



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**Ανάπτυξη οντολογικής γνώσης για την ανάλυση εκφράσεων
του προσώπου**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Καλλιόπη Β. Δαλακλείδη

Επιβλέπων : Στέφανος Κόλλιας
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2005



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**Ανάπτυξη οντολογικής γνώσης για την ανάλυση εκφράσεων
του προσώπου**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Καλλιόπη Β. Δαλακλείδη

Επιβλέπων : Στέφανος Κόλλιας
Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 9^η Μαρτίου 2005.

Στέφανος Κόλλιας
Καθηγητής ΕΜΠ

Ανδρέας Σταφυλοπάτης
Καθηγητής ΕΜΠ

Παναγιώτης Τσανάκας
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2005

Καλλιόπη Β. Δαλακλείδη

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

Copyright © Καλλιόπη Β. Δαλακλείδη 2005

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.

Ανάπτυξη οντολογικής γνώσης για την
ανάλυση εκφράσεων του προσώπου

Καλλιόπη Δαλακλείδη

10 Μαρτίου 2005

Περίληψη

Το αντικείμενο της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι η ανάπτυξη οντολογικής γνώσης για την ανάλυση των έξι καθολικών συναισθηματικών εκφράσεων συνθετικών μοντέλων ανθρώπινων προσώπων με βάση το πρότυπο MPEG-4, με στόχο την ανάπτυξη εκπαιδευτικών και ψυχαγωγικών εφαρμογών του Παγκόσμιου Ιστού που επιτυγχάνουν καλύτερη επικοινωνία με το χρήστη μέσω τέτοιων μοντέλων. Για την ανάπτυξη της οντολογίας μας χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα ανάπτυξης οντολογιών στη γλώσσα OWL με βάση την Περιγραφική Λογική Protégé OWL Plugin και για την εξαγωγή συμπερασμάτων από αυτήν χρησιμοποιήσαμε τη μηχανή συμπερασματολογίας RACER.

Στη διπλωματική αυτή εργασία παρουσιάζονται βασικά στοιχεία της θεωρίας των Περιγραφικών Λογικών, καθώς και βασικά στοιχεία της λειτουργίας του προγράμματος ανάπτυξης οντολογιών στη γλώσσα OWL με βάση την Περιγραφική Λογική Protégé OWL Plugin και της μηχανής συμπερασματολογίας RACER. Επιπλέον, παρουσιάζονται οι παράμετροι που έχουν οριστεί από το πρότυπο MPEG-4 για τον προσδιορισμό της θέσης και της κίνησης χαρακτηριστικών σημείων του προσώπου με στόχο τον προσδιορισμό του σχήματός του, την αναγνώριση των διαφόρων εκφάνσεων των σημαντικότερων συναισθηματικών του εκφράσεων. Τέλος, στη διπλωματική αυτή εργασία παρουσιάζουμε την υλοποίηση μίας οντολογίας για την αυτόματη αναγνώριση των συναισθηματικών εκφράσεων ενός προσώπου με το πρόγραμμα Protégé OWL Plugin και εξάγουμε συμπεράσματα με βάση αυτήν για τυχαία παραδείγματα εκφράσεων προσώπων συνθετικών μοντέλων με το πρόγραμμα RACER και τη γλώσσα διεξαγωγής ερωτημάτων Racer Query Language (RQL).

Ευχαριστίες

Η εκπόνηση οποιασδήποτε ερευνητικής εργασίας δεν είναι ποτέ έργο ενός μόνο ατόμου. Για αυτό το λόγο νοιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν να ολοκληρωθεί αυτή η διπλωματική εργασία.

Καταρχήν, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στον Καθηγητή του ΕΜΠ κ.Στέφανο Κόλλια για τη διαρκή και πολύτιμη συμβολή του στη διεξαγωγή της εργασίας αυτής, καθώς και για το γεγονός ότι παραστάθηκε με εξαιρετική διάθεση σε κάθε δυσκολία.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω για την πολύτιμη βοήθειά του τον επιστημονικό συνεργάτη του Εργαστηρίου Επεξεργασίας Εικόνας, Video και Πολυμέσων Δρα Γιώργο Στάμου, χωρίς τις προτάσεις και τις εποικοδομητικές παρεμβάσεις του οποίου η εργασία μου δε θα είχε φτάσει σε αυτό το σημείο.

Επιπλέον, ιδιαίτερα ευχαριστώ τον υποψήφιο διδάκτορα του Εργαστηρίου Επεξεργασίας Εικόνας, Video και Πολυμέσων Βασίλη Τζουβάρα για τις κρίσιμες όσον αφορά το τελικό αποτέλεσμα παρατηρήσεις του και για τη συνεχή υποστήριξή του.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Επεξεργασίας Εικόνας, Video και Πολυμέσων, και ιδιαίτερα τους Αμαρυλλίδα Ραουζαίου, Γιώργο Στοίλο, Νίκο Σίμου, Θέμιδα Ζερβού, για την πολύτιμη και γενναιόδωρη βοήθειά τους.

Περιεχόμενα

I	Εισαγωγή	7
0.1	Αντικείμενο της Διπλωματικής	8
0.2	Συνεισφορά	9
0.3	Δομή της διπλωματικής	9
II	Ανάπτυξη οντολογιών με Περιγραφικές Λογικές	12
1	Εξέλιξη της οντολογικής γνώσης	13
1.1	Σημασιολογικός Ιστός	13
1.2	Αναπαράσταση γνώσης με οντολογίες	14
1.3	OWL Web Ontology Language	16
2	Περιγραφικές Λογικές	18
2.1	Ιστορική Αναδρομή	18
2.2	Βασικά στοιχεία των Περιγραφικών Λογικών	19
2.2.1	Βάση Γνώσης	19
2.2.2	Ονοματολογία των γλωσσών Περιγραφικής Λογικής	22
2.2.3	Σημασιολογία	22
2.2.4	Συλλογιστικές Εργασίες	23
3	Περιγραφή του Protégé OWL Plugin	26
3.1	Εισαγωγή	26
3.2	Βασικά στοιχεία του Protégé OWL Plugin	27
3.2.1	Protégé OWL Plugin tabs	27
3.2.2	Περιγραφές και ορισμοί κλάσεων	29
3.2.3	Συλλογιστικές εργασίες	32
4	Εισαγωγή στο RACER και την RQL	35
4.1	Εισαγωγή	35
4.2	Ερωτήματα βασισμένα στο σώμα όρων	37

