερματίζεται. Ένας συμμετέχων, που δεν μπορεί να αποκριθεί με μια εφικτή προσφορά στην πρόταση του αρχικοποιητή στέλνει ένα μήνυμα άρνησης που

αυτόματα τον θέτει εκτός διαδικασίας. Το διάγραμμα αλληλουχίας του Contract Net πρωτοκόλλου, που εκφράζει τα βήματα που ακολουθούνται από τους συμμετέχοντες φαίνονται στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 3-3).

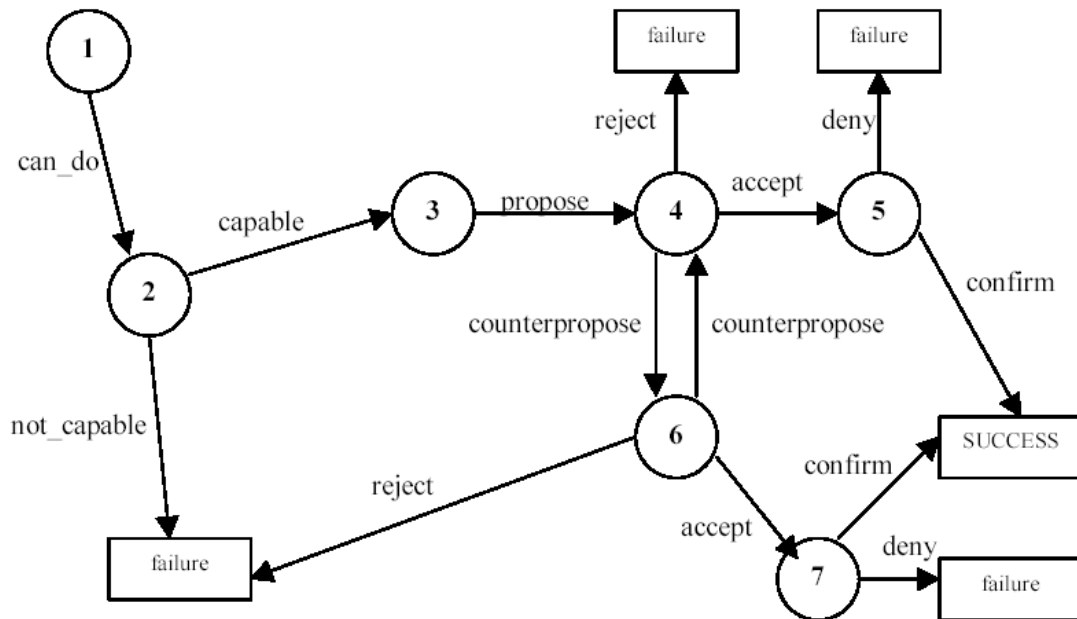


Σχήμα 3-3. Το Contract Net Πρωτόκολλο

Στο (Kraus and Schechter 2003) προτείνεται η χρήση ενός πρωτοκόλλου εναλλακτικών προσφορών. Οι πράκτορες διαπραγματεύονται σε διακριτούς χρονικούς γύρους που είναι γνωστοί εκ των προτέρων. Αρχικά, ο αιτούμενος πράκτορας κάνει μια προσφορά, στέλνοντας μια συγκεκριμένη προσφορά στον αντίπαλο πράκτορα με τον οποίο επιθυμεί να διαπραγματευτεί. Με τη λήψη της αίτησης, ο αντίπαλος μπορεί να την αποδεχθεί, να εγκαταλείψει τη διαδικασία, να επιλέξει να μη διαπραγματευτεί ή να την απορρίψει κάνοντας μια αντιπροσφορά. Σε περίπτωση που έχουμε αποδοχή, εγκατάλειψη ή επιλογή μη διαπραγμάτευσης, η διαδικασία τερματίζεται άμεσα. Αντίθετα, στην περίπτωση της απόρριψης με αντιπροσφορά, ο αντίπαλος απαντά στον επόμενο διαπραγματευτικό γύρο, και εκκινείται μια διαδικασία προσφορών και αντί-προσφορών μέχρι να επιτευχθεί μια συμφωνία ή να εξαντληθεί η προθεσμία κάποιου από τα διαπραγματευόμενα μέρη. Κλείνοντας, η συγκεκριμένη προσέγγιση ταιριάζει με τη φιλοσοφία του πρωτοκόλλου που ακολουθείται στη δική μας έρευνα.

Τέλος, όπως και προηγούμενα έτσι και στο (Orgea 2002), ακολουθείται ένα πρωτόκολλο προσφορών και αντιπροσφορών που κυρίως εστιάζεται στη μεταβλητότητα των συμμετεχόντων πρακτόρων. Το τελικό αποτέλεσμα είναι, όπως και προηγούμενα, είτε

συμφωνία μετά από κάποιον αριθμό βημάτων, είτε ασυμφωνία επίσης σε κάποιον αριθμό βημάτων, ανάλογα με τη στρατηγική των πρακτόρων και τις προθεσμίες τους. Στο πρωτόκολλο αυτό η διαδικασία αρχικοποίησης χαρακτηρίζεται από δυο βήματα: Ο πελάτης ελέγχει αρχικά την δυνατότητα του παροχέα να διαπραγματευτεί και μόνο μετά από θετική απόκριση στέλνει την πρότασή του. Το Σχήμα 3-4 δείχνει εποπτικά τις πιθανές ενέργειες τόσο του πελάτη όσο και του παροχέα, όπως αυτές στοιχειοθετούνται από το πρωτόκολλο.



Σχήμα 3-4. Το Προσαρμοσμένο σε Υπηρεσίες Πρωτόκολλο Διαπραγμάτευσης, όπως προτάθηκε από την Orpea.

Συνοψίζοντας την αναφορά μας στα πιο δημοφιλή πρωτόκολλα διαπραγμάτευσης πόρων μεταξύ αυτόνομων πρακτόρων, μπορούμε να διακρίνουμε μια γενικότερη τάση σε μηχανισμούς προσφορών και αντιπροσφορών, που προτιμώνται έναντι των προσφορών από το ένα μέρος. Επιπροσθέτως, σε κάθε απόπειρα μοντελοποίησης, υπάρχει μια προσπάθεια εξισορρόπησης μεταξύ απλότητας και εκφραστικότητας του πρωτοκόλλου, με την έννοια της υποστήριξης του συνόλου των πιθανών σεναρίων που μπορούν να ανακύψουν. Το πρωτόκολλο που προτάθηκε από εμάς, διατηρεί κοινά στοιχεία με τα περισσότερα από τα παραπάνω, επιχειρώντας ωστόσο να αποτιμηθεί υπέρτερο για το δικό μας περιβάλλον, όπου επιθυμούνται περιορισμένες αλληλεπιδράσεις, ενώ συναντάται μεγάλη ποικιλία στρατηγικών σε συνδυασμό με έξυπνους πράκτορες που μαθαίνουν από αυτό.

3.4 Μάθηση σε Αυτοματοποιημένες Διαπραγματεύσεις Πόρων

Πολλές ερευνητικές προσπάθειες στο πεδίο της αυτοματοποιημένης διαπραγμάτευσης πόρων έχουν εστιαστεί στην εκπαίδευση των πρακτόρων με στόχο την πρόβλεψη της συμπεριφοράς του αντιπάλου. Με τον τρόπο αυτό, ο πράκτορας που καταφέρνει να προβλέψει την πολιτική του αντιπάλου του αποκτά σημαντικό πλεονέκτημα και είναι σε θέση να αποκομίσει τα περισσότερα πιθανά οφέλη από την τρέχουσα διαπραγμάτευση.

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν δυο βασικές κατηγορίες στο πεδίο αυτό. Η πρώτη περιλαμβάνει μεθόδους που απαιτούν ισχυρή *a-priori* γνώση της συμπεριφοράς που επέδειξε ο αντίπαλος πράκτορας σε προηγούμενες διαπραγματεύσεις. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει εκείνες τις τεχνικές που επικεντρώνονται σε μοναδικές διαπραγματεύσεις, με την έννοια ότι δε συλλέγουν εμπειρία και γνώση από το παρελθόν, και επιχειρούν να φτάσουν στα επιθυμητά αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο με μόνο όπλο την παρατήρηση της συμπεριφοράς του αντιπάλου στην τρέχουσα διαδικασία. Ονομαστικά, οι πιο σημαντικές μέθοδοι που έχουν ερευνηθεί είναι η *Baeyesian* μάθηση (*Bayesian learning*), η ενισχυτική μάθηση (*reinforcement learning*), η εξαγωγή συμπερασμάτων βάσει περιπτώσεων (*case-based reasoning*), η εξαγωγή συμπερασμάτων βασισμένη σε μοντέλα (*model-based reasoning*), και η στατιστική ανάλυση (*statistical analysis*).

3.4.1 Bayesian Μάθηση

Η *Bayesian* μάθηση (Lee 2004) στις αυτοματοποιημένες διαπραγματεύσεις απαιτεί την εκ των προτέρων γνώση της κατανομής της συνάρτησης πιθανότητας του πιθανού αποτελέσματος της διαπραγμάτευσης και άλλων σχετικών πτυχών, όπως για παράδειγμα της στρατηγικής διαπραγμάτευσης της πολιτικής του αντιπάλου, της συνάρτησης ικανοποιησιμότητάς του, των αποδεκτών από αυτόν τιμών, των συνθηκών του περιβάλλοντος αγοράς, κλπ. Στην πράξη, αυτές οι υποκειμενικές πιθανότητες αλλάζουν και ενημερώνονται βασιζόμενες στις εκάστοτε νέες προσφορές που γίνονται από τον αντίπαλο. Οι (Zeng and Sycara 1997)(Bui et.al. 1999)(Li and Cao 2004)(Lawrence 2003) χρησιμοποιούν τεχνικές *Bayesian* μάθησης για να εκτιμήσουν ιδιωτική πληροφορία του αντιπάλου πράκτορα ή να προβλέψουν τη μελλοντική του συμπεριφορά.

Ένα σημαντικό μειονέκτημα όλων αυτών των μεθόδων είναι ότι απαιτούν τη διατήρηση αρχείου για τις προηγούμενες διαπραγματεύσεις που έχουν λάβει χώρα, που συνεπάγεται δραματική αύξηση του όγκου της πληροφορίας που πρέπει να διατηρεί ο πράκτορας, γεγονός ιδιαίτερα ανεπιθύμητο, δεδομένων των λειτουργικών του χαρακτηριστικών. Άλλωστε, η πληροφορία αυτή είναι δύσκολο να συλλεχθεί και να αποθηκευτεί, πόσο μάλλον να αποφασιστεί η μορφή που πρέπει να πάρει για να είναι αξιοποιήσιμη. Αν αναλογιστούμε ότι απαιτείται διαφορετικό αρχείο για κάθε αντίπαλο που

τυχαίνει να έχει διαπραγματευτεί ένας πράκτορας, τότε καταλαβαίνουμε το μέγεθος της δυσκολίας του όλου εγχειρήματος. Επιπρόσθετα, λόγω των στατικών χαρακτηριστικών της μεθόδου αυτής, είναι εξαιρετικά δύσκολο να ενσωματωθούν οι όποιες αλλαγές απαιτούνται και να επανεκπαιδευτεί ένας πράκτορας για κάποιες αλλαγές στη συμπεριφορά κάποιου αντιπάλου. Τέλος, πιθανή θεώρηση γνώσης της ιδιωτικής πληροφορίας του αντιπάλου για να μοντελοποιηθεί κάποια λύση, αντίκειται στις αρχές της δίκαιης διαπραγμάτευσης και κρίνεται ανεπιθύμητη.

Στο (Zeng and Sycara 1997) εμφανίζεται η πρώτη προσπάθεια να εκτιμηθούν οι δυνατότητες της Bayesian μάθησης στο πεδίο της αυτοματοποιημένης διαπραγμάτευσης. Το αποτέλεσμα είναι ένα μοντέλο διαπραγμάτευσης με όλα τα χαρακτηριστικά μάθησης, αλλά χωρίς να αντιμετωπίζονται τα μειονεκτήματα της μεθόδου, αφού προϋποτίθεται γνώση της ιδιωτικής πληροφορίας του αντιπάλου, ενώ επιπλέον το μοντέλο υποφέρει και από τα υπόλοιπα μειονεκτήματα των μοντέλων της θεωρίας παιγνίων. Επιπλέον, το μοντέλο είναι στατικό και δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να προσαρμοστεί στα σύγχρονα δυναμικά περιβάλλοντα των πολλαπλών νημάτων διαπραγμάτευσης. Τέλος, άλλο ένα χαρακτηριστικό που το καθιστά μη ρεαλιστικό είναι η εξαντλητική αναζήτηση της βέλτιστης επόμενης κίνησης από βήμα σε βήμα, της κίνησης δηλαδή εκείνης που δίνει το μεγαλύτερο κέρδος. Αυτή η λογική αδιαφορεί για τα επόμενα βήματα και αυξάνει την πιθανότητα αποτυχίας.

Στο (Bui et.al. 1999) ο διαπραγματευόμενος πράκτορας ενισχύεται με έναν Bayesian ταξινομητή, προκειμένου να είναι σε θέση βάσει της παρατήρησης της συμπεριφοράς του αντιπάλου να τον ταξινομήσει στην κατάλληλη κλάση. Έτσι, μπορεί να προβλέπει ως ένα βαθμό τη μελλοντική του συμπεριφορά. Ωστόσο, τα κριτήρια ταξινόμησης δεν είναι αρκετά για να καλύψουν την πλειονότητα των περιπτώσεων. Επιπλέον, ενώ διατείνεται ότι μειώνει το πρόβλημα του επικοινωνιακού κόστους μέσω της διαδικασίας μάθησης, δεν υπάρχει σύγκριση του κόστους αυτού με την αβεβαιότητα της μεθόδου μάθησης. Οπότε ενδεχόμενα να υπάρχουν περιπτώσεις που όντως απαιτείται ολοκληρωμένη διαπραγμάτευση για να επιτευχθεί ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα συμφωνίας, ενώ η μέθοδος να οδηγεί σε αποτυχία λόγω αυτού ακριβώς του συνόλου των αβέβαιων περιπτώσεων. Τέλος, η μέθοδος υποφέρει από τα υπόλοιπα μειονεκτήματα που έχουν αναφερθεί.

Μια πιο πρόσφατη προσπάθεια παρουσιάζεται στο (Li and Cao 2004). Εδώ η Bayesian μάθηση εφαρμόζεται σε μια διμερή διαπραγμάτευση πολλών αγαθών ταυτόχρονα και χρησιμοποιείται στον προσδιορισμό των συντελεστών βάρους που αποδίδει ο αντίπαλος πράκτορας σε κάθε ένα από τα αγαθά αυτά και στις επιθυμητές τιμές συμφωνίας που έχει θέσει ο αντίπαλος. Ωστόσο, η μέθοδος ενώ αποδίδει πολύ καλά στους συντελεστές βάρους, αδυνατεί να προσδιορίσει αποδοτικά σε όλες τις περιπτώσεις την πραγματική τιμή που τελικά συμφωνείται. Επιπλέον, η πολυπλοκότητα των υπολογισμών που απαιτούνται είναι μεγάλη.

Στο (Lawrence 2003) παρουσιάζεται μια λύση βασισμένη στη γνωστή Bayesian κατανομή, που αποσκοπεί στη βελτιστοποίηση της τιμής συμφωνίας από πλευράς του αγοραστή, μέσω αποτίμησης της πιθανότητας επιτυχίας σαν συνάρτηση διαφόρων παραμέτρων της διαδικασίας της τρέχουσας διαπραγμάτευσης. Η πιθανότητα αυτή στην πράξη εκτιμάται από τη μέθοδο που παρουσιάζεται, μέσω της παρατήρησης των αποτελεσμάτων από διαπραγματεύσεις με γνωστά αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα της μεθόδου, αν και χαρακτηρίζονται ικανοποιητικά από τους συγγραφείς, εμφανίζουν προβλήματα στιβαρότητας όταν τα δεδομένα που συλλέγονται από τη συμπεριφορά του αντιπάλου αρχίζουν να εμφανίζουν ασυνέπεια σε σχέση με ότι έχει ταξινομηθεί. Η προσθήκη επιπρόσθετων χαρακτηριστικών κατανομής μετριάζει το πρόβλημα, αλλά αυξάνει σε μεγάλο βαθμό την πολυπλοκότητα του προβλήματος.

3.4.2 Ενισχυτική Μάθηση

Η ενισχυτική μάθηση (Sutton and Barto 1998) βασίζεται στην ιδέα της προσαρμογής συμπερασμάτων, πολιτικών και συμπεριφοράς του πράκτορα βάσει της απόδοσης που επιδεικνύει ο εκάστοτε αντίπαλός του. Η κατηγορία αυτή επιμερίζεται σε δυο υποκατηγορίες και κάθε μια από αυτές έχει τα δικά της ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Η πρώτη περιλαμβάνει πρακτικές μάθησης βασισμένες στο Q-learning (Cardoso and Oliveira 2000)(Claus and Boutilier 1998)(Sandholm and Crites 1995), που στηρίζεται στην αυξητική ενισχυτική μάθηση (incremental reinforcement learning), επιχειρώντας να προσεγγιστούν όλα τα πιθανά ζευγάρια κατάστασης-δράσης προκειμένου να χαραχθεί η πολιτική που θα ακολουθηθεί στη διαπραγμάτευση. Η δεύτερη υποκατηγορία περιλαμβάνει προσπάθειες που στηρίζονται στους γενετικούς αλγόριθμους (Deveaux et.al. 2001)(Tu et.al. 2000)(Matos et.al. 1998)(Gerding et.al. 2003)(Lau 2005), όπου οι πράκτορες μοντελοποιούνται σαν χρωμοσώματα και οι παράμετροι διαπραγμάτευσης σαν χρωμοσωματικά γονίδια σε μια προσπάθεια να αναγνωριστούν οι υψηλής απόδοσης στρατηγικές, που θα οδηγήσουν και στο καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα, αλλά και να αποφευχθούν οι χαμηλής απόδοσης στρατηγικές.

Βασικό μειονέκτημα αυτών των μεθόδων είναι οι αυξημένες υπολογιστικές και αποθηκευτικές απαιτήσεις που εμφανίζονται, με αποτέλεσμα να κρίνονται ακατάλληλες για κάθε «ελαφρύ» κινητό πράκτορα. Επιπλέον, οι μέθοδοι λόγω της πολυπλοκότητάς τους κρίνονται ακατάλληλες στην πλειονότητα των περιπτώσεων που έχουμε μοναδικού στιγμιότυπου διαδικασίες διαπραγμάτευσης (single-instance). Στις περιπτώσεις αυτές ο πράκτορας δεν έχει προ-αποθηκεύσει πληροφορία για τον αντίπαλό του και πρέπει να εξάγει συμπεράσματα σε διάστημα ίσο με έναν γύρο διαπραγμάτευσης (γιατί τόσος του αντιστοιχεί) και μάλιστα σε πραγματικό χρόνο.

3.4.2.1 Q-Learning Τεχνικές

Η πρώτη κατηγορία τεχνικών ενισχυτικής μάθησης που συναντούμε είναι οι Q-learning τεχνικές. Πρόκειται για μια μορφή ενισχυτικής μάθησης που πρωτοεμφανίστηκε το 1989 (Watkins 1989) και δεν απαιτεί ένα μοντέλο του περιβάλλοντος και γι' αυτό το λόγο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε πραγματικό χρόνο. Επομένως, θεωρείται κατάλληλη για επαναλαμβανόμενες διαδικασίες που απαιτούν την πρόβλεψη της συμπεριφοράς του αντιπάλου. Όπως ήδη αναφέρθηκε, οι τεχνικές αυτές υπολογίζουν σε κάθε βήμα τα ζευγάρια κατάστασης-δράσης (state-action), Q. Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν σε πεπερασμένα νούμερα, που υποδεικνύουν το μελλοντικό όφελος αν από μια συγκεκριμένη κατάσταση, ακολουθηθεί συγκεκριμένη δράση. Όταν υπολογιστούν οι τιμές Q για όλα τα πιθανά ζεύγη καταστάσεων-δράσεων επιλέγεται εκείνη με τη μεγαλύτερη τιμή και ακολουθείται η συγκεκριμένη μετάβαση. Ο αλγόριθμος υπολογισμού, αν και εγγυάται σύγκλιση σε στατικά περιβάλλοντα, δεν συμπεριφέρεται εξίσου αποδοτικά στα δυναμικά. Τα πράγματα εδώ δυσκολεύουν όσο μεγαλώνει ο αριθμός των υποψήφιων ζευγαριών κατάστασης-δράσης για τα οποία πρέπει να υπολογιστεί το Q, και στη συνέχεια να επιλεγεί το ζευγάρι με τη μεγαλύτερη τιμή. Οι τιμές αυτές αρχικοποιούνται τυχαία και υπολογίζονται στη συνέχεια βάσει μιας επαναληπτικής διαδικασίας που συλλέγει εμπειρία από το περιβάλλον και την εισάγει με μορφή παραμέτρων σε απλές αριθμητικές σχέσεις.

Μια προσπάθεια αξιοποίησης της συγκεκριμένης τεχνικής φαίνεται στο (Cardoso and Oliveira 2000), όπου παρουσιάζεται μια πλατφόρμα που στηρίζεται στην δράση πρακτόρων ως μεσίτες σε ηλεκτρονικές αγορές. Οι πράκτορες αυτοί μπορούν να φέρουν σε πέρας διαπραγματεύσεις πολλαπλών μερών και αγαθών ταυτόχρονα, ενώ το σύστημα το ίδιο είναι ανεξάρτητο των στρατηγικών που χρησιμοποιούνται. Στο συγκεκριμένο έχει αξιολογηθεί η συμπεριφορά πρακτόρων με ποικίλες στρατηγικές και με δυνατότητα να συγκεντρώνουν εμπειρία προσαρμοζόμενοι στο περιβάλλον της κάθε διαπραγμάτευσης. Η προσαρμογή αυτή είναι που επιτυγχάνεται με τη βοήθεια του Q-learning, ενώ ως βασική απαίτηση για την αποδοτικότητα της μεθόδου παρουσιάζεται η συλλογή χρήσιμης πληροφορίας από προηγούμενες διαδικασίες διαπραγμάτευσης. Η ποσότητα της πληροφορίας που πρέπει όμως να αποθηκευτεί είναι μεγάλη, προκειμένου να καλυφθούν οι διαφορετικές περιπτώσεις και ένας κινητός πράκτορας με περιορισμένες δυνατότητες δεν φαίνεται να μπορεί να ανταποκριθεί σε αυτές τις απαιτήσεις.

Σε μια πιο παλιά προσπάθεια (Claus and Boutilier 1998) επιχειρείται η εφαρμογή της μεθόδου σε περιβάλλοντα πολλαπλών συνεργατικών πρακτόρων και αποδεικνύεται ότι μια τέτοια προσπάθεια κάθε άλλο παρά εύκολη είναι. Αυτό οφείλεται κυρίως στη φύση της μεθόδου που σε συνδυασμό με την πολυπλοκότητα του περιβάλλοντος των κινητών

πρακτόρων ενδεχόμενα να οδηγήσει σε αποτυχία, λόγω της μη εγγυημένης σύγκλισης. Ένα σημαντικό θέμα που μένει ανοιχτό και από αυτή τη μέθοδο είναι η γενίκευση της μεθόδου, η ικανότητα δηλαδή να προσφέρει σε περιπτώσεις που δεν έχουν εμφανιστεί και συλλεχθεί σε προηγούμενες διαπραγματεύσεις. Οι συγγραφείς προτείνουν, χωρίς ωστόσο να αποδεικνύουν τα πρακτικά αποτελέσματα της πρότασης αυτής, τη χρήση ευριστικών μεθόδων όταν τα αποτελέσματα της γενίκευσης αναμένονται φτωχά. Πώς όμως οι πράκτορες είναι σε θέση να αποφασίσουν πότε τα αποτελέσματα αναμένονται φτωχά, είναι ένα σημείο που επίσης δεν διευκρινίζεται.

Τέλος, στο (Sandholm and Crites 1995) επιχειρείται μια εμπειρική μελέτη στην εφαρμογή της ενισχυτικής μάθησης στο πρόβλημα του επαναλαμβανόμενου διλήμματος του φυλακισμένου (iterated prisoner's dilemma). Η συγκεκριμένη μελέτη περιλαμβάνει πειράματα μεταξύ ενός πράκτορα που διαθέτει Q-learning μηχανισμούς και ενός άλλου, που είτε ακολουθεί μιμητική (imitative) συμπεριφορά, είτε ενσωματώνει και αυτός παρόμοιους μηχανισμούς. Στην περίπτωση που ο αντίπαλος είναι μιμητικός, ο πράκτορας που διαθέτει το μηχανισμό συμπεριφέρεται πολύ καλά, μαθαίνοντας τη στρατηγική του αντιπάλου και έτσι παρέχει βέλτιστα αποτελέσματα. Αντίθετα, όταν και οι δυο αντίπαλοι ενσωμάτωναν τους μηχανισμούς μάθησης τα πράγματα περιπλέκονταν. Τα στοιχεία που επηρεάζουν στην περίπτωση αυτή τα πρακτικά αποτελέσματα της εφαρμογής του μηχανισμού αποδείχθηκε ότι είναι το μέγεθος του ιστορικού που αποθηκεύεται, το είδος της μνήμης που χρησιμοποιείται (Look-up πίνακες ή νευρωνικά δίκτυα) και η πολιτική που ακολουθεί ο πράκτορας στην εξερεύνηση των πιθανών λύσεων δρομολόγησης (scheduling exploration). Αποδείχθηκε όπως αναμενόταν, ότι η ενσωμάτωση των απαιτητικών λύσεων, τόσο υπολογιστικά, όσο και αποθηκευτικά, οδήγησε σε καλύτερα αποτελέσματα, ενώ απαιτούνται και μεγάλης έκτασης (longer) πολιτικές δρομολόγησης. Βέβαια, είναι προφανές ότι οι λύσεις αυτές είναι δύσκολα εφαρμόσιμες όταν οι πράκτορες που διατίθενται πρέπει να είναι ελαφριοί και οι αποφάσεις τους να λαμβάνονται σε σύντομο χρονικό διάστημα. Αν συνδυαστούν οι απαιτήσεις αυτές με την ανάγκη να παρέχονται ικανοποιητικές, αν όχι βέλτιστες, λύσεις από τους εκπαιδευμένους πράκτορες, τότε καταλήγουμε σε αμφισβήτηση της επάρκειας της προσέγγισης αυτής.

3.4.2.2 Γενετικοί Αλγόριθμοι

Η δεύτερη κατηγορία τεχνικών ενισχυτικής μάθησης περιλαμβάνει προσπάθειες που στηρίζονται στους γενετικούς αλγορίθμους (Vose 1999), όπου οι πράκτορες μοντελοποιούνται σαν χρωμοσώματα και οι παράμετροι διαπραγμάτευσης σαν χρωμοσωματικά γονίδια σε μια προσπάθεια να αναγνωριστούν οι βέλτιστες δυνατές πολιτικές για τον εκάστοτε πράκτορα. Κάθε πιθανή λύση αποτιμάται και επιλέγεται εκείνη που προσφέρει τη μεγαλύτερη ικανοποιησιμότητα στον πράκτορα που την εφαρμόζει. Οι

γενετικοί αλγόριθμοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην περίπτωση που απαιτούνται εκτιμήσεις σε πραγματικό χρόνο, όμως οι χρονικές και υπολογιστικές τους απαιτήσεις είναι τέτοιες που συχνά παραβιάζουν τα αυστηρά όρια που τίθενται στα περιβάλλοντα διαπραγμάτευσης κινητών πρακτόρων κυρίως λόγω της εξαντλητικής αναζήτησης που πρέπει να γίνει για την εξεύρεση των λύσεων. Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται αξιόλογες προσπάθειες στο πεδίο αυτό.

Στο (Deveaux et.al. 2001) αναγνωρίζεται η ανάγκη δημιουργίας πρακτόρων που να μπορούν να έχουν μια ελάχιστη προσαρμοστικότητα στη στρατηγική που παρουσιάζει ο αντίπαλός τους και με τον τρόπο αυτό να βελτιώσουν τα αποτελέσματα της διαδικασίας. Στην εργασία αυτή επιχειρείται να βελτιστοποιηθεί ο πράκτορας του πελάτη με χαρακτηριστικά που θα του επιτρέπουν να συσχετίζει τις υποκειμενικές του ανάγκες με τις πιθανές αποφάσεις του αντιπάλου. Έτσι, διατείνεται η δημιουργία ενός πράκτορα που θα διαθέτει βέλτιστες δυνατότητες λήψης αποφάσεων. Οι βέλτιστες αυτές δυνατότητες υλοποιούνται μέσω της επίλυσης ενός στοχαστικού προβλήματος ελέγχου με την εφαρμογή τεχνικών δυναμικού προγραμματισμού. Οι εξομοιώσεις έδειξαν ότι η ενσωμάτωση της συγκεκριμένης λειτουργικότητας στον πράκτορα πελάτη οδηγεί σε βελτιωμένα αποτελέσματα συγκριτικά με την ευριστική διαπραγμάτευση, αυξάνοντας έτσι την ικανοποιησιμότητα του πελάτη. Παρόλα αυτά όμως, η πρόταση αυτή πρέπει να βελτιώσει τον τρόπο που αναπαριστώνται και ενσωματώνονται οι υποκειμενικές ανάγκες, καθώς αυτός που προτείνεται δεν είναι ξεκάθαρος. Επιπλέον, ο πράκτορας στην παρούσα προσέγγιση δεν ενσωματώνει κάποια μορφή λογική εκπαίδευσης που θα ήταν χρήσιμη στο να βοηθήσει τη διαδικασία εξαγωγής αποφάσεων.

Μια ενδιαφέρουσα προσέγγιση παρουσιάζεται και στο (Tu et.al. 2000), όπου προτείνεται η χρήση μιας νέας, για τα δεδομένα των αυτοματοποιημένων διαπραγματεύσεων, προσέγγισης, με την ενσωμάτωση στο διαπραγματευόμενο πράκτορα μηχανών πεπερασμένων καταστάσεων (FSMs) σαν βασική δομή δεδομένων για τη χάραξη της πολιτικής του πράκτορα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Ανάλογα λοιπόν με την κατάσταση και την είσοδο που δέχεται, μεταβαίνει σε μια νέα κατάσταση, που εγγυάται βέλτιστο αποτέλεσμα. Τα πειράματα που διενεργήθηκαν στο περιβάλλον αυτό, δείχνουν ότι οι μηχανές κατάστασης μπορούν να εξυπηρετήσουν αποδοτικά τη διαδικασία διαπραγμάτευσης, οδηγώντας τον πράκτορα που τις ενσωματώνει σε πιο αποδοτικές συμφωνίες. Ωστόσο, τα σενάρια είναι πολύ περιορισμένης έκτασης και σίγουρα απαιτούνται αντίστοιχα από μεγαλύτερης έκτασης δειγματοχώρο. Επιπλέον, δεν αξιοποιείται η εμπειρία από προηγούμενες διαπραγματεύσεις, ενώ και οι υπολογιστικές απαιτήσεις είναι αρκετά εκτεταμένες. Τα δύο τελευταία οδηγούν σε περιορισμένες δυνατότητες στην περίπτωση πρωτοφανών στρατηγικών από την πλευρά των πρακτόρων.

Από την άλλη πλευρά, στο (Matos et.al. 1998) παρουσιάζεται μια εμπειρική εκτίμηση των πιθανών στρατηγικών που μπορεί να υιοθετηθούν από κάποιον πράκτορα σε μια διαπραγμάτευση, μέσω πολλαπλών δειγματοληπτικών πειραμάτων από διάφορους χώρους. Οι διάφορες παράμετροι κάθε στρατηγικής ενσωματώνονται σε ένα γενετικό αλγόριθμο ως γονίδια και επιχειρείται να υπολογιστούν τα λειτουργικά οφέλη αλλά και τα μειονεκτήματα κάθε στρατηγικής. Εκτός αυτών, παρουσιάζονται και αποτελέσματα για την περίπτωση που κάποιος πράκτορας προγραμματίζεται να χρησιμοποιεί δύο ή περισσότερες στρατηγικές σε μια μοναδική διαδικασία. Εδώ, δεν υπάρχει τόσο η έννοια της πρόβλεψης της πολιτικής του αντιπάλου, όσο και η προσπάθεια να επιλεγεί η καλύτερη δυνατή στρατηγική ή συνδυασμός αυτών για την απόκτηση ή πώληση ενός αγαθού με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Στόχος δηλαδή είναι να αναγνωριστούν οι καταλληλότερες στρατηγικές για κάθε περίπτωση και όχι να προσεγγιστεί η πολιτική που ακολουθεί ο αντίπαλος με στόχο να αυξηθεί η ικανοποιησιμότητα έναντι αυτού. Πρόκειται για μια διαφορετική προσέγγιση είναι η αλήθεια, τα πλεονεκτήματα της οποίας είναι υπό αμφισβήτηση σε δυναμικά, ασταθή και εγωιστικά περιβάλλοντα όπως τα αντίστοιχα που χαρακτηρίζουν το σύγχρονο ηλεκτρονικό εμπόριο.

Στο (Gerding et.al. 2003) περιγράφεται μια προσέγγιση για διμερείς διαπραγματεύσεις πολλαπλών αγαθών. Στο περιβάλλον αυτό προϋποτίθεται η έννοια της δικαιοσύνης ως η ταυτόσημη ικανοποιησιμότητα των μερών που λαμβάνουν μέρος στη διαπραγμάτευση, όταν κάτι άλλο δεν είναι εφικτό. Επιπλέον, το κάθε διαπραγματευόμενο μέρος είναι σε θέση να καταφύγει σε μια επιθετική ή σε μια αμιγώς αμυντική πολιτική, ανάλογα με την εκτίμηση που μπορεί να κάνει βάσει μιας γενετικής διαδικασίας που εκτιμά πιθανή επιτυχία ή αποτυχία. Αν η διαδικασία ανιχνεύσει αυξημένο κίνδυνο αποτυχίας, ο πράκτορας κάνει μια τελική προσφορά από τον πρώτο ή τους πρώτους γύρους. Διαφορετικά, εξαντλεί τα περιθώρια του δικού του χρονικού παραθύρου διαπραγμάτευσης. Η προσέγγιση παρά τα πλεονεκτήματά της έχει και προφανή μειονεκτήματα. Το γεγονός και μόνο ότι ο πράκτορας περιμένει από την εκτίμηση μιας διαδικασίας, που διαρκεί πολύ και δεν εγγυάται το αποτέλεσμα, να λάβει την τελική του απόφαση για την προσφορά που θα κάνει χωρίς δυνατότητες αυτενέργειας περιορίζει τις επιτυχίες σε μια μεγάλη πλειοψηφία περιπτώσεων. Επιπλέον, ελέγχεται και η αποδοτικότητα της μεθόδου αναφορικά με την αμιγώς επιθετική και αντίστοιχα, την αμιγώς αμυντική προσέγγιση στη διαδικασία.

Κλείνοντας την αναφορά μας σε αυτή την κατηγορία ενισχυτικής μάθησης, με χρήση γενετικών αλγορίθμων, παρουσιάζουμε τα βασικά σημεία της πιο πρόσφατης δουλειάς στο χώρο, που αναπαριστά και την τάση στο συγκεκριμένο ερευνητικό πεδίο. Έτσι λοιπόν, στο (Lau 2005) κάθε πράκτορας, είτε αυτός είναι παροχέας είτε πελάτης, διαθέτει ένα μηχανισμό που βασίζεται σε έναν γενετικό αλγόριθμο, για τη συμμετοχή του σε μια διαπραγμάτευση πολλαπλών μερών και αγαθών. Πρόκειται για μια πραγματικού χρόνου διαδικασία, που βάσει

των εισερχόμενων προσφορών, εκείνων του άμεσου παρελθόντος και των περιορισμών που έχουν τεθεί από τον πράκτορα εξ' αρχής επιχειρεί να εκτιμήσει ποια θα είναι η καλύτερη προσφορά που πρέπει να γίνει ώστε να οδηγήσει σε αύξηση της ικανοποιησιμότητάς του. Η διαδικασία αυτή βασίζεται σε αλγεβρικά κριτήρια και αποδεικνύεται χρήσιμη για τις περιπτώσεις που η πολιτική του αντιπάλου είναι ουδέτερη, δηλαδή ούτε πολύ επιθετική, αλλά ούτε και πολύ αμυντική. Τα αποτελέσματα σε πειράματα πραγματικού χρόνου είναι περιορισμένα ακριβώς σε τέτοιες πολιτικές αντιπάλου, και το ερώτημα που τίθεται είναι τί γίνεται στις υπόλοιπες. Επιπλέον, ο αριθμός των παραμέτρων που αποτιμώνται επηρεάζει δραματικά τις χρονικές και υπολογιστικές απαιτήσεις του αλγορίθμου που εφαρμόζονται. Στα πειράματα που έχουν διενεργηθεί οι παράμετροι μπορεί να θεωρηθούν περιορισμένες και φαίνεται ότι αν ενσωματωθούν περισσότερες θα υπάρξει πρόβλημα. Το συμπέρασμα όμως είναι ότι η προσέγγιση αυτή είναι προς τη σωστή κατεύθυνση προκειμένου να αποδειχθεί η καταλληλότητα ή όχι της εφαρμογής των γενετικών αλγορίθμων σε πραγματικού χρόνου διαπραγματεύσεις για τη βελτιστοποίηση της ικανοποιησιμότητας του πράκτορα που τις υλοποιεί.

3.4.3 Εξαγωγή Συμπερασμάτων βάσει Περιπτώσεων

Μια από τις ταχύτερα αναπτυσσόμενες περιοχές έρευνας στην περιοχή των συστημάτων με ενσωμάτωση γνώσης, είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων βάσει περιπτώσεων (Kolodner 1993). Στην περιοχή της αυτοματοποιημένης διαπραγμάτευσης πόρων οι δυνατότητες της συγκεκριμένης περιοχής χρησιμοποιούνται από τους πράκτορες για προσαρμογή της πολιτικής τους (Soh and Tsatsoulis 2001)(Shen et.al. 2002)(Han and Feng 2005). Με τον τρόπο αυτό οι πράκτορες αποκτούν τη δυνατότητα να επιλύουν προβλήματα και να λαμβάνουν αποφάσεις για νέα, αξιοποιώντας τη γνώση που έχουν συλλέξει και οργανώσει από προηγούμενες περιπτώσεις (cases). Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής προϋποθέτει τη συντήρηση μιας πλήρως ενημερωμένης βάσης δεδομένων, με την πιο πρόσφατη πληροφορία για τη διαδικασία που συμμετέχει ο πράκτορας. Οι πράκτορες που διαπραγματεύονται πρέπει πρώτα να εισάγουν την περιγραφή του προβλήματος με βάση συγκεκριμένους κανόνες, στη συνέχεια να ανακτήσουν από τη βάση δεδομένων την περίπτωση με τη μεγαλύτερη σχετικότητα με το πρόβλημά τους και τους στόχους τους και τέλος, να εκτιμήσουν τη χρησιμότητα της ανακτηθείσας πληροφορίας. Αν η πληροφορία αυτή αποδειχθεί χρήσιμη βάσει συγκεκριμένων κανόνων, τότε εφαρμόζεται στη διαδικασία της διαπραγμάτευσης από τον πράκτορα. Διαφορετικά, η διαπραγμάτευση συνεχίζεται και ολοκληρώνεται, ενώ η συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιείται σαν νέα περίπτωση και αποθηκεύεται στη βάση για μελλοντική χρήση.

Η προσέγγιση αυτή υστερεί στο ότι απαιτεί εκτεταμένους πόρους για τη βάση και ένα περίπλοκο πρωτόκολλο αλληλεπίδρασης με αυτή. Ένα ακόμα σημαντικότερο όμως σημείο έχει να κάνει με τη δυσκολία δημιουργίας των κανόνων εκτίμησης μιας περίπτωσης και ταξινόμησής τους. Τέλος, η μέθοδος δεν εγγυάται καλά αποτελέσματα γενίκευσης για νέες περιπτώσεις, οπότε θεωρείται ακατάλληλη όταν οι διαθέσιμοι για εκπαίδευση πόροι είναι περιορισμένοι.

Μια προσπάθεια που ταξινομείται στην κατηγορία αυτή είναι η (Soh and Tsatsoulis 2001). Στην εργασία αυτή κάθε πράκτορας χρησιμοποιεί το ιστορικό και τα αποτελέσματα των παλαιότερων διαπραγματεύσεων προκειμένου να αποφευχθούν μελλοντικές αποτυχίες. Το περιβάλλον είναι πολλαπλών πρακτόρων ενώ η διαπραγμάτευση είναι βασισμένη σε ισχυρισμούς (argumentation-based negotiation). Πρόκειται για μια κατηγορία όπου το κάθε διαπραγματευόμενο μέρος δεν συνεισφέρει μόνο μια προσφορά αλλά και μια κριτική για την προσφορά του αντιπάλου ή ακόμα και τη διάθεσή του για κάποια μελλοντική, δηλαδή το πόσο κοντά ή μακριά είναι σε συμφωνία. Για την αξιοποίηση των προηγούμενων περιπτώσεων αποθηκεύονται κάποιες διαδικασίες διαπραγμάτευσης για μελλοντική αναφορά, που αποδεικνύονται αξιόπιστες σε παρόμοιες περιπτώσεις. Η προσέγγιση υποστηρίζει πραγματικού χρόνου αποφάσεις και υπόσχεται τη δραματική μείωση των σπαταλούμενων πόρων από περιττές αλληλεπιδράσεις πρακτόρων, αλλά και από αποτυχημένες διαπραγματεύσεις. Ωστόσο, δεν καθορίζεται ρητά ο τρόπος που οι περιπτώσεις αυτές αποθηκεύονται, ενώ φαίνονται πολύ λίγες για την πλειονότητα των στρατηγικών που μπορεί να επιδείξει ένας πράκτορας.

Στο (Shen et.al. 2002) παρουσιάζεται μια προσέγγιση για διαπραγματευόμενους πράκτορες που χρησιμοποιούν την πληροφορία που έχει συλλεχθεί από προηγούμενες διαδικασίες σε περιβάλλον πλέγματος (grid). Η προσέγγιση αυτή έχει ενδιαφέρον, αφενός μεν γιατί η υλοποίηση πρακτόρων που διαπραγματεύονται σε περιβάλλον πλέγματος είναι άλλη μια ιδέα αξιοποίησης των τεχνολογιών αυτών, και αφετέρου γιατί με τον τρόπο αυτό μπορούν να ξεπεραστούν οι περιορισμοί που υφίστανται στην εφαρμογή της εξαγωγής συμπερασμάτων βάσει περιπτώσεων, αναφορικά με τις υπολογιστικές απαιτήσεις. Η συγκεκριμένη προσπάθεια είναι σε πολύ αρχικό στάδιο και πρέπει να αναμένουμε την παρουσίαση νέων πειραματικών αποτελεσμάτων προκειμένου να κρίνουμε τη δυνατότητα εφαρμογής της.

Τέλος, στο (Han and Feng 2005), παρουσιάζεται μια ολοκληρωμένη προσέγγιση ενός συστήματος με υποστήριξη της τεχνικής εξαγωγής συμπερασμάτων στη διαπραγμάτευση πόρων και ο τρόπος χρήσης του στις αυτοματοποιημένες διαπραγματεύσεις. Καθορίζονται σαφώς οι απαιτήσεις του συστήματος και σχεδιάζονται τα επιμέρους τμήματά του καθώς και ο τρόπος αποθήκευσης της εξαγόμενης πληροφορίας από τις προηγούμενες περιπτώσεις. Με εξίσου ολοκληρωμένο τρόπο παρουσιάζονται και τα κριτήρια εκτίμησης μιας περίπτωσης, οι

κανόνες δηλαδή που συμβάλλουν στην αντιστοίχιση της τρέχουσας περίπτωσης με μια προηγούμενη. Μέσω του συστήματος αυτού ο κάθε πελάτης, αλλά και ο κάθε παροχέας, μπορεί να αξιοποιήσει την τεχνολογία στην κατεύθυνση πιο αποδοτικών διαπραγματεύσεων. Ωστόσο, οι περιπτώσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της επάρκειας του συστήματος είναι περιορισμένες και σίγουρα απαιτούνται περισσότερες, καθώς μια τέτοια διαδικασία μπορεί να οδηγήσει στην ανάγκη διορθωτικών κινήσεων. Η βασική ιδέα της προσέγγισης αυτής βελτιώνει σε μεγάλο βαθμό τις μεθόδους κοντινότερου γείτονα (nearest neighbor), που κατά κανόνα χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις αυτές για να σχετιστεί η τρέχουσα διαδικασία διαπραγμάτευσης με μια από τις αξιολογημένες, προκειμένου να χαραχθεί μια αξιόπιστη πολιτική αυξημένης ικανοποιησιμότητας. Ενδιαφέρον στην περίπτωση αυτή παρουσιάζει και η πολιτική εκπαίδευσης, που ανάλογα με το αποτέλεσμα της μπορεί να χαρακτηριστεί ως επιτυχημένη ή αποτυχημένη και άρα να χρησιμοποιηθεί ή όχι. Αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να αποκλείσει επιτυχώς τις περιπτώσεις που θεωρούνται ακατάλληλες για μελλοντική αναφορά, βελτιώνοντας έτσι την αποδοτικότητα του συστήματος.

3.4.4 Εξαγωγή Συμπερασμάτων βάσει Μοντέλων

Μια ακόμη κατηγορία μεθόδων που έχει χρησιμοποιηθεί για την ενσωμάτωση δυνατοτήτων μάθησης στους διαπραγματευόμενους πράκτορες είναι και αυτή που κάνει χρήση συγκεκριμένων μοντέλων (Carmel and Markovitch 1998)(Martin 2000)(Rogowski 2004)(Mudgal and Vassileva 2000). Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούνται στη δημιουργία προτύπων που αφορούν στην αποδοτική αλληλεπίδραση μεταξύ των διαπραγματευόμενων πρακτόρων και βασίζονται κυρίως σε τεχνικές βασισμένες στη θεωρία παιγνίων. Οι μέθοδοι αυτοί απαιτούν βέβαια πολύ πιο περιορισμένες α-priori γνώσεις σε σχέση με τις θεωρητικές απ' όπου εκφέρονται, μιας και μειώνουν κατά πολύ τον απαιτούμενο αριθμό των υποδειγμάτων διαδικασιών διαπραγμάτευσης που διατηρούν για μελλοντική χρήση. Ενώ λοιπόν οι θεωρητικές τεχνικές της θεωρίας παιγνίων διατηρούν ένα εξαντλητικό σύνολο εγγραφών με διαδικασίες διαπραγμάτευσης που έχουν καταγραφεί για μελλοντική αναφορά, οι τεχνικές που εξετάζονται εδώ προσπαθούν να ανιχνεύσουν μια υποκατηγορία που όμως φαίνεται να επαρκεί για την πλειονότητα των περιπτώσεων.

Οι τεχνικές αυτές κατά βάση εφαρμόζονται σε πράκτορες που διαθέτουν τις απαιτούμενες λειτουργικές δυνατότητες ώστε να μπορούν να κάνουν χρήση ενός μοντέλου που έχει δημιουργηθεί για την πολιτική του αντιπάλου και να παράγουν συμπεράσματα για την αναμενόμενη συμπεριφορά του. Οι πράκτορες αυτοί μπορεί να υστερούν σε ακρίβεια σε σύγκριση με τους θεωρητικούς εμπνευστές τους και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το

μοντέλο από μόνο του είναι αυτό που καθορίζει αν και κατά πόσο ο πράκτορας θα δράσει έτσι ώστε να αυξήσει την ικανοποιησιμότητά του ή όχι. Αν το μοντέλο μπορεί να προσεγγίσει καλά την πολιτική του αντιπάλου τότε τα αποτελέσματα είναι άκρως ικανοποιητικά, ενώ διαφορετικά η διαδικασία πρέπει να συνεχιστεί σαν να μην υπήρχε. Ένα σύνολο μοντέλων που προσεγγίζει καλά τους αντίπαλους σε ένα διαπραγματευτικό περιβάλλον, αν μπορεί να υποστηριχθεί από τον πράκτορα αναφορικά με τις υπολογιστικές και αποθηκευτικές του απαιτήσεις, είναι σε θέση να οδηγήσει σε άκρως ικανοποιητικά αποτελέσματα και μάλιστα σε πραγματικό χρόνο. Αυτό ακριβώς το χαρακτηριστικό δύναται, αν το περιβάλλον δεν έχει τα επιθυμητά χαρακτηριστικά, να καταστήσει την εφαρμογή τέτοιων μοντέλων προβληματική. Έτσι, τα μοντέλα είναι ακατάλληλα για διαπραγματεύσεις μονού-στιγμιότυπου, ενώ τελευταία αρχίζουν να θεωρούνται περιοριστικά για τα αυξημένης πολυπλοκότητας περιβάλλοντα έξυπνων πρακτόρων.

Στο (Carmel and Markovitch 1998) παρουσιάζεται ένας πράκτορας με δυνατότητες εκπαίδευσης, που χρησιμοποιεί μοντέλα για τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο. Ο πράκτορας διαθέτει έναν εκπαιδευτή που συλλέγει το ιστορικό της διαπραγμάτευσης και στη συνέχεια το τροφοδοτεί με κατάλληλη μορφή σε μια διαδικασία μάθησης που αποκρίνεται με την καλύτερη δυνατή απόκριση που πρέπει να διατυπώσει ο πράκτορας στην επόμενη προσφορά του προς τον αντίπαλο. Αυτή η διαδικασία μπορεί να επαναλαμβάνεται σε όλη την περίοδο της τρέχουσας διαπραγμάτευσης. Η διαδικασία εξαγωγής της κατάλληλης απόκρισης είναι μια δύσκολη διαδικασία βελτιστοποίησης, κυρίως λόγω των αυξημένων υπολογιστικών πόρων που απαιτούνται. Για το σκοπό αυτό, η συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο Angluin (Angluin 1987) (Angluin's L^* algorithm) προκειμένου να διατηρεί το αρχείο των περασμένων δεδομένων με τις μικρότερες δυνατές απαιτήσεις. Η μέθοδος ελέγχει τις δυνατότητές της σε ένα ευρύ σύνολο περιπτώσεων διαπραγμάτευσης με στατικούς πράκτορες, που δεν αλλάζουν τη στρατηγική τους κατά τη διάρκεια της διαπραγμάτευσης και αποδεικνύεται σαφώς καλύτερη από αντίστοιχες μεθόδους ενισχυτικής μάθησης. Επίσης, προσφέρει σημαντική αύξηση των επιτυχών διαπραγματεύσεων σε σύγκριση με πράκτορες που διαπραγματεύονται χωρίς καμία δυνατότητα μάθησης. Παρόλο όμως που οι απαιτήσεις είναι μειωμένες, δεν είναι σίγουρο ότι μπορούν να καλυφθούν από κινητούς πράκτορες, ενώ σύνθετοι και δύσκολα προσαρμόσιμοι μπορούν να θεωρηθούν οι κανόνες μάθησης και πρόβλεψης, με αδυναμίες στην εμφάνιση νέων αντιπάλων.

Τα προβλήματα της συγκεκριμένης κατηγορίας εκπαίδευσης πρακτόρων παρουσιάζονται στο (Martin 2000), και πιο συγκεκριμένα η μοντελοποίηση η ίδια, η κατανόηση των πληροφοριών του περιβάλλοντος, η αβεβαιότητά τους, η δυσκολία προσαρμογής των πρακτόρων σε νέα δεδομένα και τέλος, το πιο σημαντικό, η ορθή και αποδοτική συλλογή των δεδομένων. Για το λόγο αυτό δημιουργείται ένας δειγματοχώρος με

μοντέλα από πρωτότυπα και συμπεριφορές αληθινών χρηστών σε αληθινές διαπραγματεύσεις και στη συνέχεια κάθε νέα πληροφορία βοηθά στην ενημέρωσή τους. Τα πειράματα που εκτελούνται δείχνουν μια αστάθεια ανάλογα με τις συνθήκες αρχικοποίησης, ενώ ποιοτικά η προσέγγιση αποτιμάται ως καλή σε κάποιες περιπτώσεις που όμως δεν είναι η πλειονότητα. Σίγουρα, αυτό που απαιτείται είναι μια πιο ορθολογική αντιμετώπιση των μοντέλων που μπορούν να αντιμετωπισθούν σε περιβάλλοντα αυτοματοποιημένης διαπραγμάτευσης πόρων και μια προσπάθεια να μειωθούν οι απαιτήσεις για να είναι η λύση πρακτικά εφαρμόσιμη.

Ένα σύνολο μοντέλων δημιουργείται και στο (Rogowski 2004), αλλά εκτός της διαπραγμάτευσης (off-line), με στόχο την μεγαλύτερη δυνατή κάλυψη των αντίπαλων στρατηγικών που μπορούν να εμφανιστούν. Τα μοντέλα αυτά έχουν τη δυνατότητα να ενημερώνονται και βάσει των παρατηρήσεων από τις ενεργές διαπραγματεύσεις. Η χρήση του συγκεκριμένου μοντέλου οδηγεί σε καλά αποτελέσματα πρόβλεψης της στρατηγικής του αντιπάλου και των μελλοντικών προσφορών του, πολύ καλύτερα σε σύγκριση με ένα μοντέλο που επιχειρεί να μαντέψει μόνο βάσει των ενεργών μοντέλων. Το μειονέκτημα της συγκεκριμένης τεχνικής εντοπίζεται στον αριθμό των μοντέλων που πρέπει να δημιουργηθούν και να αποθηκευτούν στον πράκτορα προκειμένου να μπορεί να προβλέπει διαφορετικής φύσης και συμπεριφοράς στρατηγικές αντιπάλων. Αν ο αριθμός αυτός είναι μεγάλος τότε ο πράκτορας δεν μπορεί να ανταποκριθεί. Επιπλέον, δε φαίνεται σε πολλές περιπτώσεις η πρακτική χρησιμότητα των ενημερώσεων των μοντέλων που συμβαίνουν σε πραγματικό χρόνο. Τέλος, οι στρατηγικές αντιπάλων για τις οποίες ελέγχεται η τεχνική παρουσιάζουν μια μορφή απλοποιημένη που δύσκολα συναντάται σε αληθινά περιβάλλοντα διαπραγματεύσεων.

Κλείνοντας την αναφορά στη συγκεκριμένη κατηγορία μεθόδων πρόβλεψης της στρατηγικής του αντιπάλου αναφέρεται το σύστημα που παρουσιάζεται στο (Mudgal and Vassileva 2000) για την υποστήριξη διαπραγματευόμενων πρακτόρων σε ανοιχτά περιβάλλοντα (open environments). Οι πράκτορες αυτοί είναι αυτόνομοι και δρουν με γνώμονα το προσωπικό τους συμφέρον μόνο, επιχειρώντας να το προωθήσουν όσο το δυνατό περισσότερο. Μια απλή προσέγγιση μοντελοποίησης της συμπεριφοράς του αντιπάλου που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της εργασίας αυτής έδειξε ότι μπορεί να βελτιώσει τα αποτελέσματα σε σχέση με την απλή διαπραγμάτευση. Δύο παράμετροι θεωρούνται σημαντικές για το συγκεκριμένο μοντέλο και είναι και αυτές που καθορίζουν τη συμπεριφορά του πράκτορα έναντι του αντιπάλου: οι αρχικές απαιτήσεις και ο παράγοντας κινδύνου. Είναι προφανές ότι και οι δύο παράμετροι τίθενται εξ' αρχής, γεγονός που περιορίζει τις δυνατότητες για ικανοποιητικά αποτελέσματα. Μάλιστα σε κάποιες περιπτώσεις τα αποτελέσματα δείχνουν αποτυχία, ακόμα και σε σύγκριση με την απλή διαπραγμάτευση. Αν και οι περιπτώσεις αυτές δεν είναι περισσότερες από τις αντίστροφες, το

μοντέλο απαιτεί πολλές βελτιώσεις για να θεωρηθεί αξιόπιστο, προσαρμόσιμο και επαρκές για τα σημερινά δυναμικά περιβάλλοντα αυξημένης πολυπλοκότητας.

3.4.5 Στατιστικές Μέθοδοι

Η τελευταία κατηγορία μεθόδων που έχουν εμφανιστεί στην προσπάθεια ενσωμάτωσης δυνατοτήτων μάθησης σε περιβάλλοντα αυτοματοποιημένης διαπραγμάτευσης πόρων, είναι οι στατιστικές μέθοδοι. Οι μέθοδοι αυτές, που κύρια αποσκοπούν στην πρόβλεψη της τιμής του αντιπάλου για κάποια προσφορά στο μέλλον, χρησιμοποιούνται κατά βάση στις μονού στιγμιότυπου διαπραγματεύσεις και βασίζονται στη συλλογή στατιστικών δεδομένων από τη συμπεριφορά του αντιπάλου στην τρέχουσα ή και σε κάποιες περιπτώσεις, σε προηγούμενες διαδικασίες. Στη βιβλιογραφία έχουν εμφανιστεί δύο κυρίως μέθοδοι, αυτές που βασίζονται σε διαφορές (Brzostowski and Kowalczyk 2006) και αυτές που βασίζονται στην ανάλυση παλινδρόμησης (regression analysis) (Hou 2004)(Fox 1997). Όπως είναι προφανές, οι μέθοδοι αυτές είναι ευαίσθητες στις μεταβολές των στατιστικών δεδομένων πάνω στα οποία στηρίζονται και επιπλέον τα δεδομένα αυτά μπορούν να θεωρηθούν ανεπαρκή σε περιπτώσεις που η συμπεριφορά του αντιπάλου για τον οποίο επιθυμούμε να προβλέψουμε μια μελλοντική του προσφορά δεν συσχετίζονται εύκολα με κάποια γνωστή μορφή συνάρτησης ή διαδικασίας. Επιπλέον, ευαισθησία παρουσιάζεται στις αλλαγές της στρατηγικής του αντιπάλου κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι σαν προσέγγιση, είναι περισσότερο κατάλληλες στην περίπτωση που έχουμε διαλλακτικούς και συνετούς αντιπάλους με την έννοια της διαλλακτικότητας να συμφωνήσουν σε συγκεκριμένες τιμές και της περιορισμένης δριμύτητας των αλλαγών στη στρατηγική τους, αντίστοιχα.

Στην περίπτωση που αναφέρθηκε χρήση διαφορών για την προσέγγιση της συμπεριφοράς του αντιπάλου (Brzostowski and Kowalczyk 2006), προτείνεται η χρήση του ιστορικού των προσφορών που πρότεινε ο αντίπαλος στη συγκεκριμένη διαδικασία και η συνακόλουθη αποτίμηση των προσφορών αυτών βάσει συγκεκριμένων παραγόντων με στόχο την τελική πρόβλεψη και τη δημιουργία μιας βέλτιστης ακολουθίας προσφορών προκειμένου να επιτευχθεί η τελική συμφωνία στην τιμή που έχει προβλεφθεί. Οι παράγοντες που υπεισέρχονται στη διαδικασία εκτίμησης είναι δύο βάρη, που και αυτά υπολογίζονται μέσω παρατήρησης των προσφορών του αντιπάλου, ένα που καθορίζει τη σχέση της στρατηγικής του με χρονικά-εξαρτώμενες πολιτικές και ένα που καθορίζει τη σχέση αυτή με εξαρτώμενες από συμπεριφορά πολιτικές. Είναι προφανές ότι ο υπολογισμός των βαρών αυτών είναι πολύ σημαντικός στην όλη διαδικασία πρόβλεψης με αποτέλεσμα να πρέπει να ελεγχθεί η αξιοπιστία του τρόπου με τον οποίο υπολογίζεται. Ανεξάρτητα όμως από τα βάρη, η

συγκεκριμένη μέθοδος έχει ελεγχθεί σε απλά σενάρια στρατηγικών αντιπάλου, στατικής φύσης, με αποτέλεσμα να αμφισβητείται η δυνατότητα γενίκευσής της, ως έχει. Δεδομένη επομένως, πρέπει να θεωρείται η ανάγκη να επεκταθεί και με χρήση νέων τεχνικών και να ελεγχθεί περαιτέρω η αξιοπιστία στους υπολογισμούς, μιας και παρατηρήθηκε ότι μια μικρή αλλαγή στις αρχικές συνθήκες οδηγεί σε τελείως διαφορετική διαδικασία και αποτέλεσμα πρόβλεψης.

Σε αντίθεση με την προηγούμενη αναφορά που προϋποθέτει πλήρη επικάλυψη των παραμέτρων χρόνου και τιμής μεταξύ των διαπραγματευόμενων μερών, στο (Hou 2004) αναλύεται ένα πιο αληθοφανές σενάριο περιπτώσεων. Στην εργασία αυτή, ο πράκτορας δεν μαθαίνει από προηγούμενες διαδικασίες, αλλά εφαρμόζει ευριστικές μεθόδους για την εκτίμηση της μελλοντικής συμπεριφοράς του αντιπάλου και μάλιστα σε πραγματικό χρόνο. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται μη γραμμική ανάλυση παλινδρόμησης (non linear regression analysis), ενώ η μέθοδος ορθά υποθέτει πλήρη άγνοια των παραμέτρων διαπραγμάτευσης του αντιπάλου. Οι στόχοι της συγκεκριμένης ευριστικής διαδικασίας, είναι αρχικά να ταξινομήσει την τακτική του αντιπάλου σε κάποια από τις γνωστές οικογένειες στρατηγικών, όπως αυτές αναφέρθηκαν σε προηγούμενη ενότητα, στα αρχικά κυρίως στάδια, στη συνέχεια να κάνει βραχυχρόνιες προβλέψεις για τις τιμές προσφοράς του αντιπάλου, να προβλέπει βάσει αυτών τη στρατηγική του και τέλος, να κάνει μια τελική προσφορά που θα αυξάνει στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό την ικανοποιησιμότητά του πράκτορα που την υλοποιεί. Η μέθοδος αποδεικνύεται ότι βελτιώνει τα αποτελέσματα των διαπραγματεύσεων όπου εφαρμόζεται, ενώ μπορεί να συμβάλλει στην αποφυγή διαδικασιών που είναι εξ' αρχής καταδικασμένες να αποτύχουν. Ωστόσο, ο δειγματοχώρος απ' όπου αντλούνται οι στρατηγικές και οι αρχικές παράμετροι της διαδικασίας είναι και εδώ περιορισμένος, ενώ πρέπει να ελεγχθούν και οι περιπτώσεις που ο αντίπαλος ακολουθεί πιο δημοφιλείς στρατηγικές και όχι μόνο ακραίες περιπτώσεις όπου στο μεγαλύτερο διάστημα η συμπεριφορά του είναι περίπου σταθερή. Τέλος, η βελτίωση που προτείνεται, δεν είναι αρκετά σημαντική σε απόλυτα νούμερα, με αποτέλεσμα να τίθεται υπό κρίση η ανάγκη ενσωμάτωσης μιας τέτοιας, σχετικά «βαριάς» λειτουργικότητας στον διαπραγματευόμενο πράκτορα.

Στο (Fox 1997) συναντούμε μια πρώτη αναφορά για τη θεωρητική προσέγγιση του πως μπορούν να ενσωματωθούν τεχνικές που βασίζονται σε στατιστικά δεδομένα, σε (έξυπνους) πράκτορες που διαπραγματεύονται με στόχο την αύξηση της ικανοποιησιμότητάς τους. Η προσέγγιση αυτή κάνει εκτενή αναφορά στα θέματα που ανακύπτουν και πως μπορούν να αντιμετωπιστούν, αλλά αρκείται σε θεωρητική μόνο ανάλυση. Οι συνακόλουθες προσπάθειες αντλούν πολλά στοιχεία από την αναφορά αυτή, κυρίως όπου εμφανίζεται εφαρμογή μεθόδων ανάλυσης παλινδρόμησης (regression analysis).

3.5 Νευρωνικά Δίκτυα σε Διαπραγματεύσεις Πόρων

Τα Νευρωνικά Δίκτυα χρησιμοποιούνται συχνά σε διάφορες εφαρμογές του πραγματικού κόσμου, όπου απαιτείται η εκτίμηση ή η μοντελοποίηση μιας συνάρτησης ή ενός συστήματος για το οποίο δεν έχουμε κάποια ιδιαίτερη γνώση και το μόνο που γνωρίζουμε είναι πώς αποκρίνεται σε συγκεκριμένα ερεθίσματα του περιβάλλοντος στο οποίο καλείται να λειτουργεί. Στο χώρο των αυτοματοποιημένων διαπραγματεύσεων πόρων, η χρήση τους στοχεύει στη βελτίωση της απόδοσης και της συμπεριφοράς των διαπραγματευόμενων πρακτόρων, που στοχεύουν στην πρόβλεψη της πολιτικής και της εν γένει συμπεριφοράς του αντιπάλου. Για το λόγο αυτό στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν εν συντομία, οι σημαντικότερες εργασίες που υιοθετούν τη λύση των νευρωνικών δικτύων προκειμένου να υποστηρίξουν τις διαδικασίες διαπραγματεύσεων.

Στο χώρο των αυτοματοποιημένων διαπραγματεύσεων πόρων μπορούμε εκτός των άλλων, να διακρίνουμε δύο βασικές κατηγορίες περιβαλλόντων. Τις διαδικασίες όπου οι συμμετέχοντες είναι δύο και μιλάμε αποκλειστικά για διμερείς διαδικασίες και εκείνες που περιλαμβάνουν περισσότερους από δύο συμμετέχοντες, ανεξάρτητα τι είδους μέρος εκπροσωπεί ο καθένας. Γι' αυτό το λόγο θα αναφερθούμε ξεχωριστά στις υπάρχουσες εργασίες σε δυο διαφορετικές ενότητες.

3.5.1 Νευρωνικά Δίκτυα σε Διαπραγματεύσεις Ένας-προς-Έναν

Οι (Zhang et.al. 2004) περιγράφουν ένα υβριδικό διμερή μηχανισμό στρατηγικής για αντίστοιχα περιβάλλοντα, που εφοδιάζει τους πράκτορες με μεγαλύτερη ευελιξία και στιβαρότητα. Το προτεινόμενο περιβάλλον υποστηρίζει έναν μηχανισμό δυναμικής απόδοσης της στρατηγικής που μπορεί να ακολουθήσει ο κάθε πράκτορας, σύμφωνα με στοιχεία που συλλέγονται από την κατάσταση του περιβάλλοντος τη δεδομένη χρονική στιγμή, σε συνδυασμό με ένα μηχανισμό που έχει τη δυνατότητα να παράγει νέους διαπραγματευτικούς κανόνες για κάθε πράκτορα με βάση την εμπειρία που έχει αντληθεί από παρελθούσες διαδικασίες. Η εμπειρία αυτή ενσωματώνεται και χρησιμοποιείται από τον εκάστοτε πράκτορα με τη βοήθεια νευρωνικών δικτύων εμπρός-τροφοδότησης και πίσω διάδοσης (feedforward back-propagation) και πολυδιάστατων κανόνων συσχέτισης. Παρόλα αυτά, και ενώ πρόκειται για ένα αρκετά έξυπνο και πολύπλοκο περιβάλλον, δεν παρέχεται από τους συγγραφείς μια επαρκής τεκμηρίωση για το πώς επιτυγχάνονται οι παραπάνω στόχοι στην πράξη, ενώ δεν υπάρχει και σαφής αναφορά στην αρχιτεκτονική των νευρωνικών δικτύων που χρησιμοποιούνται. Επιπλέον, δεν υπάρχουν ούτε ποιοτικά ούτε και αριθμητικά πειραματικά αποτελέσματα για αληθινά σενάρια ελέγχου. Τέλος, η μορφή των δεδομένων

εισόδου στο δίκτυο δεν περιγράφεται επαρκώς και φαίνεται πως δεν μπορεί να συγκλίνει σε κάποια πραγματική περίπτωση δεδομένων.

Από την άλλη πλευρά, οι (Zeng et.al. 2005) σχεδίασαν και χρησιμοποίησαν ένα νευρωνικό δίκτυο για την υποβοήθηση διαδικασιών διαπραγμάτευσης πόρων για πολύ συγκεκριμένα αντικείμενα διαπραγμάτευσης, που αντλήθηκαν από αληθινά περιβάλλοντα. Το δίκτυο έχει το πλεονέκτημα ότι εκπαιδεύεται σε πραγματικό χρόνο, κατά την εξέλιξη της διαδικασίας, χρησιμοποιώντας τις προηγούμενες προσφορές του αντιπάλου, ενώ τόσο ο πελάτης όσο και ο παροχέας έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν το συγκεκριμένο δίκτυο. Παρόλα αυτά τα πειραματικά δεδομένα που παρουσιάζονται είναι πολύ περιορισμένα και σε καμία περίπτωση δεν ανταποκρίνονται στη μεγάλη ποικιλία εκείνων που μπορούν να εμφανιστούν σε αληθινά σενάρια. Επιπρόσθετα, οι συγγραφείς δεν παρουσιάζουν το πραγματικό μέγεθος του κρυφού επιπέδου (hidden layer) του δικτύου, μια παράμετρος που είναι ιδιαίτερος σημαντική για το αν και κατά πόσο το δίκτυο είναι πραγματικά κατάλληλο για πραγματικού χρόνου διαδικασίες διαπραγμάτευσης, από έναν πράκτορα με περιορισμένους πόρους.

Οι (Rau et.al. 2006) από τη δική τους πλευρά, μελετούν τη διαδικασία ανάμεσα σε δύο μέρη που χαρακτηρίζουν ως *shipper* και *forwarded*, χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση μάθησης ενός νευρωνικού δικτύου εμπρός τροφοδότησης και πίσω διάδοσης. Το δίκτυο αυτό τροφοδοτείται στην είσοδό του με κάποια μοντέλα δεδομένων από πραγματικά σενάρια και με ειδικά κωδικοποιημένες συναρτήσεις απόφασης που χρησιμοποιούνται από τους πράκτορες για τη λήψη των διαφόρων αποφάσεών τους κατά τη διάρκεια των διαπραγματεύσεων. Τα αντικείμενα των διαδικασιών είναι η τιμή του προϊόντος, το πρόστιμο καθυστέρησης εκτέλεσης παραγγελίας, η ημερομηνία λήξης και η ποσότητα του προϊόντος. Ο προτεινόμενος μηχανισμός είναι εφαρμόσιμος και στα δύο μέρη ταυτόχρονα, ενώ η αρχιτεκτονική του δικτύου επιλέχθηκε με βάση παλαιότερες παραπλήσιες προσπάθειες, ακολουθώντας ένα πολύ αυστηρό πρότυπο για τους νευρώνες του κρυφού επιπέδου. Τα πειράματα που εκτελέστηκαν έδειξαν μια βελτίωση των αποτελεσμάτων και για τους δύο συμμετέχοντες, ενώ το πλαίσιο που προτείνεται αποδείχθηκε σταθερό και με μικρά ποσοστά εμφάνισης αδιεξόδων. Παρόλα αυτά, όπως και οι ίδιοι οι συγγραφείς υποστηρίζουν, απαιτείται περαιτέρω πειραματισμός με μεγαλύτερη ποικιλία στρατηγικών και πιθανώς πιο κατάλληλων αρχιτεκτονικών νευρωνικού δικτύου για το κρυφό επίπεδο.

Οι (Carbonneau et.al. 2006), παρουσιάζουν ένα μοντέλο νευρωνικού δικτύου για την πρόβλεψη των προσφορών του αντιπάλου κατά τη διάρκεια της διαπραγματευτικής διαδικασίας. Το μοντέλο αυτό δοκιμάστηκε για ένα συγκεκριμένο σύνολο πειραματικών δεδομένων, που αντλήθηκαν από άλλα υπάρχοντα μοντέλα και είναι αυστηρά προσαρμοσμένο σε αυτά. Σκοπός της προτεινόμενης λύσης, δεν είναι μόνο να καταφέρνει πρόβλεψη της επόμενης προσφοράς του αντιπάλου, αλλά και της αντίληψης για το που

οδηγείται η όλη διαδικασία. Έτσι, η πρόβλεψη της επόμενης προσφοράς του αντιπάλου αποτελεί μόνο μέρος της εξόδου του δικτύου. Στην πραγματικότητα όμως τα επιλεγμένα πειραματικά δεδομένα είναι πολύ περιορισμένα και οι στρατηγικές που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της απόδοσης του νευρωνικού δικτύου δεν ανταποκρίνονται σε όσα έχουν προταθεί και θεμελιωθεί ως μοντέλα αναφοράς για τις στρατηγικές που ακολουθούνται στις διαδικασίες διαπραγμάτευσης πόρων (Faratin et.al. 1998). Ακόμη, παρόλο που οι συγγραφείς υποστηρίζουν ότι το μοντέλο τους είναι κατάλληλο για την υποστήριξη διαδικασιών πραγματικού χρόνου, στην πραγματικότητα το νευρωνικό δίκτυο που χρησιμοποιείται είναι πολύ δύσκολο να εκπαιδευτεί σε πραγματικό χρόνο, κυρίως λόγω του μεγέθους του και επομένως των πόρων που απαιτούνται για τέτοιου είδους εκπαιδεύσεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη υιοθέτησης ενός μικρότερου νευρωνικού δικτύου προκειμένου να μπορεί να υποστηριχθεί από τους κινητούς πράκτορες που διαπραγματεύονται και διαθέτουν εξαιρετικά περιορισμένους πόρους.

Συνεχίζοντας την παρούσα βιβλιογραφική αναφορά στα διμερή περιβάλλοντα διαπραγμάτευσης πόρων, που υποστηρίζονται από νευρωνικά δίκτυα, έχουμε την παρουσίαση ενός αγοραστή-πράκτορα (shopping agent) (Orrea 2003), ο οποίος μπορεί να συμμετάσχει αποδοτικά σε διμερείς διαπραγματεύσεις πόρων πραγματικού χρόνου με πολλαπλά αγαθά, χρησιμοποιώντας ένα νευρωνικό δίκτυο που έχει δημιουργηθεί και εκπαιδευθεί σε μη-πραγματικό χρόνο. Στόχος της προτεινόμενης λύσης είναι να μπορεί ο πράκτορας, μέσω του νευρωνικού δικτύου που χρησιμοποιεί, να αυξάνει το κέρδος του προσαρμόζοντας τη συμπεριφορά του σε αυτή του αντιπάλου του. Στην πράξη, αυτό που επιδιώκεται είναι η ασφαλής εκτίμηση της επόμενης προσφοράς του αντιπάλου σε κάθε διαπραγματευτικό γύρο και η μοντελοποίηση της συμπεριφοράς του, ώστε ο πράκτορας που χρησιμοποιεί το δίκτυο να μπορεί να πετύχει την καλύτερη δυνατή προσφορά. Με τη χρήση λοιπόν του νευρωνικού δικτύου, ο αγοραστής-πράκτορας είναι σε θέση να αποφασίζει κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, ποια είναι η πολιτική του αντιπάλου του και να εκτιμά την τιμή στην οποία αυτός θα καταλήξει. Η συγγραφέας χρησιμοποιεί τις στρατηγικές που έχουν προταθεί και θεμελιωθεί και καταλήγει ότι το μοντέλο που έχει προτείνει λειτουργεί καλά στην περίπτωση που οι πράκτορες έχουν μεσαίες και μεγάλες περιόδους στη διάθεσή τους για να διαπραγματευτούν. Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται δεν είναι επαρκώς τεκμηριωμένα, ενώ είναι αναγκαία και κάποια για πιο ακραίες στρατηγικές του αντιπάλου προκειμένου να ελεγχθεί η επάρκεια του δικτύου και για αυτές τις περιπτώσεις. Πιθανότατα, οι τρεις νευρώνες κρυφού επιπέδου δεν είναι αρκετοί για ακραίες στρατηγικές και μακρινές προβλέψεις.

Στο (Soo and Hung 2002), οι συγγραφείς προτείνουν ένα μηχανισμό ενισχυτικής μάθησης, ο οποίος στηρίζεται αποκλειστικά στις προσφορές του αντιπάλου πράκτορα και αποτιμούν την απόδοση της προσέγγισής τους με τη βοήθεια του κριτηρίου της Pareto

αποδοτικότητας και αντίστοιχες συναρτήσεις μέτρησης της ικανοποιησιμότητας. Οι πράκτορες που συμμετέχουν στη διαπραγμάτευση μοιράζονται ένα κοινό μοντέλο με βάρη για το κάθε αγαθό υπό διαπραγμάτευση και έτσι προκύπτουν διακριτές τιμές για κάθε συνάρτηση σε κάθε χρονική στιγμή, ενώ το αποτέλεσμα που προκύπτει οδηγεί τη διαδικασία προς αύξηση της τιμής αυτής με βάση την Pareto αποδοτικότητα. Ένα νευρωνικό δίκτυο χρησιμοποιείται προκειμένου να σχηματίζονται οι προσφορές εκείνες που είναι κοντά στις αντίστοιχες του αντιπάλου με στόχο την επίτευξη της επιθυμητής συμφωνίας. Παρόλα αυτά όμως, το δίκτυο δεν περιγράφεται κάπου ρητά με όρους αρχιτεκτονικής, επιπέδων, νευρώνων, κλπ., και τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του δεν προσφέρουν κάποια σημαντική βελτίωση στις προκύπτουσες συμφωνίες. Επιπλέον, οι συγγραφείς ισχυρίζονται ότι η διαδικασία επιταχύνεται με την εφαρμογή του δικτύου, ότι δηλαδή μια συμφωνία επιτυγχάνεται ταχύτερα με τη βοήθεια του δικτύου, ωστόσο κάτι τέτοιο δεν προκύπτει από πειραματικά αποτελέσματα.

Από την άλλη πλευρά, στο (Chohra et.al. 2008) επιχειρείται η μοντελοποίηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς σε διαπραγματευτικές διαδικασίες με τη βοήθεια ενός προφίλ τριών βασικών χαρακτήρων: του συμβιβαστικού, του ουδέτερου και του επιθετικού. Είναι προφανής η σχέση κάθε χαρακτήρα με τη συμπεριφορά που αναμένεται να επιδεικνύει στην αλληλεπίδρασή του με τους υπόλοιπους πράκτορες. Αυτοί οι χαρακτήρες καταλήγουν στη δημιουργία αντίστοιχων στρατηγικών διαπραγμάτευσης, που κατόπιν αποτελούν αντικείμενο μάθησης χρησιμοποιώντας Q-μάθηση, με τα αποτελέσματα να αποθηκεύονται σε νευρωνικά δίκτυα, υλοποιώντας με τον τρόπο αυτό ένα πρώτο επίπεδο ευφυΐας για τους πράκτορες που διαπραγματεύονται. Το περιβάλλον αυτό, που αποτελεί τμήμα του έργου SISINE³, δεν στοχεύει στη δημιουργία ενός μηχανισμού μάθησης που να είναι σε θέση να παράσχει το πλεονέκτημα του υψηλότερου κέρδους σε κάποιο από τα δύο μέρη που αλληλεπιδρούν. Αντίθετα, αυτό που επιχειρεί είναι να μοντελοποιήσει την ανθρώπινη συμπεριφορά, όπως αυτή εκφράζεται σε αληθινές διεργασίες με τη βοήθεια σημασιολογικής μοντελοποίησης (οντολογίες) και έξυπνων στρατηγικών.

Το 2004, οι Park και Yang (Park and Yang 2004), σχεδίασαν και υλοποίησαν ένα μικρού μεγέθους *perceptron* που στόχευε στο σχηματισμό των αντιπροσφορών ως απόκριση στις προσφορές του αντιπάλου μέχρις εκείνο το σημείο. Είναι προφανές ότι το δίκτυο χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να προσφέρει τη δυνατότητα πρόβλεψης που διαθέτει και την ικανότητα προσαρμογής σε συνεχείς σειρές δεδομένων με στόχο την τελική συμφωνία. Το συγκεκριμένο μοντέλο υποστήριζε διμερείς αυτοματοποιημένες διαπραγματεύσεις για πολλαπλά αγαθά και στόχευε στην αύξηση της ικανοποιησιμότητας και των δύο συμμετεχόντων ταυτόχρονα. Η προσοχή των συγγραφέων επικεντρώθηκε στην αρχική

³ <http://www.sisine.net/>

προετοιμασία του δικτύου, μέχρις ότου διατεθούν αρκετά δείγματα ώστε η πρόβλεψη να είναι αξιόπιστη και κυρίως στην αποδοτικότητα της προσαρμογής του δικτύου κατά τη διάρκεια της διαδικασίας όταν το ιστορικό των προσφορών του αντιπάλου εμφανίζει μεγάλες διακυμάνσεις ως προς το βαθμό σύγκλισης. Τα πειράματα που διενεργήθηκαν για την αποτίμηση των δυνατοτήτων του προτεινόμενου περιβάλλοντος μπορούν να κριθούν και επαρκή αλλά και πολλά υποσχόμενα. Παρόλα αυτά όμως, η βασική υπόθεση ότι υπάρχει κοινή ικανοποιησιμότητα έρχεται σε αντίθεση με τα σύγχρονα ανταγωνιστικά περιβάλλοντα διαπραγμάτευσης πόρων, όπου καμία συναίνεση δεν επιχειρείται μεταξύ των αντιπάλων.

Τέλος, στο (Lee and Yang 2008), παρουσιάζεται ένα perceptron με ένα κρυφό επίπεδο νευρώνων και αρχιτεκτονική 9-12-1, δηλαδή με 9 νευρώνες εισόδου, 12 κρυφού επιπέδου και 1 εξόδου. Στόχος και εδώ είναι η πρόβλεψη της επόμενης τιμής προσφοράς του αντιπάλου. Στο περιβάλλον αυτό αναγνωρίζονται δυο ρόλοι, του προμηθευτή και του πελάτη, σε πλήρη αντιστοιχία με το μοντέλο παροχέα-πελάτη. Το δίκτυο χρησιμοποιείται από τον πελάτη με στόχο να προβλεφθεί η επόμενη τιμή του προμηθευτή, παρέχοντας έτσι ένα σύνολο τιμών πρόβλεψης για την κατεύθυνση στην οποία θα κινηθεί ο προμηθευτής του στο άμεσο μέλλον. Το δίκτυο τροφοδοτείται με τις δυο προηγούμενες τιμές του αντιπάλου, την τρέχουσα τιμή του πελάτη, και άλλες παραμέτρους που επηρεάζουν τη διαπραγμάτευση αυτή καθαυτή, όπως για παράδειγμα ο χρόνος, κάποιες τυχαίες μεταβλητές που καθορίζουν το πόσο γρήγορη ή αργή θα είναι η σύγκλιση, κλπ. Για την αποτίμηση της χρησιμότητας του προτεινόμενου περιβάλλοντος, δυο σενάρια εκτελέστηκαν και αποδεικνύουν ότι πράγματι επιτελούνται τα όσα διατείνονται οι συγγραφείς περί βελτίωσης των αποτελεσμάτων σε σύγκριση με προηγούμενα περιβάλλοντα. Παρόλα αυτά όμως, απαιτούνται πολύ περισσότερα πειράματα προκειμένου να κριθεί η πρόταση αυτή ως καθολικά αποδοτική, κυρίως για περιπτώσεις όπου οι διαπραγματεύσεις διαρκούν περισσότερους από πέντε ή δέκα γύρους, όπως συμβαίνει στα εκτελεσθέντα σενάρια, και αυτό γιατί το συγκεκριμένο νευρωνικό δίκτυο υποφέρει από προβλήματα όταν επιχειρείται γενίκευση για τιμές στο απώτερο και όχι στο άμεσο μέλλον. Επομένως, αν οι διαδικασίες διαρκούν πολύ ίσως η γενίκευση από τις αρχικές τιμές για πρόβλεψη να αποκλίνει σημαντικά από τις πραγματικές τιμές που θα προσέφερε ο παροχέας.

3.5.2 Νευρωνικά Δίκτυα σε Διαπραγματεύσεις Πολλών Πρακτόρων

Στο (Orgea 2001), παρουσιάζεται η χρήση ενός μικρού νευρωνικού δικτύου εμπρός τροφοδότησης με στόχο την πρόβλεψη της συμπεριφοράς του αντιπάλου. Παρόλο που η συγκεκριμένη προσπάθεια μοιράζεται πολλά κοινά στοιχεία με άλλο άρθρο της συγκεκριμένης συγγραφείας για αποκλειστικά διμερείς διαδικασίες, η ίδια υποστηρίζει ότι

στην περίπτωση αυτή ο μηχανισμός είναι κατάλληλος να υποστηρίξει διαδικασίες πολλαπλών ταυτόχρονων διαπραγματεύσεων. Στο μοντέλο αυτό, ο πράκτορας που εκμεταλλεύεται το μοντέλο, διαπραγματεύεται με άλλον (ή και άλλους) πράκτορα ο οποίος όμως δεν διαθέτει κανενός είδους μαθησιακό ή άλλον έξυπνο μηχανισμό. Το δίκτυο κατασκευάζεται κατάλληλα και εκπαιδεύεται σε κάθε γύρο ώστε να μπορεί να αποκρίνεται με μια ασφαλή εκτίμηση της επόμενης προσφοράς στην οποία θα προβεί ο αντίπαλος χρησιμοποιώντας μόνο τις τρεις τελευταίες προσφορές που ο τελευταίος έχει κάνει. Το γεγονός αυτό καθιστά τον βήμα-προς-βήμα υπολογισμό εφικτό για διαδικασίες πραγματικού χρόνου, αλλά όχι απαραίτητα και αξιόπιστο. Παρόλα αυτά, η προτεινόμενη προσέγγιση αποδεικνύεται επαρκής στην περίπτωση που είτε και οι δύο πράκτορες είτε ο αντίπαλος εμφανίζουν συμπεριφορά αργής σύγκλισης από την αρχική προς την τελική τους προσφορά.

