



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Επιλογή Συστάσεων και Μελέτη Ποιότητας Εμπειρίας Χρήστη σε Κυβερνο-φυσικά Κοινωνικά Συστήματα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΓΙΩΡΓΟΥ - ΜΑΡΙΟΥ ΚΟΥΣΗ

Επιβλέπων: Συμεών Παπαβασιλείου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΙΚΤΥΩΝ ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗΣ
Αθήνα, Απρίλιος 2018



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής
Εργαστήριο Διαχείρισης και Βέλτιστου Σχεδιασμού Δικτύων Τηλεματικής

Επιλογή Συστάσεων και Μελέτη Ποιότητας Εμπειρίας Χρήστη σε Κυβερνο-φυσικά Κοινωνικά Συστήματα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΓΙΩΡΓΟΥ - ΜΑΡΙΟΥ ΚΟΥΣΗ

Επιβλέπων: Συμεών Παπαβασιλείου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 26η Απριλίου 2018.

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

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

.....
Θεοδώρα Βαρβαρίγου
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

.....
Ιωάννα Ρουσσάκη
Επίκουρη Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Απρίλιος 2018

(Υπογραφή)

.....
ΓΙΩΡΓΟΣ - ΜΑΡΙΟΣ ΚΟΥΣΗΣ

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

© 2018– All rights reserved



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής
Εργαστήριο Διαχείρισης και Βέλτιστου Σχεδιασμού Δικτύων Τηλεματικής

Copyright ©–All rights reserved Γιώργος - Μάριος Κούσης, 2018.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

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.

Στη μνήμη του Ανδρέα και της Ελένης

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Συμεών Παπαβασιλείου καθώς και την Επίκουρη Καθηγήτρια κ. Ειρήνη - Ελένη Τσιροπούλου, για την ακούραστη, ουσιαστική βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφεραν κατά τη προσπάθεια εκπόνησης της διπλωματικής, τόσο σε τεχνικό όσο και σε προσωπικό επίπεδο.

Επίσης ευχαριστώ ιδιαίτερα την Υποψήφια Διδάκτωρα Αθηνά Θάνου για τον πολύτιμο χρόνο που μου διέθεσε σε καίρια σημεία της εργασίας.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου - τους γονείς μου Κυριάκο και Αγγελική καθώς και την αδελφή μου Χαριλένα, που ήταν παρόντες σε κάθε βήμα και παρείχαν υποστήριξη τόσο ψυχολογική όσο και μια μη τεχνική και εξωτερική ματιά σε θέματα εντός και εκτός της παρούσας εργασίας.

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στην Εύα Λιαλιούτη για την κριτική και ορθολογική ματιά της στο τελικό κείμενο της διπλωματικής.

Ανάμεσα στα σημαντικά προβλήματα στο χώρο των Κυβερνο-φυσικών κοινωνικών συστημάτων (cyber-physical social systems) είναι η βελτιστοποίηση της Ποιότητας της Εμπειρίας (ΠτΕ) (Quality of Experience (QoE)) των χρηστών. Οι τυπικές μέθοδοι για την επίλυση αυτού του προβλήματος στοχεύουν στην επιρροή της συμπεριφοράς των χρηστών μέσω των εξωτερικών ερεθισμάτων πληροφορίας (χαρακτηριστικά του φυσικού χώρου του συστήματος ή προκαθορισμένα χαρακτηριστικά των χρηστών). Η συλλογή τέτοιων εξωτερικών πληροφοριών μπορεί να αποβεί απαγορευτικά δαπανηρή και χρονοβόρα.

Στην παρούσα διπλωματική επικεντρώνουμε τη μελέτη μας σε έναν βασικό αντιπρόσωπο των κυβερνο-φυσικών κοινωνικών συστημάτων, τα μουσεία. Στόχος μας είναι η υλοποίηση και αξιολόγηση ενός αλγορίθμου, ο οποίος κάνει χρήση της εγγενούς ικανότητας των χρηστών, αισθανόμενοι το περιβάλλον γύρω τους, να κάνουν επιλογές που θα βελτιστοποιήσουν την ΠτΕ τους.

Οι επιλογές αυτές εκφράζονται από τον καθορισμό του τρόπου περιήγησης στο μουσείο καθώς και από τον χρόνο τον οποίο θα αφιερώσουν στην επίσκεψή τους στο μουσείο. Το μουσείο μοντελοποιείται ως ένα κατανεμημένο μη συνεργατικό παίγνιο στο οποίο οι επισκέπτες ιδιοτελώς μεγιστοποιούν την ΠτΕ τους. Το πρόβλημα που διατυπώνουμε και εξετάζουμε είναι αυτό της Επιλογής Συστάσεως και του Χρόνου Επίσκεψης (Recommendation Selection and Visiting Time Management (RSVTM)). Ο υπό μελέτη υλοποιηθείς αλγόριθμος επίλυσης είναι ένας αλγόριθμος δύο σταδίων, βασισμένος στη θεωρία παιγνίων και τη μηχανική μάθηση, στον οποίο κάθε επισκέπτης εξετάζει την επιλογή σύστασης που θα τον οδηγήσει στη μεγιστοποίηση της ΠτΕ του.

Λέξεις Κλειδιά

Ποιότητα της Εμπειρίας, Συμφόρηση, Μηχανική Μάθηση, Διαχείριση Χρόνου, Θεωρία Παιγνίων, Συστήματα Συστάσεων

Abstract

Among the most persistent problems in Cyber Physical Social Systems is how to optimize a user's Quality of Experience (QoE). Typical efforts to address this problem seek to affect user behavior using external information (physical environment parameters or pre-determined user profile elements). Gathering such external information can be prohibitively expensive and time-consuming.

In this work we focus our attention on museums, which are a prime representative of cyber physical social systems. Our goal is to implement and evaluate an algorithm that harnesses the visitor's internal ability to intelligently sense their environment and make choices that maximize their QoE.

These choices are expressed in terms of which museum touring option is the best for them and how much time to spend on their visit. We model the museum setting as a distributed non-cooperative game where visitors selfishly maximize their own QoE. On this setting we formulate the problem of Recommendation Selection and Visiting Time Management (RSVTM) and implement a two-stage distributed algorithm, based on game theory and machine learning, which learns from visitor behavior to make on-the-fly recommendations that maximize the visitor's QoE.

Keywords

Quality of Experience, Congestion, Machine Learning, Time Management, Game Theory, Recommendation Systems

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	1
Περίληψη	3
Abstract	5
Περιεχόμενα	8
Κατάλογος Σχημάτων	9
1 Εισαγωγή	11
1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής	12
1.2 Οργάνωση του κειμένου	13
2 Θεωρητικό υπόβαθρο	15
2.1 Εισαγωγή	15
2.2 Στοιχεία Μηχανικής Μάθησης	15
2.2.1 Βασικοί Τύποι Μηχανικής Μάθησης	16
2.3 Στοιχεία Θεωρίας Παιγνίων	16
2.3.1 Μη Συνεργατικά Παίγνια	17
2.4 Στοχαστικά Αυτόματα Μάθησης	19
2.5 Στοιχεία Μουσειολογίας	20
2.5.1 Συμπεριφορική Κατάταξη Επισκεπτών	20
3 Περιγραφή και Μοντελοποίηση του Δικτύου Επισκεπτών	23
3.1 Μοντελοποίηση του συστήματος επισκεπτών	23
3.2 Μοντέλα και Πολιτικές Συστάσεων	24
3.3 Μοντελοποίηση της Ποιότητας της Εμπειρίας του Χρήστη	25
3.4 Η Διείσδυση των Συστάσεων	27

4 Το Πρόβλημα Επιλογής Σύστασης και Βέλτιστου Χρόνου Επίσκεψης	29
4.1 Βασικός Σχεδιασμός της Επίλυσης	29
4.2 Επιλογή Σύστασης ως Μηχανική Μάθηση	30
4.3 Βέλτιστος Χρόνος Επίσκεψης ως Παίγνιο	31
4.4 Ενοποίηση και σχηματισμός του Αλγορίθμου	33
5 Πειραματική Αξιολόγηση	37
5.1 Παράμετροι αξιολόγησης	37
5.2 Αξιολόγηση της τελικής επιλογής σύστασης	38
5.3 Μέση ΠτΕ και μέσος χρόνος επίσκεψης	39
5.4 Ανάθεση συστάσεων κατά την εκτέλεση	41
5.5 Αξιολόγηση της παραμέτρου σύγκλισης b	42
5.6 Απόδοση του αλγορίθμου σε σχέση με το πλήθος επισκεπτών	44
6 Επίλογος	47
6.1 Σύνοψη και συμπεράσματα	47
6.2 Μελλοντικές επεκτάσεις	47
Βιβλιογραφία	49
Γλωσσάριο	51

Κατάλογος Σχημάτων

2.1	Οι πιο συνηθισμένες θέσεις των τεσσάρων τύπων επισκέπτη	21
3.1	Οι συναρτήσεις αποτελεσματικότητας επίσκεψης	26
4.1	Περιγραφή του συστήματος του RSVTM αλγορίθμου	30
5.1	Δυο σενάρια συστάσεων για δέκα επισκέπτες	38
5.2	Μέσες τιμές ΠτΕ και χρόνου επίσκεψης ανά τύπο επισκέπτη	39
5.4	Πρόοδος επιλογής συστάσεων κατά την εκτέλεση	41
5.5	ΠτΕ και χρόνος επίσκεψης συναρτήσει της παραμέτρου b	42
5.6	Απόκλιση από την αρχική σύσταση	43
5.7	Μέση ΠτΕ συναρτήσει μεγέθους του συνόλου επισκεπτών	44
5.8	Συνολική ΠτΕ συναρτήσει μεγέθους του συνόλου επισκεπτών	45

Τα μουσεία αποτελούν μια από τις πιο αντιπροσωπευτικές μορφές ενός Κυβερνο-φυσικού Κοινωνικού Συστήματος. Αποτελούν χώρους τους οποίους οι άνθρωποι επισκέπτονται για σκοπούς μάθησης, κοινωνικοποίησης και ψυχαγωγίας. Είναι εξαιρετικά σημαντικό η επίσκεψη σε ένα μουσείο να αφήσει τους επισκέπτες με ένα αίσθημα ικανοποίησης για τον χρόνο που αφιέρωσαν σε αυτή τη δραστηριότητα. Η ικανοποίηση αυτή προσδιορίζεται από διάφορους παράγοντες, οι οποίοι σχετίζονται με τα επιμέρους ιδιαίτερα χαρακτηριστικά εγγενή σε κάθε επισκέπτη, όπως τα ενδιαφέροντα, στόχοι μόρφωσης και ο διαθέσιμος χρόνος. Επίσης προσδιορίζεται από εξωτερικούς, ως προς τους επισκέπτες, παράγοντες όπως το μέγεθος του μουσείου και τα χωρικά χαρακτηριστικά όπως εξετάζεται στο [CI04]. Πέραν των προαναφερθέντων παραγόντων που μπορούν να χαρακτηριστούν και ως γνωστικές παράμετροι, σημαντικές είναι και οι μελέτες, όπως αυτή των [DC08], που αποσκοπούν στη σύνδεση των προηγούμενων με τη συναισθηματική ανταπόκριση των επισκεπτών σε χώρους όπως είναι τα μουσεία.

Στο πεδίο της μουσειολογίας μια εξαιρετικά σημαντική και βοηθητική συμπεριφοριστική κατάταξη των επισκεπτών, όπως αποδεικνύεται από τη συχνή χρήση της σε μελέτες, είναι αυτή των [VL89]. Σύμφωνα με αυτή την κατάταξη, οι επισκέπτες μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τέσσερις κατηγορίες. Οι κατηγορίες αυτές έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά συμπεριφοράς ως προς τον τρόπο επίσκεψης στα μουσεία και την ανεκτικότητα της συμφόρησης στους χώρους του μουσείου. Θα αναλύσουμε περαιτέρω τα χαρακτηριστικά αυτής της κατάταξης καθώς και σημαντικά αποτελέσματα άλλων ερευνών στο επόμενο κεφάλαιο.

Ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα στο χώρο των μουσείων είναι η προσπάθεια βελτιστοποίησης της Ποιότητας της Εμπειρίας (ΠτΕ) (Quality of Experience (QoE)) για τους επισκέπτες. Είναι συχνό το φαινόμενο όπου οι επισκέπτες δεν αποκομίζουν το επιθυμητό επίπεδο ΠτΕ από την επίσκεψή τους σε έναν εκθεσιακό χώρο. Αυτό είναι συνήθως αποτέλεσμα διαχείρισης του χρόνου τον οποίο αφιερώνουν σε κάθε έκθεμα, όπως αναφέρεται στη μελέτη των [Lyc+13]. Πιο συγκεκριμένα μπορεί οι επισκέπτες να χάσουν πολύτιμο χρόνο παρατηρώντας εκθέματα που δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για αυτούς και συνεπώς λόγω χρονικού περιορισμού ή απλά κόπωσης χάνουν άλλα εκθέματα που ενδεχομένως να τους είναι πολύ πιο ενδιαφέροντα. Για αυτόν τον λόγο είναι ιδιαίτερα σημαντικές οι προσεγγίσεις που επικεντρώνονται σε μια αποδοτική ποσοτική μοντελοποίηση της ΠτΕ, την οποία θα στοχε-

ύσουν να βελτιστοποιήσουν χρησιμοποιώντας διάφορα χαρακτηριστικά όπως το ενδιαφέρον που μπορεί να παρουσιάζει το κάθε έκθεμα, τον χρόνο που αφιερώνουν οι επισκέπτες στην μετάβαση τους από ένα έκθεμα σε ένα άλλο καθώς και τα χωρικά χαρακτηριστικά του μουσείου όπως γίνεται στη μελέτη των [Lvk+13] και των [TTP16], [TTP17], [Tsi+17]. Επιπλέον η ποιότητα της εμπειρίας μπορεί να χρήζει πολιτικοοικονομικής και κοινωνικής μελέτης όπως αυτής των [Wri89] και [Gou00].

Στη σημερινή εποχή τα μουσεία έχουν πλέον πολλούς διαφορετικούς τρόπους διευκόλυνσης των επισκεπτών με τη μορφή υποβοηθημάτων συμπληρωματικών στην διαδικασία της επίσκεψής τους. Τέτοια βοηθήματα είναι για παράδειγμα ένας χάρτης του μουσείου, οπτικο-ακουστική παρουσίαση των εκθεμάτων, συνοδεία ενός ξεναγού και άλλα. Θα πρέπει να γίνει όμως η σωστή μελέτη ως προς το ποιο βοήθημα είναι κατάλληλο για κάθε επισκέπτη ώστε να μεγιστοποιήσει την ΠτΕ του καθώς το κάθε βοήθημα, εκτός από τα εμφανή πλεονεκτήματά του, φέρει και κάποια μη αμελητέα μειονεκτήματα όπως το αυξημένο κόστος για το μουσείο ή η ανάγκη του επισκέπτη να περιμένει περισσότερο στην αναμονή για κάποιο ξεναγό. Έτσι λοιπόν αναδύεται ένα ακόμα σημαντικό πρόβλημα που συναντάμε συχνά και στον χώρο των μουσείων που είναι η εύρεση ενός Συστήματος Συστάσεων (Recommendation System) ώστε να μπορέσουμε να συστήνουμε στον κάθε επισκέπτη το κατάλληλο βοήθημα για την επίτευξη της μεγιστοποίησης της ΠτΕ. Μια χρήση τέτοιου συστήματος χρησιμοποιείται από τους [Lvk+13] σε συνδυασμό με τη μοντελοποίηση της ΠτΕ. Μια άλλη προσέγγιση είναι αυτή των [Mat+14] που χρησιμοποιούν τεχνικές επεξεργασίας φυσικής γλώσσας ώστε να προσδώσουν μια τιμή ενδιαφέροντος σε κάθε έκθεμα με σκοπό να καταλήξουν σε μια σύσταση διαδρομής στο μουσείο. Τέλος η έρευνα των [TTP17] συνδυάζει την σύσταση διαδρομών με μοντέλα εκτίμησης της ΠτΕ. Ο συνδυασμός ΠτΕ και Συστήματος Συστάσεων είναι και αυτός που θα μελετήσουμε στην παρούσα διπλωματική εργασία.

1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής

Η συλλογή σύνθετων πληροφοριών (όπως χαρακτηριστικά του χώρου για τα μουσεία, προτιμήσεις επισκεπτών και δείκτες ενδιαφέροντος για τα εκθέματα) για την επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης της ΠτΕ, μπορεί να αποβεί αρκετά δαπανηρή για τα μουσεία. Στο πλαίσιο λοιπόν της παρούσας διπλωματικής υλοποιούμε και αξιολογούμε έναν αλγόριθμο ο οποίος επικεντρώνεται στην επίλυση της βελτιστοποίησης της ΠτΕ και στον καθορισμό του Βέλτιστου Χρόνου Επίσκεψης (Optimal Visiting Time) για κάθε επισκέπτη με τρόπο που δεν απαιτεί την εκτενή συλλογή των διάφορων εξωτερικών, ως προς τους επισκέπτες, χαρακτηριστικών. Πιο συγκεκριμένα εχμεταλλευόμαστε την ικανότητα των επισκεπτών να αφουγκράζονται το περιβάλλον τους και να παίρνουν οι ίδιοι επιλογές που μεγιστοποιούν την ΠτΕ τους. Ως εργαλείο μεγιστοποίησης της ΠτΕ χρησιμοποιούν την επιλογή ανάμεσα σε διαφορετικές προκαθορισμένες επιλογές τρόπου επίσκεψης καθώς και το πόσο χρόνο θα αφιερώσουν για τη συνολική τους επίσκεψη.