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	4
4.3 Ερωτήματα βασισμένα στο σώμα ισχυρισμών	40
III Ανάπτυξη οντολογικής γνώσης για την αναπαράσταση των εκφράσεων του προσώπου σύμφωνα με το πρότυπο MPEG-4	42
5 Παραμετρική αναπαράσταση του προσώπου	44
5.1 Εισαγωγή στο MPEG-4	44
5.2 Παράμετροι Προσδιορισμού και Εμφύχωσης	45
5.3 Προσδιορισμός του ανθρώπινου μοντέλου	48
6 Οι χαρακτηριστικές εκφράσεις	58
6.1 Εισαγωγή	58
6.2 Οι έξι καθολικές χαρακτηριστικές εκφράσεις συναισθήματος . .	59
6.3 Απόδοση των εκφράσεων με σύνολα από FAPs	63
7 Ανάπτυξη της οντολογίας	68
7.1 Εισαγωγή	68
7.1.1 Κατασκευή σώματος όρων	69
7.1.2 Κατασκευή σώματος ισχυρισμών	81
7.2 Εξαγωγή συμπερασμάτων με την RQL	83

Κατάλογος σχημάτων

3.1	Protégé OWL Plugin tabs	29
3.2	Expression Editor	31
3.3	Οι συλλογιστικές εργασίες που προσφέρει το Protégé OWL Plugin: Consistency checking, Classification και Compute Inferred Types	33
4.1	Ένα παράδειγμα χρήσης του RQL tab με την υποβολή ενός ερωτήματος στη μηχανή συμπερασματολογίας RACER με τη γλώσσα υποβολής ερωτημάτων Racer Query Language	36
4.2	Παράδειγμα ερωτήματος με βάση το σώμα ισχυρισμών	37
5.1	Τα Χαρακτηριστικά Σημεία (Feature Points)	46
5.2	Οι μονάδες των παραμέτρων εμφύχωσης (FAPUs)	47
5.3	Οι Παράμετροι Εμφύχωσης (FAPs) και οι ιδιότητες τους	50
6.1	Μία πρόταση για τις έξι καθολικές εκφράσεις από το πρότυπο MPEG-4	59
6.2	Γενική περιγραφή των έξι καθολικών εκφράσεων ως σύνολα Παραμέτρων Εμφύχωσης	64
6.3	Περιγραφή διαφόρων εκφάνσεων των έξι καθολικών εκφράσεων με τις Παραμέτρους Εμφύχωσης	65
7.1	Πρώτο στάδιο: Βασικές κλάσεις	70
7.2	Δεύτερο στάδιο: η αναπαράσταση των Χαρακτηριστικών Σημείων	71
7.3	Τρίτο στάδιο: παρουσίαση της κλάσης ValuePartition	72
7.4	Τέταρτο στάδιο: χρήση του Create Value Partition Wizard	74
7.5	Πέμπτο στάδιο: χρήση του Properties Value Wizard	74
7.6	Πέμπτο στάδιο: χρήση του Properties Value Wizard	75
7.7	Πέμπτο στάδιο: χρήση του Properties Value Wizard	75
7.8	Έκτο στάδιο: αναπαράσταση των Παραμέτρων Εμφύχωσης	78

7.9	Έβδομο στάδιο: Ορισμοί των διαφόρων παραλλαγών των έξι καθολικών εκφράσεων προσώπων συνθετικών μοντέλων, εδώ συγκεκριμένα της κλάσης Sadness-1	81
7.10	Όγδοο στάδιο: Δημιουργία στιγμιοτύπων προσώπων και εκφράσεων στο σώμα ισχυρισμών	82
7.11	Ένατο στάδιο: ορισμοί οντοτήτων τυχαίων συναισθηματικών εκφράσεων στο σώμα ισχυρισμών	83
7.12	Δέκατο στάδιο: συλλογιστικές εργασίες-Ταξινομία	84
7.13	Δέκατο στάδιο: συλλογιστικές εργασίες-υπολογισμός των πιο γενικών υπαγουσών εννοιών ενός ατόμου (Compute inferred types)	85
7.14	Δέκατο στάδιο: συλλογιστικές εργασίες-έλεγχος αν μία έννοια είναι πρωταρχική (RQL Query concept-is-primitive?)	86
7.15	Δέκατο στάδιο: συλλογιστικές εργασίες- περιγραφή έννοιας (RQL Query describe-concept)	87
7.16	Δέκατο στάδιο: συλλογιστικές εργασίες-περιγραφή ενός στιγμιοτύπου (RQL Query describe-individual)	88

Μέρος Ι
Εισαγωγή

0.1 Αντικείμενο της Διπλωματικής

Η εποχή μας είναι η εποχή της παγκοσμιοποίησης, ανεξάρτητα από το αν είμαστε σύμφωνοι ή όχι με τον τρόπο με τον οποίο αυτή εξελίσσεται. Παράλληλα με την παγκοσμιοποίηση των αγορών, έχει πραγματοποιηθεί η παγκοσμιοποίηση της πληροφορίας. Το μέσο για την παγκοσμιοποίηση της πληροφορίας είναι ο Παγκόσμιος Ιστός (World Wide Web), ένα παγκόσμιο, διαλογικό, κατανοημένο, γραφικό σύστημα πληροφοριών υπερκειμένου. Ωστόσο, το μεγαλύτερο μέρος του περιεχομένου του Παγκόσμιου Ιστού είναι σχεδιασμένο ώστε να είναι κατανοητό μόνο από τους ανθρώπους, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η περαιτέρω επεξεργασία του από τους υπολογιστές. Έτσι, προκύπτει ότι για την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση των δυνατοτήτων του Παγκόσμιου Ιστού είναι αναγκαία η ανάπτυξη ενός νέου τύπου περιεχομένου για αυτόν, κατανοητού και από τους υπολογιστές. Η προσπάθεια αυτή έχει ήδη ξεκινήσει με την ανάπτυξη της οντολογικής γνώσης και το νέο περιεχόμενο ονομάζεται Σημασιολογικός Ιστός.