Μια διαφορετική προσέγγιση της δυναμικής των νευρωνικών δικτύων σε τέτοιου είδους προβλήματα παρουσιάζεται από τους (Shibata and Ito 1999), που επικεντρώνονται στην επικοινωνία μεταξύ των πρακτόρων. Κατά βάση, διαχωρίζουν την επικοινωνία των πρακτόρων σε δύο κλάσεις, την πρώτη που ενσωματώνει τις περιπτώσεις που ο πράκτορας μεταδίδει την πληροφορία που παρατηρεί στο περιβάλλον και τη δεύτερη που μεταδίδει τις δικές του προσωπικές επιδιώξεις. Το μοντέλο βασίζεται σε ένα Elman αναδρομικό νευρωνικό δίκτυο με βρόγχους ανατροφοδότησης (feedback loops), ειδικώς για τη δεύτερη περίπτωση. Το δίκτυο αυτό βοηθά τους πράκτορες να αποφεύγουν πιθανά αδιέξοδα στις διαπραγματεύσεις τους, παρόλο που τίποτα δεν είναι εκ των προτέρων γνωστό, αναφορικά με τις στρατηγικές τους ή τους πόρους που διαθέτουν. Το δίκτυο διατηρεί την πληροφορία του παρελθόντος και προσαρμόζει σε πραγματικό χρόνο τη συμπεριφορά του πράκτορα με μοναδικό στόχο την αποφυγή αδιεξόδων. Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει ελεγχθεί σε περιβάλλον με τέσσερις πράκτορες που διαπραγματεύονται ταυτόχρονα οδηγώντας σε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Παρόλα αυτά, οι συγγραφείς δεν προτείνουν, ούτε φυσικά και εφαρμόζουν τεχνικές για αύξηση της αποδοτικότητας των συμμετεχόντων πρακτόρων, παρά μόνο για την αποφυγή συγκρούσεων μέσω μάθησης των προθέσεων του αντιπάλου. Επιπλέον, το χρησιμοποιούμενο δίκτυο, ως αναδρομικό, είναι μια πολύπλοκη δομή και φαίνεται ακατάλληλο για εφαρμογές σε περιβάλλοντα πρακτόρων με χαμηλούς πόρους.

Επιπλέον, οι (Abreu et.al. 2005) παρουσιάζουν μια συγκριτική ανάλυση κάποιων διαπραγματευτικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται σε ένα πολύ-νευρωνικό σύστημα το οποίο ονόμασαν NeurAge. Το σύστημα αυτό αποτελείται από επιμέρους νευρωνικούς ταξινομητές, που ονομάζονται νευρωνικοί πράκτορες και πρωταρχικός τους στόχος είναι να ξεπεράσουν κάποια μειονεκτήματα των συστημάτων πολλαπλής ταξινόμησης και κατ'επέκταση να βελτιώσουν την απόδοσή τους. Αυτοί οι νευρωνικοί πράκτορες παρέχουν μια κοινή έξοδο, που προκύπτει μετά τη διαδικασία της διαπραγμάτευσης και αποτελεί και την τελική απόκριση του συστήματος. Για το σκοπό αυτό, αποτιμώνται τρία διαφορετικά είδη

μεθόδων διαπραγμάτευσης: μέθοδοι σχετικές με θεωρίες παιγνίων, σχετικές με δημοπρασίες και βασιζόμενες σε εμπιστοσύνη (confidence based). Τα αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι η προτεινόμενη προσέγγιση είναι αξιόλογη για συστήματα ταξινόμησης και μπορεί επίσης να αποδειχθεί αξιόλογη για περιπτώσεις ταξινόμησης των στρατηγικών που ακολουθούνται από τους πράκτορες κατά τη διαδικασία. Δυστυχώς όμως, το σύστημα κρίνεται ακατάλληλο για διαδικασίες πραγματικού χρόνου, απαιτεί συνεργασία μεταξύ πολλαπλών νευρωνικών πρακτόρων και δεν έχει δοκιμαστεί σε αριθμητικά αποτελέσματα για αληθινές στρατηγικές. Για το λόγο αυτό, τα αποτελέσματα μπορεί να είναι αξιόλογα σε περιπτώσεις που απαιτείται κάποιο σχήμα ταξινόμησης, αλλά σίγουρα είναι ακατάλληλα για περιπτώσεις που απαιτούνται μελλοντικές προβλέψεις.

Από την άλλη πλευρά, οι (Veit and Czernohous 2003) παρουσιάζουν τα αποτελέσματα από την ενσωμάτωση σε πράκτορες-καταναλωτές πολλαπλών αλγορίθμων μηχανικής μάθησης σε μια κατάλληλα σχεδιασμένη ηλεκτρονική αγορά με έναν μοναδικό παροχέα. Τα αποτελέσματα αποδεικνύουν, ότι κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες το νευρωνικό δίκτυο με το οποίο εφοδιάζονται όλοι οι πράκτορες-καταναλωτές συμπεριφέρεται χειρότερα από έναν απλό Q-learning μηχανισμό που διατηρεί εκ των προτέρων συγκεκριμένο σύνολο τιμών για τη διαδικασία μάθησης σε κατάλληλα αρχικοποιημένο πίνακα τιμών. Τα σενάρια όμως με βάση τα οποία αποδίδει καλά το συγκεκριμένο περιβάλλον είναι πολύ περιοριστικά και σε καμία περίπτωση δεν ανταποκρίνονται στα χαρακτηριστικά εκείνων από τον πραγματικό κόσμο, για τα οποία κάθε εφαρμογή ενός συγκεκριμένου πίνακα θα αποτύγχανε εξαιτίας της μεγάλης ποικιλομορφίας που αυτά εμφανίζουν.

Οι (Park and Yang 2006) προτείνουν ένα σύστημα διαπραγμάτευσης μεταξύ πρακτόρων που βασίζεται στην αυξητική μάθηση (incremental learning) ενός νευρωνικού δικτύου εμπρός τροφοδότησης, έτσι ώστε να αυξηθεί η αποδοτικότητα των διμερών διαπραγματεύσεων και να βελτιωθεί η εφαρμοσιμότητα σε περιπτώσεις διαπραγματεύσεων μεταξύ πολλαπλών μερών. Το δίκτυο τροφοδοτείται με τιμές που εξάγονται μετά από μια διαδικασία αποτίμησης της ικανοποιησιμότητας (utility) και σε κάθε γύρο η έξοδος αυτή σχηματίζει την επόμενη προσφορά του πράκτορα. Για τη γενίκευση στην περίπτωση των πολλαπλών πρακτόρων, η προτεινόμενη προσέγγιση βασίζεται στην ταύτιση όλων των παροχέων και όλων των αγοραστών σε ζευγάρια μεταξύ όλων των πιθανών ζευγαριών που μπορούν να σχηματιστούν, ακολουθώντας πρακτικά κριτήρια, όπως για παράδειγμα η περίπτωση κοινών διαστημάτων αποδοχής για τα αντικείμενα της διαπραγμάτευσης. Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι το προτεινόμενο σύστημα επιτυγχάνει πάνω από 2% περισσότερες συμφωνίες και εκτελεί τις διαπραγματεύσεις τουλάχιστον δυο φορές πιο γρήγορα σε σχέση με άλλες με παρόμοια χαρακτηριστικά.

Οι (Wang et.al. 2005) επιχειρούν από την πλευρά τους να λύσουν το πρόβλημα επιλογής ενός πράκτορα-παροχέα που απαντά στα κριτήρια του αγοραστή, καθώς και στα

χαρακτηριστικά ικανοποιησιμότητας, όπως αυτά εκπροσωπούνται από τον αντίστοιχο ευφυή πράκτορα. Το πρόβλημα επιλύεται επιλέγοντας τον παροχέα πριν τη διαδικασία της διαπραγμάτευσης και έτσι, τόσο η ακρίβεια της διαδικασίας όσο και η ικανοποιησιμότητα του αγοραστή βελτιώνονται. Για το σκοπό αυτό, οι συγγραφείς μετατρέπουν το πρόβλημα επιλογής παροχέα σε ένα πρόβλημα ληστή με K όπλα (K-armed bandit) πρόβλημα. Η συνάρτηση που αναπαριστά την ικανοποιησιμότητα, είναι το κοινό άθροισμα των ικανοποιησιμοτήτων τόσο των αγοραστών, όσο και των παροχέων, με τους πρώτους να χρησιμοποιούν ένα κατάλληλα εκπαιδευμένο νευρωνικό δίκτυο προκειμένου να «μάθει» τις προτιμήσεις του αντιπάλου και τελικά να επιλέξει εκείνον που θα τον οδηγήσει στο καλύτερο πιθανό αποτέλεσμα. Το προτέρημα αυτού του μοντέλου είναι ότι το συγκεκριμένο νευρωνικό δίκτυο εκπαιδεύεται σε μη-πραγματικό χρόνο και χρησιμοποιείται ως έχει για την πραγματική διαδικασία. Έτσι, δεν υπάρχει σημαντική αρνητική επίδραση σε χρόνο και πόρους για τη διαδικασία διαπραγμάτευσης.

Τέλος, οι (Liu and You 2003), προτείνουν ένα ασαφές νευρωνικό δίκτυο (fuzzy neural network) για να αντιμετωπίσουν τις αμφιβολίες που υπάρχουν στις πραγματικές αγοραστικές διαδικασίες, όπως για παράδειγμα οι προτιμήσεις των πελατών, οι προδιαγραφές των προϊόντων, οι επιλογές των προϊόντων, η διαπραγμάτευση για την τιμή τους, η αγορά, η διανομή, η εξυπηρέτηση μετά την αγορά, κλπ. Το δίκτυο αυτό καταφέρνει να επιτύχει μια αυτόματη και αυτόνομη ταξινόμηση των προϊόντων και ένα σχήμα επιλογής για την υποστήριξη όλων των ασαφειών που υπεισέρχονται στις περιπτώσεις που εξετάστηκαν, συμψηφίζοντας την ασαφή λογική και τις ιδιότητές της, αυτές των νευρωνικών δικτύων εμπρός τροφοδότησης και πίσω διάδοσης. Τα πειραματικά αποτελέσματα καταδεικνύουν την αποδοτικότητα της προτεινόμενης προσέγγισης στις περιπτώσεις εμπορικών δοσοληψιών μέσω διαδικτύου, με τη βοήθεια ευφυών δομών.

3.6 Πρωτότυπα Ηλεκτρονικά Περιβάλλοντα Διαπραγμάτευσης

Στην ενότητα αυτή θα αναλυθούν συνοπτικά τα πιο σημαντικά ηλεκτρονικά περιβάλλοντα διαπραγμάτευσης που έχουν παρουσιαστεί στη διεθνή επιστημονική και εμπορική κοινότητα, με στόχο να τονιστεί η ικανότητα εφαρμογής των θεωρητικών μοντέλων σε δοκιμασίες της καθημερινής ζωής. Επιπρόσθετα, θα τονιστούν τα επιμέρους χαρακτηριστικά τους και ο βαθμός ευφυΐας που ενσωματώνουν και υλοποιούν, σε αντιπαραβολή με τις προτεινόμενες από την παρούσα διατριβή λύσεις. Αυτό που πρέπει να σημειωθεί είναι ότι τα συστήματα αυτά δεν είναι όλα αμιγώς αυτοματοποιημένα, ούτε και υποστηρίζουν αμιγείς διαπραγματευτικές διεργασίες. Υπάρχουν ανάμεσά τους και συστήματα δημοπρασιών, ενώ σε καμία περίπτωση δεν καλύπτεται το σύνολο των συστημάτων αλλά τα πρωτοπόρα και τα

πιο δημοφιλή. Πλέον, ειδικά σε επίπεδο διαδικτύου τα ηλεκτρονικά περιβάλλοντα αυτοματοποιημένης διαπραγμάτευσης και δημοπρασίας πληθαίνουν μέρα με τη μέρα και μια καθολική συλλογή τους είναι αδύνατη και πέρα από τους σκοπούς της παρούσας ενότητας.

Το πιο σημαντικό από τα ηλεκτρονικά αυτά περιβάλλοντα είναι το Kasbah (Chavez et.al. 1997) που αναπτύχθηκε στο M.I.T.. Πρόκειται για ένα πραγματικού χρόνου σύστημα αγοραπωλησιών που βασίζει τη λειτουργικότητά του στη δυνατότητα των επισκεπτών του να διαπραγματεύονται για τα αγαθά που επιθυμούν να αγοράσουν. Ο εκάστοτε καταναλωτής ή πωλητής μπορεί να δημιουργεί έναν πράκτορα που τον εκπροσωπεί και να καθορίζει τις βασικές του λειτουργίες με απλά και εύκολα βήματα. Έτσι, μπορεί να παράσχει στον πράκτορα αυτό τις στρατηγικές κατευθυντήριες γραμμές που επιθυμεί να έχει στις διαδικασίες στις οποίες θα λάβει μέρος ως αντιπρόσωπος και στη συνέχεια με την ολοκλήρωση της αρχικής αυτής διαδικασίας, να τον οδηγήσει σε συγκεκριμένες ηλεκτρονικές αγορές, προκειμένου να αποκτήσει αγαθά προς όφελος του εντολέα του. Οι αγορές αυτές βέβαια οφείλουν υποχρεωτικά να διέπονται από αρχές εμπιστοσύνης και δικαιοσύνης, και για το λόγο αυτό διαθέτουν κεντρικό έλεγχο. Οι πράκτορες αυτοί αναζητούν πιθανούς αγοραστές ή πωλητές (ανάλογα με τον αρχικό τους ρόλο) και στη συνέχεια, μόλις εντοπίσουν κάποιον από αυτούς, προβαίνουν στην εκκίνηση αυτοματοποιημένων διαδικασιών διαπραγμάτευσης, εκπροσωπώντας όπως αναφέρθηκε τους εντολείς τους και με απώτερο στόχο την ικανοποίηση των αρχικών παραμέτρων όπως αυτές έχουν προκαθοριστεί. Οι παράμετροι αυτοί μπορούν να ποικίλλουν αρκετά, αλλά στην πλειονότητα των περιπτώσεων, διακρίνουν την τιμή αγοράς/πώλησης που ο εντολέας επιθυμεί, συγκεκριμένους όρους παράδοσης ή παραλαβής του προϊόντος, κλπ. Οι παράμετροι αυτές προκαθορίζονται και μαζί με τις στρατηγικές που καλούνται να ακολουθηθούν, επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα των διαδικασιών και σαφώς τη συμπεριφορά των πρακτόρων. Επιπλέον, οι εντολείς καθορίζουν αρχικά και το περιθώριο τιμών συμφωνίας που επιθυμούν, καθώς και το διαθέσιμο χρονικό διάστημα για την επίτευξή της. Με τις δυο αυτές παραμέτρους ολοκληρώνονται επί της ουσίας, όλα τα στοιχεία που οφείλει να γνωρίζει ένας πράκτορας για να διαπραγματευτεί με άλλους όμοιους του σε αυτοματοποιημένες διαδικασίες. Στο Kasbah, οι στρατηγικές με τις οποίες εφοδιάζονται οι πράκτορες είναι είτε γραμμικές, είτε τετραγωνικές, είτε εκθετικές, ανάλογα με τη διάθεση που εμφανίζει ο εντολέας να συγκλίνει γρήγορα ή αργά, περισσότερο ή λιγότερο συναινετικά προς μια επιθυμητή τιμή συμφωνίας και από το ελάχιστό του προς το μέγιστό του (πάντα στο χρόνο που έχει στη διάθεσή του) ή αντίστροφα. Επιπρόσθετα, οι στρατηγικές αυτές σχηματίζονται με τρόπο ώστε οι χρήστες που καθορίζουν τους πράκτορες να είναι σε θέση να κατανοήσουν με ιδιαίτερη ευκολία και ανά πάσα χρονική στιγμή, τι κάνουν οι πράκτορές τους μέσα στο ηλεκτρονικό περιβάλλον και σε καμία περίπτωση δεν είναι βέλτιστες, ούτε διαθέτουν κάποια ιδιαίτερη ευφυΐα με στόχο την επίτευξη του βέλτιστου αποτελέσματος. Τα βασικά αγαθά υπό

διαπραγμάτευση στα πρώτα βήματα του Kasbah ήταν βιβλία και είδη μουσικής και ένα μεγάλο πλήθος ανθρώπων (πάνω από 500) κλήθηκαν να πειραματιστούν με το σύστημα ενεργώντας βάσει συγκεκριμένων προκαθορισμένων ρόλων. Σήμερα το σύστημα έχει περάσει στη δεύτερή του φάση, με πολύ περισσότερες κατηγορίες προϊόντων και σαφώς περισσότερους χρήστες σε πραγματικούς πλέον ρόλους. Ωστόσο, απέχει ακόμα από το να αποτελέσει ένα πραγματικό περιβάλλον αυτοματοποιημένων διαπραγματεύσεων, κυρίως λόγω της αμφισβητούμενης εμπιστοσύνης που μπορεί να επιδείξουν οι επίδοξοι πωλητές και πελάτες.

Ένα επίσης δημοφιλές σύστημα αυτοματοποιημένων διαπραγματεύσεων είναι και το Tete-a-tete (Guttman and Maes 1998). Πρόκειται επίσης για πραγματικού χρόνου σύστημα όπως και το Kasbah, το οποίο παρέχει στους πράκτορες τη δυνατότητα να διαπραγματεύονται με τρόπο συνεργατικό και φιλοσοφία που προβάλλει την επίτευξη συμφωνιών σε τιμές κοινά αποδεκτές, διασφαλίζοντας δικαιοσύνη κατόπιν αμοιβαίων υποχωρήσεων. Οι πράκτορες που συμμετέχουν ενεργά στη συγκεκριμένη διαδικασία μπορούν να θέτουν υπό διαπραγμάτευση πολλαπλές παραμέτρους, όπως για παράδειγμα την τιμή ενός αγαθού, την παρεχόμενη εγγύηση, χρόνους παράδοσης, παραμέτρους ποιότητας υπηρεσίας, κριτήρια επιστροφής, κλπ. Είναι επομένως προφανές ότι το σύστημα παρέχει μεγάλη ευελιξία στους χρήστες τους για διαπραγματεύσεις με πολλαπλές παραμέτρους ταυτόχρονα. Μάλιστα, σε αντίθεση με άλλα συστήματα διαπραγμάτευσης τα οποία είναι ιδιαίτερος ανταγωνιστικά, το Tete-a-tete επιτρέπει και προωθεί διμερείς διαδικασίες παζαρέματος (bargaining) χωρίς να υιοθετεί πολιτικές/στρατηγικές όπως για παράδειγμα το Kasbah ή άλλα παρόμοια συστήματα, με χρονικές παραμέτρους και πολύπλοκους αριθμητικούς υπολογισμούς σε κάθε βήμα. Αντίθετα, αυτό που υιοθετεί είναι ότι οι πράκτορες (οι οποίοι μπορούν να διαδραματίσουν ρόλο μόνο αγοραστή) ακολουθούν μια μορφή διαπραγμάτευσης βασισμένη σε φιλονικίες (argumentative) με ανταλλαγή μηνυμάτων επεξήγησης για κάθε προσφορά που σχηματίζεται και χρησιμοποιούν κριτήρια αποτίμησης, με τη βοήθεια ειδικά μοντελοποιημένων συναρτήσεων (utility functions) προκειμένου να αποφασίσουν για το αν μπορούν να δεχθούν ή όχι τα αποτελέσματα του στιγμιότυπου μιας διαδικασίας, για να οδηγήσουν σε συμφωνία ή διαφωνία. Η συνάρτηση αυτή δεν είναι μια στατικά αποτιμώμενη συνάρτηση, αλλά σε περιοδικά διαστήματα τροφοδοτείται με τις τιμές που έχουν προκύψει για τα διάφορα αγαθά και παράγει την εν γένει ικανοποίηση του εκάστοτε πελάτη από τις προσφορές που έχουν προκύψει μέχρι εκείνο το σημείο για τη διαδικασία βάσει και των αρχικών προτιμήσεων. Τέλος, πρέπει να τονιστεί ότι το συγκεκριμένο σύστημα υπήρξε το πρώτο που ενοποίησε τη μεσιτεία των προϊόντων, τη μεσιτεία των εμπορών και την υποδομή για διαπραγματεύσεις σε ένα περιβάλλον.

Ένα ακόμη αξιόλογο περιβάλλον ηλεκτρονικών διαδικασιών διαπραγμάτευσης είναι το Inspire⁴, το οποίο πρωτοεμφανίστηκε το 1995 ως τμήμα του InterNeg ερευνητικού προγράμματος και από τότε χρησιμοποιείται για τη διεκπεραίωση αυτοματοποιημένων διαπραγματεύσεων κάθε μορφής. Το σύστημα αυτό υλοποιεί μια διαδικασία διαπραγμάτευσης τριών φάσεων, που περιλαμβάνει στη σειρά, τη φάση της προ-διαπραγμάτευσης, τη φάση της διαπραγμάτευσης και τη φάση της μετά-διαπραγμάτευσης. Στην πρώτη φάση, οι χρήστες ορίζουν τις προτιμήσεις τους και τα αναμενόμενα αποτελέσματα από τις διαδικασίες που πρόκειται να αρχίσουν και στη συνέχεια αλληλεπιδρούν αυτόματα κατά τη φάση της διαπραγμάτευσης, ενώ στην τελευταία φάση η προκύπτουσα συμφωνία αποτιμάται ως προς την αποδοτικότητά της και την ορθότητά της. Το σύστημα παρέχει ένα πλήρως γραφικό περιβάλλον για την αλληλεπίδραση με το χρήστη και την διευκόλυνση της όλης διαδικασίας, ενώ και οι απαιτήσεις για την πιθανή αυτενέργεια του χρήστη είναι απλοποιημένες και περιορισμένες. Μετά το πέρας της πρώτης φάσης, η διαδικασία συνεχίζεται αυτόματα και οι χρήστες ειδοποιούνται για την πρόοδό της οποτεδήποτε εισέρχονται ως ταυτοποιημένοι χρήστες στο σύστημα. Είναι προφανές ότι πρόκειται για σύστημα που προβλέπει διαδικασίες σε μη πραγματικό χρόνο. Οι χρήστες τώρα με τη σειρά τους, μπορούν βάσει των όσων έχουν παρατηρήσει στο σύστημα να επιλέξουν να τροποποιήσουν τη στρατηγική και τις προτιμήσεις τους προκειμένου να διευκολύνουν την επίτευξη συμφωνίας ή/και να περιορίσουν τον απαιτούμενο χρόνο προκειμένου να επέλθει συμφωνία. Οι δυνατότητες που παρέχονται από το σύστημα έχουν αποδειχθεί επαρκείς για πάνω από 10000 χρήστες που το έχουν χρησιμοποιήσει για διμερείς διαπραγματεύσεις σε μη πραγματικό χρόνο. Τέλος, πρέπει να τονιστεί ότι το σύστημα είναι πολυγλωσσικό και μπορεί να διασφαλίσει ένα ελάχιστο αποδεκτό επίπεδο ικανοποιησιμότητας για όλους τους συμμετέχοντες βάσει των αρχικών τους προτιμήσεων.

Από την πλευρά του το Cybersettle⁵ είναι ένας παροχέας που υλοποιείται ως διαδικτυακή υπηρεσία και προσφέρει όλη την απαραίτητη υποδομή προκειμένου να μπορούν να πραγματοποιηθούν διαπραγματεύσεις σε πραγματικό χρόνο με στόχο την επίτευξη συμφωνιών με οικονομικά ανταλλάγματα. Στην περίπτωση αυτή, κάθε ενδιαφερόμενος χρήστης ή ο εκάστοτε πράκτορας που τον εκπροσωπεί σχηματίζει μια νέα σύνοδο για αυτοματοποιημένη διαπραγμάτευση, αφού συνδεθεί σε μια ασφαλή διαδικτυακή περιοχή, καθορίζοντας επίσης τα ανεκτά χρονικά και ποσοτικά όρια που μπορεί να διαθέσει για τη συγκεκριμένη διαδικασία. Εν συνεχεία, το σύστημα επικοινωνεί αυτόματα με πιθανά ενδιαφερόμενους άλλους χρήστες και τους ενημερώνει για τη διαδικασία που έχει σχηματιστεί και πρόκειται να ξεκινήσει, προσφέροντας τους ταυτόχρονα και πρόσβαση σε ασφαλή διαδικτυακή περιοχή προκειμένου να διασφαλίσει με τον τρόπο αυτό τη συμμετοχή

⁴ <http://interneg.org/inspire/>

⁵ <http://www.cybersettle.com/info/main.aspx>

τους στη διαπραγμάτευση. Όταν και τα δύο μέρη που πρόκειται να διαπραγματευτούν είναι πλήρως ενήμερα και εναρμονισμένα με τους κανόνες και τις αρχές που οφείλουν να χαρακτηρίζουν τη διαδικασία, τότε η διαπραγμάτευση ξεκινά και το σύστημα αναλαμβάνει να επιτελέσει το ρόλο του διαιτητή, αλλά και να ενημερώσει τα διαπραγματευόμενα μέρη όποτε κρίνεται απαραίτητο. Το Cybersettle επιτρέπει τρεις γύρους προσφορών από το κάθε μέρος, μια παράμετρος που μπορεί όμως να τροποποιηθεί, αν τεθεί εκ των προτέρων, αφήνοντας το σύστημα να αποφασίσει αν μια συμφωνία είναι εφικτή ή όχι. Αν δεν είναι, το σύστημα από μόνο του ζητά την εφαρμογή μιας καινούριας στρατηγικής διαπραγμάτευσης και από τους δυο συμμετέχοντες, αν και εφόσον βέβαια συναινούν σε κάτι τέτοιο. Το μόνο πρόβλημα που αναγνωρίζεται στο συγκεκριμένο σύστημα είναι ότι δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως πλήρως αυτοματοποιημένο, αλλά περισσότερο σαν ένας εξομοιωτής μιας διαδικασίας από τη στιγμή που απαιτεί τη συμμετοχή των μερών που διαπραγματεύονται στον καθορισμό των μελλοντικών τους προσφορών ήδη από την αρχή της διαδικασίας. Επί του παρόντος το σύστημα έχει αποκτήσει μια ευελιξία, μιας και επιτρέπει περισσότερους γύρους διαπραγμάτευσης (από τους αρχικούς 3), ενώ πλέον υποστηρίζει και πιο αυτοματοποιημένες διαδικασίες με λιγότερη συμμετοχή του εκάστοτε εντολέα. Τέλος, ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του συστήματος είναι ότι για κάθε συμμετοχή απαιτείται η γνωμοδότηση και ενεργή συμμετοχή ενός ειδικού, μιας και οι υποστηριζόμενες διαδικασίες είναι νομικής και ασφαλιστικής χρήσεως για την επίτευξη επαγγελματικών συμφωνιών στα πεδία αυτά.

Από την άλλη πλευρά, το SettlementOnline⁶ είναι ακόμη μια διαδικτυακή υπηρεσία διαπραγμάτευσης, και μοιάζει πολύ, τουλάχιστον ως προς τις βασικές του αρχές με το Cybersettle. Στην πράξη μοιράζονται τα περισσότερα από τα λειτουργικά τους χαρακτηριστικά, ενώ και ο τρόπος διεκπεραίωσης των διαδικασιών διαθέτει πολλά κοινά στοιχεία. Επιπλέον, οι πιθανές αγορές που υποστηρίζονται από το συγκεκριμένο σύστημα είναι πάρα πολλές, καλύπτοντας υπηρεσίες αγοράς εισιτηρίων, μεσιτικές συναλλαγές και άλλες παρόμοιες κατηγορίες, προωθώντας την εγγραφή επαγγελματιών στο σύστημα και τη συνακόλουθη συμμετοχή τους σε διαπραγματεύσεις για οποιοδήποτε αγαθό επιθυμούν. Τέλος, το σύστημα δεν αποκλείει και τους απλούς χρήστες και στο σημείο αυτό διαφέρει από το Cybersettle που απαιτούσε τη συμμετοχή επαγγελματιών σε κάθε διαπραγμάτευση για τη διασφάλιση της ορθότητας και δικαιοσύνης των διαδικασιών.

Ένα σύστημα που ξεκίνησε πειραματικά κατόπιν κυβερνητικής υποδείξεως στις Η.Π.Α. και που τώρα λειτουργεί για λογαριασμό της (υπηρεσία της Εταιρείας Εθνικής Διαιτησίας και Μεσιτείας των Η.Π.Α.) είναι το clickNsettle⁷. Το σύστημα αυτό που είναι επίσης υλοποιημένο ως διαδικτυακή υπηρεσία, μοιάζει σε πολλά σημεία του με τα δύο

⁶ <http://settlementonline.com/>

⁷ www.clicknsettle.com

προηγούμενα, ωστόσο διαφέρει σημαντικά στο ότι επιτρέπει πολλαπλούς γύρους προσφορών και αντιπροφορών μεταξύ των συμμετεχόντων στις διαδικασίες και όχι έναν μικρό και αρχικά καθορισμένο αριθμό. Από την άλλη πλευρά όμως αυτό που είναι προκαθορισμένο, είναι ο χρόνος που έχουν στη διάθεσή τους οι συμμετέχοντες να ολοκληρώσουν την εκάστοτε διαδικασία. Το σύστημα διασφαλίζει ότι όλες οι διαδικασίες χαρακτηρίζονται από αρχές δικαιοσύνης, υποχρεώνοντας τους συμμετέχοντες να ακολουθούν το γνησίως μονότονο μοντέλο στο σχηματισμό των προσφορών τους, αυξάνοντας ή μειώνοντας τις κατά τουλάχιστον ένα ελάχιστο ποσοστό σε σχέση με την αμέσως προηγούμενη προσφορά τους. Έτσι, ο βαθμός σύγκλισης είναι ελάχιστα εγγυημένος και οι πιθανές συμφωνίες έχουν αυξημένες πιθανότητες. Όπως ίσως έχει διαφανεί από την ανάλυση που έχει προηγηθεί, οι διαδικασίες είναι διμερείς και τερματίζονται είτε με συμφωνία, αν και τα δύο μέρη αποδέχονται μια τιμή πώλησης/αγοράς, είτε με διαφωνία αν τερματιστεί το χρονικό περιθώριο και δεν έχει επιτευχθεί συμφωνία ή ακόμα και αν κάποιο από τα διαπραγματευόμενα μέρη αποσυρθεί από τη διαδικασία. Το σύστημα τελευταία έχει αποκτήσει το χαρακτήρα πλήρως αυτοματοποιημένου περιβάλλοντος με διαπραγματευόμενους πράκτορες, επιτρέποντας σε επαγγελματίες να παραλληλοποιούν πλήρως τις διαδικασίες στις οποίες συμμετέχουν (που μπορεί να είναι περισσότερες από μια ταυτόχρονα) και να καθορίζουν διαφορετικές στρατηγικές ανάλογα με την κατάσταση επιλέγοντας από το σύνολο των διαθέσιμων.

Μια αρκετά διαδεδομένη διαδικτυακή υπηρεσία είναι το eBay's Auction⁸, που προσελκύει καθημερινά εκατομμύρια χρήστες από όλο τον κόσμο. Πρόκειται για μια υπηρεσία όμως που δεν προβλέπει αυτοματοποιημένες διαπραγματεύσεις αλλά παρέχει την απαραίτητη υποδομή για τη διεκπεραίωση δημοπρασιών σε μη πραγματικό χρόνο. Στο περιβάλλον αυτό, ο κάθε επίδοξος πωλητής παρέχει μια περιγραφή του προϊόντος που επιθυμεί να πουλήσει μέσω των σελίδων του eBay, μαζί με κάποιες ιδιαίτερες προτιμήσεις του, όπως πχ. τρόπο πληρωμής, πληροφορίες αποστολής, ελάχιστο ποσό αύξησης προσφοράς, επιθυμητή τιμή αγοράς/πώλησης, κλπ. Με τον τρόπο αυτό, ο πωλητής αρχικοποιεί έναν πράκτορα λογισμικού, ο οποίος καλείται να διαπραγματευτεί με επίδοξους αγοραστές για ένα αγαθό (την τιμή αγοράς) και ξεκάθαρες προτιμήσεις, όπως αυτές έχουν τεθεί. Για τον επίδοξο αγοραστή, το σύστημα αυτό των δημοπρασιών προσφέρει τη δυνατότητα αρχικοποίησης ενός πράκτορα πελάτη, ο οποίος βάσει της αρχικοποίησης από τον χρήστη μπορεί να διεκπεραιώσει τη διαδικασία χωρίς την ενεργή και συνεχή συμμετοχή του χρήστη. Αυτή η δυνατότητα είναι και ο λόγος που το περιβάλλον αυτό περιγράφεται εδώ, μιας και δεν πρόκειται για περιβάλλον πλήρως αυτοματοποιημένων διαδικασιών, αλλά μάλλον ένα περιβάλλον αυτοματοποιημένων δημοπρασιών. Το σύστημα αυτό μπορεί

⁸ www.ebay.com

θεωρητικά να χαρακτηριστεί ως ένα σύστημα διαπραγμάτευσης μεταξύ πολλαπλών μερών για ένα αγαθό, παρόλο που είναι εξαιρετικά απλό στη σύλληψη και την υλοποίηση του. Ίσως μεγαλύτερη πολυπλοκότητα να το καθιστούσε μη αξιόπιστο στα μάτια του επίδοξου χρήστη.

Το Fishmarket με τη σειρά του είναι ένα ακαδημαϊκό πρωτότυπο ενός ηλεκτρονικού οίκου δημοπρασιών (Rodriguez et.al. 1997), που βασίζεται στις αρχές των εμπορικών συναλλαγών των παλιών αγορών ψαριού, από όπου δανείζεται και το όνομά του. Στο συγκεκριμένο περιβάλλον μπορούν να διαπραγματευτούν τόσο πράκτορες λογισμικού όσο και απλοί χρήστες, χρησιμοποιώντας το μοντέλο της ολλανδικής δημοπρασίας (Dutch auction⁹), αναπαριστώντας σε μια σύγχρονη εκδοχή τον τρόπο που πελάτες και έμποροι κατέληγαν σε συμφωνία στις παραδοσιακές αγορές ψαριών του μεσαιώνα, κυρίως σε περιοχές όπως η Ισπανία και η Πορτογαλία. Η ειδοποιός διαφορά του Fishmarket σε σύγκριση με τα αντίστοιχα περιβάλλοντα είναι ότι εκτός από τους υπάρχοντες πράκτορες που διαθέτουν τα απαραίτητα χαρακτηριστικά και τη γνώση για να διαπραγματευτούν και διατίθενται από το σύστημα, μπορούν να συμμετάσχουν ενεργά και οι απλοί χρήστες με τη βοήθεια εύκολα παραμετροποιήσιμων πρακτόρων που «προγραμματίζονται» μέσω απλών προγραμματιζόμενων διεπαφών εφαρμογών (application programmable interfaces). Με τον τρόπο αυτό μπορούν να σχηματιστούν πράκτορες πολλαπλών επιπέδων πολυπλοκότητας, από εξαιρετικά απλούς μέχρι εξαιρετικά σύνθετους, καθιστώντας έτσι το περιβάλλον ακόμα και περισσότερο ευφύες από τον ανθρώπινο παράγοντα όταν αυτός συμμετέχει σε τέτοιες διαδικασίες. Κάθε διαπραγμάτευση μπορεί να διαρκεί οσοδήποτε, αλλά πρέπει να ολοκληρώνεται σε πεπερασμένο χρόνο για να μην επιβαρύνεται το σύστημα και να μην εκφυλίζονται οι διαδικασίες.

Ένα ακόμη ενδιαφέρον ακαδημαϊκό πρωτότυπο, το οποίο διατίθεται και δωρεάν προς χρήση, είναι το eAuctionHouse¹⁰ το οποίο αποτελεί τμήμα του eMediator συστήματος. Το σύστημα αυτό υποστηρίζει πολλά σημαντικά χαρακτηριστικά, συμπεριλαμβανομένης της δυνατότητας για συνδυαστικές δημοπρασίες και δημιουργία προσφορών μέσω πρακτόρων λογισμικού. Σε τέτοιες δημοπρασίες, το αγαθό για το οποίο σχηματίζονται προσφορές δεν είναι απαραίτητα ένα αλλά περισσότερα, αυξάνοντας έτσι την πολυπλοκότητα της υποδομής που πρέπει να τις υποστηρίζει. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι εξαιρετικά χρήσιμο σε περιπτώσεις που αυτός που προσφέρει δείχνει ενδιαφέρον για πολλαπλά αγαθά ταυτόχρονα και επιθυμεί να τα αποκτήσει σαν πακέτο, κάτι που συμβαίνει σε πολλές πραγματικές αγορές και όχι μόνο ηλεκτρονικές. Οι πράκτορες που αυτενεργούν μέσα στο περιβάλλον αυτό μπορούν να προγραμματιστούν από τους χρήστες, μέσω μιας διαδικασίας που δεν χαρακτηρίζεται από την απλότητά της, ωστόσο μπορεί να απαλλάξει το χρήστη από χρονοβόρες και επίπονες διαδικασίες συμμετοχής σε εξαιρετικά σύνθετες συνθήκες.

⁹ en.wikipedia.org/wiki/Dutch_auction

¹⁰ www.eauctionhouse.co.uk

Ένα ακόμη σύστημα δημοπρασιών που υποστηρίζει αυτοματοποιημένες διαπραγματεύσεις είναι και το AuctionBot (Wurman et.al. 1998), που αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο του Μίσιγκαν των Η.Π.Α. και πρόκειται επί της ουσίας για μια κεντροποιημένη αρχιτεκτονική, που υποστηρίζει ηλεκτρονικές διεργασίες με τη βοήθεια ενός εξυπηρετητή. Ο εξυπηρετητής υποστηρίζει τη δημιουργία νέων διεργασιών από καθένα από τους χρήστες του με στόχο την πώληση αγαθών, επιλέγοντας ταυτόχρονα έναν τύπο δημοπρασίας από τη λίστα των διαθέσιμων κάθε χρονική στιγμή. Στη συνέχεια, το σύστημα επιτρέπει στους χρήστες να καθορίσουν τις παραμέτρους για την τρέχουσα διεργασία, δηλαδή να ορίσουν αυστηρά τα χρονικά περιθώρια, τον αριθμό των μερών που μπορούν να συμμετάσχουν, ελάχιστη και μέγιστη αύξηση των προσφορών από γύρο σε γύρο, τρόπους επίλυσης των αδιεξόδων, κλπ. Μετά την αρχική αυτή παραμετροποίηση, οι πράκτορες που αναλαμβάνουν να διεκπεραιώσουν τη συμφωνία, ξεκινούν μια διαδικασία προσφορών ακολουθώντας ένα αυστηρά ορισμένο και κατανοημένο πρωτόκολλο διαπραγμάτευσης. Έτσι, σχηματίζεται ένα πλαίσιο πολλαπλών μερών που διαπραγματεύονται, με τον κεντρικό έλεγχο να ανήκει στον εξυπηρετητή. Σε ένα τυπικό σενάριο, ο πωλητής αρχικοποιεί τη δημοπρασία, καθορίζει την τιμή συμφωνίας που επιθυμεί και ακολούθως αφήνει τη διαίτησία στο σύστημα, το οποίο με τη σειρά του αποστέλλει προσκλήσεις για προσφορές στους πιθανά διαθέσιμους και ενδιαφερόμενους πράκτορες-πελάτες, καλώντας τους να προσφέρουν για τα αγαθά που διαθέτει. Ο έλεγχος του εξυπηρετητή διασφαλίζει ότι οι αρχές της διαδικασίας όπως αυτές έχουν τεθεί αρχικά ικανοποιούνται και δεν παραβιάζονται καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας. Ένα βασικό χαρακτηριστικό που διαφοροποιεί το συγκεκριμένο σύστημα από όλα τα υπόλοιπα είναι ότι παρέχει την υποδομή για τη σχεδίαση και υλοποίηση πρακτόρων στους επίδοξους χρήστες, προσφέροντας πολλές δυνατότητες προς χρήση από αυτούς, αλλά όχι και στρατηγικές διαπραγμάτευσης, οι οποίες οφείλουν να προσδιοριστούν από τον ίδιο το χρήστη, κάτι που αποτελεί και το μειονέκτημα του συστήματος εξαιτίας της πολυπλοκότητάς τους.

Το 2003 οι (Kersten and Lo 2003), ένα ακόμη διαδικτυακό σύστημα που υποστηρίζει και υλοποιεί πράκτορες λογισμικού για την διεκπεραίωση διαπραγματεύσεων και τη λήψη αποφάσεων. Το σύστημα αυτό, περιλαμβάνει στα λειτουργικά του χαρακτηριστικά τη δυνατότητα να υποστηρίζει τα διαπραγματευόμενα μέρη, την παροχή συμβουλών με συμπεράσματα που εξάγονται από το περιβάλλον γενικότερα και τη λήψη πρωτοβουλιών προς όφελος των τελικών χρηστών. Ένας πράκτορας λογισμικού που ενεργεί στο περιβάλλον του Aspire, παρακολουθεί και καταγράφει τη διαδικασία, υποστηρίζει τη διαδικτυακή διαπραγμάτευση πόρων και διεκπεραιώνει με τρόπο διαφανή για το χρήστη τις όποιες εντολές του, καταλήγοντας στη μέγιστη δυνατή ικανοποίησή του από το περιβάλλον.

Λίγο αργότερα και πιο συγκεκριμένα το 2004, παρουσιάστηκε το σύστημα eAgora (Chen et.al. 2005) ως μια ηλεκτρονική αγορά που επέτρεπε στους αγοραστές και τους

πωλητές να συμμετάσχουν σε διαδικασίες διαπραγμάτευσης πολλαπλών αγαθών. Οι υπηρεσίες του συστήματος συμπεριλαμβάνουν έναν πράκτορα ο οποίος σχηματίζει και αποτιμά προσφορές και ο οποίος διατίθεται από το ίδιο το σύστημα απευθείας. Βέβαια, το σύστημα αυτό απαιτεί και τη συμμετοχή του χρήστη καταλήγοντας στον χαρακτηρισμό μερικώς αυτοματοποιημένο και όχι πλήρως.

Ένα σύστημα που στοχεύει στη χρήση της τεχνολογίας των πρακτόρων λογισμικού για τη βελτίωση της ποιότητας των αποτελεσμάτων σε ηλεκτρονικές συναλλαγές είναι και το CASBA (Vetter and Pitsch 1999). Το βασικό χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου συστήματος, που το διαφοροποιεί και από τα προηγούμενα είναι η υποστήριξη όλων των πιθανών τύπων δημοπρασίας με χρήση ανεξάρτητων συνιστωσών για τον κάθε ένα. Στο σύστημα αυτό όλοι οι συμμετέχοντες είναι πράκτορες λογισμικού και μπορούν να ανήκουν σε έναν από τους ακόλουθους τέσσερις τύπους: το διαχειριστή που αναλαμβάνει την ολική εποπτεία του όλου συστήματος, τους πλειστηριαστές που αναλαμβάνουν να φέρουν σε πέρας μια δημοπρασία και τέλος πράκτορες αγοραστές και πωλητές που εκτελούν τις εντολές των χρηστών τους και έχουν σκοπό την αγορά και την πώληση αγαθών. Οι κανόνες για την έναρξη μιας δημοπρασίας, το σχηματισμό προσφορών και την επεξεργασία τους, καθώς και τον τρόπο επίτευξης μιας συμφωνίας καθορίζονται πλήρως από το πρωτόκολλο διαπραγμάτευσης του συστήματος. Υποστηρίζονται επιπλέον και πλήρως παραλληλοποιημένες διαδικασίες, όπου όλες οι λεπτομέρειες μεταφέρονται μεταξύ των συμμετεχόντων και των αρμοδίων πρακτόρων μέσω αρχείων XML και αποτιμώνται από τους διαχειριστές μια φορά στο τέλος και όχι σε κάθε βήμα, ακολουθιακά. Οι διαπραγματεύσεις ακολουθούν στρατηγικές που βασίζονται σε διακριτούς κανόνες, ενώ η ύπαρξη συναρτήσεων ικανοποιησιμότητας συντελεί στην αποτίμηση των προσφορών και των αντιπροσφορών και κατά πόσο αυτές είναι επικερδείς ή όχι. Τέλος, το CASBA είναι ένα σύστημα που υποστηρίζει διαδικασίες πολλαπλών μερών, αλλά μονού αγαθού (πχ. της τιμής ενός προϊόντος), λόγω της φύσης των πρακτόρων και της περιορισμένης πολυπλοκότητας που επιθυμείται να το διέπει από τους σχεδιαστές του.

Το έργο FuzzyMAN (Fuzzy Multi-Agent Negotiation) με τη σειρά του κατέληξε στην πρωτοτυποποίηση ενός περιβάλλοντος με πράκτορες που χαρακτηρίζονται για την ασαφή λογική τους (Kurbel et.al. 2004). Στην προσπάθεια αυτή, οι χρήστες είναι σε θέση να αναζητήσουν εργοδότες και εργαζόμενους και να διαπραγματευτούν πάνω σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά αναφορικά με τις παραμέτρους που επιθυμούν να διέπουν την εργασία τους. Τα αντικείμενα διαπραγμάτευσης στο περιβάλλον αυτό είναι: αμοιβή/ώρα, αμοιβή υπερωριών, αριθμός ωρών εργασίας την εβδομάδα, χρόνος σύμβασης. Επιπλέον, το σύστημα προβλέπει την απόδοση σημαντικότητας σε κάθε μια από τις παραμέτρους αυτές χρησιμοποιώντας ειδικές συναρτήσεις βαθμολόγησης (scoring functions). Έτσι, μια στρατηγική διαπραγμάτευσης είναι μια συνάρτηση με τέσσερις παραμέτρους, όπου κάθε μια

καθορίζει πως μεταβάλλει ο εκάστοτε πράκτορας την προσφορά του για τις παραπάνω τιμές συναρτήσει του χρόνου διαπραγμάτευσης, ανάλογα με την υπάρχουσα κατάσταση στο περιβάλλον γενικότερα και τη φάση της διαπραγμάτευσης, αλλά και την γενική ανάγκη επίτευξης συμφωνίας που μπορεί να υπάρχει. Ένα αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου συστήματος είναι ότι υποστηρίζει μοντέλο διαπραγμάτευσης πολλαπλών μερών με ασαφή λογική. Η βασική ιδέα πίσω από το μοντέλο αυτό είναι ότι η στρατηγική που υιοθετεί ο εκάστοτε πράκτορας μπορεί να επηρεάζεται τόσο από τα αντικείμενα της διαπραγμάτευσης, όσο και από άλλες παραμέτρους που δεν τίθενται υπό διαπραγμάτευση, όπως για παράδειγμα η ηλικία του ενδιαφερόμενου για εργασία, η εμπειρία του, τα γενικότερα προσόντα του, κλπ. Τέλος, αναφορικά με τις στρατηγικές που μπορούν να υιοθετηθούν, το σύστημα επιτρέπει στους πράκτορες να χρησιμοποιήσουν μόνο μια αρχικά καθορισμένη χρονικά εξαρτώμενη στρατηγική, η οποία είναι και απλή στη μορφή της.

Το έργο MAGMA (Tsvetovatyy et.al. 1997) είναι και αυτό μια προσπάθεια να δημιουργηθεί ένα πρωτότυπο ενός ηλεκτρονικού περιβάλλοντος διαπραγματεύσεων βασισμένο στην τεχνολογία των πρακτόρων λογισμικού, με επιπλέον όμως χαρακτηριστικά αυτά του ενσωματωμένου τραπεζικού συστήματος, ενός συστήματος επικοινωνίας, ενός συστήματος μεταφοράς και αποθήκευσης και τέλος ενός διαχειριστικού συστήματος. Το περιβάλλον του MAGMA ενσωματώνει εμπορικούς πράκτορες, που είναι υπεύθυνοι για την αγοραπωλησία των αγαθών και τις τιμές διαπραγμάτευσης, καθώς και έναν εξυπηρετητή που αναλαμβάνει να διαφημίσει αγγελίες σε συγκεκριμένες κατηγορίες του συστήματος, ενώ τέλος διατίθεται και ένα σύνολο βασικών τραπεζικών υπηρεσιών. Οι διαπραγματεύσεις στο περιβάλλον του MAGMA είναι για ένα αγαθό (τιμή αγοράς) και βασίζεται στη περιορισμένη μορφή της δημοπρασίας Vickrey, όπου η συμφωνία γίνεται με τον πωλητή με τη δεύτερη μικρότερη τιμή.

Ολοκληρώνοντας την αναφορά στα ηλεκτρονικά περιβάλλοντα αυτοματοποιημένων διαπραγματεύσεων, παρουσιάζεται στο σημείο αυτό το MAGNET (Collins et.al. 1998), που αποτελεί και ένα από τα παλαιότερα πρωτότυπα. Το σύστημα αυτό καλείται να παράσχει υποστήριξη για πολύπλοκες διαδικασίες σύναψης συμβολαίων μεταξύ πρακτόρων σε περιπτώσεις διαχείρισης αλυσίδων προμηθευτών. Το πρωτόκολλο διαπραγμάτευσης αποτελείται από τρία διακριτά βήματα: αρχικά, ο καταναλωτής (πράκτορας) εκδηλώνουν ενδιαφέρον για προσφορές, στη συνέχεια οι μεσίτες αποκρίνονται με συγκεκριμένες προσφορές και τελικά, ο καταναλωτής αποδέχεται την προσφορά που ταυτίζεται με τις προτιμήσεις του. Η αποτίμηση των προσφορών πραγματοποιείται τόσο με κριτήρια κόστους όσο και με βάση το ρίσκο που υπεισέρχεται από τη διαδικασία. Το σενάριο που περιγράφηκε σημαίνει ότι το σύστημα υποστηρίζει διαπραγματεύσεις πολλαπλών μερών, παρόλο που αυτές φαίνεται πως έχουν απλοϊκή μορφή. Τέλος, όλοι οι συμμετέχοντες διαθέτουν και ασαφή λογική για την βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων.

4 Εκτίμηση της Επόμενης
Τιμής Προσφοράς του
Αντιπάλου

4.1 Εισαγωγή

Έχοντας περιγράψει με σαφήνεια τις βασικές έννοιες που διέπουν τις λύσεις που προτείνονται στην παρούσα διατριβή και έχοντας προβεί σε μια μακροσκελή ανάλυση της σχετικής βιβλιογραφίας στην περιοχή των αυτοματοποιημένων διαπραγματεύσεων, σε επίπεδο πόρων, στρατηγικών, τεχνολογιών, τεχνικών μάθησης και σύγχρονων πρωτοτύπων, στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται το πρώτο πρόβλημα στο οποίο επιχειρείται να προταθεί αποδοτική λύση. Πρόκειται για το πρόβλημα της εκτίμησης της επόμενης τιμής προσφοράς του αντιπάλου πράκτορα προκειμένου να αποφεύγονται αποτυχημένες διαδικασίες διαπραγμάτευσης όταν τα χρονικά όρια εξαντλούνται. Το συγκεκριμένο πρόβλημα που δεν είχε αντιμετωπιστεί έως τώρα στη διεθνή βιβλιογραφία, μελετάται από την πλευρά του πελάτη και επιχειρείται η πρόβλεψη για τις τιμές του παροχέα. Ειδικότερα, όπως θα αναλυθεί και στις ενότητες που ακολουθούν, όταν ο πελάτης διακρίνει ότι δεν έχει ικανά χρονικά περιθώρια προκειμένου να ολοκληρώσει επιτυχώς την τρέχουσα διαδικασία και μη γνωρίζοντας οποιαδήποτε ιδιωτική πληροφορία του αντιπάλου σχετικά με το δικό του χρονικό περιθώριο και την τάση των μελλοντικών του προσφορών, επιχειρεί να προσφέρει στον τελευταίο δικό του γύρο μια προσφορά που ο παροχέας δεν θα μπορεί να αρνηθεί. Η προσφορά αυτή οδηγεί εν δυνάμει σε συμφωνία διασφαλίζοντας την επιτυχία της διαδικασίας και αποφεύγοντας την σπατάλη πόρων και για τους δυο πράκτορες, μιας και είναι πολύ πιθανό αφού δεν υπάρχει συμφωνία έως τώρα, να μην υπάρξει και σε έναν γύρο ακόμα (τελευταίο). Η εφαρμογή αυτής της τεχνικής έχει ιδιαιτέρως αποδοτικά αποτελέσματα, όπως θα φανεί και στη διεξοδική πειραματική ανάλυση που θα ακολουθήσει.

Το κεφάλαιο αυτό συνεχίζεται με την περιγραφή του περιβάλλοντος διαπραγμάτευσης στην ενότητα 4.2, όπου δίνεται εκτός των άλλων και ένας αυστηρός ορισμός για το πρόβλημα, ενώ ακολουθεί η ενότητα 4.3 με την περιγραφή των προσεγγιστών που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της επόμενης (και τελευταίας τιμής του αντιπάλου), όπου παρουσιάζονται ξεχωριστά αριθμητικοί προσεγγιστές και νευρωνικά δίκτυα, τα οποία και συγκρίνονται. Στην ενότητα 4.4 παρουσιάζονται τα διεξοδικά πειράματα που διενεργήθηκαν με στόχο την αποτίμηση της τεχνικής, ενώ στην ενότητα 4.5 δικαιολογείται η απόφαση να επιλεγούν οι συγκεκριμένοι αριθμητικοί προσεγγιστές και όχι κάποιοι άλλοι. Τέλος, το βασικό μέρος του κεφαλαίου 4, κλείνει με την επέκταση της μονού αγαθού προσέγγισης, σε περιβάλλοντα πολλαπλών αγαθών με στόχο να αιτιολογηθεί η εφαρμοσιμότητα της λύσης που προτείνεται για κάθε περιβάλλον. Το κεφάλαιο κλείνει με την απαραίτητη σύνοψη των όσων παρουσιάστηκαν, ενώ ακολουθεί το παράρτημα Π4, με στόχο να παρουσιαστεί μια εναλλακτική λύση, αυτή ενός κατάλληλου γενετικού αλγορίθμου,

ο οποίος και συγκρίνεται με τα νευρωνικά δίκτυα που υπερτερούν των αριθμητικών προσεγγιστών, όπως θα φανεί και θα αιτιολογηθεί και παρακάτω.

4.2 Περιβάλλον Διαπραγμάτευσης Πόρων

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστεί και θα αναλυθεί διεξοδικά το περιβάλλον που υιοθετείται προκειμένου να επιλυθεί το πρόβλημα της πρόβλεψης της επόμενης (τελευταίας) τιμής του αντιπάλου, για την αποφυγή αποτυχημένων διαπραγματεύσεων. Αρχικά, περιγράφεται συνοπτικά το πρωτόκολλο και το μοντέλο της διμερούς διαδικασίας βασισμένο σε όσα τονίστηκαν στην ενότητα του μοντέλου διαπραγμάτευσης (βλ. ενότητα 2.3). Στη συνέχεια, το πρόβλημα περιγράφεται με αυστηρούς όρους, προτού προχωρήσει η ανάλυση στις λεπτομέρειες των λύσεων που προτείνονται για την πρόβλεψη του αντιπάλου και παρουσιαστούν τα αποτελέσματα.

4.2.1 Πρωτόκολλο και Μοντέλο Διαπραγμάτευσης Μονού Αγαθού

Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά που διέπουν μια διαδικασία αυτοματοποιημένης διαπραγμάτευσης πόρων είναι όλοι εκείνοι οι κανόνες που υιοθετούνται από τους συμμετέχοντες πράκτορες και καθορίζουν τη συμπεριφορά τους, τους περιορισμούς που τίθενται γι' αυτούς και γενικότερα τις ενέργειες στις οποίες μπορούν να προβούν χωρίς να παραβιάσουν τη δικαιοσύνη και την ορθότητα της διαδικασίας (Paurobally et.al. 2003). Το σύνολο αυτό των κανόνων καθορίζει το πρωτόκολλο που υιοθετείται (Rosenschein and Zlotkin 1994) και το οποίο συμφωνείται εξ αρχής μεταξύ των συμμετεχόντων και προτού ξεκινήσει η διαδικασία. Στην παρούσα ενότητα της διατριβής, υπάρχουν δύο συμμετέχοντες, ο πελάτης και ο παροχέας, που εκπροσωπούνται μέσω κινητών πρακτόρων λογισμικού. Οι πράκτορες αυτοί διαπραγματεύονται για ένα αγαθό σε μια διαδικασία που βασίζεται στο πρωτόκολλο των εναλλασσόμενων προσφορών (Osborne and Rubinstein 1994)(Kraus 2001) με στόχο τη μεγιστοποίηση της ικανοποιησιμότητας των συμμετεχόντων.

Η διαδικασία ξεκινά από τον πελάτη, ο οποίος ασύγχρονα και όποτε το επιθυμεί στέλνει στον πελάτη άμεσο μήνυμα για έναρξη διαπραγμάτευσης (Request For Proposal) καθορίζοντας τα χαρακτηριστικά των υπηρεσιών/αγαθών που επιθυμεί να αποκτήσει. Χωρίς απώλεια της γενικότητας, μια τέτοια αίτηση θα μπορούσε να αφορά στη διαπραγμάτευση για την τιμή αγοράς μιας προσφερόμενης υπηρεσίας. Βάσει αυτής, ο παροχέας επιθυμεί να πουλήσει την υπηρεσία στη μεγαλύτερη δυνατή τιμή, ενώ ο πελάτης να την αγοράσει στη μικρότερη δυνατή. Όταν ο παροχέας λαμβάνει αυτή την αρχική αίτηση του υποψήφιου

πελάτη, είτε την αποδέχεται και στοιχειοθετεί μια αρχική προσφορά, είτε την απορρίπτει και έτσι η διαδικασία τερματίζεται. Σε κάθε γύρο, ο παροχέας στέλνει στον πελάτη μια προσφορά που περιλαμβάνει την διαπραγματευόμενη τιμή αγοράς, η οποία στη συνέχεια αποτιμάται από τον πελάτη με βάση τη *στρατηγική* που έχει επιλέξει και τις παραμέτρους που έχει θέσει ως αποδεκτές. Αν η προσφορά αυτή είναι σύνομη με το πρωτόκολλο διαπραγμάτευσης, ο πελάτης σχηματίζει μια αντι-προσφορά, η οποία στέλνεται στον παροχέα. Ο τελευταίος αποτιμά με τη σειρά του τη συγκεκριμένη προσφορά και αντιπροτείνει στον πελάτη. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται, πάντοτε συμβατή με τους κανόνες διαπραγμάτευσης όπως αυτοί έχουν τεθεί, μέχρις ότου μια αμοιβαία αποδεκτή προσφορά προτείνεται από κάποιο από τα δύο διαπραγματευόμενα μέρη, ή μέχρις ότου κάποιο από τα μέρη αυτά αποσυρθεί από τη διαπραγμάτευση. Στην πρώτη περίπτωση η διαδικασία χαρακτηρίζεται επιτυχημένη και η τιμή πώλησης που συμφωνείται είναι αμοιβαία αποδεκτή. Στη δεύτερη περίπτωση, κάποιο από τα δύο μέρη μπορεί να αποσυρθεί, είτε λόγω εξάντλησης των πόρων που έχει διαθέσει για τη συγκεκριμένη διαπραγμάτευση, είτε λόγω διάγνωσης κάποιας παραβίασης των κανόνων διαπραγμάτευσης. Συνοπτικά, σε κάθε γύρο διαπραγμάτευσης, τα μέρη: είτε, (1) αποδέχονται την τρέχουσα προσφορά και η διαπραγμάτευση τελειώνει επιτυχώς, είτε, (2) σχηματίζουν και αποστέλλουν μια αντιπροσφορά, είτε, (3) αποσύρονται από τη διαπραγμάτευση.

4.2.2 Αυστηρός Ορισμός του Προβλήματος

Αρχικά, ο πράκτορας, τόσο του πελάτη όσο και του παροχέα, μπορούν να φτάσουν σε συμφωνία, αν και μόνο αν η προσφορά που γίνεται και αποτελεί την τελική τιμή συμφωνίας, που αποτελεί και το μοναδικό αντικείμενο διαπραγμάτευσης μεταξύ των δύο μερών, βρίσκεται ανάμεσα στις αποδεκτές τιμές συμφωνίας και των δύο διαπραγματευόμενων μερών, ενώ η τιμή της συνάρτησης ικανοποιησιμότητας βρίσκεται πάνω από το ελάχιστο όριο που έχει τεθεί από τα δύο μέρη εκ των προτέρων προκειμένου να συμφωνήσουν. Έτσι, προκειμένου να επιτευχθεί μια συμφωνία σε μια τιμή p_{final} , οι ακόλουθες εξισώσεις πρέπει να ικανοποιούνται βάσει των όσων έχουν προδιαγραφεί από τη σχετική βιβλιογραφία: $U^P(p_{final}) \geq U_{min Acc}^P$ (οι αντίστοιχες συναρτήσεις ικανοποιησιμότητας), $p_{final} \in [p_m^P, p_M^P]$ και $U^C(p_{final}) \geq U_{min Acc}^C$, $p_{final} \in [p_m^C, p_M^C]$, όπου οι προαποφασισμένες τιμές $U_{min Acc}^P$ και $U_{min Acc}^C$ βρίσκονται στα διαστήματα $[U_{min}^P, U_{max}^P]$ και $[U_{min}^C, U_{max}^C]$, αντίστοιχα. Πρόκειται προφανώς για τις συνθήκες που πρέπει να ικανοποιεί η κάθε συνάρτηση ικανοποιησιμότητας. Βέβαια, εφόσον επικεντρωνόμαστε σε διαπραγματεύσεις

ενός αγαθού (τιμή αγοράς), οι παράμετροι ικανοποιησιμότητας είναι περιττές και μπορούν να αγνοηθούν, αφού ισχύουν τα παρακάτω:

$$U^C(p_M^C) \geq U_{\min Acc}^C \xrightarrow{p_{final} \leq p_M^C, \frac{\partial U^C}{\partial p} < 0} U^C(p_{final}) \geq U_{\min Acc}^C$$

$$U^P(p_m^P) \geq U_{\min Acc}^P \xrightarrow{p_{final} \geq p_m^P, \frac{\partial U^P}{\partial p} > 0} U^P(p_{final}) \geq U_{\min Acc}^P, \text{ για τον πελάτη και τον}$$

παροχέα αντίστοιχα. Η εξήγηση των όσων τονίστηκαν με μαθηματικές σχέσεις εδώ, βασίζεται στην απαραίτητη προϋπόθεση να ικανοποιούνται οι συνθήκες του κατώτερου ορίου που κάθε μέρος θέτει για τη συνάρτηση ικανοποιησιμότητάς του. Έτσι, για τον πελάτη, πρέπει η τιμή συμφωνίας να δίνει μεγαλύτερη τιμή για τη συνάρτηση ικανοποιησιμότητας απ' ό,τι η τιμή της συνάρτησης για τη μέγιστη τιμή αγοράς από τον ίδιο. Αυτό ισχύει αφού η τιμή συμφωνίας είναι σίγουρα μικρότερη από τη μέγιστη τιμή που έχει προαποφασίσει να «ανεχτεί» ο πελάτης. Όμοια, ο παροχέας θέτει ως ελάχιστο όριο που μπορεί να «ανεχτεί» για την τιμή της συνάρτησης ικανοποιησιμότητας, εκείνη που αντιστοιχεί στο ελάχιστο που ο ίδιος έχει θέσει εξ' αρχής. Όμως η τιμή συμφωνίας είναι σίγουρα μεγαλύτερη ή το πολύ ίση με το ελάχιστο του παροχέα, οπότε η αντίστοιχη τιμή της συνάρτησης ικανοποιησιμότητας είναι σίγουρα μεγαλύτερη ή το πολύ ίση, με το αντίστοιχο κατώφλι του παροχέα. Δεύτερον, η επίτευξη συμφωνίας στο γύρο διαπραγμάτευσης l προϋποθέτει ότι η τιμή που προσφέρει ο παροχέας (πελάτης), στο γύρο $l-1$ να είναι μικρότερη (αντίστοιχα μεγαλύτερη) από την προσφορά που θα είχε γίνει από τον πελάτη (παροχέα) στον επόμενο γύρο l . Τρίτον, οι υπολογιστικές και επικοινωνιακές δυνατότητες των δύο διαπραγματευόμενων πρακτόρων, υποτίθεται ότι οδηγούν σε σχεδόν σταθερή χρονική διάρκεια $t_{l+1} - t_l$ του κάθε γύρου διαπραγμάτευσης l . Με βάσει την υπόθεση αυτή, θεωρούμε ότι ο μέγιστος αριθμός γύρων που ο πελάτης (παροχέας) έχει την εξουσιοδότηση να διαπραγματευτεί με στόχο να ολοκληρώσει τη διαδικασία με τον παροχέα (πελάτη) είναι $L_C = \lfloor T_C / (t_{l+1} - t_l) \rfloor$ ($L_P = \lfloor T_P / (t_{l+1} - t_l) \rfloor$), όπου T_C (T_P) είναι το μέγιστο χρονικό περιθώριο διαπραγμάτευσης για τον πελάτη (παροχέα).

Όπως, έχει ήδη προδιαγραφεί στην προηγούμενη ενότητα, θεωρούμε την περίπτωση της διαδικασίας όπου η διαπραγμάτευση εκκινείται από τον πελάτη, ο οποίος στέλνει στον παροχέα ένα αρχικό RFP μήνυμα (Request for Proposal), καθορίζοντας τα χαρακτηριστικά του αγαθού που επιθυμεί να αποκτήσει και τις τιμές όλων των χαρακτηριστικών εκείνων που δεν υπόκεινται σε διαπραγμάτευση. Βασισμένος σε αυτό το μήνυμα-αίτηση του πελάτη, ο παροχέας σχηματίζει την αρχική του προσφορά $p_{t_0}^P = p_0^P$ και τη στέλνει στον πελάτη στο χρόνο $t = t_0$ και γύρο $l = 0$, μια τιμή που μεγιστοποιεί την ικανοποιησιμότητα του παροχέα.

Από τη στιγμή που η αποδεκτή περιοχή τιμών για τον παροχέα είναι το διάστημα $[p_m^P, p_M^P]$, συμπεραίνουμε ότι κατά την αρχική αυτή προσφορά, η τιμή που προτείνεται από τον ίδιο είναι η τιμή $p_0^P = p_M^P$. Ακολούθως, και πάντα σύμφωνα με το πρωτόκολλο διαπραγμάτευσης, ο πελάτης στοιχειοθετεί μια αντιπροσφορά $p_1^C = p_m^C$, αν και μόνο αν δεν ισχύει ότι $p_1^C > p_0^P$ (συμφωνία στον πρώτο γύρο) ή ότι το χρονικό του περιθώριο έχει εξαντληθεί. Στη συνέχεια, ο παροχέας αποτιμά την ορθότητα της προσφοράς και αν δε συντρέχει λόγος εγκατάλειψης της διαδικασίας, σχηματίζει την επόμενη αντιπροσφορά p_2^P , με τη διαδικασία να συνεχίζεται με παρόμοιο τρόπο, μέχρι να επιτευχθεί κάποια συμφωνία ή να εξαντληθεί το χρονικό περιθώριο που έχει τεθεί από κάποιον από τους δύο διαπραγματευόμενους πράκτορες.

Η απόκριση (response) του παροχέα στο γύρο διαπραγμάτευσης $l+1$ στην προσφορά του πελάτη p_l^C που στάλθηκε στον προηγούμενο γύρο, καθορίζεται από μια χρονική εξαρτώμενη στρατηγική που μπορεί να περιγραφεί από την ακόλουθη εξίσωση:

$$response_{l+1}^P(p_l^C) = \begin{cases} \text{accept } p_l^C, & \text{if } p_l^C \geq p_{l+1}^P \text{ and } l+1 \leq L_P \\ \text{quit from negotiation,} & \text{if } l+1 > L_P \\ \text{offer } p_{l+1}^P = p_m^P + [1 - f^P(t_{l+1})](p_M^P - p_m^P), & \text{otherwise} \end{cases}$$

όπου $f^P(t_l)$ είναι μια συνάρτηση πολυωνυμική ή εκθετική όπως αυτές παρουσιάστηκαν στην ενότητα 2.3.5. Ανάλογα με την τιμή που μπορεί να έχουν οι τιμές των παραμέτρων της συνάρτησης αυτής, οι στρατηγική του παροχέα μπορεί να ποικίλει από μια πολύ αργής σύγκλισης έως μια πολύ γρήγορης σύγκλισης. Στα αρχικά πειράματα, η συνάρτηση έχει θεωρηθεί πολυωνυμική, ωστόσο τα αποτελέσματα είναι παρόμοια ποιοτικά και όταν η συνάρτηση που υιοθετείται είναι εκθετικής φύσεως. Η συγκεκριμένη επιλογή και η απόφαση να μην προτιμηθεί μοντελοποίηση με εξαρτώμενες από συμπεριφορά ή πόρους συναρτήσεις, έγινε επειδή οι χρονικές συναρτήσεις είναι αυτές που προσεγγίζουν καλύτερα την αληθινή συμπεριφορά στις διαπραγματεύσεις και επειδή αποτελούν τον καλύτερο δειγματοχώρο συναρτήσεων με ευθείες αναγωγές και από τις υπόλοιπες. Επιπλέον, θεωρήθηκε επιθυμητή η εξέταση των αποτελεσμάτων της τεχνικής σε κάποιον ανεξάρτητο από αντίπαλο παροχέα (γι' αυτό και δεν υιοθετήθηκαν μιμητικές στρατηγικές), ενώ και στη μελέτη της βιβλιογραφίας κυριαρχούν οι τεχνικές αυτές, γεγονός που επαληθεύει τη χρησιμότητά τους.

Από την άλλη πλευρά, η απόκριση του πελάτη στο γύρο $l+1$ στην προσφορά p_l^P που έστειλε ο παροχέας στον προηγούμενο γύρο, καθορίζεται από μια εξαρτώμενη από συμπεριφορά στρατηγική που περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$response_{l+1}^C(p_l^P) =$$

$$\begin{cases} \text{accept } p_l^P, & \text{if } p_l^P \leq p_{l+1}^C \text{ and } l+1 \leq L_C \\ \text{quit from negotiation,} & \text{if } l+1 > L_C \\ \text{offer } p_{l+1}^C = \min(\max(g(t_{l+1}), p_m^C), p_M^C), & \text{otherwise} \end{cases}$$

, όπου $g(t_l) = p_{l-2}^C + (p_M^C - p_{l-2}^C) \frac{p_{l-3}^P - p_{l-1}^P}{p_{l-3}^P}$. Τα κριτήρια επιλογής εδώ συνοψίζονται

στην ανάγκη υιοθέτησης μιας απλής στρατηγικής με μειωμένο υπολογιστικό κόστος και όσο το δυνατό πιο δίκαιης. Η επιλογή μιας άλλης στρατηγικής δεν διαφοροποιεί ουσιαστικά τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθόδου, μιας και εδώ κυρίαρχο ρόλο διαδραματίζει η στρατηγική του παροχέα και όχι τόσο του πελάτη. Η δικαιοσύνη στην οποία αναφερθήκαμε συνοψίζεται στο ότι σχεδιάζεται μια παραλλαγή της σχετικά αποκρινόμενης στρατηγικής που δεν υπολογίζει το απόλυτο ποσοστό ανάμεσα στις διαδοχικές προσφορές, αλλά το ποσοστό λαμβάνοντας υπόψιν και τη διαφορά από το μέγιστο όριο τιμής του πελάτη (ποσοστό βάσει της απόστασης $p_M^C - p_{l-2}^C$). Η στρατηγική αυτή ονομάζεται Δίκαιη Σχετικά Αποκρινόμενη (Fair Relative Tip-for-Tat).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, απότερος στόχος είναι η σχεδίαση και υλοποίηση ενός μηχανισμού που θα βοηθά των πελάτη να παράγει την τελική του προσφορά προς τον παροχέα. Ο μηχανισμός αυτός χρησιμοποιείται προφανώς μόνο στην περίπτωση που δεν έχει επιτευχθεί συμφωνία μέχρι τον προ-τελευταίο γύρο (η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε πρότερους του τελευταίου γύρους αν για κάποιο λόγο ο πελάτης επιθυμεί να έχει μια αξιόπιστη εκτίμηση της επόμενης τιμής του αντιπάλου) του πελάτη ($L_C - 1$) και σκοπεύει να εκτιμήσει μια τιμή προσφοράς που βρίσκεται μεταξύ της επικαλυπτόμενης περιοχής τιμών που μπορεί να επιτευχθεί μια συμφωνία μεταξύ των δύο μερών, και βέβαια να γίνει τελικά αποδεκτή από τον παροχέα στον τελευταίο γύρο. Για το σκοπό αυτό, η στρατηγική του πελάτη πρέπει να εμπλουτιστεί με κάποιον έξυπνο μηχανισμό που παρατηρώντας μόνο τις προηγούμενες τιμές του παροχέα, να μπορεί να αποφασίσει και να προσεγγίσει την επόμενη και τελευταία, ώστε προτείνοντας κάτι παραπλήσιο να επιτυγχάνει την επιθυμητή συμφωνία. Όπως θα παρουσιαστεί εκτενώς και παρακάτω, οι μηχανισμοί που προτείνονται είναι δυο νευρωνικά δίκτυα, δυο πολυωνυμικοί προσεγγιστές και ένας γενετικός αλγόριθμος (βλ. παράρτημα κεφαλαίου), ενώ πραγματοποιείται και η απαραίτητη σύγκριση μεταξύ τους.

Αλλά τι πραγματικά συμβαίνει (με αυστηρούς όρους) σε αυτούς τους τελευταίους γύρους; Ο πελάτης διαπραγματεύεται βασιζόμενος σε μια στρατηγική εξαρτώμενη από συμπεριφορά μέχρι το γύρο $L_C - 1$. Είναι προφανές ότι αν το χρονικό περιθώριο που έχει τεθεί από τον παροχέα είναι μικρότερο και δεν έχει επιτευχθεί συμφωνία μέχρι τότε, η διαδικασία τελειώνει με ασυμφωνία, αφού δεν υπάρχει τρόπος ακόμα να ανιχνευθεί το

περιθώριο του παροχέα βάσει των προσφορών του. Επιστρέφοντας στην παρούσα προσέγγιση, ο πελάτης, για να αποφύγει μια πιθανή ασυμφωνία βλέποντας το χρονικό του περιθώριο να εξαντλείται, σχηματίζει μια εκτίμηση $\overline{p_{L_c}^P}$ της επόμενης (και τελευταίας) προσφοράς του παροχέα, με τη συνδρομή των μεθόδων που έχει εφοδιαστεί. Η τιμή αυτή παράγεται με τη βοήθεια αποκλειστικά και μόνο των προηγούμενων προσφορών του παροχέα, του ιστορικού του $P_l^P = \{p_l^P\}$ για $l = 2k$, $k = 0, \dots, \left\lfloor \frac{L_c}{2} \right\rfloor - 1$. Στην περίπτωση που $\overline{p_{L_c}^P} \leq p_M^C$, τότε αυτή είναι και η τιμή που στέλνεται στον παροχέα από τον πελάτη στον τελευταίο γύρο, δηλαδή $p_{L_c-1}^C = \overline{p_{L_c}^P}$. Διαφορετικά, αν $\overline{p_{L_c}^P} > p_M^C$, τότε η τιμή που στέλνεται είναι το μέγιστο του πελάτη, δηλαδή $p_{L_c-1}^C = \overline{p_{L_c}^P}$. Αν η μέθοδος επιτύχει και ο παροχέας αποδεχθεί την προσφορά ($\overline{p_{L_c}^P} \geq p_{L_c}^P$), το επιθυμητό αποτέλεσμα έχει επιτευχθεί και έχει εξασφαλιστεί η αποφυγή μιας πιθανής ασυμφωνίας. Τέλος, αν η εκτίμηση είναι μικρότερη από την προηγούμενη προσφορά του πελάτη, τότε η τελευταία προσφορά τίθεται ίση με την προτελευταία ($p_{L_c-1}^C = p_{L_c-3}^C$), με αυξημένες πιθανότητες να επιτευχθεί συμφωνία αφού η μέθοδος οδηγεί σε αυτήν την περιοχή. Η μέθοδος αυτή που ενσωματώνεται στον πράκτορα του πελάτη και τον βοηθά να επιτύχει τους στόχους του, ελαχιστοποιώντας τις πιθανότητες αποτυχημένων διαπραγματεύσεων, αποτελεί μια στρατηγική από μόνη της που καταγράφεται με τη μορφή των ακόλουθων εξισώσεων:

$$response_l^C(p_{l-1}^P) = \begin{cases} \text{accept } p_{l-1}^P, & \text{if } p_{l-1}^P \leq p_l^C \text{ and } l \leq L_c \\ \text{quit from negotiation,} & \text{if } l > L_c \\ \text{offer } p_l^C = \min(\max(\overline{p_{L_c}^P}, p_{L_c-3}^C, p_m^C), p_M^C), & \text{if } l = L_c - 1 \\ \text{offer } p_l^C = \min(\max(g(t_l), p_m^C), p_M^C), & \text{otherwise} \end{cases}$$

Η εφαρμογή της τεχνικής αυτής αποδεικνύεται (και θα παρουσιαστεί παρακάτω) ότι αυξάνει την πιθανότητα να επιτευχθεί συμφωνία και λειτουργεί ως δικλείδα ασφαλείας από την πλευρά του πελάτη για την αποφυγή και ελαχιστοποίηση των ανεπιτυχών διαδικασιών διαπραγμάτευσης. Στη συνέχεια θα περιγραφούν λεπτομερώς οι προσεγγιστές που χρησιμοποιούνται και συγκρίνονται, ενώ τέλος θα παρουσιαστούν και τα πειραματικά αποτελέσματα από ένα σύνολο ελέγχων που πραγματοποιήθηκαν για την αποτίμηση του καθενός από αυτούς, αλλά και της τεχνικής που παρουσιάζεται γενικότερα.

4.3 Προσεγγιστές

Στην ενότητα αυτή αναλύονται οι λόγοι που οδήγησαν στην επιλογή των συγκεκριμένων προσεγγιστών για την επίλυση του προβλήματος εκτίμησης της επόμενης τιμής προσφοράς του αντιπάλου. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι λόγοι για τους οποίους οι πολυωνυμικοί προσεγγιστές κρίνονται κατάλληλοι για το πρόβλημα που εξετάζεται, ενώ καθορίζονται επακριβώς τα χαρακτηριστικά των κυβικών splines και της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων που τελικά επιλέγονται. Η ενότητα αυτή κλείνει με την παρουσίαση της αρχιτεκτονικής των νευρωνικών δικτύων που χρησιμοποιούνται και την καταγραφή όλων των επιμέρους ιδιαιτέρων χαρακτηριστικών τους.

4.3.1 Πολυωνυμικοί Προσεγγιστές

Στο σημείο αυτό θα παρουσιαστούν συνοπτικά οι λόγοι που οδήγησαν στην επιλογή πολυωνυμικών προσεγγιστών προκειμένου να πραγματοποιηθεί η εκτίμηση της επόμενης τιμής προσφοράς του αντιπάλου. Επιπλέον, θα παρουσιαστούν συνοπτικά και οι δυο πολυωνυμικοί προσεγγιστές, ο τρόπος που λειτουργούν και θα δικαιολογηθεί η επάρκεια των αποτελεσμάτων τους.

Γενικότερα, υπάρχουν δυο βασικές κατηγορίες προσεγγιστών (approximators). Η πρώτη ενσωματώνει εκείνους που χρησιμοποιούνται για την προσέγγιση γνωστών συναρτήσεων οι οποίες όμως τυχαίνει να έχουν πολύ δύσκολους μαθηματικούς τύπους. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται συναρτήσεις με απλούστερους τύπους, που μπορούν να υπολογιστούν γρήγορα και με ανεκτή ακρίβεια προκειμένου να μπορούν να αντικαταστήσουν τις αρχικές σε απαιτητικά περιβάλλοντα (Schatzman 2002). Είναι προφανές ότι οι συναρτήσεις αυτές χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένες ιδιότητες, όπως για παράδειγμα η συνέχεια σε όλο το διάστημα του πεδίου τιμών, η ευκολία στον υπολογισμό τους, ακέραιες τιμές, κλπ. Παραδείγματα τέτοιων συναρτήσεων είναι οι τριγωνομετρικές, οι πολυωνυμικές, οι κλασματικές και τέλος οι εκθετικές (Chapra and Canale 2002). Η δεύτερη κατηγορία που προβλέπεται από τη θεωρία προσέγγισης, περιλαμβάνει όλες τις απαιτούμενες διαδικασίες και τη λογική εκείνη που είναι απαραίτητη προκειμένου από ένα σύνολο τιμών που έχουν εξαχθεί με κάποιο τρόπο και ανήκουν στην απόκριση μιας άγνωστης συνάρτησης να προσεγγιστεί όσο το δυνατό καλύτερα ο τύπος της συνάρτησης αυτής. Στις περιπτώσεις αυτές, τεχνικές όπως η θεωρία παρεμβολής, ανάλυση παλινδρόμησης και προσαρμογή καμπύλων, αποδεικνύονται εξαιρετικά χρήσιμες στην προσπάθεια για προσέγγιση πραγματικών συναρτήσεων με μεγάλη ακρίβεια (Chapra and Canale 2002). Προτού δικαιολογηθεί η επιλογή που έγινε στα πλαίσια της παρούσας διατριβής, πρέπει να τονιστεί

ότι τα πειραματικά δεδομένα που εξάγονται παρατηρώντας τις προσφορές του αντιπάλου οδηγούν στη δεύτερη κατηγορία, μιας και συλλέγονται τιμές σε διακριτά χρονικά διαστήματα και αυτό που απαιτείται είναι η προσέγγιση της συνάρτησης από την οποία προκύπτουν με στόχο να γίνει η πρόβλεψη της επόμενης τιμής με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια και ελαχιστοποιώντας τις πιθανότητες να οδηγηθεί η διαδικασία σε αποτυχία (Chapra and Canale 2002).

Είναι ευρέως γνωστό και αποδεκτό ότι τα πολυώνυμα είναι μακράν οι ευκολότερες συναρτήσεις στον υπολογισμό τους (Collins II 2003). Σε πραγματικά μάλιστα προβλήματα, τα πολυώνυμα δεν μπορούν να μοντελοποιήσουν το σύνολο των συναρτήσεων, αλλά μπορούν να προσεγγίσουν κάθε μοντέλο με μεγάλη μάλιστα ακρίβεια τις περισσότερες φορές. Έτσι, δεν αποτελεί υπερβολή ο ισχυρισμός ότι όλα τα μοντέλα μπορούν να προσεγγιστούν από ένα κατάλληλα ορισμένο πολυώνυμο. Για το σκοπό αυτό, στη διεθνή βιβλιογραφία αναγνωρίζονται τρεις βασικοί τρόποι για την προσέγγιση συλλεγμένων δεδομένων με τη βοήθεια πολυωνύμων: Παρεμβολή, Ελάχιστα Τετράγωνα και Splines (Chapra and Canale 2002).

Η πρώτη κλάση, αυτή των παρεμβολών, παρόλο που έχει μεγάλη θεωρητική σημασία, δεν προσφέρει πάντα την επιθυμητή ακρίβεια, ούτε και τα χαρακτηριστικά σύγκλισης που απαιτούνται στην παρούσα περίπτωση (Süli and Mayers 2003). Έτσι, η παρούσα έρευνα επικεντρώνεται στα ελάχιστα τετράγωνα και στα splines, τα οποία και παρουσιάζονται συνοπτικά στη συνέχεια για λόγους συνάφειας του κειμένου, δικαιολογώντας παράλληλα και τα χαρακτηριστικά τους εκείνα που οδηγούν στην τελική τους επιλογή. Σε όλη την ανάλυση που ακολουθεί, πρέπει να υπάρχει πάντοτε στο μυαλό του αναγνώστη ότι ο βασικός στόχος είναι η προσέγγιση μιας άγνωστης συνάρτησης, με χρήση μόνο ενός συνόλου τιμών της μορφής (x, y) , που αντιστοιχούν στις προσφορές που αποστέλλει ο αντίπαλος στα διακριτά χρονικά διαστήματα της διαπραγμάτευσης. Το x είναι ο γύρος διαπραγμάτευσης στον οποίο ο αντίπαλος στοιχειοθετεί και προτείνει μια τιμή προσφοράς y . Με τον τρόπο αυτό σχηματίζεται ένα ιστορικό τιμών που αποθηκεύεται από τον πράκτορα του πελάτη, που είναι και εκείνος που στο τέλος εφαρμόζει την απαραίτητη ευφυΐα για την πρόβλεψη της τιμής του αντιπάλου στον τελευταίο δικό του διαπραγματευτικό γύρο.