Για το σκοπό αυτό το μουσείο μοντελοποιείται ως ένα καταναμημένο, μη συνεργατικό παιχνίδι όπου ο εκάστοτε επισκέπτης μεγιστοποιεί την ΠτΕ του. Διατυπώνοντας το πρόβλημα

της Επιλογής Συστάσεων και Βέλτιστου Χρόνου Επίσκεψης (Recommendation Selection and Visiting Time Management (RSVTM)), ο αλγόριθμος που υλοποιείται είναι ένας καταναμημένος αλγόριθμος δύο σταδίων βασισμένος στη θεωρία παιγνίων και τη μηχανική μάθηση, ο οποίος εκπαιδεύεται από τη συνεχόμενη αλλαγή στην επιλογή συστάσεων από τους επισκέπτες ώστε να επιτύχει τη μεγιστοποίηση της Ποιότητας της Εμπειρίας του καθενός. Εξετάζουμε την ικανότητα του αλγορίθμου να προσομοιώνει ένα σύστημα επισκεπτών στο οποίο ο καθένας επιλέγει αυτόνομα μια σύσταση επίσκεψης, αφουγκράζεται το περιβάλλον και το τι επίπτωση έχει αυτή η επιλογή του και στη συνέχεια καταλήγει στο εάν θα συνεχίσει να έχει αυτή τη σύσταση ως επιλεγμένη ή όχι. Τα αποτελέσματα μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ο αλγόριθμος αυτός προσομοιάζει με αποτελεσματικό, ευέλικτο και οικονομικά αποδοτικό, για το μουσείο, τρόπο το σύστημα επισκεπτών υπό μελέτη.

Τέλος, η μεθοδολογία με την οποία έχουμε αναπαραστήσει το μουσειακό σύστημα έχει γίνει με μια προσέγγιση που τηρεί άμεση αντιστοιχία με την γενικότερη θεώρησή τους ως Κυβερνο-φυσικού κοινωνικού συστήματος. Θεωρούμε δηλαδή το μουσείο ως ένα περιβάλλον που επιφέρει περιορισμούς, οδηγώντας μας σε ένα πρόβλημα εξατομίκευσης αρκετά απαιτητικό. Οι χρήστες συνυπάρχουν σε ένα περιβάλλον, στο οποίο ο καθένας δρα ιδιοτελώς, επηρεάζει και επηρεάζεται από το περιβάλλον του. Λόγω αυτής της άμεσης αντιστοιχίας, οι τεχνικές και οι μέθοδοι με τις οποίες προσεγγίζουμε το πρόβλημα στα μουσεία, μπορούν να εφαρμοστούν και σε άλλα Κυβερνο-φυσικά συστήματα αρκετά εύκολα.

1.2 Οργάνωση του κειμένου

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι οργανωμένη σε έξι κεφάλαια.

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την επίλυση του προβλήματος (RSVTM). Πρώτα γίνεται μια αναφορά στη μηχανική μάθηση και συγκεκριμένα στα αυτόματα μάθησης. Έπειτα αναφερόμαστε στα στοιχεία της μη συνεργατικής θεωρίας παιγνίων καθώς και στην κατάταξη των επισκεπτών σε τέσσερις κατηγορίες συμπεριφοριστικής φύσεως.

Στο κεφάλαιο 3 περιγράφουμε τις συνιστώσες του Δικτύου των Επισκεπτών και συγκεκριμένα τον τρόπο μοντελοποίησης των Πολιτικών Συστάσεων, της Ποιότητας της Εμπειρίας του χρήστη και της Διείσδυσης των Συστάσεων. Οι τρεις συνιστώσες είναι αυτές που δομούν το σύστημα της Επιλογής Συστάσεως ως ένα σύστημα μηχανικής μάθησης όπου οι επισκέπτες δρουν ως αυτόνομα αυτόματα μάθησης (learning automata) σε ένα περιβάλλον ενισχυτικής μάθησης (Reinforcement Learning).

Στο κεφάλαιο 4 διατυπώνουμε τον αλγόριθμο και δομούμε τα δύο μέρη του. Χρησιμοποιώντας τη μοντελοποίηση του κεφαλαίου 3, διατυπώνουμε πρώτα την Επιλογή Σύστασης ως μηχανική μάθηση και στη συνέχεια την Επιλογή του Βέλτιστου Χρόνου Επίσκεψης ως μη συνεργατικό παίγνιο. Τέλος ενώνουμε τα δύο μέρη και περιγράφουμε σε μορφή ψευδοκώδικα τον αλγόριθμο.

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζουμε τις μετρικές που θα χρησιμοποιήσουμε για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του αλγορίθμου και μελετάμε τα αποτελέσματα καθεαυτά.

Τέλος, στο κεφάλαιο 6 συνοψίζουμε τη μελέτη παρουσιάζοντας τα πιο κρίσιμα αποτελέσματα και χαρακτηριστικά και προτείνουμε μελλοντικές επεκτάσεις που συμπληρώνουν τόσο τον αλγόριθμο όσο και τον γενικότερο τρόπο σκέψης για την προσέγγιση του προβλήματος βελτιστοποίησης της ΠτΕ.

2.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρατίθεται μια σύντομη ανάλυση των βασικών μεθόδων και θεωριών τις οποίες θα χρησιμοποιήσουμε στα επόμενα κεφάλαια προκειμένου να ορίσουμε το πρόβλημα μας και να διατυπώσουμε τον αλγόριθμο που θα το επιλύσει αλλά και ταυτόχρονα να τεκμηριώσουμε και τον λόγο για τον οποίο η διατύπωση του προβλήματος εγγυάται την ύπαρξη λύσης. Οι βασικοί τομείς είναι η Μηχανική Μάθηση (Machine Learning) που θα χρησιμοποιήσουμε για την μοντελοποίηση του Δικτύου των Επισκεπτών, και τα στοιχεία της Θεωρίας Παιγνίων και συγκεκριμένα των μη συνεργατικών παιγνίων (non-cooperative Game Theory) που θα χρησιμοποιήσουμε για την διαδικασία εύρεσης των Βέλτιστων Χρόνων Επίσκεψης. Τέλος αναλύουμε το βασικό στοιχείο της μουσειολογίας που είναι η κατάταξη των επισκεπτών σε τέσσερις κατηγορίες και πώς αυτή μας βοηθάει στο να τυποποιήσουμε τους επισκέπτες.

2.2 Στοιχεία Μηχανικής Μάθησης

Η μηχανική μάθηση είναι ένας ευρύς τομέας της επιστήμης των υπολογιστών, της στατιστικής και της θεωρίας των πιθανοτήτων. Ο τομέας αυτός εξερευνά την δυνατότητα υπολογιστικών συστημάτων να έχουν μια ικανότητα μάθησης. Με τον όρο μάθηση εννοούμε ότι στόχος είναι να υλοποιηθούν αλγόριθμοι οι οποίοι θα μπορούν να έχουν τη δυνατότητα να αυξάνουν την επίδοσή τους για μια συγκεκριμένη διεργασία με επεξεργασία όλο και περισσότερων δεδομένων του προβλήματος. Όταν αναφερόμαστε στην αύξηση της επίδοσης εννοούμε συγκεκριμένα ότι οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης έχουν τη δυνατότητα να επεξεργάζονται συνεχώς δεδομένα του προβλήματος με στόχο να μπορέσουν να προβλέψουν επόμενα δεδομένα μέσω ενός μαθηματικού μοντέλου, να παράξουν ένα μοντέλο για τα δεδομένα τα οποία επεξεργάζονται και να πάρουν αποφάσεις.

Η μηχανική μάθηση χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο σε προβλήματα για τα οποία είναι δύσκολο ή ακόμα και αδύνατο να φτιαχτούν άλλου τύπου αλγόριθμοι που δεν χρησιμοποιούν πιθανότητες ή στατιστικά μοντέλα για να παράξουν την έξοδό τους. Παραδείγματα τέτοιων προβλημάτων είναι η κατηγοριοποίηση της ηλεκτρονικής αλληλογραφίας (email filtering) και

ιδίως η ανίχνευση ανεπιθύμητης αλληλογραφίας (spam emails). Επιπλέον, βρίσκει εφαρμογή στην όραση υπολογιστών (computer vision) και στα συστήματα συστάσεων (recommendation systems).

2.2.1 Βασικοί Τύποι Μηχανικής Μάθησης

Η μηχανική μάθηση μπορεί να χωριστεί σε δύο βασικές κατηγορίες με κριτήριο το εάν υπάρχει ένα σήμα μάθησης ή μια ανάδραση στο σύστημα μάθησης.

Το πρώτο είδος είναι η επιτηρούμενη μάθηση (supervised learning) στην οποία δεδομένου ενός συνόλου από εισόδους και εξόδους στο υπό επίλυση πρόβλημα έστω $D = \{(x_i, y_i) | i = 1 \dots N\}$ όπου $x_i \in X$ τα σήματα εισόδου και $y_i \in Y$ τα σήματα εξόδου που ανήκουν στους αντίστοιχους χώρους εισόδου και εξόδου, ένας αλγόριθμος μάθησης αναζητά μια συνάρτηση $c : X \rightarrow Y$. Η ζητούμενη αυτή συνάρτηση καλείται συνάρτηση στόχου και ανήκει σε ένα σύνολο από πιθανές συναρτήσεις, έστω H , που συνήθως καλείται ο χώρος υποθέσεων. Για να προσεγγίσει το σύστημα όσο το δυνατόν καλύτερα τη συνάρτηση στόχου c γίνεται συνήθως μια αξιολόγηση της εξόδου που παράγει η κάθε συνάρτηση $h \in H$ και είναι εγγενής στο πρόβλημα που εξετάζεται κάθε φορά. Έτσι στην επιτηρούμενη μάθηση (ή μάθηση με επίβλεψη) το σύστημα καλείται να μάθει μια έννοια ή συνάρτηση από ένα σύνολο δεδομένων, η οποία αποτελεί την περιγραφή ενός μοντέλου. Ταυτόχρονα υπάρχει ένας μηχανισμός επίβλεψης που είτε συγκρίνει το αποτέλεσμα της συνάρτησης στόχου με το σωστό είτε το αξιολογεί με τη βοήθεια επιπλέον συναρτήσεων αξιολόγησης.

Το δεύτερο βασικό είδος μηχανικής μάθησης είναι η μη επιτηρούμενη μάθηση (ή μάθηση χωρίς επίβλεψη) (unsupervised learning). Σε αυτό το είδος μάθησης το σύστημα έχει μόνο τις εισόδους ως δεδομένα δηλαδή, $D = \{x_i | i = 1 \dots N\}$. Σε αυτού του είδους μάθηση το σύστημα έχει ως στόχο να ανακαλύψει συσχετίσεις και ομάδες από τα δεδομένα εισόδου και μόνο. Σαν αποτέλεσμα προκύπτουν πρότυπα (περιγραφές), κάθε ένα από τα οποία περιγράφει ένα μέρος από τα δεδομένα. Το πεδίο αυτό της μηχανικής μάθησης είναι δύσκολο να ορισθεί με την ίδια σαφήνεια με το προηγούμενο καθώς δεν υπάρχει κάποια σαφή μετρική ορθότητας που να ελέγξει τη λύση, αντιθέτως αναζητά νέα πρότυπα στα δεδομένα τα οποία μπορεί να προκύψουν χρήσιμα ή όχι. Παραδείγματα παραγόμενων προτύπων πληροφόρησης είναι η ομαδοποίηση (clustering), τα νευρωνικά δίκτυα (neural networks) και η ανίχνευση ανωμαλιών (anomaly detection) στη μη επιτηρούμενη μορφή της.

2.3 Στοιχεία Θεωρίας Παιγνίων

Η θεωρία παιγνίων είναι ένας εξίσου ευρύς τομέας των μαθηματικών που βρίσκει τις ρίζες του από το 1970 και έχει χτιστεί από επιστήμονες πολλών κλάδων όπως των οικονομικών, της βιολογίας, των υπολογιστών και του αυτομάτου ελέγχου. Βασική οντότητα της θεωρίας παιγνίων είναι οι παίχτες. Ως παίκτης μπορεί να είναι οτιδήποτε μπορεί να έχει εποπτεία του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται μέσω αισθητήρων και μπορεί να δρα στα πλαίσια αυτού του περιβάλλοντος μέσω ενεργοποιητών. Ένας ανθρώπινος παίκτης έχει μάτια, αυτιά και άλλα

όργανα για αισθητήρες και χέρια, πόδια, φωνή για ενεργοποιητές. Ένα λογισμικό δέχεται είσοδο από ένα πληκτρολόγιο, αρχεία δεδομένων δικτυακά πακέτα και δρα στο περιβάλλον δείχνοντας σε κάποια οθόνη, γράφοντας αρχεία δεδομένων και στέλνοντας πακέτα δεδομένων [RN16].

Στη θεωρία παιγνίων πολλοί τέτοιοι παίχτες τοποθετούνται σε περιβάλλοντα και καλούνται να πάρουν αποφάσεις. Ένα παίγνιο μπορεί να χαρακτηριστεί ως δυναμικό (dynamic) εάν η σειρά με την οποία αυτές οι αποφάσεις παίρνονται είναι σημαντική, ενώ είναι μη συνεργατικό (noncooperative) εάν κάθε παίχτης δρα ιδιοτελώς παίρνοντας αποφάσεις μόνος του, οι οποίες μπορεί να είναι και αντιτιθέμενες προς αποφάσεις άλλων παιχτών. Τα τυπικά στοιχεία που περιγράφουν ένα παίγνιο είναι τα εξής [RN16, p. 162]:

- S_0 : Η αρχική κατάσταση που περιγράφει πώς το παίγνιο οργανώνεται πριν την έναρξή του.
- s_n : Η τωρινή κατάσταση του παίχτη n
- a_n : Η στρατηγική του παίχτη n
- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ(s_n, a_n): Ένα μοντέλο μετάβασης που καθορίζει την νέα κατάσταση του παίχτη εάν στην τωρινή κατάσταση s_n πάρει τη στρατηγική a_n
- ΤΕΡΜΑΤΙΣΜΟΣ(s_n): Ένας έλεγχος τερματισμού, που είναι αληθής εάν το παίγνιο έχει λήξει και ψευδής σε κάθε άλλη περίπτωση. Οι καταστάσεις στις οποίες αυτή η αποτίμηση είναι αληθής καλούνται καταστάσεις τερματισμού
- ΩΦΕΛΕΙΑ(s_n, n): Μια συνάρτηση ωφέλειας για τον παίχτη n στην κατάσταση τερματισμού του s_n . Αυτή η συνάρτηση ωφέλειας είναι πολύ σημαντική καθώς δίνει μια ποσοτικοποίηση στο αποτέλεσμα του παιγνίου. Για παράδειγμα στο σκάκι η τιμή αυτή για κάθε παίχτη είναι είτε +1 για νίκη, 0 για χάσιμο και $\frac{1}{2}$ για ισοπαλία. Ως παίγνιο μηδενικού αθροίσματος (zero-sum game) ονομάζουμε ένα παίγνιο στο οποίο το άθροισμα των ωφελειών όλων των παιχτών είναι σταθερό για κάθε εκτέλεση του παιγνίου (και όχι απαραίτητα μηδέν όπως θα περίμενε κανείς από την ονομασία του). Το σκάκι είναι ένα τέτοιο παράδειγμα παιγνίου μηδενικού αθροίσματος αφού οι δυνατές εκβάσεις είναι πάντα $1 + 0, 0 + 1, \frac{1}{2} + \frac{1}{2}$.

2.3.1 Μη Συνεργατικά Παιγνία

Ένα μη συνεργατικό παίγνιο μπορεί να περιγραφεί ως $G = (N, A_n, u_n)$ όπου N είναι το σύνολο των παιχτών, A_n είναι το σύνολο των δράσεων που μπορεί να πάρει ο παίχτης n και u_n είναι η συνάρτηση ωφέλειας του παίχτη n . Συμβολίζουμε ως $a_n \in A_n$ την επιλεγμένη στρατηγική του παίχτη n και ως a_{-n} τις δράσεις όλων των υπόλοιπων παιχτών. Η συνάρτηση της ωφέλειας στα μη συνεργατικά παίγνια προσδιορίζεται από τις δράσεις όλων των παιχτών, δηλαδή συνήθως εκφράζεται με τη μορφή $u_n(a_n, a_{-n})$.

Όπως αναφέραμε και στην προηγούμενη ενότητα, στα μη συνεργατικά παίγνια οι παίχτες μεγιστοποιούν ιδιοτελώς τις συναρτήσεις ωφέλειάς τους. Συνεπώς σε τέτοια παίγνια χρειάζονται κάποια στοιχεία που να μας υποδεικνύουν την ύπαρξη μιας σταθερής λύσης για αυτά τα συστήματα πολλών χρηστών. Στην συνέχεια παρουσιάζουμε δύο ορισμούς για τη σταθερότητα των λύσεων σε παίγνια [XWW16].

Ορισμός 2.1 (Ισορροπία Nash). Ένα προφίλ δράσεων $a^* = (a_1^*, \dots, a_N^*)$ είναι ισορροπία Nash (IN) καθαρής στρατηγικής εάν και μόνο εάν κανένας παίχτης δε μπορεί να βελτιώσει τη συνάρτηση ωφέλειάς του μεταβάλλοντας μονομερώς τη στρατηγική του, δηλαδή

$$u_n(a_n^*, a_{-n}^*) \geq u_n(a_n, a_{-n}), \forall n \in N, \forall a_n \in A_n$$

Η έννοια της ισορροπίας Nash πραγματεύθηκε πρώτα από τον John Nash ο οποίος βραβεύθηκε με το βραβείο Nobel οικονομικών το 1994. Η ύπαρξη της σε παίγνια όπου οι συναρτήσεις ωφέλειας είναι κυρτές συναρτήσεις αποδεικνύεται από τον ίδιο στο [Nas50]. Μέχρι τότε οι Von Neumann και Morgenstern είχαν αναλύσει την ύπαρξη ισορροπίας σε παίγνια μηδενικού αθροίσματος δύο παικτών καθώς και σημεία ισορροπίας σε παίγνια περισσότερων των δύο παικτών όπου θα μπορούσαν να χαρακτηρισθούν συνεργατικά καθώς θεωρούνταν διάφορες συνεργασίες παικτών ανά δύο. Η σημαντική πρόοδος που έγινε από τον Nash ήταν πως δεν απαιτούσε καμία συνεργασία ανάμεσα στους παίχτες και επέτρεπε στον καθένα να δρα ιδιοτελώς και ανεξάρτητα.