Ο σκοπός αυτής της διπλωματικής είναι να συμβάλει στην ανάπτυξη του Σημασιολογικού Ιστού και συγκεκριμένα στον τομέα της επεξεργασίας της εικόνας, καθώς υπάρχουν αδιανόητες ποσότητες πολυμεσικού υλικού στον Παγκόσμιο Ιστό, άρα και εικόνες, που παραμένουν ανεξιχνίαστα αντικείμενα για τους υπολογιστές.

Η επιλογή αυτή καθορίζεται από την αναγνώριση της κυριαρχίας της εικόνας σε κάθε έκφανση της καθημερινότητάς μας, από την τέχνη και την εκπαίδευση, μέχρι την ενημέρωση και τη διαφήμιση. Η προσπάθεια του ανθρώπου να αιχμαλωτίσει την εικόνα, να την αναλύσει και να την επεξεργαστεί προόδευσε σημαντικά εξαιτίας της εξέλιξης των αποθηκευτικών και υπολογιστικών δυνατοτήτων του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Ωστόσο, μένουν ακόμα πολλά βήματα να γίνουν, καθώς ικανότητες που για τον άνθρωπο είναι αυτονόητες, όπως το να αναγνωρίζει ένα πρόσωπο που έχει ξαναδεί και να διακρίνει την έκφρασή του, για τον υπολογιστή δεν είναι. Και επειδή τα ανθρώπινα πρόσωπα αποτελούν τις πιο σημαντικές εικόνες που συνοδεύουν τις ζωές μας, είναι επιτακτική η ανάγκη να αυξηθεί η δυνατότητα των υπολογιστών να κατανοούν, δηλαδή να αναγνωρίζουν, τα διάφορα πρόσωπα και τις χαρακτηριστικές τους εκφράσεις, καθώς και να μπορούν να εξάγουν συμπεράσματα για αυτά.

Έτσι διαμορφώνεται το πρόβλημα που καλούμαστε να εξετάσουμε στην παρούσα διπλωματική εργασία και του οποίου το ζητούμενο είναι η ανάπτυξη οντολογικής γνώσης για την ανάλυση των εκφράσεων του προσώπου.

0.2 Συνεισφορά

Οι κύριες συνεισφορές της συγκεκριμένης διπλωματικής συνοψίζονται στα ακόλουθα:

Παρουσιάζει τα απαραίτητα βασικά στοιχεία της θεωρίας των Περιγραφικών Λογικών.

Παρουσιάζει βασικά στοιχεία της λειτουργίας του προγράμματος ανάπτυξης οντολογιών στη γλώσσα OWL με βάση την Περιγραφική Λογική Protégé OWL Plugin.

Παρουσιάζει βασικά στοιχεία της λειτουργίας της μηχανής συμπερασματολογίας RACER.

Παρουσιάζει τις παραμέτρους που έχουν οριστεί από το πρότυπο MPEG-4 για τον προσδιορισμό της θέσης και της κίνησης χαρακτηριστικών σημείων του προσώπου, με στόχο τον προσδιορισμό του σχήματός του, καθώς και την καλύτερη αναγνώριση των συναισθηματικών του εκφράσεων.

Παρουσιάζει τις σημαντικότερες εκφράσεις συναισθήματος, καθώς και διαφορετικές εκφάνσεις αυτών, με τη βοήθεια των κατάλληλων παραμέτρων του MPEG-4.

Τέλος, υλοποιεί μία οντολογία για την αναγνώριση των συναισθηματικών εκφράσεων ενός προσώπου με το πρόγραμμα Protégé OWL Plugin και εξάγει συμπεράσματα με βάση αυτήν, από τυχαία παραδείγματα εκφράσεων προσώπων με το πρόγραμμα RACER και τη γλώσσα διεξαγωγής ερωτημάτων Racer Query Language (RQL).

0.3 Δομή της διπλωματικής

Η εργασία αυτή έχει δύο παράλληλους στόχους:

Αφενός, αποσκοπεί στο να παρουσιάσει μία μέθοδο ώστε να υλοποιεί κανείς οντολογίες με τη βοήθεια των Περιγραφικών Λογικών χρησιμοποιώντας συγκεκριμένα το εργαλείο ανάπτυξης οντολογιών Protégé OWL Plugin καθώς και τη μηχανή συμπερασματολογίας RACER.

Αφετέρου, η οντολογία που υλοποιεί, αποσκοπεί στο να προτείνει μία λύση στο πρόβλημα της αυτόματης αναγνώρισης των εκφράσεων του ανθρώπινου

προσώπου.

Για την καλύτερη παρουσίαση του αντικειμένου της, η εργασία είναι δομημένη ως εξής:

Το πρώτο μέρος είναι μία εισαγωγή, στην οποία γίνεται μία σύντομη περιγραφή του αντικειμένου της, της συνεισφοράς και της δομής της.

Στη συνέχεια ακολουθεί το δεύτερο μέρος, το οποίο είναι αφιερωμένο στο θεωρητικό κομμάτι της ανάπτυξης της οντολογικής γνώσης και εξαγωγής συμπερασμάτων από αυτήν με βάση την Περιγραφική Λογική. Συγκεκριμένα:

Στο Κεφάλαιο 1 γίνεται μία περιγραφή του εμπλουτισμού του Παγκόσμιου Ιστού με τον Σημασιολογικό Ιστό και του πως αυτό συνεπάγεται την ανάγκη της ανάπτυξης οντολογικής γνώσης, με τη βοήθεια γλωσσών όπως η OWL, η οποία βασίζεται στην Περιγραφική Λογική.