4.3.2 Κυβικά Splines

Τα Splines είναι μια ευρέως γνωστή και αποδεκτή μέθοδος που χρησιμοποιείται για προσέγγιση συναρτήσεων με την προσαρμογή μιας ομαλής και συνεχούς συνάρτησης σε διακριτά σημεία (τιμές) που εξάγονται τις περισσότερες φορές (όπως και στην παρούσα

περίπτωση) από τη διεξαγωγή πειραμάτων. Τα Splines αυτά, είναι μια από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους μιας και χαρακτηρίζονται από μεγάλη ακρίβεια και γι' αυτό το λόγο είναι ευρύτατα διαδεδομένα σε περιοχές όπως γραφικά υπολογιστών, επεξεργασία σήματος και εικόνας, κλπ. (Schatzman 2002).

Είναι εύλογο ότι στην πραγματικότητα μεγάλες συλλογές πειραματικών δεδομένων είναι πολύ δύσκολο να αναλυθούν και να επεξεργαστούν, ενώ ακόμα δυσκολότερο είναι από τα δεδομένα αυτά να εξαχθεί η αντικειμενική συνάρτηση από την οποία προέρχονται. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκαν τεχνικές όπως τα splines, όπου ένα σύνολο μοναδικών πολυωνύμων προσαρμόζεται μεταξύ των γνωστών τιμών που έχουν συλλεγεί και έτσι σχηματίζεται μια συνεχής καμπύλη πολλών τέτοιων πολυωνύμων για τον προσδιορισμό των ενδιάμεσων άγνωστων τιμών και την εξαγωγή με τον τρόπο αυτό μιας φόρμουλας.

Από τα διαθέσιμα splines και προτού παρουσιαστεί η τεχνική τους, αυτό που έχει χαρακτηριστεί ως χρησιμότερο και έχει χρησιμοποιηθεί και ευρύτερα είναι το κυβικό spline, ή αλλιώς το spline τρίτου βαθμού. Ο λόγος που συνέβη αυτό είναι εξαιτίας της συνέχειας της παραγώγου μέχρι και δευτέρου βαθμού, αλλά και της μοναδικότητας των πολυωνύμων 3^{ου} βαθμού που πραγματοποιούν την προσέγγιση. Τα πολυώνυμα 3^{ου} βαθμού είναι εκείνα με το μικρότερο βαθμό που διασφαλίζουν τα δυο χαρακτηριστικά που προαναφέρθηκαν, ενώ ταυτόχρονα προσφέρουν και οικονομικούς υπολογισμούς, εξαιτίας του μικρού τους βαθμού, χωρίς να υποφέρουν από την αστάθεια που παρουσιάζουν άλλα ελαφρώς μεγαλύτερα (Chapra and Canale 2002).

Επιστρέφοντας στα λειτουργικά χαρακτηριστικά των splines, πρόκειται για μια συνάρτηση με συνέχεια που αποτελείται από μοναδικά πολυώνυμα 3^{ου} βαθμού που ενώνουν τα σημεία που επιθυμείται η προσέγγισή τους με το ελάχιστο δυνατό σφάλμα που μπορεί να επιτευχθεί. Στην πράξη η διαδικασία που ακολουθείται για το σχηματισμό των επιμέρους πολυωνύμων και εν τέλει της συνάρτησης που δημιουργείται είναι η εξής:

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε $n + 1$ διακριτά σημεία (x_k, y_k) , όπου $k = 0, \dots, n$, και $y_k = f(x_k)$, ενώ και $x_0 < x_1 < \dots < x_n$. Η συνάρτηση $y = S(x)$ καλείται κυβικό spline και διαθέτει n κυβικά πολυώνυμα έτσι ώστε:

$$1. S(x) = S_k(x) = a_k + b_k(x - x_k) + c_k(x - x_k)^2 + d_k(x - x_k)^3,$$

$$x \in [x_k, x_{k+1}] \quad k = 0, \dots, n - 1$$

$$2. S(x_k) = y_k, \quad k = 0, \dots, n$$

$$3. S \in C^{(2)}[x_0, x_n], \text{ δηλαδή για } k = 0, \dots, n - 2 \text{ έχουμε:}$$

$$S_k(x_{k+1}) = S_{k+1}(x_{k+1}) \text{ (συνέχεια)}$$

$$S'_k(x_{k+1}) = S'_{k+1}(x_{k+1}) \text{ (συνέχεια πρώτης παραγώγου)}$$

$$S_k''(x_{k+1}) = S_{k+1}''(x_{k+1}) \text{ (συνέχεια δεύτερης παραγώγου)}$$

Η εξίσωση $S_k(x_{k+1}) = S_{k+1}(x_{k+1})$, διασφαλίζει τη συνέχεια της συνάρτησης S , η οποία ικανοποιείται από το γεγονός ότι $S_k(x_{k+1}) = S_{k+1}(x_{k+1}) = f(x_{k+1}) = y_k$. Επομένως, η συνάρτηση του κυβικού spline είναι μια ομαλή συνάρτηση με γνωστή καμπυλότητα. Έχοντας περιγράψει τις βασικές παραμέτρους και τους βασικούς περιορισμούς που πρέπει να ικανοποιούνται, αυτό που απομένει είναι ο υπολογισμός των επιμέρους αγνώστων μεταβλητών a_k, b_k, c_k, d_k . Ας υποθέσουμε ότι οι άγνωστοι που υπάρχουν είναι οι τιμές $S''(x_k)$. Θέτουμε τώρα $\sigma_k = S'(x_k)$, $h_k = x_{k+1} - x_k$, και $\Delta_k = [x_k, x_{k+1}]f$. Εξαιτίας του ότι η S είναι τμηματικά κυβική συνάρτηση, είναι προφανές ότι η S'' είναι τμηματικά γραμμική. Επομένως, στο διάστημα $[x_k, x_{k+1}]$, η συνάρτηση S'' , συνδέει τα σημεία $(x_k, S''(x_k))$ και $(x_{k+1}, S''(x_{k+1}))$. Τώρα ορίζοντας μια γραμμή μεταξύ των δυο αυτών σημείων οδηγούμαστε στην ακόλουθη εξίσωση:

$$S_k''(x) = \sigma_k \frac{x_{k+1} - x}{h_k} + \sigma_{k+1} \frac{x - x_k}{h_k}, x \in [x_k, x_{k+1}]$$

Αν ολοκληρωθεί η παραπάνω δυο φορές προκύπτει:

$$S_k(x) = \frac{\sigma_k}{6h_k}(x_{k+1} - x)^3 + \frac{\sigma_{k+1}}{6h_k}(x - x_k)^3 + u_k(x_{k+1} - x) + v_k(x - x_k),$$

όπου u_k και v_k είναι οι παράγοντες ολοκλήρωσης που μπορούν να υπολογιστούν θέτοντας κατά σειρά $x = x_k$ και $x = x_{k+1}$, μια κίνηση που οδηγεί στις ακόλουθες εξισώσεις:

$$\begin{cases} S_k(x_k) = y_k = \frac{1}{6}\sigma_k h_k^2 + u_k h_k \\ S_{k+1}(x_{k+1}) = y_{k+1} = \frac{1}{6}\sigma_{k+1} h_k^2 + v_k h_k \end{cases}$$

Έχοντας υπολογίσει λοιπόν τους παράγοντες αυτούς μπορούμε να τους αντικαταστήσουμε στην παραπάνω εξίσωση και να έχουμε για το S_k :

$$S_k(x) = \frac{\sigma_k}{6h_k}(x_{k+1} - x)^3 + \frac{\sigma_{k+1}}{6h_k}(x - x_k)^3 + \left(\frac{y_k}{h_k} - \frac{\sigma_k h_k}{6}\right)(x_{k+1} - x) + \left(\frac{y_{k+1}}{h_k} - \frac{\sigma_{k+1} h_k}{6}\right)(x - x_k)$$

Υπολογίζοντας τώρα την πρώτη παράγωγο και θέτοντας $x = x_k$, προκύπτει:

$$S_k'(x_k) = -\frac{\sigma_k}{3}h_k - \frac{\sigma_{k+1}}{3}h_k + \Delta_k$$

Όμοια, εκφράζοντας την εξίσωση για το S_{k-1}' , θέτοντας $x = x_k$ και $k-1$ αντί του k προκύπτει:

$$S'_{k-1}(x_k) = \frac{\sigma_k}{3} h_{k-1} + \frac{\sigma_{k-1}}{3} h_{k-1} + \Delta_{k-1}$$

Εφαρμόζοντας τώρα της απαίτηση $S'_k(x_k) = S'_{k-1}(x_k)$ και τις προηγούμενα υπολογισθείσες σχέσεις έχουμε:

$$\sigma_{k-1} h_{k-1} + 2(h_{k-1} + h_k) \sigma_k + \sigma_{k+1} h_k = 6(\Delta_k - \Delta_{k-1}), k = 1, \dots, n-1.$$

Για λόγους απλότητας μάλιστα μπορεί να τεθεί η παράμετρος $\mu_k = \frac{\sigma_k}{6}, k = 1, \dots, n-1$, και τέλος να πάρουμε το σύνολο των $n-1$ γραμμικών εξισώσεων με $n+1$ αγνώστους:

$$h_{k-1} \mu_{k-1} + 2(h_{k-1} + h_{k+1}) \mu_k + h_k \mu_{k+1} = \Delta_k - \Delta_{k-1}, k = 1, \dots, n-1$$

Το παραπάνω τρι-διαγώνιο σύστημα εξισώσεων μπορεί να επιλυθεί σε χρόνο $O(n)$, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Gauss. Με τον τρόπο αυτό, μπορούν να υπολογισθούν τα απαραίτητα πολυώνυμα και να δημιουργηθεί το συνεχές σύνολο των κυβικών splines. Σε αντίθεση με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων που θα περιγραφεί στη συνέχεια, τα splines δεν δημιουργούν ένα μοναδικό πολυώνυμο για το σύνολο των σημείων, αλλά ένα σύνολο (κυβικών) πολυωνύμων που σχηματίζονται με στόχο να προσεγγίσουν αποδοτικά όλο το σύνολο των σημείων, ένα προς ένα. Στην περίπτωση της παρούσας διατριβής ωστόσο, η συνάρτηση του spline πρέπει να επεκταθεί (extrapolate) προκειμένου να επιτευχθεί η πρόβλεψη της επόμενης τιμής του αντιπάλου. Έτσι, η ποιότητα της επέκτασης αυτής είναι ένα θέμα εδώ, αλλά μιας και τα σημεία είναι αρκετά πυκνά και τα splines αρκετά ομαλά κυβικά πολυώνυμα, αυτό που αναμένεται είναι μια επέκταση μικρού σφάλματος (Jawerth and Milman 1991).

4.3.3 Πολυωνυμικός Προσεγγιστής Ελαχίστων Τετραγώνων

Ο Προσεγγιστής Ελαχίστων Τετραγώνων (Least Square Approximator) είναι μια μέθοδος ευρύτατα χρησιμοποιούμενη για την εύρεση ή την προσέγγιση των αριθμητικών τιμών των παραμέτρων που απαιτούνται για την προσαρμογή μιας συνάρτησης σε ένα σύνολο διακριτών σημείων και για το χαρακτηρισμό των στατιστικών δεδομένων που μπορούν να εξαχθούν από αυτά (Abdi 2003). Αυτά τα δεδομένα σχηματίζονται και πάλι ως σημεία της μορφής (x, y) . Αυστηρά, η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων και ο τρόπος υπολογισμού του πολυωνύμου που τελικά θα εξαχθεί έχει ως εξής:

Ας υποθεθεί ότι υπάρχει διαθέσιμο ένα σύνολο $\{(x_i, y_i)\}, i = 0, \dots, n$, και ένας ακέραιος $m < n$, ενώ και $k = 0, \dots, m$. Επίσης, ας υποθεθεί ότι η συνάρτηση που παρήγαγε

τα παραπάνω ζεύγη αριθμών (σημεία) επιθυμείται να προσεγγιστεί με ένα πολυώνυμο με βαθμό ακριβώς m , δηλαδή με ένα πολυώνυμο της μορφής: $p_m(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m$, με ακριβώς $m + 1$ όρους. Η μέθοδος LS αναλώνεται στην ελαχιστοποίηση του τετραγωνικού σφάλματος για τον υπολογισμό των συντελεστών του πολυωνύμου. Είναι δηλαδή:

$\min\{E\}$, όπου,

$$\begin{aligned} E &= \sum_{i=0}^n [p_m(x) - y_i]^2 = \sum_{i=0}^n y_i^2 - 2 \sum_{i=0}^n p_m(x_i) y_i + \sum_{i=0}^n (p_m(x_i))^2 = \\ &= \sum_{i=0}^n y_i^2 - 2 \sum_{i=0}^n \left(\sum_{j=0}^m a_j x_i^j \right) y_i + \sum_{i=0}^n \left(\sum_{j=0}^m a_j x_i^j \right)^2 = \\ &= \sum_{i=0}^n y_i^2 - 2 \sum_{j=0}^m a_j \left(\sum_{i=0}^n y_i x_i^j \right) + \sum_{j=0}^m \sum_{k=0}^m a_j a_k \left(\sum_{i=0}^n x_i^{j+k} \right)^2 \end{aligned}$$

Για την ελαχιστοποίηση που πρέπει να πραγματοποιηθεί θα χρησιμοποιηθεί το γνωστό κριτήριο της πρώτης παραγώγου:

$\frac{\partial E}{\partial a_j} = 0$, για $j = 0, \dots, m$, και χρησιμοποιώντας την παραπάνω σχέση έχουμε:

$$\frac{\partial E}{\partial a_j} = -2 \sum_{i=0}^n y_i x_i^j + 2 \sum_{k=0}^m a_k \sum_{i=0}^n x_i^{j+k} = 0, j = 0, \dots, m, \text{ από όπου μπορούμε να εξάγουμε τις}$$

ακόλουθες εξισώσεις που πρέπει να επιλυθούν για την εύρεση όλων των συντελεστών a , που είναι οι συντελεστές του πολυωνύμου. Έτσι, καταλήγουμε στο ακόλουθο σύστημα $(m + 1) \times (m + 1)$ εξισώσεων:

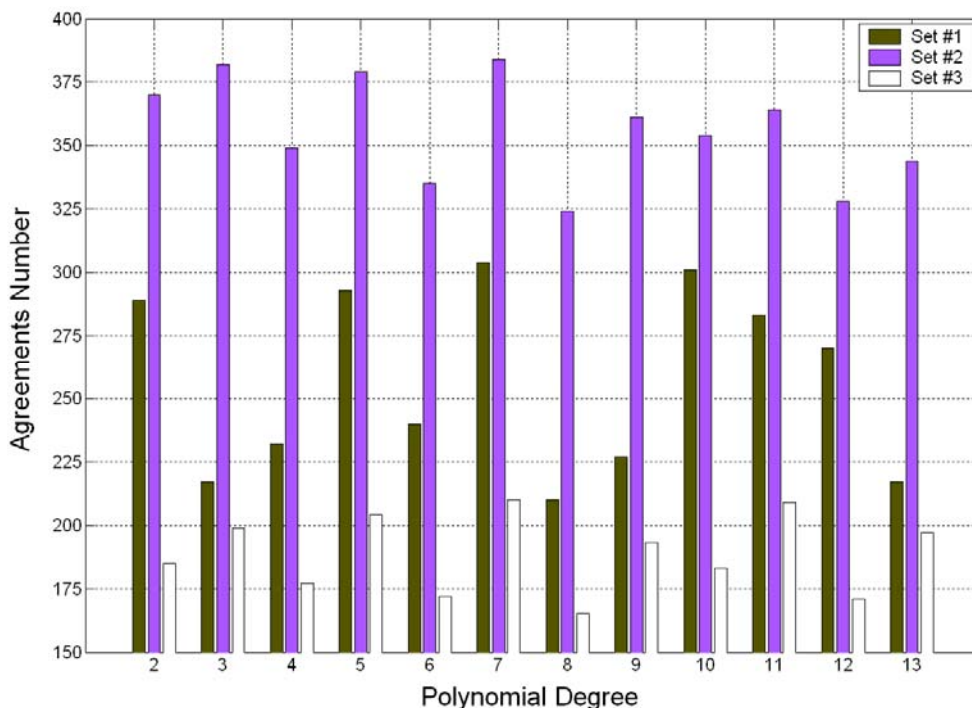
$$\sum_{k=0}^m a_k \sum_{i=0}^n x_i^{j+k} = \sum_{i=0}^n y_i x_i^j, j = 0, \dots, m$$

ή με μορφή πινάκων, $Ax = M_{xy}$. Το σύστημα αυτό επιλύεται με τη βοήθεια της μεθόδου Gauss και η πολυπλοκότητά του είναι $O((m + 1)^3)$. Εκτός από το γεγονός ότι το αποτέλεσμα είναι μια μοναδική λύση, η πολυπλοκότητά του είναι ανεκτή ακόμα και για πολυώνυμα σχετικά μεγάλου βαθμού.

Αναφορικά λοιπόν τώρα με το πολυώνυμο που πρέπει να χρησιμοποιηθεί, είναι γνωστό ότι είναι προτιμότερο να έχουμε μικρότερου βαθμού πολυώνυμο με στόχο να αποφεύγονται τα φαινόμενα ταλάντωσης όταν επιχειρείται η προσαρμογή στα δεδομένα (Milovanovic et.al. 1994), ειδικά όταν τα πειραματικά δεδομένα δεν ακολουθούν μορφή παρόμοια με πολυωνυμική. Από την άλλη, ένα πολύ μικρό πολυώνυμο μπορεί να μην είναι αρκετό για την προσέγγιση των σύνθετων συναρτήσεων που ακολουθούν οι στρατηγικές των

αντιπάλων, οι οποίες είναι και αυτές που καλούνται τμηματικά να προσεγγιστούν. Αυτό λοιπόν που μένει να καθοριστεί είναι ο βαθμός του πολυωνύμου που θα χρησιμοποιηθεί από τον πράκτορα του πελάτη προκειμένου να ελεγχθεί η δυνατότητα της μεθόδου να προσεγγίσει αποδοτικά την επόμενη τιμή προσφοράς του αντιπάλου παροχέα. Αυτή η παράμετρος δεν μπορεί να οριστεί θεωρητικά, μιας και ο αντίπαλος μπορεί να χρησιμοποιεί ένα σύνολο στρατηγικών που δεν είναι γνωστές στον πελάτη, γι' αυτό και καταφεύγουμε σε ένα σύνολο πειραμάτων για την εξαγωγή του καταλληλότερου βαθμού.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ο αριθμός των συμφωνιών που επιτυγχάνεται αν χρησιμοποιηθούν πολυώνυμα διάφορων βαθμών για την εφαρμογή της μεθόδου LS στον υπολογισμό της επόμενης (τελευταίας) τιμής προσφοράς του αντιπάλου. Η τιμή αυτή είναι που καθορίζει αν θα επιτευχθεί συμφωνία ή όχι και παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα για τρεις κατηγορίες πειραμάτων, σε αντιστοιχία με αυτές που θα παρουσιαστούν στην ενότητα των πειραματικών αποτελεσμάτων, με αρκετά μικρότερο αριθμό δειγμάτων ελέγχου για προφανείς λόγους. Το σχήμα παρουσιάζεται εδώ για λόγους σαφήνειας και πληρότητας του κειμένου, ενώ οι λεπτομέρειες σχετικά με τις τρεις διαφορετικές κατηγορίες πειραμάτων αφήνονται για αργότερα. Το αποτέλεσμα που μπορεί να παρατηρηθεί είναι ότι το πολυώνυμο 7^{ου} βαθμού είναι το καταλληλότερο μιας και οδηγεί στο μεγαλύτερο αριθμό συμφωνιών. Έτσι, αυτό είναι και το τελικό πολυώνυμο που επιλέγεται.



Σχήμα 4–1. Αριθμός Συμφωνιών που επιτυγχάνονται για πολυώνυμα διαφορετικών βαθμών στη χρήση της μεθόδου LS και για τρεις κατηγορίες πειραμάτων

Στον παρακάτω πίνακα, τα αποτελέσματα που προέκυψαν με ευριστικό τρόπο από την εφαρμογή των πολυωνύμων διαφορετικών βαθμών στις τρεις οικογένειες πειραμάτων, δικαιολογούνται και με τη βοήθεια στατιστικής ανάλυσης. Το συμπέρασμα στο οποίο καταλήγει κανείς είναι ότι το πολυώνυμο 7^{ου} βαθμού επιτυγχάνει το μικρότερο σφάλμα και συνακολούθως το μεγαλύτερο ποσοστό επιτυχίας.

Πίνακας 4-1. Συγκριτικά αποτελέσματα για την πρόβλεψη της τελευταίας τιμής προσφοράς του αντιπάλου από πολυώνυμα διαφορετικών βαθμών για τρεις οικογένειες πειραμάτων, σε όρους σφάλματος και ποσοστού επιτυχίας

Πειραματικά Δεδομένα	$p_{\max}^C \in [0,100]$	$p_{\max}^C = 100$	$p_{\max}^C \in [0,100]$	Συνολικά Αποτελέσματα	
	$L_P \in [100,200]$ $\beta = 1$	$L_P \in [100,200]$ $\beta \in [0.1,10]$	$L_P = 200$ $\beta \in [0.1,10]$		
Βαθμός Πολυωνύμου	Σφάλμα Εκτίμησης Προσφοράς (%)	Σφάλμα Εκτίμησης Προσφοράς (%)	Σφάλμα Εκτίμησης Προσφοράς (%)	Σφάλμα Εκτίμησης Προσφοράς (%)	Ποσοστά Επιτυχίας (%)
2	2.21	1.08	4.07	24.45	90.81
3	2.23	1.12	4.17	24.97	85.56
4	2.27	1.15	4.11	25.02	81.05
5	2.21	1.04	3.81	23.48	93.82
6	2.22	1.19	4.23	25.36	79.87
7	2.21	1.01	3.76	23.23	96.73
8	2.27	1.28	4.29	26.02	74.83
9	2.25	1.13	4.11	24.88	84.06
10	2.22	1.11	3.98	24.29	89.52
11	2.21	1.08	3.74	23.39	91.68
12	2.21	1.17	3.74	23.68	82.66
13	2.23	1.18	3.79	23.94	81.58

Τα πολυώνυμα που εξετάστηκαν επιλέχθηκαν να έχουν βαθμό μέχρι 13, καθώς για μεγαλύτερους βαθμούς τα φαινόμενα ταλάντωσης που προαναφέρθηκαν άρχιζαν να γίνονται εντονότερα.

4.3.4 Αρχιτεκτονική Νευρωνικών Δικτύων

Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούν κεντρικό κομμάτι σε αυτή τη διατριβή για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς του αντιπάλου πράκτορα στις διαδικασίες αυτοματοποιημένων

διαπραγματεύσεων. Η παρούσα διατριβή τα χρησιμοποιεί για περισσότερους από έναν λόγους, γι' αυτό και οι βασικές αρχές της αρχιτεκτονικής των δικτύων που χρησιμοποιήθηκαν περιγράφηκαν ξεχωριστά και εκτενώς. Στην ενότητα αυτή, θα περιγραφούν τα διακριτά αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά που υιοθετήθηκαν προκειμένου να χρησιμοποιηθούν τα δίκτυα αυτά από τον πράκτορα του πελάτη για τον προσδιορισμό της επόμενης και τελευταίας τιμής προσφοράς του αντιπάλου-παροχέα. Έχει ήδη προαναφερθεί ότι χρησιμοποιούνται δυο βασικές αρχιτεκτονικές, τα MLP και τα RBF δίκτυα, καθένα από τα οποία σχεδιάστηκε ξεχωριστά και θα περιγραφεί σε επίπεδο νευρώνων, παραμέτρων, εκπαίδευσης και γενίκευσης επίσης ξεχωριστά.

Όπως έχει ήδη τονιστεί, στα νευρωνικά δίκτυα, το σημαντικότερο ίσως χαρακτηριστικό της αρχιτεκτονικής τους σχεδίασης είναι ο αριθμός των κρυφών επιπέδων και των νευρώνων που θα έχουν αυτά. Έτσι, όταν ένα νευρωνικό δίκτυο χρησιμοποιείται για την επίλυση ενός προβλήματος, είναι εξαιρετικά σημαντικό να βελτιστοποιείται η αρχιτεκτονική του δικτύου για να αποκρίνεται και να γενικεύει σωστά σε όλο το φάσμα του εκάστοτε προβλήματος. Οι περισσότεροι ερευνητές πιστεύουν ότι η ποιότητα μιας λύσης με τη βοήθεια νευρωνικών δικτύων επηρεάζεται άμεσα από το μέγεθός του. Δυστυχώς, σε πολλές περιπτώσεις τα δίκτυα που μπορούν να παράγουν καλές εκτιμήσεις για μεγάλα και δύσκολα προβλήματα είναι σχετικά μεγάλα, με αποτέλεσμα να απαιτούν μεγάλο αριθμό από πόρους αποθήκευσης και επεξεργασίας. Και μάλιστα αυτό είναι εξίσου σημαντικό και για την εκπαίδευση αλλά και για τη γενίκευση του δικτύου (Duin 2000). Επιπλέον, στην περίπτωση που το δίκτυο που χρησιμοποιείται είναι μεγάλο, είναι δυνατό να ανακύψουν προβλήματα γενίκευσης και υπερεκπαίδευσης, ενώ όταν το δίκτυο είναι μικρό ενδέχεται οι δυνατότητες που έχει για μάθηση και γενίκευση να είναι περιορισμένες (Wang et.al. 2005).

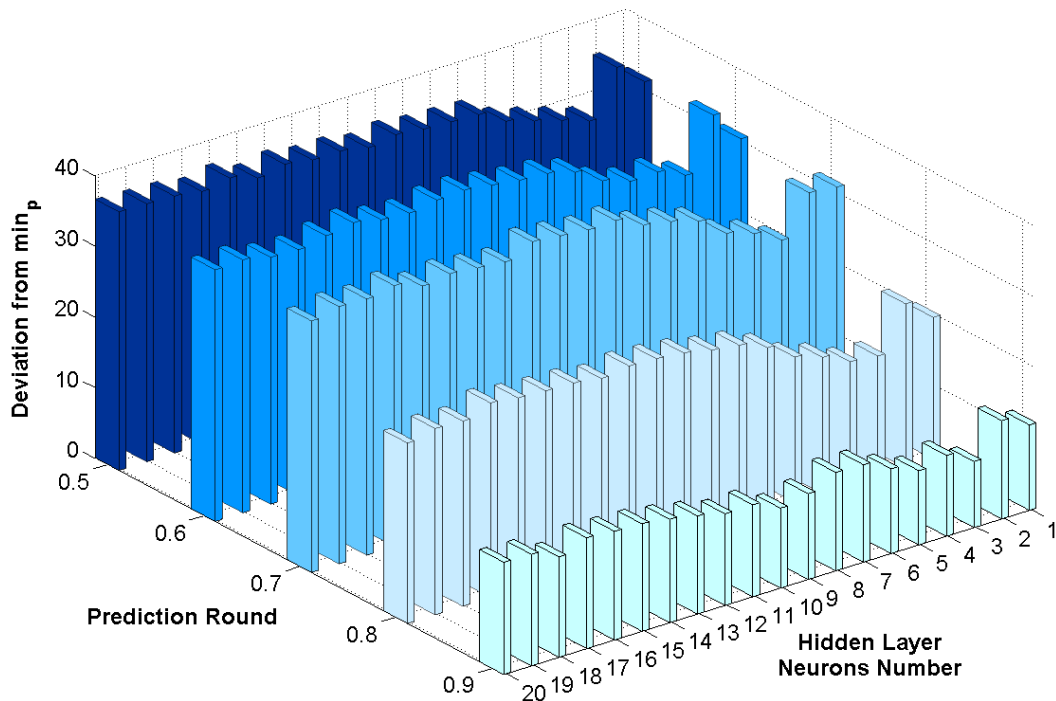
Στην περίπτωση που εξετάζεται στο κεφάλαιο αυτό, το επίπεδο εισόδου των νευρωνικών δικτύων καθορίζεται από τον αριθμό των παρελθόντων προσφορών που θα χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της μελλοντικής τιμής. Ο νευρώνας εξόδου από την άλλη θα είναι ένας, αφού είναι προφανές ότι θα δίνει την τιμή που απαιτείται, δηλαδή την εκτίμηση για την επόμενη τιμή προσφοράς (τελευταία) του αντιπάλου. Οι παράμετροι που απομένουν να καθοριστούν είναι πλέον η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί για την εκπαίδευση του δικτύου, ο αριθμός των κρυφών επιπέδων και αυτός των νευρώνων του κάθε κρυφού επιπέδου. Η απόφαση για καθένα από τα παραπάνω, πρέπει απαραίτητα να λαμβάνει υπόψη τις περιορισμένες δυνατότητες των κινητών πρακτόρων που θα αναλάβουν να υλοποιούν και να διαχειρίζονται το δίκτυο, λαμβάνοντας τις αποκρίσεις του προς όφελος των εντολών τους.

Για το πολυεπίπεδο perceptron (MLP), ο αλγόριθμος μάθησης που χρησιμοποιείται βασίζεται στη μέθοδο Levenberg-Marquardt (LM) (Levenberg 1944)(Marquardt

1963)(Hagan and Menhaj 1994)(Hagan et.al. 1996)(Gill et.al. 1981), η οποία είναι μια προχωρημένη μη-γραμμική μέθοδος βελτιστοποίησης ικανή να εκπαιδεύσει τα βάρη των δικτύων όπου εφαρμόζεται η τεχνική της πίσω διάδοσης για την ενημέρωσή τους. Ο αλγόριθμος αυτός είναι καταλληλότερος για την παρούσα περίπτωση από ένα σύνολο άλλων αλγορίθμων εκπαίδευσης, όπως για παράδειγμα οι BFGS Quasi-Newton (Gill et.al. 1981), Resilient Backpropagation (Riedmiller and Braun 1993), Scaled Conjugate Gradient (Moller 1993), Variable Stepsize Backpropagation (Magoulas et.al. 1997), όπως περιγράφεται και δικαιολογείται για μια πληθώρα προβλημάτων και πειραμάτων σε παρόμοια προβλήματα (Demuth et.al. 2006). Αναφορικά τώρα με τον αριθμό των νευρώνων για το MLP, οι Hornik και Stinchcombe (Hornik and Stinchcombe 1992) απέδειξαν ότι ένα δίκτυο εμπρός τροφοδότησης με ένα κρυφό επίπεδο νευρώνων με λογιστική συνάρτηση απόκρισης (βλ. ενότητα 2.4.2) αποδεικνύεται ως ικανό να προσεγγίσει κάθε συνεχή συνάρτηση με τυχαία ακρίβεια, κάτι που ισχύει στην παρούσα περίπτωση. Στην πράξη τα αποτελέσματα με δίκτυα δύο ή περισσότερων επιπέδων μπορεί να είναι καλύτερα, ωστόσο στην παρούσα περίπτωση οι κινητοί πράκτορες και το μικρό χρονικό διάστημα που έχουν στη διάθεσή τους για να διαπραγματευτούν, καθιστούν το MLP με ένα κρυφό επίπεδο την καταλληλότερη επιλογή. Ένα τέτοιο δίκτυο απαιτεί πολύ μικρότερη μνήμη αποθήκευσης, ενώ ο χρόνος που απαιτείται για την εκπαίδευσή του και την εξομοίωση με πραγματικές τιμές είναι πολύ μικρότερος ακόμη και σε σύγκριση με ένα δίκτυο με δυο κρυφά επίπεδα. Αναφορικά τώρα με τις συναρτήσεις ενεργοποίησης των νευρώνων, οι νευρώνες κρυφού επιπέδου χρησιμοποιούν τη λογιστική συνάρτηση, ενώ ο νευρώνας εξόδου είναι γραμμικός. Οι συναρτήσεις αυτές επιλέχθηκαν εξαιτίας του γεγονότος ότι λειτουργούν καλά όταν οι υπό προσέγγιση σειρές αριθμών αντιστοιχούν σε συνεχείς συναρτήσεις και παράλληλα απαιτείται ταχεία εκπαίδευση (Hornik and Stinchcombe 1992). Επιπλέον, για να είναι ο αλγόριθμος LM βέλτιστα αποδοτικός στην εκπαίδευσή του απαιτείται το δίκτυο να είναι μικρό και μονής εξόδου. Πιο συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος απαιτεί πόρους συντήρησης ανάλογο του τετραγώνου του αριθμού των συνάψεων που συνδέουν τους νευρώνες, γεγονός που από μόνο του καθιστά απαγορευτική την εφαρμογή του σε δίκτυα με περισσότερα από μερικές εκατοντάδες συναπτικά βάρη (Bates and Watts 1988).

Αυτό που μένει να αποφασιστεί για να ολοκληρωθεί η αρχιτεκτονική του νευρωνικού δικτύου MLP που θα χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της επόμενης τιμής του αντιπάλου είναι ο αριθμός των νευρώνων του κρυφού επιπέδου. Για το σκοπό αυτό διενεργήθηκαν κάποια πειράματα που στόχο είχαν να μετρήσουν την απόκλιση της εκτίμησης του δικτύου από την πραγματική προσφορά του αντιπάλου μετά από την κατάλληλη εκπαίδευση. Έτσι, δοκιμάστηκαν διαφορετικοί αριθμοί νευρώνων για το εύρος 1 έως 20, μεταβάλλοντας το ρυθμό σύγκλισης της στρατηγικής του αντιπάλου προκειμένου να καλυφθεί όλο το εύρος των

περιπτώσεων. Πρόκειται για την παράμετρο β και για πολυωνυμική στρατηγική (όπως περιγράφηκε παραπάνω) του παροχέα και τιμές στο σύνολο 0.5:0.1:1 και 2:1:10. Η τελική τιμή επιχειρήθηκε να προβλεφθεί στο 50% έως 90% του χρονικού περιθωρίου του πελάτη, όσο και αν μια τέτοια πρόβλεψη δεν μπορεί να θεωρηθεί επαρκής. Προκύπτει λοιπόν από τις μετρήσεις αυτές, ότι το δίκτυο με τους 3 νευρώνες κρυφού επιπέδου έχει τη μικρότερη απόκλιση από την πραγματική προσφορά του αντιπάλου (Σχήμα 4-2).



Σχήμα 4–2. Απόκλιση της εκτίμησης του νευρωνικού δικτύου από την τιμή p_{\min}^P σαν συνάρτηση του αριθμού νευρώνων κρυφού επιπέδου για διάφορες χρονικές στιγμές πρόβλεψης

Στην πράξη, αυτό που μπορεί να παρατηρήσει κανείς είναι ότι όσο μειώνεται ο γύρος που πραγματοποιείται η πρόβλεψη τόσο χειρότερο είναι το αποτέλεσμα. Αυτό είναι προφανές μιας και το δίκτυο δεν έχει στη διάθεσή του έναν ικανό αριθμό γειτονικών τιμών με την τελική προσφορά του παροχέα (που βρίσκεται πιο κοντά στο 0.9), προκειμένου να παράσχει μια αξιόπιστη πρόβλεψη. Επίσης, όσο μεγαλώνει ο αριθμός των νευρώνων κρυφού επιπέδου, τόσο χειροτερεύουν τα αποτελέσματα, γεγονός που μαρτυρά ότι το δίκτυο υπερ-γενικεύει και πιθανά εγκλωβίζεται σε τοπικά διαστήματα ελαχίστων στην εκπαίδευση. Μάλιστα, για αριθμούς νευρώνων από το 8 μέχρι και το 20, η συμπεριφορά όλων των δικτύων κρίνεται παρόμοια και με υψηλή απόκλιση. Στους 3 νευρώνες και για κάθε τιμή του γύρου πρόβλεψης τα αποτελέσματα είναι τα καλύτερα δυνατά. Να τονιστεί κλείνοντας ότι τα παραπάνω πειράματα διενεργήθηκαν για 9 νευρώνες εισόδου, κάτι που σημαίνει ότι το εκάστοτε δίκτυο

αποκρίνεται για την τιμή του αντιπάλου στον τελευταίο γύρο λαμβάνοντας υπόψιν του τα τις τελευταίες 9 προσφορές που του έχουν γίνει από αυτόν.

Πέρα από την αρχιτεκτονική του δικτύου MLP, που βασίστηκε στα πειραματικά αποτελέσματα που περιγράφηκαν, αυτά που μένει να καθοριστούν είναι και τα δίκτυα τύπου RBF. Όπως έχει ήδη τονιστεί, τα δίκτυα αυτά τείνουν να είναι αρκετά μεγαλύτερα από τα πρώτα για το ίδιο πρόβλημα. Στην περίπτωση αυτή το MLP απαιτεί 3 νευρώνες κρυφού επιπέδου όπως τονίστηκε μόλις. Έτσι, είναι επόμενο ότι και το RBF πρέπει να κρατήσει το μοναδικό του κρυφό επίπεδο σε αντίστοιχα χαμηλά επίπεδα έτσι ώστε τα δυο δίκτυα να είναι ευθέως συγκρίσιμα σε μέγεθος, απαιτήσεις και χρόνο απόκρισης. Για το σκοπό αυτό, και εξαιτίας της ιδιαίτερης φύσης των νευρώνων RBF, απαιτήθηκε η εφαρμογή κάποιων ελαφρών παραχωρήσεων απόδοσης και ακρίβειας για τους νευρώνες αυτούς, που όμως αποδείχθηκε ότι ελάχιστα επηρέασαν την τελική απόδοση και συμπεριφορά του δικτύου, σε σύγκριση με ότι ήταν θεωρητικά αναμενόμενο.

Η πρώτη απόφαση που έπρεπε να ληφθεί σχετίστηκε με το μήκος του αριθμού των προσφορών που αποτελούσαν τις εισόδους του δικτύου. Πόσες δηλαδή προσφορές του αντιπάλου απαιτούνται για την αξιόπιστη εκτίμηση της τελευταίας προσφοράς του αντιπάλου. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν τελικά οι 9 τελευταίες προσφορές, μιας και αυτές βρίσκονταν στη «γειτονιά» της προσφοράς που καλείται το δίκτυο να εκτιμήσει, σε άμεση ταύτιση με τις αντίστοιχες 9 εισόδους του MLP, όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα. Ο αριθμός αυτός προέκυψε και στις δυο περιπτώσεις από εκτεταμένα πειράματα που διενεργήθηκαν για το σκοπό αυτό. Μάλιστα, κρίθηκε αντιπροσωπευτική η επιλογή αυτή, μιας και δεν περιορίζεται σε πολύ κοντινά προς την παρούσα προσφορά δείγματα, ενώ ταυτόχρονα δε λαμβάνει υπόψιν πολύ παρωχημένες προσφορές που υπήρξαν στο παρελθόν αλλά δεν σχετίζονται πλέον με τις παρούσες.

Με βάση τις εισόδους που απαιτούνται και το θεωρητικό υπόβαθρο για τα δίκτυα RBF, συμπεραίνουμε ότι απαιτούνται 9 νευρώνες τύπου RBF για την επίτευξη μηδενικού σφάλματος στην απόκριση για την επόμενη προσφορά. Πρόκειται για το γνωστό αριθμό των RBF κέντρων, όπως αναφέρεται και στην ενότητα των νευρωνικών δικτύων, μια παράμετρος που αν είναι μικρή οδηγεί σε μικρή κάλυψη της περιοχής ενδιαφέροντος, ενώ αν είναι μεγάλη οδηγεί σε μεγάλα δίκτυα, κάτι που είναι επίσης απευκταίο (Hagan et.al. 1996). Ο βασικός παράγοντας που οδηγεί στην απόφαση για την παράμετρο αυτή είναι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (MSE) που επιτυγχάνεται από το δίκτυο. Μηδενικό σφάλμα οδηγεί σε δίκτυο με αριθμό νευρώνων (κέντρων) RBF ίσο με τον αριθμό των εισόδων, δηλαδή σε ένα δίκτυο 9-9-1 στην περίπτωση μας. Ένα τέτοιο δίκτυο όμως, δεν μπορεί να θεωρηθεί ανεκτό, παρόλο που είναι αρκετά μικρό και μπορεί να υποστηριχθεί από τους πράκτορες των πελατών, μιας και το αντίστοιχο MLP διαθέτει μόλις 3 νευρώνες κρυφού επιπέδου. Διενεργώντας τα κατάλληλα

πειράματα και θέτοντας το MSE ίσο με 1, καταλήξαμε στο ότι τα αποτελέσματα που επιτυγχάνονται είναι μόλις 0.01% χειρότερα στο σύνολο των περιπτώσεων σε σχέση με το αν είχε απαιτηθεί μηδενικό σφάλμα. Αυτή όμως η παραχώρηση κατεβάζει τον απαιτούμενο αριθμό νευρώνων σε επίπεδο κοντά στο 3 όπως θα παρουσιαστεί και παρακάτω, στην ενότητα με τα πειραματικά αποτελέσματα. Το δίκτυο με αυτό το MSE «κατασκευάζεται» βηματικά, μιας και προστίθενται νευρώνες στην εμφάνιση των δεδομένων στην είσοδο μέχρι το MSE να πέσει στην τιμή που επιθυμείται. Ακόμη μια σημαντική παράμετρος για την κατασκευή των δικτύων αυτών είναι η τιμή της απόστασης από το κέντρο του νευρώνα RBF (βλ. ενότητα 2.4.4), για την οποία ο τελευταίος αποκρίνεται με τιμή μεγαλύτερη από 0.5 για μια δεδομένη τιμή εισόδου. Η παράμετρος αυτή είναι γνωστή ως *spread* (βασική τιμή 1) (Hagan et.al. 1996) και επηρεάζει σημαντικά το πλάτος της Gaussian απόκρισης των νευρώνων. Υπάρχει δε, ως παράμετρος εισόδου στη συνάρτηση μεταφοράς/απόκρισης των νευρώνων και καθορίζει αποκλειστικά τον αριθμό των νευρώνων που συνεισφέρουν (και πόσο ο καθένας) στην τελική έξοδο για ένα συγκεκριμένο διάνυσμα εισόδου. Σε πραγματικές εφαρμογές, τα πειράματα που έχουν διενεργηθεί έχουν δείξει ότι η παράμετρος αυτή πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη προκειμένου να διασφαλίζεται η μεγαλύτερη δυνατή κάλυψη του χώρου εξόδου από την πλειοψηφία των νευρώνων RBF (Hagan et.al. 1996). Αυτό σημαίνει ότι περισσότεροι από ένας νευρώνες ενεργοποιούνται με «μεγάλες» τιμές και όλοι συνεισφέρουν στην έξοδο. Από την άλλη πλευρά, πολύ μεγάλη τιμή της παραμέτρου αυτής οδηγεί σε υπερ-γενίκευση του δικτύου, μιας και πολλοί ή όλοι οι νευρώνες ενεργοποιούνται σε κάθε είσοδο και επηρεάζουν παραπλανητικά την τελική έξοδο. Τα πειράματα που διενεργήθηκαν για το σκοπό αυτό απέδειξαν ότι η τιμή 2 είναι η καταλληλότερη, διασφαλίζοντας τη σταθερότητα του δικτύου.

4.4 Πειραματικά Αποτελέσματα

Στο σημείο αυτό θα παρουσιαστούν τα πειραματικά αποτελέσματα που προέκυψαν από την εξέταση της συμπεριφοράς των τεχνικών πρόβλεψης της τελευταίας τιμής προσφοράς του αντιπάλου, πάνω σε ένα ευρύτατο δείγμα διαδικασιών που καλύπτει το σύνολο των περιπτώσεων που μπορούν να παρουσιαστούν στην πραγματικότητα. Τα αποτελέσματα αυτά θα δικαιολογηθούν, θα αξιολογηθούν και θα οδηγήσουν στην επιλογή του καταλληλότερου προσεγγιστή μεταξύ των διαθέσιμων τεσσάρων βασικών προσεγγιστών, των νευρωνικών δικτύων MLP και RBF, του πολυωνυμικού προσεγγιστή 7^{ου} βαθμού με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων και του κυβικού spline. Σε όλα τα πειράματα που θα παρουσιαστούν στο σημείο αυτό τονίζεται ότι ο πελάτης ακολουθεί την δίκαιη τυχαία εξαρτώμενη από συμπεριφορά

στρατηγική όπως περιγράφηκε παραπάνω στην ενότητα με τον ορισμό του προβλήματος (fRTFT). Στόχος του τελευταίου είναι να οδηγήσει τη διαδικασία που φαινομενικά έχει πολλές πιθανότητες να αποτύχει (μια και δεν έχει επιτευχθεί συμφωνία ενώ η διαπραγμάτευση βρίσκεται στον τελευταίο της γύρο) σε μια συμφωνία που θα μεγιστοποιεί την ικανοποιησιμότητα του πελάτη δοθέντων των ειδικών συνθηκών όπως αυτές έχουν διαμορφωθεί.

Σε γενικές γραμμές, οι βασικές υποθέσεις που διέπουν τα πραγματοποιηθέντα πειράματα είναι: (1) ο πράκτορας του πελάτη διαπραγματεύεται με τον αντίστοιχο του παροχέα ακολουθώντας τους κανόνες του περιβάλλοντος όπως έχουν περιγραφεί, (2) οι δυο συμμετέχοντες δεν έχουν καμία γνώση ο ένας για την ιδιωτική πληροφορία του άλλου, δηλαδή για τη στρατηγική που πιθανά ακολουθεί ο αντίπαλος, τα χρονικά περιθώρια που έχει στη διάθεσή του, τις αποδεκτές τιμές, κλπ. και το μόνο που επιθυμούν είναι να επιτύχουν την καλύτερη δυνατή συμφωνία για λογαριασμό των ιδιοκτητών τους, (3) από τη στιγμή που αυτό που επιχειρείται είναι η εκτίμηση της τιμής που θα προσφέρει ο παροχέας στον τελευταίο γύρο της διαδικασίας, είναι λογικό και επόμενο τα χρονικά περιθώρια του τελευταίου να είναι μεγαλύτερα από του πελάτη για όλα τα πειράματα που θα διενεργηθούν (ή το πολύ ίσα), διαφορετικά αφενός η διαδικασία θα τελείωνε νωρίτερα χωρίς επιτυχία, αφετέρου οι προσεγγιστές δεν θα χρησιμοποιούνταν καν. Τέλος, (4) οι ακόλουθες τιμές ισχύουν για όλα τα πειράματα που διενεργούνται χωρίς απώλεια της γενικότητας: $[p_{\min}^P, p_{\max}^P] = [0, 100]$, $p_{\min}^C = 0$, and $L_C = 100$. Άλλωστε στόχος της παρούσας διατριβής είναι να εξάγει ποιοτικά συμπεράσματα και το καταφέρνει ανεξάρτητα από τις τιμές των πειραμάτων που είναι τυχαίες και που στη θέση τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν άλλες επίσης τυχαίες τιμές χωρίς να αθετούνται τα τελικά συμπεράσματα.

Στην περίπτωση αυτή διακρίνονται 3 κατηγορίες/οικογένειες πειραμάτων και επιχειρείται να μετρηθεί ο αριθμός των τελικών συμφωνιών, καθώς και η τιμή συμφωνίας προκειμένου να υπολογίζεται και ο αντίστοιχος βαθμός ικανοποιησιμότητας. Τα πειράματα στοχεύουν στη σύγκριση της απλής στρατηγικής του πελάτη (fRTFT), της βοηθούμενης από το MLP (the MLP-assisted fRTFT), της βοηθούμενης από το RBF (RBF-assisted fRTFT), της βοηθούμενης από το spline (CS-assisted fRTFT) και τέλος της βοηθούμενης από το πολυώνυμο 7^{ου} βαθμού (poly7-assisted fRTFT). Τα πειράματα που διενεργήθηκαν και θα παρουσιαστούν, είναι εξαντλητικά και περιλαμβάνουν ελέγχους πάνω σε όλες τις παραμέτρους που ενδέχεται να μεταβληθούν σε τέτοιες διαδικασίες.

Η πρώτη οικογένεια πειραμάτων αναδεικνύει τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εκτίμηση της προσφοράς του παροχέα όταν αυτός ακολουθεί μια γραμμική στρατηγική προσφορών κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Στην περίπτωση αυτή μεταβάλλονται το μέγιστο του πελάτη και αντίστοιχα η επικάλυψη των περιοχών τιμών απ' όπου αντλούνται οι

προσφορές για τον πελάτη και τον παροχέα (overlap), καθώς και το χρονικό όριο που θέτει ο παροχέας προκειμένου να διαπραγματευτεί, παράμετρος η οποία επηρεάζει σαφέστατα τις προσφορές του μέχρι το γύρο 100 που είναι και το χρονικό περιθώριο του πελάτη, που ως μικρότερο αποτελεί και τη μέγιστη διάρκεια που μπορεί να έχει η διαδικασία. Η γραμμική φύση της στρατηγικής του παροχέα συνοψίζεται στο ότι ο βαθμός σύγκλισής του είναι ίσος με 1. Έτσι, συμβολικά έχουμε: $[p_{\min}^P, p_{\max}^P] = [0, 100]$, $p_{\min}^C = 0$, $L_C = 100$, $\beta = 1$, $L_P \in [100, 200]$ and $p_{\max}^C \in [0, 100] \Rightarrow \text{Price Intervals Overlap} \in [0\%, 100\%]$. Να τονιστεί εδώ ότι οι τιμές για το p_{\max}^C μεταβάλλονται σύμφωνα με το διάνυσμα τιμών: 0:1:100, ενώ οι αντίστοιχες για το L_P είναι: 100:1:200. Η οικογένεια αυτή πειραμάτων αντιστοιχεί στην πραγματικότητα σε παροχές που συμπεριφέρονται ουδέτερα στο περιβάλλον τους (πελάτες), ενώ ταυτόχρονα διαθέτουν άφθονο χρόνο για την εκάστοτε διαδικασία, δείγμα και αυτό της ουδετερότητάς τους, ενώ από την άλλη αντιμετωπίζουν πελάτες με διάφορες απαιτήσεις σε τιμές συμφωνίας και συμπεριφορές, από ακραίες (πολύ μικρό διάστημα ανάμεσα στο ελάχιστο και το μέγιστο του πελάτη), έως αρκετά ανεκτικές (μεγάλη απόσταση ανάμεσα στο ελάχιστο και το μέγιστο του πελάτη $\rightarrow [0, 100]$ ίση με του παροχέα)

Η δεύτερη οικογένεια πειραμάτων ασχολείται με περιπτώσεις όπου υπάρχει μεγάλη επικάλυψη στις ανεκτές τιμές αγοράς και πώλησης που έχουν προαποφασίσει οι δύο συμμετέχοντες, ενώ από την άλλη ο παροχέας μπορεί να εμφανίζει μεγάλη ποικιλία στρατηγικών από πολύ αργής έως πολύ γρήγορης σύγκλισης, τη στιγμή που και το χρονικό του περιθώριο μπορεί να είναι οσοδήποτε μεγαλύτερο σε σχέση με του πελάτη. Συμβολικά οι παράμετροι της οικογένειας αυτής των πειραμάτων είναι: $[p_{\min}^P, p_{\max}^P] = [0, 100]$, $[p_{\min}^C, p_{\max}^C] = [0, 100]$, $L_C = 100$, $L_P \in [100, 200]$ και $\beta \in [0.1, 10]$. Τα δείγματα για την παράμετρο β (ρυθμός σύγκλισης) είναι 0.1:0.02:1 και 1.2:0.2:10, ενώ για την L_P είναι και πάλι 100:1:200. Η περίπτωση αυτή με τη σειρά της, που απαντάται πολύ συχνά στα σύγχρονα ηλεκτρονικά περιβάλλοντα, όπου οι συμμετέχοντες έχουν συναίσθηση των τιμών που μπορούν να συμφωνήσουν και θέτουν αντίστοιχα τα όρια που μπορούν να ανεχθούν, περιγράφει κάθε λογής παροχέα, από τον πιο απότομο και βιαστικό, έως τον λιγότερο απότομο και διαλλακτικό, που ταυτόχρονα αφιερώνει οσοδήποτε χρόνο για τη διαδικασία. Αυτές οι ακραίες περιπτώσεις, καθώς και όλες οι ενδιάμεσες εξετάζονται στην οικογένεια αυτή.

Η τρίτη κατηγορία πειραμάτων που εκτελέστηκαν επιχειρεί να εξετάσει την περίπτωση που το χρονικό περιθώριο του πελάτη είναι αρκετά μικρότερο από του αντιπάλου του (εδώ το μισό), ενώ ταυτόχρονα μπορεί ο τελευταίος να επιδεικνύει οποιαδήποτε συμπεριφορά στη διαπραγμάτευση (γρήγορη ή αργή σύγκλιση), ενώ και τα όρια τιμών που

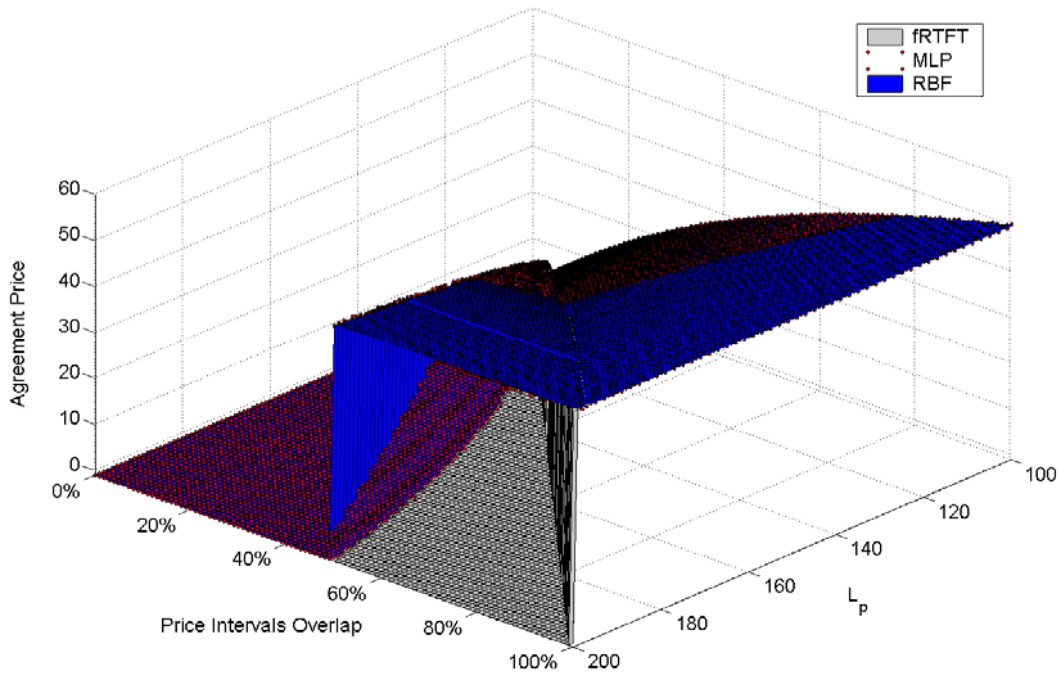
έχουν τεθεί μπορούν να μεταβάλλονται τυχαία. Συμβολικά έχουμε: $[p_{\min}^P, p_{\max}^P] = [0, 100]$,
 $p_{\min}^C = 0$, $L_C = 100$, $L_P = 200$, $\beta \in [0.1, 10]$ and
 $p_{\max}^C \in [0, 100] \Rightarrow \text{Price Intervals Overlap} \in [0\%, 100\%]$. Οι τιμές για το β είναι και πάλι
 0.1:0.02:1 και 1.2:0.2:10, ενώ και για το p_{\max}^C είναι όμοια 0:1:100. Η οικογένεια αυτή
 εξετάζει περιπτώσεις που ο παροχέας έχει πολύ διαθέσιμο χρόνο, ενώ μπορεί να κάνει χρήση
 στρατηγικής οποιασδήποτε μορφής, τη στιγμή που έχει να αντιμετωπίσει πελάτες με
 συμπεριφορά από ακραία έως πολύ διαλλακτική αναφορικά με το τι επιθυμούν να
 πληρώσουν για να αποκτήσουν το υπό διαπραγμάτευση αγαθό.

Συμπερασματικά, και οι τρεις οικογένειες πειραμάτων που εξετάστηκαν και τα
 αποτελέσματά τους θα παρουσιαστούν παρακάτω, πραγματοποιούν μια αποτίμηση του
 μηχανισμού αποφυγής ανεπιτυχών διαπραγματεύσεων στον τελευταίο γύρο για κάθε δυνατό
 συνδυασμό συμπεριφοράς και προτιμήσεων πελάτη και παροχέα. Απαραίτητη και
 ταυτόχρονα λογική υπόθεση είναι ο πρώτος να ακολουθεί μια στρατηγική που δεν επηρεάζει
 ιδιαίτερα τη διαδικασία (fRTFT) και ο δεύτερος μια αμιγώς χρονικά εξαρτώμενη στρατηγική.
 Η επιλογή μιας εξαρτώμενης από πόρους δεν θα διαφοροποιούσε ποιοτικά τα αποτελέσματα,
 ενώ μια εξαρτώμενη από συμπεριφορά έχει τελείως διαφορετική συμπεριφορά και δεν
 θεωρείται και ιδιαίτερα δημοφιλής. Τέλος, ο παροχέας είναι προσηλωμένος σε πολυωνυμική
 χρονικά εξαρτώμενη στρατηγική, αν και η επιλογή μιας εκθετικής δεν θα διαφοροποιούσε
 ποιοτικά παρά μόνο ποσοτικά τα αποτελέσματα για την εκτίμηση της επόμενης τιμής
 προσφοράς του αντιπάλου. Το σύνολο των πειραματικών δεδομένων είναι τόσο μεγάλο ώστε
 να καλύπτει κάθε πιθανή περίπτωση, για αυτό και η επιλογή των δειγμάτων είναι τόσο πυκνή.

Τα αποτελέσματα για τις τρεις οικογένειες πειραμάτων απεικονίζονται σε
 συγκεντρωτική μορφή στα σχήματα 4-3 και 4-4 για την πρώτη, 4-5 και 4-6 για τη δεύτερη
 και 4-7 και 4-8 για την τρίτη. Τα μονά αριθμημένα σχήματα σχετίζονται με τα αποτελέσματα
 που επιδεικνύουν τα νευρωνικά δίκτυα, ενώ τα άρτιας αρίθμησης με τα αποτελέσματα που
 προκύπτουν από τους πολυωνυμικούς προσεγγιστές πάντα σε αντιδιαστολή με την απλή
 fRTFT του πελάτη, χωρίς δηλαδή τη βοήθεια καμίας μεθόδου μάθησης. Η επιλογή της
 κατανομής των αποτελεσμάτων σε σχήματα έγινε με στόχο να είναι διακριτά τα
 αποτελέσματα και να συγκρίνονται εποπτικά οι όμοιες κατηγορίες προσεγγιστών πριν τη
 συνολική σύγκριση μεταξύ όλων και αυτό γιατί τα δείγματα είναι πολύ πυκνά και το σύνολο
 των πειραματικών διαδικασιών πολύ μεγάλο και μια πιθανή καταχώρηση 5 επιφανειών σε
 ένα σχήμα θα δυσκόλευε αφάνταστα την εξαγωγή οπτικών συμπερασμάτων, τη στιγμή
 μάλιστα που αυτά είναι πολύ κοντά στη συγκεκριμένη κλίμακα. Στα σχήματα αυτά, η τιμή
 συμφωνίας όταν δεν χρησιμοποιείται προσεγγιστής αναπαρίσταται από την γκρι χρώματος
 επιφάνεια, όταν χρησιμοποιείται RBF από μια επιφάνεια χρώματος μπλε, ενώ όταν

χρησιμοποιείται MLP από διακριτά κόκκινα σφαιρίδια. Αντίστοιχα, για το 7^ο βαθμού πολυώνυμο η επιφάνεια είναι σκούρο μωβ, ενώ για το spline είναι ροζ σφαιρίδια. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4-3, οι στρατηγικές fRTFT και οι MLP-assisted και RBF-assisted στρατηγικές διαπραγμάτευσης παρουσιάζουν ταυτόσημη συμπεριφορά στην τριγωνική περιοχή που εκτείνεται από το ελάχιστο χρονικό περιθώριο του παροχέα και τη μέγιστη επικάλυψη των τιμών των δυο συμμετεχόντων, μέχρι τα σημεία στο οποίο ισχύει (100 % price overlap, $L_p = 100$) και (0 % price overlap, $L_p = 100$). Η συμπεριφορά αυτή αιτιολογείται από το γεγονός ότι επιτυγχάνεται συμφωνία προτού χρησιμοποιηθούν οι προσεγγιστές στον προτελευταίο γύρο διαπραγμάτευσης για τον πελάτη. Μάλιστα οι τιμές συμφωνίας είναι για τις περιπτώσεις αυτές σε όλη την περιοχή τιμών από 0 έως 60 με τη διαβάθμιση που φαίνεται στο σχήμα. Στο σύνολο των υπόλοιπων περιπτώσεων, η απλή fRTFT στρατηγική αποτυγχάνει να επιτύχει τη σύναψη συμφωνίας μεταξύ των συμμετεχόντων γεγονός που καθιστά απαραίτητη τη χρήση κάποιου μηχανισμού για την αποφυγή των ασυμφωνιών αυτών. Οι αποτυχίες απεικονίζονται στο σχήμα με τιμή ίση με -1 για την αποφυγή παρερμηνειών, μιας και είναι δυνατό για μεγάλο αριθμό περιπτώσεων η τιμή συμφωνίας να είναι κοντά στο 0, οπότε εκεί η εποπτική παρατήρηση του σχήματος ενδεχόμενα να μπερδέυε αν επιλεγόταν κάποια τιμή κοντά στο 0 για την απεικόνιση των ασυμφωνιών. Στην περιοχή αυτή όμως, ο μηχανισμός που προτείνεται οδηγεί όπως φαίνεται και από το σχήμα σε μια συνεχή καμπύλη όπου οι συμφωνίες είναι πολύ περισσότερες, ενώ η αποτυχία αρχίζει να είναι εμφανής όταν η επικάλυψη των τιμών των δύο μερών πέφτει κάτω από το 45%, γεγονός δικαιολογημένο, ενώ οι αποτυχίες εκτείνονται για μικρότερες επικαλύψεις και καθώς το χρονικό περιθώριο του παροχέα τείνει προς την τιμή 200, τη μεγαλύτερη τιμή. Εκεί τα πράγματα δυσκολεύουν καθώς ο παροχέας με το μεγάλο χρονικό περιθώριο κινείται αργά από τη μέγιστη προς την ελάχιστη τιμή του και όταν ο πελάτης καλείται να προτείνει μια τελική τιμή βάσει των μηχανισμών που προαναφέρθηκαν, η τιμή αυτή θα είναι μεγαλύτερη από το μέγιστο του πελάτη (μιας και η επικάλυψη είναι πλέον μικρότερη οπότε και το μέγιστο του πελάτη έχει πέσει κάτω από το μισό του περιθωρίου του παροχέα), οπότε ενώ η εκτίμηση είναι ακριβής η συμφωνία δεν μπορεί να επιτευχθεί μιας και ο πελάτης δεν μπορεί να ανεχθεί μια τιμή μεγαλύτερη από το μέγιστό του. Συγκρίνοντας τώρα τις δυο στρατηγικές των νευρωνικών δικτύων, για όλες τις περιπτώσεις που τα κόκκινα σφαιρίδια φαίνονται «επάνω» από την μπλε επιφάνεια, δηλαδή η τιμή συμφωνίας είναι μικρότερη για το RBF, το τελευταίο υπερτερεί ενώ για τις αντίθετες περιπτώσεις υπερτερεί το MLP. Πιο συγκεκριμένα, και με τη βοήθεια ειδικής καταγραφής, μιας και κάτι τέτοιο δεν είναι απολύτως προφανές από το σχήμα, το RBF υπερτερεί στο 55% των περιπτώσεων, ενώ το αντίθετο συμβαίνει στο υπόλοιπο 45%. Ένα σημαντικό στοιχείο που πρέπει να τονιστεί στο σημείο αυτό είναι ότι οι τιμές συμφωνίας που επιτυγχάνονται όταν το MLP υπερτερεί,

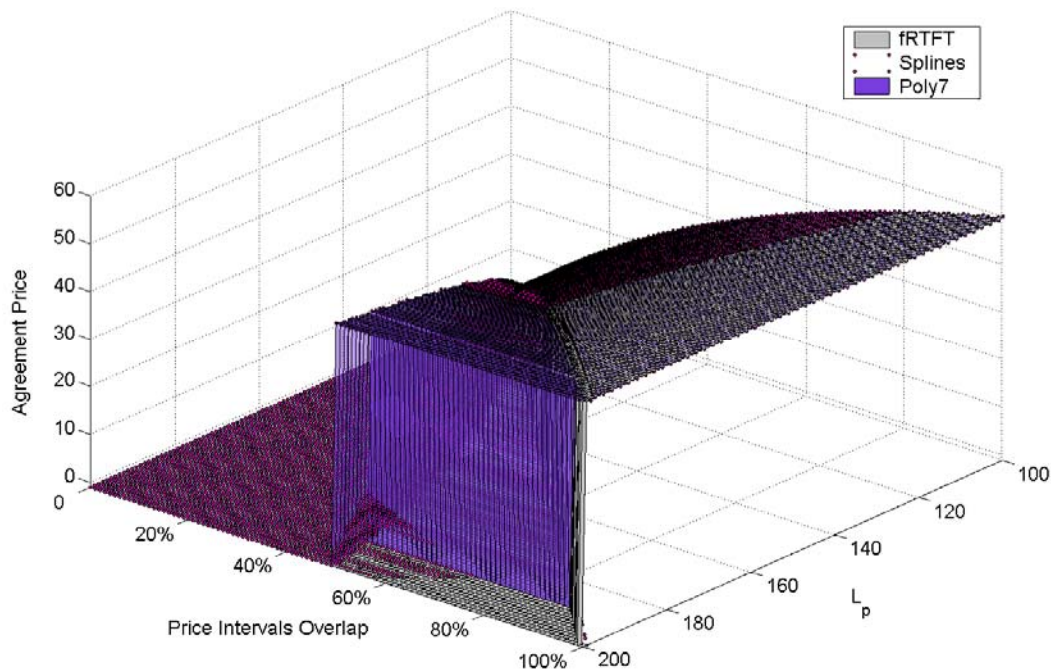
διαφέρουν ελάχιστα, ενώ οι διαφορές μεταξύ των δυο είναι μεγαλύτερες όταν υπερτερεί το RBF. Αυτός είναι και ο λόγος που το τελευταίο εμφανίζει μικρότερη τιμή συμφωνίας κατά μέσο όρο, όπως θα τονιστεί και στη συνέχεια στη συγκεντρωτική ανάλυση.



Σχήμα 4-3. Τιμές συμφωνίας για γραμμική στρατηγική παροχέα, $L_C = 100$, $L_p \in [100,200]$ και $p_{\max}^C \in [0,100]$ (Σύγκριση των fRTFT, MLP-assisted fRTFT και RBF-assisted fRTFT)

Η συμπεριφορά των άλλων δυο προσεγγιστών είναι παρόμοια σε γενικές γραμμές όπως εμφανίζεται και στο σχήμα 4-4, όπως αυτή που αναλύθηκε στην περίπτωση των νευρωνικών δικτύων. Όμοια, οι στρατηγικές αυτές δεν επηρεάζουν την απλή στρατηγική για τις περιπτώσεις που οριοθετούνται από την τριγωνική περιοχή που προαναφέρθηκε, μιας και η συμφωνία επιτυγχάνεται προτού «προλάβουν» να χρησιμοποιηθούν. Είναι προφανές ότι η περιοχή αυτή είναι ακριβώς η ίδια. Μάλιστα, όπως προαναφέρθηκε, στις υπόλοιπες περιπτώσεις, η απλή fRTFT στρατηγική αποτυγχάνει στην επίτευξη συμφωνιών καθώς η επικαλυπτόμενη περιοχή μειώνεται, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται το χρονικό περιθώριο του παροχέα, οπότε και προσφέρει υψηλές τιμές όταν η διαπραγμάτευση φτάσει στον 99° γύρο (προτελευταίο οπότε και γίνεται η εκτίμηση) που ξεπερνούν το μέγιστο του πελάτη οπότε δεν μπορεί να δεχθεί, όσο καλή και αν είναι η εκτίμησή του. Όπως τονίστηκε και παραπάνω, η περιοχή της γενικευμένης αποτυχίας οριοθετείται από το τρίγωνο που έχει κορυφές στο 45% περίπου της επικάλυψης τιμών και χρονικό περιθώριο παροχέα ίσο με 200, 0% επικάλυψη και επίσης περιθώριο 200 (προφανές) και τέλος μηδενική επικάλυψη και περιθώριο 100. Όπως και στην περίπτωση των νευρωνικών δικτύων για την πειραματική αυτή οικογένεια, η περιοχή από την γενική επιτυχία (και των τριών) μέχρι και τη γενική αποτυχία, είναι αυτή

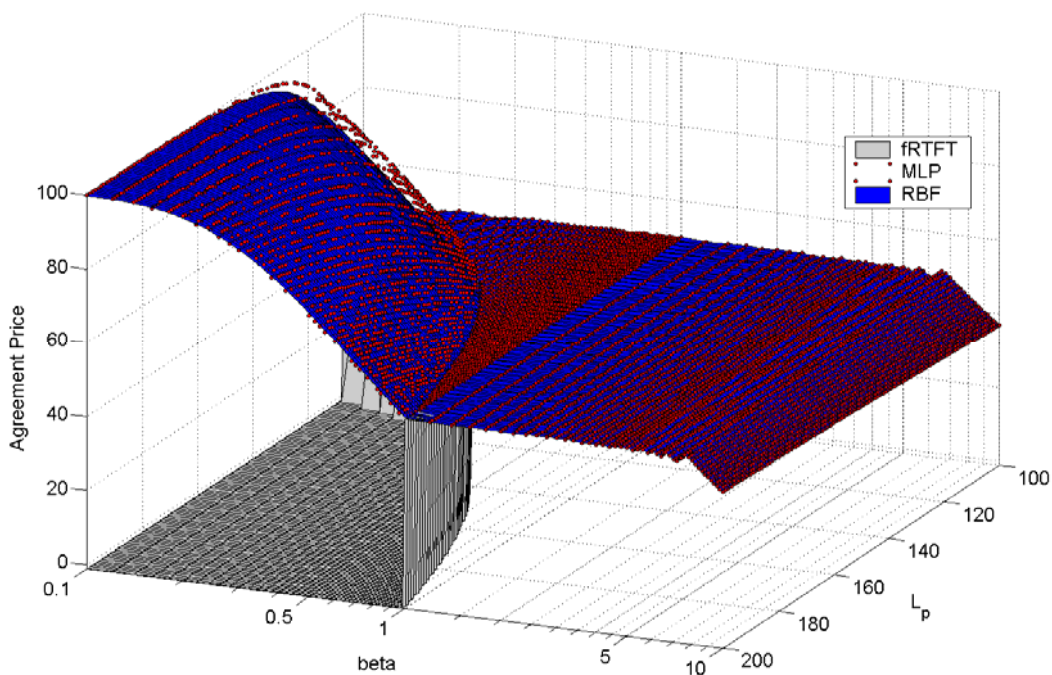
στην οποία οι πολυωνυμικοί προσεγγιστές συνεισφέρουν στο σχηματισμό συμβολαίων συμφωνίας. Ωστόσο, και ενώ στα νευρωνικά δίκτυα αυτή η περιοχή ήταν απολύτως επιτυχής, εδώ υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις όπου κυρίως η CS-assisted στρατηγική και λιγότερο η poly-7 assisted αποτυγχάνουν εξαιτίας της αστάθειας που εμφανίζουν τα πολυώνυμα στα οποία στηρίζονται σε κάποιες περιπτώσεις. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση της λεπτής περιοχής στην τιμή χρονικού περιθωρίου ίση με 190, όπου και οι δυο προσεγγιστές αποτυγχάνουν. Από την άλλη πλευρά, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, η CS-assisted στρατηγική υπερτερεί σε σύγκριση με την poly-7 assisted, οδηγώντας σε μικρότερες τιμές συμφωνίας, μια παρατήρηση που οφείλεται στην αδυναμία των splines να κάνουν καλή επέκταση (extrapolation) προς τη μελλοντική τιμή που καλούνται να εκτιμήσουν. Το αντίστροφο δεν παρατηρείται πουθενά. Παρόλα αυτά, οι δυο προσεγγιστές δίνουν πολύ κοντινές προσφορές στο σύνολο σχεδόν των περιπτώσεων επιτυχίας.



Σχήμα 4-4. Τιμές συμφωνίας για γραμμική στρατηγική παροχέα, $L_C = 100$, $L_P \in [100, 200]$ και $p_{\max}^C \in [0, 100]$ (Σύγκριση των *fRTFT*, *CS-assisted fRTFT* και *poly-7 assisted fRTFT* προσεγγιστών).

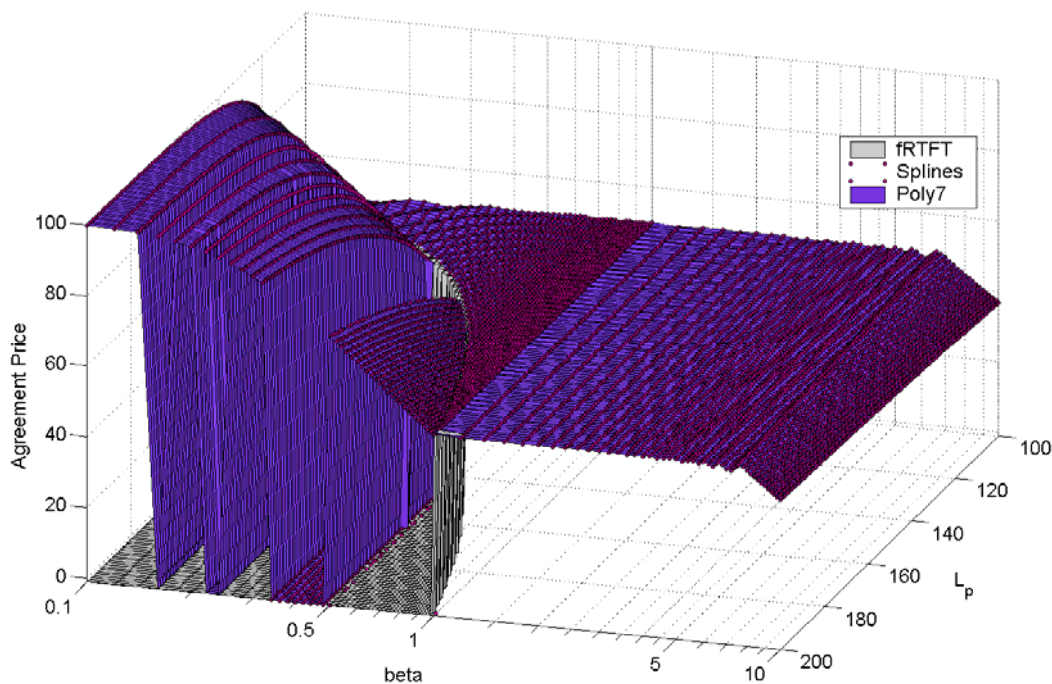
Όμοια με το πρώτο σύνολο πειραμάτων, στο δεύτερο σύνολο που παρουσιάζεται στα επόμενα δυο σχήματα (με πρώτο το σχήμα 4-5) συγκρίνεται η συμπεριφορά και τα αποτελέσματα που επιτυγχάνουν οι προσεγγιστές στις περιπτώσεις που μεταβάλλεται ο ρυθμός σύγκλισης του παροχέα και το χρονικό του περιθώριο. Αρχικά, για τις περιπτώσεις όπου $\beta > 1$ ή $\beta < 1$ και το χρονικό περιθώριο του παροχέα είναι κοντά στο 100, οι συμφωνίες επιτυγχάνονται προτού προλάβουν να επιστρατευτούν οι προσεγγιστές, σε αντιστοιχία με ότι

παρατηρήθηκε και στην προηγούμενη οικογένεια πειραμάτων. Σε όλες όμως τις υπόλοιπες περιπτώσεις, η απλή στρατηγική αποτυγχάνει να επιτύχει συμφωνία, ενώ και οι δυο στρατηγικές που βασίζονται στα νευρωνικά δίκτυα MLP και RBF καταλήγουν στην επίτευξη συμφωνίας, πράγμα που σημαίνει ότι οι εκτιμήσεις που παρέχουν γίνονται αποδεκτές από τον αντίπαλο-παροχέα και οδηγούν στην αποφυγή αποτυχιών σε ένα ποσοστό μάλιστα 100% για τις περιπτώσεις αυτές. Τέλος, όπως μπορεί να παρατηρήσει κανείς, όταν ο παροχέας έχει μεγάλο χρονικό περιθώριο και πολύ μικρή ταχύτητα σύγκλισης, η τιμή που προσφέρεται (κατόπιν εκτιμήσεως) και τελικά συμφωνείται είναι κοντά στη μέγιστη αποδεκτή τιμή του πελάτη, πράγμα που σημαίνει ότι ισχύει $p_{t_{99}}^C \approx p_{\max}^C$ (η περιοχή γύρω από την τιμή συμφωνίας είναι κοντά στην τιμή 100). Ο πολύ αργός ρυθμός κίνησης της στρατηγικής του παροχέα από το μέγιστο προς το ελάχιστό του, που καθιστούν τις προσφορές του γειτονικές με το μέγιστο ακόμα και για προχωρημένους γύρους διαπραγμάτευσης είναι και η βασική αιτία αυτής της συμπεριφοράς. Πρέπει να τονιστεί επίσης, ότι σε αυτή την οικογένεια πειραμάτων, όποτε το εκάστοτε νευρωνικό δίκτυο χρησιμοποιείται έχουμε $p_{99}^C = \overline{p_{100}^P} = p_{final}$, δηλαδή οι εκτιμήσεις που παρέχονται είναι και οι τελικές τιμές συμφωνίας και καμία από τις εκτιμήσεις αυτές δεν είναι μεγαλύτερη από το μέγιστο του πελάτη ή μικρότερη από την προηγούμενη προσφορά του, ώστε να απαιτείται διόρθωση, όπως τονίστηκε στην ενότητα με τον αυστηρό ορισμό του προβλήματος. Συγκρίνοντας τις στρατηγικές των δυο νευρωνικών δικτύων, παρατηρούμε ότι το RBF υπερτερεί και πάλι και μάλιστα σε ένα ποσοστό περιπτώσεων που αγγίζει το 61%, ενώ το MLP μόνο στο υπόλοιπο 39%.



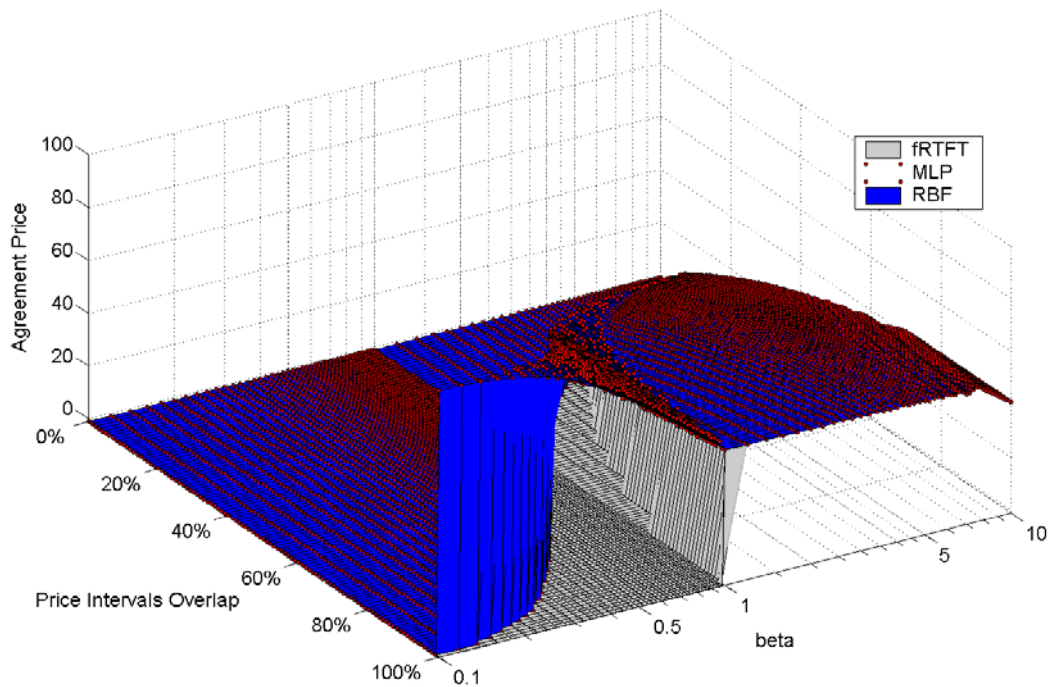
Σχήμα 4–5. Τιμές συμφωνίας για 100% επικαλυπτόμενες περιοχές ανεκτών τιμών συμφωνίας και $L_C = 100$, $L_P \in [100,200]$ and $\beta \in [0.1,10]$ (Σύγκριση των *fRTFT*, *MLP-assisted fRTFT* και *RBF-assisted fRTFT*)

Η συμπεριφορά των πολυωνυμικών προσεγγιστών όπως φαίνεται στο σχήμα 4-6 είναι παρόμοια με τη συμπεριφορά των νευρωνικών δικτύων που παρουσιάστηκαν προηγούμενα για τη δεύτερη αυτή οικογένεια πειραμάτων. Έτσι, η συμπεριφορά των στρατηγικών *fRTFT*, *CS-assisted fRTFT* και *poly7-assisted fRTFT*, ταυτίζεται για όλες τις τιμές χρονικών περιθωρίων στην περίπτωση που ο ρυθμός σύγκλισης $\beta > 1$ ή όταν $\beta < 1$ και το χρονικό περιθώριο του παροχέα είναι κοντά στο 100. Αντιθέτως, σε όλες τις άλλες περιπτώσεις αυτής της οικογένειας των πειραμάτων, η απλή στρατηγική αποτυγχάνει όπως τονίστηκε και προηγούμενα, ενώ οι πολυωνυμικοί προσεγγιστές καταφέρνουν να εκτιμήσουν αποδοτικά και να επιτύχουν τελικά μια τιμή συμφωνίας μεταξύ των δυο συμμετεχόντων. Βέβαια, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα υπάρχουν περιπτώσεις όπου οι δυο αυτοί προσεγγιστές αποτυγχάνουν σε αντίθεση με ότι ειπώθηκε και φαίνεται στην περίπτωση των νευρωνικών δικτύων. Ειδικότερα στην περιοχή όπου $\beta \in (0.35, 0.5)$ και $L_P > 145$, και οι δυο προσεγγιστές αποτυγχάνουν, γεγονός που αποτελεί ένα πρώτο εμφανές μειονέκτημα της τεχνικής αυτής σε σχέση με τα νευρωνικά δίκτυα. Το ίδιο μπορεί να παρατηρήσει κανείς και σε δυο ακόμη πιο στενές περιοχές όταν ο ρυθμός σύγκλισης είναι κοντά στο 0.2 (ελαφρώς μεγαλύτερο και ελαφρώς μικρότερο αντίστοιχα) οπότε η αποτυχία είναι εμφανής και για τους δυο προσεγγιστές. Τέλος, και στην περίπτωση αυτή όταν το χρονικό περιθώριο του παροχέα είναι μεγάλο και ο ρυθμός σύγκλισης πολύ αργός, οι τιμές που συμφωνούνται είναι κοντά στο μέγιστο του παροχέα, γεγονός που οδηγεί μεν σε συμφωνία, αλλά ταυτόχρονα ελαχιστοποιεί την ικανοποιησιμότητα του πελάτη.