Η ισορροπία που ορίσαμε παραπάνω ονομάζεται ισορροπία καθαρής στρατηγικής (pure strategy) διότι οι δράσεις $a_n \in A_n$. Υπάρχουν όμως παίγνια, συνεργατικά ή μη, τα οποία μπορούν να έχουν υψηλότερα σημεία ισορροπίας, εάν επιτραπεί στους παίχτες να συντονίσουν την δική τους στρατηγική ανάλογα με το τι έχουν πράξει οι υπόλοιποι παίχτες. Πιο τεχνικά αυτό σημαίνει ότι εάν αντί $a_n \in A_n$, επιτρέψουμε να υπάρξει μία κατανομή πιθανότητας π πάνω στα σύνολα A_n και τα $a_i \in \pi$ τότε το παίγνιο ονομάζεται μεικτής στρατηγικής (mixed strategy). Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε τον ορισμό της συσχετισμένης ισορροπίας (correlated equilibrium), στην οποία οι παίχτες παίρνουν συσχετισμένες μεταξύ τους αποφάσεις.

Η έννοια της συσχετισμένης ισορροπίας καθιερώθηκε πρώτα από τον Robert J. Aumann (Aumann, 1987), ο οποίος βραβεύθηκε με το βραβείο Nobel οικονομικών το 2005. Τυπικά η συσχετισμένη ισορροπία περιγράφεται ως εξής: Ας υποθέσουμε ότι υπάρχει μια τρίτη οντότητα που στέλνει σήματα συστάσεων σε όλους τους παίχτες. Αυτά τα σήματα συστάσεων επιτρέπουν στους παίχτες να συντονίσουν τις δράσεις τους και να κάνουν μια συσχετισμένη τυχαιοποίηση των αποφάσεών τους σύμφωνα με μια κατανομή πιθανότητας. Μαθηματικά το εκφράζουμε ως εξής:

Ορισμός 2.2 (Συσχετισμένη Ισορροπία). *Η συνάρτηση πιθανότητας π πάνω στο $A_1 \times \dots \times A_N$ είναι συσχετισμένη ισορροπία εάν και μόνο εάν, για κάθε στρατηγική $a_n \in A_n$ και κάθε εναλλακτική στρατηγική $a'_n \in A_n$,*

$$\sum_{a_{-n} \in A_{-n}} \pi(a_n, a_{-n})(u_n(a_n, a_{-n}) - u_n(a'_n, a_{-n})) \geq 0$$

όπου $\pi(a_n, a_{-n}) \geq 0$ παριστάνει την πιθανότητα ο παίκτης n να πάρει την στρατηγική a_n ενόσω οι υπόλοιποι παίκτες παίρνουν το προφίλ στρατηγικής a_{-n} . Η ανισότητα του ορισμού υποδεικνύει ότι εάν η σύσταση για τον παίκτη n είναι η στρατηγική a_n τότε οποιαδήποτε επιλογή στρατηγικής a'_n διαφορετική της a_n δεν μπορεί να επιφέρει καλύτερη ωφέλεια για τον παίκτη n .

2.4 Στοχαστικά Αυτόματα Μάθησης

Τα αυτόματα μάθησης είναι ένας τύπος μηχανικής μάθησης που μελετάται ως κλάδος της θεωρίας του προσαρμοσμένου ελέγχου (adaptive control) και είναι τομέας του οποίου πρωτοπόροι είναι οι Narendra και Thathachar οι οποίοι αρχικά μελέτησαν τα πεπερασμένα αυτόματα. Ο κλάδος των αυτομάτων είναι ένας τομέας που χρήζει μεγάλου ενδιαφέροντος για την επιστήμη των υπολογιστών και του οποίου πρωτοπόροι είναι γνωστοί επιστήμονες όπως οι A. Turing, N. Chomsky, J. R. Buchi, M. O. Rabin και πολλοί άλλοι.

Για το σκοπό της εργασίας μας, κάνουμε μια εισαγωγή στα στοχαστικά αυτόματα μάθησης (ΣΑΜ) (stochastic learning automata (SLA)) που είναι μια ειδική μορφή των αυτομάτων μάθησης. Όπως όλα τα αυτόματα μάθησης, παίρνουν τις αποφάσεις τους βασισμένα σε προηγούμενη εμπειρία, έχουν όμως τα συμπληρωματικά χαρακτηριστικά ότι βρίσκονται σε ένα στοχαστικό περιβάλλον και είναι δράστες ενός μη συνεργατικού παιχνιδιού.

Ο βασικός αλγόριθμος των ΣΑΜ (Obaidat, Papadimitriou, Pomportsis, 2002; Sastry, Phansalkar, Thathachar, 1994; Thathachar, Sastry, 2002; Verbeeck, Nowe, 2002), εφαρμόζεται σε γύρους παιχνιδιών μεικτής στρατηγικής, τα οποία παρουσιάσαμε στην προηγούμενη ενότητα. Πιο συγκεκριμένα, ας θεωρήσουμε την μεικτή στρατηγική ενός παίκτη n στον γύρο k , την οποία συμβολίζουμε $p_n(k) \in \Delta(A_n)$. Το $\Delta(A_n)$ είναι το σύνολο των συναρτήσεων κατανομής πιθανότητας πάνω στο σύνολο στρατηγικών A_n αυτού του παίκτη. Το παιχνίδι παίζεται μια φορά σε κάθε γύρο σύμφωνα με το προφίλ μεικτής στρατηγικής των παικτών εκείνη τη στιγμή. Στο τέλος κάθε γύρου ο κάθε παίκτης λαμβάνει ένα όφελος $r_n(k)$ και ανανεώνει τη μεικτή στρατηγική του σύμφωνα με αυτό. Ο κανόνας της ανανέωσης είναι απλός και πρακτικά εύκολος στην υλοποίηση. Συγκεκριμένα εάν επιλεγεί, στον γύρο k , μια στρατηγική που στο τέλος του γύρου αποφέρει θετικό όφελος τότε η πιθανότητα επιλογής της ίδιας στρατηγικής στον επόμενο γύρο αυξάνει. Ο πιο συνήθης κανόνας ανανέωσης είναι ο κανόνας του γραμμικού κέρδους-αδράνειας (linear reward-inaction) που εκφράζεται ως εξής:

$$\begin{aligned} q_{nm}(k+1) &= q_{nm}(k) + b\tilde{r}_n(k)(1 - q_{nm}(k)), m = a_n(k) \\ q_{nm}(k+1) &= q_{nm}(k) - b\tilde{r}_n(k)q_{nm}(k), m \neq a_n(k) \end{aligned}$$

όπου το $\tilde{r}_n(k)$ είναι το κανονικοποιημένο όφελος για τον γύρο k και b μια παράμετρος βήματος ανανέωσης των πιθανοτήτων. Έτσι το $q_{nm}(k)$ παριστάνει την πιθανότητα ο παίκτης n να διαλέξει τη στρατηγική $m \in A_n$ στον k -οστό γύρο.

Τα στοχαστικά αυτόματα μάθησης θα αποτελέσουν το βασικό εργαλείο για να μοντελοποιήσουμε τους επισκέπτες του μουσείου στην εργασία μας και ο τρόπος που θα γίνει αυτό περιγράφεται στο επόμενο κεφάλαιο.

2.5 Στοιχεία Μουσειολογίας

Η μουσειολογία είναι ένας τομέας που βρίσκει μεγάλο ενδιαφέρον τόσο σε πρακτικές εφαρμογές θετικών και τεχνικών επιστημών όσο και θεωρητικών επιστημών. Κυρίως αναλύεται από πολιτισμικής, οικονομικής και κοινωνικής άποψης και είναι ένα πεδίο εφαρμογής για πολλές χρήσιμες έρευνες. Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα χρησιμοποιήσουμε μια ποσοτική παρατήρηση που αποτέλεσε σημαντικό σημείο για τις εφαρμογές τεχνικών μεθόδων στα μουσεία. Η παρατήρηση αυτή οφείλεται στους (Veron & Levasseur, 1989) οι οποίοι ανέλυσαν με συμπεριφοριστικά κριτήρια τους επισκέπτες στα μουσεία. Η ανάλυση που έκαναν δεν στοχεύει στην απαλοιφή οποιουδήποτε προσωπικού χαρακτηριστικού και την καθολική κατηγοριοποίηση των επισκεπτών. Είναι όμως εξαιρετικά χρήσιμη όταν θέλουμε να εισάγουμε ένα μοντέλο με το οποίο να εξερευνήσουμε ένα μουσείο ως σύστημα.

2.5.1 Συμπεριφορική Κατάταξη Επισκεπτών

Οι Veron και Levasseur αναγνώρισαν τέσσερεις τύπους επίσκεψης:

Τα μυρμήγκια (ants), ή την εγγύς επίσκεψη

Τις πεταλούδες (butterflies), ή την επίσκεψη του εκχρεμούς

Τα ψάρια (fishes), ή την ολισθαίνουσα επίσκεψη

Οι ακρίδες (grasshoppers), ή την επίσκεψη αιχμής

Κάθε τύπος επισκέπτη μπορεί να χαρακτηριστεί από μια σειρά καθοριστικών ιδιοτήτων.

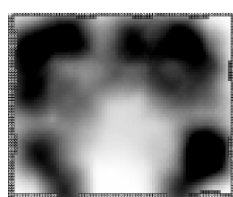
Τα μυρμήγκια σε σύγκριση με τους τρεις άλλους τύπους, σταματούν πιο κοντά στα εκθέματα (εξ'ού και ο χαρακτηρισμός εγγύς). Επίσης ο χρόνος στον οποίο παραμένουν στο μουσείο είναι συγκριτικά μεγάλος, σταματούνε να παρατηρήσουν πολλά εκθέματα και ακολουθούν πιστά την προτεινόμενη σειρά επίσκεψης των εκθεμάτων που δίνεται από το εκάστοτε μουσείο. Αποφεύγουν να διανύσουν τους άδειους, ανοικτούς χώρους του μουσείου και προτιμούν να μένουν κοντά στα όρια (τείχους) της αίθουσας στην οποία βρίσκονται.

Οι πεταλούδες περιηγούνται με έναν τρόπο παρόμοιο με τα μυρμήγκια με τη διαφορά ότι έχουν την τάση να εξαντλούν εκθέματα που βρίσκονται κοντά και απέναντι το ένα από το άλλο. Με αυτή την έννοια η περιήγησή τους μοιάζει τοπικά με 'zig-zag', δηλαδή ενός εκχρεμούς. Ο χρόνος που επισκέπτονται το μουσείο είναι επίσης μεγάλος όπως και τα μυρμήγκια, σταματούνε σε αρκετά εκθέματα και αποφεύγουν τους άδειους, ανοικτούς χώρους του μουσείου.

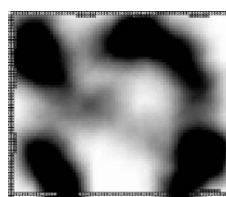
Τα ψάρια προτιμούν να στέκονται και να παρατηρούν τα εκθέματα στο μέσον της αίθουσας ώστε να έχουν περίπου τα μισά εκθέματα από τη μια πλευρά και τα υπόλοιπα από την άλλη, πολλές φορές σχηματίζοντας ένα κύκλο στη διαδρομή τους. Ο χρόνος επίσκεψης είναι σχετικά σύντομος και δεν διστάζουν να διανύσουν ανοικτούς χώρους του μουσείου. Τέλος είναι αδιάφοροι για την προτεινόμενη σειρά επίσκεψης του μουσείου που ενδεχομένως να τους δίνεται.

Οι ακρίδες έχουν συγκεκριμένα εκθέματα για επίσκεψη κατά νου και μετά από κάθε στάση τους η επόμενη στάση είναι το έκθεμα που τους παρουσιάζει το περισσότερο ενδιαφέρον, οπότε και δεν σταματούν σε ενδιάμεσα εκθέματα αλλά κατευθύνονται προς αυτά που τους ενδιαφέρουν περισσότερο. Ο χρόνος επίσκεψής τους είναι σχετικά μικρός, με λίγες στάσεις και διανύουν τους κενούς χώρους του μουσείου προκειμένου να φθάσουν στον στόχο τους. Όπως τα ψάρια, είναι αδιάφοροι προς τη προτεινόμενη σειρά επίσκεψης των εκθεμάτων από το μουσείο.

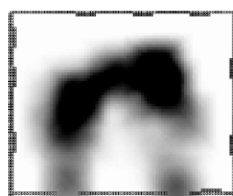
Οι [CI04] πρότειναν μία μέθοδο και ένα γραφικό εργαλείο με τα οποία σκοπός τους ήταν να κατατάξουν τους επισκέπτες σε μια από αυτές τις τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με τη διαδρομή που ακολούθησαν στο μουσείο. Παραθέτουμε τέσσερις γραφικές αναπαραστάσεις για ένα απλό μουσειακό χώρο στον οποίο τα εκθέματα βρίσκονταν όλα στους τοίχους και υπήρχε ένας κενός χώρος στη μέση, τις οποίες παρατήρησαν οι προαναφερθέντες.



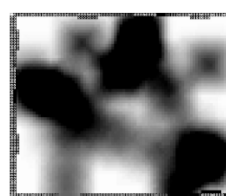
α': Μυρμηγκία



β': Πεταλούδες



γ': Ψάρια



δ': Ακρίδες

Σχήμα 2.1: Οι πιο συνηθισμένες θέσεις των τεσσάρων τύπων επισκέπτη

Συμπερασματικά, οι επισκέπτες τύπου μυρμηγκιού και πεταλούδας μοιάζουν περισσότερο οργανωμένοι και δέχονται την λογική οργάνωση του μουσείου. Αντιθέτως η επίσκεψη των ψαριών είναι μία γρήγορη επίσκεψη και θα λέγαμε πως αναζητά μια περιληπτική επίσκεψη των εκθεμάτων κρατώντας τις αποστάσεις από τα εκθέματα και δεν σταματά μπροστά τους αλλά προσπαθεί να περνάει από μπροστά τους. Οι επισκέψεις των ακριδών μοιάζουν οι πιο ελεύθερες όλων και καθοδηγούνται από τις προσωπικές αρέσκειες αγνοώντας οποιαδήποτε λογική σειρά και δομή των εκθεμάτων του μουσειακού χώρου.

Περιγραφή και Μοντελοποίηση του Δικτύου Επισκεπτών

3.1 Μοντελοποίηση του συστήματος επισκεπτών

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε πιο τυπικά το υπό επίλυση πρόβλημα καθώς και το πώς μοντελοποιούμε τις πολιτικές συστάσεων για τους επισκέπτες, την ποιότητα της εμπειρίας του χρήστη (ΠτΕ) καθώς και τη διείσδυση των συστάσεων στο σύστημα των επισκεπτών.

Πιο συγκεκριμένα, θεωρούμε μια έκθεση π.χ έναν μουσειακό χώρο, όπου μελετάται ο βέλτιστος χρόνος επίσκεψης του κάθε επισκέπτη. Μέσα στο μουσείο, υποθέτουμε ότι οι επισκέπτες μπορούν να διαλέξουν ανάμεσα σε \mathcal{R} διαφορετικές συστάσεις. Για το σκοπό της παρούσας μελέτης θα θεωρήσουμε τρεις διαφορετικές συστάσεις $\mathcal{R} = \{R_A, R_B, R_C\}$, ενώ εν γένει ένα μουσείο μπορεί να έχει περισσότερες, το σύνολό τους θα είναι πάλι πεπερασμένο. Καθεμία από αυτές τις συστάσεις προσφέρει στους επισκέπτες μια διαφορετική Ποιότητα της Εμπειρίας (ΠτΕ) (Quality of Experience (QoE)) και ταυτόχρονα απαιτούν έναν διαφορετικό βαθμό δέσμευσης από την πλευρά των επισκεπτών, τον οποίο θα αναλύσουμε στην επόμενη ενότητα. Συμβολίζουμε επίσης το σύνολο των επισκεπτών ως $\mathcal{N} = \{1, \dots, i, \dots, N\}$ εκ των οποίων ο καθένας έχει και τον δικό του τύπο επίσκεψης, δηλαδή μυρμήγκι (ant), πεταλούδα (butterfly), ψάρι (fish) και ακρίδα (grasshopper). Τα σύνολα των επισκεπτών ανά τύπο συμβολίζονται ως $\mathcal{N}_a, \mathcal{N}_b, \mathcal{N}_f, \mathcal{N}_g$ και συνεπώς το σύνολο των επισκεπτών είναι $\mathcal{N} = \mathcal{N}_a \cup \mathcal{N}_b \cup \mathcal{N}_f \cup \mathcal{N}_g$. Κάθε ένα από τα είδη έχει διαφορετική συμπεριφορά ως προς το χρόνο επίσκεψης και ως προς το πόσο ανεκτικός είναι ο επισκέπτης στην συμμόρφωση με άλλους επισκέπτες του μουσείου.

Ο χρόνος επίσκεψης του κάθε επισκέπτη στο μουσείο συμβολίζεται ως t_i και λόγω των χωρικών χαρακτηριστικών των μουσείων (π.χ. μέγεθος) αλλά και τα προσωπικά χαρακτηριστικά και προτιμήσεις του κάθε επισκέπτη, είναι άνω και κάτω φραγμένος, δηλαδή $t_i^{min} < t_i < t_i^{max}$. Ας συμβολίσουμε επίσης ως t_{-i} τους χρόνους όλων των υπόλοιπων επισκεπτών που συνυπάρχουν τον ίδιο χρόνο στο μουσείο με τον επισκέπτη $i, i \in \mathcal{N}$. Κάθε διαφορετική σύσταση $R_x, x = A, B, C$ και $R_x \in \mathcal{R}$ προσφέρει μία διαφορετική ΠτΕ στον επισκέπτη που τη διαλέγει. Ονομάζουμε αυτές τις ΠτΕ $Q_x, x = A, B, C$ που προσφέρονται από τις συστάσεις R_A, R_B, R_C αντίστοιχα. Υποθέτουμε, χωρίς βλάβη της γενικότητας, ότι οι τιμές αυτών των ΠτΕ είναι ταξινομημένες σε γνησίως αύξουσα σειρά, δηλαδή $Q_A < Q_B < Q_C$, πράγμα που

υποδεικνύει ότι όσο το αναγνωριστικό της σύστασης αυξάνει (A, B, C), η σύσταση γίνεται καλύτερη.