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται μία σύντομη και περιεκτική εισαγωγή στη θεωρία και την εξέλιξη των Περιγραφικών Λογικών.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται βασικά στοιχεία της λειτουργίας του προγράμματος ανάπτυξης οντολογιών Protégé OWL Plugin στη γλώσσα OWL με βάση την Περιγραφική Λογική.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται βασικά στοιχεία της λειτουργίας της μηχανής συμπερασματολογίας RACER και της γλώσσας διεξαγωγής ερωτημάτων της Racer Query Language (RQL) σε οντολογίες αναπτυγμένες με Περιγραφικές Λογικές.

Κατόπιν ακολουθεί το τρίτο μέρος, το οποίο παρουσιάζει τα απαραίτητα θεωρητικά στοιχεία της ανάλυσης των κινήσεων και των εκφράσεων του προσώπου από το πρότυπο MPEG-4, καθώς επίσης και διαφορετικές εκφάνσεις των έξι βασικών συναισθηματικών του εκφράσεων. Το τρίτο μέρος κλείνει με την παρουσίαση της υλοποίησης του πειραματικού μέρους της εργασίας αυτής, που είναι η ανάπτυξη οντολογικής γνώσης για την αυτόματη αναγνώριση των συναισθηματικών εκφράσεων συνθετικών μοντέλων. Συγκεκριμένα:

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται οι παράμετροι που έχουν οριστεί από το πρότυπο MPEG-4 για τον προσδιορισμό της θέσης και της κίνησης χαρακτηριστικών σημείων του προσώπου, με στόχο τον προσδιορισμό του σχήματός του, καθώς και οι έξι βασικές συναισθηματικές εκφράσεις του.

Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται οι έξι χαρακτηριστικές εκφράσεις συναισθήματος που είναι διεθνώς αναγνωρισμένες, καθώς και διαφορετικές εκφάνσεις τους με τη βοήθεια συγκεκριμένων τιμών των παραμέτρων του MPEG-4

Στο Κεφάλαιο 7 περιγράφεται το πειραματικό κομμάτι της εργασίας. Δηλαδή περιγράφονται αναλυτικά τα διαδοχικά στάδια που χρειάστηκαν για να κατασκευαστεί στην τελική της μορφή η οντολογία γνώσης με το εργαλείο Protégé OWL Plugin για την αναγνώριση των εκφράσεων του προσώπου. Επιπλέον δίνονται παραδείγματα ελέγχου της ικανότητάς της να αναγνωρίζει διαφορετικές εκφάνσεις των έξι χαρακτηριστικών εκφράσεων του προσώπου με τη χρήση του προγράμματος εξαγωγής συμπερασμάτων σε οντολογίες αναπτυγμένες με Περιγραφικές Λογικές RACER και τη δική του γλώσσα διεξαγωγής ερωτημάτων Racer Query Language (RQL).

Τελευταίο κομμάτι της διπλωματικής αποτελεί ο επίλογος, ο οποίος αναφέρεται στις δυσκολίες, στα συμπεράσματα και τις δυνατές επεκτάσεις της συγκεκριμένης εργασίας.

Στο τέλος παρατίθεται η βιβλιογραφία που βοήθησε στη σχεδίαση και την υλοποίηση της.

Μέρος II

Ανάπτυξη οντολογιών με
Περιγραφικές Λογικές

Κεφάλαιο 1

Εξέλιξη της οντολογικής γνώσης

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μία περιγραφή του εμπλουτισμού του περιεχομένου του Παγκόσμιου Ιστού μέσω της σημασιολογίας του που αποτελεί ο Σημασιολογικός Ιστός και του πως αυτό συνεπάγεται την ανάγκη της ανάπτυξης οντολογικής γνώσης με τη βοήθεια γλωσσών όπως η OWL, η οποία βασίζεται στην Περιγραφική Λογική.

1.1 Σημασιολογικός Ιστός

“Βρες το πιο φτηνό αεροπορικό εισιτήριο από Αθήνα για Αμβούργο για την 10η Μαρτίου 2005, με ή χωρίς αλλαγή πτήσης.”

Είναι ακόμα δύσκολο να κατασκευάσει κανείς σήμερα έναν Web διαμεσολαβητή (agent), ο οποίος θα μπορούσε να διεξάγει μία έρευνα στο Web για τις αεροπορικές πτήσεις, κατάλληλη για να απαντήσει στην παραπάνω ερώτηση. Για να μπορεί να υποστηρίξει τέτοιου είδους λογικές επεξεργασίες και υπολογισμούς ένα οποιοδήποτε λογισμικό, η πληροφορία που βρίσκεται αποθηκευμένη στο Web θα έπρεπε να ήταν διαφορετικά δοσμένη.

Ο **Παγκόσμιος Ιστός (World Wide Web)** στη σημερινή του μορφή μοιάζει με έναν ατελή χάρτη [2]. Η δυνατότητά μας να εξερευνούμε την τεράστια ποσότητα πληροφορίας που είναι αποθηκευμένη σ' αυτόν, περιορίζεται προς το παρόν μόνο σε αναζητήσεις με λέξεις-κλειδιά, υποβοηθούμενες από τη δυνατότητα διασύνδεσης των αρχείων **υπερ-κειμένου (hypertext)** μεταξύ τους. Η διαπιστωμένη ανάγκη να γίνει καλύτερη η διαχείριση του αχανή όγκου της πληροφορίας στο Web μας οδηγεί στην κατασκευή επιπλέον εργαλείων ανάπτυξης και υποστήριξης της δομής και του περιεχομένου του Web.

Συγκεκριμένα, έχει διαπιστωθεί εδώ και λίγα χρόνια, ότι η διευκρίνιση του νοήματος, δηλαδή της **σημασιολογίας (semantics)**, της πληροφορίας που είναι αποθηκευμένη στο Web με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι κατανοητό, δηλαδή καλύτερα επεξεργάσιμο από τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, θα δώσει νέες δυνατότητες στην επεξεργασία της πληροφορίας αυτής. Η προσπάθεια αυτή, δηλαδή το να δοθεί πέρα από την ίδια την πληροφορία που βρίσκεται σε μία ιστοσελίδα και απευθύνεται στους αναγνώστες-επισκέπτες ανθρώπους, επιπλέον πληροφορία-μεταδεδομένα (**meta-data**), η οποία να είναι η σημασιολογία της προηγούμενης και επεξεργάσιμη από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή, έχει ήδη ξεκινήσει. Αυτό το επιπλέον σημασιολογικό περιεχόμενο που θα προστεθεί ως ένα ξεχωριστό επίπεδο πληροφορίας στον υπάρχοντα Παγκόσμιο Ιστό ονομάζεται **Σημασιολογικός Ιστός (Semantic Web)**.