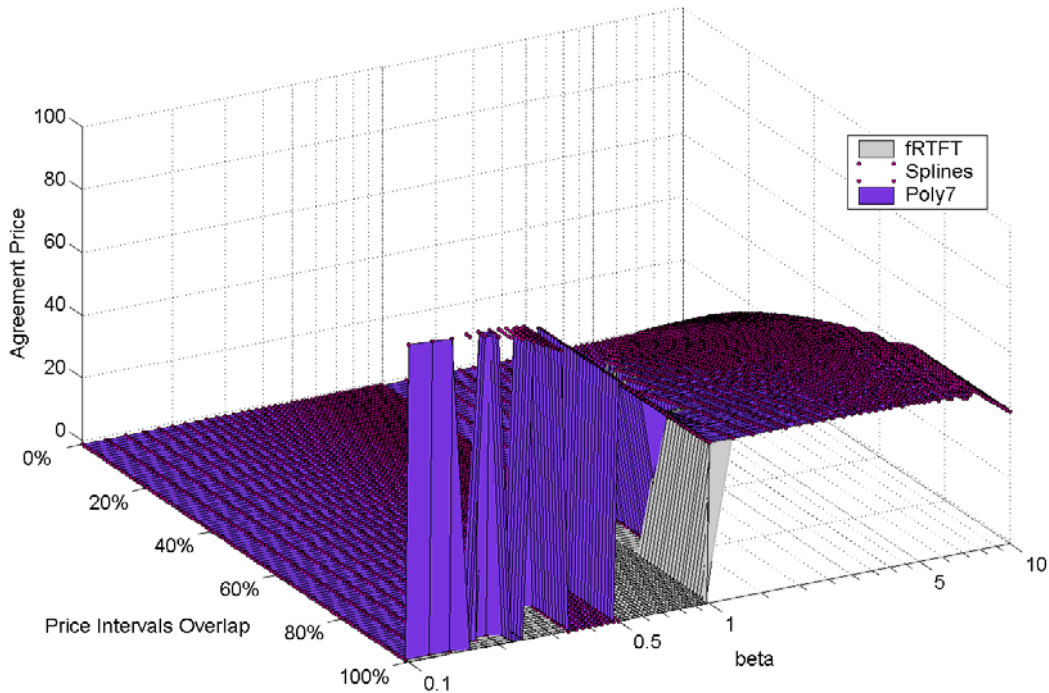
Σχήμα 4-6. Τιμές συμφωνίας για 100% επικαλυπτόμενες περιοχές ανεκτών τιμών συμφωνίας και $L_C = 100$, $L_P \in [100, 200]$ and $\beta \in [0.1, 10]$ (Σύγκριση των *fRTFT*, *CS-assisted fRTFT* και *poly-7 assisted στρατηγικών*)

Τέλος, στην τρίτη και τελευταία κατηγορία πειραμάτων που το πρώτο της μέρος παρουσιάζεται στο σχήμα 4-7, γίνεται εποπτικά κατανοητό ότι στις περιπτώσεις που ο ρυθμός σύγκλισης $\beta > 1$, οπότε και η σύγκλιση είναι γρήγορη και οι συμφωνίες επιτυγχάνονται προτού απαιτηθεί η χρήση των προσεγγιστών (εδώ νευρωνικών δικτύων). Επομένως, στις περιπτώσεις αυτές τα αποτελέσματα και για τις τρεις στρατηγικές που εξετάζονται είναι ταυτόσημα. Στην περίπτωση τώρα που το $\beta < 1$, η απλή *fRTFT* στρατηγική αποτυγχάνει πλήρως να δώσει συμφωνίες σε κάθε περίπτωση. Αναφορικά με το βαθμό αυτής της αποτυχίας, και πάλι εποπτικά μπορεί να παρατηρήσει κανείς ότι αγγίζει τα 2/3 όλων των περιπτώσεων. Οι βοηθούμενες τώρα από τα νευρωνικά δίκτυα στρατηγικές, υπερτερούν της απλής στις περιπτώσεις που εκτείνονται στους μικρότερους του 1 ρυθμούς σύγκλισης και όσο μεγαλώνει η επικάλυψη τιμών, σχηματίζοντας μια ελικοειδή περιοχή όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Ωστόσο και παρά τις συμφωνίες αυτές, και τα νευρωνικά δίκτυα αποτυγχάνουν σε ένα μεγάλο σύνολο περιπτώσεων, απλά διότι η επιτυχία δεν είναι εφικτή, καθότι από τη μια έχουμε μικρή επικάλυψη και αργή σχετικά σύγκλιση και από την άλλη ο παροχέας έχει ταυτόχρονα μεγάλο χρονικό περιθώριο στη διάθεσή του, οπότε δεν υπάρχει και θεωρητικά πιθανότητα για συμφωνία. Αναφορικά τώρα με τη χρησιμότητα των συμφωνιών, και στην περίπτωση αυτή το RBF αποδεικνύεται ότι προσφέρει μικρότερες τελικές τιμές συμφωνίας καταλήγοντας σε βελτιωμένη ικανοποιησιμότητα πελάτη σε σχέση με το MLP και μάλιστα κατά ένα ποσοστό 59% έναντι 41%.



Σχήμα 4-7. Τιμές συμφωνίας για $L_p = 200$, $p_{\max}^C \in [0,100]$ και $\beta \in [0.1,10]$ (Σύγκριση των *fRTFT*, *MLP-assisted fRTFT* και *RBF-assisted fRTFT* στρατηγικών)

Η συμπεριφορά των άλλων δύο στρατηγικών παρουσιάζεται στο σχήμα 4-8 και είναι πολύ διαφορετική σε επίπεδο αποτελεσμάτων σε σύγκριση με τα νευρωνικά δίκτυα. Αυτό που μπορεί να παρατηρήσει κανείς με μια πρώτη ματιά είναι η προφανής και αναμενόμενη ταύτιση των περιοχών απόλυτης επιτυχίας και απόλυτης αποτυχίας. Πέρα όμως από τις περιοχές αυτές, εκεί που οι πολυωνυμικοί προσεγγιστές καλούνται να δείξουν τη χρησιμότητά τους, δεν αποδεικνύονται τόσο αξιόπιστοι όσο τα νευρωνικά δίκτυα που προηγήθηκαν. Μάλιστα φαίνεται πως αποτυγχάνουν σε ασυνήθιστα μεγάλη περιοχή, γεγονός που θα τονιστεί και κατά την ανάλυση των συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων. Πιο συγκεκριμένα, στην περιοχή που αντιστοιχεί σε τιμές ρυθμού σύγκλισης μικρότερες από 0.5 και λίγο μεγαλύτερες από 0.35 (αντίστοιχη αποτυχία παρατηρήθηκε και στη δεύτερη οικογένεια για την ίδια περιοχή) οι πολυωνυμικοί προσεγγιστές αποτυγχάνουν πλήρως ενώ αντίστοιχη αποτυχία παρατηρείται και για μεγαλύτερες τιμές του ρυθμού (μεγαλύτερες από 2) και μεσαίες τιμές της περιοχής επικάλυψης. Πιο ξεκάθαρα θα παρατεθούν τα αποτελέσματα αμέσως παρακάτω. Συγκριτικά η επιτυχία των δυο πολυωνυμικών προσεγγιστών είναι σχεδόν ταυτόσημη και ελάχιστα διαφοροποιείται τόσο σε τιμές συμφωνίας, όσο και σε αριθμό τελικών συμφωνιών, κάτι που έχει παρατηρηθεί και στις προηγούμενες οικογένειες πειραμάτων.



Σχήμα 4-8. Τιμές συμφωνίας για $L_P = 200$, $p_{\max}^C \in [0,100]$ and $\beta \in [0.1,10]$ (Σύγκριση των *fRTFT*, *CS-assisted fRTFT* και *poly-7 assisted* στρατηγικών)

Έχοντας παραθέσει σχηματικά τα πειραματικά αποτελέσματα για το ευρύτερο σύνολο διαδικασιών διαπραγμάτευσης που αποτέλεσαν το αντικείμενο ελέγχου των τεχνικών εκτίμησης της επόμενης και τελευταίας προσφοράς του αντιπάλου-παροχέα, προκειμένου να αποφευχθούν οι πιθανότατα αποτυχημένες περιπτώσεις, οδηγούμαστε τώρα σε συγκεντρωτική καταγραφή των αποτελεσμάτων όπως φαίνεται στον πίνακα 4-2, απ' όπου και θα εξαχθούν τα χρησιμότερα συγκριτικά συμπεράσματα και θα αναδειχθεί η τεχνική εκείνη που επικρατεί, τόσο σε επίπεδο αποτελεσμάτων, όσο και σε επίπεδο απαιτήσεων. Οι στρατηγικές που εξετάζονται είναι πέντε, ενώ οι παράμετροι των πειραμάτων έχουν ήδη παρουσιαστεί ($[p_{\min}^P, p_{\max}^P] = [0,100]$, $p_{\min}^C = 0$ and $L_C = 100$). Οι επιμέρους παράμετροι για τις τρεις οικογένειες που εξετάστηκαν απεικονίζονται στην κορυφή κάθε στήλης, ενώ η τελευταία στήλη συνοψίζει τα αποτελέσματα για το σύνολο των πειραμάτων και για κάθε προσεγγιστή/στρατηγική ξεχωριστά.

Αυτό που είναι εμφανές σε κάθε περίπτωση είναι ότι η παρουσία των προσεγγιστών βελτιώνει σημαντικά τα αποτελέσματα των διαπραγματεύσεων, οδηγώντας σε συμφωνία περιπτώσεις που διαφορετικά δεν είχαν καμία τύχη. Έτσι, ο αρχικός στόχος της αποφυγής όσο το δυνατό περισσότερων ανεπιτυχών διαδικασιών έχει επιτευχθεί. Μάλιστα, ο βαθμός επιτυχίας αυξάνεται κατά 25.8% (μέγιστη αύξηση) χρησιμοποιώντας απόλυτους όρους ή αλλιώς η αύξηση που επιτυγχάνεται είναι 39.5% με όρους σχετικούς. Σημαντικό στοιχείο που πρέπει να τονιστεί ξεχωριστά είναι ότι επιλέχθηκε ο δύσκολος δρόμος του ελέγχου της

πλειονότητας των περιπτώσεων που μπορούν να ανακύψουν σε πραγματικά περιβάλλοντα διαπραγμάτευσης οδηγώντας σε ένα σύνολο 28583 πειραμάτων, όπου κάθε πείραμα είναι και μια διαφορετική διαπραγμάτευση μεταξύ των δυο πρακτόρων. Τα αποτελέσματα από τη διενέργεια των πειραμάτων, έδειξε ότι ενώ η απλή fRTFT στρατηγική για τον πελάτη οδηγούσε σε επιτυχία στο 54% των περιπτώσεων (περίπου στις μισές δηλαδή από όσες ελέγχθηκαν), η εισαγωγή της προτεινόμενης ευφυΐας στους διαπραγματευόμενους πράκτορες έχει ως αποτέλεσμα την επίτευξη ενός ποσοστού κοντά στο 74% στην καλύτερη περίπτωση ή κοντά στο 67% στην χειρότερη. Πιο συγκεκριμένα, τα δυο νευρωνικά δίκτυα αποδίδουν κοντά στο 74%, με το MLP να έχει ελάχιστα υψηλότερο δείκτη επιτυχίας, τη στιγμή που οι πολυωνυμικοί προσεγγιστές πετυχαίνουν 67.38% και 70.34% για το spline και το 7^ο βαθμού πολυώνυμο. Έτσι, με μια πρώτη ματιά, είναι προφανές ότι οι πολυωνυμικοί προσεγγιστές, ενώ βελτιώνουν τα αποτελέσματα της απλής στρατηγικής, υστερούν σημαντικά έναντι των νευρωνικών δικτύων. Σε επίπεδο μάλιστα αύξησης των συμφωνιών που επιτυγχάνονται η διαφορά είναι μεγάλη, μιας και τα νευρωνικά δίκτυα πετυχαίνουν περίπου 37% αύξηση ενώ οι πολυωνυμικοί προσεγγιστές μόλις 23.72% και 29.14% αντίστοιχα. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση της δεύτερης οικογένειας πειραμάτων όπου τα νευρωνικά δίκτυα είναι απολύτως επιτυχημένα ενώ τα πολυώνυμα, δίνουν έως και 10% περίπου λιγότερες συμφωνίες. Επίσης, στην τρίτη περίπτωση η επιτυχία είναι μικρή σε σχέση με τις άλλες δυο, αλλά όχι τόσο μικρή όσο στα πολυώνυμα. Τέλος, αξιοσημείωτη είναι και η περίπτωση της συμπεριφοράς του κυβικού spline για την πρώτη οικογένεια πειραμάτων, όπου εμφανίζει επιτυχία μόλις 58.3% (ή 16.52% αύξηση των επιτυχιών), τη στιγμή που οι υπόλοιποι προσεγγιστές, συμπεριλαμβανομένου και του πολυωνύμου 7^ο βαθμού είναι πολύ κοντά στο 69%.

Πίνακας 4-2. Συγκριτικά αποτελέσματα για το βαθμό επιτυχίας των πέντε στρατηγικών που εξετάστηκαν

Παράμετροι Πειραμάτων		$p_{\max}^C \in [0,100]$ $L_P \in [100,200]$ $\beta = 1$	$p_{\max}^C = 100$ $L_P \in [100,200]$ $\beta \in [0.1,10]$	$p_{\max}^C \in [0,100]$ $L_P = 200$ $\beta \in [0.1,10]$	Συγκεντρωτικά
Μέγεθος Δειγμάτων Πειράματος		10201	9191	9191	28583
Βαθμός Επιτυχίας	fRTFT	50.03%	74.20%	39.64%	54.46%
	MLP	69.20%	100.00%	55.30%	74.64%
	RBF	69.07%	100.00%	55.30%	74.59%
	Cubic Spline	58.30%	93.71%	51.13%	67.38%
	Poly-7	68.78%	91.13%	51.27%	70.34%

Αύξηση Επιτυχών Διαπραγμα- τεύσεων ¹¹	MLP	38.30%	34.77%	39.53%	37.04%
	RBF	38.05%	34.77%	39.53%	36.96%
	Cubic Spline	16.52%	26.29%	28.99%	23.72%
	Poly-7	37.46%	22.82%	29.34%	29.14%

Μια πολύ σημαντική παράμετρος που πρέπει να εξεταστεί διεξοδικά είναι οι απαιτούμενοι πόροι για κάθε έναν από τους προσεγγιστές προκειμένου να υλοποιήσει τη βασική του λειτουργία. Οι πόροι που εξετάζονται είναι ο χρόνος που απαιτείται προκειμένου να αποκριθούν με την εκτίμησή τους, ενώ για τα νευρωνικά δίκτυα ο αποθηκευτικός χώρος που απαιτείται για τη συντήρησή τους από τους κινητούς πράκτορες.

Αναφορικά με τον απαιτούμενο χρόνο, είναι προφανές και αναμενόμενο, ότι οι πολυωνυμικοί προσεγγιστές απαιτούν πολύ λιγότερο χρόνο σε σύγκριση με τα νευρωνικά δίκτυα, όπου απαιτείται τόσο η εκπαίδευση όσο και η εξομοίωση στο δίκτυο προκειμένου να εξαχθεί η εκτίμηση. Συγκεκριμένα, και όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 4-3, το MLP απαιτεί 0.3727 δευτερόλεπτα κατά μέσο όρο τη στιγμή που το RBF απαιτεί 0.0898, το spline 0.0279 και τέλος το πολυώνυμο 7^{ου} βαθμού 0.0244. Είναι προφανές ότι με βάση το κριτήριο αυτό, το τελευταίο αποδεικνύεται και το αποδοτικότερο. Ωστόσο, ακόμα και ο απαιτούμενος χρόνος των 0.3727 δευτερολέπτων δεν κρίνεται απαγορευτικός, κάτι που δικαιολογείται από το μικρό μέγεθος των δικτύων, με αποτέλεσμα να είναι αντίστοιχα μικροί οι απαιτούμενοι χρόνοι.

Αναφορικά με τον απαιτούμενο χώρο αποθήκευσης για τα νευρωνικά δίκτυα, αυτός δεν ξεπερνάει τα 21KB για το MLP με τους τρεις νευρώνες κρυφού επιπέδου και τα 20KB για το RBF το οποίο απαιτεί 2.29 νευρώνες κατά μέσο όρο για το σύνολο των πειραμάτων προκειμένου να επιτύχει τα αποτελέσματα που περιγράφηκαν. Επομένως, και με βάση αυτή τη μετρική η επιλογή των νευρωνικών δικτύων είναι κάτι παραπάνω από εφικτή για τους κινητούς πράκτορες που χρησιμοποιούνται.

Αναφορικά δε με την τιμή συμφωνίας που επιτυγχάνεται, η οποία αποτελεί και παράμετρο που καθορίζει το βαθμό της ικανοποιησιμότητας του πελάτη από τη διαδικασία, αυτή που επιτυγχάνεται από το πολυώνυμο 7^{ου} βαθμού είναι 1-4% μικρότερη από την τιμή που επιτυγχάνεται από τους υπόλοιπους προσεγγιστές, με αποτέλεσμα να μπορεί να θεωρηθεί ως η καλύτερη επιλογή αν αυτό είναι το αποκλειστικό κριτήριο. Ωστόσο, η εμφανής και σημαντικότερη διαφορά που επιτυγχάνεται από το RBF στον αριθμό των συμφωνιών και στις

¹¹ Το ποσοστό αυτό υπολογίζεται ως εξής: $\left[\frac{R_S^{approx_fRTFT} - R_S^{fRTFT}}{R_S^{fRTFT}} \right]$, όπου R_S^{fRTFT} είναι ο αριθμός των επιτυχημένων διαπραγματεύσεων όταν ο πελάτης χρησιμοποιεί την fRTFT στρατηγική και $R_S^{approx_fRTFT}$ είναι ο αντίστοιχος αριθμός για οποιαδήποτε από τις υπόλοιπες 4 στρατηγικές.

απαιτήσεις, οι οποίες είναι σε χαμηλά επίπεδα, οδηγεί στο συμπέρασμα πως αυτό είναι η καλύτερη δυνατή επιλογή σε κάθε περίπτωση, ικανή να προσδώσει στον εκάστοτε πελάτη τη δυναμική να αυξάνει σημαντικά τόσο τον αριθμό των πιθανών συμφωνιών, όσο και την ικανοποιησιμότητά του, σε περιβάλλοντα κάθε μορφής με απλή χρήση του μηχανισμού εκτίμησης της επόμενης προσφοράς του αντιπάλου που προτείνεται εδώ. Αξίζει μάλιστα να τονιστεί, ότι η χρήση του μηχανισμού δεν είναι δεσμευτική μόνο για τον τελευταίο γύρο διαπραγμάτευσης, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάθε περίπτωση που υπάρχουν αρκετά δείγματα προσφορών για την εκτίμηση της επόμενης τιμής προσφοράς του αντιπάλου.

Πίνακας 4-3. Συγκριτικά αποτελέσματα για το χρόνο που απαιτείται και τις τιμές συμφωνίας που προκύπτουν για τις πέντε στρατηγικές

Παράμετροι Πειραμάτων		$p_{\max}^C \in [0,100]$ $L_P \in [100,200]$ $\beta = 1$	$p_{\max}^C = 100$ $L_P \in [100,200]$ $\beta \in [0.1,10]$	$p_{\max}^C \in [0,100]$ $L_P = 200$ $\beta \in [0.1,10]$	Συγκεντρω- τικά
Φορές που οι Προσεγγιστές Χρησιμοποιήθηκαν		5302	2476	5564	13342
Μέσος Χρόνος που Απαιτείται	fRTFT	0.0095	0.0105	0.0082	0.0094
	MLP	0.3522	0.1889	0.4754	0.3727
	RBF	0.0849	0.0506	0.1122	0.0898
	Cubic Spline	0.0260	0.0229	0.0320	0.0279
	Poly-7	0.0242	0.0190	0.0270	0.0244
Μέση Τιμή Συμφωνίας	fRTFT	38.51	43.38	34.80	39.77
	MLP	39.69	55.09	41.97	46.87
	RBF	39.56	54.79	41.79	46.66
	Cubic Spline	39.00	53.58	40.78	45.95
	Poly-7	39.21	52.65	40.82	45.19

Μια παράμετρος που πρέπει επίσης να εξεταστεί προκειμένου να αποδειχθεί η ορθότητα και η επάρκεια των μεθόδων μάθησης που εφαρμόστηκαν είναι και κάποια μορφή σφάλματος ανάμεσα στην εκτίμηση που πραγματοποιείται και στην πραγματική τιμή της προσφοράς του παροχέα για την οποία γίνεται η εκτίμηση αυτή. Το σφάλμα αυτό που ονομάζεται σφάλμα εκτίμησης υπολογίζεται σύμφωνα με τον παρακάτω μαθηματικό τύπο και τα αποτελέσματα που θα συλλεγούν από όλα τα πειράματα θα αναλυθούν συγκεντρωτικά στη συνέχεια:

$$\text{Σφάλμα Εκτίμησης: } E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|x_i - \bar{x}|}{x_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|e_i|}{x_i}$$

Στην παραπάνω σχέση με x_i συμβολίζεται η πραγματική τιμή προσφοράς που επιχειρείται να εκτιμηθεί, ενώ με \bar{x}_i συμβολίζεται η εκτίμηση. Για να είναι όμως η ανάλυσή μας ολοκληρωμένη, πρέπει να εξεταστεί άλλη μια στατιστική παράμετρος, η τυπική απόκλιση του σφάλματος που υπολογίζεται από τον παραπάνω τύπο, με σκοπό να επαληθευτεί η ύπαρξη ή όχι θορύβου στα αποτελέσματα, να διασφαλιστεί επί της ουσίας η χρησιμότητα των τεχνικών που αναπτύχθηκαν για την προσέγγιση των τιμών προσφοράς του παροχέα. Μικρές τιμές σε αυτό το μέγεθος θα οδηγήσουν στο συμπέρασμα ότι τα αποτελέσματα είναι αξιόπιστα και επαρκή και σε συνδυασμό και με μικρές τιμές για το σφάλμα, θα ισχυροποιήσουν την πρακτική χρησιμότητα της προσέγγισης που ελέγχθηκε και πειραματικά.

Η τυπική απόκλιση που μετριέται εδώ δίνεται από τη σχέση:
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{|e_i|}{x_i} - E \right)^2}$$
.

Τα αποτελέσματα για την κάθε περίπτωση παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί. Στον πίνακα αυτό μάλιστα παρουσιάζονται στην αρχή και άλλες δυο ενδιαφέρουσες τιμές ανά περίπτωση. Η πρώτη αφορά στον αριθμό των εφικτών συμφωνιών για την κάθε πειραματική οικογένεια, ενώ η δεύτερη συνοψίζει το βαθμό επιτυχίας που επιτυγχάνεται για τις περιπτώσεις που είναι εφικτή μια συμφωνία σε αντίθεση με το σύνολο των περιπτώσεων που καταγράφεται στον πίνακα 4-2. Τα ποιοτικά αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών δεν διαφοροποιούν στο ελάχιστο τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την ανάλυση που προηγήθηκε, ωστόσο χάριν αξιοπιστίας παρατίθενται. Σε αντιστοιχία με τα προηγούμενα αποτελέσματα, το RBF και το MLP είναι αυτά με το μεγαλύτερο βαθμό επιτυχίας, σχεδόν 100% για τις εφικτές περιπτώσεις συμφωνιών, ενώ ακολουθεί το πολυώνυμο 7^{ου} βαθμού με 94.24% και περίπου 10% λιγότερο από τα πρώτα το κυβικό spline. Το γεγονός ότι η επιτυχία των νευρωνικών δικτύων είναι απόλυτη για το σύνολο των εφικτών περιπτώσεων τα καθιστά ως μια εξαιρετικά αξιόλογη επιλογή για την εκτίμηση της επόμενης προσφοράς του αντιπάλου όταν η διαπραγμάτευση είναι πολύ πιθανό να αποτύχει και επιβεβαιώνει την πρακτική χρησιμότητα της προσέγγισης.

Αναφορικά τέλος με το σφάλμα εκτίμησης και την τυπική απόκλιση που μετρήθηκε, η διαπίστωση είναι ότι το νευρωνικό δίκτυο RBF έχει μακράν την καλύτερη συμπεριφορά και επιτυγχάνει τα καλύτερα αποτελέσματα σε σύγκριση με τους υπόλοιπους προσεγγιστές, επιβεβαιώνοντας για ακόμα μια φορά την ορθότητα της επιλογής του και την καταλληλότητά του για το προς επίλυση πρόβλημα. Μάλιστα το σφάλμα που επιτυγχάνεται είναι κάτω από 1% (0.64%), ενώ εντυπωσιακή είναι η σταθερότητά του στις τιμές που καλείται να εκτιμήσει με τυπική απόκλιση μόλις 0.31%. Στα επιμέρους αποτελέσματα, για την πρώτη κατηγορία πειραμάτων και μόνο το σφάλμα ξεπερνάει το 1% κατά μέσο όρο, κλείνοντας στο 1.32%,

ενώ για τις υπόλοιπες περιπτώσεις είναι πολύ κάτω από 0.5%, στο 0.39% κατά μέσο όρο για τη δεύτερη και 0.14% για την τρίτη οικογένεια.

Αναφορικά με τους υπόλοιπους προσεγγιστές, τόσο το σφάλμα, όσο και η τυπική απόκλιση ακολουθεί ποιοτικά, τα χαρακτηριστικά των μεγεθών του RBF, με αρκετά μεγαλύτερες όμως τιμές, σε καμία περίπτωση όμως απαγορευτικές. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το μέγιστο σφάλμα αποδίδεται στο κυβικό spline και είναι ίσο με 3.69%, ενώ για την τυπική απόκλιση η χειρότερη συμπεριφορά αποδίδεται στο MLP με 2.36%. Αξιοσημείωτη είναι και η παρατήρηση ότι όλοι οι προσεγγιστές εμφανίζουν το μεγαλύτερο σφάλμα τους κατά μέσο όρο στην περίπτωση του γραμμικού παροχέα (πρώτη οικογένεια πειραμάτων), ενώ για την τυπική απόκλιση τα πράγματα δεν είναι τόσο ξεκάθαρα μιας και υπάρχει μια ποιοτική ομοιομορφία όσον αφορά στη διακύμανση της τιμής μεταξύ των πειραματικών κατηγοριών στους τρεις από τους τέσσερεις προσεγγιστές, με το πολυώνυμο 7^{ου} βαθμού (μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων) να εμφανίζει τη μεγαλύτερη τιμή τυπικής απόκλισης για την τρίτη οικογένεια των πειραμάτων. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον αμέσως παρακάτω πίνακα, τον πίνακα 4-4.

Πίνακας 4-4. Συγκριτικά αποτελέσματα για το βαθμό επιτυχίας, το σφάλμα και την τυπική απόκλιση του σφάλματος για τις πέντε στρατηγικές

Παράμετροι Πειραμάτων		$p_{\max}^C \in [0,100]$ $L_p \in [100,200]$ $\beta = 1$	$p_{\max}^C = 100$ $L_p \in [100,200]$ $\beta \in [0.1,10]$	$p_{\max}^C \in [0,100]$ $L_p = 200$ $\beta \in [0.1,10]$	Συγκεντρωτικά
Μέγεθος Πειραμάτων		10201	9191	9191	28583
Αριθμός Εφικτών Συμφωνιών		7059	9191	5083	21333
Βαθμός Επιτυχίας στο Σύνολο των Εφικτών Συμφωνιών	fRTFT	72.30%	74.20%	71.67%	72.97%
	MLP	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
	RBF	99.82%	100.00%	100.00%	99.94%
	Cubic Spline	84.25%	93.71%	92.45%	90.28%
	Poly-7	99.39%	91.13%	92.70%	94.24%
Μέσο Σφάλμα Εκτίμησης	MLP	5.74%	2.79%	1.73%	3.50%
	RBF	1.32%	0.39%	0.14%	0.64%
	Cubic Spline	4.91%	3.13%	2.89%	3.69%
	Poly-7	2.02%	1.08%	3.73%	2.27%
Τυπική	MLP	3.93%	1.87%	1.12%	2.36%

Απόκλιση Σφάλματος	RBF	0.72%	0.12%	0.04%	0.31%
	Cubic Spline	2.81%	2.02%	1.47%	2.13%
	Poly-7	1.03%	0.51%	1.89%	1.14%

Συνδυάζοντας όλα τα πειραματικά αποτελέσματα που συλλέχθηκαν και παρουσιάζονται στην ενότητα αυτή, επιχειρήθηκε πολλές φορές να αποφασιστεί ο καταλληλότερος προσεγγιστής, τίτλος ο οποίος αποδόθηκε σε πολλά σημεία του κειμένου στο νευρωνικό δίκτυο RBF για τη σταθερότητα που επέδειξε, τις περιορισμένες απαιτήσεις του σε υπολογιστικούς και αποθηκευτικούς πόρους, αλλά και το εξαιρετικά χαμηλό σφάλμα που πέτυχε στη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων. Από την πλευρά του το MLP κρίθηκε υπολειπόμενο εξαιτίας του σφάλματος και του αισθητά μεγαλύτερου χρόνου που απαιτεί για την εκπαίδευση και την εξομοίωσή του, ενώ το πολυώνυμο 7^{ου} βαθμού απέτυχε να ξεχωρίσει πάνω από το RBF, εξαιτίας των προβλημάτων ταλάντωσης από τα οποία υποφέρει, που αύξησαν το σφάλμα και μείωσαν τον βαθμό επιτυχίας που πετύχαινε κατά μέσο όρο. Μετά από την ανάλυση αυτή αυτό που μπορεί να ειπωθεί με βεβαιότητα είναι ότι τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν και τα συμπεράσματα που εξήχθησαν είναι αξιόπιστα και αντιπροσωπευτικά, εξαιτίας του τεράστιου, για τα δεδομένα της περιοχής των αυτοματοποιημένων διαπραγματεύσεων, αριθμού πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν, εξετάζοντας τη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων που μπορούν να ανακύψουν στην πράξη. Στην ενότητα που ακολουθεί επιχειρείται να εξεταστούν οι προσεγγιστές ανεξάρτητα από τη fRTFT στρατηγική του πελάτη και να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα που ανακύπτουν για τη γενική αυτή περίπτωση χάριν ολοκλήρωσης των αναζητήσεων που πραγματοποιούνται για τη μέγιστη δυνατή αξιοπιστία της λύσης που προτείνεται.

4.4.1 Αποσύζευξη των Αποτελεσμάτων από την Πολιτική του Πελάτη

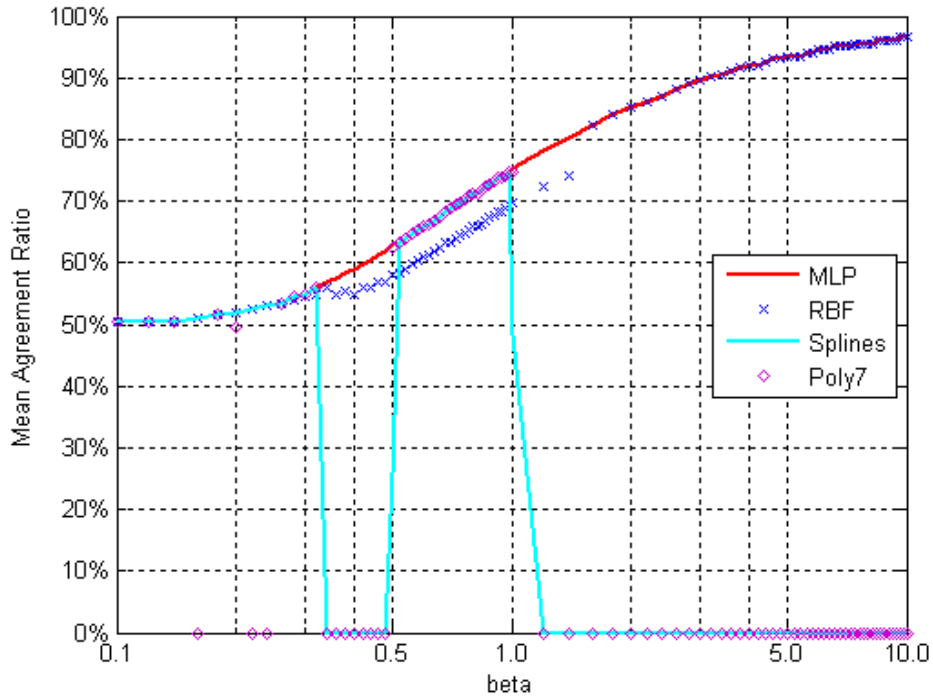
Στην ενότητα αυτή θα επιχειρηθεί να αποσυζευχθεί η στρατηγική του πελάτη, που επιλέχθηκε να είναι η ουδέτερη fRTFT, από τα αποτελέσματα εφαρμογής των τεσσάρων προσεγγιστών, προκειμένου να αποτιμηθεί η χρησιμότητά τους και για οποιαδήποτε τυχαία στρατηγική πελάτη. Βασική προϋπόθεση και σε αυτή την περίπτωση, είναι ότι μέχρι το σημείο που πραγματοποιείται η εκτίμηση από το μηχανισμό που προτείνεται, δεν έχει γίνει καμία συμφωνία αγοράς και πώλησης μεταξύ των δυο συμμετεχόντων. Στο σχήμα 4-9 παρουσιάζεται ο βαθμός επιτυχίας κατά μέσο όρο και για τους τέσσερις προσεγγιστές, όταν ο πελάτης ακολουθεί μια οποιαδήποτε τυχαία στρατηγική και δεν έχει επιτευχθεί συμφωνία μέχρι το σημείο στο οποίο γίνεται η εκτίμηση. Οι τιμές στις συγκεκριμένες πειραματικές μετρήσεις διαμορφώνονται κατ' αντιστοιχία ως εξής: $[p_{\min}^p, p_{\max}^p] = [0, 100]$, $p_{\min}^c = 0$,

$L_C = 100$, $p_{\max}^C \in [0,100] \Rightarrow \text{Price Intervals Overlap} \in [0\%,100\%]$, $L_p = [100,200]$, και $\beta \in [0.1,10]$.

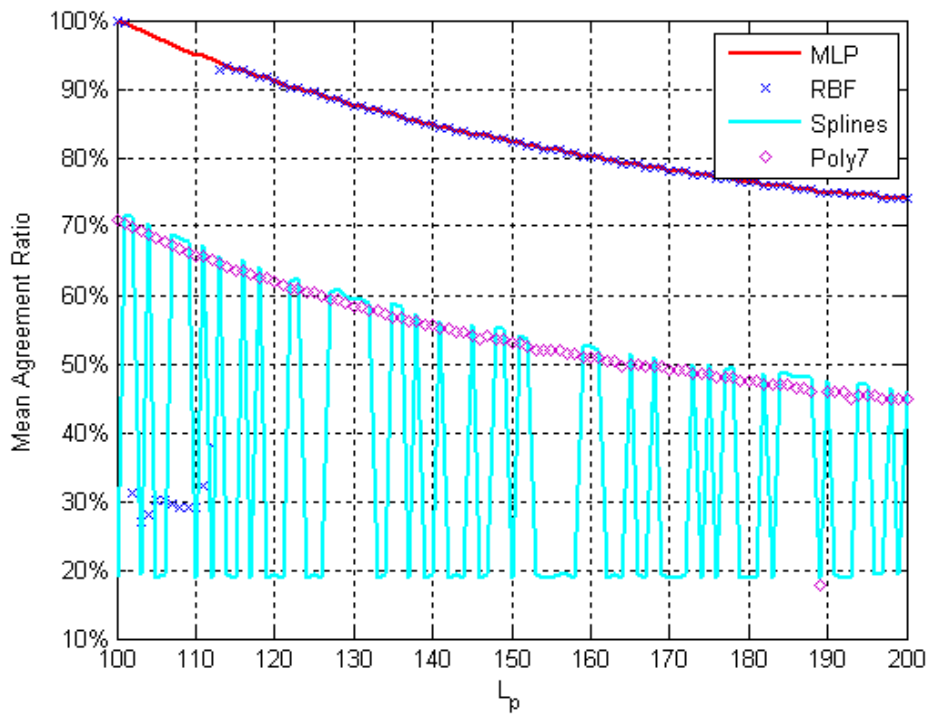
Στο σχήμα 4-9.α απεικονίζονται τα αποτελέσματα για 18382 πειράματα για διαφορετικούς ρυθμούς σύγκλισης του παροχέα. Όπως μπορεί να γίνει εύκολα κατανοητό, τα νευρωνικά δίκτυα υπερτερούν και πάλι με ξεκάθαρο τρόπο των πολυωνυμικών προσεγγιστών, ενώ εμφανίζουν μια αξιοσημείωτη σταθερότητα σε σύγκριση με αυτούς, επαληθεύοντας τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν και προηγούμενα. Από τα δυο νευρωνικά δίκτυα, το MLP εμφανίζει οριακά καλύτερη συμπεριφορά αναφορικά με τον αριθμό των συμφωνιών που επιτυγχάνει, ενώ σε πολύ κοντινή απόσταση ακολουθούν οι συμφωνίες για το δίκτυο RBF, επαληθεύοντας και πάλι ποιοτικά και στο μέγιστο βαθμό τα όσα παρουσιάστηκαν και τονίστηκαν στην προηγούμενη ενότητα αναφορικά με το ποσοστό συμφωνιών που επιτυγχάνονται και τη σχέση των επιτυχιών μεταξύ των δυο δικτύων.

Στο σχήμα 4-9.β, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των 19392 πειραμάτων που εκτελέστηκαν σε συνάρτηση με το χρονικό περιθώριο του παροχέα, ενώ και οι άλλες παράμετροι μεταβάλλονταν αντίστοιχα. Στην περίπτωση αυτή, παρατηρείται η αδυναμία των splines να πετύχουν υψηλούς αριθμούς συμφωνιών και να ακολουθήσουν τους υπόλοιπους προσεγγιστές, πετυχαίνοντας συμφωνίες σε εύρος 20-70% και με μεγάλη μάλιστα αστάθεια καθώς μεταβάλλεται το χρονικό περιθώριο του πελάτη. Από την άλλη πλευρά η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων με τη χρήση του πολυωνύμου 7^{ου} βαθμού κινείται στο εύρος 45-70%, με αξιοσημείωτη όμως σταθερότητα, αποτυγχάνοντας όμως να ακολουθήσει σε μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα των νευρωνικών δικτύων, που εμφανίζουν σε κάθε περίπτωση περίπου 30% καλύτερα αποτελέσματα σε επίπεδο συμφωνιών. Από τα δυο νευρωνικά δίκτυα, εκείνο με τη μεγαλύτερη σταθερότητα είναι και πάλι το MLP, μιας και το RBF στα μικρά χρονικά περιθώρια παρουσιάζει χαμηλή απόκριση σε συμφωνίες, για περιορισμένο όμως διάστημα και αυτό. Μάλιστα, το ποσοστό επιτυχίας των νευρωνικών δικτύων και ειδικά του MLP κινείται στο ιδιαίτερος αποδοτικό διάστημα 75-100%.

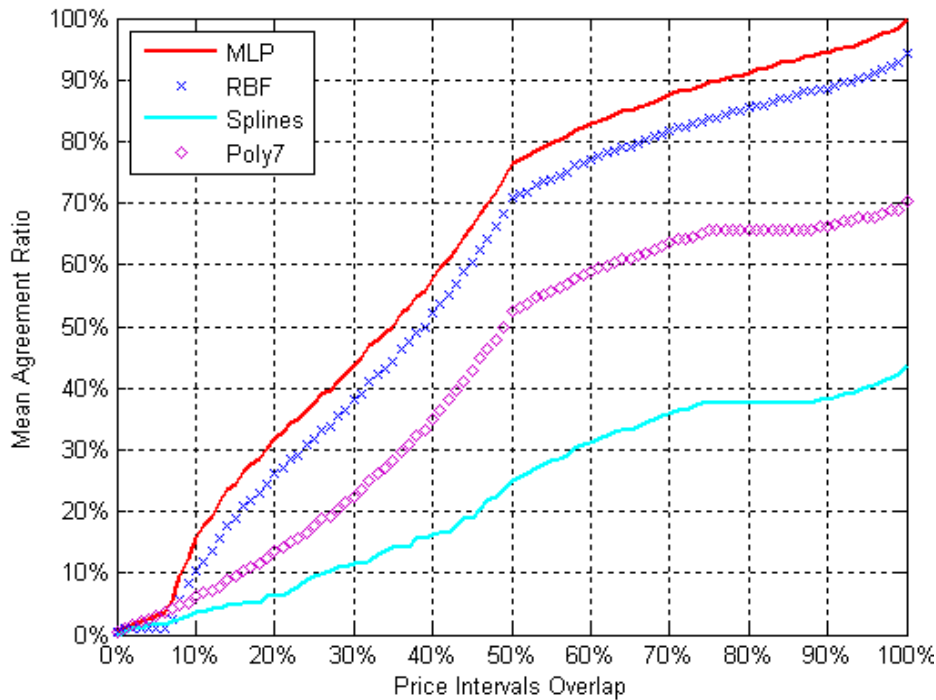
Τέλος, στο σχήμα 4-9.γ απεικονίζονται τα αποτελέσματα για 19392 πειράματα για διαφορετικές περιοχές επικάλυψης των δύο συμμετεχόντων και κατά μέσο όρο, όπως και προηγούμενα. Όπως είναι αναμενόμενο, όλοι οι προσεγγιστές εμφανίζουν καλύτερα αποτελέσματα σε ποσοστά συμφωνιών, όσο το διάστημα επικάλυψης των τιμών τους αυξάνεται και αυτό είναι προφανές και έχει αναλυθεί και στην προηγούμενη ενότητα. Τα αποτελέσματα και πάλι δείχνουν ότι η ιεραρχία απόδοσης δεν αλλάζει με το MLP να είναι το αποδοτικότερο, να ακολουθεί κοντά του το RBF σε απόδοση και στη συνέχεια κατά σειρά, το πολυώνυμο 7^{ου} βαθμού και τέλος και πάλι το spline. Μάλιστα, οι κορυφές επιτυχίας για τους τέσσερεις προσεγγιστές αγγίζουν το 100% για το MLP, το 94% για το RBF, το 70% για το πολυώνυμο και τέλος μόλις το 45% για το κυβικό spline.



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 4-9. Μέσο ποσοστό επιτυχίας για τον αριθμό των συμφωνιών των τεσσάρων προσεγγιστών για διάφορους: (α) ρυθμούς σύγκλισης, (β) χρονικά περιθώρια πελάτη, (γ) διάστημα επικάλυψης τιμών των συμμετεχόντων

Από την ανάλυση που προηγήθηκε φαίνεται ότι όταν οι προσεγγιστές, όταν συνδυάζονται με τυχαίες στρατηγικές διαπραγμάτευσης στην πλευρά του πελάτη και επιθυμείται η προσέγγιση των προσφορών που προκύπτουν από τυχαίες στρατηγικές παροχέα, πετυχαίνουν σημαντική αύξηση στις συμφωνίες που διαφορετικά θα ήταν αδύνατες. Μάλιστα, για αρκετές περιπτώσεις ομαλών συνθηκών διαπραγμάτευσης (λογικά χρονικά περιθώρια, μεγάλη επικάλυψη τιμών μεταξύ των δυο συμμετεχόντων, ουδέτεροι ρυθμοί σύγκλισης), οι συμφωνίες που επιτυγχάνονται είναι κοντά στο 100%. Αυτά τα ποσοστά χαρακτηρίζουν τα νευρωνικά δίκτυα που αποτελούν και τη σοφότερη και αποδοτικότερη επιλογή όπως αποδείχθηκε και από τα πειράματα στην προηγούμενη ενότητα. Συμπεραίνουμε επομένως, ότι ανεξάρτητα από τη στρατηγική του αντιπάλου πράκτορα, οι μηχανισμοί που προτείνονται θεωρούνται εξαιρετικά χρήσιμοι για την αποφυγή ανεπιτυχών διαπραγματεύσεων.

4.5 Σύγκριση με Άλλους Προσεγγιστές

Η επιλογή του πολυωνύμου 7^{ου} βαθμού και των κυβικών splines δεν έγινε ούτε αυθαίρετα, ούτε και τυχαία. Εκτός από τους συγκεκριμένους, εξετάστηκε η πιθανότητα και άλλοι

αριθμητικοί προσεγγιστές να είναι κατάλληλοι για το περιβάλλον διαπραγμάτευσης και την εκτίμηση της επόμενης τιμής προσφοράς του αντιπάλου. Προτού αποφασιστούν οι προσεγγιστές που θα εξετάζονταν, διάφοροι άλλοι αριθμητικοί προσεγγιστές, εξαιρετικά δημοφιλείς αποκλείστηκαν, όπως για παράδειγμα, προσεγγιστές Fourier, κλασματικοί και τριγωνομετρικοί (Schatzman 2002) μιας και είναι κατάλληλοι για περιοδικές συναρτήσεις, ενώ στο συγκεκριμένο πρόβλημα οι στρατηγικές του αντιπάλου σε καμία περίπτωση δεν έχουν τη μορφή αυτή, αλλά είναι γνησίως μονότονες σε όλο το διάστημα ενδιαφέροντος, βασική αρχή για τη διασφάλιση δικαιοσύνης στις διαδικασίες: ο αντίπαλος μπορεί μόνο είτε να μειώνει (ακόμα και σε ελάχιστο βαθμό), είτε να αυξάνει την προσφορά του, ανάλογα με τη θέση του, καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας, αλλά ποτέ να παραβιάζει την αρχή αυτή.

Μετά τον αποκλεισμό των παραπάνω προσεγγιστών, απομένουν τέσσερις δημοφιλείς οικογένειες για συναρτήσεις της μορφής που αναμένουμε στις αυτοματοποιημένες διαπραγματεύσεις: εκθετικοί, πολυωνυμικοί, splines και Gaussian (Schatzman 2002). Στο σημείο αυτό, και έχοντας παρουσιάσει τους πολυωνυμικούς προσεγγιστές και τα splines, θα αναφερθούν κάποια εισαγωγικά στοιχεία για τους άλλους δυο προκειμένου να γίνει κατανοητός ο τρόπος λειτουργίας τους. Τέλος, θα παρουσιαστούν κάποια πειραματικά αποτελέσματα, που θα δικαιολογήσουν την τελική επιλογή που δεν περιλαμβάνει τις οικογένειες αυτές και θα αιτιολογηθούν έτσι οι λόγοι του αποκλεισμού τους.

Από τη μία έχουμε τους εκθετικούς προσεγγιστές συναρτήσεων, που χρησιμοποιούνται συχνά όταν ο ρυθμός μεταβολής μιας ποσότητας είναι ευθέως ανάλογος με την ίδια την ποσότητα. Οι εκθετικοί προσεγγιστές περιγράφονται επισήμως από την

ακόλουθη εξίσωση: $y = \sum_{i=1}^n a_i e^{b_i x}$, όπου $n \leq 2$ στην πλειονότητα των περιπτώσεων.

Υπάρχουν πολλές περιοχές στις οποίες οι προσεγγιστές αυτοί είναι ευρέως χρησιμοποιούμενοι, όπως για παράδειγμα στη μετεωρολογία (Cogley and Borucki 1976), στη βιολογία και σε άλλες ιατρικές επιστήμες, όπου εξετάζονται κάποιοι πληθυσμοί που ο ρυθμός αύξησής τους ακολουθεί εκθετικά πρότυπα (Neal 2003), ενώ τέλος υπάρχουν και κάποιες αξιοσημείωτες εφαρμογές τους στις περιβαλλοντικές επιστήμες (Ramos 2004). Στο προτεινόμενο περιβάλλον διαπραγμάτευσης, ο παροχέας μπορεί να ακολουθεί εκθετική συμπεριφορά αν υιοθετεί την αντίστοιχη εκθετική στρατηγική. Παρόλα αυτά όμως, η εμπειρική εκτίμηση που έγινε έδειξε ότι ένας πολυωνυμικός προσεγγιστής συγκεκριμένου βαθμού μπορεί να εκτιμήσει τις μελλοντικές προσφορές ενός εκθετικού παροχέα και μάλιστα με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα, κάτι που δε συμβαίνει για έναν εκθετικό προσεγγιστή.

Από την άλλη πλευρά, οι Gaussian προσεγγιστές χρησιμοποιούνται ευρέως για την προσαρμογή κορυφών σε συναρτήσεις με συγκεκριμένους τύπους. Περιγράφονται δε από την

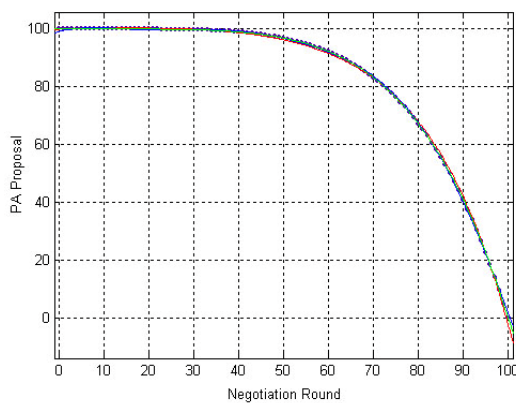
ακόλουθη εξίσωση, $y = \sum_{i=1}^n a_i e^{-\frac{(x-b_i)^2}{c_i}}$, όπου a είναι το πλάτος, b είναι η θέση του Gaussian

κέντρου, c είναι η παράμετρος που καθορίζει το εύρος των κορυφών και τέλος, n είναι ο αριθμός των κορυφών που πρέπει να προσεγγιστούν (συνήθως ισχύει $n \leq 8$). Αυτού του τύπου η προσέγγιση είναι κατάλληλη για περιπτώσεις όπου τα πραγματικά δεδομένα ακολουθούν κανονική κατανομή, όπως για παράδειγμα σε επιστήμες όπως η χημεία, οι τηλεπικοινωνίες, η στατιστική, κλπ. (Spiegel 1982). Και όπως αποδεικνύει η εμπειρική προσέγγιση που διενεργήθηκε, ένας τέτοιου τύπου προσεγγιστής μπορεί να λειτουργήσει αποδοτικά μόνο σε συγκεκριμένες περιπτώσεις των πολυωνυμικών και εκθετικών στρατηγικών του παροχέα. Δυστυχώς όμως αποτυγχάνει για ένα μεγάλο αριθμό άλλων περιπτώσεων και για το λόγο αυτό απορρίπτεται όπως θα φανεί και παρακάτω. Στα πειράματα που θα παρουσιαστούν εδώ, χρησιμοποιήθηκε Gaussian προσεγγιστής 6 κορυφών, μιας και αυτή η προσέγγιση παρουσίαζε την καλύτερη συμπεριφορά για την πλειοψηφία των πολυωνυμικών και εκθετικών στρατηγικών διαπραγμάτευσης που υιοθετεί ο παροχέας.

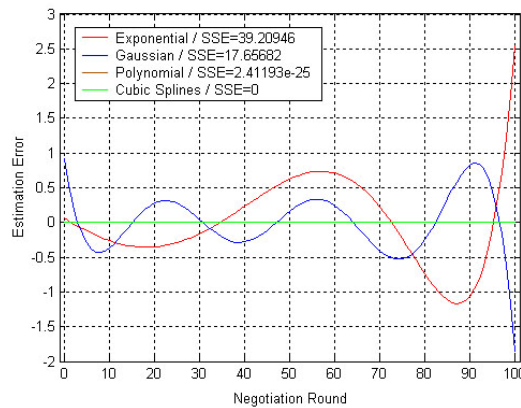
Στο σημείο αυτό θα περιγραφούν τα αποτελέσματα των πειραμάτων που διενεργήθηκαν για την αποτίμηση της συμπεριφοράς του κάθε προσεγγιστή ξεχωριστά και θα αιτιολογηθούν οι λόγοι που οδήγησαν στην επιλογή του πολυωνυμικού προσεγγιστή και του κυβικού spline ως οι καταλληλότεροι να εκτιμήσουν τη συμπεριφορά του παροχέα στο περιβάλλον διαπραγμάτευσης που υλοποιήθηκε για το σκοπό αυτό. Η απόδοση των τεσσάρων προσεγγιστών αποτιμάται για τις περιπτώσεις που ο παροχέας ακολουθεί πολυωνυμική στρατηγική και για πέντε διαφορετικές τιμές της παραμέτρου σύγκλισης β : $\beta = 0.2$, $\beta = 0.5$, $\beta = 1$, $\beta = 2$ και $\beta = 5$, με στόχο να καλυφθεί το σύνολο των διαφορετικών ρυθμών έστω και με αυτά τα λίγα δείγματα. Στα σχήματα 4-10 μέχρι και 4-14 η απόδοση αυτή απεικονίζεται και γραφικά για τους διάφορους ρυθμούς σύγκλισης για ένα σύνολο 100 διαπραγματευτικών γύρων (όσο και το χρονικό περιθώριο που έχει επιλεγεί για τον πελάτη). Πιο συγκεκριμένα, στα σχήματα 4-10.α, 4-11.α, 4-12.α, 4-13.α και 4-14.α εμφανίζεται η εκτίμηση που πραγματοποιεί ο εκάστοτε προσεγγιστής για τις στρατηγικές του παροχέα (απεικονίζονται με διακεκομμένη γραμμή), ενώ στα σχήματα 4-10.β, 4-11.β, 4-12.β, 4-13.β και 4-14.β απεικονίζεται η απόκλιση των εκτιμήσεων από την πραγματική προσφορά για κάθε γύρο διαπραγμάτευσης. Εδώ λοιπόν, αυτό που γίνεται είναι η εκτίμηση των επόμενων τιμών σε κάθε βήμα, που πρακτικά δεν διαφέρει από τον προτεινόμενο μηχανισμό, αφού και εκεί η εκτίμηση που πραγματοποιείται είναι για την επόμενη και τελευταία προσφορά.

Όπως μπορεί κανείς να παρατηρήσει στα σχήματα αυτά, για περιπτώσεις αργής σύγκλισης ($\beta \leq 1$), τα splines και το πολυώνυμο, προσεγγίζουν καλύτερα σε σύγκριση με τις άλλες δυο μεθόδους και εμφανίζουν εξαιρετικά χαμηλό σφάλμα (SSE: Sum of Squared

Errors, όπως φαίνεται στο σχήμα). Όσο το β μεγαλώνει, το σφάλμα για το πολυώνυμο μεγαλώνει, ενώ το αντίστοιχο για τον Gaussian προσεγγιστή μειώνεται σημαντικά. Παρόλα αυτά όμως, ακόμα και σε αυτή την περίπτωση, ο πολυωνυμικός προσεγγιστής εμφανίζεται καλύτερος, μιας και το υψηλό του σφάλμα οφείλεται στους αρχικούς γύρους εκτίμησης της επόμενης τιμής και όχι τόσο όσο η διαδικασία οδεύει προς το τέλος της, όπου το σφάλμα γίνεται και πάλι αρκετά μικρό. Είναι δε εμφανής, η αστάθεια που εμφανίζει η μέθοδος gauss, όπως στα σημεία κοντά στον 100^ο γύρο όπου το σφάλμα είναι μεγάλο. Τέλος, παρόμοια είναι και η συμπεριφορά του εκθετικού προσεγγιστή, με σημαντικές ακμές απόκλισης, όπως φαίνεται και από τα παρακάτω σχήματα, καθιστώντας το spline και το 7^ο βαθμού πολυώνυμο, τους καταλληλότερους αριθμητικούς προσεγγιστές και αιτιολογώντας την επιλογή που πραγματοποιήθηκε.

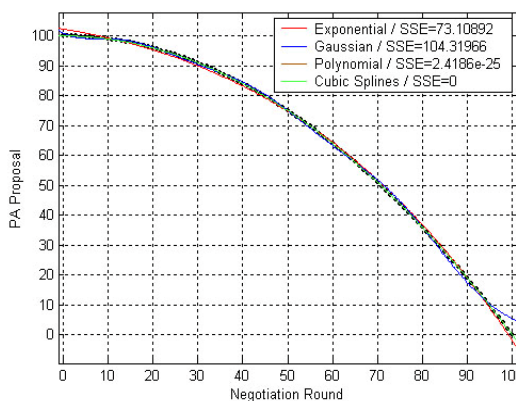


(α)

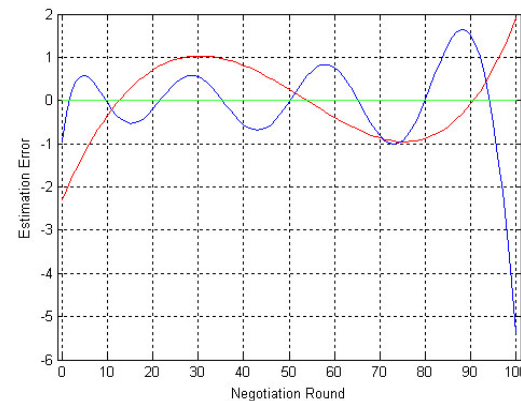


(β)

Σχήμα 4–10. Απόκλιση της εκτίμησης των τεσσάρων προσεγγιστών από την πραγματική προσφορά του παροχέα όταν $\beta = 0.2$

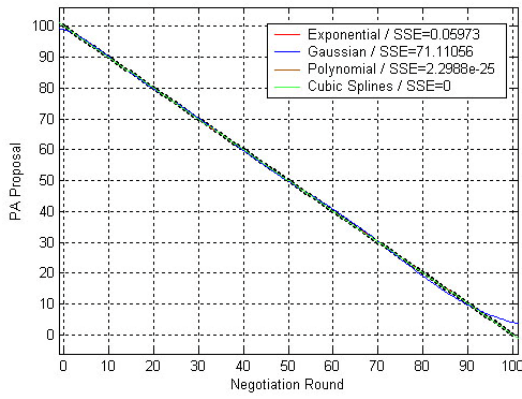


(α)

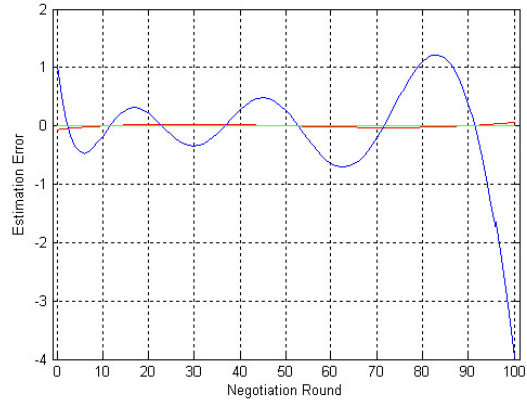


(β)

Σχήμα 4–11. Απόκλιση της εκτίμησης των τεσσάρων προσεγγιστών από την πραγματική προσφορά του παροχέα όταν $\beta = 0.5$

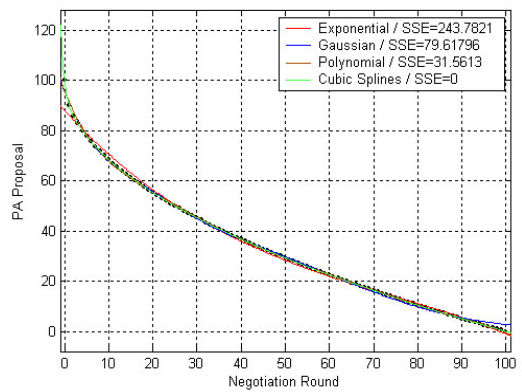


(α)

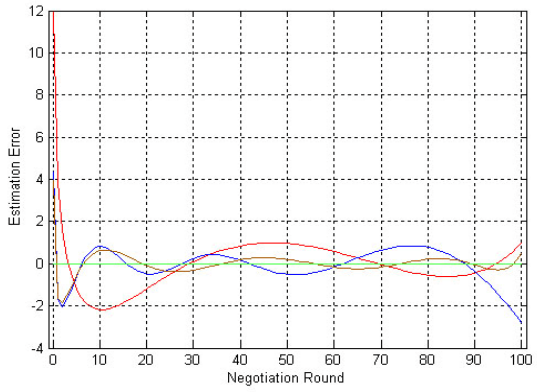


(β)

Σχήμα 4–12. Απόκλιση της εκτίμησης των τεσσάρων προσεγγιστών από την πραγματική προσφορά του παροχέα όταν $\beta = 1$

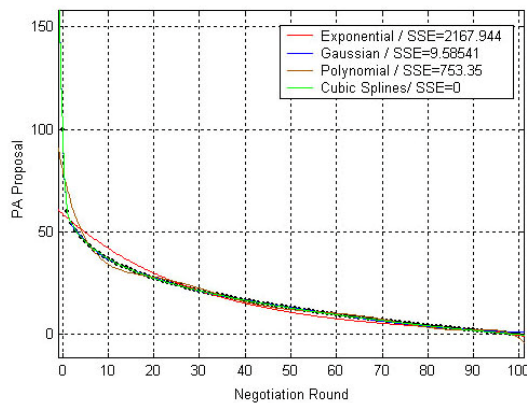


(α)

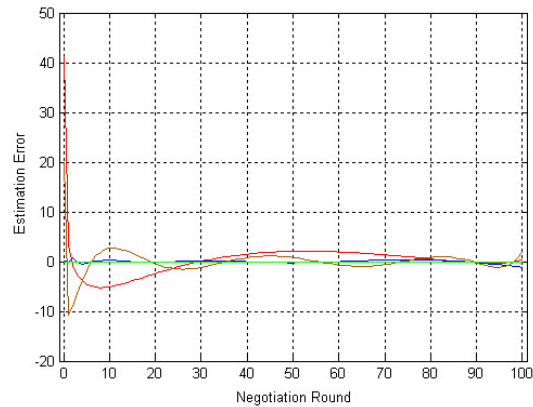


(β)

Σχήμα 4–13. Απόκλιση της εκτίμησης των τεσσάρων προσεγγιστών από την πραγματική προσφορά του παροχέα όταν $\beta = 2$



(α)



(β)

Σχήμα 4–14. Απόκλιση της εκτίμησης των τεσσάρων προσεγγιστών από την πραγματική προσφορά του παροχέα όταν $\beta = 5$

Κλείνοντας την παρούσα ενότητα και παρά το γεγονός ότι τα splines διακρίνονται για το μικρότερο σφάλμα, η αποδοτικότητά τους αναφορικά με τον αριθμό των συμφωνιών που

έχουν επιτευχθεί δεν είναι καλύτερη σε σχέση με αυτή του πολυωνύμου 7^{ου} βαθμού, όπως παρουσιάστηκε και στις προηγούμενες ενότητες. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί αποκλειστικά στην αδυναμία επέκτασης (extrapolation) που απαιτείται για την προσφορά του τελευταίου γύρου. Έτσι, παρόλο που τα splines εμφανίζονται θεωρητικά αποδοτικότερα αποδεικνύονται αδύναμα να προβούν σε σωστή επέκταση, όπως φαίνεται και σε πληθώρα άλλων περιπτώσεων (Brezinski and Redivo Zaglia 1991). Όμως, ακόμα και σε περιπτώσεις που η επέκταση μπορεί να είναι αποδοτική, υπάρχει η πιθανότητα τα splines να εκτιμούν μια τιμή ελαφρώς μικρότερη από την επόμενη προσφορά του παροχέα, η οποία όμως δεν μπορεί να γίνει αποδεκτή από αυτόν στον τελευταίο γύρο διαπραγμάτευσης. Αυτοί οι δυο λόγοι είναι που καθιστούν το spline αποδοτικό θεωρητικά αλλά όχι ικανό στην πράξη για το συγκεκριμένο περιβάλλον διαπραγμάτευσης.

4.6 Επεκτείνοντας την Προσέγγιση για Περιπτώσεις Διαπραγματεύσεων Πολλαπλών Πόρων

Η ανάλυση που προηγήθηκε αφορά αποκλειστικά περιπτώσεις διαπραγματεύσεων με μονό αγαθό. Ωστόσο, στην πραγματικότητα, είναι πολλές οι περιπτώσεις όπου οι διαδικασίες περιλαμβάνουν περισσότερα του ενός αγαθά. Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται το υπόβαθρο για την επέκταση των τεχνικών που παρουσιάστηκαν για διαπραγματεύσεις πολλαπλών αγαθών.

Η βασικές προσεγγίσεις που έχουν παρουσιαστεί αναφορικά με τις διαδικασίες πολλαπλών διαπραγματεύσεων συνοψίζονται στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες (Raiffa 1982):

- Η προσέγγιση package-deal, όπου όλα τα αγαθά διαπραγματεύονται με τον ίδιο τρόπο σαν ένα πακέτο.
- Η ακολουθιακή προσέγγιση, όπου τα αγαθά διαπραγματεύονται το ένα μετά το άλλο ακολουθιακά
- Η παράλληλη προσέγγιση όπου τα αγαθά διαπραγματεύονται παράλληλα και ανεξάρτητα το ένα από το άλλο.

Η πρώτη προσέγγιση από τις τρεις, είναι γνωστό ότι παράγει Pareto βέλτιστες λύσεις (Raiffa 1982)(Fatima et.al. 2006), αλλά οδηγεί σε διαδικασίες που είναι πολύ σύνθετες και χρονοβόρες. Η παράλληλη προσέγγιση ακολουθείται σε περιπτώσεις που τα αγαθά είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους και κρίνεται ακατάλληλη όταν αυτά έχουν οποιαδήποτε σχέση (Fatima et.al. 2006). Τέλος, η ακολουθιακή προσέγγιση δεν παράγει βέλτιστα αποτελέσματα αλλά εμφανίζεται πολύ απλούστερη από την package-deal, και είναι επαρκής για περιπτώσεις που τα αγαθά υπό διαπραγμάτευση είναι σχετικά μεταξύ τους (Fatima et.al. 2006). Έτσι, στην

προσπάθεια να επεκταθεί το προτεινόμενο περιβάλλον για την υποστήριξη διαπραγματεύσεων πολλαπλών μερών, υιοθετείται η προσέγγιση που παρουσιάζεται στη συνέχεια.

Ας υποθέσουμε ότι με C συμβολίζεται ο πράκτορας του πελάτη, ενώ με P αυτός του παροχέα. Αυτά τα δυο μέρη διαπραγματεύονται για τα αγαθά $x_i, i=1, \dots, n$ της ίδιας υπηρεσίας ή προϊόντος και συμβολίζουμε με $\bar{x} = \{x_i\}$ το σύνολο αυτών. Έστω ότι $x_{i \min}^a$ ($x_{i \max}^a$) συμβολίζεται η μικρότερη (μεγαλύτερη) αποδεκτή τιμή για τον πράκτορα $a \in \{C, P\}$ αναφορικά με το αγαθό x_i . Τότε, μια προσφορά θα απορρίπτεται σε κάθε περίπτωση από τον πράκτορα αυτό (a) αν $x_i \notin [x_{i \min}^a, x_{i \max}^a]$ για κάθε αγαθό. Εισάγουμε τώρα την έννοια της συνάρτησης ικανοποιησιμότητας για το προτεινόμενο περιβάλλον ως εξής: $U^a(\bar{x}): [x_{i \min}^a, x_{i \max}^a] \rightarrow [0,1]$ που εκφράζει την ικανοποίηση που αποδίδει ο πράκτορας a σε μια προσφορά \bar{x} για τα διαπραγματευόμενα αγαθά, στα όρια πάντοτε των αποδεκτών τιμών. Εισάγουμε επίσης, τη σημαντικότητα του αγαθού x_i για τον πράκτορα a ως εξής:

$$S_i^a = \frac{\partial}{\partial x_i} \{U^a(\bar{x})\}. \text{ Ο βαθμός εξάρτησης για το αγαθό } x_i \text{ τότε είναι: } DD_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{\partial x_i}{\partial x_j}.$$

λογική της παρούσας προσέγγισης είναι η διαπραγμάτευση πάνω σε όλο το σύνολο των αγαθών ακολουθιακά, ξεκινώντας από αυτό με τη μεγαλύτερη σημαντικότητα για τον εκάστοτε πράκτορα που μας ενδιαφέρει (εδώ ο πελάτης) και τη διαδικασία να συνεχίζεται ως εξής:

Αν $\bar{x}_{\min U}^C$ είναι το διάνυσμα των τιμών των αγαθών που ελαχιστοποιούν τη συνολική ικανοποιησιμότητα του πελάτη, τότε το πρώτο αγαθό x_i που πρέπει να επιλεγεί για διαπραγμάτευση είναι αυτό που μεγιστοποιεί την ποσότητα: $\left. \frac{S_i^a}{DD_i} \right|_{\bar{x}_{\min U}^C}$.

Στη γενική περίπτωση όπου: (i) τα αγαθά $x_j, j=1, \dots, k$ έχουν ήδη διαπραγματευτεί στις προηγούμενες k διαδικασίες, και (ii) οι τιμές συμφωνίας των αγαθών αυτών είναι: x_j^* ($j=1, \dots, k$), ενώ (iii) οι τιμές συμφωνίας για τα αγαθά $x_j, j=k+1, \dots, n$ μένουν να συμφωνηθούν κατόπιν διαπραγματεύσεων, τότε, το επόμενο αγαθό x_i που θα επιλεγεί για

διαπραγμάτευση είναι αυτό που μεγιστοποιεί την ποσότητα: $\left. \frac{S_i^a}{DD_i^k} \right|_{\bar{x}_{\min U}^k}$, όπου

$$DD_i^k = \sum_{\substack{l=1 \\ x_l \neq x_j (j=1, \dots, k)}}^{n-k} \frac{\partial x_l}{\partial x_j} \Big|_{x_j=x_j^* (j=1, \dots, k)} \quad \text{και} \quad \overline{x_{\min U k}^C} \quad \text{είναι το διάνυσμα των τιμών των αγαθών}$$

$x_j = x_j^*$ για $j = 1, \dots, k$ και x_j για $j = k + 1, \dots, n$ τίθεται ώστε η συνολική ικανοποιησιμότητα του πελάτη να ελαχιστοποιείται.

Όπως ήδη αναλύθηκε, η προτεινόμενη προσέγγιση καθυστερεί τη διαπραγματευτική διαδικασία για τα πιο εξαρτώμενα και λιγότερα σημαντικά αγαθά κατά το δυνατό περισσότερο. Τα αρχικά πειράματα για περιπτώσεις μέχρι πέντε αγαθών υπό διαπραγμάτευση δείχνουν ότι η προσέγγιση αυτή παράγει καλά αποτελέσματα με κριτήρια ικανοποιησιμότητας του πελάτη και για τη συνολική συμφωνία. Τα αποτελέσματα αυτά δεν είναι βέλτιστα, αλλά είναι κοντά στα βέλτιστα στην περίπτωση που τα αγαθά δεν εξαρτώνται σημαντικά από τα άλλα αγαθά υπό διαπραγμάτευση (ο βαθμός εξάρτησης δεν είναι υψηλός).

Η προτεινόμενη λύση για την επέκταση των μονού αγαθού διαδικασιών σε πολλαπλών αγαθών είναι μια γενική προσέγγιση και κρίνεται εφαρμόσιμη σε όλες τις περιπτώσεις. Η αποτίμηση μάλιστα για διαφορετικές συναρτήσεις ικανοποιησιμότητας και σχήματα εξάρτησης μεταξύ των αγαθών μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο περαιτέρω έρευνας.

4.7 Σύνοψη και Συμπεράσματα

Οι αυτόνομοι πράκτορες είναι μια πολύ σημαντική τεχνολογία που πλέον είναι σε θέση να βελτιώσουν την αποδοτικότητα των διαδικασιών διαπραγμάτευσης, συμβάλλοντας με τη γνώση που μπορούν να αποκτήσουν από το ίδιο το περιβάλλον, στην αποφυγή ανεπιτυχών διαδικασιών που οδηγούν στη σπατάλη πόρων και χρόνου στα σύγχρονα ηλεκτρονικά περιβάλλοντα. Το κεφάλαιο αυτό ασχολείται και παρουσιάζει τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή μηχανισμών αποφυγής ανεπιτυχών διαδικασιών σε μονού αγαθού διμερείς διαδικασίες όπου οι πράκτορες που συμμετέχουν είναι αυτόνομοι, ανταγωνιστικοί και δεν εμφανίζουν καμία διάθεση να αποκαλύψουν οποιαδήποτε ιδιωτική πληροφορία. Παρουσιάζεται δε, η διαδικασία σχεδίασης και ελέγχου ενός μηχανισμού εκτίμησης της επόμενης προσφοράς του αντιπάλου που ενισχύει τη στρατηγική του πελάτη και τον καθιστά ικανό να προβεί στο σχηματισμό προσφορών που οδηγούν σε συμφωνία όταν οι πιθανότητες αποτυχίας της διαπραγμάτευσης είναι πολλές, μιας και έχει σχεδόν εξαντληθεί το χρονικό περιθώριο που έχουν οι πράκτορες στη διάθεσή τους. Οι τεχνικές που υλοποιούνται δεν απαιτούν καμία γνώση ιδιωτικής πληροφορίας του αντιπάλου, παρά μόνο τις τελευταίες προσφορές του και έτσι είναι κατάλληλες και για διαδικασίες μονού

στιγμιότυπου. Στο περιβάλλον αυτό, οι τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν είναι: MLP και RBF νευρωνικά δίκτυα, πολυώνυμο 7^{ου} βαθμού με μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων και κυβικό spline. Οι τέσσερις αυτοί προσεγγιστές υποβλήθηκαν σε πάνω από 28500 πειράματα διαπραγματεύσεων μονού στιγμιότυπου για την αποτίμηση της απόδοσής τους σε κάθε περίπτωση και με μεταβολή όλων των παραμέτρων που μπορούν να επηρεάσουν τη διαδικασία. Τα πειράματα αυτά έδειξαν ότι σε κάθε περίπτωση, η πρόταση για προσάρτηση των προσεγγιστών στον πράκτορα του πελάτη για την αποφυγή ανεπιτυχών διαπραγματεύσεων είναι μια πολύ έξυπνη κίνηση, μιας και η βελτίωση που επιτυγχάνεται αγγίζει το 39.5% σε σχετικό βαθμό. Πιο συγκεκριμένα, τα νευρωνικά δίκτυα αποδίδουν εξίσου καλά και υπερτερούν των αριθμητικών προσεγγιστών κατά ~7% και 4% (μέσο όρο) για το πολυώνυμο και το spline αντίστοιχα. Παρόμοια αποτελέσματα επιτυγχάνονται στην περίπτωση που ο πελάτης ακολουθεί τυχαία στρατηγική και όχι την fRTFT, ενώ σε κάθε περίπτωση ο παροχέας ακολουθεί μια στρατηγική χρονικά εξαρτώμενη. Σε επίπεδο απαιτούμενων χρονικών πόρων, είναι προφανές και επόμενο ότι τα νευρωνικά δίκτυα υστερούν των υπολοίπων δυο προσεγγιστών, αλλά όχι σε βαθμό τέτοιο που να καθίσταται απαγορευτική η χρήση τους. Αναφορικά με την τελική τιμή συμφωνίας οι τρεις προσεγγιστές, πέραν του spline, είναι σε πολύ καλά επίπεδα και δύνανται να βελτιστοποιούν τη συνάρτηση ικανοποιησιμότητας στο χρονικό σημείο που καλούνται να ανατρέψουν τη ροή των διαπραγματεύσεων από αποτυχημένες σε επιτυχημένες. Οριακά καλύτερο στην περίπτωση αυτή εμφανίζεται το πολυώνυμο. Έτσι, μπορούμε να ισχυριστούμε ότι το RBF αποτελεί την καλύτερη δυνατή επιλογή δεδομένης και της σταθερότητάς του στην εξαγωγή των εκτιμήσεων, αλλά και του σχεδόν μισού χρόνου απόκρισης που απαιτεί σε σύγκριση με το MLP, και του οριακά μικρότερου αριθμού νευρώνων (2.29 μ.ο. έναντι των 3 του MLP).

Επιπρόσθετα, διάφοροι άλλοι προσεγγιστές συναρτήσεων ελέγχθηκαν συγκριτικά, προκειμένου να αντιπαρατεθούν στα νευρωνικά δίκτυα, με τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν να προκρίνουν την μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων με το πολυώνυμο 7^{ου} βαθμού και το κυβικό spline. Τέλος, προτάθηκε και μια προσέγγιση επέκτασης της προτεινόμενης λύσης από περιβάλλοντα μονού αγαθού σε περιβάλλοντα πολλαπλών αγαθών που κρίνεται αποδοτική για περιπτώσεις περιορισμένων αγαθών που υπάρχουν κατά κύριο λόγο σήμερα, σε συνδυασμό με την επέμβαση του χρήστη για καθορισμό της σημαντικότητας του κάθε αγαθού για τη συνακόλουθη ακολουθιακή διαπραγμάτευση.

Η ολοκλήρωση του κεφαλαίου περιλαμβάνει και την παράθεση ενός παραρτήματος που παρουσιάζει τα αποτελέσματα από την υιοθέτηση ενός κατάλληλα σχεδιασμένου γενετικού αλγορίθμου για τον έλεγχο της καταλληλότητάς χρησιμοποίησης του στο πρόβλημα της εκτίμησης της επόμενης τιμής προσφοράς του αντιπάλου. Στα πειράματα που διενεργήθηκαν, όπως θα φανεί και παρακάτω, η λύση αυτή υπολείπεται σημαντικά σε

απόδοση και συμπεριφορά των νευρωνικών δικτύων που παρατέθηκαν και ελέγχθηκαν, με αποτέλεσμα να απορρίπτεται ως εναλλακτική.

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί (κεφάλαιο 5) θα περιγραφεί η προσπάθεια εκτίμησης της στρατηγικής του αντιπάλου με τη βοήθεια νευρωνικών δικτύων από πολύ νωρίς στη διαδικασία και της υιοθέτησης του μηχανισμού αυτού για την αποφυγή διαπραγματεύσεων που δεν μπορούν να οδηγήσουν σε συμφωνία από τους πρώτους ακόμα γύρους. Έτσι, αποφεύγεται η κατασπατάληση πόρων από τους πράκτορες και διατίθεται ένας πολύ έξυπνος μηχανισμός για την επιλογή των καταλληλότερων αντιπάλων, αυτών δηλαδή που δίνουν τις καλύτερες συμφωνίες, απλά και μόνο παρατηρώντας τις προσφορές τους.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 4

Π4.1. Εισαγωγικά

Η ανάλυση που προηγήθηκε στο βασικό τμήμα του κεφαλαίου 4, δείχνει ότι τα νευρωνικά δίκτυα είναι ιδιαιτέρως αποδοτικά στην επίλυση του προβλήματος εκτίμησης της επόμενης τιμής προσφοράς του αντιπάλου. Επίσης, η επιλογή για τη συγκεκριμένη σύγκριση μεθόδων, κρίνεται εκ του αποτελέσματος στοχευμένη και όχι αβάσιμη. Μια άλλη κατηγορία προσεγγιστών, που επιλύουν αποτελεσματικά προβλήματα βελτιστοποίησης είναι και οι γενετικοί αλγόριθμοι, που ολοένα και κερδίζουν έδαφος στη διεθνή βιβλιογραφία σε αντίστοιχα προβλήματα. Στο σημείο αυτό, παρουσιάζεται μια συγκριτική λύση του παραπάνω προβλήματος με γενετικό αλγόριθμο, σε αντιπαράθεση με τους μηχανισμούς που παρουσιάστηκαν παραπάνω, και επιχειρείται να αιτιολογηθεί αν και κατά πόσο ένας τέτοιος αλγόριθμος μπορεί να συμβάλει στην επίλυση του παρόντος προβλήματος ή όχι.

Στο σημείο αυτό ακολουθεί μια σύντομη παρουσίαση της έννοιας του γενετικού αλγορίθμου, περιγράφεται ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε στο πρόβλημα και αναλύονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την πειραματική αποτίμηση.

Π4.2. Γενετικοί Αλγόριθμοι

Οι γενετικοί αλγόριθμοι (ΓΑ) αποτελούν σήμερα μια από τις πιο διαδεδομένες κατηγορίες αλγορίθμων για την επίλυση απλών ή σύνθετων μαθηματικών προβλημάτων που θεωρητικά κρίνονται άλυτα σε πολυωνυμικό χρόνο. Για την επίλυση κάθε τέτοιου προβλήματος είτε θεωρητικά, είτε εφαρμόζοντας μηχανισμούς σε πραγματικά δεδομένα, απαιτείται μια αρχική συλλογή δεδομένων, μια μοντελοποίησή τους και τέλος η επίλυση και η αποτίμηση σχετικά με τη θεωρητική λύση. Για αυτές τις περιπτώσεις, οι ΓΑ φαίνεται πως μπορούν σε πολλές περιπτώσεις να ξεπεράσουν σε απόδοση παραδοσιακές μεθόδους προσεγγιστικής επίλυσης, όπως για παράδειγμα τα νευρωνικά δίκτυα (Haykin 1999), η ασαφής λογική (Zimmermann 2001) και η εξομοιωμένη ανέλιξη (Kirkpatrick 1983).

Η οικογένεια των ΓΑ, αντλεί τις βασικές αρχές επίλυσης από τον τρόπο με τον οποίο εξελίσσονται οι διάφορες φυσικές οντότητες ως συνάρτηση του χρόνου και σαν τεχνική βρίσκονται πολύ περισσότερο κοντά στις ανθρωπιστικές και βιολογικές επιστήμες παρά στην πληροφορική. Ένας αρχικός ορισμός που περιγράφει και συνοψίζει τα χαρακτηριστικά και τη χρησιμότητα των ΓΑ είναι ο ακόλουθος που δόθηκε το 1967 από τον Bagley:

«Ομιλώντας γενικά οι ΓΑ είναι εξομοιώσεις της εξέλιξης των ειδών. Στις περισσότερες περιπτώσεις όμως, οι ΓΑ δεν είναι τίποτε άλλο παρά μέθοδοι πιθανοτικής βελτιστοποίησης που βασίζονται στις αρχές της εξέλιξης»

“Generally speaking, genetic algorithms are simulations of evolution, of what kind ever. In most cases, however, genetic algorithms are nothing else than probabilistic optimization methods, which are based on the principles of evolution”

Τελικά όμως, ο βασικός στόχος των ΓΑ είναι να παράσχουν αξιόπιστες λύσεις σε προβλήματα βελτιστοποίησης, οδηγώντας τα σε σύγκλιση στο ζητούμενο ολικό μέγιστο ή ελάχιστο που διαθέτουν και είναι αντικείμενο αναζήτησης. Η βασικότερη πρόκληση σε τέτοιου είδους προβλήματα είναι να αποφευχθεί ο χαρακτηρισμός ενός τοπικού ακροτάτου ως ολικού απλά επειδή ο αλγόριθμος εγκλωβίζεται σε ένα γειτονικό τοπικό ακρότατο και το θεωρεί και ολικό. Οι περισσότερες γνωστές μέθοδοι υποφέρουν από τέτοιου είδους φαινόμενα τοπικού εγκλωβισμού, κάτι που απουσιάζει από τους ΓΑ με τη χρήση της αναπαραγωγής και προσαρμογής όπως θα αναφερθεί και στη συνέχεια.

Για την επίλυση ενός προβλήματος, οι ΓΑ κωδικοποιούν το σύνολο των δειγμάτων των ανεξάρτητων μεταβλητών που διαθέτουν από τη συνάρτηση που πρόκειται να βελτιστοποιήσουν με τη βοήθεια δυαδικών αλφαριθμητικών. Αυτή η διαδικασία δεν φαίνεται και πολύ λογική με μια πρώτη σκέψη, ωστόσο οι λόγοι γι’ αυτή την παράξενη αρχικοποίηση θα φανούν στη συνέχεια. Προφανώς, δεν υπάρχει ένας μόνο τρόπος για τη διενέργεια της κωδικοποίησης, αλλά κάθε πρόβλημα μπορεί να προβεί στη δική του, ίσως μερικές φορές και με ένα βαθμό τυχαιότητας, ενώ τέλος, δεν είναι απαραίτητο να δουλεύουν όλοι οι ΓΑ σε τέτοιου είδους αλφαριθμητικά, μιας και υπάρχουν πολλές ακόμα επιλογές. Τελικά όμως, η λογική των ΓΑ βασίζεται στη δυαδική αναπαράσταση και αυτός είναι και ο λόγος που το χαρακτηριστικό αυτό τονίζεται εδώ ξεχωριστά. Πέρα όμως από τη δυαδική κωδικοποίηση, οι πιο σημαντικές παράμετροι για έναν ΓΑ είναι δυο συναρτήσεις: η συνάρτηση κωδικοποίησης και προφανώς αυτή της αποκωδικοποίησης, που είναι μοναδικές για κάθε πρόβλημα και ο ρόλος τους θα φανεί στη συνέχεια.

Η βασική διαδικασία επίλυσης από έναν ΓΑ περιγράφεται στον παρακάτω πίνακα με εντελώς αφαιρετικό τρόπο:

t := 0;

Υπολόγισε τον αρχικό πληθυσμό B0;

WHILE δεν ικανοποιείται η συνθήκη τερματισμού DO

BEGIN

Επίλεξε οντότητες για αναπαραγωγή;

Δημιούργησε απογόνους διασταυρώνοντας τις οντότητες;

Μετάλλαξε κάποιες οντότητες;

Υπολόγισε τη νέα γενιά

END

Κάθε ένα από τα βήματα αυτά, είναι εξαιρετικά σημαντικό για την απόδοση του αλγορίθμου και την τελική του απόκριση. Πιο συγκεκριμένα, η μετάβαση από το ένα βήμα στο άλλο (γενιά) αποτελείται από τέσσερα βασικά βήματα, το καθένα με τη δική του σημασία στη γενική λειτουργικότητα. Αρχικά, η επιλογή είναι ο μηχανισμός που αναλαμβάνει να διαλέξει οντότητες, που όπως τονίστηκε προηγούμενα έχουν κωδικοποιηθεί με τη μορφή αλφαριθμητικών, προκειμένου να αναπαραχθούν σύμφωνα με τη συνάρτηση προσαρμογής τους (fitness). Αυτή είναι και η αντικειμενική συνάρτηση που καλείται να βελτιστοποιηθεί και ο υπολογισμός της από γύρο σε γύρο (while loop) καθορίζει ποιες από τις οντότητες θα επιβιώσουν και θα χρησιμοποιηθούν και στον επόμενο γύρο. Στην πραγματικότητα πρόκειται για ένα βαθμωτό μέγεθος που εξάγεται με τη βοήθεια μιας απλής συνάρτησης. Στη συνέχεια (στο επόμενο βήμα), λαμβάνει χώρα η διασταύρωση των οντοτήτων για την παραγωγή απογόνων, όπως ακριβώς συμβαίνει και στην πραγματικότητα του φυσικού κόσμου. Με τη διασταύρωση ενώνεται το γενετικό υλικό από δυο οντότητες και επιχειρείται να παραχθεί ένας καλός απόγονος, μιας και όπως συμβαίνει και στη φύση, οι καλοί γονείς παράγουν και καλά παιδιά. Ακολούθως (βήμα 3), γίνεται η μετάλλαξη, που είναι ο μηχανισμός που εξομοιώνει τις τυχαίες μεταβολές που επιβάλλονται στο γενετικό υλικό στις αληθινές διαδικασίες εξέλιξης. Οι μεταβολές αυτές οφείλονται κυρίως σε σφάλματα στην αναπαραγωγή ή σε αποδόμηση των γονιδίων λόγω εξωτερικών παραγόντων. Στους ΓΑ, η μετάλλαξη μπορεί να θεωρηθεί ως μια τυχαία αναδόμηση των οντοτήτων, που έχουν μοντελοποιηθεί ως αλφαριθμητικά με στόχο να αποφευχθούν τα τοπικά ακρότατα και να διατηρηθεί ένα ελάχιστο επίπεδο γενετικής ποικιλομορφίας. Μετά και τη μετάλλαξη, παράγεται (υπολογίζεται) η νέα γενιά με στόχο την τελική βελτιστοποίηση, δειγματίζοντας τις οντότητες από την προηγούμενη γενιά και αυτές που προέκυψαν στην τρέχουσα, και

εφαρμόζοντας όλες μαζί στη συνάρτηση προσαρμογής για τη νέα γενιά που θα προκύψει, που θα οδηγήσει ένα βήμα πιο κοντά στη λύση.