Μια απλή και αποτελεσματική μετρική που επιτρέπει την επαλήθευση της ΠτΕ για κάθε επισκέπτη είναι ο σχετικός λόγος χρόνων επίσκεψης, τον οποίο ορίζουμε ως

$$rt_i = \frac{t_i}{\sum_{\substack{j \in \mathcal{N} \\ j \neq i}} t_j} \quad (3.1)$$

όπου το $\sum_{\substack{j \in \mathcal{N} \\ j \neq i}} t_j$ είναι ο συνολικός χρόνος που οι υπόλοιποι επισκέπτες αφιερώνουν στην επίσκεψή τους ταυτόχρονα με τον i . Έτσι λοιπόν μπορούμε εύκολα να παρατηρήσουμε πως όταν το άθροισμα των χρόνων των υπόλοιπων επισκεπτών αυξάνεται, τότε είτε η πυκνότητα των επισκεπτών γίνεται μεγαλύτερη, είτε ο ίδιος αριθμός επισκεπτών αφιερώνει περισσότερο συνολικό χρόνο στην επίσκεψη, πράγμα που μας δίνει μια ένδειξη ως προς τη συμμόρφωση στο μουσείο. Σε τέτοια περίπτωση συμμόρφωσης η ΠτΕ του επισκέπτη i επιδεινώνεται, είτε επειδή υπάρχει πολύ μεγάλος αριθμός επισκεπτών στο μουσείο, είτε επειδή μερικά εκθέματα «εμποδίζονται» από άλλους επισκέπτες που αφιερώνουν χρόνο στο να τα παρατηρήσουν λεπτομερώς.

3.2 Μοντέλα και Πολιτικές Συστάσεων

Υποθέτουμε ότι συστάσεις με αυξημένη ποιότητα της εμπειρίας θα οδηγήσουν τους επισκέπτες σε μικρότερο χρόνο επίσκεψης λόγω του ότι η επίσκεψή τους θα είναι πιο καθοδηγούμενη και θα τους προσφέρεται μια μεγάλη ποσότητα πληροφορίας σε ένα μικρό χρονικό διάστημα και με πιο δομημένο τρόπο. Συνεπώς είναι φυσικό πολλοί επισκέπτες να ζητήσουν την πιο ελκυστική σύσταση, που θα οδηγήσει όμως σε μεγάλη αναμονή για αυτή τη σύσταση λόγω της αυξημένης ζήτησης. Συνεπώς οι συστάσεις μπορούν να χαρακτηρισθούν από μια επιπλέον παράμετρο ελέγχου συμμόρφωσης c_x , $x = A, B, C$ που παριστάνει τον πιθανό χρόνο αναμονής για την κάθε σύσταση. Με αυτόν τον τρόπο οι επισκέπτες πρέπει να λάβουν υπόψη το κόστος που φέρει μια καλύτερη σύσταση, η οποία να μην μπορεί να αυξήσει την ΠτΕ τους αλλά, ανάλογα με το πόσοι έχουν κάνει την ίδια επιλογή, μπορεί να επιφέρει ένα κόστος αναμονής. Η ισορροπία των δύο θα πρέπει να οδηγήσει τους επισκέπτες σε συμβιβασμό και κατά συνέπεια στην επιλογή μιας άλλης συστάσεως.

Για τη μελέτη μας υποθέτουμε τρεις διαφορετικές συστάσεις οι οποίες είναι οι εξής:

- A. Σύσταση A (R_A): Το μουσείο διαθέτει έναν χάρτη του χώρου στην είσοδο. Οι επισκέπτες μπορούν να πάρουν αυτόν τον χάρτη σε πολύ μικρό χρόνο, χωρίς αναμονή σε μεγάλη ουρά. Θα πρέπει όμως να επισκεφτούν το μουσείο χωρίς καθοδήγηση και για μεγαλύτερο χρόνο. Έτσι η αντιλαμβανόμενη ΠτΕ τους (Q_A) είναι περιορισμένη καθώς οι πληροφορίες που θα μπορούν να έχουν για την περιήγησή τους θα είναι μόνον οι περιγραφές του κάθε εκθέματος που υπάρχουν στις ταμπέλες αυτών.

- B. Σύσταση B (R_B): Ένας καθοδηγητής αναλαμβάνει να περιηγήσει τους επισκέπτες στο μουσείο και να προσφέρει επεξηγηματικές και χρήσιμες πληροφορίες για τα εκθέματα. Οι επισκέπτες σχηματίζουν ομάδες με την άφιξή τους στο μουσείο και ο καθοδηγητής αρχίζει την περιήγηση σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Επομένως, οι επισκέπτες θα πρέπει να αναμένουν περισσότερο πριν την έναρξη της επίσκεψής τους ώστε να ετοιμασθεί η ομάδα και να είναι διαθέσιμος ο καθοδηγητής. Παρόλα αυτά η αντιλαμβανόμενη ΠτΕ (Q_B) τους θα είναι αυξημένη διότι θα έχουν μεγαλύτερη και πιο δομημένη πληροφορηση για τα εκθέματα σε μικρότερο χρόνο επίσκεψης.
- C. Σύσταση C (R_C): Σε συμπλήρωμα των χαρακτηριστικών της προηγούμενη σύστασης R_B , στην παρούσα σύσταση R_C ο καθοδηγητής παρέχει στους επισκέπτες ακουστικά προκειμένου να μεταφράζει τις πληροφορίες στη γλώσσα τους. Λόγω του μειωμένου αριθμού διαθέσιμων ακουστικών οι περιηγήσεις των ομάδων που έχουν διαλέξει αυτή τη σύσταση αρχίζουν σε αραιά χρονικά διαστήματα και συνεπώς οι επισκέπτες πρέπει να αναμένουν σε ακόμα μεγαλύτερες ουρές. Παρόλα αυτά η αντιλαμβανόμενη ΠτΕ αυξάνει αφού οι πληροφορίες είναι ακόμα πιο αφομοιώσιμες από τους επισκέπτες.

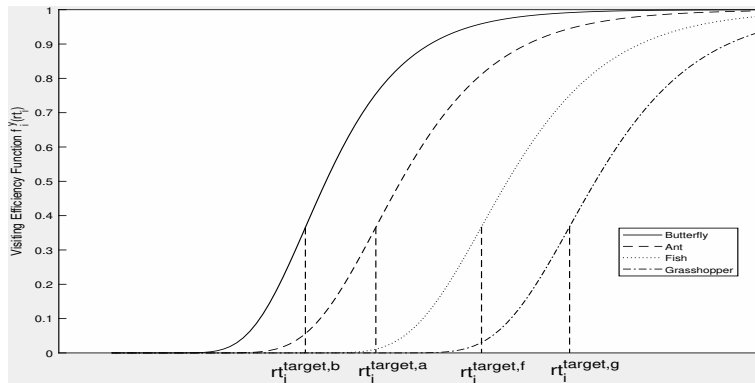
Σύμφωνα με την παραπάνω περιγραφή των συστάσεων παρατηρούμε τη διάταξη των ΠτΕ για την καθεμία ως γενησίως αύξουσα, δηλαδή $Q_A < Q_B < Q_C$. Επιπλέον μπορούν να θεωρηθούν περισσότερες συστάσεις από τις τρεις που έχουμε προτείνει, ακολουθώντας το ίδιο μοτίβο, χωρίς βλάβη της γενικότητας. Επιπλέον, για λόγους ισότητας και για την υποστήριξη της έννοιας του προσβάσιμου για όλους μουσείου, υποθέτουμε ότι όλες οι παραπάνω συστάσεις έχουν το ίδιο χρηματικό κόστος για τους επισκέπτες. Τέλος, τα αρνητικά για κάθε σύσταση μπορούν να συνοψισθούν ποσοτικά στο κόστος της παραμέτρου ελέγχου συμφόρησης c_x , $x = A, B, C$ που εισάγαμε στην προηγούμενη ενότητα, συνεπώς θα έχουμε $c_A < c_B < c_C$.

3.3 Μοντελοποίηση της Ποιότητας της Εμπειρίας του Χρήστη

Η έννοια μιας συνάρτησης ΠτΕ υιοθετήθηκε προκειμένου να αναπαραστήσουμε την αντιλαμβανόμενη ικανοποίηση του κάθε επισκέπτη ως συνάρτηση : (α) του χρόνου που αφιερώνει στην επίσκεψη, (β) της σύστασης που έχει επιλέξει και (γ) της ικανοποίησης των προαπαιτούμενων της ΠτΕ τους. Μια συνδυαστική συνάρτηση ΠτΕ υιοθετείται από κάθε επισκέπτη και αποτελείται από δύο μέρη: (α) το κομμάτι της αμιγούς ΠτΕ και (β) τη συνάρτηση ελέγχου συμφόρησης. Η αμιγής ΠτΕ εκφράζεται ως λόγος της επιτυγχανόμενης τιμής ΠτΕ προς τον χρόνο που αφιερώνεται για την επίσκεψη. Έτσι η αμιγής ΠτΕ αυξάνεται εάν ο επισκέπτης έχει πετύχει μεγάλη ΠτΕ χωρίς να έχει αφιερώσει πολύ χρόνο για την επίσκεψη. Σημειώνουμε ότι ο χρόνος επίσκεψης είναι κατά προτίμηση για κάθε επισκέπτη και είναι άνω και κάτω φραγμένος ($t_i^{min} < t_i < t_i^{max}$), όπως αναφέραμε στην προηγούμενη ενότητα. Επισημαίνουμε επίσης ότι ο βέλτιστος χρόνος επίσκεψης δεν θα είναι πάντα t_i^{min} , αλλά επειδή η ΠτΕ εξαρτάται από την τελική επιλογή σύστασης και τη συμφόρηση που υπάρχει στο μουσείο (που εκφράζεται από τον χρόνο επίσκεψης του συνόλου των επισκεπτών), η ΠτΕ μπορεί να είναι περιορισμένη.

Έτσι, ο επισκέπτης του μουσείου εκφράζει την ευελιξία του όσον αφορά στον χρόνο επίσκεψης (μέσω των ορίων t_i^{min} και t_i^{max}) και επίσης παίρνει υπόψη την αντιλαμβανόμενη ΠτΕ του προκειμένου να καθορίσει τον βέλτιστο χρόνο επίσκεψης.

Πιο συγκεκριμένα, η ιδανική συνάρτηση ΠτΕ παριστάνεται ως μια λογιστική συνάρτηση με μεταβλητή τον σχετικό χρόνο επίσκεψης rt_i δηλαδή $Q_x \cdot f_i^y(rt_i)$, $x = A, B, C$, $y = a, b, f, g$, όπου ο το y συμβολίζει τις τέσσερις κατηγορίες επισκέπτη a(ant), b(butterfly), f(fish), g(grasshopper). Η συνάρτηση $f_i^y(rt_i)$, στην οποία θα αναφερόμαστε ως συνάρτηση αποτελεσματικότητας επίσκεψης (ΣΑΕ) (visiting efficiency function (VEF)), αναπαριστά τη απορροφούμενη ικανοποίηση από τον επισκέπτη και εξαρτάται από τη συμφόρηση που υπάρχει στο μουσείο εκείνη τη στιγμή καθώς και το πόσο χρόνο αφιερώνει ο επισκέπτης, όπως ορίσαμε στη σχέση (3.1). Η συμφόρηση εκφράζεται αποκλειστικά από το χρόνο που οι υπόλοιποι επισκέπτες αφιερώνουν στο μουσείο ($\sum_{\substack{j \in \mathcal{N} \\ j \neq i}} t_j$). Η μορφή της ΣΑΕ διαλέγεται μια κοινή λογιστική συνάρτηση (σιγμοειδής συνάρτηση) της μορφής $f_i^y(rt_i) = (1 - e^{-A_y rt_i})^{M_y}$, όπου τα A_y, M_y , $y = a, b, f, g$ είναι θετικές παράμετροι που ελέγχουν την κλίση της συνάρτησης. Κάθε είδος επισκέπτη από τα τέσσερα χαρακτηρίζεται από έναν κεντρικό σχετικό χρόνο επίσκεψης $rt_i^{target, y}$, $y = a, b, f, g$ που διαφοροποιείται από είδος σε είδος και αποτελεί το σημείο καμπής της λογιστικής συνάρτησης, δηλαδή έχουν την παρακάτω μορφή:



Σχήμα 3.1: Οι συναρτήσεις αποτελεσματικότητας επίσκεψης

Η τοποθέτηση των συναρτήσεων στην παραπάνω σειρά τηρεί τα χαρακτηριστικά των τύπων επίσκεψης. Θεωρούμε ότι $rt_i^{target, b} < rt_i^{target, a} < rt_i^{target, f} < rt_i^{target, g}$. Ο επισκέπτης τύπου πεταλούδας μπορεί να ανακατευθύνει την διαδρομή του στο μουσείο σε περίπτωση συμφόρησης σε αντίθεση με τον τύπο μυρμηγκιού που επισκέπτεται με τη σειρά όλα τα εκθέματα, συνεπώς $rt_i^{target, b} < rt_i^{target, a}$. Ο τύπος επισκέπτη ψαριού παρατηρεί τα εκθέματα από το κέντρο του εκθεσιακού χώρου, επομένως εάν άλλοι επισκέπτες είναι σταματημένοι κοντά στα εκθέματα και εμποδίζουν το οπτικό πεδίο του, η ικανοποίησή του θα μειωθεί. Σε αντίθεση, τα μυρμηγκία περιμένουν υπομονετικά ώστε να παρατηρήσουν με τη σειρά τους τα εκθέματα. Έτσι έχουμε $rt_i^{target, a} < rt_i^{target, f}$. Ο επισκέπτης τύπου ακρίδας έχει συγκεκριμένα και περιορισμένα εκθέματα που επιθυμεί να παρατηρήσει κατά τη διάρκεια της επίσκεψής του συνεπώς εάν εμποδιστεί να παρατηρήσει έστω και λίγα από αυτά μειώνεται δραματικά η ΠτΕ του.

Ο λόγος που τα σημεία $rt_i^{target,y}$ είναι τοποθετημένα στα αντίστοιχα σημεία καμπής των σιγμοειδών συναρτήσεων, είναι επειδή εάν αυτός ο χρόνος επιτευχθεί τότε έχουν ικανοποιηθεί οι ελάχιστες προϋποθέσεις για μια καλή ΠτΕ. Με αυτόν τον τρόπο, εάν ένας επισκέπτης έχει ΠτΕ λιγότερη από $rt_i^{target,y}$, τότε η αντιλαμβανόμενη ικανοποίηση μειώνεται γρήγορα. Εάν αντιθέτως ένας επισκέπτης έχει ΠτΕ μεγαλύτερη από $rt_i^{target,y}$, τότε η αντιλαμβανόμενη ΠτΕ αυξάνεται βραδύτερα, διότι έχουν πληρεί οι προϋποθέσεις ικανοποίησης του.

Συγκεντρώνοντας τις παραπάνω παρατηρήσεις η συνδυασμένη συνάρτηση ΠτΕ μπορεί να εκφραστεί ως :

$$Q_i(t_i, t_{-i}) = \frac{Q_x \cdot f_i^y(rt_i)}{t_i} - c_x N_x^k e^{t_i}, i \in \mathcal{N}, x = A, B, C \quad (3.2)$$

$$y = a, b, f, g, \mathcal{N} = \mathcal{N}_a \cup \mathcal{N}_b \cup \mathcal{N}_f \cup \mathcal{N}_g$$

Στην παραπάνω συνάρτηση έχουμε εισάγει έναν παράγοντα στον οποίο δεν αναφερθήκαμε προηγουμένως, το $N_x^k, x = A, B, C, k \geq 0$. Το N_x συμβολίζει το πόσοι επισκέπτες έχουν διαλέξει τη σύσταση x κατά τη στιγμή υπολογισμού και το ονομάζουμε παράγοντα πληθικής συμφοράς. Ο παράγοντας αυτός εκφράζει μια χωρική έννοια βάρους στην επιβάρυνση της κάθε σύστασης. Είναι ένας τρόπος που μας παρέχει ένα μεγαλύτερο έλεγχο ώστε να ρυθμίζουμε το κόστος της κάθε σύστασης ανάλογα με τον αριθμό των ατόμων που προσομοιώνει ο αλγόριθμος μας, χωρίς να χρειαστεί να μεταβάλλουμε τις τιμές κόστους c_x οι οποίες είναι εγγενείς των συστάσεων και δεν έχει νόημα να αλλάζουν ανάλογα με το πόσο μεγάλο είναι το σύνολο των επισκεπτών που εξετάζουμε.