1.2 Αναπαράσταση γνώσης με οντολογίες

Ωστόσο, για να είναι δυνατή η εκμετάλλευση των δυνατοτήτων του Σημασιολογικού Ιστού από τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, θα πρέπει το περιεχόμενό του να έχει αναπαρασταθεί σε κατάλληλη μορφή και να είναι εφοδιασμένο με τους απαραίτητους κανόνες για την εξαγωγή έγκυρων συμπερασμάτων από αυτό. Οι ερευνητές του κλάδου της τεχνητής νοημοσύνης (Artificial Intelligence) έχουν μελετήσει εδώ και πολλά χρόνια διάφορες δομές αναπαράστασης και επεξεργασίας της γνώσης, πολύ πριν αναπτυχθεί ο Παγκόσμιος Ιστός. Το πεδίο αυτό της τεχνητής νοημοσύνης ονομάζεται **Αναπαράσταση Γνώσης (Knowledge Representation)** και προτείνει συγκεκριμένες λύσεις για την οργάνωση της πληροφορίας με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι εφικτή η επεξεργασία της από τους υπολογιστές.

Οι προτεινόμενες αυτές δομές αναπαράστασης και επεξεργασίας της πληροφορίας ως λύσεις για την οργάνωση του Σημασιολογικού Ιστού ονομάζονται **Οντολογίες (Ontologies)**. Στην φιλοσοφία, ως οντολογία χαρακτηρίζεται κάθε θεωρία που πραγματεύεται τη φύση της ύπαρξης, δηλαδή μελετά από ποιες οντότητες-στοιχεία αποτελείται ο κόσμος και ποιες είναι οι σχέσεις μεταξύ αυτών. Οι ερευνητές του κλάδου της τεχνητής νοημοσύνης και οι ερευνητές που μελετούν τις προοπτικές ανάπτυξης του Παγκόσμιου Ιστού χρησιμοποιούν τον όρο οντολογίες για να χαρακτηρίσουν κείμενα ή αρχεία, δηλαδή συλλογές πληροφοριών, που δίνουν μία σαφή περιγραφή ενός γνωστικού πεδίου ορίζοντας τις βασικές **έννοιές του (concepts)**, ορίζοντας τις **ιδιότητες των εννοιών αυτών (properties and attributes of concepts)** καθώς και θέτωντας τους **περιορισμούς για τις ιδιότητες αυτές (constraints on properties and attributes)**.

Κάθε οντολογία περιέχει μία ταξινόμια (**taxonomy**) και ένα σύνολο από συμπερασματικούς κανόνες (**inference rules**).

Η ταξινόμια καθορίζει κλάσεις (**classes**) από αντικείμενα-οντότητες (**individuals**) και τις σχέσεις μεταξύ τους, όπως σχέσεις υπαγωγής, σχέσεις συμπερίληψης, σχέσεις αμοιβαίου αποκλεισμού. Οι συμπερασματικοί κανόνες παράγουν την λογική στην οποία βασίζεται η εξαγωγή των συμπερασμάτων για τη συγκεκριμένη οντολογία.

Για την αναπαράσταση των οντολογιών έχουν δημιουργηθεί πολλές διαφορετικές οντολογικές γλώσσες. Μερικές από τις πιο δημοφιλείς είναι οι εξής: Simple HTML Ontology Extensions (**SHOE**), Ontology eXchange Language (**XOL**), Resource Description Framework Schema language (**RDFS**), DARPA agent markup language (**DAML**), Ontology Interchange Language (**OIL**) και Ontology Web Language (**OWL**). Οι οντολογικές γλώσσες διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τη σύνταξη των ορισμών των εννοιών και των περιορισμών των ιδιοτήτων τους και ως προς την εκφραστικότητα τους. Δηλαδή, σε κάθε γλώσσα επιτρέπεται να χρησιμοποιούμε διαφορετικούς περιορισμούς. Επιπλέον, οι οντολογικές γλώσσες διαφέρουν και ως προς τη σημασιολογία, δηλαδή, ο ίδιος ισχυρισμός μπορεί να σημαίνει κάτι διαφορετικό σε δύο διαφορετικές γλώσσες. Τέλος, οι οντολογικές γλώσσες διαφέρουν και ως προς την ορολογία, για παράδειγμα οι ιδιότητες σε άλλες γλώσσες αναφέρονται ως *properties* και σε άλλες ως *slots*.

Επειδή όμως το κυριότερο χαρακτηριστικό του Παγκόσμιου Ιστού, οπότε και του Σημασιολογικού Ιστού, είναι ότι είναι αποκεντρωμένος αλλά και ταυτόχρονα παγκόσμιος, για να μπορούν τα διαφορετικά συστήματα αναπαράστασης γνώσης να επικοινωνούν και να ανταλλάσσουν δεδομένα, ορισμούς κλάσεων, ταξινόμιες και συμπερασματικούς κανόνες μεταξύ τους και για να οδηγούνται σε σωστά τελικά συμπεράσματα, είναι απαραίτητο να υπάρχει μία κοινή οντολογική γλώσσα στην οποία να αναπαρίστανται οι οντολογίες.