Στο σημείο αυτό, θα περιγραφούν οι βασικές διαφορές μεταξύ των ΓΑ και των παραδοσιακών μεθόδων βελτιστοποίησης με στόχο να αιτιολογηθούν οι λόγοι που επιλέχθηκε αυτή η κατηγορία για την ανίχνευση της δυνατότητας επίλυσης του προβλήματος εκτίμησης της επόμενης τιμής προσφοράς του παροχέα από τον πελάτη. Η βασικότερη διαφορά είναι ότι οι ΓΑ χρησιμοποιούν κωδικοποιημένες μορφές των παραμέτρων του προβλήματος, όπως τονίστηκε και προηγούμενα (αλφαριθμητικά). Επιπλέον, ενώ όλες οι μέθοδοι ξεκινούν από ένα μόνο σημείο κάθε φορά, οι ΓΑ ασχολούνται σε κάθε βήμα με έναν ολόκληρο πληθυσμό. Έτσι, σε κάθε βήμα ο αλγόριθμος μπορεί να επιλέξει από έναν ολόκληρο πληθυσμό ποιες θα είναι οι οντότητες πάνω στις οποίες θα βασιστεί ο επόμενος πληθυσμός. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι πολύ σημαντικό για τη στιβαρότητα των αλγορίθμων και βελτιώνει σημαντικά τις πιθανότητες εξεύρεσης του ολικού βέλτιστου, μειώνοντας παράλληλα και τον κίνδυνο εγκλωβισμού σε ένα τοπικό ακρότατο. Τέλος, οι ΓΑ δεν βασίζονται σε κάποια παράγωγο συνάρτησης, ούτε και απαιτούν συνέχεια για να λειτουργήσουν, με αποτέλεσμα να μπορούν να εφαρμοστούν σε κάθε συνεχές ή διακριτό πρόβλημα βελτιστοποίησης. Η μόνη απαίτηση είναι η μοντελοποίηση των απαραίτητων συναρτήσεων κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης για τη μετατροπή των τιμών σε οντότητες του προβλήματος (δυαδικά αλφαριθμητικά).

Προτού ολοκληρωθεί η θεωρητική αναφορά στους ΓΑ, θα αναφερθούν τα βασικά βήματα με λίγο μεγαλύτερη λεπτομέρεια, με στόχο να κατανοηθεί πληρέστερα ο ρόλος τους στην εκτέλεση του εκάστοτε ΓΑ.

Όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα, η πρώτη λειτουργία του αλγορίθμου είναι η επιλογή. Αυτή είναι η φάση κατά την οποία ο αλγόριθμος επιλέγει τις οντότητες εκείνες με τη μεγαλύτερη τιμή στη συνάρτηση προσαρμογής τους (αντικειμενική συνάρτηση) έναντι των υπολοίπων, οδηγώντας στη βελτιστοποίησή της. Αυτή η επιλογή περιλαμβάνει οντότητες που είτε ελαχιστοποιούν τοπικά, είτε μεγιστοποιούν τη συνάρτηση αυτή και μπορεί να είναι ντετερμινιστική, αν και στις περισσότερες υλοποιήσεις επηρεάζεται από τυχαίες παραμέτρους. Για την επιλογή αυτή έχουν προταθεί πολλές τεχνικές (Vose 1999) αν και η πιο διαδεδομένη είναι η επιλογή της εκάστοτε οντότητας με πιθανότητα ανάλογη με τη βελτιστοποίηση της συνάρτησης προσαρμογής. Έτσι, οντότητες με μεγάλο (καλό) αποτέλεσμα για τη συνάρτηση αυτή έχουν πολύ περισσότερες πιθανότητες επιβίωσης από τον ένα γύρο στον άλλο.

Στο δεύτερο βήμα, ο αλγόριθμος πραγματοποιεί τη διασταύρωση. Στη φύση, η αναπαραγωγή προβλέπει ότι το γενετικό υλικό δυο οντοτήτων διασταυρώνεται τυχαία, οδηγώντας τον απόγονο στο να κληρονομεί κάποια χαρακτηριστικά από τον ένα γονέα και τα

υπόλοιπα από τον άλλο. Αυτός ο μηχανισμός, που υπάρχει στη φύση είναι η διασταύρωση των γονιδίων. Στους ΓΑ, η διαδικασία της διασταύρωσης είναι εξαιρετικά δημοφιλής στην πολύ βασική της μορφή, που χαρακτηρίζεται από την αποκοπή δυο αλφαριθμητικών σε τυχαίο σημείο και την αντιμετάθεση των δυο τμημάτων, χωρίς να αποκλείονται και πιο σύνθετες διαδικασίες.

Η τελευταία βασική λειτουργία των ΓΑ είναι η αντιμετάθεση. Αυτός ο όρος αναφέρεται στην τυχαία αποδόμηση του γενετικού υλικού μιας οντότητας με την έννοια της εξωτερικής επέμβασης που προκαλεί ανωμαλίες στο γενετικό υλικό. Στη φύση, η πιθανότητα η αποδόμηση αυτή να συμβεί σε κάθε μοναδικό γονίδιο είναι ίση για όλα τα γονίδια. Όμοια και στους ΓΑ υποτίθεται ότι για τέτοιου είδους λειτουργίες η πιθανότητα είναι ίση για όλες τις οντότητες. Είναι σημαντικό ωστόσο να τονιστεί ότι η διατήρηση της πιθανότητας για αποδόμηση σε χαμηλά επίπεδα είναι πολύ σημαντική, μιας και γενικευμένες επιδράσεις αυτής της μορφής σίγουρα θα επηρεάσουν αρνητικά τα αποτελέσματα του αλγορίθμου. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στους ΓΑ οι τεχνικές αποδόμησης ποικίλλουν από την εναλλαγή ενός απλού δυαδικού ψηφίου στο αλφαριθμητικό, έως την εναλλαγή των ψηφίων στις άρτιες ή περιττές θέσεις (Vose 1999).

Σε γενικές γραμμές, ένας ΓΑ εκτελεί όλες τις παραπάνω λειτουργίες και συγκλίνει βηματικά στο ολικό βέλτιστο, που είναι και ο αντικειμενικός στόχος. Παρόλο που οι αλγόριθμοι αυτοί έχουν αποδειχθεί πολύ χρήσιμοι για διάφορα προβλήματα, η απόδοσή τους δεν είναι σε καμία περίπτωση εγγυημένη και επηρεάζεται αποφασιστικά από την αρχικοποίηση του προβλήματος, που περιλαμβάνει τις συναρτήσεις κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης, αλλά και τη φύση του προβλήματος. Συγκριτικά όμως με άλλες εναλλακτικές προσεγγίσεις για συγκεκριμένες περιοχές προβλημάτων, έχουν αποδειχθεί χρησιμότεροι και γι' αυτό το λόγο πραγματοποιείται προσπάθεια να αποτιμηθούν τα αποτελέσματα εφαρμογής τους και στο πρόβλημα που αντιμετωπίζεται εδώ, της εκτίμησης της επόμενης τιμής προσφοράς του αντιπάλου, που για τον ΓΑ που υλοποιήθηκε, εκφυλίζεται στην ουσία σε ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης σφάλματος.

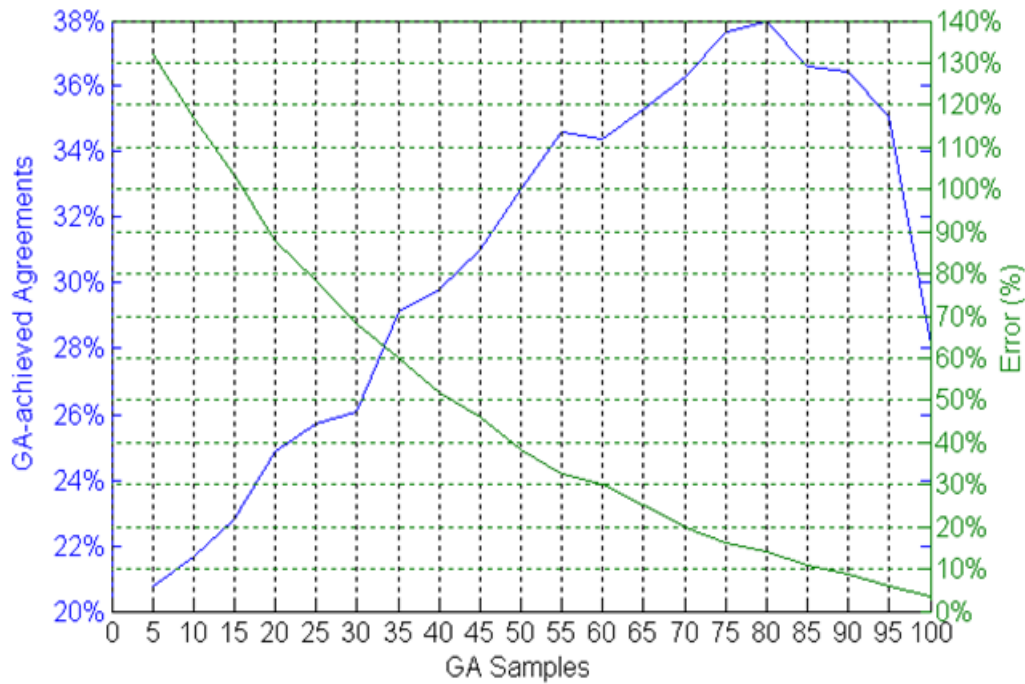
Π4.3. Παράμετροι του Γενετικού Αλγορίθμου

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων της εφαρμογής ΓΑ για την επίλυση του προβλήματος που εξετάζεται στην ενότητα αυτή γίνεται με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τα νευρωνικά δίκτυα. Ο ΓΑ εξετάζεται και τα αποτελέσματά του παρατίθενται ξεχωριστά στο σημείο αυτό με στόχο να αποφευχθούν οι επαναλήψεις και η υπερφόρτωση των αντίστοιχων ενοτήτων και με μια πέμπτη προσεγγιστική μέθοδο. Άλλωστε και η φιλοσοφία του είναι

εντελώς διαφορετική σε σύγκριση με τις προηγούμενες μεθόδους. Το μόνο κοινό στοιχείο είναι ότι και ο ΓΑ έχει στη διάθεσή του για την εκτίμηση της επόμενης προσφοράς, αποκλειστικά και μόνο το ιστορικό των προσφορών του αντιπάλου πράκτορα, του παροχέα στην περίπτωση αυτή.

Ο ΓΑ που υλοποιείται, επιχειρεί να ελαχιστοποιήσει την αντικειμενική συνάρτηση του σφάλματος μεταξύ των εκτιμήσεων και των πραγματικών προσφορών του παροχέα, κάνοντας χρήση της πολυωνυμικής συνάρτησης που παρουσιάζεται στο (Faratin et.al. 1998), ως πρότυπο, με τρεις ανεξάρτητες μεταβλητές τις β , Lp και την αρχική παράμετρο c . Το αποτέλεσμα της εφαρμογής της αντικειμενικής συνάρτησης σφάλματος είναι ένα διάνυσμα 3 τιμών που υποδηλώνουν την εκτίμηση του ΓΑ για τις παραπάνω παραμέτρους σε κάθε βήμα υπολογισμού. Ο ΓΑ έχει παραμετροποιηθεί κατάλληλα ώστε να καταφέρει τη μέγιστη δυνατή απόδοση σύμφωνα με τις παρακάτω τιμές: αρχικός πληθυσμός 10, διασταύρωση που βασίζεται σε ευριστικές μεθόδους, επιλογή με χρήση προσαρμοστικής συνάρτησης (adaptive-feasible) και τέλος, μετάλλαξη με τη βοήθεια μιας κανονικής συνάρτησης. Για τον υπολογισμό και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε αρχικά το εργαλείο Genetic Algorithm Tool στο Matlab 7.1¹², όπου και αναφέρονται λεπτομερώς οι παραπάνω συναρτήσεις. Ο αλγόριθμος προχωρά βήμα-βήμα και σε κάθε επανάληψή του επιχειρεί να συγκλίνει στις πραγματικές τιμές των τριών παραμέτρων που καλείται να υπολογίσει. Για το σκοπό αυτό απαιτεί ένα ικανό σύνολο προσφορών του αντιπάλου για να καταφέρει να εκτιμήσει τις παραμέτρους αυτές και το σύνολο αυτό αποδεικνύεται πειραματικά πως αγγίζει το 80% των συνολικών μέχρι το σημείο που επιθυμείται η εκτίμηση. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, το ποσοστό αυτό μεγιστοποιεί το σύνολο των συμφωνιών που επιτυγχάνονται (δεδομένα πειράματος ακριβώς όπως και στην ανάλυση που προηγείται για τους τέσσερις προσεγγιστές), ενώ το συνολικό σφάλμα, αν και κρίνεται μεγάλο, είναι 13%, αλλά επειδή ο στόχος είναι η αύξηση των συμφωνιών θεωρείται ανεκτό ακόμα και αν χειροτερεύει τελικά τις τελικές τιμές συμφωνίας για την πλευρά του πελάτη. Η πειραματική συμπεριφορά του αλγορίθμου θα συγκριθεί με τις υπόλοιπες τέσσερις προτάσεις στην ενότητα που ακολουθεί.

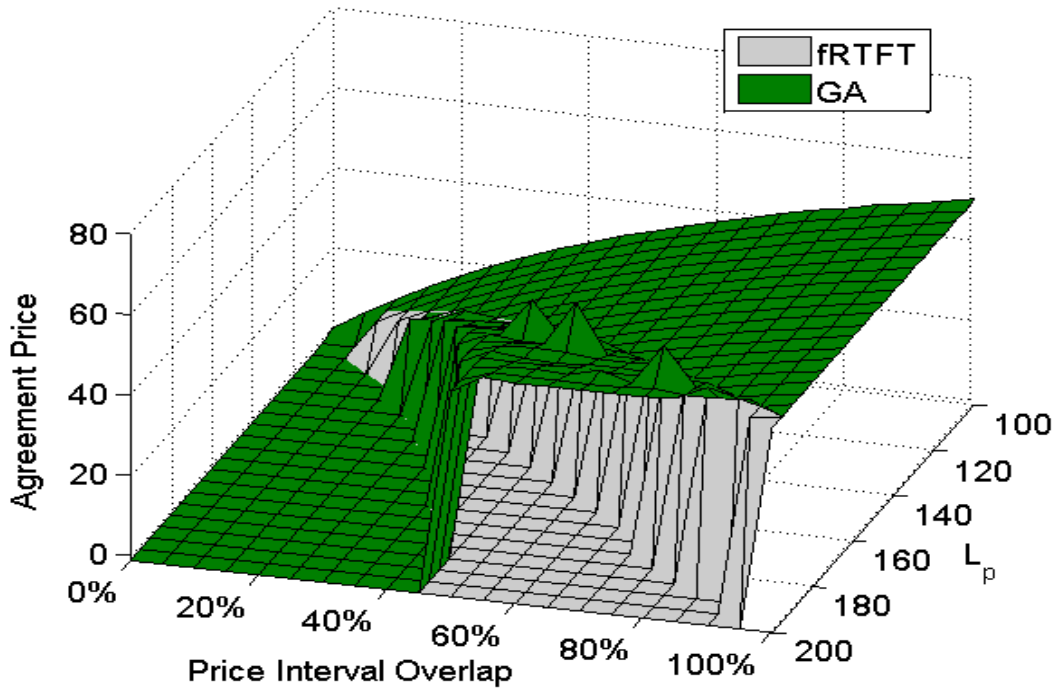
¹² www.mathworks.com



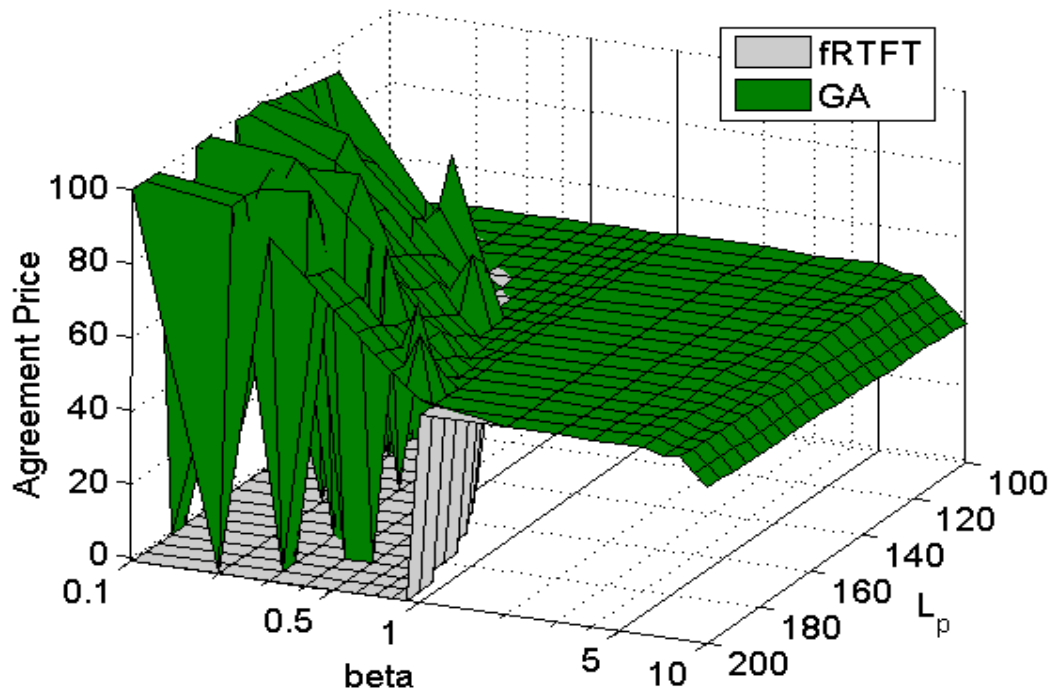
Σχήμα 4–15. Μέσος αριθμός συμφωνιών και μέσο σφάλμα για διαφορετικούς πληθυσμούς προσφορών του αντιπάλου που πρέπει να τροφοδοτηθούν στον ΓΑ για τη σύγκλιση του στην επιθυμητή λύση

Π4.4. Πειράματα και Αποτίμηση

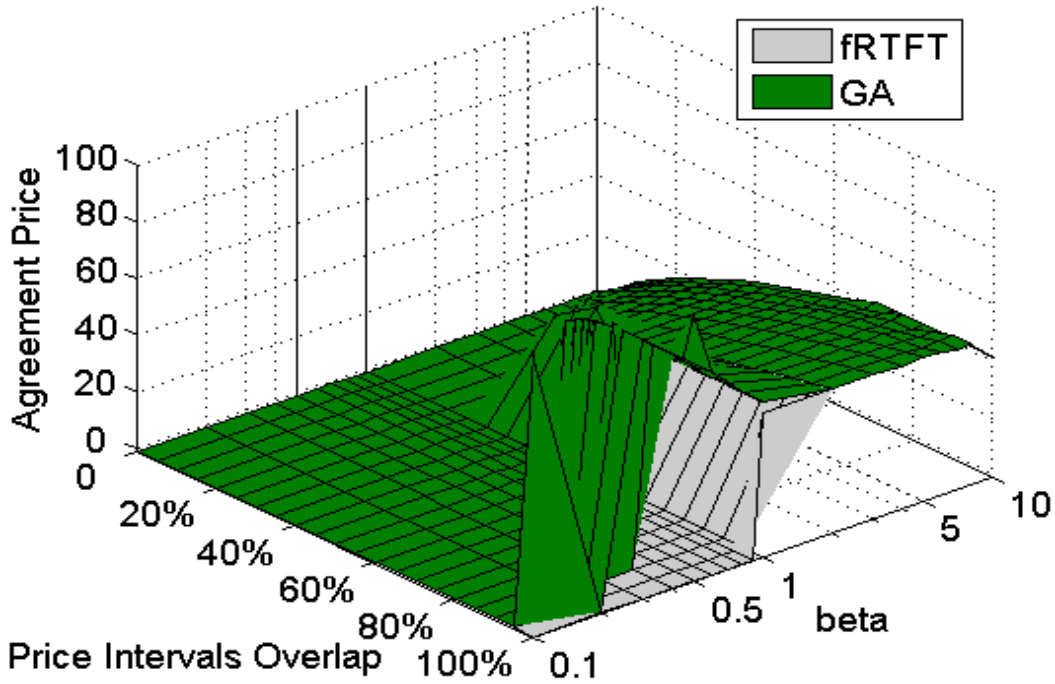
Τα πειράματα που διενεργήθηκαν στην ενότητα αυτή προκειμένου να αποτιμηθεί η απόδοση του ΓΑ είναι ακριβώς τα ίδια με αυτά που προηγήθηκαν για τους υπόλοιπους προσεγγιστές. Ο ΓΑ όμως, εξετάζεται ξεχωριστά λόγω της ιδιομορφίας του και του μεγάλου σφάλματος που επιδεικνύει που τον καθιστούν ακατάλληλο τελικά προς χρήση για την εκτίμηση της επόμενης και τελικής τιμής προσφοράς του αντιπάλου πράκτορα. Στον πίνακα που ακολουθεί, επαναλαμβάνονται οι μετρήσεις που συλλέχθηκαν για τους υπόλοιπους προσεγγιστές και στα γραφήματα περιγράφεται η συμπεριφορά του ΓΑ στην επίλυση του προβλήματος, χωρίς να επαναλαμβάνονται τα εισαγωγικά στοιχεία, ούτε και η συμπεριφορά των υπολοίπων προσεγγιστών, πληροφορία που είναι διαθέσιμη στην ενότητα 4-2 παραπάνω.



Σχήμα 4-16. Τιμές συμφωνίας για γραμμική στρατηγική παροχέα, $L_C = 100$, $L_p \in [100,200]$ και $p_{max}^C \in [0,100]$, και εφαρμογή του ΓΑ



Σχήμα 4-17. Τιμές συμφωνίας για 100% επικαλυπτόμενες περιοχές ανεκτών τιμών συμφωνίας και $L_C = 100$, $L_p \in [100,200]$ and $\beta \in [0.1,10]$, και εφαρμογή του ΓΑ



Σχήμα 4-18. Τιμές συμφωνίας για $L_P = 200$, $p_{\max}^C \in [0,100]$ και $\beta \in [0.1,10]$, και εφαρμογή του ΓΑ

Από τα παραπάνω σχήματα είναι εμφανής η αστάθεια στα αποτελέσματα του αλγορίθμου, αναφορικά με τις συμφωνίες που επιτυγχάνει ειδικά στην περίπτωση της 100% επικάλυψης (Σχήμα 4-17), όπου μεταβάλλεται ο βαθμός σύγκλισης και το χρονικό περιθώριο του παροχέα και παρατηρούνται πολλές αποτυχίες. Επίσης, οι ακμές που είναι ορατές στις συμφωνίες και που απουσίαζαν από τους υπόλοιπους προσεγγιστές είναι ένα ακόμα στοιχείο που επιβεβαιώνει την αστάθεια και δικαιολογεί το συμπέρασμα ότι ο ΓΑ δεν μπορεί να θεωρηθεί ικανός να προσφέρει στην επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος.

Πίνακας 4-5. Συγκριτικά αποτελέσματα για το βαθμό επιτυχίας των στρατηγικών που εξετάστηκαν σε αντιπαράθεση με τον ΓΑ

Παράμετροι Πειραμάτων		$p_{\max}^C \in [0,100]$ $L_P \in [100,200]$ $\beta = 1$	$p_{\max}^C = 100$ $L_P \in [100,200]$ $\beta \in [0.1,10]$	$p_{\max}^C \in [0,100]$ $L_P = 200$ $\beta \in [0.1,10]$	Συγκεντρωτικά
Μέγεθος Δειγμάτων Πειράματος		10201	9191	9191	28583
Βαθμός Επιτυχίας	fRTFT	50.03%	74.20%	39.64%	54.46%
	MLP	69.20%	100.00%	55.30%	74.64%
	RBF	69.07%	100.00%	55.30%	74.59%
	Cubic Spline	58.30%	93.71%	51.13%	67.38%
	Poly-7	68.78%	91.13%	51.27%	70.34%
	GA	68.25%	90.74%	51.14%	69.98%

Πίνακας 4-6. Συγκριτικά αποτελέσματα για το σφάλμα που επιτυγχάνουν οι μέθοδοι που εξετάστηκαν συμπεριλαμβανομένου και του ΓΑ

Παράμετροι Πειραμάτων		$p_{\max}^C \in [0,100]$ $L_P \in [100,200]$ $\beta = 1$	$p_{\max}^C = 100$ $L_P \in [100,200]$ $\beta \in [0.1,10]$	$p_{\max}^C \in [0,100]$ $L_P = 200$ $\beta \in [0.1,10]$	Συγκεντρωτικά
Μέγεθος Πειραμάτων		10201	9191	9191	28583
Μέσο Σφάλμα Εκτίμησης	MLP	5.74%	2.79%	1.73%	3.50%
	RBF	1.32%	0.39%	0.14%	0.64%
	Cubic Spline	4.91%	3.13%	2.89%	3.69%
	Poly-7	2.02%	1.08%	3.73%	2.27%
	GA	9.85%	2.62%	4.81%	5.91%

Στους πίνακες 4-5 και 4-6, τα αποτελέσματα που καταγράφονται δείχνουν τις περιορισμένες δυνατότητες του ΓΑ, ο οποίος εμφανίζεται οριακά καλύτερος σε επίπεδο συμφωνιών από το χειρότερο spline, αλλά σε επίπεδο σφάλματος είναι χειρότερος όλων με αποτέλεσμα να κρίνεται ακατάλληλος για την εκτίμηση της επόμενης τιμής προσφοράς του αντιπάλου. Σε επίπεδο χρονικών απαιτήσεων, καταφέρνει να ολοκληρώσει τα απαιτούμενα βήματα σε μέσο χρόνο 0.24 δευτερόλεπτα, χρόνος μεγαλύτερος από του RBF (0.0898) και μικρότερος από του MLP (0.3727). Κλείνοντας την αναφορά αυτή στην εξέταση της απόδοσης του κατάλληλου ΓΑ στην εκτίμηση της επόμενης τιμής του αντιπάλου, οφείλουμε να τονίσουμε ότι πρόκειται για μια λύση σαφώς και μη απαγορευτική, αλλά δεδομένων των υπολοίπων, θεωρείται απορριπτέα. Η γενικότερη ασταθής συμπεριφορά του και το μεγάλο σφάλμα που εμφανίζει είναι ο εξαναγκασμός του να προσφέρει αποτελέσματα για κάτι που δεν θεωρείται και ειδικότητά του, όπως η ελαχιστοποίηση μιας συνάρτησης σφάλματος με δεδομένα πολύ συναφή μεταξύ τους στην αλληλουχία εμφάνισης, ένα πρόβλημα που εξ αρχής δεν χαρακτηρίζεται ως το καταλληλότερο να επιλυθεί από ΓΑ. Ωστόσο, επειδή τέτοιου είδους προβλήματα δοκιμάζουν ΓΑ για λόγους πληρότητας της δικαιολόγησης συγκεκριμένων λύσεων, ακολουθήθηκε η πορεία επίλυσης με ΓΑ και τα αποτελέσματα που παρατέθηκαν επιβεβαίωσαν την αρχική υποψία περί υπολειπόμενης συμπεριφοράς τουλάχιστον συγκριτικά με τα δυο νευρωνικά δίκτυα.

Π4.5. Συμπεράσματα

Στην παρουσίαση που προηγήθηκε, ένας κατάλληλα σχηματισμένος γενετικός αλγόριθμος επιχειρείται να συγκριθεί με τα νευρωνικά δίκτυα RBF και MLP για την επίλυση του προβλήματος εκτίμησης της επόμενης τιμής προσφοράς του αντιπάλου, όταν το χρονικό περιθώριο από την πλευρά του πελάτη (αντίστοιχα μπορεί και του παροχέα), εξαντλείται. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο γενετικός αλγόριθμος δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να ακολουθήσει την υψηλή απόδοση που παρουσιάζει η υιοθέτηση των νευρωνικών δικτύων και ειδικά του RBF που αποδεικνύεται το καλύτερο όλων. Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται να επιβεβαιώσουν τα όσα προηγήθηκαν στο κεφάλαιο 4 και αιτιολογήθηκαν επαρκώς εκεί.

5 Εκτίμηση της Μελλοντικής
Συμπεριφοράς του
Αντιπάλου για την Αποφυγή
Ανεπιτυχών
Διαπραγματεύσεων

5.1 Εισαγωγή

Η λύση που προτάθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο για την αποφυγή των ανεπιτυχών διαπραγματεύσεων με εκτίμηση της επόμενης τιμής προσφοράς του αντιπάλου, στους τελευταίους γύρους των διαδικασιών αυτών, αποτελεί μεν δικλείδα ασφαλείας, ωστόσο μπορεί να οδηγήσει στην σπατάλη πόρων όταν οι διαδικασίες ακόμα και με τη χρήση του μηχανισμού αυτού αποτύχουν. Από την άλλη πλευρά, η μεγάλη πλειοψηφία των διαπραγματευτών, είτε πρόκειται για πελάτες, είτε για παροχείς, ακολουθεί μοντέλα που γειτνιάζουν με τις στρατηγικές που είναι χρονικά εξαρτώμενες, με αποτέλεσμα ο χρόνος να αποτελεί σημαντική παράμετρο απόφασης. Όμοια, πολλές είναι οι περιπτώσεις και εξαρτώμενων από πόρους στρατηγικών, οι οποίες όμως, όπως έχει τονιστεί και στην παρούσα διατριβή, αλλά και στη διεθνή βιβλιογραφία μπορούν να αναχθούν και να αντιμετωπιστούν με τρόπο παρόμοιο όπως και οι χρονικά εξαρτώμενες.

Στο κεφάλαιο αυτό, ο βασικός στόχος είναι πάντοτε ο ίδιος με το προηγούμενο, δηλαδή η αποφυγή των ανεπιτυχών διαπραγματεύσεων προκειμένου να αυξάνεται ο αριθμός των συμφωνιών και να αποφεύγεται η σπατάλη πόρων. Έτσι, ενώ στο προηγούμενο γινόταν μια παραχώρηση στην ικανοποιησιμότητα του πελάτη προς όφελος της τελικής συμφωνίας, η οποία τον οδηγούσε από σχεδόν σίγουρη αποτυχία σε επιτυχία, έστω και με μια μικρή παραχώρηση στην ικανοποιησιμότητά του συγκριτικά με τους αρχικούς στόχους, στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η προσπάθεια να ανιχνευθούν έγκαιρα οι διαδικασίες εκείνες που οδηγούν σε ασυμφωνία προκειμένου να μην καταναλωθούν οι πόροι της διαπραγμάτευσης και να αναζητηθεί πιο συμφέρουσα λύση σε διαδικασίες με άλλον παροχέα ή παροχείς. Στην πράξη, αυτό που επιχειρείται είναι να προβλεφθεί πολύ νωρίς στη διαδικασία (με μόλις λίγα δείγματα προσφορών) το ιστορικό των προσφορών του αντιπάλου (παροχέα) από τον πελάτη, ο οποίος είναι και εφοδιασμένος με έναν κατάλληλα σχεδιασμένο μηχανισμό μάθησης βασισμένο σε νευρωνικά δίκτυα, και να αναγνωριστεί αν η τρέχουσα διαδικασία μπορεί να οδηγήσει σε συμφωνία ή όχι. Έτσι, στην περίπτωση που ο μηχανισμός αυτός της πρώιμης πρόβλεψης αποκρίνεται με συμφωνία, ο πελάτης «παραμένει» στο τρέχον νήμα διαπραγμάτευσης, διαφορετικά αποσύρεται αναζητώντας αλλού τις πιθανότητες για κάποια συμφωνία. Τα πειραματικά αποτελέσματα δικαιώνουν την απόφαση σχεδίασης και υλοποίησης ενός τέτοιου μηχανισμού με εξαιρετικά ευρεία και σημαντική εφαρμοσιμότητα σε πραγματικές περιπτώσεις διαπραγμάτευσης.

Το κεφάλαιο αυτό συνεχίζεται με την παρουσίαση του περιβάλλοντος διαπραγμάτευσης (ενότητα 5.2), που περιλαμβάνει τον ορισμό του προβλήματος, την παρουσίαση των στρατηγικών που ακολουθούνται και τις σημαντικότερες σχεδιαστικές

αποφάσεις που ελήφθησαν, συνεχίζεται με την ενότητα 5.3, όπου συνοψίζονται τα νευρωνικά δίκτυα που δομούν το μηχανισμό με την απαραίτητη παρουσίαση των δυο αρχιτεκτονικών που συγκρίθηκαν, ενώ στην ενότητα 5.4 παρουσιάζονται τα διεξοδικά πειράματα που διενεργήθηκαν προκειμένου να αποτιμηθεί η ακρίβεια και η πρακτική χρησιμότητα της προτεινόμενης λύσης. Το κεφάλαιο κλείνει με τα συμπεράσματα και τις δυνατότητες μελλοντικής επέκτασης των όσων παρουσιάστηκαν.

5.2 Περιβάλλον Διαπραγμάτευσης

Όπως τονίστηκε και στην εισαγωγή, το συγκεκριμένο κεφάλαιο ασχολείται και επιχειρεί να παρουσιάσει τη λύση του προβλήματος της ανίχνευσης των διαδικασιών διαπραγμάτευσης που δεν μπορούν να οδηγήσουν σε συμφωνία, ήδη από τα αρχικά στάδια. Στη συνέχεια της υποενότητας αυτής θα δοθεί ο ορισμός του προβλήματος, σε συμφωνία με τα προηγούμενα, θα περιγραφούν διεξοδικά οι αρχιτεκτονικές του πελάτη και του παροχέα, μαζί με το μηχανισμό του πρώτου για την έγκαιρη ανίχνευση των ανεπιτυχών διαπραγματεύσεων που βασίζεται σε νευρωνικά δίκτυα, πολύ διαφορετικής δομής και λειτουργικότητας σε σύγκριση με τα πολύ απλά που υλοποιήθηκαν για την εκτίμηση της τιμής του αντιπάλου και παρουσιάστηκαν διεξοδικά τόσο θεωρητικά, όσο και πειραματικά στο προηγούμενο κεφάλαιο. Τέλος, θα περιγραφεί με τρόπο μαθηματικό και με τη βοήθεια των κατάλληλων εξισώσεων η λύση που προτείνεται για το πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί.

5.2.1 Ορισμός του Προβλήματος

Το συγκεκριμένο πρόβλημα, σε αντιστοιχία με το πρόβλημα εκτίμησης της επόμενης τιμής προσφοράς του αντιπάλου, ασχολείται με περιβάλλοντα διαπραγμάτευσης μονού αγαθού και δυο συμμετεχόντων των οποίων η συμπεριφορά είναι ανταγωνιστική και σε κανένα σημείο της διαδικασίας δεν αποκαλύπτουν οποιασδήποτε μορφής ιδιωτική πληροφορία στον αντίπαλο πράκτορα. Έτσι, και εδώ διακρίνονται δυο συμμετέχοντες, ο πελάτης και ο παροχέας που αντιπροσωπεύονται στο περιβάλλον από ευφυείς κινητούς πράκτορες. Οι πράκτορες αυτοί διαπραγματεύονται για ένα αγαθό με τη βοήθεια του πρωτοκόλλου των εναλλασσόμενων προσφορών (Kraus 2001)(Osborne and Rubinstein 1994) και βασικό στόχο την όσο το δυνατό μεγαλύτερη αύξηση της ικανοποιησιμότητας του συμμετέχοντα που εκπροσωπούν στο τέλος της διαδικασίας, με τη μορφή αποφυγής των διαδικασιών που οδηγούν σε ασυμφωνία όσο το δυνατό συντομότερα για την αποφυγή σπατάλης των πόρων που πρόκειται να διατεθούν σε διαφορετική περίπτωση. Στη συνέχεια θα περιγραφεί η

διαδικασία που ακολουθείται στο περιβάλλον διαπραγμάτευσης, η οποία παρόλο που σχεδόν ταυτίζεται με την αντίστοιχη διαδικασία που περιγράφηκε στην εκτίμηση της επόμενης τιμής, αποδίδεται και εδώ για λόγους πληρότητας και συνέχειας του κειμένου.

Ας υποθέσουμε ότι κάθε νήμα διαπραγμάτευσης, όπως αυτό ορίστηκε στο κεφάλαιο των βασικών εννοιών αρχικοποιείται από τον πράκτορα του πελάτη (πελάτης για λόγους συντομίας), ο οποίος στέλνει στον πράκτορα του παροχέα (παροχέας επίσης για συντομία) ένα αρχικό μήνυμα Αίτησης για Προσφορά (RFP). Το μήνυμα αυτό, που είναι απαραίτητο για την έναρξη της συνόδου μεταξύ των δυο μερών, καθορίζει τα χαρακτηριστικά του προϊόντος/υπηρεσίας που ο αποστολέας του επιθυμεί να αποκτήσει μετά το επιτυχές πέρας της διαδικασίας. Μάλιστα, η αποστολή του γίνεται από τον πελάτη, μιας και αυτός είναι που μπορεί να εκφράσει ασύγχρονα την επιθυμία του να αποκτήσει κάτι από τον εκάστοτε παραλήπτη-παροχέα. Χωρίς απώλεια της γενικότητας, υποθέτουμε ότι το αντικείμενο της διαπραγμάτευσης είναι η τιμή ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας, όπως αυτή εκφράζεται από τον πελάτη που θα την πληρώσει στον παροχέα που θα εισπράξει το αντίτιμο από την παραχώρησή της. Είναι προφανές ότι ο παροχέας επιθυμεί η τιμή συμφωνίας να είναι όσο το δυνατό μεγαλύτερη για να αποκομίσει έτσι το μεγαλύτερο δυνατό κέρδος από τη συμφωνία, ενώ ο πελάτης επιθυμεί η τιμή αυτή να διατηρηθεί στα χαμηλότερα δυνατά επίπεδα, προκειμένου να αποκτήσει το προϊόν ή να κάνει χρήση της υπηρεσίας με το μικρότερο δυνατό αντίτιμο.

Όταν ο παροχέας λαμβάνει το μήνυμα RFP του πελάτη, είτε αποκρίνεται θετικά, αποδεχόμενος την πρόσκληση για έναρξη συνόδου διαπραγμάτευσης, είτε απορρίπτει την πρόσκληση αυτή και τερματίζει τη διαδικασία χωρίς να σχηματίσει οποιαδήποτε προσφορά. Αν η στάση του παροχέα είναι θετική για τη διαδικασία, η απόκρισή του περιλαμβάνει την αρχική του προσφορά που σχηματίζεται με τη βοήθεια της στρατηγικής που έχει επιλέξει για τη διαδικασία και τα όρια που διατηρεί για τα επίπεδα τιμών για το συγκεκριμένο αγαθό. Σε κάθε γύρο, ο παροχέας στέλνει μια προσφορά για την τιμή αγοράς στον πελάτη, ο οποίος με τη σειρά του την αποτιμά με βάση τις απαιτήσεις του και τα όρια τιμών που έχει θέσει. Στη συνέχεια και αν δεν μπορεί να γίνει η προσφορά αποδεκτή, ο πελάτης απαντά με μια αντιπροσφορά στον παροχέα, και η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρις ότου να μπορεί να επιτευχθεί μια αμοιβαία αποδεκτή συμφωνία, δηλαδή να συγκλίνουν οι τιμές προσφοράς των δυο μερών, ή ένας από τους δυο συμμετέχοντες να αποχωρήσει από τη διαδικασία, επειδή εξαντλήθηκε το χρονικό περιθώριο που έχει στη διάθεσή του ή για έναν οποιοδήποτε άλλο λόγο. Έτσι, σε κάθε διαπραγμάτευση, οι πράκτορες μπορούν είτε: (1) να αποδεχθούν την προσφορά του αντιπάλου όταν ικανοποιούνται οι ιδιαίτερες απαιτήσεις τους, (2) να σχηματίσουν μια αντιπροσφορά, (3) να αποσυρθούν από τη διαδικασία.

Στο σημείο αυτό θα δοθεί ο αυστηρός μαθηματικός ορισμός του προβλήματος. Ας θεωρήσουμε ότι η ποσότητα p_l^a απεικονίζει την προσφορά του πράκτορα a κατά τη διάρκεια του γύρου διαπραγμάτευσης l . Μια προσφορά p_l^b απορρίπτεται πάντοτε από τον πράκτορα a αν $p_l^b \notin [p_m^a, p_M^a]$, όπου $[p_m^a, p_M^a]$ απεικονίζει το διάστημα αποδεκτών τιμών που έχει προκαθορίσει ο πράκτορας a . Σε περίπτωση που επιτευχθεί μια συμφωνία, αποκαλούμε τη διαπραγμάτευση επιτυχή, διαφορετικά σε περίπτωση που κάποιο από τα συμμετέχοντα μέρη αποσυρθεί η διαπραγμάτευση κρίνεται ανεπιτυχής. Σε κάθε άλλη περίπτωση, η διαπραγμάτευση αποκαλείται ενεργή. Οι χαρακτηρισμοί αυτοί για τις διαδικασίες δόθηκαν και στο κεφάλαιο των βασικών εννοιών (μοντέλο διαπραγμάτευσης) αλλά επαναλαμβάνονται εδώ για λόγους συνοχής του κειμένου. Ο σκοπός του προβλήματος που παρουσιάζεται στο τρέχον κεφάλαιο είναι να προβλεφθεί η συμπεριφορά του παροχέα στους μελλοντικούς γύρους της διαδικασίας και μέχρις ότου εξαντληθεί το χρονικό του περιθώριο. Πιο συγκεκριμένα:

Δοθέντων: (1) δυο διαπραγματευόμενων μερών, ενός παροχέα που προσφέρει ένα συγκεκριμένο αγαθό ή υπηρεσία και ενός πελάτη που ενδιαφέρεται να το αποκτήσει, (2) το αποδεκτό όριο τιμών για τον πελάτη $[p_m^c, p_M^c]$, (3) ένα χρονικό όριο T_C μέχρι την εξάντληση του οποίου ο πελάτης πρέπει να έχει ολοκληρώσει τη διαδικασία διαπραγμάτευσης με τον παροχέα, (4) τον τελικό γύρο διαπραγμάτευσης για τον πελάτη σε μορφή ακεραίου L_C , (5) ένα κατώφλι L_C^{dec} μέχρι το οποίο ο πελάτης πρέπει να έχει αποφασίσει αν θα συνεχίσει να συμμετέχει στη συγκεκριμένη διαδικασία διαπραγμάτευσης ή όχι και (6) το διάνυσμα

$P_l^p = \{p_l^p\}$, όπου $l = 2k - 1$ και $k = 1, \dots, \left\lfloor \frac{L_C^{dec}}{2} \right\rfloor$, των τιμών που προτάθηκαν από τον

παροχέα κατά τους $d - 1$ αρχικούς γύρους διαπραγμάτευσης, *Υπολόγισε:* (1) το διάνυσμα

$P_{l'}^p = \{p_{l'}^p\}$, όπου $l' = 2k' - 1$ και $k' = \left\lfloor \frac{L_C^{dec}}{2} \right\rfloor + 1, \dots, L_C$, των τιμών που θα προταθούν από τον

παροχέα στους τελευταίους $L_C - L_C^{dec}$ γύρους, και (2) αποφάσισε αν ο πελάτης θα συνεχίσει να συμμετέχει στη συγκεκριμένη διαδικασία ή όχι.

5.2.2 Το Διάστημα Στρατηγικών

Στο συγκεκριμένο πρόβλημα, ο παροχέας ακολουθεί μια χρονικά εξαρτημένη στρατηγική (Faratin et.al. 1998), όπως παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο των βασικών εννοιών. Η στρατηγική αυτή, μπορεί να είναι είτε πολυωνυμική είτε εκθετική και ο μηχανισμός

πρόβλεψης του πελάτη είναι υπεύθυνος να την προσεγγίσει σε κάθε περίπτωση. Πρόκειται στην ουσία για μαθηματικές συναρτήσεις, συνεχείς και παραγωγίσιμες, με αποτέλεσμα να κρίνονται κατάλληλες για προσέγγιση από τα νευρωνικά δίκτυα που θα υιοθετηθούν και όπως αναφέρθηκε είναι καθολικοί προσεγγιστές. Είναι προφανές ότι σε κάθε περίπτωση, ο εκάστοτε πελάτης και ο μηχανισμός που διαθέτει, δεν γνωρίζει αν η στρατηγική του αντίπαλου του είναι πολυωνυμική ή εκθετική, καθώς αυτό αποτελεί ιδιωτική πληροφορία του τελευταίου. Επίσης, ο αντίπαλος δεν έχει γνώση του γεγονότος ότι ο αντίπαλος ακολουθεί χρονικά εξαρτώμενη στρατηγική, απλώς εκπαιδεύεται για τέτοιου είδους στρατηγικές μιας και αυτές αποτελούν τις πιο διαδεδομένες στα πραγματικά περιβάλλοντα.

Τέλος, τα πειράματα που διενεργήθηκαν συμπεριλαμβάνουν έναν επίσης μεγάλο αριθμό βαθμών σύγκλισης και χρονικών περιθωρίων, σε αντιστοιχία με ότι υλοποιήθηκε και στην περίπτωση της εκτίμησης της επόμενης προσφοράς. Έτσι, τα συμπεράσματα που εξάγονται είναι αντιπροσωπευτικά και αξιόπιστα και επαληθεύουν τη χρησιμότητα ή μη, της λύσης που προτείνεται όπως θα φανεί και στην ενότητα με τα πειραματικά αποτελέσματα.

5.2.3 Εκτίμηση του Είδους της Στρατηγικής του Παροχέα

Όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα, ο παροχέας ακολουθεί σε κάθε διαδικασία μια τυχαία χρονικά εξαρτώμενη στρατηγική, η οποία είναι είτε πολυωνυμική, είτε εκθετική. Ο πελάτης προφανώς δεν γνωρίζει το είδος της στρατηγικής που ακολουθεί ο αντίπαλός του, με αποτέλεσμα να αδυνατεί να χρησιμοποιήσει τον καταλληλότερο μηχανισμό χωρίς αυτή την πληροφορία, μιας και ένας μηχανισμός για εκτίμηση πολυωνυμικής στρατηγικής (νευρωνικό δίκτυο επί του προκειμένου), έχει εντελώς διαφορετικές απαιτήσεις και δομή σε σύγκριση με έναν μηχανισμό για εκτίμηση εκθετικής στρατηγικής. Για το σκοπό αυτό, ο πελάτης πρέπει να βρει έναν τρόπο να καθορίζει το είδος της στρατηγικής του αντίπαλου του πολύ πριν κληθεί να εφαρμόσει το μηχανισμό πρόβλεψης της συμπεριφοράς του, έτσι ώστε να επιλέγεται το κατάλληλα εκπαιδευμένο νευρωνικό δίκτυο. Είναι προφανές επίσης, ότι σχεδιάζονται και υλοποιούνται δυο νευρωνικά δίκτυα, ένα για την περίπτωση που ο αντίπαλος προβλέφθηκε ότι ακολουθεί εκθετική χρονικά εξαρτημένη στρατηγική και ένα για την πολυωνυμική χρονικά εξαρτημένη στρατηγική. Αυτή η υποενότητα περιγράφει τον αποτελεσματικό μηχανισμό που αναπτύχθηκε για την εκτίμηση του είδους της στρατηγικής του παροχέα, αν είναι δηλαδή εκθετική ή πολυωνυμική από πολύ νωρίς (τους αρχικούς ακόμα γύρους) στη διαδικασία. Μάλιστα, επιθυμείται απόδοση 100% για το μηχανισμό αυτό, καθώς μια λάθος εκτίμηση δεν αφήνει στη διαδικασία πρόβλεψης της συμπεριφοράς του αντίπαλου καμία πιθανότητα επιτυχίας, μιας και χρησιμοποιείται το λάθος νευρωνικό δίκτυο

στην περίπτωση αυτή. Αξίζει να τονιστεί εδώ πως ο μηχανισμός που αναπτύχθηκε είναι ένας ευριστικός μηχανισμός.

Όπως έχει τονιστεί προηγουμένα, ο πελάτης εφοδιάζεται με δυο νευρωνικά δίκτυα: ένα κατάλληλα εκπαιδευμένο για εκθετικό παροχέα και ένα για πολυωνυμικό παροχέα. Τα δίκτυα αυτά αποθηκεύονται στον πράκτορα του πελάτη και χρησιμοποιούνται σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια της διαδικασίας διαπραγμάτευσης. Με την έναρξη της εκάστοτε διαδικασίας, ο πελάτης πρέπει να εκτιμήσει με ακρίβεια 100% και βασιζόμενος μόνο στις αρχικές προσφορές του αντιπάλου του ποιο είδος στρατηγικής ακολουθεί αυτός. Στην περίπτωση που εκτιμηθεί λάθος το είδος αυτό, τότε το σφάλμα εκτίμησης αυξάνεται σημαντικά, καθιστώντας τη χρήση των νευρωνικών δικτύων περισσότερο ζημιογόνο και παραπλανητική, παρά χρήσιμη. Η απόφαση για το είδος της στρατηγικής που προτείνεται στο σημείο αυτό, βασίζεται στην παρατήρηση ότι στην περίπτωση των εκθετικών στρατηγικών, οι αρχικές προσφορές του παροχέα (που βρίσκονται στην περιοχή του μέγιστου του) είναι πολύ κοντινές αριθμητικά μεταξύ τους σε σύγκριση με την περίπτωση των προσφορών σε πολυωνυμική στρατηγική. Αυτή μάλιστα η παρατήρηση ισχύει τόσο για μικρούς όσο και για μεγαλύτερους ρυθμούς σύγκλισης. Η εμπειρική αυτή παρατήρηση, οδηγεί στην υιοθέτηση ενός κριτηρίου με τη βοήθεια της πρώτης παραγώγου που αναπτύσσεται με σκοπό να καθοριστεί η φύση της υπό παρατήρηση και προσέγγιση στρατηγικής που ακολουθείται από τον παροχέα. Κατόπιν μάλιστα εξαντλητικών πειραμάτων, για διάφορα χρονικά περιθώρια και ρυθμούς σύγκλισης του πελάτη, επιλέχθηκε και το κατώφλι που αποτελεί τη βασική παράμετρο της ευριστικής τεχνικής που προτείνεται και τέθηκε ίσο με 0.1 για το διάστημα τιμών του παροχέα στην περιοχή [0,100].

Στην περίπτωση που ακολουθείται μια εκθετική στρατηγική, η μεταβολή των προσφορών που προτείνονται στους αρχικούς γύρους από τον παροχέα είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με την αντίστοιχη μεταβολή για πολυωνυμικές προσφορές και αυτό το κατώφλι είναι ενδεικτικό για το βαθμό αυτής της μεταβολής. Έτσι, αν συμβολίσουμε με $ST_P \in \{\text{polynomial}, \text{exponential}\}$ τον τύπο της στρατηγικής που ακολουθείται από τον παροχέα, θ τον αρχικό γύρο διαπραγμάτευσης και d το γύρο στον οποίο λαμβάνεται η απόφαση από τον πελάτη για το είδος της στρατηγικής του αντιπάλου, τότε η απόφαση για τη

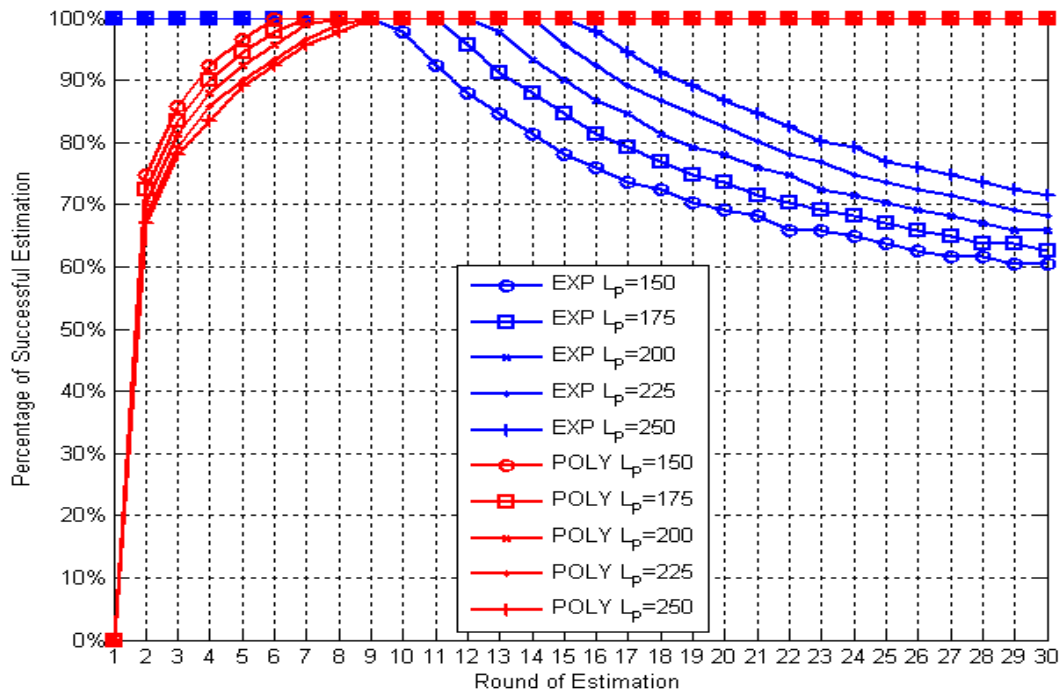
στρατηγική μπορεί να εκφραστεί ως εξής:
$$ST_P = \begin{cases} \text{exponential, if } p_P^{l=0} - p_P^{l=d} < 0.1 \\ \text{polynomial, if } p_P^{l=0} - p_P^{l=d} \geq 0.1 \end{cases} .$$

Αυτό που απομένει να καθοριστεί για να θεωρηθεί το κριτήριο πλήρως τεκμηριωμένο, είναι ο καταλληλότερος γύρος d στον οποίο πρέπει να εφαρμόζεται η ευριστική λύση που προτείνεται. Ο γύρος αυτός αντιστοιχεί στο χρονικό σημείο εκείνο στο οποίο λαμβάνεται η απόφαση για το ποιο νευρωνικό δίκτυο από τα δυο που έχουν δημιουργηθεί και θα παρουσιαστούν στη συνέχεια, είναι το αρμόδιο να πραγματοποιήσει την

πρώιμη εκτίμηση της στρατηγικής του αντιπάλου προκειμένου να προβλεφθούν οι μελλοντικές προσφορές του και η πιθανότητα να αποφευχθεί μια ασυμφωνία πολύ νωρίς, μιας και η τελική προσφορά του παροχέα κατά την εξάντληση του χρονικού περιθωρίου του πελάτη δεν θα μπορούσε, με τις υπάρχουσες συνθήκες, να γίνει αποδεκτή από αυτόν.

Για την επιλογή της τιμής του γύρου εκτίμησης του είδους της στρατηγικής του αντιπάλου, μετρήθηκε το ποσοστό των επιτυχών διαγνώσεων για διάφορους τύπους στρατηγικών, τόσο αργής όσο και γρήγορης σύγκλισης, με μεταβλητό χρονικό περιθώριο και μεγάλο αριθμό πειραμάτων για τα προηγούμενα. Το διάστημα τιμών που ορίστηκε και ελέγχθηκε για τον πελάτη είναι $[p_m^p, p_M^p] = [0, 100]$, τόσο για την πολυωνυμική περίπτωση, όσο και για την εκθετική, ενώ ο ρυθμός σύγκλισης επιλέχθηκε να αντλείται από την περιοχή τιμών $\beta \in [0.5, 5]$ (υπολογισμός μέσω των όρων για κάθε σημείο) και τέλος το χρονικό περιθώριο του παροχέα από την περιοχή τιμών $T_p \in [150 : 25 : 250]$. Τέλος, οι τιμές ελέγχου για τον γύρο επιλογής d , επιλέχθηκαν στο διάστημα $1 \leq d \leq 30$. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στο σχήμα που ακολουθεί. Όπως μπορεί να παρατηρήσει κανείς η καταχώρηση μιας πολυωνυμικής στρατηγικής είναι 100% επιτυχής για γύρους εκτίμησης μεγαλύτερους ή ίσους με 9. Από την άλλη πλευρά, η καταχώρηση για εκθετική στρατηγική είναι 100% για γύρους από 1 έως 9. Οπότε η τελική επιλογή είναι να εφαρμόζεται το κριτήριο της παραγωγού στο γύρο 9, ο οποίος είναι αρκετά πρώιμος για την εξαγωγή οποιασδήποτε άλλης εκτίμησης.

Το γεγονός ότι κάποιες πολυωνυμικές στρατηγικές αναγνωρίζονται ορθά αρκετά αργότερα σε σύγκριση με τις εκθετικές, οφείλεται στο γεγονός ότι αυτές αποδίδονται στην κατηγορία των εκθετικών παρόλο που δεν είναι επειδή η σύγκλισή τους είναι αρκετά αργή όταν ο ρυθμός είναι μικρός και το χρονικό περιθώριο μεγάλο. Έτσι, παρόλο που οι εκθετικές στρατηγικές είναι πολύ διστακτικές κατά τους πρώτους γύρους διαπραγμάτευσης, μένοντας προσκολλημένες στις αρχικές τους τιμές (κοντά στο μέγιστο), για $d \leq 8$ και πολυωνυμικές στρατηγικές μπορούν να χαρακτηριστούν λανθασμένα ως εκθετικές. Το ανάποδο συμβαίνει για $d \geq 10$, οπότε και αρχίζουν κάποιες συγκεκριμένες «γρήγορες» εκθετικές στρατηγικές να χαρακτηρίζονται λανθασμένα ως πολυωνυμικές. Για το λόγο αυτό και για να διασφαλιστεί 100% επιτυχία στην απόφαση ταξινόμησης της στρατηγικής του αντιπάλου στη μια ή την άλλη κατηγορία ο γύρος που πρέπει να προβαίνει ο πελάτης στην εφαρμογή του κριτηρίου είναι ο γύρος 9. Αυτός είναι και ο μοναδικός γύρος όπου η επιτυχία είναι 100% σε κάθε περίπτωση.



Σχήμα 5–1. Βαθμός επιτυχίας αναφορικά με την ταξινόμηση του είδους της στρατηγικής του παροχέα σε εκθετικές και πολυωνυμικές χρονικά εξαρτώμενες στρατηγικές για ποικίλα χρονικά περιθώρια

5.2.4 Ενσωμάτωση των Νευρωνικών Δικτύων στη Στρατηγική του Πελάτη

Ο μηχανισμός που προτείνεται σε αυτό το κεφάλαιο προβλέπει τη χρήση νευρωνικών δικτύων σε συνδυασμό με τις βασικές στρατηγικές που είναι ήδη γνωστές, με βασικό στόχο την εκτίμηση της μελλοντικής συμπεριφοράς του αντιπάλου. Με τον όρο αυτό περιγράφεται η προσπάθεια λήψης απόφασης συνέχισης ή μη της διαπραγμάτευσης, ανάλογα με το αν μπορεί να επιτευχθεί συμφωνία με βάση τις υπάρχουσες συνθήκες ή όχι. Διαφορετικά, λαμβάνεται η απόφαση απόσυρσης του πελάτη από τη διαδικασία, πολύ πρώιμα με τρόπο που να περιορίζονται στο ελάχιστο οι πόροι που σπαταλούνται τόσο χρονικά όσο και υπολογιστικά και να δίνεται η δυνατότητα με την εξοικονόμηση αυτή να επιλεγεί κάποιος άλλος παροχέας για την επίτευξη της επιθυμητής συμφωνίας ή ακόμη και να δοθεί μια δεύτερη ευκαιρία στον ίδιο, με τεκμηρίωση των λόγων που οδήγησαν σε διαφωνία.

Έτσι, ο πελάτης ασχολείται με την εκτίμηση των προσφορών του αντιπάλου του, μέχρι την εξάντληση του δικού του χρονικού περιθωρίου, κάνοντας χρήση δυο νευρωνικών δικτύων: ενός κατάλληλα εκπαιδευμένου για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς του αντιπάλου όταν αυτός ακολουθεί εκθετική στρατηγική, και ενός δεύτερου για πολυωνυμική στρατηγική. Τα δίκτυα αυτά δημιουργούνται και εκπαιδεύονται σε μη-πραγματικό χρόνο και χρησιμοποιούνται στη συνέχεια κατά τη διάρκεια των διαπραγματεύσεων (σε πραγματικό

χρόνο) όποτε ο πελάτης το επιθυμεί. Στο γύρο 9, ο πελάτης αποφασίζει με ακρίβεια 100% ποιο από τα δίκτυα που διαθέτει είναι κατάλληλο για την τρέχουσα διαδικασία και όταν έχει αρκετές προσφορές διαθέσιμες από τον αντίπαλο, τις εφαρμόζει στο δίκτυο και το τελευταίο αποκρίνεται με όλες τις απαιτούμενες παραμέτρους της στρατηγικής του παροχέα, αποκαλύπτοντας έτσι την ιδιωτική του πληροφορία και δίνοντας το πλεονέκτημα στον πελάτη. Η αξιοπιστία της εκτίμησης θα εξεταστεί στη συνέχεια, όπου και θα συγκριθούν τα δυο διαφορετικά νευρωνικά δίκτυα (ένα MLP και ένα ειδικού τύπου RBF) που τελικά χρησιμοποιούνται.

Ο πελάτης διαπραγματεύεται χρησιμοποιώντας την αμιγή του στρατηγική μέχρι το γύρο L_C^{dec} . Στη συνέχεια χρησιμοποιεί τα νευρωνικά δίκτυα για να εκτιμήσει τελικά την τιμή του παροχέα όταν το δικό του χρονικό περιθώριο εξαντληθεί, $\overline{p_p^{l=L_C}}$. Ο γύρος αυτός θα καλείται από εδώ και στο εξής ως γύρος πρόβλεψης και αυτό που μένει να αποφασιστεί είναι ποιος είναι ο καταλληλότερος για ασφαλή και αξιόπιστη πρόβλεψη, δηλαδή σε ποιο ποσοστό γύρων από το συνολικό χρονικό περιθώριο του πελάτη πρέπει να γίνει η πρόβλεψη ώστε να είναι αξιόπιστη. Μετά από εξαντλητικά πειράματα, επιλέγεται ο γύρος αυτός να είναι ίσος με το 30% του συνολικού χρονικού περιθωρίου του πελάτη, δηλαδή επιλέγεται ο γύρος 30, αφού το περιθώριο του πελάτη είναι σταθερό στο 100 για λόγους ευκολίας και ομοιομορφίας με το προηγούμενο κεφάλαιο και χωρίς καμία απώλεια της γενικότητας. Πρόκειται προφανώς για έναν πολύ πρώιμο γύρο εκτίμησης και αν ο μηχανισμός αποδειχθεί αρκετά αξιόπιστος, σίγουρα η πρακτική χρησιμότητα της προτεινόμενης λύσης θα είναι πολύ μεγάλη. Τα δείγματα των προσφορών του παροχέα τέλος, που είναι διαθέσιμα στον πελάτη κρίνονται εκ του αποτελέσματος αρκετά. Πιο συγκεκριμένα, τα πειράματα που διενεργήθηκαν για το σκοπό αυτό περιλάμβαναν τιμές δειγμάτων για το γύρο πρόβλεψης στην περιοχή 20:1:40, για διάφορες αρχιτεκτονικές νευρωνικών δικτύων, με καταγραφή του σφάλματος για κάθε περίπτωση. Ο γύρος 30, επιλέχθηκε καθώς εμφανίζει το μικρότερο σφάλμα εκτίμησης για τον ρυθμό σύγκλισης του παροχέα (1.502) και το χρονικό του περιθώριο (4.927). Αυτές οι τιμές είναι 15%-20% μικρότερες κατά μέσο όρο από τα σφάλματα που προέκυψαν από τα ίδια δίκτυα στους γύρους 20 και 40. Παράλληλα, για όλους τους ενδιάμεσους γύρους το σφάλμα στον γύρο 30 ήταν τουλάχιστον 5% μικρότερο, αποδεικνύοντας πειραματικά ότι πρόκειται για την καλύτερη δυνατή επιλογή.

Στο γύρο αυτό λοιπόν (L_C^{dec}), ο πελάτης αποφασίζει για το αν θα συνεχίσει να συμμετέχει στη διαπραγμάτευση στην οποία λαμβάνει μέρος περιμένοντας την επίτευξη συμφωνίας ή θα αποχωρήσει, καθώς η εκτίμησή του είναι τέτοια που καθιστά την επίτευξη συμφωνίας αδύνατη. Το κριτήριο τώρα που ακολουθεί ο πελάτης προκειμένου να λάβει αυτή την απόφαση είναι ένα προφανές δυαδικό κριτήριο το οποίο απλά αποτιμά αν η διαδικασία

μπορεί να έχει αίσιο τέλος μέχρι εξάντλησης του περιθωρίου του πελάτη ή όχι. Χρησιμοποιώντας ίδιο περίπου συμβολισμό με την ευριστική μέθοδο που περιγράφηκε παραπάνω και αν $D \in \{\text{continue, withdraw}\}$, είναι η απόφαση που πρέπει να λάβει ο πελάτης μετά την απόκριση $\overline{p_P^{l=L_c}}$, του νευρωνικού δικτύου στο γύρο L_C^{dec} , τότε η απόφαση

λαμβάνεται σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:
$$D = \begin{cases} \text{continue, if } \overline{p_P^{l=L_c}} < p_M^C \\ \text{withdraw, if } \overline{p_P^{l=L_c}} \geq p_M^C \end{cases}.$$

Έτσι, μια διαδικασία μπορεί να είναι επιτυχημένη αν και μόνο αν η τιμή προσφοράς του παροχέα είναι μικρότερη από το μέγιστο του πελάτη όταν το περιθώριο του τελευταίου εξαντλείται. Μάλιστα, το πόσο μικρότερη είναι καθορίζει και το πόσο νωρίτερα από το περιθώριο αυτό έχει επιτευχθεί η συμφωνία. Επομένως, αν η εκτίμηση του μηχανισμού είναι αξιόπιστη, ο πελάτης γνωρίζει την προσφορά του αντιπάλου του στον δικό του τελευταίο γύρο και μπορεί να αποφασίσει αν μπορεί να επιτευχθεί συμφωνία ή όχι και να παραμείνει ή να αποχωρήσει από τη διαδικασία.

Συνοψίζοντας, το νευρωνικό δίκτυο επιτρέπει στον πελάτη να εξοικονομήσει χρόνο και να αποφύγει πολύ πρώιμα τις διαπραγματεύσεις εκείνες που δεν μπορούν να οδηγήσουν σε συμφωνία. Αν ο πελάτης επιλέξει να συνεχίσει βάσει του κριτηρίου απόφασης, ακολουθεί τη στρατηγική που ακολουθούσε εξ αρχής και περιμένει να επιτευχθεί η συμφωνία για την οποία είναι σίγουρος ότι θα συμβεί. Διαφορετικά, ο μηχανισμός αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την προσαρμογή της στρατηγικής του σε αυτή του αντιπάλου για μεγιστοποίηση του κέρδους του, μια προοπτική που ξεφεύγει από τους σκοπούς αυτού του κεφαλαίου και μπορεί να αντιμετωπιστεί στο μέλλον. Μετά το γύρο πρόβλεψης, το νευρωνικό δίκτυο δεν χρησιμοποιείται στην παρούσα προσέγγιση.

5.3 Αρχιτεκτονική των Νευρωνικών Δικτύων

Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούν, όπως ειπώθηκε και στο κεφάλαιο των βασικών εννοιών της παρούσας διατριβής, μια σύνθετη δομή για την προσέγγιση αποκρίσεων που προέρχονται από τα περισσότερα φυσικά ή μη συστήματα. Μπορούν να σχεδιαστούν έτσι ώστε να παρέχουν αξιόπιστες τιμές στην έξοδό τους για συγκεκριμένα κατάλληλα σχηματισμένα σήματα εισόδου. Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζονται συγκριτικά δυο κατηγορίες νευρωνικών δικτύων ως προς τη δυνατότητα να επιλύσουν αξιόπιστα το πρόβλημα που περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα. Από τη μια το Multilayer Perceptron (MLP), που αποτέλεσε αντικείμενο πειραμάτων και προηγούμενα και από την άλλη το δίκτυο Generalized Regression (GR), που εισάγεται για πρώτη φορά στην ενότητα αυτή. Το τελευταίο αποτελεί

μια ειδική κατηγορία δικτύου RBF με ένα επιπρόσθετο επίπεδο κρυφών νευρώνων γραμμικής φύσεως πριν το επίπεδο εξόδου, όπου συνδυάζονται γραμμικά οι αποκρίσεις των νευρώνων RBF του πρώτου κρυφού επιπέδου (Haykin 1999).

Το MLP είναι μια πολύ γνωστή και διαδεδομένη κατηγορία δικτύου που έχει απασχολήσει, τόσο θεωρητικά όσο και πρακτικά (στο προηγούμενο κεφάλαιο) την παρούσα διατριβή. Προηγούμενα όμως, η χρήση του περιελάμβανε ένα μικρό δίκτυο που σαν σκοπό είχε την εκτίμηση της επόμενης τιμής προσφοράς του αντιπάλου. Έτσι, προέκυψε ένα δίκτυο με ένα κρυφό επίπεδο τριών νευρώνων ικανό να ανταποκριθεί στο συγκεκριμένο εγχείρημα. Στο συγκεκριμένο όμως πρόβλημα η απαίτηση από το δίκτυο είναι πολύ πιο σημαντική, ενώ παράλληλα πρέπει να διασφαλίζονται οι προϋποθέσεις που αναφέρθηκαν και προηγούμενα, αναφορικά με το μέγεθός του και τις κατ' επέκταση χρονικές και υπολογιστικές απαιτήσεις. Μάλιστα, η συγκεκριμένη απόφαση πρέπει να υπενθυμίσουμε ότι επηρεάζει εις διπλούν τους κινήτους πράκτορες, μιας και κάθε πράκτορας πρέπει να διατηρεί δυο νευρωνικά δίκτυα, είτε ίδιας κατηγορίας, είτε διαφορετικής, ανάλογα με τις επιδόσεις τους που θα καταμετρηθούν στην ενότητα που ακολουθεί, όπου παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα. Για το σκοπό αυτό, σχεδιάζονται τελικά και υλοποιούνται τέσσερα νευρωνικά δίκτυα, δυο τύπου MLP και δυο τύπου GR, ένα από κάθε οικογένεια για πολυωνυμική στρατηγική του παροχέα και ένα άλλο για εκθετική.

Για τα δυο MLP, η μέθοδος που ακολουθείται για την εκπαίδευσή τους είναι ο αλγόριθμος Levenberg-Marquardt (Levenberg 1944)(Marquardt 1963)(Hagan and Menhaj 1994)(Hagan et.al. 1996)(Gill et.al. 1981) μιας και αποτελεί την καταλληλότερη μέθοδο για τέτοιου είδους προβλήματα όπως αναφέρθηκε και στις προηγούμενες ενότητες. Τα διανύσματα εκπαίδευσης σχηματίζονται από το ιστορικό των προσφορών του παροχέα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να τροφοδοτήσουν το νευρωνικό δίκτυο στον 30^ο γύρο διαπραγμάτευσης. Έτσι, το κάθε δίκτυο διαθέτει (και συνεπώς εκπαιδεύεται αντίστοιχα) 30 εισόδους. Το σύνολο τώρα των διανυσμάτων εκπαίδευσης σχηματίζεται από την εφαρμογή διαφορετικών τιμών για τις παραμέτρους β and L_p στη συνάρτηση που σχηματίζει τις προσφορές (συνάρτηση στρατηγικής f) είτε αυτή είναι εκθετική, είτε είναι πολυωνυμική.

Τα διανύσματα εισόδου για το MLP που επιχειρεί να προσεγγίζει την πολυωνυμική στρατηγική του παροχέα, προκύπτουν από το συνδυασμό όλων των παρακάτω τιμών για τη συνάρτηση της στρατηγικής: $\beta = [0.1:0.1:0.9 \ 1:1:10]$, $k^a = [0]$ και $L_p = [30:30:300]$. Αυτό το σύνολο επιλέχθηκε ως το πιο αντιπροσωπευτικό και ως αυτό με το μεγαλύτερο παραγόμενο μέσο τετραγωνικό σφάλμα κατά την εκπαίδευση του δικτύου. Έτσι, προκύπτουν $19 \times 1 \times 10 = 190$ διαφορετικά διανύσματα των 30 προσφορών στην είσοδο του MLP (για την εκπαίδευσή του) και η εφαρμογή του καθενός γίνεται για 200 φορές (200 epochs) προκειμένου να επιτευχθεί η ζητούμενη τιμή απόδοσης (performance goal) για το δίκτυο. Οι

ξεχωριστοί συνδυασμοί των 190 παραπάνω διανυσμάτων αποτελούν το διάνυσμα- στόχο της εκπαίδευσης, δηλαδή το δίκτυο παίρνει ως είσοδο προσφορές του παροχέα και μαθαίνει να αποκρίνεται με τις παραμέτρους της στρατηγικής που αντιστοιχεί στις 30 αυτές αρχικές προσφορές. Αναφορικά τώρα με την ακολουθούμενη αρχιτεκτονική για το δίκτυο αυτό, εκτεταμένα πειράματα οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι η καταλληλότερη αρχιτεκτονική είναι: 23 νευρώνες κρυφού επιπέδου με λογιστική συνάρτηση μεταφοράς και προφανώς 3 γραμμικοί νευρώνες στην έξοδο, όσες και οι παράμετροι της στρατηγικής.

Το MLP δίκτυο που σχεδιάζεται και υλοποιείται για την περίπτωση του εκθετικού παροχέα, εκπαιδεύεται μέσω του συνδυασμού των ακόλουθων τιμών για τις παραμέτρους της συνάρτησης της (εκθετικής) στρατηγικής: $\beta=[0.5:0.05:1 \quad 1:0.5:8]$, $k^a=[0.0001]$ and $L_p=[30:30:240]$. Η ανάγκη για διαφορετικές τιμές είναι προφανής μιας και η συμπεριφορά των εκθετικών στρατηγικών είναι πολύ διαφορετική από αυτή των πολυωνυμικών για αντίστοιχες τιμές. Η επιλογή για τα διανύσματα των παραμέτρων που οδήγησαν στη δημιουργία των τιμών εισόδου, έγινε και σε αυτή την περίπτωση από ένα σύνολο πολλών διανυσμάτων που ελέγχθηκαν, ως εκείνα με το μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα εκπαίδευσης, ανάμεσα στην απόκριση του δικτύου και στα θεωρητικά δείγματα εξόδου. Όμοια, οι στρατηγικές για την εκπαίδευση που προκύπτουν είναι: $26 \times 1 \times 8 = 208$ για 200 εμφανίσεις (epochs) η κάθε μια. Το μέγεθος του νευρωνικού δικτύου με την καλύτερη συμπεριφορά είναι στην περίπτωση αυτή 22 λογιστικοί (log-sigmoid) νευρώνες κρυφού επιπέδου και 3 γραμμικοί νευρώνες εξόδου.

Παρόμοια είναι και η εκπαίδευση/δημιουργία του νευρωνικού δικτύου GR. Για την πολυωνυμική περίπτωση, και κατόπιν εκτεταμένων πειραμάτων, τα διανύσματα των παραμέτρων που ελέγχθηκαν και παρήγαγαν τις τιμές-στόχους στην έξοδο είναι τα: $\beta=[0.1:0.1:0.9 \quad 1:0.5:10]$, $k^a=[0]$ and $L_p=[30:30:300]$. Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι το GR δίκτυο δεν ακολουθεί την παραδοσιακή εκπαίδευση του MLP, αλλά κατασκευάζεται με τρόπο που να διασφαλίζει τη σωστή απόκριση στα δείγματα εισόδου-εξόδου που τροφοδοτούνται στη φάση δημιουργίας του. Έτσι, η υλοποίησή του η ίδια είναι που διασφαλίζει αξιόπιστες αποκρίσεις και όχι η εκπαίδευσή του (βλ. ενότητα 2.4.3). Επιστρέφοντας στη συζήτηση για το προκύπτον δίκτυο, το GR που σχηματίζεται για την υλοποίηση των εκτιμήσεων των πολυωνυμικών στρατηγικών έχει το ακόλουθο μέγεθος, που ισούται με τον αριθμό των διαφορετικών ζευγαριών εισόδων-εξόδων από το σύνολο «εκπαίδευσης»: $28 \times 1 \times 10 = 280$ κρυφοί νευρώνες RBF. Μετά από εκτεταμένα πειράματα, επιλέχθηκε επίσης η παράμετρος spread (που έχουμε δει και παραπάνω) ίση με 0.075 αντί για την 1.0 που ορίζεται από προεπιλογή, μιας και αυτή οδηγεί στην αποδοτικότερη προσαρμογή (Hagan et.al. 1996).

Για την περίπτωση των εκθετικών στρατηγικών, το νευρωνικό δίκτυο GR που υλοποιείται, κατασκευάζεται με τη βοήθεια των δειγμάτων εισόδου που προκύπτουν από την εφαρμογή όλων των συνδυασμών των παρακάτω τιμών των παραμέτρων για εκθετική χρονικά εξαρτώμενη στρατηγική: $\beta=[0.5:0.1:1 \ 1:0.2:10]$, $k^a=[0.0001]$ και $L_p=[30:30:300]$, είναι τα διανύσματα-στόχοι, ενώ οι προσφορές για 30 γύρους (τους πρώτους 30) είναι οι τιμές εισόδου που καθορίζουν τους νευρώνες του GR δικτύου. Το κρυφό επίπεδο που προκύπτει είναι $52 \times 1 \times 10 = 520$ νευρώνες RBF. Προφανώς οι γραμμικοί νευρώνες σε κάθε ένα από τα δίκτυα GR είναι 3. Όμοια, η παράμετρος spread τίθεται στην τιμή 0.075, όπως και στην περίπτωση του πολυωνυμικού GR.

Τα παραπάνω δίκτυα που υλοποιήθηκαν και υιοθετούνται από τον πελάτη μπορούν και παρέχουν αξιόπιστες προβλέψεις για τη μελλοντική προσφορά του παροχέα, σε βαθμό που θα εκτιμηθεί στην ενότητα που ακολουθεί και συνοψίζει τα πειράματα που διενεργήθηκαν για το λόγο αυτό. Τα πειράματα αυτά περιλαμβάνουν όλες τις διαφορετικές περιπτώσεις που μπορούν να ανακύψουν σε πραγματικές διαδικασίες, εκτός από κάποιες ακραίες που δεν αποτελούν αντικείμενο της παρούσας διατριβής. Σε κάθε περίπτωση, ελέγχονται πολύ περισσότερες διαπραγματεύσεις από αντίστοιχες άλλες εργασίες της διεθνούς βιβλιογραφίας.

5.4 Πειράματα και Αποτίμηση

Στην παρούσα ενότητα θα περιγραφούν αναλυτικά τα πειράματα που διενεργήθηκαν με σκοπό τον έλεγχο της απόδοσης και την εξαγωγή συμπερασμάτων για την καταλληλότητα των δυο νευρωνικών δικτύων να επιλύσουν το πρόβλημα της πρώιμης πρόβλεψης της πολιτικής του αντιπάλου και ειδικότερα της τελευταίας τιμής του για την αποφυγή των ανεπιτυχών διαπραγματεύσεων από πολύ νωρίς στη διαδικασία. Για το σκοπό αυτό, αναγνωρίστηκαν τρεις οικογένειες πειραμάτων, για τις οποίες τα νευρωνικά δίκτυα παρατηρούν τις προσφορές του αντιπάλου για 30 γύρους διαπραγμάτευσης και στη συνέχεια επιχειρούν βάσει της εκπαίδευσής τους να προβλέψουν τις προσφορές του μέχρι το γύρο 100, ο οποίος αποτελεί και τον τελευταίο γύρο. Οι επιλογές των σταθερών παραμέτρων για τη διενέργεια των πειραμάτων είναι αντίστοιχες με αυτές των προηγούμενων κεφαλαίων, χωρίς ωστόσο να βλέπεται η γενικότητα μιας και τα ίδια ποιοτικά αποτελέσματα θα προέκυπταν σε περίπτωση αλλαγής αυτών.

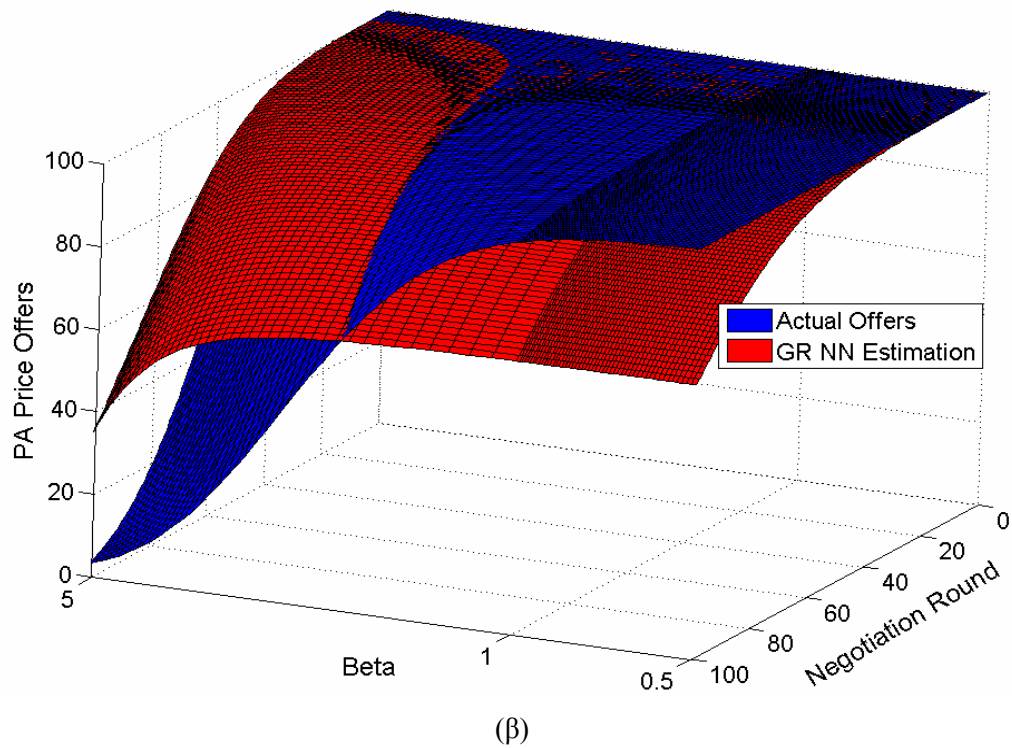
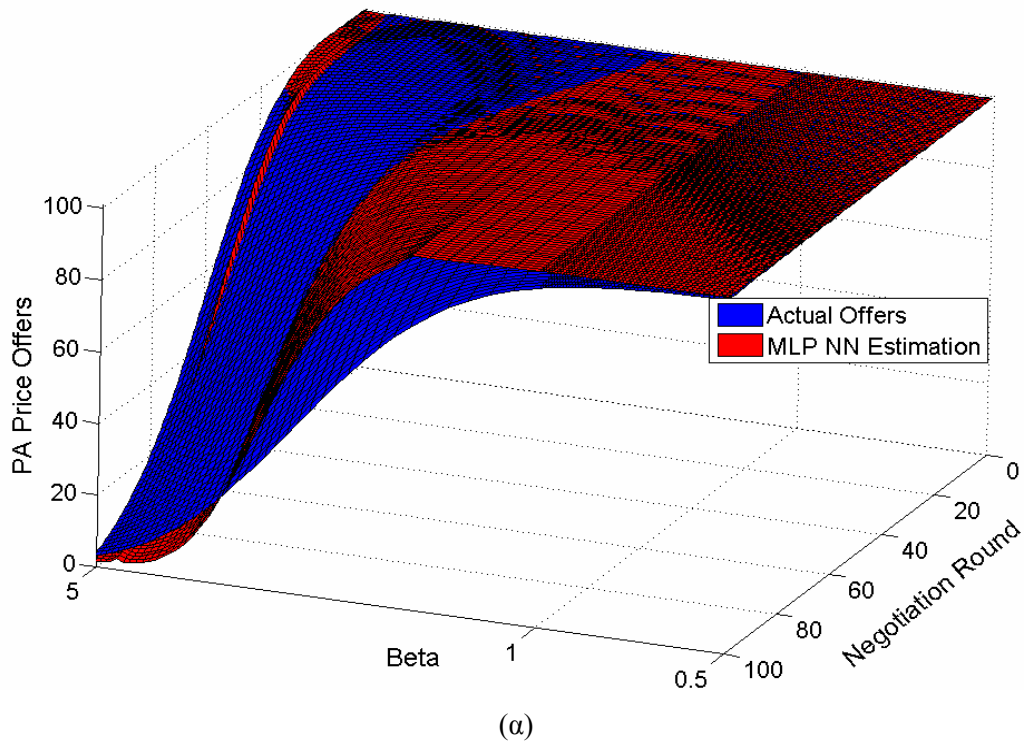
Όλα τα πειράματα επιχειρούν να εκτιμήσουν και να συγκρίνουν τη συμπεριφορά του αντιπάλου και την απόκριση των νευρωνικών δικτύων, για τις ακόλουθες τιμές των παραμέτρων των συμμετεχόντων και των στρατηγικών τους. Ισχύει επομένως ότι οι ανεκτές

τιμές του παροχέα είναι στην περιοχή $[p_m^p, p_M^p] = [0,100]$ και ο βαθμός σύγκλισης του ελέγχεται από όλες τις τιμές του διανύσματος, $\beta \in [0.5 : 0.01 : 0.99, 1 : 0.1 : 5]$. Έτσι, έχουμε 91 δείγματα ελέγχου για το ρυθμό αυτό, που κατανέμονται ομοιόμορφα σε όλο το διάστημα των στρατηγικών, από πολύ αργές και συγκαταβατικές, μέχρι πολύ γρήγορες. Στην πραγματικότητα έχουμε 50 δείγματα για $\beta < 1$ (Boulware), $\beta = 1$ (γραμμική) και 40 δείγματα για $\beta > 1$ (Conceder). Οι παράμετροι που υπολογίζονται περιλαμβάνουν: (1) τις προσφορές του αντιπάλου μέχρι το γύρο 100, όπου και εξαντλείται το χρονικό περιθώριο του πελάτη (θεωρώντας ότι ο αντίπαλος παροχέας διαθέτει μεγαλύτερο χρονικό όριο) και (2) την ελάχιστη προσφορά του παροχέα στον γύρο αυτό.