3.4 Η Διεΐσδυση των Συστάσεων

Η επιλογή σύστασης από τους επισκέπτες επηρεάζεται από το κόστος της κάθε σύστασης, το οποίο όπως προαναφέραμε και φαίνεται και στη σχέση (3.2), εξαρτάται από τον παράγοντα ελέγχου συμφοράς $c_x, x = A, B, C$, από το παράγοντα συμφοράς πλήθους $N_x, x = A, B, C$ αλλά και από μια ακόμη έννοια που ονομάζουμε διεΐσδυση των συστάσεων. Με αυτόν τον παράγοντα θα μοντελοποιήσουμε την τάση που έχουν οι επισκέπτες ενδεχομένως να διαλέγουν συστάσεις οι οποίες είναι δημοφιλείς, διότι πιστεύουν ότι θα έχει καλύτερο αντίκτυπο και στη δική τους εμπειρία. Η διεΐσδυση μιας σύστασης $R_x, x = A, B, C$ λοιπόν εκφράζεται ως ο λόγος της συνολικής συνδυασμένης ΠτΕ των επισκεπτών που έχουν διαλέξει την σύσταση R_x προς την συνολική επιτυγχανόμενη συνδυασμένη ΠτΕ όλων των επισκεπτών παρόντων στο μουσείο για τη συγκεκριμένη στιγμή παρατήρησης μας τ (η έννοια του τ θα γίνει πιο εμφανής στο επόμενο κεφάλαιο όπου θα εισάγουμε τον αλγόριθμο καθώς και τη σύνδεση του με το πλαίσιο μηχανικής μάθησης και παιγνίων). Ορίζουμε λοιπόν τη διεΐσδυση μιας σύστασης ως:

$$p_x(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^N Q_x \cdot f_i^y(rt_i)}{\sum_{\substack{i=1 \\ \forall R_x \in \mathcal{R}}}^N Q_x \cdot f_i^y(rt_i)} \quad (3.3)$$

Το Πρόβλημα Επιλογής Σύστασης και Βέλτιστου Χρόνου Επίσκεψης

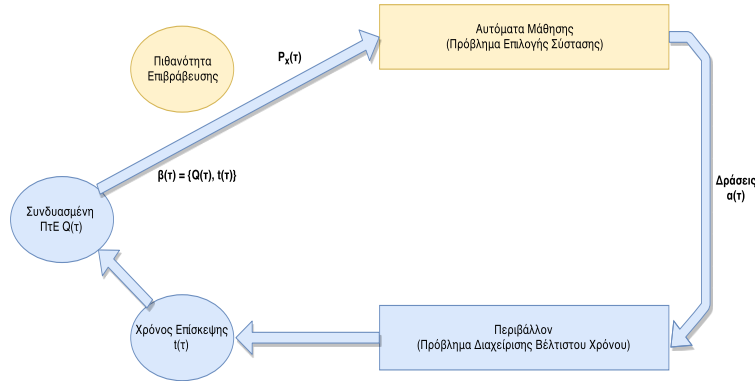
4.1 Βασικός Σχεδιασμός της Επίλυσης

Όπως έχουμε αναφέρει και στα προηγούμενα κεφάλαια, στην εργασία αυτή μελετάμε το πρόβλημα της Επιλογής Συστάσεων και της Διαχείρισης Χρόνου Επίσκεψης (Recommendation Selection and Visiting Time Management (RSVTM)) σε ένα μουσειακό περιβάλλον (η γενικότερα σε έναν εκθεσιακό χώρο). Στη συνέχεια της εργασίας θα αναφερόμαστε στο πρόβλημα καθώς και στον αλγόριθμο που το λύνει ως RSVTM.

Πριν αρχίσουν την περιήγησή τους, οι επισκέπτες που εισέρχονται στο μουσείο επιλέγουν μια σύσταση που θα καθοδηγήσει την περιήγησή τους, βασιζόμενοι σε ένα πλαίσιο μηχανικής μάθησης. Οι επισκέπτες δρουν ως αυτόματα μάθησης που αποκομίζουν γνώση και εμπειρία από τις προηγούμενες δράσεις τους καθώς ο χρόνος του αλγορίθμου προχωράει. Με τη λήξη του αλγορίθμου θα έχουν επιλέξει την τελική σύσταση η οποία θα είναι και αυτή που θα τους οδηγήσει κατά την περιήγησή τους στο μουσείο. Τα αυτόματα αυτά είναι ικανά να αφουγκράζονται το περιβάλλον τους ενώ κρατάνε ιστορικό των περασμένων αποφάσεών τους προκειμένου στο μέλλον να πάρουν πιο ωφέλιμες αποφάσεις που θα τους οδηγήσουν σε βελτιστοποίηση της ΠτΕ τους. Η απαραίτητη πληροφορία που χρειάζεται προκειμένου να πάρουν την απόφαση για την σύσταση που θα πάρουν είναι ο χρόνος επίσκεψης $t = t_1, \dots, t_i, \dots, t_N$ καθώς και οι τιμές τις συνδυασμένης ΠτΕ $Q = Q_1, \dots, Q_i, \dots, Q_N$ της προηγούμενης επανάληψης τ του τμήματος μηχανικής μάθησης του αλγορίθμου. Επιπλέον, πέραν των παραπάνω παραμέτρων, ο κάθε επισκέπτης συμβουλευεται διείσδυση της κάθε σύστασης $R_x, x = A, B, C$ του συνόλου των επισκεπτών, δηλαδή το $p_x(\tau)$, προκειμένου να πάρει την τελική απόφαση και δράση $a(\tau)$.

Δεδομένων των δράσεων των επισκεπτών όσον αφορά στην επιλογή της σύστασης, οι επισκέπτες παίρνουν μέρος σε ένα καταναμημένο μη-συνεργατικό παίγνιο για τον καθορισμό του χρόνου επίσκεψης, που παίζεται σε κάθε επανάληψη του αλγορίθμου μηχανικής μάθησης, προκειμένου να καθορίσουν τον βέλτιστο χρόνο επίσκεψης $t_i^*, \forall i \in \mathcal{N}$ καθώς και την αντίστοιχη τιμή της ΠτΕ τους. Συνεπώς, ο αλγόριθμος απαρτίζεται από αυτά τα δύο επαναληπτικά μέρη απόφασης, ένα για την επιλογή της σύστασης και ένα για την επιλογή του χρόνου

επίσκεψης και γίνεται πριν οι επισκέπτες αρχίσουν την επίσκεψή τους στο μουσείο (εποπτικά στην εικόνα 4.1). Επιπλέον τονίζουμε πως ο RSVTM αλγόριθμος εκτελείται κάθε φορά που ένας καινούριος επισκέπτης εισέρχεται στο μουσείο, παίρνοντας υπόψη το ιστορικό όλων των προηγούμενων επισκεπτών που είναι ήδη στο μουσείο. Όπως θα δούμε και στο κεφάλαιο 5 ο χρόνος εκτέλεσης του αλγορίθμου είναι αρκετά σύντομος πράγμα που είναι ωφέλιμο αφού εκτελείται ενόσω οι επισκέπτες περιμένουν στην είσοδο του μουσείου.



Σχήμα 4.1: Περιγραφή του συστήματος του RSVTM αλγορίθμου

4.2 Επιλογή Σύστασης ως Μηχανική Μάθηση

Το περιβάλλον του μουσείου αποτελείται από $R_x, x = A, B, C, R_x \in \mathcal{R}$ διαφορετικές συστάσεις και N επισκέπτες μπορεί να μελετηθεί ως ένα σύστημα μάθησης, όπου οι επισκέπτες δρουν ως αυτόματα μάθησης και ανταποκρίνονται στο περιβάλλον τους ώστε να αποφασίσουν ποια σύσταση θα επιλέξουν. Η εικόνα 4.1 παρουσιάζει το συνδυασμένο σύστημα επιλογής συστάσεως και διαχείρισης χρόνου επίσκεψης καθώς και τις σχέσεις μεταξύ των δύο και με τα αυτόματα μάθησης. Κάθε επισκέπτης / αυτόματο μάθησης $i, i \in \mathcal{N}, \mathcal{N} = \mathcal{N}_a \cup \mathcal{N}_b \cup \mathcal{N}_f \cup \mathcal{N}_g$ για κάθε επανάληψη τ του συστήματος μηχανικής μάθησης, έχει ένα σύνολο δράσεων a_A, a_B, a_C . Αυτό το σύνολο δράσεων παριστάνει τις διαφορετικές επιλογές που μπορούν να κάνουν οι επισκέπτες ως προς τη σύσταση. Για να αποφασίσουν ποιά δράση θα λάβουν για την κάθε επανάληψη τ , οι επισκέπτες συμβουλευονται την έξοδο $\beta(\tau) = Q(\tau), t(\tau)$ του περιβάλλοντος τους, όπου τα $Q(\tau)$ και $t(\tau)$ είναι διανύσματα που περιέχουν την συνδυασμένη ΠτΕ και τον χρόνο επίσκεψης του κάθε επισκέπτη για το στιγμιότυπο (επανάληψη) τ . Η έξοδος $\beta(\tau) = Q(\tau), t(\tau)$ προσδιορίζεται κατόπιν εκτέλεσης του τμήματος της διαχείρισης χρόνου, που θα αναλύσουμε στην επόμενη ενότητα. Συνδυάζοντας τις επιλεγμένες δράσεις των επισκεπτών καθώς και της αντίδρασης του συστήματος υπό τη μορφή της ΠτΕ, υπολογίζουμε την πιθανότητα επιβράβευσης. Η πιθανότητα αυτή είναι η διεξόδυση της R_x -οστής σύστασης που ορίσαμε στην ενότητα 3.4 και εφράζεται από τη σχέση 3.3, δηλαδή

$$p_x(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^N Q_x \cdot f_i^y(rt_i)}{\sum_{\substack{i=1 \\ \forall R_x \in \mathcal{R}}}^N Q_x \cdot f_i^y(rt_i)}$$

Η πιθανότητα της δράσης του κάθε επισκέπτη εκφράζεται ως ένα διάνυσμα $Pr_i(\tau) = \{Pr_{i,A}(\tau), Pr_{i,B}(\tau), Pr_{i,C}(\tau)\}$, όπου $Pr_{i,x}(\tau)$ εκφράζει την πιθανότητα ο επισκέπτης i να επιλέξει την $R_x, x = A, B, C$ σύσταση, και ακολουθώντας το μοντέλο των αυτομάτων μάθησης, αυτή η πιθανότητα ανανεώνεται σε κάθε γύρο ως εξής :

$$Pr_{i,x}(\tau + 1) = Pr_{i,x}(\tau) - b \cdot p_x(\tau) \cdot Pr_{i,x}(\tau), \quad x^{(\tau+1)} \neq x^{(\tau)} \quad (4.1\alpha')$$

$$Pr_{i,x}(\tau + 1) = Pr_{i,x}(\tau) + b \cdot p_x(\tau) \cdot (1 - Pr_{i,x}(\tau)), \quad x^{(\tau+1)} = x^{(\tau)} \quad (4.1\beta')$$

όπου το $b, 0 < b < 1$ είναι μια παράμετρος που ελέγχει τον χρόνο σύγκλισης της διαδικασίας.

Η εξίσωση (4.1α') παριστάνει την πιθανότητα που έχει ο επισκέπτης να διαλέξει στο $(\tau + 1)$ μια σύσταση διαφορετική από αυτή που έχει στο (τ) ενώ η εξίσωση (4.1β') περιγράφει την πιθανότητα ο επισκέπτης να συνεχίσει να προτιμά την ίδια σύσταση, δηλαδή $x^{(\tau+1)} = x^{(\tau)}$.

Όσο αφορά στην αρχικοποίηση των πιθανοτήτων επιλογής της κάθε σύστασης, ελλείψει κάποιας πρότερης γνώσης περί της προσωπικής προτίμησης για τον κάθε επισκέπτη, ο αλγόριθμος αρχικά θεωρεί ισοπίθानα όλα τα ενδεχόμενα, συνεπώς για κάθε επισκέπτη θα έχουμε $Pr_{i,x}(\tau = 0) = 1/3$. Τέλος επισημαίνουμε ότι ο κάθε επισκέπτης συγκλίνει στην σύσταση που μπορεί να αντισταθμίσει το κόστος της αναμονής τους στην ουρά καθώς και τους περιορισμούς στους χρόνους επίσκεψης που έχει ο καθένας.

4.3 Βέλτιστος Χρόνος Επίσκεψης ως Παίγνιο

Δεδομένης της επιλογής σύστασης, κάθε επισκέπτης $i, i \in \mathcal{N}$, έχει ως σκοπό την επιλογή του βέλτιστου χρόνου επίσκεψης που θα μεγιστοποιεί την ΠτΕ του όπως αυτή εκφράζεται από την εξίσωση (3.2). Συνεπώς, το προαναφερθέν πρόβλημα μπορεί να εκφραστεί ως ένα καταναμημένο πρόβλημα μεγιστοποίησης της ΠτΕ ως προς τον χρόνο επίσκεψης ως :

$$\begin{aligned} & \max_{t_i} Q_i(t_i, t_{-i}), \\ \text{τ.ω. } & t_i^{Min} < t_i < t_i^{Max} \end{aligned} \quad (4.2)$$

$$\forall i \in \mathcal{N}, x = A, B, C,$$

$$y = a, b, f, g, \mathcal{N} = \mathcal{N}_a \cup \mathcal{N}_b \cup \mathcal{N}_f \cup \mathcal{N}_g$$

Λόγω του καταναμημένου χαρακτήρα του προβλήματος βελτιστοποίησης (4.2) καθώς και της ιδιοτελούς φύσης των επισκεπτών όσο αφορά στη βελτιστοποίηση της ΠτΕ τους, εφαρμόζεται μια προσέγγιση θεωρίας παιγνίων για τον καθορισμό του βέλτιστου χρόνου για κάθε

επισκέπτη $t^* = \{t_1^*, \dots, t_i^*, \dots, t_N^*\}$. Ας συμβολίσουμε ως $G = \{\mathcal{N}, T_i, Q_i\}$ το μη-συνεργατικό παίγνιο επιλογής χρόνου επίσκεψης, όπου \mathcal{N} είναι το σύνολο των παικτών, δηλαδή οι επισκέπτες του μουσείου, $T_i = [t_i^{Min}, t_i^{Max}]$ είναι ο χώρος στρατηγικής (strategy space) του i -οστού επισκέπτη και Q_i η αντίστοιχη συνάρτηση ΠτΕ αυτού του επισκέπτη. Προκειμένου να αποφανθούμε αναλυτικά για τη λύση του (4.1), θα ανακαλέσουμε την έννοια της ισορροπίας Nash. Για να είναι εξασφαλισμένη η ύπαρξη και μοναδικότητα της ισορροπίας Nash (IN), θα πρέπει να δείξουμε ότι η συνάρτηση Q_i του εκάστοτε επισκέπτη είναι οιονεί κοίλη συνάρτηση ως προς το t_i .

Ορισμός 4.3. Μια συνάρτηση Q_i ονομάζεται αυστηρά οιονεί κοίλη, εάν για κάθε ζεύγος διαφορετικών t_i και t'_i που ανήκουν στο κυρτό σύνολο T_i , και για $0 < \lambda < 1$:

$$Q_i(t'_i) > Q_i(t_i) \Rightarrow Q_i(\lambda \cdot t_i + (1 - \lambda) \cdot t'_i) > Q_i(t_i)$$

Σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό, κάθε κοίλη συνάρτηση είναι οιονεί κοίλη.

Θεώρημα 4.1. Η συνάρτηση συνδυασμένης ΠτΕ του επισκέπτη $i, i \in \mathcal{N}, \mathcal{N} = \mathcal{N}_a \cup \mathcal{N}_b \cup \mathcal{N}_f \cup \mathcal{N}_g$ είναι οιονεί κοίλη στο διάστημα στρατηγικής T'_i που αντιστοιχεί στο διάστημα του σχετικού λόγου χρόνων $rt_i \in (\frac{\ln M}{A}, rt_B)$, όπου $rt_B \in (\frac{\ln M_y}{A_y}, \frac{\ln 10^4 M_y}{A_y})$. Κατά συνέπεια το σημείο ισορροπίας Nash του παιγνίου $G = \{\mathcal{N}, T_i, Q_i\}$ υπάρχει και είναι μοναδικό στο αντίστοιχο διάστημα στρατηγικής.

Απόδειξη. Για την απόδειξη της οιονεί κοιλότητας της συνδυασμένης συνάρτησης ΠτΕ των επισκεπτών, θα εξετάσουμε το πρόσημο της δεύτερης παραγωγού ως προς t_i .

$$\frac{\partial^2 Q_i}{\partial t_i^2} = g(rt_i) + h(rt_i) - c_x N_x e^{t_i} \quad (4.3)$$

όπου

$$g(rt_i) = \frac{2Q_x}{t_i^3} (1 - e^{A_y rt_i})^{-M_y} [-M_y A_y e^{-A_y rt_i} rt_i + 1 - e^{-A_y rt_i}] \text{ και}$$

$$h(rt_i) = \frac{M_y A_y^2 Q_i}{t_i^3} (1 - e^{-A_y rt_i})^{-2M_y} e^{-A_y rt_i} rt_i^2 (M_y e^{-A_y rt_i} - 1)$$

Μελετάμε το πρόσημο των όρων της (4.3). Για τη συνάρτηση $g(rt_i)$, εφαρμόζουμε το Θεώρημα Bolzano, που είναι μια ειδική περίπτωση του Θεωρήματος Ενδιάμεσης Τιμής (Apostol 1967).

Για $rt_i = \frac{\ln M_y}{A_y}$, έχουμε: $g\left(rt_i = \frac{\ln M_y}{A_y}\right) = -\ln M_y - \frac{1}{M_y} + 1 < 0$ και

για $rt_i = \frac{\ln 10^4 M_y}{A_y}$ έχουμε: $g\left(rt_i = \frac{\ln 10^4 M_y}{A_y}\right) = -\frac{\ln 10000 M_y}{10000} - \frac{1}{10000 M_y} + 1 > 0, \forall M_y \in (1, 1000)$.