Όλες οι παραπάνω οντολογικές γλώσσες είναι βασισμένες στην eXtensible Markup Language (**XML**), η οποία είναι η πιο διαδεδομένη γλώσσα σήμανσης στο Web καθώς προσφέρει παράλληλα με την περιγραφή της δομής ενός κειμένου και τον ορισμό της σημασιολογίας του με τη χρήση της εφαρμογής της XML Resource Description Framework (**RDF**) και της Resource Description Framework Schema (**RDFS**)

Τότε όμως, αφού η XML με τη βοήθεια της RDF προσφέρει σημασιολογία, γιατί δεν χρησιμοποιούμε αυτήν για την κατασκευή του Σημασιολογικού Ιστού,

αλλά ανατρέχουμε σε άλλες επεκτάσεις της XML;

Η RDF, ενώ αρχικά προοριζόταν για την αναπαράσταση των μεταδεδομένων και είναι ικανή για τη δημιουργία εκτεταμένων οντολογικών λεξιλογίων, τελικά λόγω του ότι έχει πολύ αδύναμη σημασιολογική αναπαράσταση και άρα δεν περιγράφει πολύ καλά το νόημα της πληροφορίας, και λόγω του ότι δεν έχει **μηχανή συμπερασματολογίας (reasoner)**, δηλαδή πρόγραμμα εξαγωγής συμπερασμάτων, δεν υιοθετήθηκε ως η παγκόσμια γλώσσα για την περιγραφή της οντολογικής συνιστώσας του Σημασιολογικού Ιστού.

Από όλες τις παραπάνω οντολογικές γλώσσες που αναφέραμε, φαίνεται ότι η πιο κατάλληλη για να περιγράψει τις κλάσεις και τις σχέσεις μεταξύ τους, που είναι ενσωματωμένες σε κείμενα και εφαρμογές του Παγκόσμιου Ιστού, είναι η OWL Web Ontology Language. Και αυτό γιατί η OWL, ενώ είναι πανομοιότυπη με την RDFS και παρέχει XML λεξικό για να καθορίσει κλάσεις, οντότητες και σχέσεις, ταυτόχρονα επεκτείνει την RDF και RDFS σε λογικές εκφράσεις, τύπους δεδομένων, πλυθηκότητα (cardinality). Δηλαδή οποιοδήποτε στοιχείο και ιδιότητα της RDF και RDFS μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα αρχείο της OWL, αλλά η OWL διαθέτει ακόμη περισσότερα. Τέλος το πιο καθοριστικό πλεονέκτημα της OWL σε σχέση με την RDFS είναι ότι έχει πολύ καλύτερη ικανότητα εξαγωγής συμπερασμάτων.

1.3 OWL Web Ontology Language

Η OWL, όπως διαπιστώνουμε από την προηγούμενη υποενότητα, αποτελεί ένα βασικό συστατικό στοιχείο του Σημασιολογικού Ιστού, που στόχο έχει να κάνει τις πηγές πληροφορίας του Web πιο προσιτές και επεξεργάσιμες στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές και στο λογισμικό τους, προσθέτοντας πληροφορία που να τις περιγράφει με τη μορφή των οντολογιών.

Η OWL προσφέρει τρεις διαφορετικές εκδοχές, δηλαδή τρεις διαφορετικές ως προς την ποικιλία της έκφρασης και της εξαγωγής συμπερασμάτων υπογλώσσες, σχεδιασμένες έτσι ώστε να υποστηρίζουν διαφορετικά σύνολα εφαρμογών και να διευκολύνουν διαφορετικές ομάδες χρηστών. Συγκεκριμένα, τα τρία είδη της OWL είναι τα εξής:

- **OWL Lite:** Η OWL Lite προσφέρεται για εκείνους τους χρήστες που θα χρησιμοποιήσουν την οντολογία τους κυρίως ως μία ταξινομημένη ιεραρχία (classification hierarchy) κλάσεων και θα εφαρμόσουν στις ιδιότητες των κλάσεων αυτών απλούς περιορισμούς. Ένα παράδειγμα

των περιορισμένων δυνατοτήτων της OWL Lite στο να θέτει περιορισμούς είναι ότι ενώ υποστηρίζει περιορισμούς στην πληθυσμότητα¹ μίας ιδιότητας, ωστόσο επιτρέπει στην πληθυσμότητα να πάρει μόνο μία από τις τιμές 0 ή 1.

- **OWL DL:** Η OWL DL προτείνεται να χρησιμοποιηθεί από εκείνους τους χρήστες που έχουν ανάγκη τη μέγιστη δυνατή εκφραστικότητα της οντολογικής γλώσσας σε συνδυασμό με την υπολογιστική πληρότητα και αποκρισιμότητα (σε ορισμένο χρόνο) των συλλογιστικών εργασιών της. Η OWL DL έχει πάρει το όνομά της από τις **Περιγραφικές Λογικές (Description Logics)**, οι οποίες είναι αποκρίσιμα υποσύνολα της κατηγορηματικής λογικής πρώτης τάξης που προσφέρουν τυπική σημασιολογία και ορθές και πλήρεις συλλογιστικές εργασίες. Επιπλέον, η OWL DL έχει σχεδιαστεί ώστε να υποστηρίζει τα υπάρχοντα γνωσιακά συστήματα που βασίζονται στις Περιγραφικές Λογικές διαφόρων επιχειρήσεων.
- **OWL Full:** Η OWL Full προτείνεται να χρησιμοποιηθεί από εκείνους τους χρήστες που επιθυμούν τη μέγιστη εκφραστικότητα (expressiveness), δηλαδή τη μέγιστη ποικιλία στην κατασκευή των λογικών εκφράσεων που ορίζουν τις έννοιες, και την συντακτική ελευθερία που μπορεί να τους προσφέρει η οντολογική γλώσσα, χωρίς να ενδιαφέρονται για την πλήρη αποκρισιμότητα των συλλογιστικών εργασιών της. Η OWL Full επιτρέπει ακόμα και τον εμπλουτισμό από τον χρήστη του νοήματος του προκαθορισμένου λεξιλογίου της OWL. Ωστόσο, το τίμημα για την πολύ μεγαλύτερη εκφραστικότητα της OWL Full είναι ότι είναι σχεδόν αδύνατη η κατασκευή μηχανής συμπερασματολογίας για αυτήν, που να καλύπτει όλες τις δυνατότητες της. Ένα παράδειγμα της πλούσιας εκφραστικότητας της OWL Full είναι ότι επιτρέπει τη διαχείριση μίας έννοιας όχι μόνο σαν να είναι ένα σύνολο από οντότητες, αλλά και σαν να είναι η ίδια μόνη της μία οντότητα.