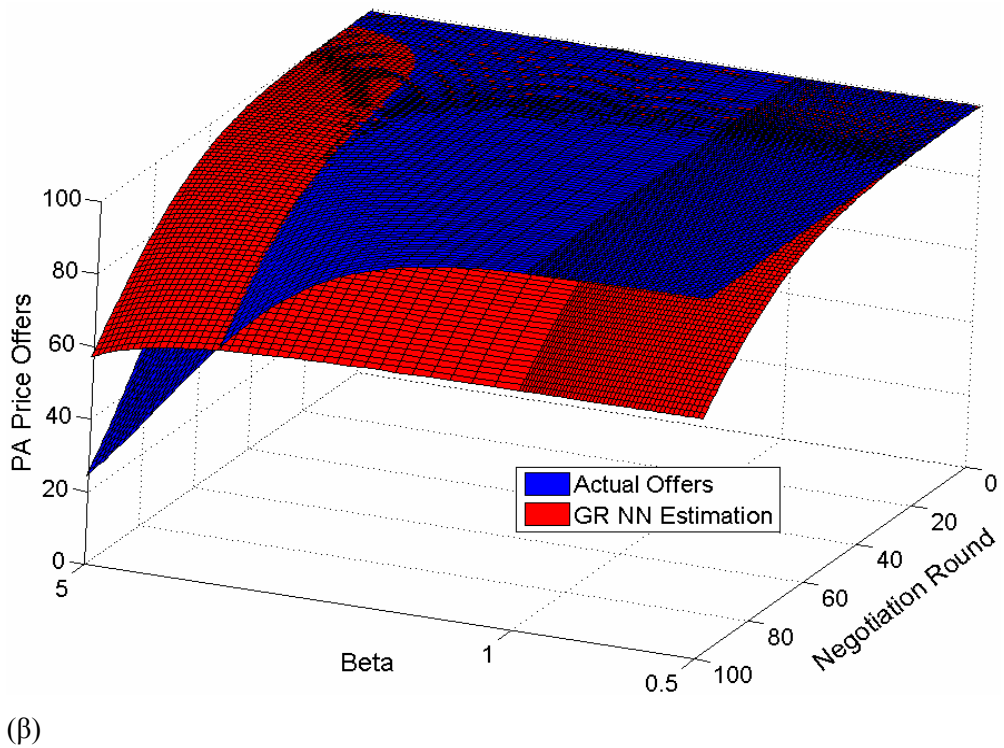
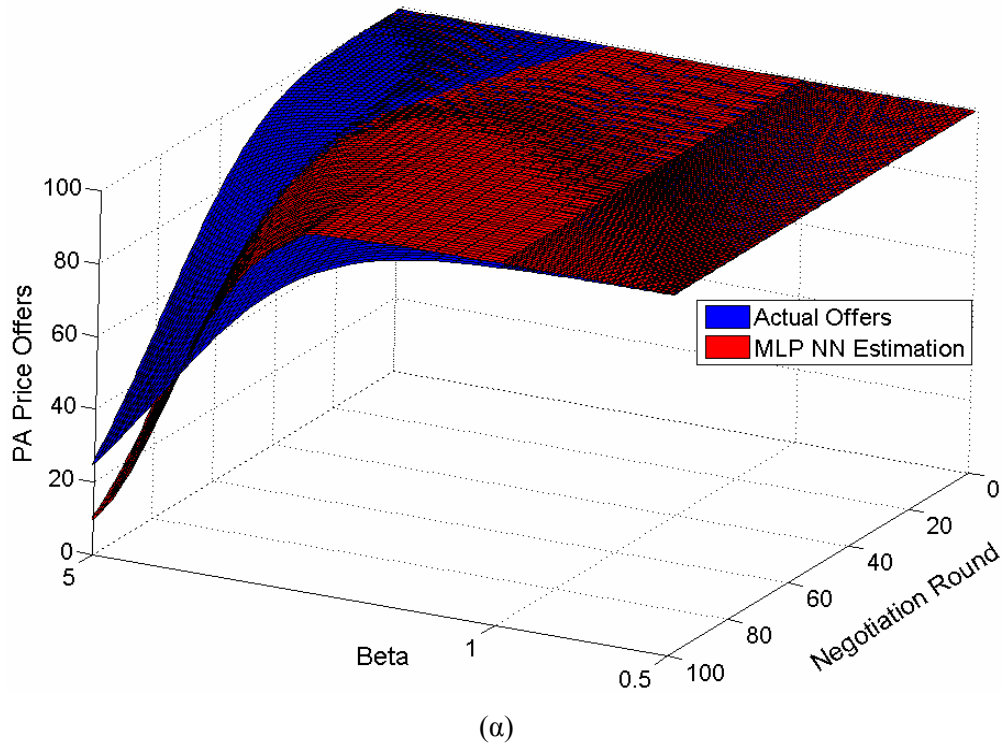
Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο σύνολο πειραμάτων, το χρονικό περιθώριο για τον παροχέα είναι $L_p = 150$, στο δεύτερο είναι $L_p = 200$ και στο τρίτο $L_p = 250$. Οι τιμές αυτές επιλέγονται για να ελεγχθεί η προτεινόμενη λύση, τόσο σε μικρό βάθος χρόνου όσο και σε μεγαλύτερο. Άλλωστε, μια εκτίμηση της τάξεως 30/250 όπως συμβαίνει για την τελευταία οικογένεια πειραμάτων μόνο ως υπερβολικά αισιόδοξη μπορεί να κριθεί, ενώ ακόμα και για την πρώτη περίπτωση ($L_p = 150$) είναι σημαντικό η εκτίμηση να είναι αξιόπιστη παρόλο που και αυτή η απόπειρα είναι φιλόδοξη. Αν όμως τα αποτελέσματα δικαιώσουν την εφαρμογή του μηχανισμού, τότε το όφελος θα είναι πολύ μεγάλο και η γενίκευσή του σε παρόμοια προβλήματα θα σημάνει την αλλαγή της φιλοσοφίας των διαδικασιών αυτών.

Τα αποτελέσματα για την πρώτη οικογένεια πειραμάτων φαίνονται στο σχήμα 5-2 για εκθετική στρατηγική παροχέα και στο σχήμα 5-5 για πολυωνυμική. Αντίστοιχα, στα σχήματα 5-3 και 5-6 για τη δεύτερη οικογένεια και 5-4 και 5-7 για την τρίτη. Στα σχήματα με δείκτη (α), απεικονίζεται η προσέγγιση που πραγματοποιείται από το MLP με την κόκκινη επιφάνεια, ενώ με την μπλε επιφάνεια είναι οι πραγματικές προσφορές του παροχέα για τους υπόλοιπους γύρους. Έτσι, είναι εύκολο να αντιπαρατεθούν οι εκτιμήσεις και να γίνει μια πρόχειρη επισκόπηση της απόδοσης του μηχανισμού. Στα αντίστοιχα (β) σχήματα, φαίνεται η εκτίμηση που προσφέρεται από το GR νευρωνικό δίκτυο με την κόκκινη επιφάνεια, για την ίδια περίπτωση προφανώς.

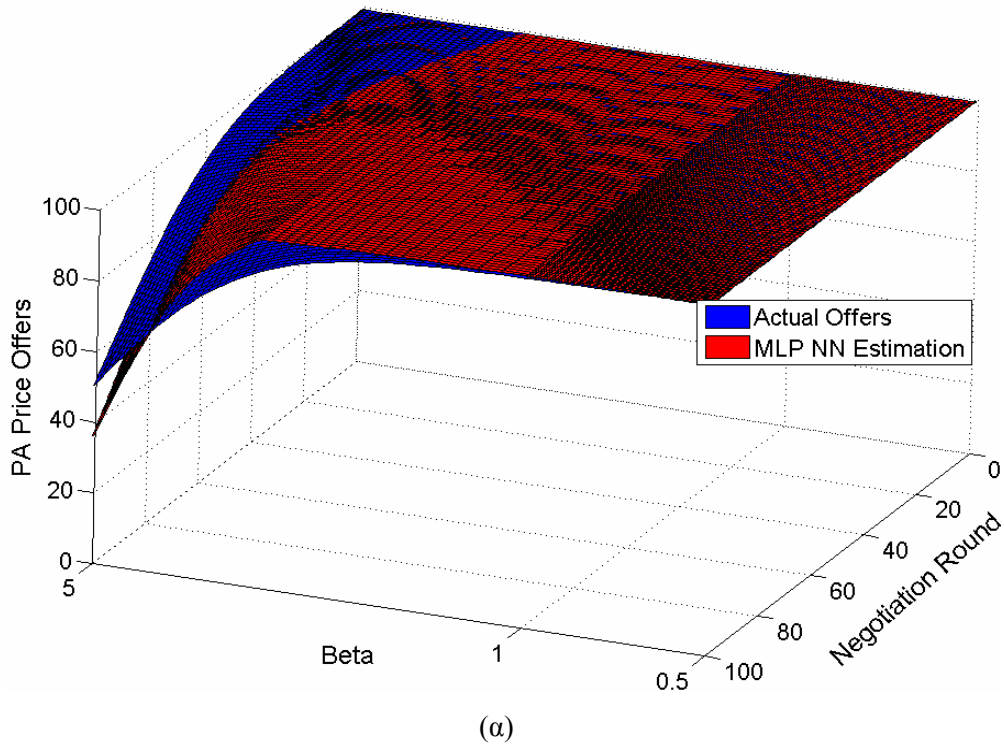
Με μια πρώτη ματιά στα σχήματα που ακολουθούν, ένα πρώτο συμπέρασμα που μπορεί να εξαχθεί είναι ότι τα δυο νευρωνικά δίκτυα αποδίδουν τελείως διαφορετικά στην περίπτωση που έχουμε εκθετική στρατηγική για τον παροχέα (σχήματα 5-2, 5-3, 5-4).



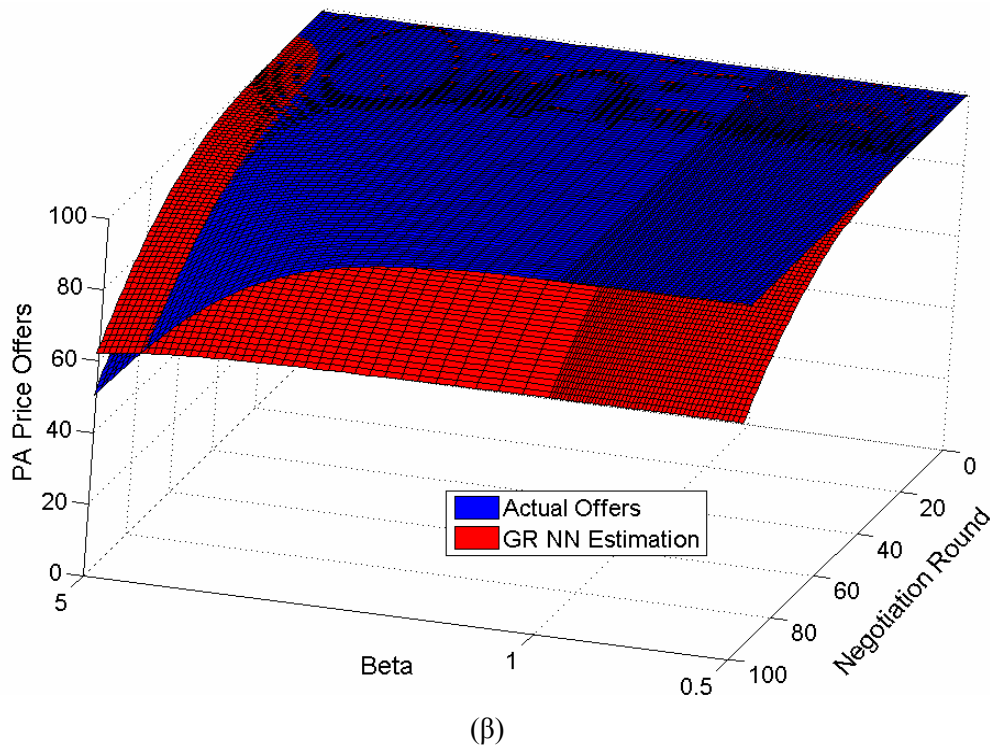
Σχήμα 5–2. Η προσφερόμενη και η εκτιμώμενη τιμή για τον παροχέα από, (α) το MLP δίκτυο και (β) το GR-NN, για 100 γύρους διαπραγμάτευσης όταν ο παροχέας ακολουθεί εκθετική χρονικά εξαρτώμενη στρατηγική με $L_p = 150$, $p_m^p = 0$, $p_m^a = 100$ και $\beta \in [0.5, 5]$



Σχήμα 5–3. Η προσφερόμενη και η εκτιμώμενη τιμή για τον παροχέα από, (α) το MLP δίκτυο και (β) το GR-NN, για 100 γύρους διαπραγμάτευσης όταν ο παροχέας ακολουθεί εκθετική χρονικά εξαρτώμενη στρατηγική με $L_p = 200$, $p_m^p = 0$, $p_m^p = 100$ και $\beta \in [0.5, 5]$



(α)



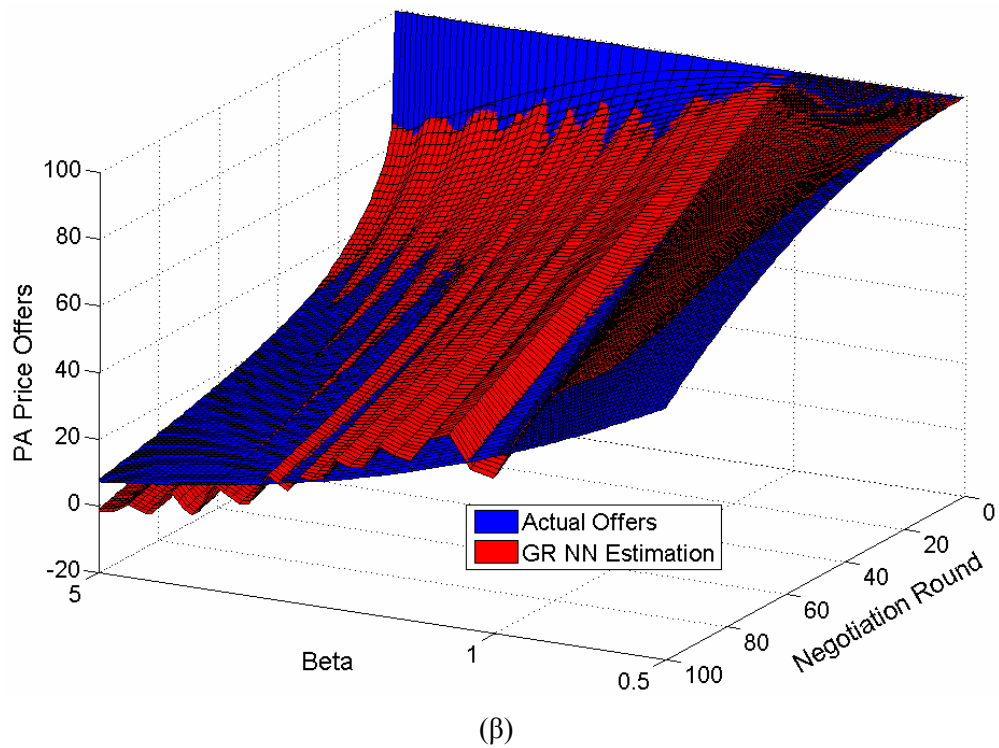
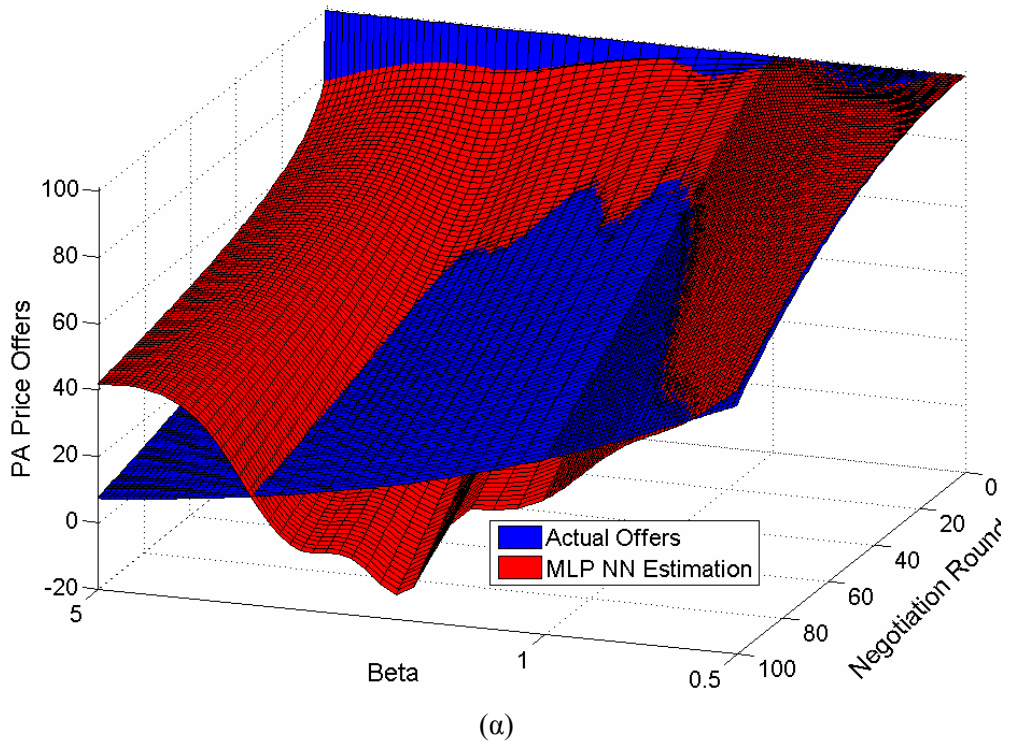
(β)

Σχήμα 5-4. Η προσφερόμενη και η εκτιμώμενη τιμή για τον παροχέα από, (α) το MLP δίκτυο και (β) το GR-NN, για 100 γύρους διαπραγμάτευσης όταν ο παροχέας ακολουθεί εκθετική χρονικά εξαρτώμενη στρατηγική με $L_p = 250$, $p_m^p = 0$, $p_m^a = 100$ και $\beta \in [0.5, 5]$

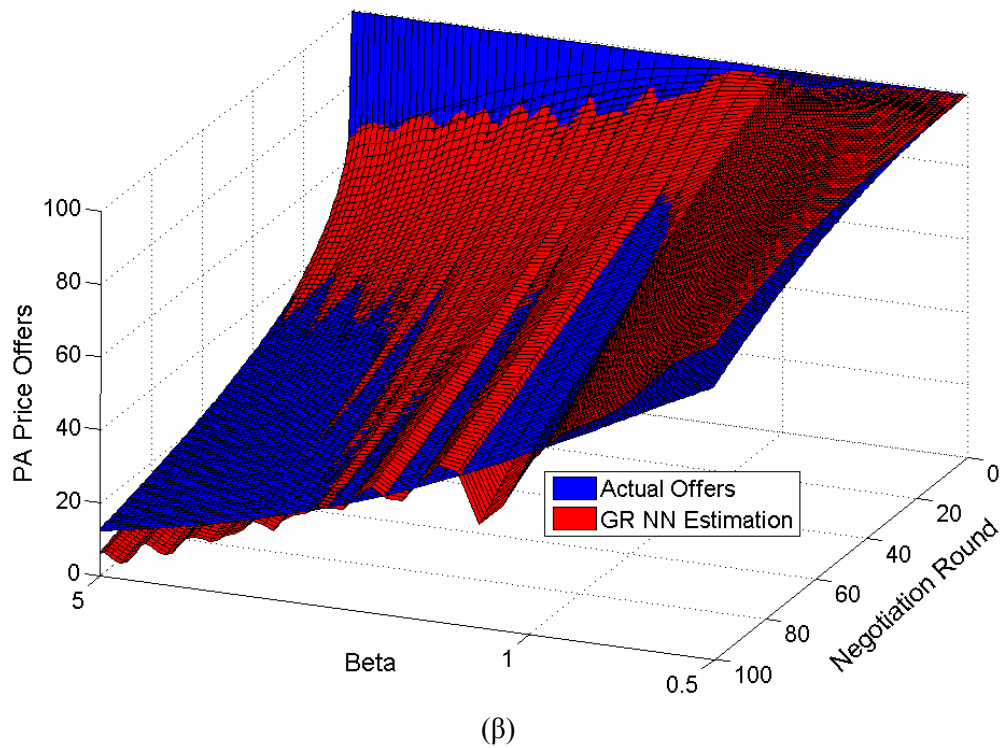
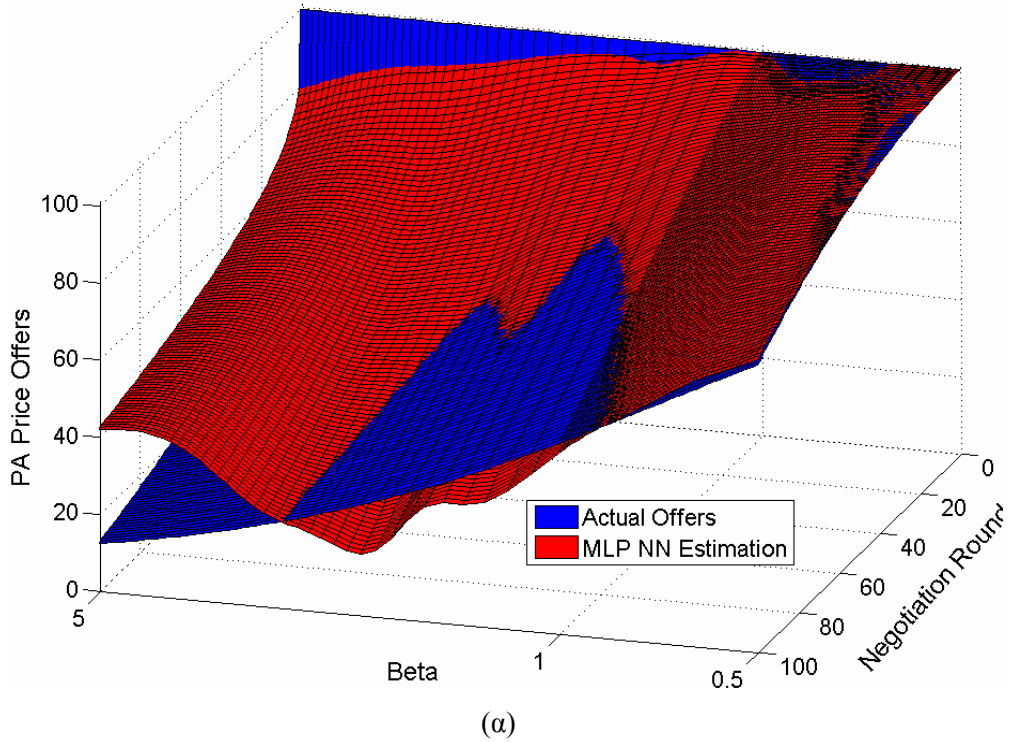
Από τη μία, όπως φαίνεται στα σχήματα 5-2(α), 5-3(α), και 5-4(α), το MLP πετυχαίνει να εκτιμήσει τις προσφορές του παροχέα με μεγάλη ακρίβεια σε όλο το φάσμα των πειραμάτων. Ειδικότερα για μικρούς ρυθμούς σύγκλισης (boulware strategies), καταφέρνει να είναι

εξαιρετικά αξιόπιστο για το σύνολο των γύρων διαπραγμάτευσης από την εκτίμηση και μέχρι το τέλος. Βέβαια, οι εκτιμήσεις στην περίπτωση αυτή μπορούν να θεωρηθούν ευκολότερες μιας και οι στρατηγικές δίνουν τιμές με μικρές αποκλίσεις μεταξύ τους και πολύ ομαλές γενικότερα. Για τις «γρήγορες» στρατηγικές (conceder) και ρυθμούς μικρότερους του 4, το MLP τείνει να υπερεκτιμά τις τιμές του αντιπάλου στους τελευταίους 20-30 γύρους και για τις τρεις περιπτώσεις χρονικού περιθωρίου παροχέα, δείχνοντας ότι αυτό το φαινόμενο δεν έχει μεγάλη σχέση με τη συγκεκριμένη παράμετρο μιας και η επίδρασή της είναι περίπου ίδιου βαθμού και στις τρεις περιπτώσεις. Για τιμές όμως $\beta > 4$, το MLP υποεκτιμά τις προσφορές του αντιπάλου ειδικότερα κατά τους τελευταίους 20 γύρους. Μάλιστα, καθώς το χρονικό περιθώριο αυξάνεται το σφάλμα εκτίμησης μειώνεται σημαντικά, μιας και μεγαλύτερα περιθώρια σημαίνει μεγαλύτερες τιμές κατά τους πρώτους 100 γύρους και έτσι το MLP πρέπει να προσεγγίσει μια συνάρτηση με λιγότερες και ομαλότερες μεταβολές όσο μεγαλύτερο είναι το εν λόγω περιθώριο.

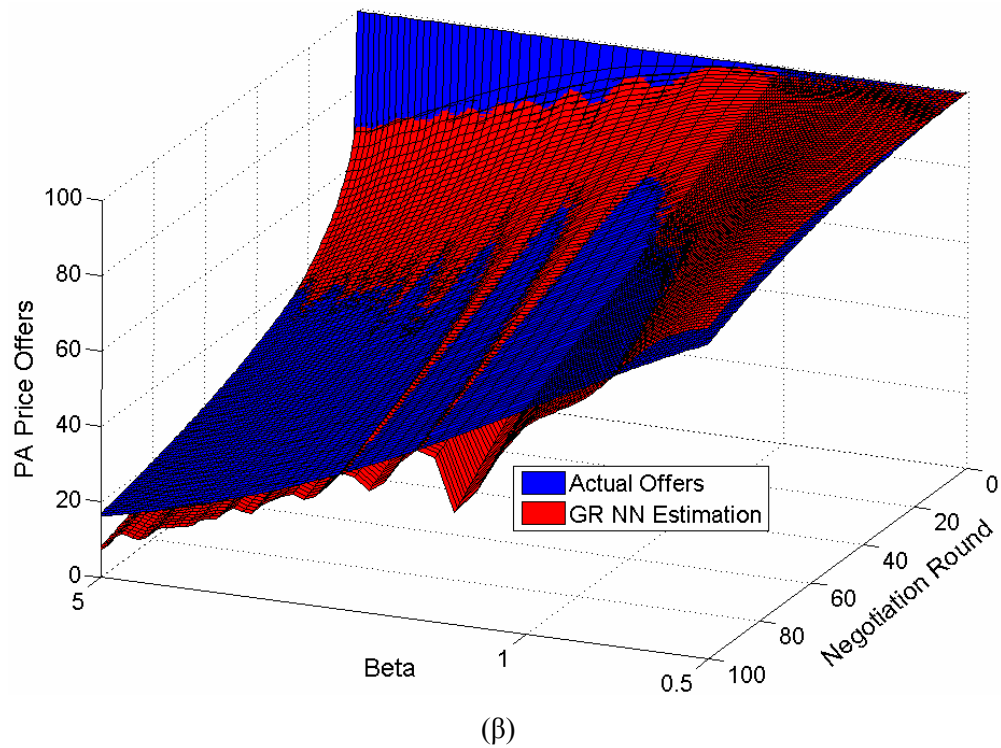
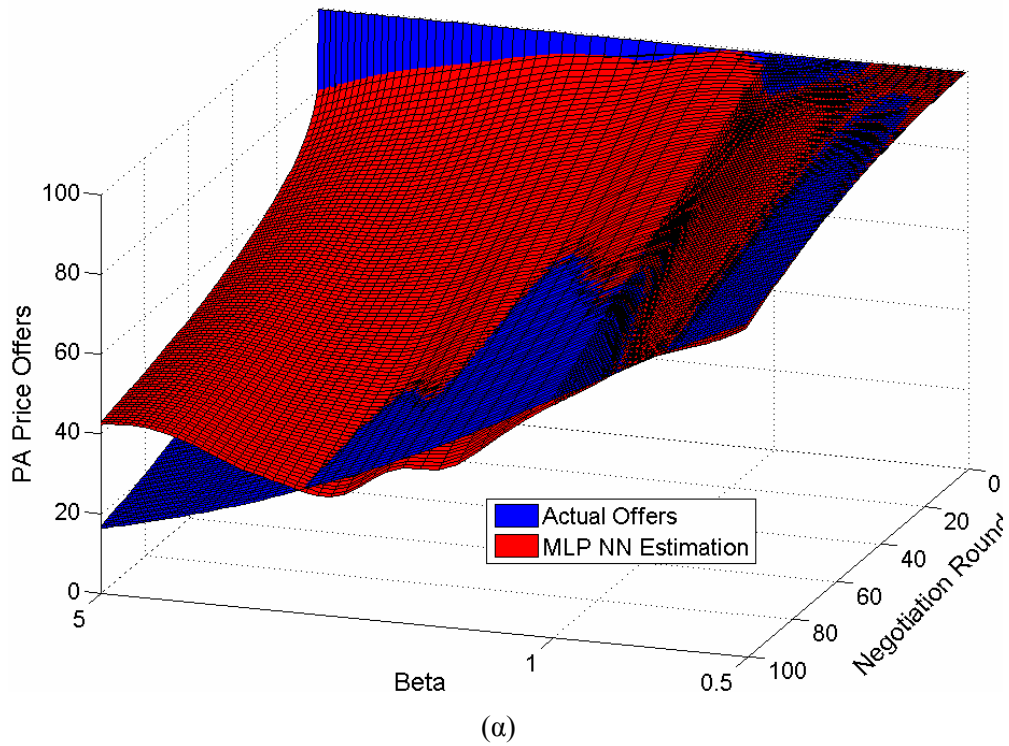
Από την άλλη, όπως φαίνεται στα (β) σχήματα (5-2, 5-3, 5-4), το GR δίκτυο δεν είναι σε καμία περίπτωση σταθερό και αξιόπιστο αναφορικά με τις εκτιμήσεις του για εκθετική στρατηγική του παροχέα. Για $L_p = 150$, το δίκτυο αποτυγχάνει σε όλο σχεδόν το εύρος των πειραμάτων και μάλιστα για όλους τους γύρους διαπραγμάτευσης. Για μικρούς ρυθμούς, υποεκτιμά σημαντικά τις τιμές προσφοράς του παροχέα, κάτι που αντιστρέφεται εξίσου σημαντικά, όταν οι ρυθμοί αυτοί ξεπεράσουν την τιμή 2. Τέλος, καθώς το χρονικό περιθώριο του παροχέα μεγαλώνει, το σφάλμα εκτίμησης μειώνεται σημαντικά (κάτι που παρατηρήθηκε και προηγούμενα) για τον ίδιο λόγο με το MLP, αλλά σε καμία περίπτωση δεν πλησιάζει τα επίπεδα του τελευταίου.



Σχήμα 5–5. Η προσφερόμενη και η εκτιμώμενη τιμή για τον παροχέα από, (α) το MLP δίκτυο και (β) το GR-NN, για 100 γύρους διαπραγμάτευσης όταν ο παροχέας ακολουθεί πολυωνυμική χρονικά εξαρτώμενη στρατηγική με $L_p = 150$, $p_m^p = 0$, $p_M^p = 100$ και $\beta \in [0.5, 5]$



Σχήμα 5–6. Η προσφερόμενη και η εκτιμώμενη τιμή για τον παροχέα από, (α) το MLP δίκτυο και (β) το GR-NN, για 100 γύρους διαπραγμάτευσης όταν ο παροχέας ακολουθεί πολυωνυμική χρονικά εξαρτώμενη στρατηγική με $L_p = 200$, $p_m^p = 0$, $p_M^p = 100$ και $\beta \in [0.5, 5]$



Σχήμα 5–7. Η προσφερόμενη και η εκτιμώμενη τιμή για τον παροχέα από, (α) το MLP δίκτυο και (β) το GR-NN, για 100 γύρους διαπραγμάτευσης όταν ο παροχέας ακολουθεί πολυωνυμική χρονικά εξαρτώμενη στρατηγική με $L_p = 250$, $p_m^p = 0$, $p_M^p = 100$ και $\beta \in [0.5, 5]$

Στο σημείο αυτό θα αποτυπωθούν τα αποτελέσματα της συμπεριφοράς των νευρωνικών δικτύων MLP και GR για την περίπτωση που έχουν εκπαιδευτεί να προσεγγίσουν τη συμπεριφορά του παροχέα, όταν αυτός ακολουθεί μια πολυωνυμική χρονικά εξαρτώμενη

στρατηγική. Τα συμπεράσματα που θα εξαχθούν ανατρέπουν τα αποτελέσματα της προηγούμενης κατηγορίας και η τελική επιλογή έχει ενδιαφέρον. Παρατηρώντας μόνο τα σχήματα 5-5, 5-6 και 5-7, ένα πρώτο σχόλιο είναι ότι και στην περίπτωση αυτή, τα δυο νευρωνικά δίκτυα λειτουργούν με τελείως διαφορετικό τρόπο και παρέχουν σημαντικά διαφορετικά αποτελέσματα.

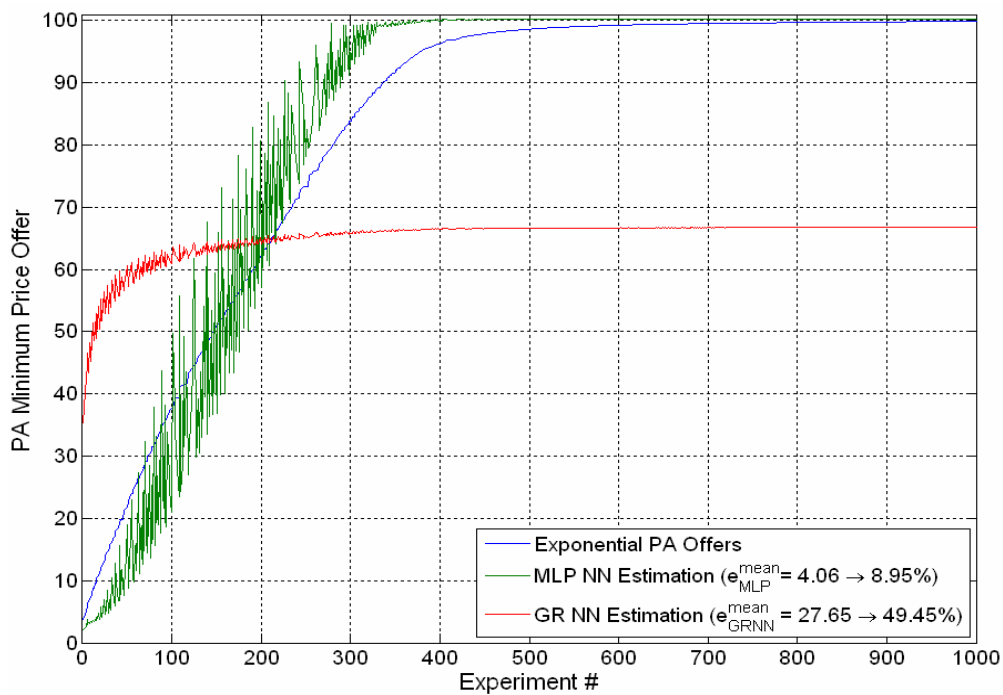
Στα σχήματα 6α, 7α και 8α, το MLP είναι λιγότερο αποδοτικό σε σχέση με την εκθετική περίπτωση, με τη συμπεριφορά του να εμφανίζεται σημαντικά εξαρτώμενη από το ρυθμό σύγκλισης του παροχέα. Συγκεκριμένα, το MLP τείνει να υποεκτιμά τις προσφορές του παροχέα (κυρίως στους τελευταίους γύρους διαπραγμάτευσης) για μικρούς ρυθμούς σύγκλισης β , ενώ υπάρχει ένα κατώφλι κοντά στην τιμή 3, όπου συμβαίνει κάτι που παρατηρήθηκε και προηγούμενα για το GR, δηλαδή από υποεκτίμηση, περνάμε σε υπερεκτίμηση και μάλιστα σημαντική. Το κατώφλι αυτό κινείται προς μικρότερες τιμές με την αύξηση του χρονικού περιθωρίου του παροχέα όπως φαίνεται στα σχήματα 5-6 και 5-7. Τα σφάλματα υπερεκτίμησης είναι μεγαλύτερα για μικρά περιθώρια μιας και η διακύμανση των τιμών στις περιπτώσεις αυτές είναι μεγαλύτερη, όπως εξηγήθηκε και στην περίπτωση του εκθετικού παροχέα παραπάνω για το δίκτυο GR.

Από την άλλη πλευρά, τα αντίστοιχα (β) σχήματα δείχνουν ότι το GR υπερτερεί σε απόδοση στην περίπτωση του πολυωνυμικού παροχέα, αντιστρέφοντας ότι ίσχυε για τον εκθετικό όπου υστερούσε. Σε γενικές γραμμές, για τους περισσότερους ρυθμούς σύγκλισης και χρονικά περιθώρια, το GR υπερτερεί του MLP, με μόνη εξαίρεση τις περιπτώσεις όπου ο παροχέας έχει μικρό ρυθμό σύγκλισης ενώ ταυτόχρονα και το χρονικό περιθώριο του αντιπάλου του είναι μεγάλο (πχ. για την περίπτωση του 250). Σε κάθε περίπτωση όμως, αυτό που πρέπει να τονιστεί είναι ότι το συνολικό σφάλμα εκτίμησης του GR είναι μικρό (κάτι που θα φανεί και παρακάτω), οι εκτιμήσεις του παρουσιάζουν πολλαπλά ελάχιστα και μέγιστα όσο ο ρυθμός σύγκλισης μεταβάλλεται, διατηρώντας όμως μια αξιοσημείωτη σταθερότητα αν παρατηρήσει κανείς ευρύτερα το φαινόμενο. Το μεγαλύτερο σφάλμα στην περίπτωση αυτή παρατηρείται στη στενή περιοχή τιμών του ρυθμού σύγκλισης ανάμεσα στο 1 και στο 2, που αυξάνεται με την αύξηση του χρονικού περιθωρίου του παροχέα, μιας και οι αντίστοιχες ακμές στην περιοχή αυτή «μεγαλώνουν» όσο μεγαλώνει και το L_p .

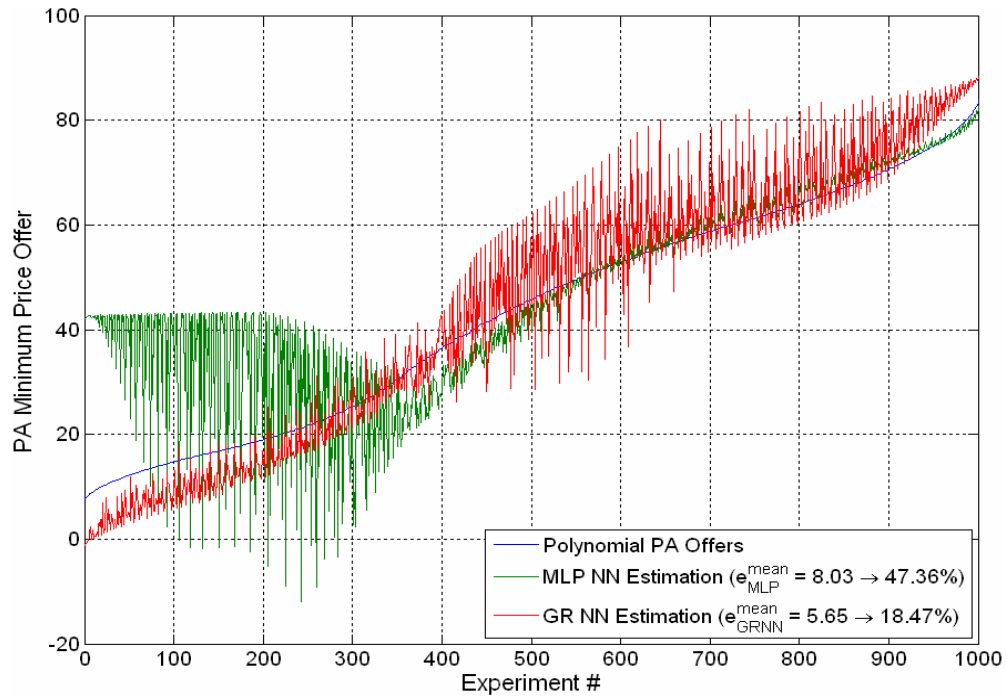
Στο σχήμα 5-8 απεικονίζεται η εκτίμηση της τελικής τιμής του παροχέα και για τα δυο δίκτυα σε σύγκριση με την πραγματική, τόσο για εκθετική, όσο και για πολυωνυμική στρατηγική και για όλα τα πειράματα που διενεργήθηκαν, μαζί με αποτελέσματα για ακόμα 8 τιμές χρονικού περιθωρίου από το 150 έως το 250 με βήμα ελέγχου 10 (8 + 3 [150, 200, 250] 11 διαφορετικές τιμές \rightarrow 1001 πειράματα), σε συμφωνία με τους πίνακες που ακολουθούν. Όπως είναι εύκολα αντιληπτό, το MLP υπερτερεί σημαντικά του GR στην περίπτωση των εκθετικών στρατηγικών για τον παροχέα, κάτι που αντιστρέφεται στις πολυωνυμικές

στρατηγικές, όπου το GR ακολουθεί σαφώς καλύτερα τις προσφορές του. Πιο συγκεκριμένα, το GR εμφανίζει σφάλμα 5.5 φορές μεγαλύτερο από το αντίστοιχο του MLP, για την πρώτη περίπτωση, όπως υποδεικνύεται και δεξιά-κάτω στο σχήμα από τις καταγεγραμμένες αριθμητικές τιμές. Στην δεύτερη περίπτωση, το MLP εμφανίζει σημαντική απόκλιση για τα πρώτα 400 πειράματα περίπου, ενώ για τα υπόλοιπα το σφάλμα του προσεγγίζει πολύ καλά επίπεδα. Από την άλλη το GR, έχει καλές εκτιμήσεις για τα πειράματα αυτά, αλλά μεγάλα σφάλματα από εκεί και πέρα. Έτσι, και εκφράζοντας τη συνολική εικόνα, το GR οδηγεί σε σφάλμα 2.5 φορές περίπου μικρότερο από το αντίστοιχο του MLP για τον πολυωνυμικό παροχέα.

Σχετικά τώρα με τη σταθερότητα των δυο λύσεων, το MLP φαίνεται να παρουσιάζει λιγότερο σταθερές εκτιμήσεις για μεγάλους ρυθμούς σύγκλισης και για τις δυο περιπτώσεις στρατηγικών του παροχέα, ενώ το GR δίκτυο είναι σημαντικά σταθερότερο για όλες τις εκθετικές περιπτώσεις (αν και με μεγάλο σφάλμα), ενώ είναι ασταθές για πολυωνυμικές στρατηγικές παροχέα με μικρές τιμές του ρυθμού σύγκλισης. Τα συμπεράσματα αυτά φαίνονται και επαληθεύονται από όλα τα σχήματα σε συνδυασμό.



(α)



(β)

Σχήμα 5–8. Πραγματική και εκτιμώμενη τιμή της προσφοράς του παροχέα στο γύρο 100 για όλα τα πειράματα όταν ο αυτός υιοθετεί: (α) εκθετική και (β) πολυωνυμική χρονικά εξαρτώμενη στρατηγική διαπραγμάτευσης. Μαζί καταγράφεται και το μέσο σφάλμα

Πίνακας 5-1. Συγκριτικά αποτελέσματα αναφορικά με το μέσο σφάλμα εκτίμησης των δυο νευρωνικών δικτύων για τη μέση αλλά και την τελευταία τιμή προσφοράς του αντιπάλου. Κάθε γραμμή του πίνακα αντιστοιχεί σε ένα σύνολο πειραμάτων για το οποίο ο έλεγχος έχει γίνει για 6461 τιμές προσφοράς (30-100 γύρο=71 εκτιμήσεις ανά πείραμα για 91 πειράματα/ γραμμή) και για ρυθμό σύγκλισης [0.5:0.01:1 1:0.1:5], και $[p_m^e, p_M^e] = [0,100]$, ενώ το χρονικό περιθώριο του παροχέα φαίνεται από την τιμή στην πρώτη στήλη

	Εκθετική Στρατηγική Παροχέα				Πολυωνυμική Στρατηγική Παροχέα			
	Μέσο [σφάλμα πρόβλεψης προσφορών]		Μέσο [σφάλμα πρόβλεψης τελικής προσφοράς]		Μέσο [σφάλμα πρόβλεψης προσφορών]		Μέσο [σφάλμα πρόβλεψης τελικής προσφοράς]	
L_p	MLP	GR	MLP	GR	MLP	GR	MLP	GR
150	6.19%	29.87%	16.33%	125.62%	45.64%	14.18%	93.68%	36.83%
160	5.59%	22.10%	14.64%	84.95%	39.04%	12.07%	74.45%	29.64%
170	5.19%	17.27%	13.13%	62.24%	34.28%	10.32%	61.55%	24.13%
180	4.51%	14.17%	11.45%	48.79%	30.72%	8.84%	52.34%	19.91%
190	3.79%	12.13%	9.84%	40.51%	27.95%	7.74%	45.50%	16.87%
200	3.12%	10.78%	8.37%	35.29%	25.72%	6.87%	40.27%	14.66%
210	2.54%	9.88%	7.08%	31.98%	23.86%	6.28%	36.12%	13.13%
220	2.06%	9.30%	5.94%	29.91%	22.28%	5.87%	32.77%	12.19%
230	1.68%	8.93%	4.99%	28.70%	20.95%	5.69%	30.10%	11.99%

240	1.38%	8.74%	4.20%	28.07%	19.82%	5.61%	27.97%	11.92%
250	1.15%	8.66%	3.56%	27.87%	18.66%	5.59%	26.22%	11.90%
Σύνολο	3.31%	13.80%	8.95%	49.45%	28.18%	8.10%	47.36%	18.47%

Πίνακας 5-2. Συγκριτικά αποτελέσματα αναφορικά με τον αριθμό των ανεπιτυχών διαπραγματεύσεων (ΑΔ) που αναγνωρίζονται από τα δυο νευρωνικά δίκτυα (ΝΔ) όταν ο παροχέας ακολουθεί εκθετική στρατηγική. Κάθε γραμμή του πίνακα αντιστοιχεί σε ένα σύνολο πειραμάτων και για ρυθμό σύγκλισης $[0.5:0.01:1 \ 1:0.1:5]$, $[p_m^p, p_M^p] = [0,100]$, $[p_m^c, p_M^c] = [0,50]$ και $L_c = 100$, ενώ το χρονικό περιθώριο του παροχέα φαίνεται από την τιμή στην πρώτη στήλη

L _p	# ΑΔ	Μέση Διάρκεια των ΑΔ (χωρίς ΝΔ)	#ΑΔ που ανιχνεύθηκαν στον γύρο 30		Αναγνώριση των ΑΔ		Μέση Διάρκεια των ΑΔ		Μέση Μείωση της Διάρκειας των ΑΔ	
			MLP	GR	MLP	GR	MLP	GR	MLP	GR
150	69	100	67	69	97.1%	100%	32.0	30	68.0%	70%
160	72	100	69	72	95.8%	100%	32.9	30	67.1%	70%
170	76	100	71	76	93.4%	100%	34.6	30	65.4%	70%
180	79	100	73	79	92.4%	100%	35.3	30	64.7%	70%
190	82	100	75	82	91.5%	100%	36.0	30	64.0%	70%
200	86	100	77	86	89.5%	100%	37.3	30	62.7%	70%
210	89	100	79	89	88.8%	100%	37.9	30	62.1%	70%
220	91	100	81	91	89.0%	100%	37.7	30	62.3%	70%
230	91	100	83	91	91.2%	100%	36.2	30	63.8%	70%
240	91	100	85	91	93.4%	100%	34.6	30	65.4%	70%
250	91	100	87	91	95.6%	100%	33.1	30	67.0%	70%
Σύνολο					92.4%	100%	35.3	30	64.7%	70%

Πίνακας 5-3. Συγκριτικά αποτελέσματα αναφορικά με τον αριθμό των ανεπιτυχών διαπραγματεύσεων (ΑΔ) που αναγνωρίζονται από τα δυο νευρωνικά δίκτυα (ΝΔ) όταν ο παροχέας ακολουθεί πολυωνμική στρατηγική. Κάθε γραμμή του πίνακα αντιστοιχεί σε ένα σύνολο πειραμάτων και για ρυθμό σύγκλισης $[0.5:0.01:1 \ 1:0.1:5]$, $[p_m^p, p_M^p] = [0,100]$, $[p_m^c, p_M^c] = [0,50]$ και $L_c = 100$, ενώ το χρονικό περιθώριο του παροχέα φαίνεται από την τιμή στην πρώτη στήλη

L _p	# ΑΔ	Μέση Διάρκεια των ΑΔ (χωρίς ΝΔ)	#ΑΔ που ανιχνεύθηκαν στον γύρο 30		Αναγνώριση των ΑΔ		Μέση Διάρκεια των ΑΔ		Μέση Μείωση της Διάρκειας των ΑΔ	
			MLP	GR	MLP	GR	MLP	GR	MLP	GR
150	50	100	9	33	18.0%	66.0%	87.4	53.8	12.6%	46.2%

160	52	100	18	36	34.6%	69.2%	75.8	51.5	24.2%	48.5%
170	54	100	27	39	50.0%	72.2%	65.0	49.4	35.0%	50.6%
180	55	100	34	42	61.8%	76.4%	56.7	46.5	43.3%	53.5%
190	56	100	41	44	73.2%	78.6%	48.7	45.0	51.2%	55.0%
200	58	100	46	47	79.3%	81.0%	44.5	43.3	55.5%	56.7%
210	59	100	51	49	86.4%	83.1%	39.5	41.9	60.5%	58.1%
220	60	100	51	51	85.0%	85.0%	40.5	40.5	59.5%	59.5%
230	61	100	52	51	85.2%	83.6%	40.3	41.5	59.7%	58.5%
240	62	100	52	51	83.9%	82.3%	41.3	42.4	58.7%	57.6%
250	63	100	52	51	82.5%	81.0%	42.2	43.3	57.8%	56.7%
			Σύνολο		68.7%	78.4%	51.9	45.1	48.1%	54.9%

Πίνακας 5-4. Συγκριτικά αποτελέσματα για το χρόνο και τις αποθηκευτικές απαιτήσεις των νευρωνικών δικτύων

Στρατηγική Παροχέα	Τύπος ΝΔ	Μέγεθος Πειραματικού Συνόλου	# Χρήσης των ΝΔ	Μέσος Χρόνος Εκπαίδευσης	Μέσος Χρόνος Απόκρισης	# νευρώνων	Χώρος Αποθ/σης
Εκθετική	MLP	71071	71071	129.00 sec	0.037 sec	30-22-3	43.5 KB
	GR	71071	71071	0.26 sec	0.024 sec	30-520-3	318 KB
Πολυωνυμική	MLP	71071	67663	138.00 sec	0.030 sec	30-23-3	45 KB
	GR	71071	67663	0.14 sec	0.019 sec	30-280-3	172 KB

Αμέσως μετά την ανάλυση των γραφημάτων παρατίθενται τέσσερις ξεχωριστοί πίνακες, η πληροφορία των οποίων θα αναλυθεί στο σημείο αυτό. Έχοντας περιγράψει επομένως τα πειράματα για τρεις διαφορετικές τιμές του χρονικού περιθωρίου του παροχέα και τις συγκεντρωτικές τιμές συμφωνίας για 11 διαφορετικές τιμές αυτού του περιθωρίου (και τους 91 ρυθμούς σύγκλισης), καταγράφουμε στο σημείο αυτό τα επιμέρους αποτελέσματα που επιτυγχάνονται, όχι πλέον με τη μορφή ποιοτικής ανάλυσης, αλλά με αριθμούς και όρους σφαλμάτων και ποσοστών επιτυχίας.

Αρχικά, στον πίνακα 5-1 παρουσιάζεται το μέσο σφάλμα εκτίμησης των μελλοντικών προσφορών του αντιπάλου και το μέσο σφάλμα εκτίμησης της τελικής προσφοράς αυτού από την εφαρμογή των νευρωνικών δικτύων για κάθε περίπτωση χρονικού περιθωρίου ξεχωριστά. Κάθε γραμμή του πίνακα αντιστοιχεί σε ένα σύνολο πειραμάτων (ένα χρονικό περιθώριο), όπου οι εκτιμήσεις για τις επόμενες τιμές του παροχέα (από το γύρο εκτίμησης μέχρι το

τέλος) οδηγούν σε ένα σύνολο 6461 καταγραφών ανά νούμερο. Αναφορικά με τις υπόλοιπες παραμέτρους, ο ρυθμός σύγκλισης του παροχέα λαμβάνει τιμές στην περιοχή $[0.5:0.01:1:0.1:5]$, ενώ τα όρια από τα οποία αντλούνται οι προσφορές του είναι τα $[p_m^p, p_M^p] = [0, 100]$, με το χρονικό του περιθώριο να αντιστοιχεί, όπως προαναφέρθηκε, στην τιμή που βρίσκεται στην πρώτη στήλη. Οι επόμενες τέσσερις στήλες σχετίζονται με τα πειραματικά αποτελέσματα στην περίπτωση που ο παροχέας ακολουθεί μια εκθετική στρατηγική, ενώ οι τελευταίες τέσσερις στην περίπτωση που η στρατηγική που ακολουθείται είναι πολυωνυμική. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι όσο μεγαλύτερο είναι το χρονικό περιθώριο του παροχέα, τόσο μικρότερο είναι το σφάλμα εκτίμησης των νευρωνικών δικτύων σε κάθε περίπτωση. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα μικρά περιθώρια για τον παροχέα, οδηγούν στην αποκάλυψη μεγαλύτερου μέρους της διαφορετικής συμπεριφοράς του, ενώ στην περίπτωση που το περιθώριο είναι μεγάλο η διαφορετική συμπεριφορά κατανέμεται σε πολύ περισσότερους γύρους, με αποτέλεσμα να είναι πιο σταθερές οι τιμές μέχρι το γύρο 100. Έτσι, όπως φαίνεται στον πίνακα αυτό, το MLP υπερτερεί στην περίπτωση του εκθετικού παροχέα, επιδεικνύοντας ένα σφάλμα που είναι τουλάχιστον 10% μικρότερο για όλες τις εκτιμήσεις και τουλάχιστον 40% μικρότερο για την τελευταία τιμή, πάντα σε σχέση με το GR. Αντίθετα, όταν ο παροχέας ακολουθεί πολυωνυμική στρατηγική, το δεύτερο, υπερτερεί του MLP αναφορικά με το σφάλμα της τελικής τιμής κατά 29% περίπου και το μέσο σφάλμα εκτίμησης κατά 20%, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι το MLP είναι αποδοτικότερο για εκθετικό παροχέα, ενώ το GR για πολυωνυμικό, επιβεβαιώνοντας με τον τρόπο αυτό την ορθότητα της επιλογής σύγκρισης των δυο δικτύων και της ανάγκης εξεύρεσης μηχανισμού διάκρισης του είδους της στρατηγικής του αντιπάλου.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο πελάτης χρησιμοποιεί τα νευρωνικά δίκτυα προκειμένου να εκτιμήσει κατά βάση την τελική τιμή του αντιπάλου του, όταν ο ίδιος είναι αναγκασμένος να εγκαταλείψει τη διαδικασία, θεωρώντας ότι ο αντίπαλος έχει μεγαλύτερο χρονικό περιθώριο διαπραγμάτευσης. Αυτό που επιθυμεί να γνωρίζει ο πελάτης είναι αν η προσφορά του παροχέα στο δικό του τελευταίο γύρο μπορεί να γίνει αποδεκτή, οδηγώντας τη διαδικασία σε συμφωνία ή όχι. Αν η τιμή αυτή είναι κάτω από το δικό του κατώφλι στο γύρο αυτό, τότε η συμφωνία θα επιτευχθεί σίγουρα μέχρι το γύρο αυτό. Διαφορετικά, δεν είναι εφικτή και είναι σκόπιμο να εγκαταλείψει τη διαδικασία ήδη από το γύρο εκτίμησης, γλιτώνοντας έτσι πόρους και χρόνο. Αυτό που θα καθορίσει την αποδοτικότητα της μεθόδου είναι η αξιοπιστία των εκτιμήσεων, η ικανότητά τους δηλαδή να αναγνωρίζουν ορθά τις ανεπιτυχείς διαδικασίες και αντίστοιχα τις επιτυχείς. Τα αποτελέσματα για ένα μεγάλο σύνολο πειραμάτων φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί. Το κριτήριο που εφαρμόζεται για τη λήψη της απόφασης συνέχισης της διαδικασίας ή όχι είναι το: $\overline{p_m^p} > p_M^c$, όπου p_m^p είναι η

τιμή που προσφέρει ο παροχέας στον πελάτη στο γύρο εξάντλησης του χρονικού περιθωρίου του τελευταίου, στο γύρο δηλαδή που τερματίζεται η διαδικασία (γύρος 100). Στον πίνακα 5-2, συνοψίζονται τα πειραματικά αποτελέσματα που προέκυψαν από την καταμέτρηση της αναγνώρισης των ανεπιτυχών διαδικασιών στην περίπτωση που ο παροχέας ακολουθεί εκθετική στρατηγική, ενώ στον πίνακα 3, παρουσιάζονται τα ίδια αποτελέσματα όταν ο παροχέας είναι πολυωνυμικός. Κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε ένα σύνολο πειραμάτων, όπως και προηγούμενα, ενώ οι υπόλοιπες παράμετροι είναι: ρυθμός σύγκλισης στο διάστημα $[0.5:0.01:1 \ 1:0.1:5]$, $[p_m^p, p_M^p] = [0,100]$, $[p_m^c, p_M^c] = [0,50]$ ¹³ και $L_c = 100$, με το χρονικό περιθώριο του παροχέα να απεικονίζεται στην πρώτη στήλη των πινάκων. Η δεύτερη στήλη περιλαμβάνει τον αριθμό των ανεπιτυχών διαπραγματεύσεων που συμβαίνουν επειδή $p_m^p > p_M^c$ στο γύρο 100. Η τρίτη στήλη των πινάκων δηλώνει ότι η διάρκεια των ΑΔ είναι πάντα ίση με $L_c = 100$ ¹⁴ στην περίπτωση που δεν υπάρχει μηχανισμός εκτίμησης της συμπεριφοράς του παροχέα. Το επόμενο ζευγάρι στηλών καταγράφει τον αριθμό των ΑΔ που αναγνωρίστηκαν επιτυχώς από τα δίκτυα στο γύρο 30, ενώ το αμέσως επόμενο ζευγάρι, παρουσιάζει το βαθμό μείωσης των ΑΔ, δηλαδή το ποσοστό ορθής αναγνώρισης των ΑΔ ως τέτοιες και όχι ως επιτυχείς. Τα δυο τελευταία ζευγάρια στηλών συνοψίζουν τη μέση διάρκεια των ΑΔ και μη μέση μείωση της διάρκειας αυτής σε σύγκριση με τη μη-χρήση του μηχανισμού.

Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στον πίνακα 5-2, το GR δίκτυο αναγνωρίζει σε ποσοστό 100% τις ΑΔ, με αποτέλεσμα να μειώνει τη διάρκεια των ανεπιτυχών διαπραγματεύσεων από 100 γύρους σε 30, αφού στο γύρο εκτίμησης «γνωρίζει» με απόλυτη επιτυχία αν πρόκειται για ΑΔ ή όχι. Από την άλλη, το MLP είναι λίγο χειρότερο όταν ο παροχέας ακολουθεί εκθετική συμπεριφορά, επιτυγχάνοντας μέσο όρο αναγνώρισης και εξάλειψης των ΑΔ ίσο με 92.4%, δίνοντας ένα μέσο όρο διάρκειας ανεπιτυχών διαδικασιών ίσο με 35.3 γύρους, μειώνοντας έτσι τη διάρκειά τους κατά 64.7%, σε σύγκριση με τη μη χρήση του μηχανισμού. Η μείωση που επιτυγχάνεται και από τους δυο μηχανισμούς νευρωνικών δικτύων είναι σημαντική και επιτρέπει στον πελάτη να εγκαταλείψει με πολύ μικρό κόστος τη διαδικασία και προφανώς πολύ έγκαιρα.

Στον πίνακα 5-3, όπου φαίνεται η περίπτωση του πολυωνυμικού παροχέα, το GR αναγνωρίζει και εξαλείφει το 78.4% των διαδικασιών, με μέσο χρόνο ΑΔ ίσο με 45.1, που είναι περίπου 55% μικρότερος από την περίπτωση μη χρήσης νευρωνικού δικτύου. Χειρότερο εμφανίζεται και εδώ το MLP με μέσο όρο αναγνώρισης ΑΔ ίσο με 68.7%, και

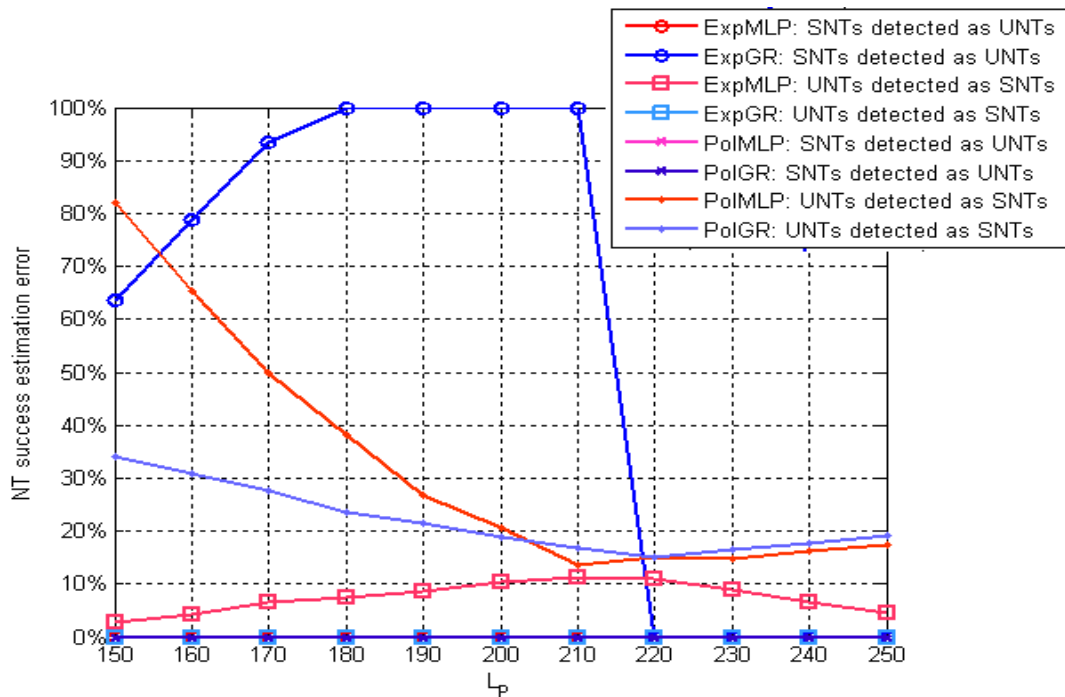
¹³ Το p_M^c επιλέχθηκε να είναι ίσο με τη μέση τιμή του αποδεκτού διαστήματος τιμών του παροχέα.

¹⁴ Για να είμαστε πιο ακριβείς η διάρκεια των ΑΔ είναι ίση με το: $\min(L_c, L_p)$. Όμως, στο σημείο αυτό έχουμε πάντα $L_c < L_p$, οπότε η διάρκεια των ΑΔ είναι πάντα ίση με L_c , γιατί διαφορετικά δεν μπορεί να εφαρμοστεί ο μηχανισμός στην πλευρά του πελάτη, αλλά στον παροχέα.

μέση διάρκεια ίση με 51.9. Έτσι, αναφορικά με την εξάλειψη των ΑΔ, το GR είναι η καταλληλότερη επιλογή σε κάθε περίπτωση, μιας και καταφέρνει να αναγνωρίσει τις διαδικασίες αυτές σε ποσοστό κατά 7.6% καλύτερο στην περίπτωση του εκθετικού παροχέα και 9.7% καλύτερο στην περίπτωση του πολυωνυμικού.

Τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στους δυο αυτούς πίνακες δεν είναι αρκετά ώστε να αποτιμηθεί πλήρως η απόδοση των νευρωνικών δικτύων. Αυτό συμβαίνει διότι, παρόλο που το GR εξαλείφει 10% περισσότερες ΑΔ σε σύγκριση με το MLP, σε πολλές περιπτώσεις αποτυγχάνει σε διαδικασίες που είναι επιτυχείς και αναγνωρίζονται ως ανεπιτυχείς. Στο σχήμα 5-9, παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα αναφορικά με την αποτυχία των νευρωνικών δικτύων να αναγνωρίσουν σωστά και τις επιτυχείς διαδικασίες και όχι να τις θεωρήσουν ως ανεπιτυχείς, για τα διάφορα χρονικά περιθώρια του παροχέα, τόσο για εκθετικό όσο και για πολυωνυμικό παροχέα. Το σχήμα αυτό δείχνει ότι υπάρχουν τέσσερις περιπτώσεις όπου τα δίκτυα δίνουν σφάλμα μεγαλύτερο από το 0. Πρώτον, το GR δίκτυο προβαίνει σε υπερεκτίμηση της τελικής τιμής του παροχέα στην εκθετική περίπτωση, αναγνωρίζοντας έτσι 100% λανθασμένα τις επιτυχείς ως ανεπιτυχείς διαπραγματεύσεις. Αυτό είναι ένα σοβαρό μειονέκτημα για το δίκτυο αυτό. Το σφάλμα μηδενίζεται όταν το περιθώριο του παροχέα ξεπερνά το 210. Δεύτερον, το MLP αναγνωρίζει ως επιτυχείς περίπου το 82% των ανεπιτυχών διαδικασιών όταν ο παροχέας ακολουθεί πολυωνυμική στρατηγική. Αυτό το αποτέλεσμα οφείλεται στην τάση του να υποεκτιμά την ελάχιστη (τελευταία) προσφορά του παροχέα. Τρίτον, το ίδιο παρατηρείται για το GR και πολυωνυμικό παροχέα. Στην περίπτωση αυτή όμως το μέγιστο σφάλμα που καταγράφεται είναι 33%. Τέταρτον, το MLP αναγνωρίζει ως ΑΔ αρκετές επιτυχείς στην περίπτωση του εκθετικού παροχέα. Παρόλα αυτά, το σφάλμα στην περίπτωση αυτή είναι από 2% έως το πολύ 11%.

Επομένως, το πιο σημαντικό συμπέρασμα είναι ότι το GR δίκτυο αποτυγχάνει να αναγνωρίσει τις περισσότερες επιτυχείς διαδικασίες στην περίπτωση του εκθετικού παροχέα, ενώ είναι 100% επιτυχές για τις ανεπιτυχείς. Συγκεκριμένα, ο λόγος σφάλματος είναι περίπου 84.5%, που σημαίνει ότι μόνο μια στις 6.5 επιτυχείς διαδικασίες επιτρέπεται να συνεχιστεί μετά τον 30^ο γύρο, οδηγώντας σε συμφωνία, στην περίπτωση του GR. Προφανώς λοιπόν, το δίκτυο αυτό είναι ακατάλληλο για την έγκαιρη πρόβλεψη των ΑΔ στην περίπτωση του εκθετικού παροχέα, παρόλο που τα αποτελέσματα για τις διαδικασίες αυτές μας είχαν προϋδεάσει διαφορετικά (πίνακας 5-2).



Σχήμα 5–9. Αποτυχία των δυο νευρωνικών δικτύων να αναγνωρίσουν ορθά τις επιτυχείς ή μη διαπραγματεύσεις για εκθετικό και πολυωνυμικό παροχέα και διάφορες τιμές χρονικού του περιθωρίου

Τέλος, αναφορικά με τις υπολογιστικές/χρονικές απαιτήσεις, το GR είναι κατά πολύ προτιμότερο από το MLP, όπως φαίνεται και στον πίνακα 5-4. Στον πίνακα αυτό καταγράφεται ότι ο μέσος χρόνος που απαιτείται για την εκπαίδευση του MLP είναι 500 φορές περισσότερος από τον αντίστοιχο χρόνο για την κατασκευή του GR, στην περίπτωση του δικτύου για εκθετικό παροχέα, και 1000 φορές για πολυωνυμικό. Αυτό οφείλεται καθαρά στην πολυπλοκότητα της διαδικασίας εκπαίδευσης του MLP και την πίσω διάδοση του σφάλματος για ενημέρωση των βαρών των συνάψεων του δικτύου, που απαιτεί και τον μεγαλύτερο χρόνο. Και αυτό συμβαίνει παρόλο που τα απαιτούμενα διανύσματα εκπαίδευσης είναι πολύ λιγότερα για το MLP σε σχέση με το GR. Ωστόσο απαιτούνται 200 προβολές των διανυσμάτων αυτών στην είσοδο, γεγονός που εκτινάσσει τον απαιτούμενο χρόνο. Όμως, πρέπει να τονιστεί ότι τα δίκτυα αυτά εκπαιδεύονται μια φορά και μάλιστα εκτός διαδικασιών (off-line) καθιστώντας τους χρόνους αυτούς μη απαγορευτικούς. Ο χρόνος που είναι σημαντικός όμως, είναι ο χρόνος απόκρισης του εκάστοτε δικτύου που πραγματοποιείται κάθε φορά στον 30° γύρο. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο χρόνος αυτός είναι συγκρίσιμος και για τα δυο δίκτυα, μιας και ο χρόνος για το MLP είναι ~54% μεγαλύτερος από αυτόν του GR για εκθετικό παροχέα, και ~58% για πολυωνυμικό, πάντα όμως της τάξης κάποιων msec. Οι απαιτήσεις αποθήκευσης από την άλλη πλευρά είναι περίπου 7 φορές μεγαλύτερες σε σύγκριση με του MLP στην πρώτη περίπτωση και 4 φορές στη δεύτερη. Αυτό συμβαίνει γιατί το MLP απαιτεί μόνο 25 ή 26 νευρώνες στο σύνολο, ενώ το GR 523 ή 283 αντίστοιχα.

Συνοψίζοντας όλους τους παραπάνω λόγους, καταλήγουμε στο ότι το MLP δίκτυο είναι καταλληλότερο από το GR όταν η στρατηγική που αναγνωρίζεται για τον αντίπαλο είναι εκθετική, ενώ το δεύτερο είναι προτιμότερο για πολυωνυμικό παροχέα, για την πραγματοποίηση της πρώιμης πρόβλεψης της στρατηγικής του αντιπάλου που περιγράφεται στο κεφάλαιο αυτό. Έτσι, αυτό που τελικά προτείνεται είναι ο εφοδιασμός του πράκτορα του πελάτη με ένα εκπαιδευμένο για εκθετικό παροχέα MLP και το κατάλληλο GR για πολυωνυμικό. Αυτή η υβριδική προσέγγιση είναι εφικτό να υιοθετηθεί από τη στιγμή που ο πελάτης διαθέτει και τον ευριστικό μηχανισμό αναγνώρισης της στρατηγικής του αντιπάλου που περιγράφηκε στην αρχή, οπότε γνωρίζει έγκαιρα ποιο δίκτυο πρέπει να χρησιμοποιήσει. Έτσι, από τη στιγμή που η επιτυχία στην αναγνώριση του είδους της στρατηγικής στο γύρο 9, είναι 100%, η υβριδική προσέγγιση οδηγεί σε 85.4% αναγνώριση των ΑΔ, μειώνοντας τη διάρκειά τους κατά 59.8%, δηλαδή σε μόλις 40.2 γύρους.

5.5 Σύνοψη και Συμπεράσματα

Όπως υποδεικνύεται από τα εξαντλητικά πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στο κεφάλαιο αυτό, η χρήση νευρωνικών δικτύων σε πράκτορες που συμμετέχουν σε μονού στιγμιότυπου, διμερείς διαδικασίες διαπραγμάτευσης μονού αγαθού, για την πρώιμη πρόβλεψη της συμπεριφοράς του αντιπάλου είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική και συμβάλλει αποδοτικά στη μείωση των ανεπιτυχών διαδικασιών. Για το σκοπό αυτό σχεδιάστηκαν, υλοποιήθηκαν και ελέγχθηκαν δυο νευρωνικά δίκτυα, των πιο διάσημων κατηγοριών για προσέγγιση συνεχών σειρών δεδομένων: ένα MLP και ένα GR. Τα εξαντλητικά πειράματα που διενεργήθηκαν οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι το πρώτο είναι κατάλληλο για την περίπτωση που ο αντίπαλος ακολουθεί εκθετική στρατηγική (με σφάλματα 3% και 9%), κυρίως λόγω της αποτυχίας του δεύτερου στην αναγνώριση των επιτυχών διαδικασιών ως τέτοιων και όχι ως ανεπιτυχών. Από την άλλη πλευρά, το GR είναι καταλληλότερο για την περίπτωση που η στρατηγική του παροχέα είναι πολυωνυμική χρονικά εξαρτώμενη, επιδεικνύοντας σφάλματα της τάξης του 8% και 18%.

Έτσι, αυτό που προτείνεται τελικά είναι η υιοθέτηση μιας υβριδικής στρατηγικής πελάτη, που θα χρησιμοποιεί έναν ευριστικό μηχανισμό για την έγκαιρη αναγνώριση του τύπου της στρατηγικής του αντιπάλου (δηλαδή εκθετική ή πολυωνυμική στο γύρο 9) και στη συνέχεια στο γύρο 30 (30% του χρονικού περιθωρίου του πελάτη) θα πραγματοποιείται η εκτίμηση για το αν πρέπει να συνεχίσει ο πελάτης τη διαδικασία ή όχι. Ο μηχανισμός αυτός οδηγεί στην ελαχιστοποίηση των απαιτούμενων πόρων και στη μεγιστοποίηση του συνολικού κέρδους που μπορεί να αποκομίσει ο πελάτης από την εκάστοτε διαδικασία, λαμβάνοντας

υπόψιν ότι δεν έχει γνώση της ιδιωτικής πληροφορίας του αντιπάλου σε κανένα σημείο. Μετά από τα πολύ ικανοποιητικά αυτά αποτελέσματα, αυτό που θα επιχειρηθεί είναι η υλοποίηση ενός μηχανισμού που να αναγνωρίζει και να εκτιμά τη στρατηγική του αντιπάλου, όταν αυτή έχει οποιαδήποτε μορφή, είτε χρονικά εξαρτώμενη, είτε εξαρτώμενη από συμπεριφορά (η φύση των εξαρτώμενων από πόρους τις κατατάσσουν στην κατηγορία των πρώτων ποιοτικά), είτε συνδυασμό τους, με τα αποτελέσματα να παρουσιάζονται εκτενώς στο παρακάτω κεφάλαιο για ένα επίσης εκτεταμένο σύνολο πειραμάτων.

6 Εκτίμηση της Μελλοντικής
Συμπεριφοράς Υβριδικού
Αντιπάλου για την Αποφυγή
Ανεπιτυχών
Διαπραγματεύσεων

6.1 Εισαγωγή

Έχοντας περιγράψει αναλυτικά και επιλύσει τα προβλήματα εκτίμησης της επόμενης τιμής προσφοράς του αντιπάλου και της έγκαιρης πρόβλεψης της συμπεριφοράς του αντιπάλου όταν αυτός ακολουθεί χρονικά εξαρτημένη στρατηγική, η διατριβή επιχειρεί να προχωρήσει ένα βήμα παραπάνω, προσπαθώντας να επιλύσει το τελευταίο πρόβλημα για περιπτώσεις που ο αντίπαλος διαθέτει λογική που ομοιάζει με την ανθρώπινη συμπεριφορά. Γιατί στην πράξη, ο άνθρωπος ακολουθεί στρατηγικές που περιλαμβάνουν τόσο στοιχεία χρονικά, όσο και στοιχεία που σχετίζονται με τη συμπεριφορά του αντιπάλου (Kraus LNAI 2001). Η συγκεκριμένη απόπειρα απαιτεί την επίλυση ενός προβλήματος που είναι εξαιρετικά πολύπλοκο τόσο σε μέγεθος όσο και σε ποιότητα αποτελεσμάτων, καθότι πρέπει να ληφθούν υπόψιν όλες οι διαφορετικές περιπτώσεις στρατηγικών, που από εδώ και στο εξής θα ονομάζονται υβριδικές (ή μεικτές) και που αποτελούνται από δυο παράγοντες, έναν χρονικό και έναν μη-χρονικό, που αντιστοιχεί στην εξαρτώμενη από συμπεριφορά στρατηγική. Οι δυο αυτοί παράγοντες αθροίζονται προκειμένου να σχηματιστεί σε κάθε γύρο διαπραγμάτευσης η προσφορά του παροχέα, ενώ ο βαθμός σημαντικότητας της καθεμιάς από αυτές καθορίζεται εκ των προτέρων. Στόχος στο κεφάλαιο αυτό είναι να δημιουργηθεί ένας μηχανισμός μάθησης, με τη βοήθεια και πάλι νευρωνικών δικτύων, μιας και αποδεικνύεται ότι πρόκειται για τις πλέον αξιόπιστες και εύχρηστες δομές, προκειμένου να προβλέπεται έγκαιρα το μελλοντικό διάνυμα προσφορών του αντιπάλου (παροχέα), με στόχο να αξιολογηθεί από τον πελάτη (που χρησιμοποιεί το μηχανισμό) αν αξίζει να «παραμείνει» στην τρέχουσα διαδικασία με βεβαιότητα για συμφωνία ή όχι. Η αξιοπιστία του μηχανισμού είναι αυτή που θα ελεγχθεί και εδώ προκειμένου να μην προβαίνει σε λανθασμένα συμπεράσματα και οδηγήσει σε σπατάλη πόρων και συμφωνιών από τις διαδικασίες.

Οι υβριδικές στρατηγικές, που αποτελούνται ποιοτικά από περισσότερες της μιας απλές στρατηγικές όπως αυτές περιγράφηκαν εκτενώς στο κεφάλαιο 2, κερδίζουν τα τελευταία χρόνια ολοένα και περισσότερο την προσοχή της ερευνητικής κοινότητας, καθώς συμπεραίνεται ότι πρόκειται να αποτελέσουν τις βασικές στρατηγικές της επόμενης γενιάς πρακτόρων διαπραγμάτευσης, σε μια προσπάθεια να προσεγγιστεί η ανθρώπινη λογική από τη μια και από την άλλη να διατηρηθεί η ταχύτητα και η ακρίβεια των υπολογιστικών μηχανών που ενσωματώνουν οι πράκτορες αυτοί. Προς αυτή την κατεύθυνση, οι (Fey and Wang 2005), αναγνωρίζουν τις στρατηγικές αυτές ως αποδοτικότερες στις ηλεκτρονικές διαπραγματεύσεις, ενώ και οι (Cranor and Resnick 2000) συμπεραίνουν ότι οι στρατηγικές αυτές μπορούν να χαρακτηριστούν ως περισσότερο επικερδείς αν εφαρμοστούν σωστά στις διαπραγματευτικές διαδικασίες. Από την άλλη πλευρά οι (Brzostowski and Kowalczyk 2006)

στα δυο άρθρα τους την ίδια χρονιά, επιχειρούν να προσεγγίσουν με τεχνικές προσέγγισης καμπύλων τις προσφορές του αντιπάλου όταν αυτός ακολουθεί στρατηγική που αποτελεί συνδυασμό χρονικά εξαρτώμενης και εξαρτώμενης από συμπεριφορά, με περιορισμένα όμως αποτελέσματα σε σχέση με αυτά του μηχανισμού της παρούσας διατριβής.

Το υπόλοιπο κεφάλαιο δομείται ως εξής: Ακολουθεί στην ενότητα 6.2, κατ' αντιστοιχία με τα προηγούμενα, ο αυστηρός ορισμός του προβλήματος, ενώ στην ενότητα 6.3 παρουσιάζεται ο μηχανισμός που εφαρμόζεται στα κατάλληλα σχεδιασμένα και εκπαιδευμένα νευρωνικά δίκτυα (ενότητα 6.4). Στην ενότητα 6.5 περιγράφονται αναλυτικά τα πολλαπλά πειράματα που διενεργήθηκαν και αξιολογείται η αποδοτικότητα του μηχανισμού κατά περίπτωση για όλους τους συνδυασμούς των δυο ειδών χρονικά εξαρτώμενης στρατηγικής και των τριών ειδών για τις εξαρτώμενες από συμπεριφορά, ενώ το κεφάλαιο κλείνει με την καταγραφή των συμπερασμάτων και με πιθανές μελλοντικές προεκτάσεις.

6.2 Περιβάλλον Διαπραγμάτευσης

Στην παρούσα παράγραφο επιχειρείται να παρουσιαστούν οι βασικές αρχές που διέπουν το περιβάλλον διαπραγμάτευσης, να δοθεί ένας αυστηρός ορισμός για το πρόβλημα που θα επιλυθεί και να περιγραφεί διεξοδικά η έννοια της υβριδικής στρατηγικής που δεν αποτελεί συχνό αντικείμενο έρευνας στη βιβλιογραφία, παρόλο που η υιοθέτησή της είναι η μοναδική λύση για την προσέγγιση της ανθρώπινης συμπεριφοράς σε διαπραγματεύσεις πόρων, όσο πολύπλοκο ή ουτοπικό και αν ακούγεται αυτό (Faratin et.al. 1998). Αυτό ισχύει εν μέρει, καθότι και ο άνθρωπος έχει την τάση να συνδυάζει σε αντίστοιχες διαδικασίες τις προσφορές που δέχεται από τον αντίπαλό του και τη δική του στρατηγική που σχετίζεται άμεσα με πόρους κάθε μορφής.