Συνεπώς υπάρχει ένα $rt_B \in (\frac{\ln M_y}{A_y}, \frac{\ln 10^4 M_y}{A_y})$ τέτοιο ώστε $g(rt_i) = 0$. Δεδομένου ότι η $g(rt_i)$ είναι συνεχής ως προς rt_i , συμπεραίνουμε πως

$$g(rt_i) < 0, \forall rt_i \in \left(\frac{\ln M_y}{A_y}, rt_B\right) \quad (4.4)$$

Για τον δεύτερο όρο της (4.3), έχουμε

$$h(rt_i) < 0 \iff rt_i > \frac{\ln M_y}{A_y} \quad (4.5)$$

Ο τρίτος όρος της (4.3) είναι πάντα αρνητικός $\forall rt_i > 0$. Χρησιμοποιώντας τις (4.4) και (4.5), ορίζουμε το διάστημα όπου $\frac{\partial^2 Q_i}{\partial t_i^2} < 0$:

$$rt_i \in \left(\frac{\ln M_y}{A_y}, rt_B \right) \quad (4.6)$$

όπου $rt_B \in \left(\frac{\ln M_y}{A_y}, \frac{\ln 10^4 M_y}{A_y} \right)$. ■

Εξ'ορισμού η ισορροπία Nash του μη-συνεργατικού παιγνίου θα πρέπει να ικανοποιεί την

$$t_i^* = BR_i(\mathbf{t}) = \operatorname{argmax} Q_i(t_i, \mathbf{t}_{-i}) \quad (4.7)$$

όπου το $BR_i(\mathbf{t})$ συμβολίζει την συνάρτηση καλύτερης απόκρισης του κάθε επισκέπτη $i, i \in \mathcal{N}, \mathcal{N} = \mathcal{N}_a \cup \mathcal{N}_b \cup \mathcal{N}_f \cup \mathcal{N}_g$. Οι επισκέπτες υιοθετούν την καλύτερη απόκριση και το παίγνιο $G = \{\mathcal{N}, T_i, Q_i\}$ συγκλίνει στο σημείο ισορροπίας Nash, δηλαδή το διάνυσμα $\mathbf{t}^* = \{t_1^*, \dots, t_i^*, \dots, t_N^*\}$, εάν η συνάρτηση καλύτερης απόκρισης του εκάστοτε επισκέπτη είναι τυπική.

Μια συνάρτηση χαρακτηρίζεται ως τυπική εάν πληρεί τις εξής προϋποθέσεις: (α) είναι θετική, (β) είναι μονότονη και (γ) είναι κλιμακώσιμη για κάθε $\mathbf{t} \geq 0$, όπου $\mathbf{t} = \{t_1, \dots, t_i, \dots, t_N\}$. Αυτές οι ιδιότητες μπορούν εύκολα να επαληθευτούν για την $BR_i(\mathbf{t})$ στο μη-συνεργατικό παίγνιο χρόνου επίσκεψης αφού :

- i (Θετική) $\mathbf{t} > 0$ και άρα $BR_i(\mathbf{t}) > 0$
- ii (Μονότονη) εάν $\mathbf{t}' \geq \mathbf{t}$ τότε λόγω της (4.7) έχουμε $BR_i(\mathbf{t}') \geq BR_i(\mathbf{t})$
- iii (Κλιμάκωση) για κάθε $\mu > 1$ λόγω της (4.7) $\mu BR_i(\mathbf{t}) \geq BR_i(\mu \mathbf{t})$

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η καθολική σύγκλιση του μη-συνεργατικού παιγνίου διαχείρισης χρόνου στο σημείο ισορροπίας Nash, υπό την προτεινόμενη συνάρτηση καλύτερης απόκρισης (4.7), είναι εξασφαλισμένη.

4.4 Ενοποίηση και σχηματισμός του Αλγορίθμου

Έχοντας αναλύσει τα δύο μέρη του αλγορίθμου που θα λύσει το πρόβλημα RSVTM, στην παρούσα ενότητα θα παρουσιάσουμε τον αλγόριθμο που υλοποιεί την επίλυση του προβλήματος. Στόχος του αλγορίθμου είναι η επιλογή μιας σύστασης καθώς και μιας τιμής χρόνου επίσκεψης για κάθε επισκέπτη. Ο αλγόριθμος αυτός είναι σχεδιασμένος να εκτελείται σε φορητές συσκευές που οι επισκέπτες θα μπορούν να μεταφορτώνουν δωρεάν στα smartphones τους. Το πρώτο μέρος του αλγορίθμου είναι βασισμένο στο πλαίσιο μηχανικής μάθησης και είναι υπεύθυνο για τον καθορισμό της σύστασης για κάθε επισκέπτη. Το δεύτερο μέρος είναι

υπεύθυνο για την επιλογή του βέλτιστου χρόνου επίσκεψης στο μουσείο, με την κατανεμημένη μέθοδο που περιγράψαμε στην ενότητα (4.3). Σημειώνουμε εδώ πως ο αλγόριθμος εκτελείται για πολλές χρονοσχισμές τ (πολύ μικρής διάρκειας) και για κάθε μια από αυτές τις χρονοσχισμές τ , το δεύτερο κομμάτι του αλγορίθμου, δηλαδή αυτό της επιλογής του βέλτιστου χρόνου επίσκεψης, εκτελείται για πολλαπλές επαναλήψεις μέχρι να συγκλίνει ικανοποιητικά στον βέλτιστο χρόνο για όλους τους επισκέπτες.

Ο αλγόριθμος αυτός μπορεί να επαναληφθεί κάθε φορά που ένας καινούριος επισκέπτης φθάνει στο μουσείο, παίρνοντας υπόψη τις επιλογές όλων των υπόλοιπων επισκεπτών που ήδη βρίσκονται στο μουσείο. Η περιγραφή του αλγορίθμου που ακολουθεί αφορά την εκτέλεση κατά την ώρα ανοίγματος του μουσείου στο κοινό, όπου υποθέτουμε πως δεν υπάρχουν ήδη επισκέπτες μέσα σε αυτό.

Algorithm 1 Recommendation Selection and Visiting Time Management

```

1: function VTM( $\mathbf{R}$ )                                     ▷ Visiting Time Management
2:   choose  $\epsilon$  adequately small
3:    $t_i^{(0)} \leftarrow t_i^{Min}, \forall i \in \mathcal{N}$ 
4:    $t_i^{(1)} \leftarrow t_i^{Min} + 2\epsilon, \forall i \in \mathcal{N}$ 
5:    $ite \leftarrow 1$ 
6:   while  $\exists i \in \mathcal{N} : |t_i^{(ite)} - t_i^{(ite-1)}| > \epsilon$  do
7:     determine  $\sum_{\substack{j \in \mathcal{N} \\ j \neq i}} t_j, \forall i \in \mathcal{N}$ 
8:     select new optimal time  $t_i^{(ite)}$  via eq. (4.7),  $\forall i \in \mathcal{N}$ 
9:      $ite \leftarrow ite + 1$ 
10:  end while
11:  Let vector  $\mathbf{t}^*$  contain the optimal  $t_i^{(ite-1)}$  values
12:  Let vector  $\mathbf{QoE}$  contain the optimal QoE values
13:  return ( $\mathbf{t}^*, \mathbf{QoE}$ )
14: end function
15:
16:
17:  $Pr_{i,x}(\tau = 0) = \frac{1}{3}, \forall i \in \mathcal{N}, x = A, B, C$                                      ▷ Initialization
18: Select a recommendation based on  $Pr_{i,x}(\tau = 0), \forall i \in \mathcal{N}$ 
19: Let  $\mathbf{R}$  be the vector that contains each visitor's recommendation
20: choose  $\epsilon$  adequately small
21: while  $\exists i \in \mathcal{N} : \max_{x=A,B,C} (Pr_{i,x}) < (1 - \epsilon)$  do
22:   ( $\mathbf{t}^*, \mathbf{QoE}$ ) = VTM( $\mathbf{R}$ )
23:   calculate reward probability for each recommendation based on eq. (3.3)
24:   calculate the new selection probabilities based on eq. (4.1)  $\forall i \in \mathcal{N}$ .
25:    $\mathbf{R} \leftarrow$  select a new recommendation from  $Pr_i(\tau + 1), \forall i \in \mathcal{N}$ 
26: end while

```

Θα πρέπει να διευκρινίσουμε πως ο αλγόριθμος RSVTM μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένας αλγόριθμος χαμηλής πολυπλοκότητας, λόγω της απλότητας των υπολογισμών που εκτελεί (πράξεις κλειστής μορφής). Επίσης, όπως θα δείξουμε και στο επόμενο κεφάλαιο ο αλγόριθμος συγκλίνει γρήγορα ως προς τον απαιτούμενο αριθμό χρονοσχιμών τ . Η μόνη πληροφορία που πρέπει να παρέχει ο επισκέπτης είναι οι περιορισμοί για τον χρόνο επίσκεψης, δηλαδή τα t_i^{Min} και t_i^{Max} . Με το πέρας της εκτέλεσης του αλγορίθμου, ανακοινώνεται στους επισκέπτες ποια σύσταση να λάβουν για την περιήγησή τους στο μουσείο καθώς και τον βέλτιστο χρόνο επίσκεψης προκειμένου να βελτιστοποιήσουν την ΠτΕ τους.

Πειραματική Αξιολόγηση

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε την αξιολόγηση του αλγορίθμου. Θα μελετήσουμε τη σημασία των διάφορων παραμέτρων για το σύστημα που μελετάμε, καθώς και την επίδρασή τους στις λύσεις που δίνει ο αλγόριθμος.

5.1 Παράμετροι αξιολόγησης

Η είσοδος του αλγορίθμου απαρτίζεται από τα εξής:

- Το πεδίο στρατηγικής, $[T_i^{min}, T_i^{max}]$. Παριστάνει τον ελάχιστο και μέγιστο χρόνο που διατίθεται να αφιερώσει στο μουσείο ο επισκέπτης $i \in N$.
- Οι τιμές κόστους $c_x, x = A, B, C$ της κάθε σύστασης
- Οι τιμές ΠτΕ $Q_x, x = A, B, C$ της κάθε σύστασης
- Το σύνολο των επισκεπτών N
- Τον τύπο επίσκεψης του κάθε επισκέπτη $y_i = a, b, f, g$
- Την δύναμη k της πληθικής παραμέτρου συμφόρησης N_x^k
- Τις τέσσερις συναρτήσεις αποτελεσματικότητας επίσκεψης f

Με την εκτέλεση του αλγορίθμου λαμβάνουμε ως αποτέλεσμα τρεις τιμές για κάθε επισκέπτη:

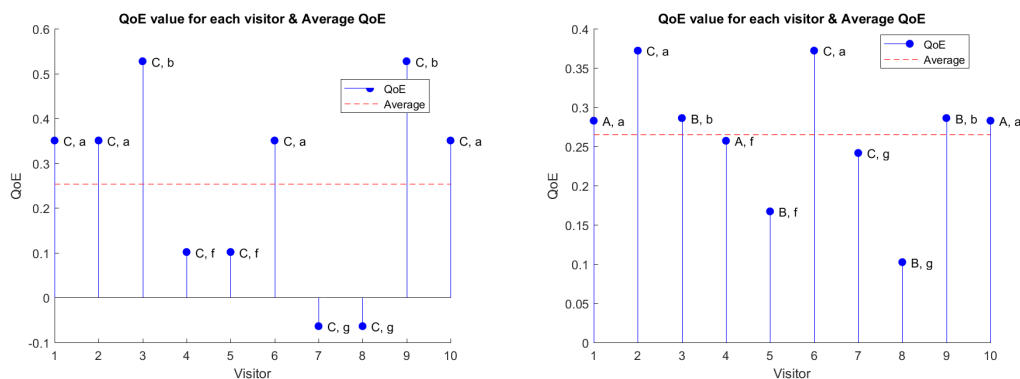
- Τη σύσταση R_i που διαλέγει ο επισκέπτης
- Την τιμή της ΠτΕ του κάθε επισκέπτη
- Τον προτεινόμενο χρόνο επίσκεψης του κάθε επισκέπτη

Συνεπώς προκειμένου να αξιολογήσουμε την ορθότητα των αποτελεσμάτων του αλγορίθμου θα παρατηρήσουμε τις τρεις αυτές εξόδους για κάθε σενάριο. Επιπλέον θα αξιολογήσουμε

την χρονική απόδοση του αλγορίθμου ανάλογα με την αύξηση του πλήθους των επισκεπτών καθώς και με την αλλαγή της παραμέτρου σύγκλισης b στο μοντέλο μηχανικής μάθησης (Σχέσεις 4.1).

5.2 Αξιολόγηση της τελικής επιλογής σύστασης

Προκειμένου να αξιολογήσουμε τα αποτελέσματα του αλγορίθμου όσο αφορά την ανάθεση σύστασης σε κάθε επισκέπτη, μελετήσαμε αρχικά ένα σύστημα με δέκα ($N = 10$) επισκέπτες. Στα δύο διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η τελική τιμή της ΠτΕ για τον κάθε επισκέπτη:



α': Εξαναγκασμένη ανάθεση συστάσεων

β': Συστάσεις από τον αλγόριθμο RSVTM

Σχήμα 5.1: Δυο σενάρια συστάσεων για δέκα επισκέπτες

Πάνω από κάθε τιμή έχουμε σημειώσει ένα ζεύγος (R, y) . Το R παριστάνει την τελική σύσταση που επιλέχθηκε για τον επισκέπτη i ενώ το y είναι ο τύπος του επισκέπτη (a(pt), b(utterfly), f(ish), g(rasshopper)).

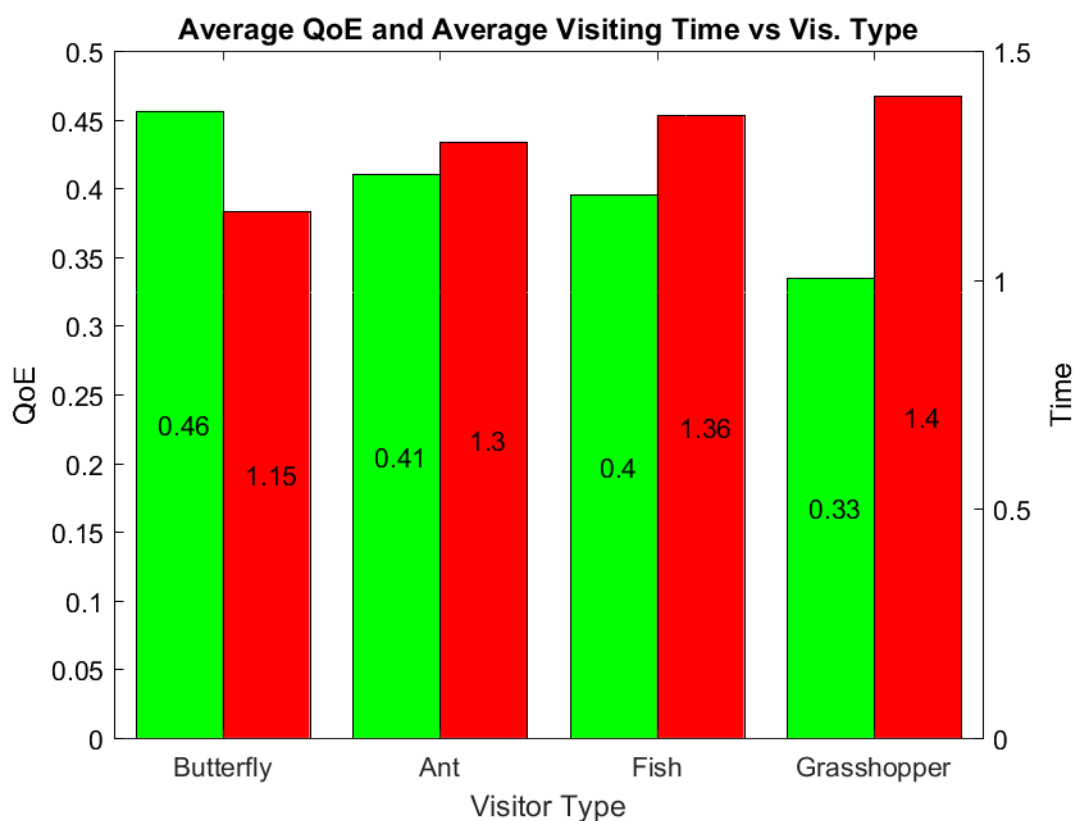
Το σχήμα 5.1α' είναι το αποτέλεσμα του παιχνιδιού εάν παραλείπαμε το κομμάτι μηχανικής μάθησης και αναθέταμε σε όλους τους επισκέπτες την φαινομενικά καλύτερη σύσταση (σύσταση C). Το σχήμα 5.1β' είναι το αποτέλεσμα του αλγορίθμου RSVTM για τις ίδιες παραμέτρους.

Συγκρίνοντας τα δύο παραπάνω διαγράμματα, παρατηρούμε πως ο αλγόριθμος έχει αποφύγει την ανάθεση της καλύτερης σύστασης σε όλους τους χρήστες και έχει αναθέσει τις συστάσεις έτσι ώστε να είναι, κατά το δυνατό, όλοι οι επισκέπτες ικανοποιημένοι. Επίσης παρατηρούμε πως ο αλγόριθμος οδηγεί σε τιμές ΠτΕ που αποφεύγουν την υπερβολική ικανοποίηση αλλά και την υπερβολική δυσαρέσκεια, φέρνοντας τα επίπεδα ικανοποίησης των επισκεπτών κοντά στη μέση τιμή. Επιπλέον, τόσο στο σχήμα 5.1β' όσο και σε όλα τα αποτελέσματα που πήραμε, οι επισκέπτες - μυρμηγκία καθώς και οι πεταλούδες βρίσκονται πάντα ανάμεσα στους πιο ικανοποιημένους. Αυτό επιβεβαιώνει το γεγονός ότι αυτοί οι δύο τύποι επισκεπτών παρουσιάζουν την μεγαλύτερη υπομονή, τόσο στις ουρές αναμονής όσο και στη διάρκεια της επίσκεψής τους.

Τέλος η επίδραση του συνωστισμού φαίνεται να μην στο διάγραμμα α' αλλά εάν παρατηρήσουμε προσεκτικά είναι εμφανής και στο β'. Πιο συγκεκριμένα, παίρνοντας ως παράδειγμα τους επισκέπτες 4 και 5 στο διάγραμμα β', παρατηρούμε πως μια «καλύτερη» σύσταση δεν συνεπάγεται και καλύτερη ΠτΕ. Οι επισκέπτες 4 και 5 είναι τύπου ψαριού και ενώ ο 4 έχει πάρει σύσταση Α που είναι απλούστερη της Β έχει εντούτοις καλύτερη ΠτΕ από τον 5. Αυτό γιατί για τη σύσταση Α η ουρά είναι μόνο τρεις επισκέπτες ενώ για την Β είναι τέσσερις. Συνεπώς, επειδή οι επισκέπτες τύπου ψαριού είναι εξ' ορισμού ανυπόμονοι, ο 4 έχει λιγότερη αναμονή άρα και περισσότερη ικανοποίηση.