Οι ερευνητές που ασχολούνται με την ανάπτυξη οντολογιών θα πρέπει να επιλέξουν ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής τους μία από τις τρεις υπογλώσσες της OWL. Ωστόσο, για την ανάπτυξη του *Σημασιολογικού Ιστού* επειδή οι *Περιγραφικές Λογικές* συνδυάζουν την εκφραστικότητα με την αποκρισιμότητα, μόνο η *OWL DL* έχει τις απαραίτητες προϋποθέσεις για να αποτελέσει την οντολογική γλώσσα του. Για το λόγο αυτό και εμείς επιλέξαμε την OWL DL για να αναπτύξουμε την οντολογία μας, εφόσον αυτή πρόκειται να χρησιμοποιηθεί από τον *Σημασιολογικό Ιστό*.

¹περισσότερα για τα στοιχεία της OWL όπως οι οντότητες, οι περιορισμοί, η πληθυσμότητα θα εξηγηθούν στο επόμενο κεφάλαιο της Περιγραφικής Λογικής

Κεφάλαιο 2

Περιγραφικές Λογικές

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μία σύντομη αλλά περιεκτική εισαγωγή στη θεωρία των Περιγραφικών Λογικών. Αρχικά δίνεται μία σύντομη περιγραφή της ιστορίας του ερευνητικού κλάδου της αναπαράστασης γνώσης. Έπειτα, εισάγεται ο βασικός φορμαλισμός των Περιγραφικών Λογικών. Τέλος, παρουσιάζονται οι βασικές συλλογιστικές εργασίες που μπορούν να επιτελέσουν γνωσιακά συστήματα βασισμένα σε Περιγραφικές Λογικές.

2.1 Ιστορική Αναδρομή

Οι Περιγραφικές Λογικές αποτελούν τον πυρήνα του κλάδου της **Αναπαράστασης Γνώσης (Knowledge Representation)**. Ο κλάδος αυτός είναι επικεντρωμένος στην ανακάλυψη μεθόδων για την (high level) περιγραφή του κόσμου με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι δυνατή η κατασκευή “έξυπνων” εφαρμογών, δηλαδή εφαρμογών ικανών να εξάγουν συμπερασματική γνώση από την σαφώς αναπαρασταθείσα γνώση.

Οι πρώτες προσπάθειες στον τομέα της Αναπαράστασης Γνώσης ξεκίνησαν στα τέλη της δεκαετίας του 1960. Συγκεκριμένα, το 1966 εισήχθησαν τα *σημασιολογικά δίκτυα (semantic networks)* ως μία αναπαράσταση των εννοιών που εσωκλείουν οι Αγγλικές λέξεις με γραφικό τρόπο, χρησιμοποιώντας κόμβους και συνδέσμους. Την ίδια περίοδο πρωτοεμφανίζονται και τα *πλαίσια (frames)*, μία παρόμοιας λογικής μορφή αναπαράστασης γνώσης. Τα σημασιολογικά δίκτυα και τα πλαίσια χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια πάρα πολύ για την αναπαράσταση ποικίλων εννοιών στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης. Κατά την εξέλιξή τους εισήχθησαν σημαντικές ιδέες του κλάδου της Αναπαράστασης Γνώσης, όπως οι έννοιες (concepts), η ιεραρχία (hierarchy), τα στιγμιότυπα μίας έννοιας (instances of a concept). Ωστόσο, επειδή τα ση-

μασιολογικά δίκτυα και τα πλαίσια είχαν άφθονα προβλήματα ασάφειας και ασυνέπειας, εγκαταλείφθηκαν.

Τα σημασιολογικά δίκτυα διαδέχτηκε το σύστημα *KL-ONE*, πρόγονος των συστημάτων που βασίζονται σε Περιγραφικές Λογικές, αλλά τελικά ούτε αυτό μπόρεσε να ξεπεράσει τις αδυναμίες των προκατόχων του.

Οι Περιγραφικές Λογικές εμφανίστηκαν τη δεκαετία του 1980 για να δώσουν λύση στο πρόβλημα της έλλειψης σαφούς σημασιολογίας και αποκρισιμότητας στα γνωσιακά συστήματα που βασίζονταν στα σημασιολογικά δίκτυα και τα πλαίσια .

2.2 Βασικά στοιχεία των Περιγραφικών Λογικών

2.2.1 Βάση Γνώσης

Ένα σύστημα Αναπαράστασης Γνώσης (**Knowledge Representation System - KRS**) που βασίζεται στις *Περιγραφικές Λογικές (Description Logics)* διευκολύνει την κατασκευή μίας βάσης γνώσης και την εκτέλεση συλλογιστικών εργασιών πάνω σ'αυτήν.

Μία **βάση γνώσης (Knowledge Base - KB)** αποτελείται από δύο συστατικά, το *σώμα όρων* και το *σώμα ισχυρισμών*.

- Το **σώμα όρων (TBox)** εισάγει την *ορολογία(terminology)*, δηλαδή το λεξιλόγιο του πεδίου εφαρμογής.

Το λεξιλόγιο του πεδίου περιλαμβάνει **έννοιες (concepts)**¹, οι οποίες είναι μοναδιαία κατηγορήματα και **ρόλους (roles)**², οι οποίοι είναι διμελή κατηγορήματα.

Επιπλέον, περιλαμβάνει **σύνθετες (complex) έννοιες** , οι οποίες κατασκευάζονται με κατασκευαστές εννοιών από άλλες **ατομικές έννοιες (atomic concepts)**, και **σύνθετους (complex) ρόλους**, οι οποίοι κατασκευάζονται από άλλους ρόλους μέσω κατασκευαστών ρόλων.