6.2.1 Περιγραφή του Προβλήματος Διαπραγμάτευσης

Η έρευνα που περιγράφεται στο κεφάλαιο αυτό επικεντρώνεται σε διαδικασίες μονού αγαθού και δυο μερών μεταξύ δυο πρακτόρων, ενός που έχει το ρόλο του παροχέα και ενός άλλου με το ρόλο του πελάτη. Οι πράκτορες διαπραγματεύονται ακολουθώντας το πρωτόκολλο εναλλασσόμενων προσφορών, που περιγράφηκε και στα κεφάλαια που προηγήθηκαν. Απώτερος στόχος και στην περίπτωση αυτή είναι η μεγιστοποίηση της ικανοποιησιμότητας των συμμετεχόντων και η μάθηση της στρατηγικής του αντιπάλου με τρόπο που θα περιγραφεί στη συνέχεια.

Όπως και στο σύνολο των προηγούμενων περιπτώσεων, έτσι και εδώ, η διαδικασία διαπραγμάτευσης αρχικοποιείται από τον πράκτορα του πελάτη, ο οποίος στέλνει μια Αίτηση για Προσφορά (Request for Proposal - RFP) στον αντίπαλό του (παροχέα), καθορίζοντας τα χαρακτηριστικά του προϊόντος ή της υπηρεσίας που επιθυμεί να αποκτήσει. Χωρίς απώλεια της γενικότητας, υποτίθεται ότι το αντικείμενο της διαπραγμάτευσης είναι η τιμή του προϊόντος ή της υπηρεσίας που επιθυμείται να αποκτηθεί. Για το σκοπό αυτό και όπως έχει ήδη αναφερθεί πολλές φορές, ο πράκτορας του παροχέα διαπραγματεύεται επιθυμώντας να πετύχει τη μεγαλύτερη δυνατή τιμή συμφωνίας τη στιγμή που ο αντίπαλός του πελάτης στοχεύει στη μικρότερη. Η εναλλαγή των αρχικών προσφορών του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου έχει περιγραφεί αναλυτικά και στο κεφάλαιο 4.2.1 και η περαιτέρω ανάλυσή της κρίνεται περιττή για το σημείο αυτό. Το μόνο στοιχείο που πρέπει να ληφθεί υπόψιν είναι ότι σε κάθε γύρο διαπραγμάτευσης οι πράκτορες είτε αποδέχονται την εκάστοτε τρέχουσα προσφορά του αντιπάλου, είτε αποσύρονται από τη διαδικασία, είτε τέλος, σχηματίζουν μια αντι-προσφορά προκειμένου να μπορέσει να συνεχιστεί η διαπραγμάτευση.

Η ποσότητα p_l^a αντιστοιχεί στην τιμή προσφοράς που σχηματοποιείται από τον πράκτορα a κατά τη διάρκεια του γύρου διαπραγμάτευσης l . Από την άλλη πλευρά, η προσφορά p_l^b είναι πάντοτε απορριπτέα από τον πράκτορα a αν $p_l^b \notin [p_m^a, p_M^a]$, όπου το διάστημα $[p_m^a, p_M^a]$ αντιστοιχεί στο αποδεκτό διάστημα τιμών του πράκτορα a . Στόχος του παρόντος προβλήματος είναι η εκτίμηση της συμπεριφοράς του παροχέα για ένα σύνολο μελλοντικών γύρων διαπραγμάτευσης και μέχρις ότου τερματιστεί η διαδικασία, στο χρόνο που ο πελάτης διαθέτει για το σκοπό αυτό. Το πρόβλημα που θα επιλυθεί στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται αυστηρά παρακάτω. Δοθέντων λοιπόν: (i) δυο διαπραγματευόμενων μερών, ενός παροχέα που προσφέρει ένα συγκεκριμένο αγαθό, και ενός πελάτη που επιθυμεί να το αποκτήσει, (ii) το αποδεκτό διάστημα τιμών $[p_m^c, p_M^c]$ για τον πελάτη, (iii) ένα χρονικό όριο T_C μέχρι το οποίο ο πελάτης πρέπει να έχει ολοκληρώσει τη διαπραγμάτευση με τον παροχέα, (iv) το δείκτη του τελευταίου γύρου διαπραγμάτευσης του πελάτη, L_C , (v) ένα γύρο κατώφλι L_C^{dec} μέχρι τον οποίο ο πελάτης πρέπει να έχει αποφασίσει αν θα συνεχίσει την εμπλοκή του στην τρέχουσα διαδικασία ή όχι, και τέλος (vi) το διάνυσμα $P_l^p = \{p_l^p\}$, όπου

$l = 2k - 1$ και $k = 1, \dots, \left\lfloor \frac{L_C^{dec}}{2} \right\rfloor$, των τιμών που έχουν προταθεί από τον παροχέα κατά τη

διάρκεια των αρχικών $L_C^{dec} - 1$ γύρων διαπραγμάτευσης, ζητείται να βρεθεί/ληφθεί (i) η τιμή $p_{L_C-1}^p$, που θα προταθεί από τον παροχέα αμέσως πριν εκπνεύσει το χρονικό περιθώριο του πελάτη, που το γνωρίζει μόνο αυτός, και (ii) η απόφαση για το αν η παρούσα διαδικασία μπορεί να οδηγήσει σε συμφωνία μέχρι το γύρο διαπραγμάτευσης L_C ή όχι.

6.2.2 Χώρος Διαπραγμάτευσης για τον Παροχέα

Όπως είναι ήδη γνωστό από το σύνολο των προηγούμενων κεφαλαίων, κάθε πράκτορας που διαπραγματεύεται ακολουθεί μια στρατηγική διαπραγμάτευσης, που μπορεί να μοντελοποιηθεί πάντοτε με τη βοήθεια των τριών γνωστών πλέον οικογενειών τέτοιων στρατηγικών: χρονικά εξαρτώμενων (TD), εξαρτώμενων από πόρους και εξαρτώμενων από συμπεριφορά (BD).

Το πρόβλημα που θα επιλυθεί στο κεφάλαιο αυτό διαφέρει σημαντικά σε σχέση με ότι έχει αντιμετωπιστεί στη διεθνή βιβλιογραφία, καθώς ο παροχέας ακολουθεί μια στρατηγική που αποτελεί γραμμικό συνδυασμό μιας TD και μιας BD στρατηγικής. Η πρώτη παράμετρος της υβριδικής αυτής στρατηγικής (η χρονική εξάρτηση) οδηγεί τον πράκτορα που την υιοθετεί στη σύγκλιση προς την τελική τιμή προσφοράς όσο ο υπολειπόμενος χρόνος μειώνεται. Η συνάρτηση που παρέχει την προσφορά p_t^a του πράκτορα a στο γύρο l και χρόνο t_l είναι η εξής, όπως έχει ήδη αναφερθεί αλλά επαναλαμβάνεται και εδώ για λόγους συνοχής:

$$p_t^a = \begin{cases} p_m^a + f^a(t_l)(p_M^a - p_m^a), & \text{if utility is decreasing} \\ p_m^a + [1 - f^a(t_l)](p_M^a - p_m^a), & \text{if utility is increasing} \end{cases}$$

όπου $f^a(t_l)$ μπορεί να είναι είτε πολυωνυμική είτε εκθετική συνάρτηση, δηλαδή

$$f^a(t_l) = k^a + (1 - k^a) \left(\frac{\min(t_l, T_a)}{T_a} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad \text{ή} \quad f^a(t_l) = e^{\left[1 - \frac{\min(t_l, T_a)}{T_a} \right]^{\beta} \ln k^a} \quad \text{αντίστοιχα. Υπενθυμίζεται ότι ο}$$

παράγοντας $k^a \in [0,1]$ καθορίζει την αρχική προσφορά στο χρόνο $t=0$, T_a είναι το χρονικό περιθώριο του πράκτορα, ενώ $\beta > 0$ είναι ο ρυθμός σύγκλισης. Στο πρόβλημα αυτό, τόσο η εκθετική όσο και η πολυωνυμική μορφή της στρατηγικής έχει υιοθετηθεί εναλλάξ με στόχο να ελεγχθούν όλες οι διαφορετικές περιπτώσεις, ενώ τροφοδοτήθηκαν διάφορες τιμές ρυθμών σύγκλισης και χρονικών περιθωρίων για την όσο το δυνατό πιο αντιπροσωπευτική μέτρηση της απόδοσης της προτεινόμενης λύσης.

Από την άλλη πλευρά, οι BD στρατηγικές σχηματίζουν τις προσφορές που ακολουθούν βάσει αποκλειστικά και μόνο της συμπεριφοράς του αντιπάλου μέχρι το σημείο εκείνο και κάποιων τυχαίων παραμέτρων, που ωστόσο ελάχιστα επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα σε σχέση με τις προσφορές του αντιπάλου. Το πρόβλημα που περιγράφεται στο κεφάλαιο αυτό, ασχολείται και με τις τρεις γνωστές οικογένειες στρατηγικών εξαρτώμενων από το χρόνο και καλείται να επιλύσει και να συγκρίνει την απόδοσή της προτεινόμενης λύσης σε κάθε περίπτωση ξεχωριστά. Ως γνωστόν πρόκειται για τρεις ανεξάρτητες κατηγορίες στρατηγικών, τις σχετικά αποκρινόμενες (RTFT), τις τυχαία απόλυτα αποκρινόμενες (RATFT) και τις μέσου όρου αποκρινόμενες (ATFT), που έχουν περιγραφεί

με τη βοήθεια μαθηματικών σχέσεων στην ενότητα 2.3.5.3.

Με βάση τα παραπάνω, η συνάρτηση που παράγει τις προσφορές για τον υβριδικής στρατηγικής παροχέα ορίζεται από τη σχέση:

$$p_i^p = w \cdot \{p_m^p + [1 - f^p(t_i)](p_M^p - p_m^p)\} + (1 - w) \cdot \min(\max(g(t_{i-1}), p_m^p), p_M^p)$$

Στη σχέση αυτή ο όρος w εκφράζει τη σημαντικότητα της χρονικά εξαρτώμενης στρατηγικής έναντι της εξαρτώμενης από τη συμπεριφορά του αντιπάλου, με τη δεύτερη να έχει σημαντικότητα όση υπολείπεται στην κλίμακα του 100% (από 0 έως 1). Είναι προφανές ότι υπάρχει και η περίπτωση που η υβριδική στρατηγική εκφυλίζεται σε απλή όταν ο παραπάνω όρος ισούται με το 1 (καθαρή χρονικά εξαρτώμενη) ή το 0 (καθαρή εξαρτώμενη από συμπεριφορά). Ο όρος $f^p(t_i)$ εκφράζεται είτε με τη βοήθεια της πολυωνυμικής είτε με τη βοήθεια της εκθετικής χρονικά εξαρτώμενης, ενώ ο $g^p(t_i)$ με οποιαδήποτε από τις RTFT, RATFT, και ATFT που αναφέρθηκαν παραπάνω. Συνεπώς, οι διαφορετικοί ποιοτικοί συνδυασμοί στρατηγικών που μπορούν να υπάρχουν παίρνοντας ένα μέλος από κάθε μια από τις δυο οικογένειες είναι έξι σε αριθμό, ενώ οι συνδυασμοί αυτοί ελέγχονται για ένα μεγάλο σύνολο δειγμάτων ελέγχου των διαφορετικών παραμέτρων της κάθε καθαρής στρατηγικής. Καταλήγουμε επομένως στους παρακάτω συνδυασμούς: polynomial&RTFT, polynomial&RATFT, polynomial&ATFT, exponential&RTFT, exponential&RATFT, και exponential&ATFT.

6.3 Νευρωνικά Δίκτυα για το Μηχανισμό Διαπραγμάτευσης του Πελάτη

Ο μηχανισμός που προτείνεται στο κεφάλαιο αυτό, στηρίζει την αποδοτικότητά του σε τεχνικές μάθησης που για ακόμα μια φορά βασίζονται σε νευρωνικά δίκτυα. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι τεχνικές αυτές εφαρμόζονται στον πράκτορα του πελάτη και αποσκοπούν στην εκτίμηση της μελλοντικής συμπεριφοράς του αντιπάλου, με στόχο την λήψη απόφασης σχετικά με το αν μπορεί να επιτευχθεί συμφωνία στο μέλλον για την υπάρχουσα διαδικασία ή όχι. Ο στόχος αυτός συνοψίζεται στην απόφαση, σε πολύ πρώιμο γύρο (το γύρο κατώφλι L_C^{dec}), αν υπάρχει η πιθανότητα συμφωνίας με το συγκεκριμένο παροχέα για το συγκεκριμένο νήμα διαπραγμάτευσης ή είναι καλύτερα να αποσυρθεί ο πελάτης από τη διαδικασία προκειμένου να αναζητήσει καλύτερη τύχη σε άλλο νήμα, μιας και ο μηχανισμός προβλέπει την ύπαρξη ασυμφωνίας βάσει των υπάρχοντων δεδομένων. Για το σκοπό αυτό, τα νευρωνικά δίκτυα χρησιμοποιούνται (με τη μορφή και την αρχιτεκτονική που θα περιγραφεί παρακάτω), κατόπιν εκπαίδευσης με τα κατάλληλα διανύσματα. Η εκπαίδευση αυτή

πραγματοποιείται σε μη πραγματικό χρόνο και μια φορά (σε αντιστοιχία με το μηχανισμό που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 5.3), ενώ τα δίκτυα είναι στη διάθεση του πελάτη για διαδικασίες πραγματικού χρόνου, χωρίς περαιτέρω εκπαίδευση ή τροποποίηση.

Ο πελάτης από την πλευρά του ακολουθεί μια στρατηγική που μπορεί να χαρακτηριστεί ουδέτερη με στόχο να μην επηρεάσει ποιοτικά και ποσοτικά τα πειραματικά αποτελέσματα. Η πιο ουδέτερη στρατηγική που μπορεί να βρεθεί είναι η γραμμική χρονικά εξαρτημένη και εφαρμόζεται χωρίς απώλεια της γενικότητας στα αποτελέσματα. Η συνάρτηση που την χαρακτηρίζει είναι η: $p_l^c = p_m^c + \frac{t_l}{T_c}(p_M^c - p_m^c)$. Μάλιστα, πρόκειται για μια δίκαιη στρατηγική που δεν παραβιάζει σε καμία περίπτωση την ιδιωτική πληροφορία του αντιπάλου ή τις αρχές της διαπραγματεύσεως. Η συνάρτηση αυτή υπολογίζει τις προσφορές του πελάτη μέχρι το γύρο κατώφλι. Στο σημείο αυτό, ο μηχανισμός μάθησης προσφέρει μια εκτίμηση $\overline{p_p^{l=L_c}}$ για την τιμή του παροχέα στο γύρο εξάντλησης του χρονικού περιθωρίου του πελάτη (που είναι και η μόνη διαθέσιμη χρονική πληροφορία από τη διαδικασία καθώς το χρονικό περιθώριο του παροχέα δεν είναι γνωστό). Ο γύρος αυτός (κατώφλι) θα ονομάζεται από το σημείο αυτό και μετά *γύρος πρόβλεψης*. Κατόπιν εξαντλητικών πειραμάτων, ο γύρος αυτός επιλέχθηκε να είναι το 50% του χρονικού περιθωρίου του πελάτη, προκειμένου να υπάρχει αρκετή πληροφορία για τη στρατηγική του αντιπάλου και ταυτόχρονα να είναι όσο το δυνατό γρηγορότερη η πρόβλεψη. Είναι προφανές ότι η φύση της στρατηγικής, που είναι υβριδική δυσκολεύει αρκετά την πρόβλεψη και δεν μπορεί να την καταστήσει δυνατή σε πιο πρόωμη χρονική στιγμή, όπως για παράδειγμα στο πρόβλημα εκτίμησης της τελικής τιμής του αντιπάλου για χρονικά εξαρτημένη όμως στρατηγική, που αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, όπου εκεί ο γύρος πρόβλεψης ήταν στο 30% του περιθωρίου. Έτσι, εδώ που το χρονικό αυτό περιθώριο του πελάτη είναι ίσο με 100 (για λόγους απλότητας και ομοιομορφίας με τα προηγούμενα), γύρος πρόβλεψης είναι ο γύρος 50.

Όπως προαναφέρθηκε, βασική επιδίωξη είναι η λήψη της απόφασης συνέχισης της διαδικασίας ως έχει ή εγκατάλειψής της, ανάλογα με την απόκριση του μηχανισμού μάθησης, που είναι σε θέση να προβλέψει αν μια συμφωνία είναι εφικτή ή όχι αντίστοιχα. Για το σκοπό αυτό είναι απαραίτητη η υιοθέτηση κάποιου κριτηρίου. Χρησιμοποιώντας το συμβολισμό της ενότητας 5.2.4 και αν $D \in \{\text{continue}, \text{withdraw}\}$ είναι μια δυαδική μεταβλητή απόφασης που αντιστοιχεί στην απόφαση του πελάτη στο γύρο πρόβλεψης, ενώ $\overline{p_p^{l=L_c}}$ είναι η εκτίμηση από το μηχανισμό που τελικά προκύπτει, τότε το κριτήριο απόφασης διαμορφώνεται ως εξής:

$$D = \begin{cases} \text{continue, if } \overline{p_p^{l=L_c}} \leq p_M^c \\ \text{withdraw, if } \overline{p_p^{l=L_c}} > p_M^c \end{cases}$$

Η λογική πίσω από την υιοθέτηση του συγκεκριμένου κριτηρίου είναι προφανής, αν αναλογιστεί κανείς ότι για να επιτευχθεί συμφωνία οι προσφορές του παροχέα πρέπει να είναι

χαμηλότερες μέχρι το πέρας του χρονικού περιθωρίου του πελάτη, καθώς διαφορετικά δεν υπάρχει πιθανότητα σύγκλισης, και η τελική προσφορά του πελάτη (μέγιστό του) είναι χαμηλότερη από την τελική του παροχέα οπότε δεν υπάρχει σύγκλιση. Έτσι, το εκάστοτε νευρωνικό δίκτυο επιτρέπει την εξοικονόμηση χρόνου και πόρων, ενώ από το γύρο πρόβλεψης και μετά δεν χρησιμοποιείται.

6.4 Αρχιτεκτονική των Νευρωνικών Δικτύων

Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούν κεντρικό τμήμα της παρούσας διατριβής, προσφέροντας σημαντικά αποτελέσματα στην προσπάθεια εκτίμησης της συμπεριφοράς του αντιπάλου πράκτορα και στη βελτίωση των αποτελεσμάτων από την εκάστοτε διαδικασία. Η θεωρητική τους ανάλυση που προηγείται, κρίνεται επαρκής για να καλύψει και τα δίκτυα που χρησιμοποιούνται εδώ, τα οποία δεν διαφέρουν τελικά ως προς το είδος τους αλλά μόνο ως προς την αρχιτεκτονική τους που θεωρείται καταλληλότερη για το παρόν πρόβλημα.

Τα δίκτυα που χρησιμοποιούνται τελικά και συγκρίνονται αναφορικά με την απόδοσή τους είναι το Multilayer Perceptron (MLP) και το Generalized Regression (GR), δυο μορφές δικτύων που χρησιμοποιήθηκαν και στο πρόβλημα του προηγούμενου κεφαλαίου το οποίο κρίνεται ως παρόμοιο ως προς το στόχο του και η διαφορά έγκειται στην πολυπλοκότητα της υπό προσέγγιση συνάρτησης. Στο σημείο αυτό δεν θα αναλυθούν περαιτέρω στοιχεία για τα δυο αυτά δίκτυα, αλλά απλά θα τονιστούν τα επιμέρους στοιχεία της αρχιτεκτονικής τους.

Για το MLP, η συνάρτηση εκπαίδευσης που χρησιμοποιήθηκε είναι και εδώ η προτεινόμενη από τον αλγόριθμο Levenberg-Marquardt (Levenberg 1944)(Marquardt 1963)(Hagan and Menhaj 1994)(Hagan et.al. 1996)(Gill et.al. 1981), που αποτελεί και την καταλληλότερη για τα προβλήματα της μορφής αυτής. Κάθε διάνυσμα εκπαίδευσης σχηματίζεται από το ιστορικό των προσφορών του παροχέα μέχρι το γύρο 50 (όπως προαναφέρθηκε) και αυτό συνεπάγεται ότι το δίκτυο χρησιμοποιείται μέχρι το γύρο αυτό για τη δημιουργία των απαιτούμενων εκτιμήσεων. Στόχος είναι να προσεγγιστεί το αποτέλεσμα της συνάρτησης σχηματισμού προσφορών του παροχέα, η οποία καταγράφεται στην ενότητα 6.2.2. Η συνάρτηση αυτή όμως αποτελείται από ένα σύνολο ανεξάρτητων παραμέτρων που βάσει του ιστορικού των προσφορών, πρέπει να προσεγγιστούν. Πρόκειται για τις παραμέτρους β , L_p και w για καθεμία από τις 6 διαφορετικές περιπτώσεις που επίσης περιγράφονται στην ίδια ενότητα. Μετά από εκτεταμένα πειράματα και με σκοπό να καλυφθεί το σύνολο των δυνατών στρατηγικών που προκύπτουν από πολλές διαφορετικές τιμές των παραμέτρων έχουμε τα ακόλουθα δείγματα για την εκπαίδευση του MLP: $\beta = [0.5$

0.8 1 3 5], $k^a=[0]$, $L_p=[120:20:220]$ και $W=[0:0.5:1]$. Οι παραπάνω τιμές σχηματίζουν έναν σύνολο εκπαίδευσης που δίνει το μικρότερο σφάλμα εκπαίδευσης και γενικεύει ιδιαίτερος αποτελεσματικά στις εκτιμήσεις που καλείται να πραγματοποιήσει. Αποτέλεσμα της εφαρμογής των παραπάνω διανυσμάτων εκπαίδευσης είναι να προκύπτουν $5 \times 1 \times 6 \times 3 \times 6$ (συνδυασμοί υβριδικών στρατηγικών) = 540 διαφορετικά διανύσματα εκπαίδευσης, το κάθε ένα για 100 εποχές (epochs - παραστάσεις στην είσοδο). Οι 540 διαφορετικές αυτές τιμές των προσφορών του παροχέα στην εξάντληση του χρονικού περιθωρίου του πελάτη αποτελούν και τις τιμές-στόχους της εκπαίδευσης του δικτύου. Εκτεταμένα πειράματα με πολλαπλές διαφορετικές αρχιτεκτονικές δικτύων οδήγησαν και στην επιλογή της καταλληλότερης αρχιτεκτονικής για το ίδιο το δίκτυο αναφορικά με τους απαιτούμενους νευρώνες. Η αρχιτεκτονική που δίνει τα αποδοτικότερα αποτελέσματα είναι η υιοθέτηση 27 νευρώνων για το κρυφό επίπεδο (με λογιστική συνάρτηση μεταφοράς) και ένας γραμμικός νευρώνας εξόδου, σε αντιστοιχία με τις επιλογές στην επίλυση και των υπολοίπων προβλημάτων της παρούσας διατριβής, με αποτέλεσμα το προκύπτον δίκτυο να έχει μέγεθος μόλις 61 KB.

Όμοια με το MLP, και στην περίπτωση του GR τα διανύσματα εκπαίδευσης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν και αυτά των 50 τιμών (ιστορικό προσφορών παροχέα έως το γύρο 50). Έτσι, τα διανύσματα εκπαίδευσης προέρχονται από την εφαρμογή των παρακάτω διαφορετικών τιμών των παραμέτρων στη συνάρτηση της στρατηγικής του παροχέα και την εξαγωγή των αντιστοίχων τιμών-στόχων στην έξοδο: $\beta=[0.5 \ 0.75 \ 1 \ 1.5 \ 2]$, $k^a=[0]$, $L_p=[150:25:250]$ και $W=[0:0.5:1]$. Όμοια με παραπάνω, οι τιμές αυτές είναι εκείνες που οδηγούν στα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα βάσει πειραμάτων με διαφορετικές τιμές. Τα διανύσματα αυτά οδηγούν σε ένα δίκτυο 450 νευρώνων (όσα και τα διανύσματα στην είσοδο – RBF δίκτυο) αφού προκύπτουν $5 \times 1 \times 5 \times 3 \times 6 = 450$ διαφορετικοί υπολογισμοί της συνάρτησης της υβριδικής στρατηγικής του παροχέα. Αυτό ήταν κάτι αναμενόμενο αν ληφθεί υπόψιν η ιδιαίτερη δομή του δικτύου GR, που ως μέλος της οικογένειας των δικτύων RBF τείνει να έχει μεγαλύτερα μεγέθη συγκριτικά με τα δίκτυα MLP. Η παράμετρος spread που έχει αναφερθεί και στα προηγούμενα προβλήματα για τα δίκτυα RBF επιλέχθηκε να είναι ίση με 10 αντί της προκαθορισμένης τιμής 1.0, με στόχο να προσεγγίζονται τα δεδομένα πιο ομαλά και όχι επακριβώς, καθώς διαφορετικά διανύσματα εισόδου μπορεί να έχουν σημαντικά διαφορετικά αποτελέσματα στο γύρο εξάντλησης και μια πιθανή απαίτηση για 100% προσέγγιση θα οδηγούσε σε εσφαλμένα αποτελέσματα γενίκευσης όπως θα αναφερθεί και παρακάτω και δικαιολογείται από την υπάρχουσα βιβλιογραφία (Hagan et.al. 1996). Το δίκτυο καταλήγει να έχει μέγεθος 407 KB για τους 450 νευρώνες, μέγεθος όχι απαγορευτικό ακόμη και για κινητούς πράκτορες σε περιβάλλοντα περιορισμένης διαθεσιμότητας πόρων.

Κλείνοντας την αναφορά στα δίκτυα που χρησιμοποιούνται για την επίλυση του παρόντος προβλήματος, μπορεί να τονιστεί ότι θεωρούνται κατάλληλα για το περιβάλλον που

καλούνται να λειτουργήσουν, μιας και δεν απαιτούν σημαντικούς πόρους από τους πράκτορες, ενώ ο χρόνος εξομοίωσης για την απόκρισή τους είναι μικρότερος από 10 msec και ο χρόνος που απαιτείται για την εκπαίδευση/δημιουργία τους δεν αποτελεί σημαντική παράμετρο, καθότι πραγματοποιείται σε μη πραγματικό χρόνο. Έτσι, δεν επιδρά αρνητικά στην λειτουργία και απόδοση των πρακτόρων και του περιβάλλοντος στο οποίο ενεργούν. Τα πειραματικά αποτελέσματα της εφαρμογής των δικτύων που ορίστηκαν προηγουμένα θα παρουσιαστούν για ένα μεγάλο σύνολο δεδομένων ελέγχου.

6.5 Πειραματική Αποτίμηση

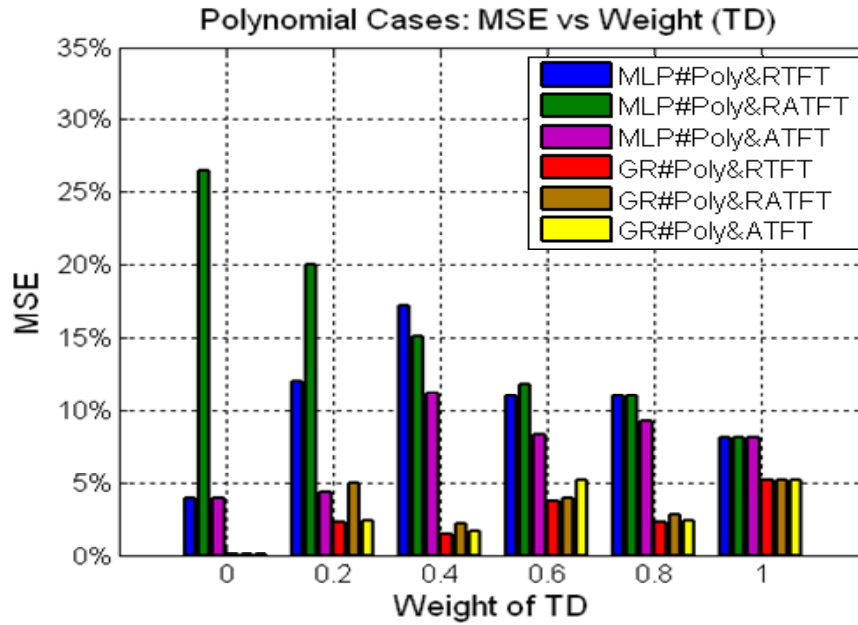
Σε αυτή την ενότητα επιχειρείται η πειραματική αποτίμηση της απόδοσης του μηχανισμού μάθησης που στηρίζεται στα δυο νευρωνικά δίκτυα, MLP και GR, για την εκτίμηση της μελλοντικής συμπεριφοράς του διαπραγματευόμενου πράκτορα-παροχέα. Για το σκοπό αυτό διενεργήθηκαν πειράματα χωρισμένα σε κατηγορίες, όπου τα δίκτυα που υιοθετούνται από τον πελάτη, εκπαιδεύτηκαν να προσεγγίζουν την τιμή προσφοράς του παροχέα στον 100° γύρο διαπραγμάτευσης, όπου εξαντλείται το χρονικό περιθώριο του πελάτη, ενώ για τον παροχέα, αν από τη μια διαθέτει και άλλο χρόνο έχει νόημα η εκτίμηση, διαφορετικά αν το περιθώριο του είναι μικρότερο από του πελάτη, τότε η μέθοδος είναι μη εφαρμόσιμη. Ωστόσο, στην πραγματικότητα κάτι τέτοιο δε συμβαίνει συχνά. Στο σημείο αυτό αξίζει να υπενθυμίσουμε ότι η εκτίμηση πραγματοποιείται από τις 50 πρώτες διαθέσιμες προσφορές του παροχέα (50% των προσφορών του αντιπάλου) και ότι καμία άλλη ιδιωτικής φύσης πληροφορία δεν είναι διαθέσιμη στο μηχανισμό του πελάτη.

Οι πειραματικές κατηγορίες που ελέγχονται, αποσκοπούν στη σύγκριση της πραγματικής συμπεριφοράς του παροχέα με την εκτίμηση στην οποία προβαίνει ο μηχανισμός του πελάτη, όταν ο πρώτος ακολουθεί υβριδική στρατηγική και διαθέτει τις ακόλουθες παραμέτρους για την εκάστοτε διαδικασία: $[p_m^p, p_M^p] = [100, 200]$, $\beta \in [0.5 : 0.05 : 0.9, 1 : 0.1 : 2.5]$, $L_p = [150 : 10 : 250]$ και $w = [0 : 0.2 : 1]$. Από την άλλη πλευρά, η χρονικά εξαρτώμενη στρατηγική του πελάτη έχει οριστεί με βάση τις ακόλουθες παραμέτρους: $[p_m^c, p_M^c] = [50, 150]$, $\beta = 1$ και $L_c = 100$. Οι παραπάνω τιμές έχουν επιλεγεί προσεκτικά με στόχο να είναι σε θέση να τροφοδοτήσουν αποτελεσματικά τα νευρωνικά δίκτυα, να προσφέρουν επαρκή δείγματα και να καλύπτουν τη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων που μπορούν να απαντηθούν σε αντίστοιχα πραγματικά περιβάλλοντα διαπραγμάτευσης πόρων με υβριδικό παροχέα. Επιπρόσθετα, τα όρια αποδεκτών τιμών που έχουν τεθεί, επιλέχθηκαν με τρόπο που να στοιχειοθετείται μια επαρκής επικάλυψη (αλλά όχι σημαντική μιας και τότε θα αλλοιώνονταν τα αποτελέσματα του μηχανισμού) της τάξης του

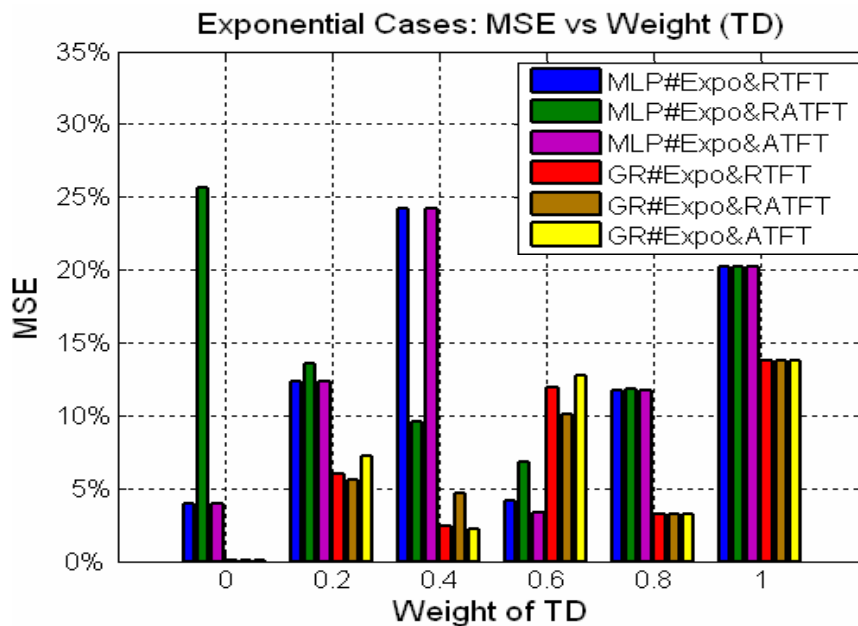
50% ανάμεσα στα δυο διαπραγματευόμενα μέρη, ενώ από την άλλη βασική επιδίωξη ήταν να σχηματιστεί ένα όσο το δυνατό δίκαιο περιβάλλον. Οι συνδυασμοί των δυο χρονικά εξαρτώμενων στρατηγικών με τις τρεις εξαρτώμενες από συμπεριφορά στρατηγικές οδηγεί σε ένα σύνολο περίπου 10000 πειραματικών διαδικασιών διαπραγμάτευσης για όλες τις διαφορετικές παραμέτρους της στρατηγικής του παροχέα. Η εκτίμηση που παρέχεται είναι τελικά, η ελάχιστη τιμή που προσφέρει ο παροχέας τη στιγμή της εξάντλησης του χρονικού περιθωρίου του πελάτη. Μικρότερη τιμή από αυτή δεν μπορεί να ανεχθεί και αυτό είναι και ένα κεντρικό σημείο σε τέτοιου είδους διαδικασίες.

Στο σημείο αυτό παρατίθεται μια σειρά από γραφικές παραστάσεις που έχουν ως στόχο να απεικονίσουν γραφικά τα αποτελέσματα των πειραμάτων που διενεργήθηκαν. Πιο συγκεκριμένα, στο σχήμα 6-1, απεικονίζεται το Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα (MSE) της εκτίμησης του νευρωνικού δικτύου για την προσφορά του παροχέα στον γύρο διαπραγμάτευσης 100 (χρονικό περιθώριο πελάτη), για διαφορετικές τιμές του συντελεστή βαρύτητας (σημαντικότητας) της χρονικά εξαρτώμενης στρατηγικής στην υβριδική του παροχέα. Είναι προφανές ότι αντίθετη ως προς την τιμή 1 είναι η τιμή του συντελεστή για τη βαρύτητα της εξαρτώμενης από συμπεριφορά στρατηγικής κάθε φορά. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται με ράβδους, όπου κάθε ράβδος αντιστοιχεί στο MSE για ένα από τα δυο νευρωνικά δίκτυα και για ένα μόνο συντελεστή βαρύτητας ($w=[0:0.2:1]$), ως μέση τιμή όμως όλων των συνδυασμών του βαθμού σύγκλισης και του χρονικού περιθωρίου του παροχέα. Οι συνδυασμοί που σχηματίζονται είναι οι προφανείς, που αναφέρθηκαν και στην αρχή του κεφαλαίου και πρόκειται για τους παρακάτω 6: *polynomial&RTFT*, *polynomial&RATFT*, *polynomial&ATFT*, *exponential&RTFT*, *exponential&RATFT*, και *exponential&ATFT*.

Έτσι, η τιμή κάθε ράβδου αντιστοιχεί στο μέσο τετραγωνικό σφάλμα 275 πειραμάτων που διενεργήθηκαν για διαφορετικούς ρυθμούς σύγκλισης του παροχέα και διαφορετικές τιμές του χρονικού του περιθωρίου. Η επιλογή του μεγαλύτερου από 100 χρονικού αυτού περιθωρίου έγινε για προφανείς λόγους. Το σχήμα 6-1.α παρουσιάζει το MSE που αντιστοιχεί στην περίπτωση της πολυωνυμικής χρονικά εξαρτώμενης στρατηγικής, ενώ το 6-1.β στην περίπτωση της εκθετικής.



(α)



(β)

Σχήμα 6–1. Μέσο τετραγωνικό σφάλμα για την εκτίμηση της τιμής προσφοράς του παροχέα (από MLP και GR δίκτυο) στον γύρο εξάντλησης του χρονικού περιθωρίου του πελάτη για διαφορετικούς συνδυασμούς απλών στρατηγικών στην υβριδική και για μεταβαλλόμενο συντελεστή βαρύτητας της TD στρατηγικής, όταν η τελευταία είναι (α) πολυωνυμική και (β) εκθετική

Όπως μπορεί κανείς να παρατηρήσει εύκολα από το παραπάνω σχήμα, το νευρωνικό δίκτυο GR επιτυγχάνει μικρότερο MSE από το MLP, στην πλειονότητα των περιπτώσεων όταν

επιχειρείται η εκτίμηση της προσφοράς του παροχέα στον γύρο εξάντλησης του χρονικού περιθωρίου του πελάτη. Είναι επίσης προφανές, ότι κινούμενοι από καθαρή BD στρατηγική προς καθαρή TD (συντελεστής βαρύτητας κινείται από το 0 προς το 1), το MSE για την Poly&RATFT υβριδική στρατηγική μειώνεται βαθμιαία. Αξίζει επίσης να σημειωθεί στο σημείο αυτό, ότι το μεγαλύτερο σφάλμα για όλα τα πειράματα παρατηρείται για την περίπτωση του MLP όταν επιχειρεί να εκτιμήσει καθαρή BD και ξεπερνάει το 25%. Η μέγιστη τιμή για το σφάλμα του MLP που παρατηρείται στο συνδυασμό Poly&RTFT, είναι όταν ο συντελεστής βάρους είναι 60% για την BD (40% για την TD) στην υβριδική στρατηγική του παροχέα. Η ακμή αυτή είναι οριακά μεγαλύτερη από 17%. Για το ίδιο βάρος της TD στρατηγικής, το σφάλμα του MLP για την Poly&ATFT περίπτωση μεγιστοποιείται στα επίπεδα του 11%. Σε όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις των πολυωνυμικών στρατηγικών, το σφάλμα του MLP είναι κάτω από 10%. Αναφορικά τώρα με την Expr&RATFT, το MLP εμφανίζει ένα σημαντικό σφάλμα της τάξης του 26% στην περίπτωση της καθαρής BD στρατηγικής του παροχέα, ενώ μειώνεται μέχρι συντελεστή βάρους ίσο με 60% για την TD και αυξάνεται και πάλι καθώς η στρατηγική του παροχέα κινείται προς την περίπτωση της καθαρής TD στρατηγικής. Για την περίπτωση της Expr&RTFT, το σφάλμα του MLP ελαχιστοποιείται όταν η υβριδική στρατηγική του παροχέα είναι αμιγώς BD ($MSE \cong 4\%$) και μεγιστοποιείται στην περίπτωση που η TD παράμετρος είναι ίση με 0.4 ($MSE \cong 24\%$). Αξίζει να σημειωθεί ότι το σφάλμα του MLP για βάρος ίσο με 0.4 είναι περίπου 24% και για την περίπτωση του Expr&ATFT, ενώ για την Expr&RATFT είναι σημαντικά χαμηλότερο. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται εξαιτίας της εκπαίδευσης του δικτύου MLP που δεν καταφέρνει να αναγνωρίσει σωστά ένα μεγάλο σύνολο συγκεκριμένων εξόδων, με αποτέλεσμα να αντιστοιχίζει λανθασμένα εισόδους και εξόδους για ένα μεγάλο σύνολο περιπτώσεων.

Από την άλλη πλευρά, το GR νευρωνικό δίκτυο εμφανίζει MSE που είναι μικρότερο ή ίσο με 5% σε όλες τις περιπτώσεις της πολυωνυμικής TD στρατηγικής (Σχήμα 6-1.α), το οποίο είναι πολύ μικρότερο από το αντίστοιχο του MLP σε κάθε περίπτωση. Έτσι, το GR δίκτυο είναι σαφώς καταλληλότερο με βάση το κριτήριο του MSE για την εκτίμηση της τιμής του παροχέα στο γύρο εξάντλησης του χρονικού περιθωρίου του πελάτη. Η κατάσταση είναι όμοια και στην περίπτωση των εκθετικών TD στρατηγικών (Σχήμα 6-1.β), με μοναδική εξαίρεση την περίπτωση που ο συντελεστής βάρους είναι ίσος με 0.6 για την TD στρατηγική, που οδηγεί σε σφάλμα περίπου διπλάσιο από το αντίστοιχο του MLP.

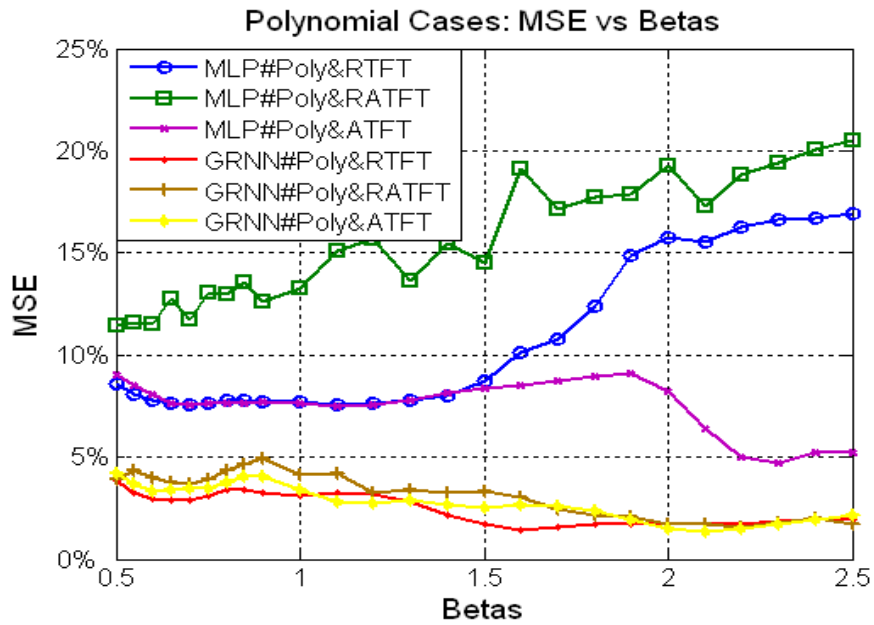
Στο Σχήμα 6-2, απεικονίζεται το μέσο τετραγωνικό σφάλμα της εκτίμησης των νευρωνικών δικτύων για διάφορες τιμές της παραμέτρου σύγκλισης. Κάθε σημείο στις γραμμές των παρακάτω σχημάτων αντιστοιχεί στο MSE για τα δυο δίκτυα για μια τιμή του βαθμού σύγκλισης (δηλαδή $\beta \in [0.5 : 0.05 : 0.9, 1 : 0.1 : 2.5]$) και συνδυασμούς TD και BD

στρατηγικών, που τελικά συνεπάγονται την υβριδική στρατηγική. Έτσι, η τιμή σε κάθε σημείο του γραφήματος προκύπτει ως αποτέλεσμα της μέσης τιμής σφάλματος για 66 πειράματα, για όλα τα διαφορετικά χρονικά περιθώρια του παροχέα (11 σε αριθμό) και τα βάρη των καθαρών στρατηγικών που ελέγχονται (6 σε αριθμό) στο σχηματισμό της υβριδικής στρατηγικής. Στο σχήμα 6-2.α, παρουσιάζεται το σφάλμα που αντιστοιχεί στις πολυωνυμικές περιπτώσεις των χρονικά εξαρτώμενων στρατηγικών και για τα δυο νευρωνικά δίκτυα, ενώ στο β φαίνονται οι περιπτώσεις των εκθετικών.

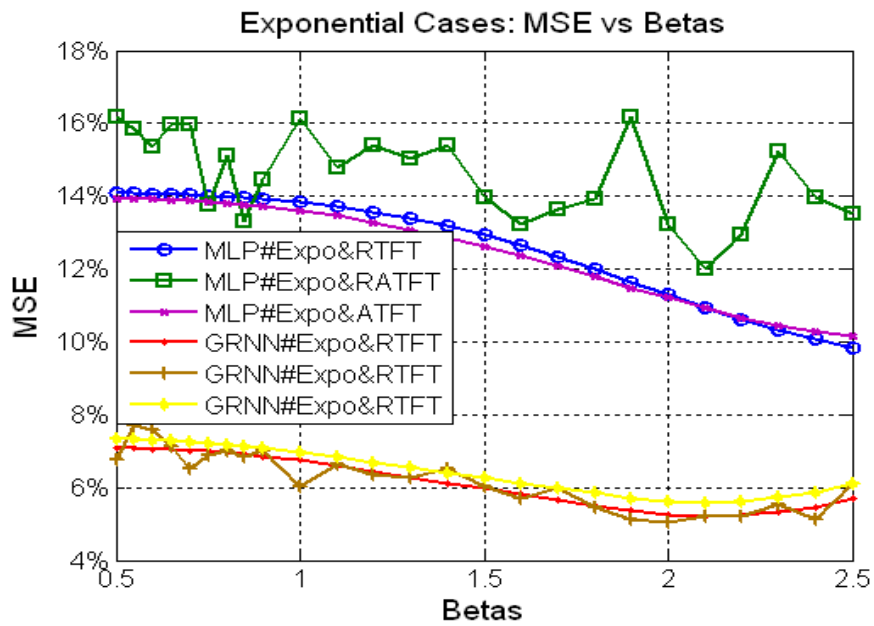
Όπως είναι εύκολα κατανοητό από τα δυο σχήματα, το MLP εμφανίζει και εδώ σημαντικά μεγαλύτερο σφάλμα σε σύγκριση με το GR δίκτυο για το σύνολο των πειραμάτων που διενεργήθηκαν, στην προσπάθεια για πρόβλεψη της τιμής του αντιπάλου στο γύρο εξάντλησης. Πιο συγκεκριμένα, για πολυωνυμική εκδοχή της χρονικά εξαρτώμενης παραμέτρου της υβριδικής στρατηγικής του παροχέα, το σφάλμα για το MLP είναι κατά κανόνα μεγαλύτερο όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός σύγκλισης, με μόνη εξαίρεση την Poly&ATFT περίπτωση, όπου το σφάλμα μειώνεται για τις τιμές της παραμέτρου που είναι μεγαλύτερες από 2. Τόσο στις πολυωνυμικές, όσο και στις εκθετικές περιπτώσεις της TD στρατηγικής, το σφάλμα που επιδεικνύει το MLP αυξομειώνεται εντονότερα όταν ο συνδυασμός είναι με την RATFT BD στρατηγική. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην περίπτωση της συγκεκριμένης στρατηγικής, υπεισέρχεται και μια τυχαία γεννήτρια, πέρα από την απόλυτη μίμηση της συμπεριφοράς του αντιπάλου, η οποία μίμηση δημιουργεί ούτως ή άλλως προβλήματα στην απόκριση του δικτύου MLP, μιας και τα επίπεδα απόκρισης που προκύπτουν από την εκπαίδευση του δικτύου είναι κλιμακωτά και όχι ομαλά, όπως θα φανεί και παρακάτω.

Στις περιπτώσεις των εκθετικών TD τμημάτων της υβριδικής στρατηγικής του παροχέα, το σφάλμα του MLP υποχωρεί καθώς αυξάνεται ο βαθμός σύγκλισης για τους Expr&RTFT και Expr&ATFT συνδυασμούς, επιδεικνύοντας μέγιστη τιμή σφάλματος ίση με 14% για ρυθμό σύγκλισης ίσο με 0.5 και ελάχιστο σφάλμα ίσο με ~10% για ρυθμό ίσο με 2.5. Σε αυτές τις δυο περιπτώσεις το σφάλμα του MLP είναι σχεδόν ταυτόσημο, γεγονός που αποδίδεται στο γραμμικό πελάτη που αποτελεί και το αντικείμενο της μίμησης από την οποία εξάγεται η BD συμπεριφορά του παροχέα.

Από την άλλη πλευρά, το GR και στην περίπτωση αυτή μεταβάλλεται πολύ λιγότερο σε σχέση με το σφάλμα του MLP, και εμφανίζει μια συμπεριφορά με τιμές MSE μικρότερες από 5% για πολυωνυμικές περιπτώσεις και 8% για τις εκθετικές. Τέλος, η αύξηση της τιμής του βαθμού σύγκλισης, οδηγεί σε μια γενικότερη μείωση της τιμής του σφάλματος που επιδεικνύει το GR δίκτυο.



(α)



(β)

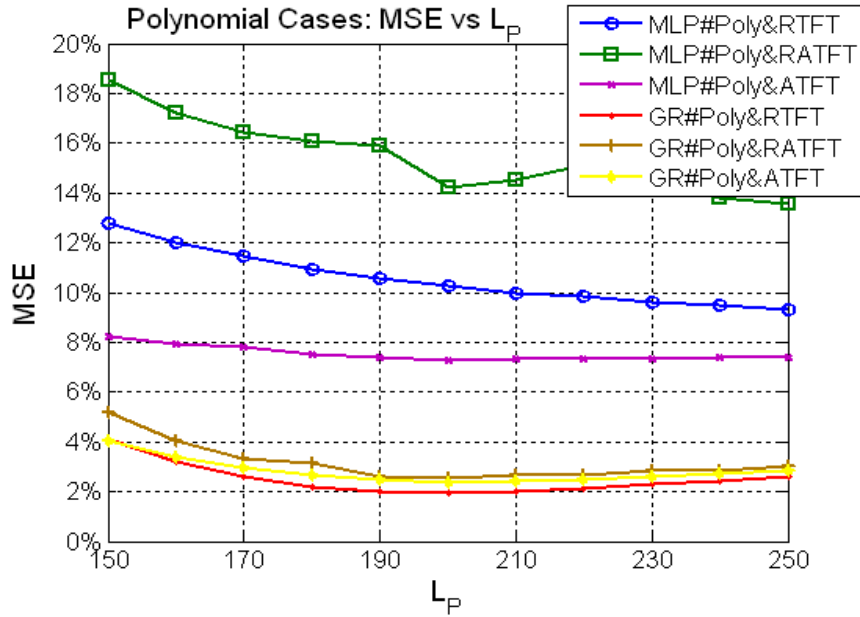
Σχήμα 6–2. Μέσο τετραγωνικό σφάλμα για την εκτίμηση (από MLP και GR δίκτυο) της τελικής τιμής του παροχέα στην εξάντληση του χρονικού περιθωρίου του πελάτη για όλους τους συνδυασμούς στρατηγικών και για διάφορους ρυθμούς σύγκλισης της χρονικά εξαρτώμενης παραμέτρου της υβριδικής στρατηγικής του παροχέα όταν η τελευταία είναι (α) πολυωνυμική και (β) εκθετική

Τέλος, στο Σχήμα 6-3, απεικονίζεται το μέσο τετραγωνικό σφάλμα της εκτίμησης της προσφοράς του παροχέα στον γύρο εξάντλησης του χρονικού περιθωρίου του πελάτη (γύρος

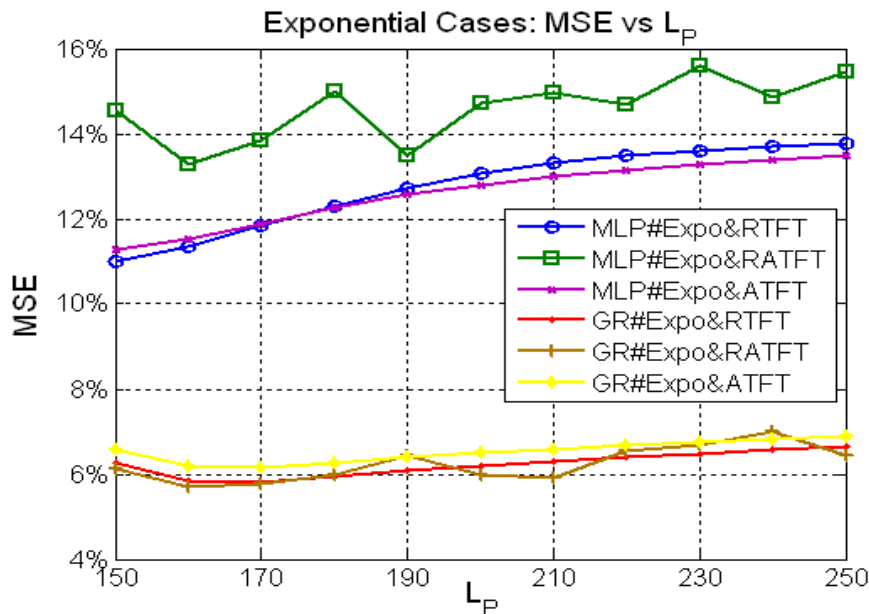
100) για όλες τις διαφορετικές τιμές του χρονικού περιθωρίου του παροχέα, με τρόπο αντίστοιχο με το αντίστοιχο διάνυσμα τιμών του ρυθμού σύγκλισης του σχήματος 6-2. Εδώ κάθε σημείο στα γραφήματα αντιστοιχεί σε μια διακριτή περίπτωση χρονικού περιθωρίου του παροχέα από το διάνυσμα $L_p = [150:10:250]$. Το αποτέλεσμα του εκάστοτε σημείου είναι η μέση τιμή των 150 περιπτώσεων που σχηματίζονται από τα αποτελέσματα για διάφορες τιμές του συντελεστή βαρύτητας των στρατηγικών στην υβριδική και του ρυθμού σύγκλισης που υιοθετείται τόσο για τις πολυωνυμικές, όσο και για τις εκθετικές περιπτώσεις. Όμοια με προηγούμενα, το σχήμα (α) αντιστοιχεί στις πολυωνυμικές περιπτώσεις των εκτιμητών MLP και GR, ενώ το σχήμα (β) στις εκθετικές.

Οι παρατηρήσεις που μπορούν να εξαχθούν παρατηρώντας το σχήμα αυτό δεν διαφέρουν και πολύ από αυτές στο σχήμα που προηγήθηκε. Έτσι, και στην περίπτωση αυτή, το MLP δίκτυο εμφανίζει πάντοτε σημαντικά υψηλότερο MSE σε σύγκριση με το GR και για όλο το σύνολο των δειγμάτων ελέγχου. Επιπρόσθετα, στην περίπτωση που έχουμε πολυωνυμική TD στρατηγική ως παράγοντα στην υβριδική στρατηγική του παροχέα, το σφάλμα του MLP είναι κατά κανόνα μικρότερο όσο μεγαλύτερο είναι το χρονικό περιθώριο του παροχέα, ενώ το αντίθετο ισχύει στην περίπτωση των εκθετικών TD συνδυασμών. Επιπλέον, όταν η TD στρατηγική συνδυάζεται με RATFT BD στρατηγική, το σφάλμα στο MLP μεταβάλλεται εντονότερα και είναι πάντοτε μεγαλύτερο από το αντίστοιχο για τους άλλους BD συνδυασμούς. Έτσι, το MSE του δικτύου αυτού μεταβάλλεται από ~13.5% έως ~18.5% για το συνδυασμό Poly&RATFT, από ~7% έως ~8% για το συνδυασμό Poly&ATFT, από ~13% έως ~16% για το συνδυασμό Expr&RATFT, και από ~11% έως ~14% τόσο για τον Expr&RTFT, όσο και για τον Expr&ATFT συνδυασμό.

Από την άλλη πλευρά, το σφάλμα που εμφανίζεται στην περίπτωση του GR δικτύου, είναι λιγότερο μεταβαλλόμενο σε σύγκριση με το αντίστοιχο του MLP, κάτι που παρατηρήθηκε στο σύνολο των πειραματικών αποτελεσμάτων. Πράγματι, το σφάλμα στην περίπτωση των συνδυασμών με πολυωνυμικές στρατηγικές στην υβριδική του παροχέα είναι μικρότερο από 5% και στην περίπτωση των εκθετικών μικρότερο από 7% στο σύνολο των περιπτώσεων. Ειδικότερα, στην περίπτωση των πολυωνυμικών TD περιπτώσεων, το σφάλμα του GR ελαχιστοποιείται όταν το χρονικό περιθώριο του παροχέα είναι κοντά στο 200 και μεγιστοποιείται καθώς το τελευταίο πλησιάζει στο 150, που είναι και το ελάχιστο που έχει τεθεί προς έλεγχο. Στις εκθετικές περιπτώσεις, το σφάλμα ελαχιστοποιείται κοντά στο 160 και μεγιστοποιείται κοντά στο 250 για όλους τους συνδυασμούς των BD στρατηγικών.



(α)



(β)

Σχήμα 6–3. Μέσο τετραγωνικό σφάλμα για την εκτίμηση (από MLP και GR δίκτυο) της προσφοράς του παροχέα στο γύρο εξάντλησης του χρονικού περιθωρίου του πελάτη για όλους τους συνδυασμούς στρατηγικών του παροχέα και για διάφορες τιμές του χρονικού του περιθωρίου, όταν ο TD παράγοντας στη στρατηγική του παροχέα είναι (α) πολυωνμικός και (β) εκθετικός

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, όπως προκύπτουν και από τα συγκεντρωτικά σχήματα 6-1 με 6-3, διαφαίνεται ξεκάθαρα ότι το GR δίκτυο υπερτερεί σημαντικά του MLP με βάση το κριτήριο του τετραγωνικού σφάλματος και μάλιστα για το σύνολο σχεδόν των περιπτώσεων.

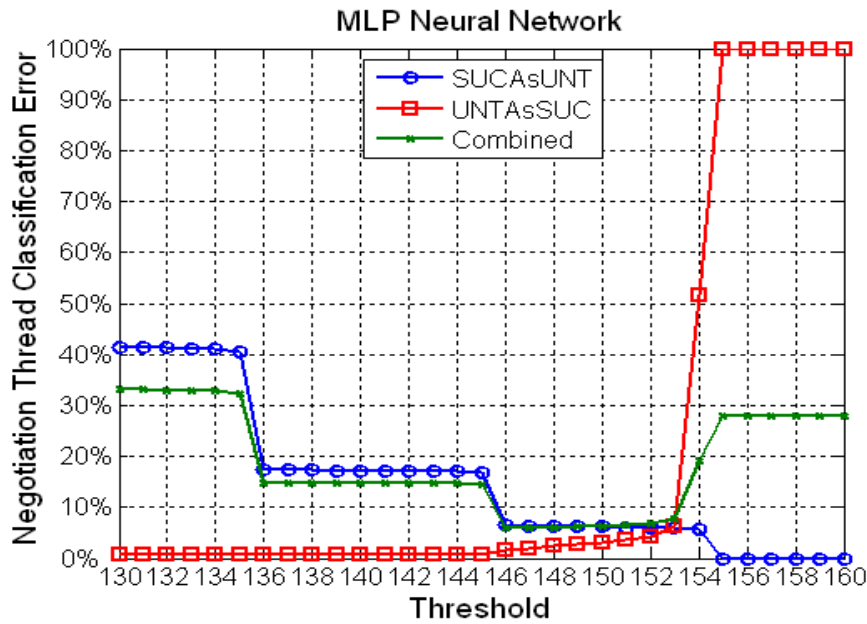
Συγκεκριμένα, το μέσο σφάλμα του MLP είναι 12.24% για όλο το σύνολο των πειραμάτων, ενώ το αντίστοιχο του GR είναι μόλις 4.58%, τιμή 2.7 φορές μικρότερη από την προηγούμενη. Βέβαια, ο βασικός στόχος είναι η ορθή αποτίμηση του κριτηρίου που περιγράφεται στην ενότητα 6-3, που οδηγεί και στη σωστή πρόβλεψη για το αποτέλεσμα της εκάστοτε διαδικασίας διαπραγμάτευσης. Για το σκοπό αυτό, στη συνέχεια θα ελεγχθεί η απόδοση των δυο δικτύων με βάση αυτό το κριτήριο που είναι και το ουσιαστικότερο.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί περισσότερες από μια φορές, βασική επιδίωξη της εφαρμογής του μηχανισμού μάθησης των νευρωνικών δικτύων, είναι η λήψη της απόφασης για το αν ο πελάτης οφείλει να συνεχίσει να συμμετέχει στη διαδικασία διαπραγμάτευσης με τον αντίστοιχο παροχέα ή καλείται να αποσυρθεί μιας και ο μηχανισμός αναγνωρίζει ότι δεν μπορεί να επιτευχθεί συμφωνία. Έτσι, αν $\overline{p_m^P} > p_M^C$, όπου p_m^P είναι η τιμή που προτείνεται από τον παροχέα στον πελάτη στο γύρο διαπραγμάτευσης 100 και $\overline{p_m^P}$ είναι η αντίστοιχη εκτίμησή της που παρέχεται από τα νευρωνικά δίκτυα, τότε ο πελάτης αποφασίζει να εγκαταλείψει τη διαπραγμάτευση στο γύρο πρόβλεψης (50). Παρόλα αυτά όμως, και κατόπιν εκτεταμένων πειραμάτων, είναι ξεκάθαρο ότι το κριτήριο που προαναφέρθηκε χρήζει περαιτέρω διερεύνησης μιας και τα δυο νευρωνικά δίκτυα είχαν μετά την εκπαίδευσή τους την τάση είτε να υπερεκτιμούν, είτε να υποεκτιμούν την τιμή προσφοράς του παροχέα στο γύρο εξάντλησης, με αποτέλεσμα το κριτήριο $\overline{p_m^P} > p_M^C = 150$, να μην είναι αυτό που παρέχει τα βέλτιστα αποτελέσματα. Στο σχήμα που ακολουθεί, φαίνονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων που διενεργήθηκαν με στόχο να αναγνωριστούν τα βέλτιστα αποτελέσματα αναφορικά με το κατώφλι που πρέπει να επιλεγεί προκειμένου να γίνεται σωστά η κατανομή των διαπραγματεύσεων σε επιτυχείς ή ανεπιτυχείς. Πιο συγκεκριμένα, για να ληφθεί η απόφαση του καταλληλότερου κατωφλίου στη γειτονιά του 150, στα σχήματα που ακολουθούν υπάρχουν τρεις γραμμές: η μπλε, που αντιστοιχεί στο ποσοστό επιτυχίας των επιτυχών διαδικασιών διαπραγμάτευσης (ΕΔΔ) που αναγνωρίστηκαν εσφαλμένα ως ανεπιτυχείς διαδικασίες διαπραγμάτευσης (ΑΔΔ), η κόκκινη γραμμή, που αντιστοιχεί στο αντίστροφο ποσοστό, δηλαδή σε αυτό των διαδικασιών που είναι ανεπιτυχείς άλλα αναγνωρίζονται ως επιτυχείς και τέλος, η πράσινη γραμμή που είναι ο συνδυασμός των δυο παραπάνω αποτελεσμάτων κατά μέσο όρο. Το (α) μέρος του σχήματος αναφέρεται στο MLP και το (β) στο GR.

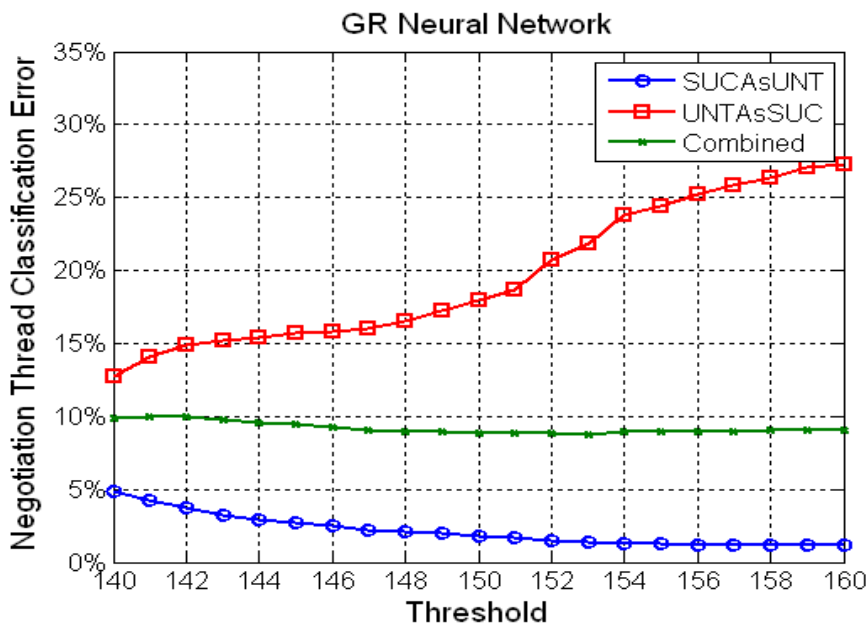
Όπως φαίνεται από τα σχήματα αυτά, παρόλο που όταν η τιμή για το κατώφλι είναι 150, τα αποτελέσματα αναφορικά με το σφάλμα κατάταξης της διαδικασίας διαπραγμάτευσης (ΣΚΔΔ) είναι μικρό για το MLP, στην πραγματικότητα φαίνεται ότι το κριτήριο που είναι καταλληλότερο και δίνει το μικρότερο δυνατό σφάλμα είναι όταν $\overline{p_{L=100}^P} > 146$. Αυτό συμβαίνει γιατί το συγκεκριμένο δίκτυο έχει την τάση να υποεκτιμά τις

προσφορές του παροχέα. Από την άλλη πλευρά, όπως φαίνεται στο σχήμα (β), όταν το GR χρησιμοποιείται από τον πελάτη το καλύτερο ΣΚΔΔ επιτυγχάνεται όταν $\overline{p_{L=100}^p} > 153$, μιας και το δίκτυο αυτό έχει την τάση να υπερεκτιμά τις προσφορές του παροχέα. Το γεγονός ότι η θεωρητική τιμή 150, δεν είναι η καταλληλότερη για τον ορισμό της τιμής-κατώφλι δεν πρέπει να αποτελεί έκπληξη καθότι τα νευρωνικά δίκτυα είναι δομές με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και μόνο κατόπιν της εκπαίδευσης τους μπορούν να τεθούν τέτοιες αντίστοιχες παράμετροι. Είναι δε χαρακτηριστικό, ότι στα νέα αυτά κατώφλια τα αποτελέσματα ελάχιστα διαφέρουν από το θεωρητικό (150), όμως από τη στιγμή που είναι έστω και οριακά μικρότερα, οφείλουν να γίνουν δεκτά. Έτσι, ελαχιστοποιούνται οι λανθασμένες αποφάσεις για τις διαδικασίες και προκύπτουν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν.

Στον πίνακα 6-1 καταγράφονται τα συγκεντρωτικά πειραματικά αποτελέσματα από την εφαρμογή του μηχανισμού εκτίμησης που προτείνεται στο κεφάλαιο αυτό, για την ανίχνευση των ανεπιτυχών διαδικασιών διαπραγμάτευσης (ΑΔΔ), όταν ο παροχέας υιοθετεί μια υβριδική στρατηγική που αποτελείται από ένα χρονικά εξαρτώμενο και ένα εξαρτώμενο από συμπεριφορά τμήμα. Κάθε γραμμή του παρακάτω πίνακα αντιστοιχεί σε ένα πειραματικό σύνολο στο οποίο ο παροχέας ακολουθεί τα παρακάτω ζευγάρια στρατηγικών, όπως έχει ήδη αναφερθεί: Poly&RTFT, Poly&RATFT, Poly&ATFT, Exp&RTFT, Exp&RATFT, and Exp&ATFT. Οι τιμές που παρουσιάζονται είναι οι μέσες τιμές για τα διάφορα δείγματα του ρυθμού σύγκλισης ($\beta \in [0.5:0.05:0.9, 1:0.1:2.5]$), του χρονικού του περιθωρίου ($L_p = [150:10:250]$), και του συντελεστή βάρους στη στρατηγική του παροχέα ($w = [0:0.2:1]$). Επίσης, όπως έχει ήδη τονιστεί, για όλα τα πειράματα που διενεργήθηκαν ισχύει ότι $[p_m^p, p_M^p] = [100, 200]$, $[p_m^c, p_M^c] = [50, 150]$ και $L_c = 100$, ενώ ο πελάτης υιοθετεί μια γραμμική χρονικά εξαρτώμενη στρατηγική μέχρι τον 50^ο γύρο διαπραγμάτευσης, όπου και αποφασίζει αν θα συνεχίσει να συμμετέχει στη συγκεκριμένη διαδικασία ή θα αποσυρθεί άμεσα. Η δεύτερη στήλη του πίνακα, συνοψίζει τον αριθμό των ΑΔΔ, που οφείλονται στο γεγονός ότι $p_{L=100}^p > p_M^c$. Η τρίτη στήλη υποδεικνύει ότι η διάρκεια μιας οποιασδήποτε ΑΔΔ είναι πάντοτε ίση με $L_c = 100$, μιας και αφενός θεωρείται ότι το χρονικό περιθώριο του παροχέα είναι πάντοτε μεγαλύτερο από το αντίστοιχο του πελάτη στα πειράματα ελέγχου, για τους λόγους που εξηγήθηκαν και προηγούμενα, και αφετέρου, χωρίς την ύπαρξη του μηχανισμού εκτίμησης, η διαδικασία θα συνεχιστεί και θα ολοκληρωθεί ανεπιτυχώς στο γύρο 100, μιας και δεν υπάρχει τρόπος να φανεί το αδιέξοδο που θα προκύψει σε πρότερο χρόνο.



(α)



(β)

Σχήμα 6-4. Σφάλμα Κατάταξης Διαδικασίας Διαπραγμάτευσης (ΣΚΔΔ) για διάφορες τιμές κατωφλίου στην περίπτωση που χρησιμοποιείται (α) νευρωνικό δίκτυο MLP και (β) νευρωνικό δίκτυο GR από τον πελάτη

Το επόμενο ζευγάρι στηλών καταγράφει τον αριθμό των ΑΔΔ που ανιχνεύθηκαν από τα νευρωνικά δίκτυα στο γύρο πρόβλεψης, ενώ στη συνέχεια καταγράφεται το ζευγάρι των αποτελεσμάτων που αφορά στο λόγο απαλοιφής των ΑΔΔ, το λόγο δηλαδή των ΑΔΔ που αναγνωρίστηκαν ορθά από το εκάστοτε δίκτυο ως ανεπιτυχείς και τερματίστηκαν προτού ολοκληρωθεί το χρονικό περιθώριο του πελάτη, οδηγώντας σε σημαντική εξοικονόμηση

χρονικών και υπολογιστικών πόρων της τάξης του 50%. Τέλος, τα καταγεγραμμένα αποτελέσματα περιλαμβάνουν τη μέση χρονική διάρκεια των ΑΔΔ σε αριθμό γύρων και τη μέση μείωση αυτών από την εφαρμογή του μηχανισμού εκτίμησης σε αντιδιαστολή με τη μη χρήση του μηχανισμού.

Πίνακας 6-1. Συγκριτικά αποτελέσματα αναφορικά με την ανίχνευση των Ανεπιτυχών Διαδικασιών Διαπραγμάτευσης πόρων (ΑΔΔ) από τα δυο νευρωνικά δίκτυα που υιοθετήθηκαν, όταν ο παροχέας ακολουθεί μια υβριδική στρατηγική διαπραγμάτευσης. Κάθε σειρά αντιστοιχεί σε ένα σύνολο εκπαίδευσης, που ακολουθείται ένα συγκεκριμένο ζευγάρι στρατηγικών, με μια χρονικά εξαρτώμενη και μια εξαρτώμενη από συμπεριφορά συνιστώσα

Ζεύγος Στρατηγικής Παροχέα	#ΑΔΔ	Μέση Διάρκεια ΑΔΔ χωρίς ΝΔ	#ΑΔΔ που ανιχνεύτηκαν στο γύρο πρόβλεψης		Λόγος Μείωσης ΑΔΔ (%)		Μέση Διάρκεια ΑΔΔ		Μέση Μείωση της Διάρκειας των ΑΔΔ (%)	
			MLP	GR	MLP	GR	MLP	GR	MLP	GR
Poly&RTFT	145	100	144	123	99.3	84.8	50.3	57.6	49.7	42.4
Poly&RATFT	145	100	145	132	100	91.0	50	54.5	50	45.5
Poly&ATFT	145	100	145	123	100	84.8	50	57.6	50	42.4
Exp&RTFT	777	100	777	540	100	69.5	50	65.3	50	34.7
Exp&RATFT	777	100	702	540	90.3	69.5	54.8	65.3	45.2	34.7
Exp&ATFT	777	100	777	540	100	69.5	50	65.3	50	34.7
			ΣΥΝΟΛΟ		97.3	72.2	51.4	63.9	48.6	36.1

Όπως είναι αντιληπτό παρατηρώντας τον παραπάνω πίνακα, το MLP επιτυγχάνει να ανιχνεύσει και να αποφύγει το 97.3% των ΑΔΔ, επιδεικνύοντας μέση διάρκεια ΑΔΔ ίση με 51.4 γύρους διαπραγμάτευσης, αριθμός κατά 48.6% μικρότερος από αυτόν που ισχύει όταν δεν υπεισέρχεται στη διαδικασία μηχανισμός εκτίμησης. Από την άλλη πλευρά, το GR δίκτυο είναι σαφώς λιγότερο επιτυχημένο, επιτυγχάνοντας μόλις 72.2% αποφυγή των ΑΔΔ, με μέση διάρκεια 63.9 γύρους και μείωση κατά 36.1% μόλις. Η μείωση που παρατηρείται και από τα δυο νευρωνικά δίκτυα είναι πολύ σημαντική για τον πελάτη, δίνοντας του τη δυνατότητα να αποφύγει διαδικασίες εκ των προτέρων καταδικασμένες σε αποτυχία σε ιδιαίτερος πρώιμους γύρους. Έτσι, υπάρχει ο απαραίτητος χρόνος για τον πελάτη να συμμετάσχει και σε δεύτερη διαδικασία αν η πρώτη ανιχνευθεί ως αποτυχημένη, με κόστος μόλις μιας διαδικασίας, αυξάνοντας έτσι τις πιθανότητες επιτυχίας. Αναφορικά με τη μείωση των ΑΔΔ, το MLP είναι ξεκάθαρα καλύτερο από το GR αφού καταφέρνει να ανιχνεύσει περίπου 35% περισσότερες ΑΔΔ.

Τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στον πίνακα 6-1, δεν θεωρούνται αρκετά για την πλήρη και αποδοτική αποτίμηση της απόδοσης των μηχανισμών που προτείνονται. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι παρόλο που το MLP κατορθώνει να ανιχνεύσει 35% περισσότερες ΑΔΔ σε σύγκριση με το GR, σε πολλές περιπτώσεις προβλέπει λανθασμένα ως ΑΔΔ, διαδικασίες που στην πραγματικότητα οδηγούν σε συμφωνία. Τα νούμερα αυτά είναι απαραίτητο να καταγραφούν προκειμένου η αποτίμηση να είναι αντικειμενική και αξιόπιστη. Στον πίνακα 6-2 καταγράφονται τα αποτελέσματα εκτίμησης που προκύπτουν από την ορθή ή λανθασμένη ανίχνευση ΑΔΔ αλλά και επιτυχημένων διαδικασιών διαπραγμάτευσης (ΕΔΔ) από τα δυο νευρωνικά δίκτυα. Σε αντιστοιχία με τον πίνακα που προηγήθηκε, κάθε σειρά αντιστοιχεί σε ένα πειραματικό σύνολο, για το οποίο ο παροχέας υιοθετεί ένα συγκεκριμένο ζευγάρι στρατηγικής. Όλες οι τιμές που καταγράφονται στις υπόλοιπες στήλες του πίνακα, αντιστοιχούν στους μέσους όρους για διάφορους ρυθμούς σύγκλισης του παροχέα, χρονικά περιθώρια και συντελεστές βαρών, ενώ οι υπόλοιπες παράμετροι παραμένουν οι ίδιες, όπως και στον πίνακα 6-1 και σε όλα τα πειράματα που διενεργήθηκαν, αναφορικά με τα διαστήματα αποδεκτών τιμών, το γύρο πρόβλεψης, κλπ. Η 2^η και η 3^η στήλη του πίνακα απεικονίζουν το συνολικό αριθμό των ΕΔΔ και των ΑΔΔ αντίστοιχα, που παρατηρήθηκαν για το ζεύγος στρατηγικών της 1^{ης} στήλης. Είναι προφανές ότι οι ΑΔΔ οφείλονται στο κριτήριο $p_{L=100}^P > p_M^C$, όπως προαναφέρθηκε. Το επόμενο ζεύγος στηλών καταγράφει το σύνολο των ΕΔΔ που αναγνωρίστηκαν λανθασμένα ως ΑΔΔ, από το MLP και το GR δίκτυο αντίστοιχα. Στη συνέχεια καταγράφεται το αντίστροφο, δηλαδή ο αριθμός των ΑΔΔ που καταχωρήθηκαν εσφαλμένα ως ΕΔΔ από τα δυο δίκτυα. Ακολουθούν τα σφάλματα ταξινόμησης σε ποσοστά (%), ενώ το τελευταίο ζευγάρι στηλών συνοψίζει το συνολικό σφάλμα ταξινόμησης που αντιστοιχεί στα δυο νευρωνικά δίκτυα ξεχωριστά, προκειμένου να γίνει και η απαραίτητη σύγκριση μεταξύ τους, δηλαδή το συνολικό ποσοστό, τόσο για τις ΑΔΔ που ανιχνεύθηκαν ως ΕΔΔ, αλλά και για την αντίστροφη περίπτωση.

Πίνακας 6-2. Συγκριτικά αποτελέσματα αναφορικά με την ορθή ή εσφαλμένη αναγνώριση των Επιτυχών Διαδικασιών Διαπραγμάτευσης (ΕΔΔ) και των Ανεπιτυχών Διαδικασιών Διαπραγμάτευσης (ΑΔΔ) από τα δυο νευρωνικά δίκτυα, όταν ο παροχέας ακολουθεί τη στρατηγική που ακολουθεί στο ζεύγος της πρώτης στήλης

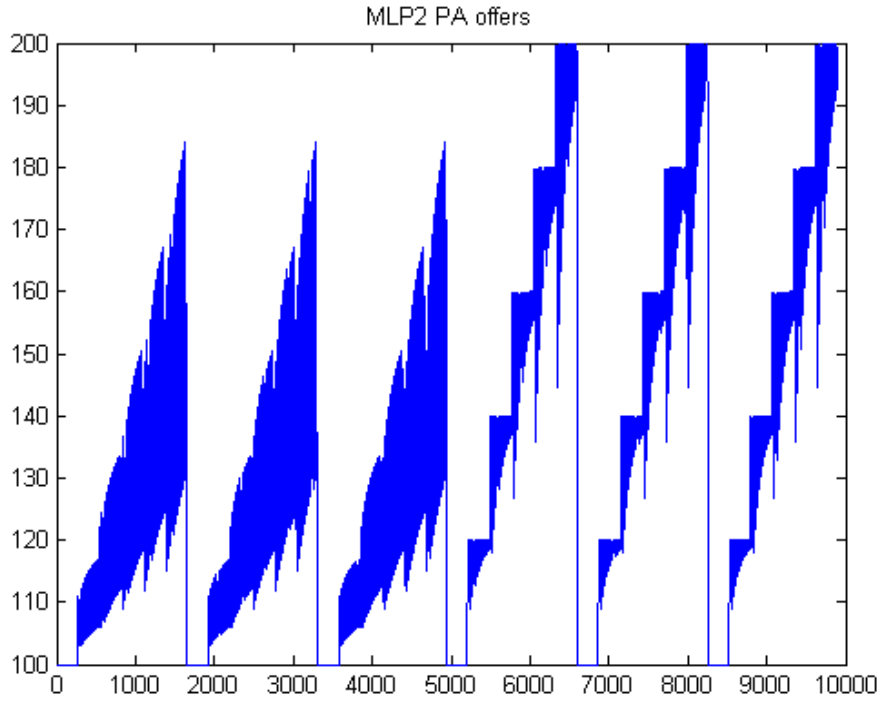
Ζεύγος Στρατηγικής Παροχέα	#ΕΔΔ	#ΑΔΔ	#ΕΔΔ που ταξινομήθη- καν ως ΑΔΔ		#ΑΔΔ που ταξινομήθη- καν ως ΕΔΔ		Σφάλμα Ταξινόμησης των ΕΔΔ(%)		Σφάλμα Ταξινόμησης των ΑΔΔ(%)		Συνολικό Σφάλμα Ταξινόμησης	
			MLP	GR	MLP	GR	MLP	GR	MLP	GR	MLP	GR
Poly&RTFT	1505	145	117	21	1	22	7.8	1.4	0.7	15.2	7.2	2.6

Poly&RATFT	1505	145	141	26	0	13	9.4	1.7	0	9.0	8.5	2.4
Poly&ATFT	1505	145	145	23	0	22	9.6	1.5	0	15.2	8.8	2.7
Exp&RTFT	873	777	19	10	0	237	2.2	1.1	0	30.5	1.2	15.0
Exp&RATFT	873	777	38	10	75	237	4.4	1.1	9.7	30.5	6.8	15.0
Exp&ATFT	873	777	48	10	0	237	5.5	1.1	0	30.5	2.9	15.0
ΣΥΝΟΛΟ							7.1	1.4	2.7	27.8	5.9	8.8

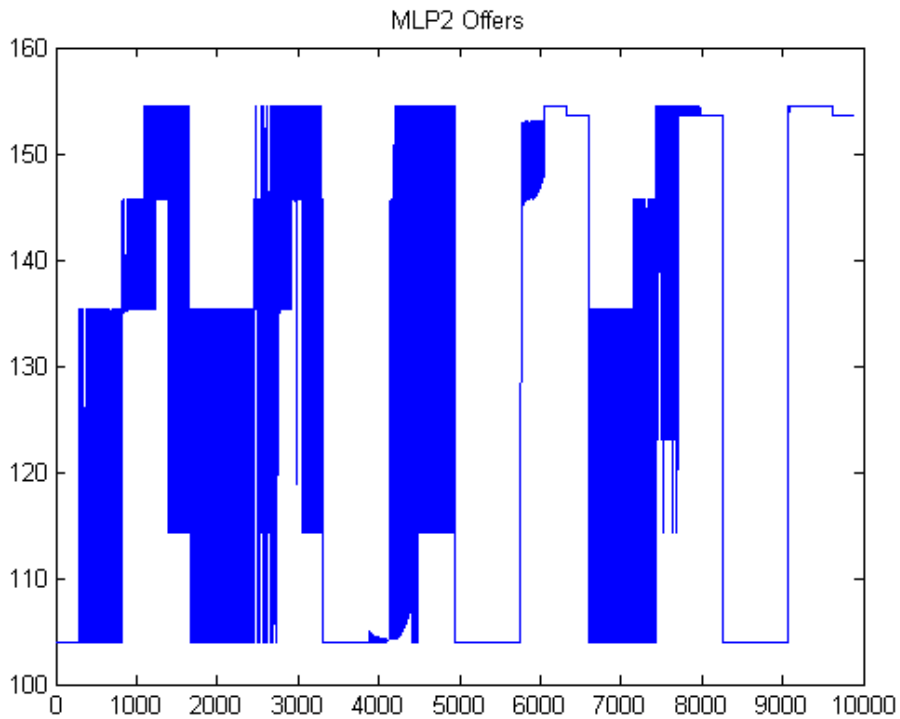
Όπως είναι εμφανές από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον παραπάνω πίνακα, το GR καταφέρνει να ταξινομεί σωστά το σύνολο σχεδόν των ΕΔΔ, με αποτυχία της τάξης του 1.4% μόνο, για την αναγνώριση των ΕΔΔ ως ΑΔΔ. Από την άλλη πλευρά, για το MLP το αντίστοιχο ποσοστό είναι 7.1%. Έτσι, το MLP ταξινομεί εσφαλμένα πέντε φορές περισσότερες ΕΔΔ σαν ΑΔΔ σε σύγκριση με το GR, μειώνοντας έτσι την απόδοση του μηχανισμού εκτίμησης. Παρόλα αυτά όμως, αναφορικά με το σφάλμα ταξινόμησης των ΑΔΔ, το MLP υπερτερεί ξεκάθαρα του GR, μιας και σφάλει σε ποσοστό μόλις 2.7%, ενώ το αντίστοιχο σφάλμα για το GR είναι της τάξης του 27.8%, δηλαδή δέκα φορές μεγαλύτερο. Το συνολικό σφάλμα ταξινόμησης, δηλαδή το σφάλμα που προκύπτει από την κατανομή των ΑΔΔ ως ΕΔΔ και το αντίστροφο, είναι της τάξης του 5.9% για το MLP και του 8.8% για το GR, καθιστώντας και τα δυο δίκτυα ιδιαίτερα αποδοτικά, αν αναλογιστεί κανείς την πολυπλοκότητα του προβλήματος που καλούνται να επιλύσουν και την πληροφορία που διαθέτουν. Έτσι, στην περίπτωση που ο πελάτης αποδίδει την ίδια σημαντικότητα τόσο στην ορθή ταξινόμηση των ΕΔΔ, όσο και των ΑΔΔ, το MLP κρίνεται ως η καταλληλότερη λύση, μιας και το GR παρουσιάζει περίπου 50% μεγαλύτερο σφάλμα ταξινόμησης.