5.3 Μέση ΠτΕ και μέσος χρόνος επίσκεψης

Για την ενότητα αυτή θεωρήσαμε ένα σύστημα με εκατό ($N = 100$) επισκέπτες ισοκατανομημένους ως προς τους τέσσερις τύπους επίσκεψης (25 επισκέπτες ανά τύπο). Το διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζει το αποτέλεσμα της μέσης τιμής ΠτΕ και χρόνου επίσκεψης για καθένα από τους τύπους επίσκεψης.



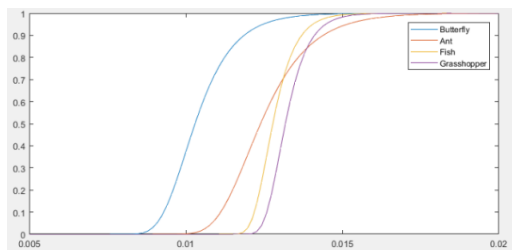
Σχήμα 5.2: Μέσες τιμές ΠτΕ και χρόνου επίσκεψης ανά τύπο επισκέπτη

Τα αποτελέσματα είναι αντιπροσωπευτικά της επιλογής των συναρτήσεων αποτελεσματικότητας επίσκεψης (ΣΑΕ) που παρουσιάσαμε στο σχήμα 3.1. Πιο συγκεκριμένα οι επισκέπτες τύπου πεταλούδας και μυρμηγκιού έχουν τη μεγαλύτερη ΠτΕ, ενώ οι πιο δύσκολοι στην ι-

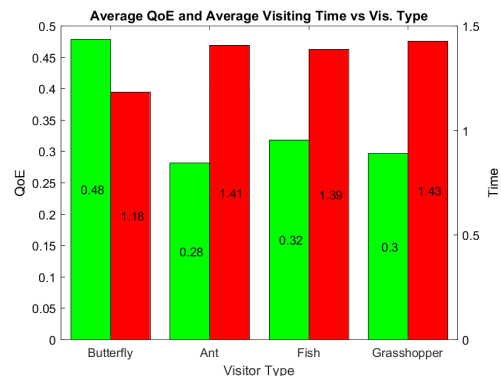
κανοποίηση τύποι ψαριού και ακρίδας έχουν τη μικρότερη ΠτΕ. Οι χρόνοι επίσκεψης είναι επίσης τυπικοί της κατανομής που δίνουν οι ΣΑΕ. Αυτό διότι τα σημεία θλάσης των συναρτήσεων είναι προοδευτικά δεξιότερα για τον κάθε τύπο επισκέπτη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η καλύτερη τιμή ΠτΕ να βρίσκεται σε μεγαλύτερη τιμή χρόνου.

Επιπλέον, λόγω του τρόπου με τον οποίο είναι διαμορφωμένο το σύστημα διαχείρισης του χρόνου επίσκεψης, είναι φανερό ότι όσο περισσότερο χρόνο επιλέγει το σύνολο των επισκεπτών να παραμείνει στον χώρο, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η ποινή στην ΠτΕ. Αυτό είναι βασικό επακόλουθο της σχέσης 3.1 για τον σχετικό λόγο χρόνων επίσκεψης που εκφράζει τη συμφύρωση λόγω αναμονής. Βέβαια, εξίσου σημαντική επίδραση είναι και αυτή της χωρικής συμφύωσης N_x^k , η οποία εκφράζει τη συμφύρωση λόγω πλήθους.

Το παραπάνω αποτέλεσμα φανερώνει την εξαιρετική σημασία που έχουν οι ΣΑΕ στην παραμετροποίηση του προβλήματος καθώς και στη μοντελοποίηση των ειδών επισκεπτών. Ως επιπλέον παράδειγμα που ενισχύει αυτή την επεξήγηση, παραθέτουμε το αποτέλεσμα για μια πιο ιδιαίτερη τοποθέτηση των ΣΑΕ, που τηρεί τη διάταξη των σημείων θλάσης ($rt_i^{target,b} < rt_i^{target,a} < rt_i^{target,f} < rt_i^{target,g}$) με τη διαφορά ότι έχουμε μεταβάλλει τη συνάρτηση των μυρμηγκιών ώστε αυτά να είναι πιο δύσκολα στην ικανοποίησή τους. Βλέπουμε λοιπόν ότι τα μυρμηγκία πλέον διαλέγουν μικρότερους χρόνους επίσκεψης και έχουν χειρότερη ΠτΕ από την απλή διάταξη των ΣΑΕ.



α': Συναρτήσεις αποτελεσματικότητας επίσκεψης



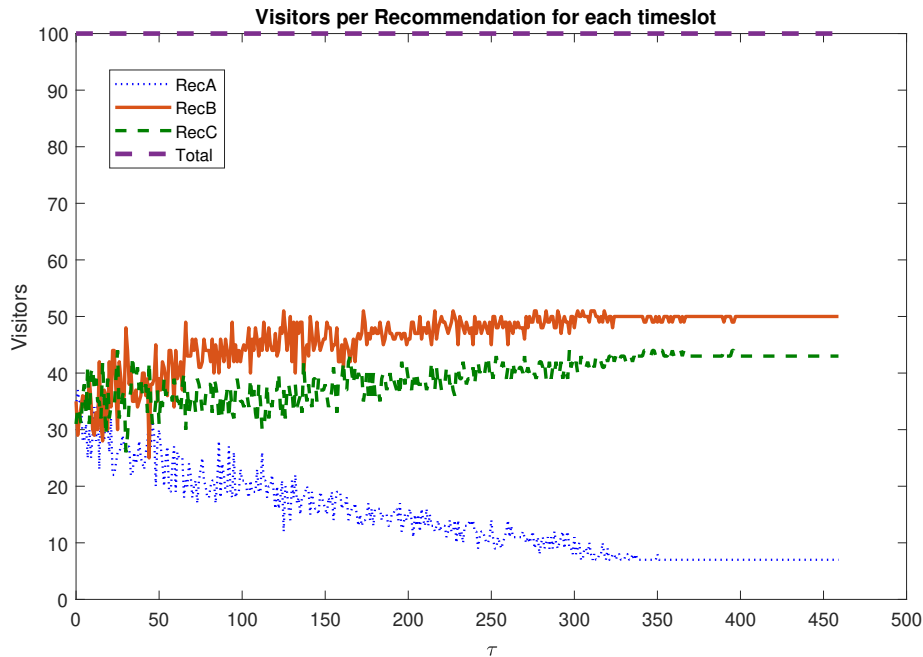
β': Μέσες τιμές ΠτΕ και χρόνου επίσκεψης

Συμπερασματικά, οι συναρτήσεις αποτελεσματικότητας επίσκεψης αποτελούν την βασική παραμετροποίηση του αλγορίθμου που κωδικοποιεί τη συμπεριφορά των τεσσάρων ειδών επίσκεψης. Αλλαγή των ΣΑΕ με συγκεκριμένο τρόπο έχει και διαφορετικό αντίκτυπο στη συμπεριφορά του εκάστοτε είδους επισκέπτη. Είδαμε πως η αλλαγή της κλήσης κάνει ένα είδος ευκολότερα (οξύτερη κλίση) ή δυσκολότερα ικανοποιήσιμο ως προς την ΠτΕ. Επιπλέον η μετατόπιση μιας ΣΑΕ προς τα δεξιά συνεπάγεται μεγαλύτερο χρόνο επίσκεψης προκειμένου να ικανοποιηθεί το εκάστοτε είδος επισκέπτη. Από την άλλη η αριστερή μετατόπιση συνεπάγεται μικρότερο χρόνο ικανοποίησης. Βέβαια, σε τέτοιες ρυθμίσεις των ΣΑΕ, πρέπει πάντα να τηρούμε τη διάταξη των σημείων θλάσης. Έτσι ενδεχομένως η μετατόπιση ενός είδους να μας ωθήσει στην μετατόπιση και των υπολοίπων που μπορεί ενδεχομένως να μας οδηγήσει ασύμφορους χρόνους επίσκεψης, σε τέτοιο σημείο που να θυσιάζουμε τη σύγκλιση του κομματιού

Βέλτιστου Χρόνου Επίσκεψης και κατέπεκταση όλου του αλγορίθμου.

5.4 Ανάθεση συστάσεων κατά την εκτέλεση

Συνεχίζουμε τη μελέτη στο σύστημα των εκατό επισκεπτών και μελετάμε πώς ο αλγόριθμος αναθέτει συστάσεις κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζουμε το σύνολο των επισκεπτών που έχουν επιλέξει την κάθε σύσταση όσο προοδεύουν οι χρονοσχισμές τ του κομματιού μηχανικής μάθησης του αλγορίθμου.



Σχήμα 5.4: Πρόοδος επιλογής συστάσεων κατά την εκτέλεση

Όπως φαίνεται στο παραπάνω Σχήμα 5.4, το παίγνιο στα αρχικά στάδια είναι πιο ενεργό καθώς ο βρόχος της μηχανικής μάθησης ωθεί τους επισκέπτες σε συχνή αναθεώρηση της επιλογής σύστασής τους. Στη συνέχεια οι αλλαγές μειώνονται και οι επισκέπτες καταλήγουν με βεβαιότητα στην τελική τους σύσταση. Παρατηρούμε επίσης πως ο αριθμός των επαναλήψεων είναι σχετικά μικρός, πράγμα το οποίο συνεπάγεται και μικρό χρόνο εκτέλεσης, όπως θα τεκμηριώσουμε και στην επόμενη ενότητα.

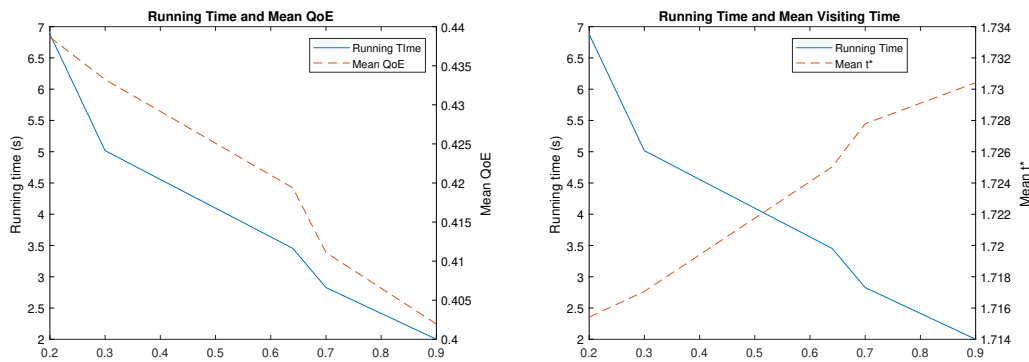
Επιπλέον παρατηρούμε πως στην περιοχή χρονοσχισμών ανάμεσα στο 50-70, φαίνεται η απόκριση του αλγορίθμου σε κυριαρχία μιας σύστασης όπου, για εκείνο το στιγμιότυπο, ωθεί την αναθεώρηση των συστάσεων στον επόμενο γύρο τ της επανάληψης μηχανικής μάθησης, όπως περιγράψαμε στην ενότητα 5.3.

Αξίζει να σημειωθεί πως στα σενάρια που εξετάσαμε θεωρήσαμε πως το σύστημα των επισκεπτών δεν δέχεται επιπλέον επισκέπτες. Συνεπώς η σταθεροποίηση που παρατηρούμε είναι οριστική. Εάν όμως το σύστημα δεχόταν καινούριους επισκέπτες κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου η σταθεροποίηση αυτή θα έπαυε με την είσοδο των νέων επισκεπτών και θα

επανερχόταν, και μάλιστα πολύ πιο σύντομα. Αυτό διότι όπως δείξαμε και στην ενότητα 4.3, το σημείο ισορροπίας υπάρχει και είναι εξασφαλισμένο.

5.5 Αξιολόγηση της παραμέτρου σύγκλισης b

Η παράμετρος σύγκλισης b που εισάγαμε στις σχέσεις 4.1, παριστάνει το βήμα ανανέωσης των πιθανοτήτων για τα αυτόματα μάθησης. Η ανανέωση γίνεται με μεγαλύτερο βήμα όσο η παράμετρος αυτή αυξάνεται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η εκτέλεση του αλγορίθμου να είναι γρηγορότερη, με τίμημα όμως την ακρίβεια στα αποτελέσματα. Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζουμε, συναρτήσει του b , τον χρόνο εκτέλεσης σε συνδυασμό με διάφορες μετρικές αξιολόγησης της επίδοσης του αλγορίθμου.

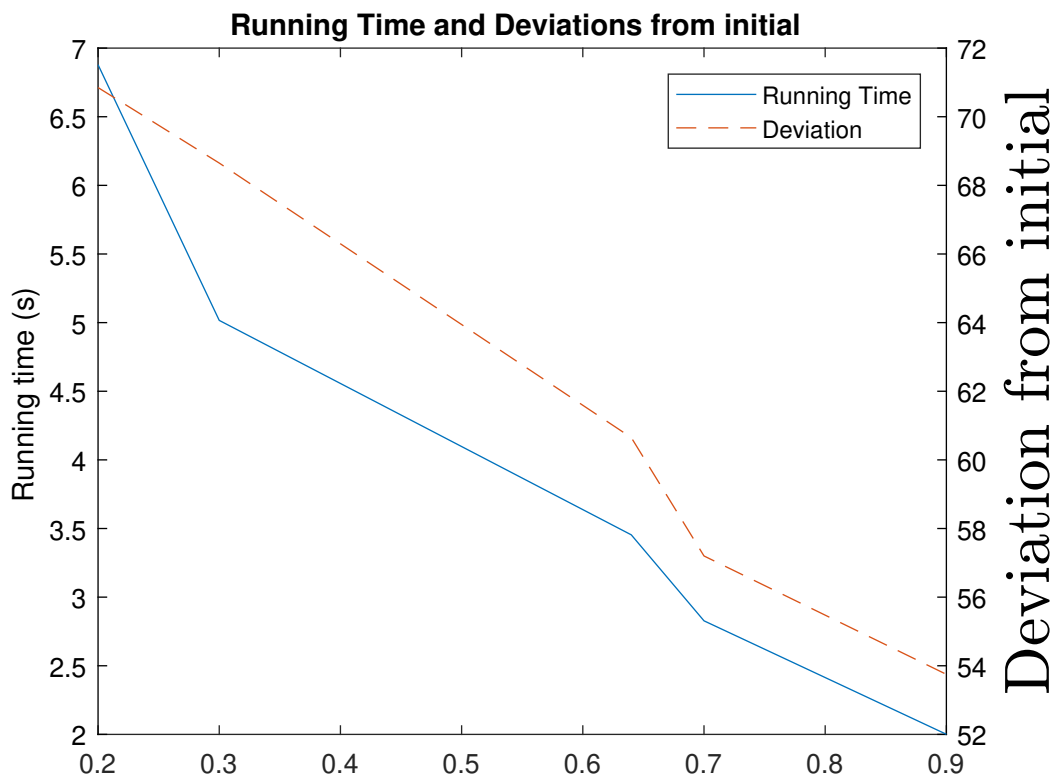


α': Χρονος εκτέλεσης και μέση ΠτΕ συναρτήσει b

β': Χρονος εκτέλεσης και μέσος χρόνος επίσκεψης συναρτήσει b

Σχήμα 5.5: ΠτΕ και χρόνος επίσκεψης συναρτήσει της παραμέτρου b

Αρχικά παρατηρούμε πως ο χρόνος εκτέλεσης του αλγορίθμου για το σύστημα των εκατό επισκεπτών μας ακόμα και για μικρό b είναι γρήγορος, της τάξης μερικών δευτερολέπτων. Παρατηρούμε όμως ότι καθώς το b αυξάνεται, η απόδοση του αλγορίθμου επιδεινώνεται. Η γρήγορη ανανέωση των πιθανοτήτων συγκλίνει το σύστημα γρηγορότερα, αλλά μας οδηγεί σε χειρότερα αποτελέσματα όσο αφορά τη συνολική ικανοποίηση των επισκεπτών (σχήμα 5.5α'). Παράλληλα, βλέπουμε πως ο αλγόριθμος καταλήγει σε μεγαλύτερο χρόνο επίσκεψης, γεγονός που επιδεινώνει την ΠτΕ ειδικά στους τύπους επισκεπτών με μικρή ανεκτικότητα στην αναμονή, όπως οι ακρίδες και τα ψάρια. Συνεπώς καταλήγουμε πως θα πρέπει να επιλεχθεί μια τιμή της παραμέτρου σύγκλισης που δίνει συνεπή αποτελέσματα σε λογικό χρόνο εκτέλεσης (σχήμα 5.5β').



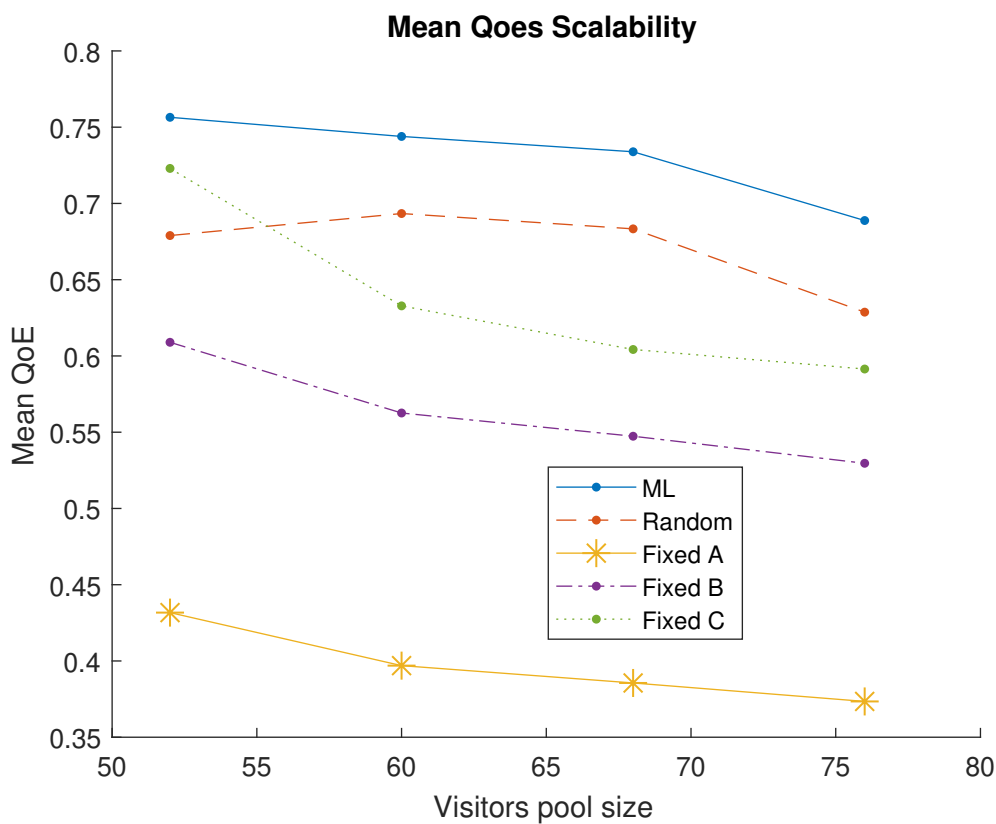
Σχήμα 5.6: Απόκλιση από την αρχική σύσταση

Στο σχήμα 5.6 βλέπουμε τον αριθμό των επισκεπτών για τους οποίους η τελική σύσταση ήταν διαφορετική από την αρχική. Το γεγονός ότι στις χαμηλές τιμές b , περισσότεροι επισκέπτες τελικά αναθεώρησαν την επιλογή σύστασης τους, σημαίνει πως το μικρότερο βήμα ανανέωσης ωθεί τους επισκέπτες στην εξερεύνηση περισσότερων επιλογών για την τελική τους σύσταση καθώς η μηχανική μάθηση είναι πιο δυναμική. Σε αντίθεση, στις μεγαλύτερες τιμές b η πλειονότητα των επισκεπτών δεν προλαβαίνει να αναθεωρήσει την επιλογή σύστασης καθώς οι πιθανότητες των αυτομάτων μάθησης συγκλίνουν γρηγορότερα.

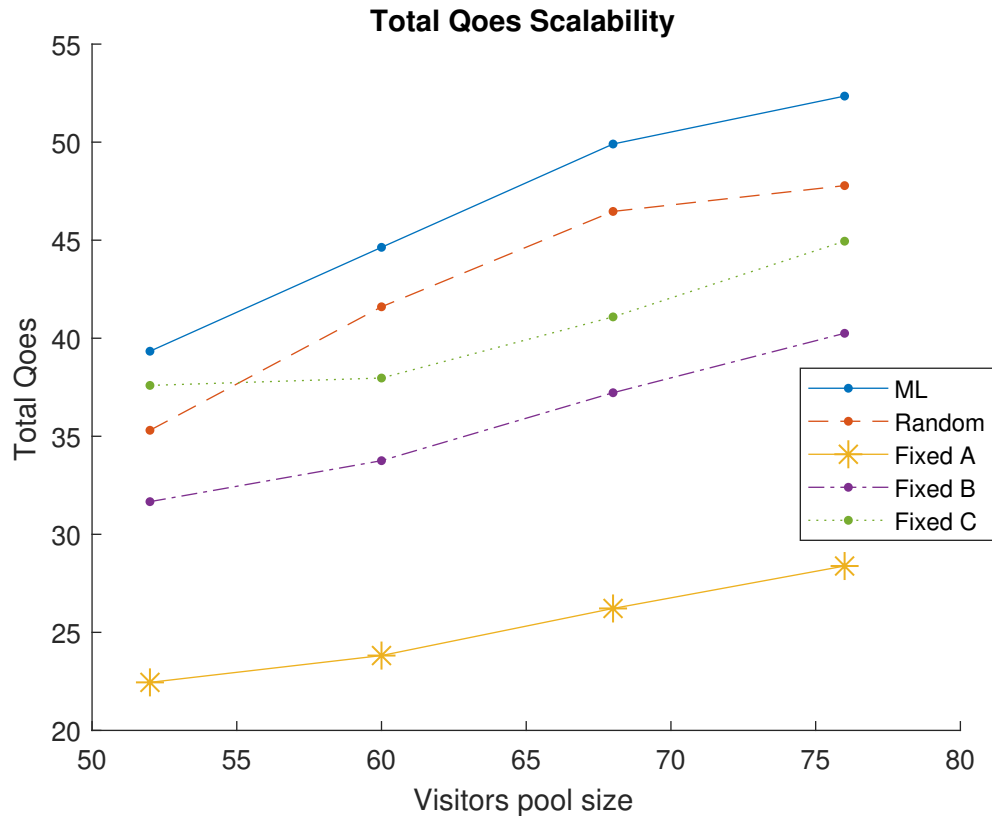
Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα πως η παρουσία του βρόχου μηχανικής μάθησης είναι εξαιρετικά σημαντική για τη λειτουργία του αλγορίθμου. Χωρίς τη θεώρηση των επισκεπτών ως αυτόματα μάθησης, δεν θα υπήρχε αυτός ο βρόχος ανάδρασης που επιτρέπει στον αλγόριθμο να δει το σύστημα ως σύνολο. Ο βρόχος της μηχανικής μάθησης είναι αυτός που επιτρέπει την απαλοιφή τέτοιων ανομοιόμορφων λύσεων. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση που συναντηθεί μια εσωτερική κατάσταση όπως αυτή του 5.1α', η τιμή του παράγοντα διεύθυνσης p_x στον γραμμικό νόμο ανανέωσης των πιθανοτήτων 4.1 θα δώσει στην σύσταση C μια πολύ μικρή τιμή. Κατά συνέπεια στην επόμενη επανάληψη του προβλήματος εύρεσης βέλτιστου χρόνου επίσκεψης, πολλοί επισκέπτες θα έχουν ωθηθεί μακριά από τη σύσταση C. Έτσι λοιπόν, ο αλγόριθμος έχει αποφύγει αυτή τη μη επιθυμητή έκβαση.

5.6 Απόδοση του αλγορίθμου σε σχέση με το πλήθος επισκεπτών

Καταλήγοντας την ενότητα των πειραματικών αποτελεσμάτων, δίνουμε την τιμή της μέσης ΠτΕ για ίδιες παραμέτρους σε διαφορετικά μεγέθη του συνόλου των επισκεπτών. Σημειώνουμε πως οι επισκέπτες παραμένουν ισοκαταναμημένοι στους τέσσερις τύπους σε όλα τα παρακάτω μεγέθη N . Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μέση τιμή της τελικής ΠτΕ που επιτεύχθηκε, μέσω του RSVTM σε σύγκριση με τέσσερις άλλες μεθόδους ανάθεσης συστάσεων : Τυχαία ανάθεση σύστασης σε κάθε επισκέπτη, ανάθεση της σύστασης C σε κάθε επισκέπτη, ανάθεση της σύστασης B σε κάθε επισκέπτη και ανάθεση της σύστασης A σε κάθε επισκέπτη.



Σχήμα 5.7: Μέση ΠτΕ συναρτήσει μεγέθους του συνόλου επισκεπτών



Σχήμα 5.8: Συνολική ΠτΕ συναρτήσει μεγέθους του συνόλου επισκεπτών

Το σχήμα 5.7 παριστάνει τη μέση τιμή ΠτΕ της τελικής έκβασης ενώ το 5.8 τη συνολική ΠτΕ, συναρτήσει του μεγέθους του συνόλου των επισκεπτών. Διαπιστώνουμε πως ο αλγόριθμος έχει καλύτερη απόδοση από κάθε εναλλακτικό τρόπο ανάθεσης συστάσεων. Επίσης παρατηρούμε πως όσο το σύνολο των επισκεπτών αυξάνει, η μέση τιμή στην οποία σταθεροποιείται το παίγνιο, μειώνεται. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς μεγαλύτερο σύνολο επισκεπτών συνεπάγεται μεγαλύτερο συνωστισμό στις ουρές αναμονής για τη λήψη των συστάσεων. Παράλληλα όμως βλέπουμε πως το άθροισμα των ΠτΕ όλων των επισκεπτών αυξάνεται, γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως η μείωση της μέσης ΠτΕ δεν οδηγεί σε ανυπόφορα για τους επισκέπτες αποτελέσματα, αλλά απλώς το σημείο ισορροπίας, για τις συγκεκριμένες παραμέτρους εισόδου, βρίσκεται χαμηλότερα.

Στο κεφάλαιο αυτό θα συνοψίσουμε τα συμπεράσματα της μελέτης της παρούσας διπλωματικής, αξιολογώντας τις παραμέτρους που υπεισέρχονται στο πρόβλημα της Επιλογής Συστάσεων και του Βέλτιστου Χρόνου Επίσκεψης. Επιπλέον προτείνουμε επεκτάσεις και βελτιώσεις στο πρόβλημα αυτό για μελλοντικές μελέτες.

6.1 Σύνοψη και συμπεράσματα

Ο αλγόριθμος RSVTM αποτελεί μια καινοτόμα προσπάθεια στο πεδίο των εκθεσιακών χώρων. Δίνει ένα εργαλείο με το οποίο τα μουσεία μπορούν να διανθίσουν την ποιότητα της εμπειρίας των χρηστών με τρόπο εμπειριστατωμένο και προσαρμόσιμο. Η απλότητα της υλοποίησης καθώς και η χαμηλή υπολογιστική πολυπλοκότητα είναι αυτά που τον καθιστούν εξαιρετικά χρήσιμο στους οργανωτές τέτοιων εκθεσιακών χώρων. Εντούτοις η χαμηλή υπολογιστική πολυπλοκότητα κρύβει στο παρασκήνιο την ανάγκη προσεκτικής παραμετροποίησης, δηλαδή υπάρχει μια λεπτή ισορροπία μεταξύ του γρήγορου χρόνου υλοποίησης και του χρόνου που χρειάζεται να παραμετροποιηθεί. Στην παρούσα έρευνά μας δεν είχαμε κατά νου κάποια συγκεκριμένη διάταξη και χαρακτηριστικά κάποιου μουσειακού χώρου. Επομένως, όσο αφορά την οπτική του ίδιου του εκθεσιακού χώρου, η παραμετροποίηση μας ήταν τέτοια ώστε να είναι σχεδόν ιδανική για τον εκθεσιακό χώρο. Η πληθώρα των αποτελεσμάτων και των διαγραμμάτων τα οποία παράγαμε κατά τη παρούσα μελέτη, αποτελούν τα εργαλεία με τα οποία ο εκάστοτε οργανωτής και χρήστης της εφαρμογής θα μπορέσουν να βρουν τη σωστή ισορροπία για τον εκάστοτε εκθεσιακό χώρο στον οποίο εφαρμόζεται ο αλγόριθμος αυτός.

6.2 Μελλοντικές επεκτάσεις

Εν όψη της πληθώρας της παραμετροποίησης υπάρχουν πολλά νέα μονοπάτια που μπορούν να χαραχθούν στη συνέχεια μελέτης των εφαρμογών του RSVTM. Οι παράμετροι κόστους, του οφέλους των συστάσεων, και της παραμέτρου συμφόρησης, θα πρέπει να συνδεθούν άμεσα με τη χωρική διάταξη του κάθε χώρου στον οποίο εφαρμόζεται ο αλγόριθμος καθώς και με τη δυνατότητα που έχει το κάθε μουσείο να προσφέρει την κάθε σύσταση. Με αυτόν τον τρόπο

τα αποτελέσματα του αλγορίθμου μπορούν να ειπωθούν ως μια ένδειξη οικονομικό-τεχνικής βελτιστοποίησης. Για παράδειγμα, εάν μετά από μια παραμετροποίηση που αντικατοπτρίζει τα χαρακτηριστικά ενός μουσείου, προκύψει πως όλοι οι επισκέπτες έχουν υψηλή ΠτΕ και άπαντες λαμβάνουν την καλύτερη σύσταση, αυτό μπορεί να ληφθεί ως ένα σήμα για τους διαχειριστές του μουσείου πως μπορούν να μειώσουν τα κόστη περιορίζοντας τη δυνατότητα απόδοσης μιας σύστασης και να στρέψουν το ενδιαφέρον σε μια εναλλακτική σύσταση. Αυτό διότι οι τιμές ΠτΕ που έχουμε μελετήσει είναι, σε αυτό το στάδιο, ενδεικτικές και πλην του γεγονότος ότι εκτείνονται σε ένα εύρος τιμών 0 με 1, δε γνωρίζουμε τι τιμή θεωρείται «κακή» η όχι.

Τέλος δεδομένου του πλαισίου μηχανικής μάθησης και των αυτομάτων μάθησης, το βήμα σύγκλισης b χρήζει επιπλέον μελέτης όσο αφορά τη σημασία του ως προς τη συμπεριφορά των αυτομάτων (επισκεπτών) σε συνδυασμό πάντα με τον χρόνο εκτέλεσης, τον οποίο μελετήσαμε στην παρούσα εργασία. Πιο συγκεκριμένα αξίζει να μελετηθεί το κατά πόσο μια μικρή παράμετρος ανανέωσης, αποδίδει κάποιο χαρακτηριστικό στο πώς οι επισκέπτες ανταποκρίνονται στο σύστημα των συστάσεων. Μπορεί δηλαδή ένα μεγάλο βήμα b να σημαίνει έναν γρήγορο και ατελή τρόπο ανανέωσης της γνώμης των επισκεπτών που όμως μπορεί σε μερικές περιπτώσεις, ανάλογα με τον τρόπο οργάνωσης του κόστους των συστάσεων, να είναι πιο επιθυμητό. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να επιτευχθεί μια επιπλέον γνώση ως προς το ποιά τιμή να επιλεγεί, και εάν αυτή θα είναι στις υψηλή ή χαμηλή περιοχή.

Εν τέλει το σύστημα των μουσείων ένα ένα πολύ ενδιαφέρον καθώς και απαιτητικό πεδίο εφαρμογής τόσο της μηχανικής μάθησης όσο και της θεωρίας παιγνίων. Όπως είδαμε είναι ένα από τα πολλά σημεία συνάντησης διάφορων τομέων της μηχανικής του καλλιτεχνικού και του οικονομικού τομέα. Αυτό το καθιστά και ένα από τα δύσκολα σημεία συνάντησης καθώς κάθε μονομερής προσέγγιση διευκολύνεται από γνώση των υπόλοιπων τομέων, γεγονός που μελέτες όπως η παρούσα θα πρέπει να έχουν κατά νου ώστε τα αποτελέσματα που παράγονται να είναι διαμορφωμένα με μια καθολική προσέγγιση.

Βιβλιογραφία

- [CI04] Luca Chittaro and Lucio Ieronutti. “A Visual Tool for Tracing Users’ Behavior in Virtual Environments”. In: *Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces. AVI '04*. Gallipoli, Italy: ACM, 2004, pp. 40–47. ISBN: 1-58113-867-9.
- [DC08] Carmen De Rojas and Carmen Camarero. “Visitors’ experience, mood and satisfaction in a heritage context: Evidence from an interpretation center”. In: *Tourism management* 29.3 (2008), pp. 525–537.
- [Gou00] Christina Goulding. “The museum environment and the visitor experience”. In: *European Journal of marketing* 34.3/4 (2000), pp. 261–278.
- [Lyk+13] Ioanna Lykourentzou et al. “Improving museum visitors’ Quality of Experience through intelligent recommendations: A visiting style-based approach.”. In: *Intelligent Environments (Workshops)*. 2013, pp. 507–518.
- [Mat+14] Mayeul Mathias et al. “Optimisation using natural language processing: Personalized tour recommendation for museums”. In: *Computer Science and Information Systems (FedCSIS), 2014 Federated Conference on*. IEEE. 2014, pp. 439–446.
- [Nas50] John F Nash. “Equilibrium points in n-person games”. In: *Proceedings of the national academy of sciences* 36.1 (1950), pp. 48–49.
- [RN16] Stuart J Russell and Peter Norvig. *Artificial intelligence: a modern approach*. Malaysia; Pearson Education Limited, 2016.
- [Tsi+17] Eirini Eleni Tsiropoulou et al. “Self-organizing museum visitor communities: A participatory action research based approach”. In: *Semantic and Social Media Adaptation and Personalization (SMAP), 2017 12th International Workshop on*. IEEE. 2017, pp. 101–105.

- [TTP16] Eirini Eleni Tsiropoulou, Athina Thanou, and Symeon Papavassiliou. “Modelling museum visitors’ Quality of Experience”. In: *Semantic and Social Media Adaptation and Personalization (SMAP), 2016 11th International Workshop on*. IEEE, 2016, pp. 77–82.
- [TTP17] Eirini Eleni Tsiropoulou, Athina Thanou, and Symeon Papavassiliou. “Quality of Experience-based museum touring: A human in the loop approach”. In: *Social Network Analysis and Mining 7.1* (2017), p. 33.
- [VL89] Eliséo Véron and Martine Levasseur. *Ethnographie de l’exposition: l’espace, le corps et le sens*. Centre Georges Pompidou, Bibliothèque publique d’information, 1989.
- [Wri89] Philip Wright. “The quality of visitors’ experiences in art museums”. In: *The new museology* (1989), pp. 119–148.
- [XWW16] Yuhua Xu, Jinlong Wang, and Qihui Wu. “Distributed Learning of Equilibria with Incomplete, Dynamic, and Uncertain Information in Wireless Communication Networks”. In: *Game Theory Framework Applied to Wireless Communication Networks*. IGI Global, 2016, pp. 63–86.

Ελληνικός όρος

Αυτόματα Μάθησης

Ενισχυτική Μάθηση

Θεωρία Παιγνίων

Λογιστική Συνάρτηση

Μηχανική Μάθηση

Ποιότητα Εμπειρίας

Συμφόρηση

Χρονοσχιμές

Αγγλικός όρος

Learning Automata

Reinforcement Learning

Game Theory

Logistic Function

Machine Learning

Quality of Experience

Congestion

Timeslots