Αυτό που φαίνεται λίγο οξύμωρο, είναι ότι παρόλο που το MLP εμφανίζει το μεγαλύτερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα, όπως φαίνεται από τα γραφήματα που προηγήθηκαν, υπερτερεί αισθητά του GR αναφορικά με τη σωστή ταξινόμηση των διαδικασιών διαπραγμάτευσης σαν επιτυχημένες ή αποτυχημένες. Στην παράγραφο που ακολουθεί επιχειρείται να δικαιολογηθεί με τεχνικά επιχειρήματα αυτό το μάλλον αντικρουόμενο γεγονός. Αρχικά, τα δυο δίκτυα έχουν σχεδιαστεί ακολουθώντας διαφορετικές διαδικασίες, μιας και ανήκουν σε διαφορετικές οικογένειες. Από τη μια πλευρά, το MLP δομείται από ένα επίπεδο 27 κρυφών νευρώνων με λογιστική συνάρτηση μεταφοράς και έχει εκπαιδευτεί με τη βοήθεια ενός μεγάλου συνόλου διαφορετικών διανυσμάτων εισόδου με στόχο να «μάθει» να γενικεύει σωστά, να εκτιμά δηλαδή την τιμή προσφοράς του παροχέα όταν εξαντλείται το χρονικό περιθώριο του πελάτη. Αυτό από μόνο του δεν είναι κάτι απλό, καθότι στο

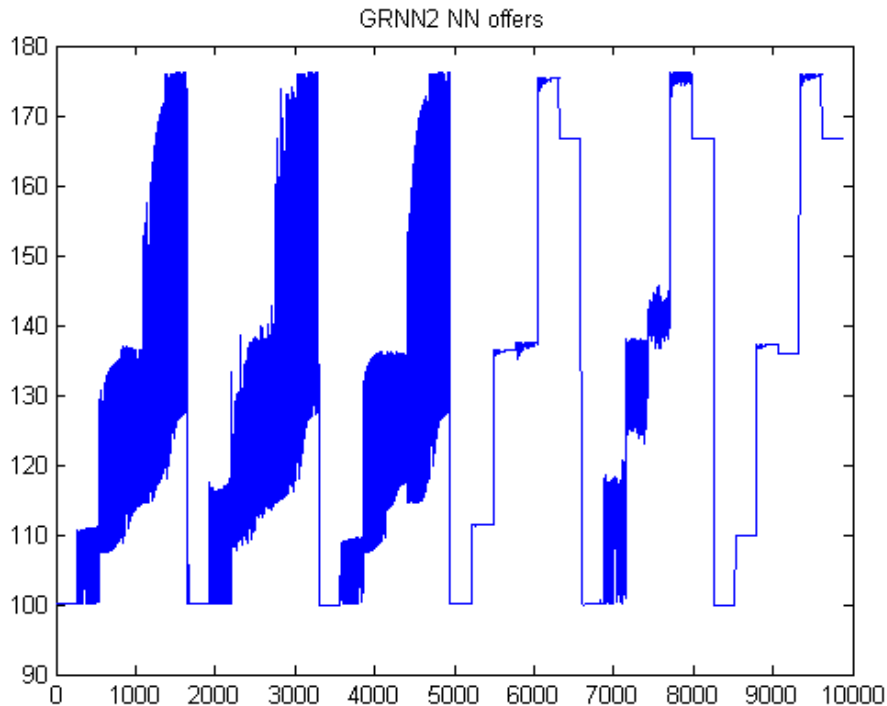
συγκεκριμένο πρόβλημα της υβριδικής στρατηγικής του αντιπάλου, πολλοί διαφορετικοί συνδυασμοί εισόδων (δείγματα προσφορών παροχέα μήκους 50) μπορούν να οδηγήσουν σε εξόδους που διαφέρουν ελάχιστα μεταξύ τους εξαιτίας της φύσης της υβριδικής στρατηγικής (σχήμα 6-5.α). Για το λόγο αυτό, η διαδικασία εκπαίδευσης καθίσταται εξαιρετικά πολύπλοκη και σε συνδυασμό με τη φύση του MLP, που δεν μπορεί να προσαρμοστεί με ακρίβεια σε απότομες αλλαγές στην είσοδο για κοντινά αποτελέσματα στην έξοδο, μιας και όλοι οι νευρώνες αποκρίνονται με κάποιο τρόπο στην εκάστοτε είσοδο και παράγουν την έξοδο. Οδηγούμαστε επομένως, στο σχηματισμό ενός συνόλου διακριτών τιμών που σχηματίζουν διαστήματα ταξινόμησης για όλες τις πιθανές εκτιμήσεις του νευρωνικού δικτύου κάτι που φαίνεται και στο (β) του σχήματος που ακολουθεί. Και παρόλο που το MLP αποδίδει εκτιμήσεις που περιλαμβάνουν ολόκληρες περιοχές τιμών σε μια μόνο απόκριση, οδηγώντας επομένως σε μεγάλο σφάλμα εκτίμησης (MSE), καταφέρνει να ταξινομή με καλύτερα αποτελέσματα τις ΕΔΔ και τις ΑΔΔ σε σύγκριση με το GR και αυτό είναι κάτι που δεν μπορεί να αγνοηθεί. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στην κατάλληλη δημιουργία των κατωφλίων των τιμών που σχηματίζει το MLP για την ταξινόμηση, που αποδεικνύονται ικανοποιητικά για το συγκεκριμένο πρόβλημα. Από την άλλη πλευρά, οι αποκρίσεις του GR (εκτιμήσεις) είναι τέτοιες, όπως φαίνεται και στο σχήμα 6-5.γ, που οδηγούν αφενός σε μικρό σφάλμα MSE, με αποκρίσεις από υποσύνολα των 450 νευρώνων σε κάθε είσοδο, αυτών που έχουν κατασκευαστεί για κάθε είδος εισόδου, όπως προβλέπεται από την αρχιτεκτονική των RBF δικτύων. Έτσι, το δίκτυο σχεδιάζεται αφενός να ελαχιστοποιεί το MSE, αλλά όπως αποδεικνύεται παρέχει μικρότερα ποσοστά ορθής εκτίμησης των διαδικασιών στην οικογένεια που ανήκουν (ΑΔΔ ή ΕΔΔ). Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στην αυξομείωση των αποκρίσεων του δικτύου σε επίπεδα πάνω και κάτω από την πραγματική τιμή προσφοράς του παροχέα, πράγμα εμφανές αν αντιπαραβάλει κανείς τα γραφήματα 6-5.α και 6-5.γ. Το αποτέλεσμα είναι ότι το δίκτυο αποτυγχάνει να παράσχει τις αριθμητικές εκτιμήσεις που απαιτούνται κατά περίπτωση, οδηγώντας σε κοντινές τιμές (όπως φαίνεται από το MSE) οι οποίες όμως επειδή είναι οριακά μικρότερες από τις πραγματικές αναγνωρίζουν εσφαλμένα τις διαδικασίες (στις μικρότερες εκτιμήσεις μπορεί να αναγνωρισθεί μια ανεπιτυχής διαδικασία ως επιτυχής μιας και η μικρότερη τιμή σημαίνει πιο κοντά ή «μέσα» στην προσφορά του πελάτη, επομένως πιο πιθανά επιτυχής διαδικασία, γεγονός που επαληθεύεται και από την αντίστοιχη στήλη στον πίνακα 6-2). Συμπερασματικά, παρόλο που το GR δίκτυο εμφανίζεται εξαιρετικό αναφορικά με το μέσο τετραγωνικό σφάλμα, υπολείπεται του MLP όταν πρέπει να γίνει ορθή πρόβλεψη για το αποτέλεσμα των διαδικασιών, που αποτελεί και τη βασική επιδίωξη του παρόντος προβλήματος. Τα παρακάτω γραφήματα αποδίδουν τις αποκρίσεις των νευρωνικών δικτύων στις αντίστοιχες πειραματικές τιμές ελέγχου του παροχέα για τα διάφορα διανύσματα εισόδου.



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 6–5. Αντιπαράθεση των πραγματικών προσφορών του παροχέα (α) και των εκτιμήσεων των νευρωνικών δικτύων ((β) για το MLP και (γ) για το GR) για όλα τα πειράματα ελέγχου

6.6 Σύνοψη και Συμπεράσματα

Τα εκτεταμένα πειράματα που διενεργήθηκαν για την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος αποδεικνύουν ότι οι έξυπνοι πράκτορες μπορούν να εφοδιαστούν με ένα μηχανισμό εκτίμησης της συμπεριφοράς του αντιπάλου για διαδικασίες μονού αγαθού και δυο μερών στις οποίες ο αντίπαλος ακολουθεί υβριδική στρατηγική διαπραγμάτευσης, και μάλιστα με σημαντικά αποτελέσματα. Η στρατηγική αυτή που αποτελείται από μια χρονικά εξαρτώμενη και μια εξαρτώμενη από συμπεριφορά συνιστώσα, αποτελεί τη στρατηγική του παροχέα, ενώ ο μηχανισμός εκτίμησης εφαρμόζεται στον πελάτη, χωρίς απώλεια της γενικότητας. Ο τελευταίος έχει την ικανότητα να προβλέπει το πιθανό αποτέλεσμα της διαδικασίας που συμμετέχει και να μειώνει σημαντικά (κατά 50%) τη διάρκεια των ανεπιτυχών διαπραγματεύσεων.

Για το σκοπό αυτό υιοθετούνται δυο αρχιτεκτονικές νευρωνικών δικτύων, τα οποία αποτελούν και τις δομές υλοποίησης του μηχανισμού εκτίμησης, ένα MLP και ένα ειδικής

μορφής RBF, το GR, που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο που προηγήθηκε. Σε αυτό το περιβάλλον, το MLP αποδεικνύεται πιο αποδοτικό σε σύγκριση με το GR δίκτυο για την ανίχνευση των ανεπιτυχών διαδικασιών διαπραγμάτευσης σε πρώιμο στάδιο, επιτυγχάνοντας ανίχνευση σε ποσοστό 97.3% κατά μέσο όρο. Το ίδιο δίκτυο υπερτερεί του GR αναφορικά και με το γενικό σφάλμα ταξινόμησης, τόσο των επιτυχών, όσο και των ανεπιτυχών διαδικασιών και κατά ένα ποσοστό περίπου 50%. Έτσι, η χρησιμοποίηση ενός κατάλληλα εκπαιδευμένου MLP νευρωνικού δικτύου (σαν αυτό που παρουσιάστηκε), μπορεί να συντελέσει αποφασιστικά στην αποφυγή των ανεπιτυχών ή ακόμα και των περιορισμένου κέρδους διαδικασιών, ανάλογα με το κριτήριο που τίθεται, από τη στιγμή που προβλέπει αξιόπιστα την τελική τιμή του παροχέα. Έτσι, επιτυγχάνεται ελαχιστοποίηση των απαιτούμενων πόρων με ταυτόχρονη μεγιστοποίηση του συνολικού κέρδους του πελάτη για διαδικασίες μονού αγαθού.

Η έρευνα που παρουσιάζεται στο παρόν κεφάλαιο, μπορεί να επεκταθεί προς την κατεύθυνση της εισαγωγής κριτηρίων ικανοποιησιμότητας για την επιλογή της καταλληλότερης στρατηγικής από τον πελάτη, σαν συνάρτηση τόσο της εκτιμώμενης τιμής που προσφέρεται από το μηχανισμό που προτείνεται, όσο και του γύρου διαπραγμάτευσης. Έτσι, μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση του κέρδους και στην οδήγηση της διαδικασίας εκεί που επιθυμεί ο πελάτης, όχι μόνο στην αποφυγή των ανεπιτυχών διαπραγματεύσεων. Επιπλέον, περαιτέρω έρευνα μπορεί να γίνει με αντικείμενο την ενσωμάτωση μιας επίσης υβριδικής στρατηγικής στην πλευρά του πελάτη, που να σχετίζει τις εκτιμήσεις των νευρωνικών δικτύων με τις συνιστώσες της στρατηγικής από τον πρώτο γύρο διαπραγμάτευσης. Τέλος, επέκταση μπορεί να γίνει και προς την κατεύθυνση των διαδικασιών πολλαπλών αγαθών και τη μελέτη της προοπτικής εφαρμογής της παρούσας τεχνικής αναφορικά με υπολογιστικές και χρονικές απαιτήσεις, θέματα ιδιαίτερος σημαντικά στην περιοχή των αυτοματοποιημένων διαπραγματεύσεων πόρων.

7 Επίλογος και Συμπεράσματα

Το παρόν κεφάλαιο ολοκληρώνει τη διατριβή, συνοψίζοντας τις βασικές αρχές πάνω στις οποίες θεμελιώθηκαν όσα παρουσιάστηκαν στα κεφάλαια που προηγήθηκαν, προβάλλει μια σύντομη ανασκόπηση του κάθε προβλήματος και των αντίστοιχων λύσεων που προτάθηκαν και τέλος καθορίζει τις κατευθύνσεις πάνω στις οποίες μπορεί να στηριχθεί η γενίκευση, αλλά και εξειδίκευση της έρευνας στην περιοχή. Το υπόβαθρο πάνω στο οποίο στηρίχθηκαν οι ερευνητικές προσπάθειες που παρουσιάστηκαν, τόσο σε τεχνολογικό όσο και σε θεωρητικό επίπεδο, είναι η πλήρως θεμελιωμένη πλέον περιοχή των αυτοματοποιημένων διαπραγματεύσεων, οι πράκτορες λογισμικού και η εξαιρετικά δημοφιλής περιοχή των νευρωνικών δικτύων, χωρίς να παραγνωρίζονται και οι υπόλοιποι μηχανισμοί μηχανικής μάθησης που προτάθηκαν και αξιολογήθηκαν.

Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εκτενής εισαγωγή στην περιοχή, δίνονται οι ορισμοί για το τι είναι η αυτοματοποιημένη διαπραγμάτευση, ενώ αναφέρονται και οι σημαντικότερες αρχές που διέπουν την περιοχή, περιγράφονται οι βασικές διαδικασίες και καταγράφονται οι αξιολογότερες προσπάθειες τα τελευταία χρόνια. Το πρόβλημα συγκεκριμενοποιείται, καθώς η εστίαση των προτεινόμενων λύσεων εντοπίζεται στις διμερείς διαδικασίες, μονού αγαθού, με τις δυνατότητες ευθείας γενίκευσης και σε περισσότερους συμμετέχοντες, καθώς και αντικειμένων διαπραγμάτευσης, όπως αναφέρθηκε στα επόμενα κεφάλαια. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την αναφορά των προβλημάτων που μοντελοποιούνται και επιλύονται στην παρούσα διατριβή. Τα προβλήματα αυτά συνοψίζονται στην προσπάθεια *πρόβλεψης της μελλοντικής στρατηγικής που θα εμφανίσει ο αντίπαλος σε επίπεδο προσφορών, βάσει αποκλειστικά και μόνο του έως τότε ιστορικού προσφορών του, χωρίς καμία άλλη ιδιωτική γνώση της πληροφορίας του, με απώτερο στόχο είτε την αποφυγή ανεπιτυχών διαπραγματεύσεων είτε την αύξηση των επιτυχημένων.*

Στο δεύτερο κεφάλαιο εισάγονται οι βασικές έννοιες και αρχές πάνω στις οποίες στηρίζεται η παρούσα διατριβή και τα προβλήματα που επιλύθηκαν. Ειδικότερα, παρουσιάζεται η μαθηματική μοντελοποίηση και θεμελίωση των περιβαλλόντων αυτοματοποιημένης διαπραγμάτευσης, όπως έχουν γίνει καθολικά αποδεκτά εδώ και μια δεκαετία περίπου. Αναλύονται οι δυνατότητες που έχουν οι συμμετέχοντες στην επιλογή των στρατηγικών, των διαδικασιών και των κανόνων πάνω στους οποίους οφείλουν να βασίζονται καθ' όλη τη διάρκεια της συμμετοχής τους σε διαπραγματεύσεις. Επιπρόσθετα, γίνεται αναφορά στην δυνατότητα των χρησιμοποιούμενων στρατηγικών να προσεγγίζουν σε συνδυασμό κάθε αντίστοιχη ανθρώπινη συμπεριφορά. Αυτό είναι μια βασική επιδίωξη στην περιοχή καθότι εν τέλει το ζητούμενο είναι η ικανοποίηση του τελικού χρήστη που είναι μια φυσική ανθρώπινη οντότητα και επομένως οι εντολοδόχοι του οφείλουν να μπορούν να εμφανίσουν στην εκάστοτε διαδικασία και μια συμπεριφορά που να έχει στοιχεία λογικής και νοημοσύνης. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι οντότητες λογισμικού που αναλαμβάνουν να

εκπροσωπήσουν τους φυσικούς συμμετέχοντες και προβάλλονται οι δυνατότητες, αλλά και οι πιθανοί περιορισμοί τους. Τέλος, το κεφάλαιο κλείνει με μια εκτενή αναφορά στα νευρωνικά δίκτυα, που αποτελούν το βασικό εργαλείο για την επίλυση των προβλημάτων εκτίμησης της στρατηγικής του αντιπάλου πράκτορα. Ειδικότερα παρουσιάζονται σε θεωρητικό επίπεδο οι δυο βασικές κατηγορίες δικτύων που επιλέχθηκαν (δηλαδή τα MLP και RBF) και τονίζονται οι λόγοι που οι αρχιτεκτονικές αυτές προτιμήθηκαν έναντι άλλων. Επιπλέον, παρατίθεται και μια θεωρητική σύγκριση των δυο αυτών τύπων που στη συνέχεια δικαιολογείται από τα πειραματικά αποτελέσματα.

Στη συνέχεια (κεφάλαιο 3), ακολουθεί η καταγραφή και συγκριτική παρουσίαση των ερευνητικών προσπαθειών της διεθνούς βιβλιογραφίας, τόσο σε επίπεδο στρατηγικών πρωτοκόλλων και συμμετεχόντων σε αυτοματοποιημένες διαπραγματεύσεις, όσο και αναφορικά με την εφαρμογή τεχνικών μάθησης και εκτίμησης διαφόρων πτυχών στην εκάστοτε διαδικασία με στόχο την βελτιστοποίηση του κέρδους, ενός ή περισσότερων συμμετεχόντων. Στο σημείο αυτό αναφέρονται προσπάθειες που ακολουθούν στατιστικές μεθόδους, ενισχυτική μάθηση, παλινδρόμηση, Bayesian μοντέλα, κλπ., ενώ τέλος παρουσιάζονται και οι εργασίες που υιοθετούν τη λύση των νευρωνικών δικτύων για τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών. Όλες οι παραπάνω προσπάθειες αντιμετωπίζονται κριτικά και γίνεται προσπάθεια να καταγραφούν οι θετικές και αρνητικές τους πτυχές, ιδίως στα αποτελέσματα που επιτυγχάνουν με γνώμονα και την ιδιαιτερότητα των περιβαλλόντων κινητών πρακτόρων.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται και επιλύεται το πρόβλημα εκτίμησης της επόμενης τιμής προσφοράς του αντιπάλου με γνώση και αξιοποίηση μόνο των τελευταίων προσφορών και χωρίς καμία άλλη γνώση ιδιωτικής ή μη πληροφορίας. Οι λύσεις που υιοθετούνται είναι τα δυο νευρωνικά δίκτυα με ελάχιστο αριθμό νευρώνων, δυο τεχνικές προσαρμογής καμπυλών, το spline 3^{ου} βαθμού και ένας πολυωνυμικός προσεγγιστής 7^{ου} βαθμού, ενώ τέλος παρατίθεται και ένας γενετικός αλγόριθμος για το ίδιο πρόβλημα. Για τον έλεγχο της ικανότητας επίλυσης διενεργήθηκαν περίπου 30000 πειράματα διαπραγματεύσεων, με διαφορετικές παραμέτρους, αποδεικνύοντας την ικανότητα της λύσης στην αποφυγή των ανεπιτυχών διαδικασιών όταν τα χρονικά περιθώρια εξαντλούνται. Το ποσοστό επιτυχίας, ιδίως για τα νευρωνικά δίκτυα που υπερτερούν των υπολοίπων, αγγίζει σε πολλές περιπτώσεις το 100% με μια παραχώρηση βέβαια στην τελική τιμή συμφωνίας, που ωστόσο κρατάει σε υψηλά επίπεδα την απόλυτη ικανοποιησιμότητα των συμμετεχόντων, ενώ σε σχέση με την περίπτωση μη εφαρμογής κάποιας τεχνικής επιτυγχάνεται βελτίωση των αποτελεσμάτων περίπου στο 40%. Είναι δε δεδομένο, ότι οι προτεινόμενοι μηχανισμοί κρίνονται ως απολύτως κατάλληλοι για περιβάλλοντα κινητών πρακτόρων και άρα περιορισμένης διαθεσιμότητας πόρων, με τα αντίστοιχα μεγέθη να καταγράφονται

αναλυτικά.

Στη συνέχεια ακολουθεί το κεφάλαιο 5, στο οποίο το προς επίλυση πρόβλημα είναι η έγκαιρη εκτίμηση των διαδικασιών που δεν μπορούν να οδηγήσουν σε συμφωνία, ήδη από τους πρώτους γύρους διαπραγμάτευσης, με στόχο την ελαχιστοποίηση της σπατάλης πόρων και της αποφυγής ανεπιτυχών διαδικασιών, όταν ο αντίπαλος υιοθετεί χρονικά εξαρτώμενη στρατηγική κάθε μορφής. Η λύση που προτείνεται βασίζεται στην ικανότητα δυο νευρωνικών δικτύων, ενός MLP και ενός GRNN (τύπου RBF) να «μαθαίνουν» μη γραμμικά μοντέλα και στη συνέχεια να γενικεύουν με ιδιαίτερη αποτελεσματικότητα όταν εμφανίζονται στην είσοδό τους οι αρχικές προσφορές του αντιπάλου και μάλιστα με ιδιαίτερα χαμηλές τιμές σφαλμάτων αν ληφθεί υπόψιν η πολυπλοκότητα των διαδικασιών. Έτσι, με τις προσφορές αυτές μπορούν να εκτιμήσουν και τις υπόλοιπες, προσφέροντας ικανοποιητικές προβλέψεις για όλες τις παραμέτρους της στρατηγικής του αντιπάλου μέχρι το τέλος. Για τον έλεγχο της ικανότητας των δικτύων να συντελούν στην αποφυγή των «νεκρών» διαδικασιών, διενεργήθηκε πλήθος πειραμάτων για μεγάλο αριθμό στρατηγικών αντιπάλου και αποδείχθηκε ότι το πρώτο δίκτυο είναι κατάλληλο για εκθετική στρατηγική αντιπάλου, ενώ το δεύτερο για πολυωνυμική. Έτσι, είναι απαραίτητο να υφίστανται και τα δυο και να χρησιμοποιείται το σωστό, ανάλογα με το ποια στρατηγική ακολουθείται, παράμετρος που εκτιμάται από έναν ευριστικό αλγόριθμο που επίσης παρουσιάζεται και που είναι σε θέση να εκτιμά το είδος της στρατηγικής, αν πρόκειται δηλαδή για εκθετική ή πολυωνυμική, κατά τη διάρκεια των πρώτων γύρων διαπραγμάτευσης πριν εφαρμοστεί η λύση των νευρωνικών δικτύων για την εκτίμηση. Τα αριθμητικά αποτελέσματα αγγίζουν το 85.4% στην αναγνώριση των ανεπιτυχών διαπραγματεύσεων, μειώνοντας τη διάρκειά τους κατά 59.8%. Αξίζει τέλος να τονιστεί ότι και στην περίπτωση αυτή, μόνο οι προσφορές είναι διαθέσιμες και καμία άλλη ιδιωτική πληροφορία του αντιπάλου, ενώ τέλος, τα δίκτυα ελέγχθηκαν και εδώ αναφορικά με την καταλληλότητά τους να εφαρμοστούν σε περιβάλλοντα αυτοματοποιημένων διαπραγματεύσεων με κινητούς πράκτορες.

Το τεχνικό τμήμα της παρούσας διατριβής ολοκληρώνεται στο κεφάλαιο 6, όπου το ίδιο πρόβλημα με πριν αντιμετωπίζεται, με τη διαφορά ότι πλέον εξετάζονται υβριδικές στρατηγικές, δηλαδή αντίπαλοι που δεν ακολουθούν μια κατηγορία στρατηγικών από τις υπάρχουσες βασικές (Faratin et. al. 1998), αλλά συνδυασμό αυτών, με αποτέλεσμα να οδηγούμαστε προς συμπεριφορές με πολλαπλά στελέχη που ομοιάζουν με την ανθρώπινη σκέψη και συμπεριφορά σε τέτοιου είδους διαδικασίες. Δυο κατάλληλα σχεδιασμένα νευρωνικά δίκτυα συγκρίνονται και εδώ και συμπεραίνεται η καταλληλότητα για το MLP σε σύγκριση με το GRNN, μιας και επιτυγχάνεται ένα ποσοστό της τάξης του 97.3% στην αποφυγή των ανεπιτυχών διαδικασιών και η μείωση κατά 50% του χρόνου που μπορούν να διαρκέσουν, οδηγώντας στην αξιοποίηση του υπόλοιπου χρόνου και των πλεοναζόντων

πόρων σε άλλη διαδικασία. Εδώ αξίζει να τονιστεί ότι οι στρατηγικές μπορούν να έχουν κάθε μεικτή μορφή και το κάθε στέλεχος τους, είτε δηλαδή το εξαρτώμενο από συμπεριφορά, είτε από το χρόνο, να λάβει οποιαδήποτε ακραία μορφή. Η λύση που προτείνεται θα εξακολουθήσει να λειτουργεί αποδοτικά.

Η σύντομη αυτή αναφορά στις βασικές κατευθύνσεις και λύσεις που προτείνει η παρούσα διατριβή ολοκληρώνεται με την προσπάθεια να καταγραφούν πιθανές μελλοντικές προεκτάσεις και άξονες περαιτέρω έρευνας πάνω στα θέματα αυτά. Έτσι, και ενώ έχει γίνει αναφορά και μοντελοποίηση στην επέκταση σε πολλαπλούς συμμετέχοντες και αγαθά, η μελέτη των θεμάτων αυτών σε ένα πραγματικό περιβάλλον μπορεί να προσφέρει χρήσιμες πληροφορίες για την περίπτωση που οι συμμετέχοντες είναι πολλοί και ανταγωνιστικοί, στο αν και κατά πόσο οι λύσεις μπορούν να προσαρμοστούν ευθέως ή απαιτούνται κάποιες τροποποιήσεις προκειμένου να κρίνονται και αποδοτικές ως προς του πόρους που απαιτούνται. Επιπλέον, ένα πρόβλημα που αποτελεί και τη μεγαλύτερη πρόκληση και δεν έχει αντιμετωπιστεί ακόμα στην περιοχή, σχετίζεται με την εκτίμηση της στρατηγικής των αντιπάλων όταν ακολουθούνται τυχαίες ανταγωνιστικές στρατηγικές, χωρίς κανένα πρότυπο ή αυστηρή μαθηματική μοντελοποίηση. Είναι προφανές ότι στις περιπτώσεις αυτές η μηχανική μάθηση έχει περιορισμένες δυνατότητες και εναλλακτικοί τρόποι πρέπει να αναζητηθούν. Τέλος, μια πιθανή προέκταση θα μπορούσε να περιλαμβάνει την αξιοποίηση και άλλων εργαλείων (q-learning, παλινδρόμηση) σε συνδυασμό με τα νευρωνικά δίκτυα που προτάθηκαν για την εξέταση περαιτέρω βελτίωσης των αποτελεσμάτων. Μια κίνηση δηλαδή προς υβριδικές λύσεις μηχανικής μάθησης για την αποφυγή ασυμφωνιών και την επίτευξη συμφωνιών σε «νεκρές» διαδικασίες, αλλά με εξαντλητική πειραματική αποτίμηση όπως διενεργήθηκε στην παρούσα έρευνα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – Ευριστικός Αλγόριθμος Εκτίμησης της Στρατηγικής του Αντίπαλου όταν υιοθετεί Στρατηγική Εξαρτώμενη από Συμπεριφορά

ΠΑ.1 Εισαγωγή

Μια από τις βασικές κατηγορίες στρατηγικών που υιοθετούν οι συμμετέχοντες σε διαδικασίες αυτοματοποιημένων διαπραγματεύσεων, ανήκουν στην κατηγορία των εξαρτώμενων από συμπεριφορά (Faratin et. al. 1998). Για λόγους συνοχής του κειμένου, στην κατηγορία αυτή, που διακρίνεται σε τρεις υποκατηγορίες, ανήκουν οι περιπτώσεις εκείνες που ο εκάστοτε πράκτορας που διαπραγματεύεται με κάποιον αντίπαλο, είτε πελάτη, είτε παροχέα, αντιγράφει τη συμπεριφορά του, ισοσκελίζοντας με αυτό τον τρόπο την τάση και το βαθμό της επιθυμητής σύγκλισης. Η «αντιγραφή» αυτή αναφέρεται σε επιλεγμένη χρονική περίοδο στο ιστορικό των προσφορών του αντίπαλου, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να εκτιμηθεί με σιγουριά το επόμενο βήμα του εκάστοτε αντίπαλου, όπως όταν αυτός υιοθετεί στρατηγικές με χρονική ή ποσοτική παράμετρο.

Στο παράρτημα αυτό παρουσιάζεται ένας ευριστικός αλγόριθμος που ωθεί τον εκάστοτε αντίπαλο στο να αποκαλύψει τις παραμέτρους της στρατηγικής του, κατόπιν συγκεκριμένων κατάλληλα σχεδιασμένων προσφορών στους πρώτους γύρους. Έτσι, αν ο αντίπαλος ακολουθεί αμιγώς εξαρτώμενη από συμπεριφορά στρατηγική, ο συμμετέχοντας που διαθέτει και χρησιμοποιεί το μηχανισμό είναι σε θέση να προβλέπει πλήρως τη συμπεριφορά του. Αυτή η δυνατότητα σε συνδυασμό με την πρόβλεψη για μελλοντικές προσφορές στην περίπτωση οποιουδήποτε συνδυασμού στρατηγικών που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ουσιαστικά καλύπτει κάθε περίπτωση συμπεριφοράς του αντίπαλου, μιας και κάθε στρατηγική μπορεί να μοντελοποιηθεί με τη βοήθεια των βασικών στρατηγικών της περιοχής όπως αυτές περιγράφονται στο (Faratin et. al. 1998).

ΠΑ.2 Περιγραφή Ευριστικού Αλγορίθμου

Στο σημείο αυτό θα περιγραφεί συνοπτικά ο αλγόριθμος που σχεδιάστηκε και αφορά σε αντιπάλους που ακολουθούν στρατηγική εξαρτώμενη από συμπεριφορά. Όπως έχει ήδη

αναφερθεί πολλές φορές, οι συμμετέχοντες αυτοί επιχειρούν να μιμηθούν τη στρατηγική των αντιπάλων τους στη διαδικασία, προκειμένου να διασφαλίσουν ότι εμφανίζουν την ίδια συμπεριφορά με τους ίδιους, δηλαδή δεν είναι ούτε περισσότερο, αλλά ούτε και λιγότερο παραχωρητικοί σε σχέση με τον αντίπαλό τους. Για το σκοπό αυτό οι στρατηγικές που εφαρμόζονται είναι τρεις και ο παρών ευριστικός αλγόριθμος επιχειρεί να εκτιμήσει όχι μόνο το αν ο αντίπαλος ακολουθεί εξαρτώμενη από συμπεριφορά στρατηγική, αλλά επιπλέον και σε ποια από τις τρεις κατηγορίες ανήκει.

Αρχικά, ο πράκτορας που υιοθετεί τον αλγόριθμο που παρουσιάζεται στο σημείο αυτό, θεωρείται ότι είναι ο πράκτορας που ενεργεί ως πελάτης, χωρίς να υπάρχει βέβαια απώλεια της γενικότητας, μιας και ο αλγόριθμος εφαρμόζεται με όμοιο τρόπο και για την περίπτωση του παροχέα. Έτσι, ο πελάτης αρχικά στέλνει τρεις διαδοχικές σταθερές προσφορές (ίσες με την ελάχιστη αρχική του) στον παροχέα. Αυτό γίνεται προκειμένου να υπάρχουν σταθερές αρχικές τιμές αναφοράς που θα χρησιμεύσουν στο μέλλον για τον αλγόριθμο. Στη συνέχεια ο πελάτης αυξάνει κατά ένα μικρό νούμερο την προσφορά του, το οποίο είναι ίσο με το πηλίκο του μέγιστου που μπορεί να προσφέρει δια του αριθμού των γύρων διαπραγμάτευσης που έχει στη διάθεσή του. Αντίστοιχα, άλλος τρόπος είναι αποδεκτός για την επόμενη προσφορά (και βέβαια αυτές που ακολουθούν) αρκεί να υπάρχει αυτή η μεταβολή σε σχέση με τις αρχικές. Σε κάθε βήμα ο πελάτης υπολογίζει την απόλυτη και τη σχετική διαφορά των τελευταίων δυο προσφορών του παροχέα. Οι τιμές αυτές

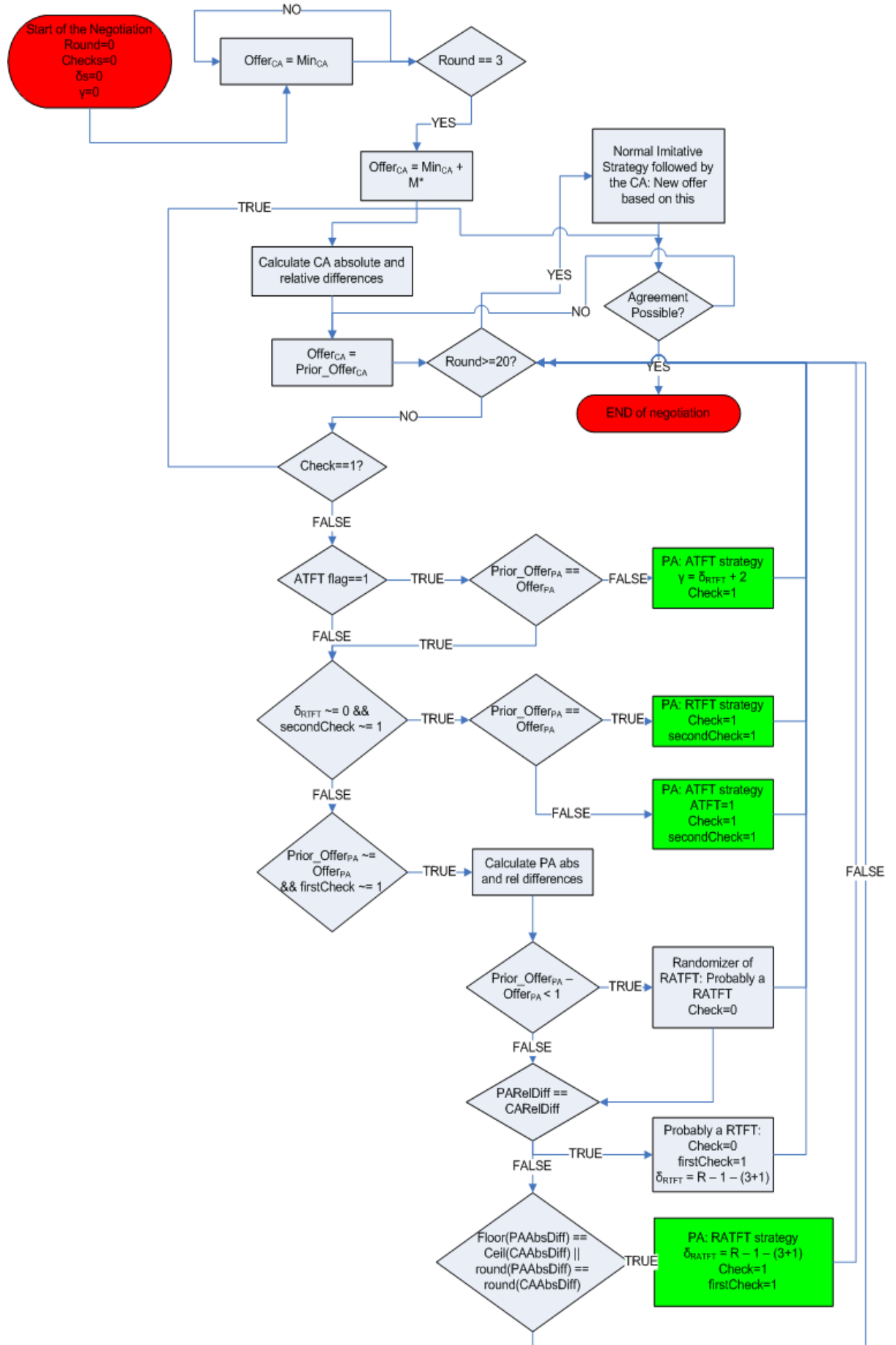
ισούνται με: $D_{abs} = PA_{cur} - PA_{prior}$ και $D_{rel} = \frac{PA_{cur}}{PA_{prior}}$, αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές είναι

απαραίτητες για την εκτίμηση της στρατηγικής του αντιπάλου σε κάθε περίπτωση όπως θα φανεί και παρακάτω (Faratin et. al. 1998).

Επειδή οι στρατηγικές που εξαρτώνται από τη συμπεριφορά, δίνουν τη δυνατότητα στον πράκτορα που τις υιοθετεί να μετατοπίζει τη μίμησή του κάποιους γύρους μπροστά από την εμφάνιση της αλλαγής στον αντίπαλο, δίνεται ένα περιθώριο είκοσι γύρων διαπραγμάτευσης προκειμένου να ανιχνεύσει ο αλγόριθμος την εκάστοτε στρατηγική. Αν λοιπόν η διαδικασία δεν έχει αγγίξει τον 20^ο γύρο, ξεκινά ο πρώτος έλεγχος. Εκεί αποτιμώνται και συγκρίνονται οι απόλυτες και οι σχετικές διαφορές του παροχέα και του πελάτη. Αν υπάρχει σχετική ταύτιση στην περίπτωση των διαδοχικών προσφορών του παροχέα (με μικρή απόκλιση κάτω της μονάδας διαπραγμάτευσης λόγω του παράγοντα M που υπεισέρχεται), και με βάση τις τρεις αρχικές σταθερές τιμές του πελάτη, τότε η στρατηγική είναι υποψήφια για Random Absolute Tit-for-Tat (RATFT), δηλαδή μιμητική αλλά με μικρή απόκλιση ανάμεσα στις τιμές. Ωστόσο, πρέπει να ακολουθήσει και δεύτερος έλεγχος. Αντίθετα, αν οι τιμές ως προς τη σχετική διαφορά είναι ταυτόσημες, τότε η στρατηγική είναι πιθανότατα Relative Tit-for-Tat (RTFT), αλλά και εδώ απαιτείται δεύτερος

έλεγχος. Αν τώρα, οι απόλυτες διαφορές ταυτίζονται και για νέα πρόταση του παροχέα, τότε ο αντίπαλος ακολουθεί RATFT και ο αλγόριθμος μπορεί με τον τρόπο αυτό να υπολογίσει απλά και τον παράγοντα $\delta_{RATFT} = RoundIndex - 1 - (3 + 1)$, λόγω και των τριών αρχικών γύρων που ο πελάτης έχει σταθερή προσφορά. Ακολούθως, υπάρχει ο δεύτερος έλεγχος και πλέον μόνο δυο πιθανές περιπτώσεις, δηλαδή RTFT ή Average Tit-for-Tat (ATFT).

Στο δεύτερο έλεγχο, ο στόχος είναι να ελεγχθούν οι διαδοχικές προσφορές του παροχέα. Αν αυτές ταυτίζονται, τότε πρόκειται για RTFT, αφού μόνο μια αύξηση του πελάτη υπήρξε και επομένως μόνο μια φορά ο παροχέας θα αλλάξει την προσφορά του. Με όμοιο τρόπο όπως και πριν υπολογίζεται το δ_{RTFT} αυτή τη φορά. Τέλος, στον τρίτο έλεγχο υπολογίζεται το $\gamma_{ATFT} = \delta_{RTFT} + 2$, για την ATFT στρατηγική μιας και για τρεις γύρους διαπραγμάτευσης ο πελάτης σταθεροποιεί τις αρχικές προσφορές του. Να σημειωθεί εδώ ότι η στρατηγική αυτή είναι η πιο δύσκολα εκτιμήσιμη επειδή υιοθετεί τις τελευταίες και όχι μια από τις τελευταίες προσφορές, όπως η RTFT, εξάγοντας ένα μέσο όρο. Για το λόγο αυτό σιγουρεύεται η περίπτωση της αφού έχουν απορριφθεί οι άλλες δυο. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται εποπτικά, με τη βοήθεια ενός διαγράμματος ροής, η λειτουργία του αλγορίθμου, ενώ ο αντίστοιχος ψευδοκώδικας ακολουθεί αμέσως μετά.



```

%check the opponent's strategy
if ( round_index >= 3 && checkStr ~= 1 )

    %third check --> find the gamma parameter of the ATFT
    if ( ATFT == 1 )
        if ( provider_offers(round_index) ~= provider_offers(round_index-1) )
            ATFTgamma = RTFTdelta + 2
            checkStr = 1;
            %sprintf('The ATFT gamma is: %d', ATFTgamma)
        end
    end

    %second check --> discriminate whether it is a RTFT or an ATFT
    if ( RTFTdelta ~= 0 && secondCheck ~= 1 ) %it is probably a RTFT but not surely
as it could be an ATFT
        if ( provider_offers(round_index) == provider_offers(round_index-1) ) %the
opponent's offer is affected by the CA's increase only for one round
            disp('Opponent: It is a RTFT indeed');
            checkStr = 1;
        else
            disp('Opponent: It is an ATFT'); %there are several rounds that are
affected by the CA's increase in its offers
            ATFT = 1;
            %in case of gamma=2 there will not be the third check
            %and therefore ATFT gamma is set to 2
            ATFTgamma = 2
            %sprintf('Initial estimation of the ATFT gamma (probably the 3rd check
follows): %d', ATFTgamma)
            checkStr = 0;
        end
        %flag to force this if clause to be executed only once
        secondCheck = 1;
    end

    %first check
    if ( provider_offers(round_index) ~= provider_offers(round_index-1) &&
firstCheck ~= 1)
        %set PA differences
        PAabsoluteDiff = provider_offers(round_index-1) -
provider_offers(round_index);
        PArerelativeDiff = provider_offers(round_index-1) /
provider_offers(round_index);

        %check if in the case of the RATFT we have the first
%randomizer and not the imitation of the CA's increase
        if ( (provider_offers(round_index-1) - provider_offers(round_index)) < 1 )
            %the randomizer is extracted via the rand function and
            %it is something smaller than 1 and it is not
            %attributed to the CA's increase
            disp('Decrease attributed to the randomizer... It is probably a RATFT');
            %set check to continue detection
            checkStr=0;
        end
        %check what is closer the absolute or the relative
        if ( PArerelativeDiff == relativeDiff )
            disp('Probably a Relative Tit for Tat (we should check the next round
also)');
            RTFTdelta = round_index - 1 - (3+1)
            checkStr = 0;
            %flag to force this if clause to be executed only once
            firstCheck = 1;
        elseif ( floor(PAabsoluteDiff) == ceil(absoluteDiff) || round(PAabsoluteDiff)
== round(absoluteDiff) )
            disp('Opponent: Random Absolute Tit for Tat');
            RATFTdelta = round_index - 1 - (3+1)
            checkStr = 1;
            %flag to force this if clause to be executed only once
            firstCheck = 1;
        end
    end
end
end
end
end

```

Σχήμα ΠΑ-1. Διάγραμμα Ροής και Κώδικας του Ευριστικού Αλγορίθμου.

ΠΑ.3 Σύνοψη

Στο παρόν παράρτημα παρουσιάστηκε ένας ευριστικός αλγόριθμος για την αποτίμηση της στρατηγικής του αντιπάλου στην περίπτωση που αυτή κατατάσσεται σε μια από τις τρεις κατηγορίες στρατηγικών εξαρτώμενων από συμπεριφορά. Δόθηκε η ανάλυσή του και εποπτικά το διάγραμμα ροής που προκύπτει, καθώς και ο απαραίτητος κώδικας από την υλοποίησή του. Ο αλγόριθμος αποδεικνύεται 100% ακριβής στις εκτιμήσεις του γιατί επιβάλλει στον πράκτορα του πελάτη που τον υλοποιεί (αντ. αν δοκιμαστεί από παροχέα) να ακολουθήσει συγκεκριμένα βήματα τόσο στην εκτίμηση όσο και στις δικές του αρχικές προσφορές. Το γεγονός ότι ο πράκτορας που υλοποιεί τον αλγόριθμο «μένει» κολλημένος αρχικά σε τρεις ταυτόσημες προσφορές, ενώ δεν επηρεάζει σημαντικά τη διαδικασία της διαπραγμάτευσης, ειδικά όταν αυτή έχει μέλλον μπροστά της, δίνει ένα σημαντικό πλεονέκτημα στην αποκάλυψη της υιοθέτησης τέτοιου τύπου αλγορίθμων από τους αντιπάλους. Αν για κάποιο λόγο δεν πρόκειται για αμιγώς εξαρτώμενη από συμπεριφορά στρατηγική ο πελάτης (αντ. παροχέας) μπορεί μετά το πέρας της εφαρμογής του αλγορίθμου που παρουσιάστηκε εδώ να υιοθετήσει κάποια από τις λύσεις που περιγράφηκαν αναλυτικά στα κεφάλαια που προηγήθηκαν για να αποκτήσει το πλεονέκτημα στη διαδικασία.

ΑΡΤΙΚΟΛΕΞΑ

ATFT	Average Tit for Tat
AOSE	Agent Oriented Software Engineering
BD	Behaviour Dependent
B2B	Business to Business
B2C	Business to Consumer
CFP	Call for Proposals
CS	Cubic Splines
FIPA	Foundation for Intelligent Physical Agents
FRTFT	Fair Relative Tit for Tat
FSM	Finite State Machine
GR	Generalized Regression
LM	Levenberg-Marquardt
Logsig	Log sigmoid Transfer Function
LS	Least Squares
MCP	Monotonic Concession Protocol
MLP	Multilayer Perceptron
MSE	Mean Square Error
OLS	Orthogonal Least Squares
RATFT	Random Absolute Tit for Tat
RBF	Radial Basis Function
RD	Resource Dependent
RFP	Request for Proposal
RTFT	Relative Tit for Tat
TD	Time Dependent
ΑΔΔ	Ανεπιτυχής Διαδικασία Διαπραγμάτευσης
ΓΑ	Γενετικός Αλγόριθμος
ΕΔΔ	Επιτυχής Διαδικασία Διαπραγμάτευσης
ΝΔ	Νευρωνικό Δίκτυο
ΣΚΔΔ	Σφάλμα Κατάταξης Διαδικασίας Διαπραγμάτευσης

ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ ΟΡΩΝ

Adaptability	Προσαρμοστικότητα
Adaptive	Προσαρμόσιμο
Agent	Πράκτορας
Ambient Intelligence	Οξυδέρκεια Περιβάλλοντος
Argumentation-based Negotiation	Διαπραγμάτευση βασισμένη σε Ισχυρισμούς
Automated Negotiation	Αυτοματοποιημένη Διαπραγμάτευση
Autonomy	Αυτονομία
Average Tip-for-Tat	Μέσου Όρου Αποκρινόμενη
Bayesian Learning	Μπαεσιανή Μάθηση
Behavior-Dependent	Εξαρτώμενη από Συμπεριφορά
Bilateral	Διμερής
Boulware	Αργής Σύγκλισης
Case-based Reasoning	Εξαγωγή Συμπερασμάτων βάσει Περιπτώσεων
Client	Πελάτης
Competitive	Ανταγωνιστικός
Conceder	Γρήγορης Σύγκλισης
Convergence Rate	Ρυθμός Σύγκλισης
Cooperative Learning	Συνεργατική Μάθηση
Fair Relative Tip-for-Tat	Δίκαιη Σχετικά Αποκρινόμενη
Imitative	Μιμητικός
Intelligent Agent	Έξυπνος Πράκτορας
Interactive	Αλληλεπιδραστικός
Linear	Γραμμικός
Many-to-many	Πολλοί-προς-πολλούς
Merchant Brokering	Μεσιτεία Εμπόρου
Mobile Agent	Κινητός Πράκτορας
Mobility	Κινητικότητα
Model	Μοντέλο
Model-based Reasoning	Εξαγωγή Συμπερασμάτων βάσει Μοντέλων
Multi-Agent System	Σύστημα Πολλαπλών Πρακτόρων
Multi-lateral	Πολλαπλών Μερών
Negotiation	Διαπραγμάτευση
One-to-many	Ένας-προς-πολλούς
One-to-one	Ένας-προς-ένα
Opponent	Αντίπαλος
Party	Μέρος
Product Brokering	Μεσιτεία Προϊόντος
Proposal	Προσφορά – Πρόταση
Protocol	Πρωτόκολλο
Provider	Παροχέας
Purchase & Delivery	Αγορά & Διανομή
Random Absolute Tip-for-Tat	Τυχαία Απόλυτα Αποκρινόμενη
Rationality	Ορθολογισμός
Reasoning	Εξαγωγή Συμπερασμάτων
Regression Analysis	Ανάλυση Παλινδρόμησης
Reinforcement Learning	Ενισχυτική Μάθηση
Relative Tip-for-Tat	Σχετικά Αποκρινόμενη
Request	Αίτηση – Ερώτηση
Resource-Dependent	Εξαρτώμενη από Πόρους

Response	Απόκριση
Responsive	Αποκριτικός
Sensitive	Ευαίσθητος
Service & Evaluation	Εξυπηρέτηση & Αποτίμηση
Single Instance	Μονού Στιγμιότυπου
Software Agent	Πράκτορας Λογισμικού
Static Agent	Στατικός Πράκτορας
Statistical Analysis	Στατιστική Ανάλυση
Strategy	Στρατηγική
Time-Dependent	Εξαρτώμενες από Χρόνο
User	Χρήστης
Utility	Ικανοποιησιμότητα

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- | |
|--|
| Abdi, H., "Least-squares", In M. Lewis-Beck, A. Bryman, and T. Futing (Eds): Encyclopedia for research methods for the social sciences, Thousand Oaks (CA): Sage Publications Inc., UK, 2003, pp. 792-795. |
| Abreu, M., Canuto, A., and Santana, L., "A Comparative Analysis of Negotiation Methods for a Multi-neural Agent System", 5th International Conference on Hybrid Intelligent Systems (HIS 2005), Rio de Janeiro, Brazil, June 2005. |
| Amari, S., and Maginu, K., "Statistical neurodynamics of associative memory", Neural Networks, Vol. 1, 1988, pp. 63-73. |
| Angluin, D., "Learning regular sets from queries and counterexamples", Information and Computation, Vol. 75, No. 2, 1987, pp. 87-106. |
| Axelrod, R., "The Evolution of Cooperation", Basic Books Inv. Publishers, New York, USA, 1994. |
| Bates, D.M., and Watts, D.G., "Nonlinear Regression and Its Applications", John Wiley & Sons, New York, USA, 1988. |
| Block, H.D., "The Perceptron: a model of brain functioning", Review of Modern Physics, Vol. 34, 1962, pp. 123-135. |
| Bradshaw, J.M., "Software Agents", AAAI Press/MIT Press, California, USA, 1997. |
| Brezinski, C., and Redivo Zaglia, M., "Extrapolation Methods. Theory and Practice", North-Holland, Amsterdam, Netherlands, 1991. |
| Broomhead, D.S., and Lowe, D., "Multivariable functional interpolation and adaptive networks", Complex Systems, Vol. 2, 1988, pp. 321-355. |
| Brzostowski J., Kowalczyk R., "Adaptive negotiation with online prediction of opponent behaviour in agent-based negotiation", 2006 IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology, Hong Kong, China, December 2006, pp. 263--269. |
| Brzostowski, J., and Kowalczyk, R., "Predicting partner's behaviour in agent negotiation", 5th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS 2006), Hakodate, Japan, May 2006. |
| Bui, H., Venkatesh, S., and Kieronska, D., "Learning other agents' preferences in multi-agent negotiation using the Bayesian classifier", International Journal of Cooperative Information Systems, Vol. 8, No. 4, 1999, pp. 275-294. |
| Carbonneau, R., Kersten, G., and Vahidov, R., "Predicting Opponent's Moves in Electronic Negotiations Using Neural Networks", International Conference of Group Decision and Negotiation (GDN 2006), Karlsruhe, Germany, June 2006. |
| Cardoso, H.L., and Oliveira, E., "Using and evaluating adaptive agents for electronic commerce negotiation", International Joint Conference IBERAMIA-SBIA 2000, 7th Ibero-American Conference on AI, Atibaia, São Paulo, Brazil, November 2000. |
| Carmel, D., and Markovitch, S., "Model-based learning of interaction strategies in multi-agent systems", Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence, Vol. 10, No. 3, 1998, pp. 309-332. |
| Caudill, M., and Butler, C., "Understanding Neural Networks: Computer Explorations", Vols. 1 and 2, MIT Press, Cambridge MA, USA, 1992. |
| Chapra, S., and Canale, R., "Numerical methods for Engineers", McGraw-Hill, USA, 2002. |
| Chavez, A., Dreilinger, D., Guttman, R., and Maes, P., "A Real-Life Experiment in Creating an Agent Marketplace", Proceedings of the 2nd International Conference on the Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agent Technology (PAAM 1997), London, UK, April 1997. |
| Chen, E., Vahidov, R., and Kersten, G., "Agent-supported negotiations in the e-marketplace", International Journal of Electronic Business, Vol. 3, No. 1, 2005, pp. 28-49. |
| Chen, S., Cowan, C., and Grant, P., "Orthogonal Least Squares Learning Algorithm for Radial Basis Function Networks", IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 2, No. 2, 1991, pp. 302-309. |

Chohra, A., Bahrammirzaee, A., and Madani, K., "Negotiation Behaviours based on artificial intelligence and social and cognitive human-agent interaction", 7th Computer Information Systems and Industrial Management Applications (CISIM 2008), Ostrava, Czech Rep., June 2008.
Claus, C., and Boutilier, C., "The dynamics of reinforcement learning in cooperative multiagent systems", 15th National Conference of Artificial Intelligence (AAAI-98), Madison, Wisconsin, USA, July 1998.
Cogley, A.C., and Borucki, W.J., "Exponential Approximation for Daily Average Solar Heating or Photolysis", Journal of the Atmospheric Sciences, Vol. 33, No. 7, 1976, pp. 1347-1356.
Collins, II, G.W., "Fundamental Numerical Methods and Data Analysis", George W. Collins, USA, 2003.
Collins, J., Tsvetovatyy, M., Mobasher, B., and Gini, M., "MAGNET: a multi-agent contracting system for plan execution", Workshop on Artificial Intelligence and Manufacturing: State of the Art and State of Practice, AAAI Press, Albuquerque, NM, August 1998, pp. 63-68.
Cranor L.F., Resnick P., "Protocols for automated negotiations with buyer anonymity and seller reputations" NETNOMICS Journal, Vol. 2, No. 1, 2000, pp. 1-23.
Demuth, H., Beale, M., and Hagan M., "Neural Network Toolbox, Chapter 5: Backpropagation", The MathWorks, Inc., Natick, USA, 2006.
Deveaux, L., Paraschiv, C., and Latourrette, M., "Bargaining on an Internet agent-based market: Behavioral vs. optimizing agents", Electronic Commerce Research, Vol. 1, Issue 4, 2001, pp. 371-401.
Draper, N., and Smith, H., "Applied Regression Analysis", 3rd Edition, John Wiley & Sons, New York, USA, 1998.
Duch, W., and Jankowski, N., "Survey of Neural Transfer Functions", Neural Computing Surveys, Vol. 2, 1999, pp. 163-212.
Duin, R.P., "Learned from Neural Networks", 6th Annual Conference of the Advanced School for Computing and Imaging (ASCI 2000), Lommel, Belgium, June 2000.
Elman, J.L., "Finding structure in time", Cognitive Science, Vol. 14, 1980, pp. 179-211.
Endriss, U., "Monotonic concession protocols for multilateral negotiation", Proc. of the 5th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS '06), Hakodate, Japan, 2006.
Esteva, M., Rodríguez-Aguilar, J.A., Sierra, C., Garcia, P., and Arcos, J.L., "On the Formal Specifications of Electronic Institutions", Lecture Notes In Computer Science, Vol. 1991, Agent Mediated Electronic Commerce, 2001, pp. 126-147.
Faratin, P., Sierra, C., and Jennings, N., "Negotiation Decision Functions for Autonomous Agents", International Journal of Robotics and Autonomous Systems, Vol. 24, No. 3-4, 1998, pp. 159-182.
Faratin, P., Sierra, C., and Jennings, N., "Using similarity criteria to make issue tradeoffs in automated negotiations", Artificial Intelligence, Vol. 142, No. 2, 2002, pp.205-237.
Faratin, P., Sierra, C., Jennings, N.R., and Buckle, P., "Designing Flexible Automated Negotiators: Concessions, Trade-Offs and Issue Changes", Proceedings of the AAAI-99 Workshop on Negotiation: Settling Conflicts and Identifying Opportunities, Orlando, FL, USA, July 1999.
Fatima, S., Wooldridge, M., and Jennings, N.R., "Multi-issue negotiation with deadlines" Journal of Artificial Intelligence Research, Vol. 27, 2006, pp. 381-417.
Fei Y., Wang G., "Research on an Intelligent On-Line Negotiation System", IEEE International Conference on e-Business Engineering, IEEE Press, New York USA, 2005, pp. 722-728.
Foundation for Intelligent Physical Agents, "Contract net interaction protocol specification", December 2002, http://www.fipa.org/specs/fipa00029/ .
Fox, J., "Applied Regression Analysis, Linear Models and Related Methods", Sage

Publications, Thousand Oaks, CA, USA, 1997.
Gelfand, M., and Brett, J., (eds.), "Handbook of negotiation and culture", Stanford Business Books, Stanford CA, USA, 2004.
Genesereth, M.R., and Ketchpel, S.P., "Software Agents", Communications of the ACM, Vol. 37, No. 7, 1994, pp. 48-53.
Gerding, E., Bragt, D. van, and La Poutré, J.A., "Multi-issue negotiation processes by evolutionary simulation, validation and social extensions", Computational Economics, Vol. 22, Issue 1, 2003, pp. 39-63.
Gill, P.R., Murray, W., and Wright, M.H., "The Levenberg-Marquardt Method", in "Practical Optimization", Academic Press, London, UK, 1981, pp. 136-137.
Grossberg, S., "Competitive Learning: From interactive activation to adaptive resonance", Neural Networks and Neural Intelligence, S. Grossberg S. (Eds.), MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1988.
Guttman, R.H., and Maes, P., "Agent-Mediated Integrative Negotiation for Retail Electronic Commerce," Agent Mediated Electronic Commerce, P. Noriega and C. Sierra (eds.), LNCS vol. 1571, 1998, pp. 70-90.
Hagan, M., Demuth, H., and Beale, M., "Neural Network Design", PWS Publishing Company, Boston MA, USA, 1996.
Hagan, M.T., and Menhaj, M.B., "Training Feedforward Networks with the Marquardt Algorithm", IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 5, No. 6, 1994, pp. 989-993.
Han, X., and Feng, Y.Q., "Research on negotiation support system based on case-based reasoning", Machine Learning and Cybernetics 2005 (ICMLC 2005), Guangzhou, China, August 2005.
Haykin, S., "Neural Networks: A Comprehensive Foundation", 2nd Edition, Prentice Hall, London, UK, 1999.
He, M., Leung, H., and Jennings, N., "A fuzzy logic based bidding strategy for autonomous agents in continuous double auctions", IEEE Trans on Knowledge and Data Engineering, Vol. 15, No. 6, 2003, pp.1345-1363.
Hebb, D., "The organisation of behaviour", John Wiley & Sons, New York, USA, 1949.
Hornik, K., and Stinchcombe, M., "Multilayer feed-forward networks are universal approximators", Artificial Neural Networks: Approximation and Learning Theory, H. White et. al (ed.), Blackwell press, Oxford, UK, 1992.
Hou, C., "Predicting Agents Tactics in Automated Negotiation", IEEE/WIC/ACM Intelligent Agent Technology Conference 2004 (IAT 2004), Beijing, China, September 2004.
Jawerth, B., and Milman, M., "Extrapolation Theory with Applications", Memoirs of the American Mathematical Society, Vol. 89, No. 440, 1991.
Jennings, N., Faratin, P., Lomuscio, A., Parsons, S., Sierra, C., and Wooldridge, M., "Automated Negotiation: Prospects, Methods, and Challenges", International Journal of Group Decision and Negotiation, Vol. 10, No. 2, 2001, pp. 199-215.
Jennings, N., Sycara, K., and Wooldridge, M., "A Roadmap of Agent Research and Development", Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, Vol. 1, No. 1, 1998, pp. 7-38.
Jyh-Cheng, C., McAuley, A., Sarangan, V., Baba, S., Ohba, Y., "Dynamic service negotiation protocol (DSNP) and wireless DiffServ", Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC 2002), New York, USA, April-May 2002.
Karunatillake, N., and Jennings, N., "Is it Worth Arguing?", In Proc. of the 1st International Workshop on Argumentation in Multi-Agent Systems (ArgMAS 2004), Columbia University, NY, USA, 2004.
Kersten, G., and Lo, G, "Aspire: an integrated negotiation support system and software agents for e-business negotiation", International Journal of Internet and Enterprise Management, Vol. 1, No. 3, 2003, pp. 293-315.
Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D., and Vecchi, M.P., "Optimization by Simulated Annealing", IBM Computer Science, Vol. 220, No. 4598, 1983, pp. 671-680.

Kohonen, T., "Self-Organisation and Associative Memory", 3rd Edition, Springer, Berlin, NY, 1989.
Kolodner, J., "Case-Based Reasoning", Morgan Kaufman, San Mateo, CA, USA, 1993.
Kraus S., "Automated Negotiation and Decision Making in Multiagent Environments", Lecture Notes on Artificial Intelligence (LNAI) Springer Heidelberg, Vol. 2086, 2001, pp. 150-172.
Kraus, S., "Strategic Negotiation in Multiagent Environments", The MIT Press, Cambridge, MA, USA, 2001.
Kraus, S., and Schechter, O., "Strategic Negotiation for Sharing a Resource Between Two Agents", Computational Intelligence, Vol. 19, No. 1, 2003, pp. 9-41.
Kraus, S., Sycara, K., and Evenchik, A., "Reaching agreements through argumentation: a logical model and implementation", Artificial Intelligence, Vol. 1-2, No. 104, 1998, pp. 1-69.
Kurbel, K., Loutchko, I., and Teuteberg, F., "FuzzyMAN: An Agent-Based Electronic Marketplace with a Multilateral Negotiation Protocol", Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer-Verlag, New York, Vol. 3187, 2004, pp. 126-140.
Lai, G., Li, C., Sycara, K., and Giampapa, J.A., "Literature Review on Multi-attribute Negotiations", technical report CMU-RI-TR-04-66, Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, USA, 2004.
Lau, R.Y.K., "Towards Genetically Optimised Multi-Agent Multi-Issue Negotiations", 38th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'05), Big Island, HI, USA, January 2005.
Lawrence., R., "A machine-learning approach to optimal bid pricing", 8th INFORMS Computing Society Conference on Optimization and Computation in the Network Era, Phoenix Arizona, USA, January 2003.
Lee, C.C., and Ou-Yang, C., "A neural networks approach for forecasting the supplier's bid prices in supplier selection negotiation process", Expert Systems with Applications 36, 2009, pp. 2961-2970.
Lee, L.C-H., "Negotiation Strategies and their Effect in a Model of Multi-Agent Negotiation", PhD Thesis, Department of Computer Science, University of Essex, 1996.
Lee, P.M., "Bayesian Statistics: An Introduction", Hodder Arnold Publication, New Hampshire, USA, 2004.
Levenberg, K., "A Method for the Solution of Certain Non-Linear Problems in Least Squares", The Quarterly of Applied Mathematics, Vol. 2, 1944, pp. 164-168.
Li, J., and Cao, Y.D., "Bayesian Learning in Bilateral Multi-issue Negotiation and its Application in MAS-based Electronic Commerce", IEEE/WIC/ACM Intelligent Agents Technology Conference 2004 (IAT 2004), Beijing, China, September 2004.
Lin, R., Kraus, S., Wilkenfeld, J., and Barry, J., "An Automated Agent for Bilateral Negotiation with Bounded Rational Agents with Incomplete Information", Proc. of the 17th European Conference on Artificial Intelligence, Riva del Garda, Italy, 2006.
Liu, J., and You, J., "Smart Shopper: An Agent-Based Web-Mining Approach to Internet Shopping", IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 11, No. 2, 2003, pp. 226-237.
Lomuscio, A.R., Wooldridge, M., and Jennings, N.R., "A classification scheme for negotiation in electronic commerce", International Journal of Group Decision and Negotiation, Vol. 12, No. 1, 2003, pp. 31-56.
Magoulas, G.D., Vrahatis, M.N., and Androulakis, G.S., "Effective backpropagation training with variable stepsize", Neural Networks, Vol. 10, No. 1, 1997, pp. 69-82.
Marquardt, D., "An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters", SIAM Journal on Applied Mathematics, Vol. 11, 1963, pp. 431-441.
Martin, T.P., "Incremental learning of user models - an experimental testbed", 8th Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems Conference (IPMU 2000), Madrid, Spain, July 2000.
Matos, N., Sierra, C., and Jennings, N., "Determining successful negotiation strategies: An evolutionary approach", 3rd International Conference on Multi Agent Systems (ICMAS '98),

Paris, France, July 1998.
McCulloch, W.S., and Pitts, W., “A logical Calculus of the ideas Immanent in nervous activity”, <i>Bulletin of Mathematical Biophysics</i> , Vol. 5, 1943, pp. 115–133.
Milovanovic, G.V., Mitrinovic, D.S., and Rassias, T.M., “Topics in Polynomials: External Problems, Inequalities, Zeros”, World Scientific, Singapore, New Jersey, London, 1994.
Minsky, M.L., and Papert, S., “Perceptrons”, MIT Press, Cambridge MA, USA, 1969.
Moller, M.F., “A scaled conjugate gradient algorithm for fast supervised learning”, <i>Neural Networks</i> , Vol. 6, 1993, pp. 525-533.
Mudgal, C., and Vassileva, J., “Bilateral Negotiation with Incomplete and Uncertain Information: a Decision-Theoretic Approach using a Model of the Opponent”, 4th International Workshop on Cooperative Information Agents IV, The Future of Information Agents in Cyberspace, Boston, MA, USA, July 2000.
Müller, J.P., and Bauer, B., “Agent-oriented Software Technologies: Flaws and Remedies”, <i>Workshop on Agent Oriented Software Engineering (AOSE 2002)</i> , Bologna, Italy, 2002.
Neal, D., “Introduction to Population Biology”, Cambridge University Press, New York, USA, 2003.
Oprea, M., “Adaptability and Embodiment in Agent-Based Ecommerce Negotiation”, <i>Workshop Adaptability and Embodiment Using Multi-Agent Systems (AEMAS 2001)</i> , Prague, Czech Republic, July 2001.
Oprea, M., “An Adaptive Negotiation Model for Agent-. Based Electronic Commerce”, <i>Studies in Informatics and Control</i> , Vol. 11, No. 3, 2002, pp. 271-279.
Oprea, M., “The Use of Adaptive Negotiation in Agent-Mediated Electronic Commerce”, <i>Lecture Notes on Artificial Intelligence (LNAI)</i> , Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, Vol. 2691, 2003, pp. 594-605.
Osborne, M., and Rubinstein, A., “A course in game theory”, MIT Press, Cambridge, USA, 1994.
Papaioannou, I., Roussaki, I., and Anagnostou, M., “Multi-modal Opponent Behaviour Prognosis in E-Negotiations”, <i>Int. Journal on Artificial Intelligence Tools</i> , World Scientific Press, under review.
Papaioannou, I., Roussaki, I., and Anagnostou, M., “Neural Networks against Genetic Algorithms for Negotiating Agent Behaviour Prediction”, <i>Web Intelligence and Agent Systems</i> , IOS Press, Vol. 8, No. 2, July 2008, pp. 217-233.
Papaioannou, I., Roussaki, I., and Anagnostou, M., “Using Neural Networks to Minimize the Duration of Automated Negotiation Threads for Hybrid Opponents”, <i>Journal of Circuits, Systems and Computers</i> , World Scientific Press, under review
Park, S., and Yang, S., “An Automated System based on Incremental Learning with Applicability Toward Multilateral Negotiations”, <i>International Joint Conference SICE-ICASE</i> , Busan, Korea, October 2006.
Park, S., and Yang, S.B. “An efficient automated negotiation system using multi-attributes in the online environment”, <i>International Conference on Web Engineering (ICWE 2004)</i> , Munich, Germany, July 2004.
Paurobally, S., and Cunningham, J., “Verification of Protocols for Negotiation between Agents”, <i>Proceedings of 15th European Conference on AI (ECAI-2002)</i> , Lyon, France, July 2002.
Paurobally, S., Cunningham, R., and Jennings, N.R., “Developing agent interaction protocols using graphical and logical methodologies”, <i>Proceedings of Programming MAS, Languages, Frameworks, Techniques and Tools Workshop (PROMAS 2003) at AAMAS 2003</i> , Melbourne, Australia, July 2003.
Rahwan, I., Kowalczyk, R., and Pham, H., “Intelligent Agents for Automated One-to-Many e-Commerce Negotiation”, <i>Proceedings of the 25th Australasian Computer Science Conference (ACSC 2002)</i> , Melbourne, Australia, January 2002.
Rahwan, I., Ramchurn, S., Jennings, N., McBurney, P., Parsons, S., and Sonenberg, L., “Argumentation-based negotiation”, <i>The Knowledge Engineering Review</i> , Vol. 18, No.4,

2003, pp. 343-375.
Raiffa, H., "The Art and Science of Negotiation", Harvard University Press, Cambridge, MA, USA, 1982.
Ramos, J.A., "Exponential data fitting applied to environmental data", 43rd IEEE Conference on Decision and Control (CDC 2004), Paradise Island, Bahamas, December 2004.
Rau, H., Tsai, M., Chen, C., and Shiang, W., "Learning-based automated negotiation between shipper and forwarder", Journal of Computers and Industrial Engineering, Vol. 51, No. 3, 2006, pp. 464-481.
Riedmiller, M., and Braun, H., "A direct adaptive method for faster backpropagation learning: The RPROP algorithm", IEEE International Conference on Neural Networks, San Francisco, USA, 1993.
Rodriguez, J. A., Noriega, P., Sierra, C., and Padget, J. "FM96.5 – A Java-based electronic Auction house", 2nd International Conference on the Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agent Technology, London, UK, April 1997.
Rogowski, C., "Model-based Opponent Modelling in Domains Beyond the Prisoner's Dilemma", Workshop on Modeling Other Agents from Observations in AAMAS 2004, Columbia University, New York, USA, July 2004.
Rosenblatt, F., "The Perceptron: A probabilistic model for information storage and organisation of the brain", Psych. Review, Vol. 65, 1958, pp. 386–408.
Rosenschein, J.S., and Zlotkin, G., "Rules of Encounter: Designing Conventions for Automated Negotiation among Computers", MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1994.
Roussaki, I., Papaioannou, I., and Anagnostou, M., "Using Neural Networks for Early Detection of Unsuccessful Negotiation Threads", Int. Journal on Artificial Intelligence Tools, World Scientific Press, under review
Rumelhart, D.E., and McClelland, D., "Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition", MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1986.
Sandholm, T., "Distributed Rational Decision Making", In: G.Weiss (ed.), "Multiagent Systems: A Modern Introduction to Distributed Artificial Intelligence", pages 201-258, MIT Press, Cambridge MA, USA, 1999.
Sandholm, T.W., and Crites, R.H., "On multiagent Q-Learning in a semi-competitive domain", 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-95), Workshop on Adaptation and Learning in Multiagent Systems, Montreal, Canada, August 1995.
Schatzman, M., "Numerical Analysis: A Mathematical Introduction", Oxford University Press, USA, 2002.
Shen, W., Yangsheng, L., Ghenniwa, H., and Wang, C., "Adaptive Negotiation for Agent-Based Grid Computing", 1st International Workshop on Challenges in Open Agent Systems in AAMAS 2002, Bologna, Italy, July 2002.
Shibata, K., and Ito, K., "Emergence of Communication for Negotiation By a Recurrent Neural Network", 4th International Symposium on Autonomous Decentralized Systems, Tokyo, Japan, March 1999.
Sierra, C., "Agent-Mediated Electronic Commerce", Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, Vol. 9, No. 3, 2004, pp. 285-301.
Sierra, C., Jennings, N., Noriega, P., and Parsons, S., "A framework for argumentation-based negotiation", In: M.P. Singh, A. Rao, and M. Wooldridge, (eds.), "Intelligent Agents IV", (LNAI Vol. 1365), pages 177-192, Springer-Verlag, Berlin, 1998.
Silva, A.R., Romão, A., Deugo, D., and da Silva, M.M., "Towards a Reference Model for Surveying Mobile Agent Systems", Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, Vol. 4, No. 3, 2001, pp. 187-231.
Smith, R.G., "The Contract Net Protocol – Highlevel Communication and Control in a Distributed Problem Solver", IEEE Transactions on Computers, Vol. C-29, No. 12, 1980, pp. 1104–1113.
Soh, L.K., and Tsatsoulis, C., "Agent-Based Argumentative Negotiations with Case-Based Reasoning", AAAI Fall Symposium on Negotiation Methods for Autonomous Cooperative

Systems, North Falmouth, Massachusetts, USA, November 2001.
Soo, V.W., and Hung, C.A., "On-line Incremental learning in bilateral multi-issue negotiation", Proceedings of the first international joint conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2002), Bologna, Italy, July 2002
Specht, D.F., "Probabilistic neural networks for classification, or associative memory", Proc. of IEEE Intern. Conf. on Neural Networks, Vol. 1, San Diego, USA, July 24-27, 1988.
Spiegel, M.R., "Theory and Problems of Probability and Statistics", McGraw Hill Book Company, Singapore, 1982.
Süli, E., and Mayers, D., "An Introduction to Numerical Analysis", Chapter 6, Cambridge University Press, UK, 2003.
Sundsted, T., "An introduction to agents", JavaWorld No.6, June 1998
Sutton, R.S., and Barto, A.G., "Reinforcement Learning: An Introduction (Adaptive Computation and Machine Learning)", MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1998.
Trastour, D., Bartolini, C., and González-Castillo, J., "A Semantic Web approach to service description for matchmaking of services", International Semantic Web Working Symposium (SWWS 2001), Stanford, California, USA, 2001.
Tsvetovatyy, M., Gini, M., Mobasher, B., and Wieckowski, Z., "MAGMA: An agent-based virtual market for electronic commerce", Applied Artificial Intelligence, Vol. 11, No. 6, 1997, pp. 501-523.
Tu, T., Wolff, E., and Lamersdorf, W., "Genetic algorithms for automated negotiations: A FSM-based application approach", IEEE 11th International Conference on Database and Expert Systems (DEXA 2000), Greenwich, London, UK, September 2000.
Ungar, L., Parkes, D., and Foster, D., "Cost and trust issues in on-line auctions", Workshop on Agent-Mediated Electronic (AMET '98), Minneapolis, MN, USA, May 1998.
Veit, D., and Czernohous, C., "Automated Bidding Strategy Adaptation using Learning Agents in Many-to-Many e-Markets", 2nd International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS 2003), Melbourne, Australia, July 2003.
Vetter, M., and Pitsch, S., "Using autonomous agents to expand business models in electronic commerce", In: Business and Work in the Information Society: New Technologies and Applications, J-Y Roger et.al. (eds), IOS Press 1999, pp. 172-178.
Vose, M., "The Simple Genetic Algorithm: Foundations and Theory", The MIT Press, Cambridge, MA, 1999.
Vulkan, N., and Jennings, N.R., "Efficient mechanisms for the supply of services in multi-agent environments", International Journal of Decision Support Systems, Vol. 28, No. 1-2, 2000, pp. 5-19.
Walton, D.N., and Krabbe, E.C., "Commitment in Dialogue: Basic Concepts of Interpersonal Reasoning", SUNY Press, Albany NY, USA, 1995.
Wang, L., Quek, H.C., Tee, K.H., Zhou, N., and Wan, C., "Optimal Size of a Feedforward Neural Network: How Much Does It Matter?", Joint International Conference on Autonomic and Autonomous Systems 2005 / International Conference on Networking and Services 2005 (ICAS/ICNS 2005), Papeete, Tahiti, October 2005.
Wang, L.M., Chai, Y.M., and Huang, H.K., "Choosing optimal seller based on off-line learning negotiation history and k-armed bandit problem", International Conference on Machine Learning and Cybernetics (ICMLC 2005), Guangzhou, China, August 2005.
Watkins, C., "Learning from Delayed Rewards", PhD thesis, King's College, Oxford, UK, 1989.
Werbos, P.J., "Beyond Regression: New Tool for Prediction and analysis in the Behavioural sciences", Ph.D. Thesis, Harvard University, Cambridge, MA, 1974.
Widrow, B., and Hoff, M.E., "Adaptive Switching Circuits", In: J. Anderson and E. Rosenfeld (eds.) Neurocomputing, MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1960, pp. 126-134.
Wurman, R., Wellman, M., and Walsh, W., "The Michigan Internet AuctionBot: a configurable auction server for human and software agents", 2nd International Conference on Autonomous Agents, Minneapolis/St.Paul, USA, May 1998.

Zeng, D., and Sycara, K., "How Can an Agent Learn to Negotiate", Intelligent Agents III, Agent Theories, Architectures and Languages, LNAI 1193, Springer, 1997, pp. 233-244.
Zeng, Z.M., Meng, B., and Zeng, Y.Y., "An Adaptive Learning Method in Automated Negotiation", International Conference on Machine Learning and Cybernetics (ICMLC 2005), Guangzhou, China, August 2005.
Zeuthen, F., "Problems of monopoly and economic warfare", G. Routledge and Sons, London, UK, 1930.
Zhang, S., Ye, S., Makedon, F., and Ford, J., "A Hybrid Negotiation Strategy Mechanism in an Automated Negotiation System", 5th ACM Conference on Electronic Commerce (EC 2004), New York, USA, June 2005.
Zimmermann, H.J., "Fuzzy Set Theory and its Applications", 4th Edition, Kluwer Academic, Norwell, MA, USA, 2001.
Zlotkin, G., and Rosenschein, J.S., "Negotiation and task sharing among autonomous agents in cooperative domains", Proceedings of the Eleventh International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI '89), Detroit, Michigan, USA, August 1989.

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

1. Περιοδικά

- [1] *Ioannis V. Papaioannou*, and Chrissavgi Dre, “Lower MAC Software Implementations for the IEEE 802.16 Standard”, *IEICE Transactions on Communications*, E89-B (3), 2006, pp. 816-827.
- [2] *Ioannis V. Papaioannou*, Ioanna G. Roussaki, Miltiades E. Anagnostou, “Neural Networks against Genetic Algorithms for Negotiating Agent Behaviour Prediction”, *Web Intelligence and Agent Systems*, IOS Press, Vol. 8, No. 2, July 2008, pp. 217-233.
- [3] *Ioannis V. Papaioannou*, Ioanna G. Roussaki, Miltiades E. Anagnostou, “Using Neural Networks to Minimize the Duration of Automated Negotiation Threads for Hybrid Opponents”, *Journal of Circuits, Systems and Computers*, World Scientific Press, under review.
- [4] Ioanna G. Roussaki, *Ioannis V. Papaioannou*, Miltiades E. Anagnostou, “Using Neural Networks for Early Detection of Unsuccessful Negotiation Threads”, *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, World Scientific Press, under review.
- [5] *Ioannis V. Papaioannou*, Ioanna G. Roussaki, Miltiades E. Anagnostou, “Multi-Modal Opponent Behaviour Prognosis in E-Negotiations”, *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, World Scientific Press, under review, under review.
- [6] A. Zafeiropoulos, *I. Papaioannou*, E. Solidakis, N. Konstantinou, P. Stathopoulos, N. Mitrou, “Exploiting Bluetooth for deploying indoor LBS over a localization infrastructure independent architecture”, *International Journal of Computer Aided Engineering and Technology (IJCAET)*, under 2nd revision (minor revision).

2. Κεφάλαια σε Βιβλία

- [7] *Ioannis V. Papaioannou*, Ioanna G. Roussaki, Miltiades E. Anagnostou, “Chapter 8.2: A Survey on Neural Networks in Automated Negotiations”, In: *Electronic Business: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*, Editors: In Lee, ISBN: 978-1-60566-056-1 IGI Global Publications, Information Science Reference, December 2008.
- [8] *Ioannis Papaioannou*, Ioanna Roussaki, and Miltiades Anagnostou, “Detecting Unsuccessful Automated Negotiation Threads when Opponents Employ Hybrid Strategies”, In: Huang, D.-S.; Wunsch, D.C.I.; Levine, D.S.; Jo, K.-H. (Eds.), “Advanced Intelligent Computing Theories and Applications”, Springer-Verlag Lecture Notes on Artificial Intelligence (LNAI) series, LNAI-5227, pp. 27-39, 2008.
- [9] Ioanna G. Roussaki, *Ioannis V. Papaioannou*, Miltiades E. Anagnostou, “Shortening Automated Negotiation Threads via Neural Nets”, In:

Encyclopedia of Artificial Intelligence, Editors: J. Rabuñal, J. Dorado, and A. Pazos, ISBN 978-1-59904-849-9, IGI Global Publications, Information Science Reference, May 2008, pp. 1418-1425.

- [10] *Ioannis V. Papaioannou*, Ioanna G. Roussaki, Miltiades E. Anagnostou, “A Survey on Neural Networks in Automated Negotiations”, In: Encyclopedia of Artificial Intelligence, Editors: J. Rabuñal, J. Dorado, and A. Pazos, ISBN 978-1-59904-849-9, IGI Global Publications, Information Science Reference, May 2008, pp. 1524-1529.
- [11] Ioanna G. Roussaki, *Ioannis V. Papaioannou*, Dimitrios T. Tsesmetzis, Julia Kantorovitch, Jarmo Kalaoja, and Remco Poortinga, “Ontology based service modelling for composability in Smart Home Environments”, In: Max Mühlhäuser, Alois Ferscha and Erwin Aitenbichler (eds.), Communications in Computer and Information Science: Constructing Ambient Intelligence, Vol. 11, Springer, pp. 411-420, August 2008.
- [12] Nikolaos Georgantas, Julia Kantorovitch, Ioanna Roussaki, Valérie Issarny, Jarmo Kalaoja, *Ioannis Papaioannou*, Dimitrios Tsesmetzis, “Amigo: Interoperable semantic services for the smart home environment”, in “At your service: An overview of results of projects in the field of service engineering of the IST programme”, MIT Press Series on Information Systems, 2008.
- [13] Ioanna G. Roussaki, *Ioannis V. Papaioannou*, Miltiades E. Anagnostou, “Building Automated Negotiation Strategies enhanced by MLP and GR Neural Networks for Opponent Agent Behaviour Prognosis”, In: F. Sandoval, A. Prieto, J. Cabestany, M. Graña (Eds.), “Computational and Ambient Intelligence”, Springer-Verlag Lecture Notes on Computer Science (LNCS) series, LNCS-4507, pp. 152-161, 2007.
- [14] Julia Kantorovitch, Jarmo Kalaoja, Ioanna Roussaki, Dimitrios Tsesmetzis, and *Ioannis Papaioannou*, “Ontology Modelling for Ambient Intelligent Home Environments”, Springer-Verlag Lecture Notes on Computer Science (LNCS) series, LNCS-4805, pp. 15-16, 2007.

3. Συνέδρια με κριτές

- [15] *Ioannis V. Papaioannou*, Dimitrios T. Tsesmetzis, Ioanna G. Roussaki, Miltiades E. Anagnostou, “A QoS ontology language for Web-Services”, IEEE 20th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA2006), Vienna University of Technology, Vienna, Austria, April 18-20, 2006.
- [16] Dimitrios T. Tsesmetzis, Ioanna G. Roussaki, *Ioannis V. Papaioannou*, Miltiades E. Anagnostou, “QoS awareness support in Web-Service semantics”, International Conference on IP & Web Applications (ICIW'06), Guadeloupe, French Caribbean, February 23-25, 2006.
- [17] *Ioannis V. Papaioannou*, Ioanna G. Roussaki, Miltiades E. Anagnostou, “Towards successful automated negotiations based on Neural Networks”, 5th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science (ICIS 2006), Honolulu, Hawaii, July 10-12, 2006.

- [18] Ioanna G. Roussaki, *Ioannis V. Papaioannou*, Miltiades E. Anagnostou, “Employing Neural Networks to assist negotiating intelligent agents”, IET 2nd International Conference on Intelligent Environments (IE 2006), Athens, Greece, 5-6 July 2006.
- [19] *Ioannis V. Papaioannou*, Ioanna G. Roussaki, Miltiades E. Anagnostou, “Comparing the Performance of MLP and RBF Neural Networks Employed by Negotiating Intelligent Agents”, 2006 IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology (IAT-06), Hong Kong, China, December 18-22, 2006.