¹πολλές φορές αναφέρονται και ως **κλάσεις (classes)**

²πολλές φορές αναφέρονται και ως **ιδιότητες (properties or slots)**

Ονομασία κατασκευαστή	Σύνταξη	Σημασιολογία	Συμβολισμός γλώσσας
Κορυφή	\top	Δ^I	$\mathcal{A}\mathcal{L}$
Βάση	\perp	\emptyset	$\mathcal{A}\mathcal{L}$
Τομή	$C \sqcap D$	$C^I \cap D^I$	$\mathcal{A}\mathcal{L}$
Ένωση	$C \sqcup D$	$C^I \cup D^I$	\mathcal{U}
Άρνηση	$\neg C$	$\Delta^I \setminus C^I$	\mathcal{C}
Ποιοτικός περιορισμός	$\forall R.C$	$\{\alpha \in \Delta^I \mid \forall b. (a, b) \in \mathcal{R}^I \rightarrow b \in C^I\}$	$\mathcal{A}\mathcal{L}$
Υπαρξιακός Ποσοδείκτης	$\exists R.C$	$\{\alpha \in \Delta^I \mid \exists b. (a, b) \in \mathcal{R}^I \wedge b \in C^I\}$	\mathcal{E}
Ποσοτικός περιορισμός	$\leq n R$	$\{\alpha \in \Delta^I \mid \{b \in \Delta^I \mid (a, b) \in \mathcal{R}^I\} \leq n\}$	\mathcal{N}
Ποιοτικο ποσοτικός περιορισμός	$\leq n R.C$	$\{\alpha \in \Delta^I \mid \{b \in \Delta^I \mid (a, b) \in \mathcal{R}^I \wedge b \in C^I\} \leq n\}$	\mathcal{Q}

Πίνακας 2.1: Κατασκευαστές εννοιών

Η σύνταξη των **κατασκευαστών εννοιών (concept constructors)** και των **κατασκευαστών ρόλων (role constructors)** ορίζονται στους πίνακες 2.1 και 2.2 αντίστοιχα.

Ένα σώμα όρων μπορεί ακόμα να περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα *ορολογικά αξιώματα*. Ένα **ορολογικό αξίωμα (terminological axiom)** είναι μία δήλωση ότι δύο ατομικές ή σύνθετες έννοιες/ρόλοι βρίσκονται μεταξύ τους σε σχέση *συμπερίληψης*, δηλαδή ότι μία έννοια (ρόλος) υπάγεται σε μία άλλη έννοια (ρόλος), ή ότι δύο ατομικές ή σύνθετες έννοιες/ρόλοι βρίσκονται μεταξύ τους σε σχέση *ισό-*

τητας. Ένα ορολογικό αξίωμα που η αριστερή του πλευρά είναι ατομική έννοια (ρόλος) ονομάζεται **ορισμός (definition)** αυτής (αυτού). Μία έννοια (ρόλος) που δεν ορίζεται ονομάζεται **πρωταρχική** (πρωταρχικός)(**primitive**). Η σύνταξη των ορολογικών αξιωμάτων ορίζονται στον πίνακα 2.3 .

- Το **σώμα ισχυρισμών (ABox)** περιλαμβάνει υποθέσεις (**assertions**), δηλαδή δηλώσεις ότι μία οντότητα , ανήκει σε μία έννοια, ή ότι ένα ζεύγος οντοτήτων συνδέονται με ένα ρόλο. Όπου **άτομο (individual)** είναι, σύμφωνα με την πηγή [3], ένα μαθηματικό αντικείμενο που ανήκει σε μία ή περισσότερες έννοιες και ρόλους κάποιας υπάρχουσας βάσης γνώσης.

Ονομασία κατασκευαστή	Σύνταξη	Σημασιολογία	Συμβολισμός γλώσσας
Καθολικός ρόλος	U	$\Delta^I \times \Delta^I$	U
Τομή	$R \sqcap S$	$R^I \cap S^I$	\sqcap
Ένωση	$R \sqcup S$	$R^I \cup S^I$	\sqcup
Συμπλήρωμα	$\neg R$	$\Delta^I \times \Delta^I \setminus R^I$	\neg
Αντίστροφος	R^-	$\{(b, a) (a, b) \in R^I\}$	-1
Σύνθεση	$R \circ S$	$R^I \circ S^I$	\circ
Μεταβατικό κλείσιμο	R^+	$\bigcup_{n \geq 1} (R^I)^n$	$+$
Ανακλαστικό Μεταβατικό κλείσιμο	R^*	$\bigcup_{n \geq 0} (R^I)^n$	$*$

Πίνακας 2.2: Κατασκευαστές ρόλων

2.2.2 Ονοματολογία των γλωσσών Περιγραφικής Λογικής

Το σύνολο των κατασκευαστών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των σύνθετων εννοιών και ρόλων καθορίζει τη γλώσσα του συγκεκριμένου συστήματος αναπαράστασης γνώσης, το οποίο βασίζεται στην Περιγραφική Λογική. Η γλώσσα κάθε συστήματος αποτελεί χαρακτηριστικό στοιχείο του και διαφορετικά συστήματα μπορούν να διαχωριστούν μεταξύ τους με βάση τις περιγραφικές αυτές γλώσσες.

Έχουν μελετηθεί και εφαρμοστεί πολλές διαφορετικές γλώσσες Περιγραφικής Λογικής γιατί οι διαφορετικές διαβαθμίσεις ως προς την εκρασιτικότητα των γλωσσών μεταξύ τους οδηγεί και σε διαφορετικές διαβαθμίσεις ως προς την πολυπλοκότητα των συλλογιστικών εργασιών τους.

Ο συμβολισμός των περιγραφικών γλωσσών που έχει επικρατήσει, αντιστοιχεί ως σύμβολα των κατασκευαστών εννοιών τα καλλιγραφικά γράμματα, ως σύμβολα των κατασκευαστών ρόλων εκθέτες που μπαίνουν στο τέλος του ονόματος, και ως σύμβολα των ιδιοτήτων των ρόλων δείκτες επίσης στο τέλος του ονόματος. Τα σύμβολα της ονοματολογίας των γλωσσών για κάθε διαφορετικό κατασκευαστή φαίνονται στην τελευταία στήλη των πινάκων 2.1 και 2.2.

2.2.3 Σημασιολογία

Η σπουδαία συνεισφορά των Περιγραφικών Λογικών είναι ότι έδωσαν στα συστήματα αναπαράστασης γνώσης μία **τυπική σημασιολογία (formal semantics)**, με στόχο η σημασία της γνώσης να οριστεί με αυστηρότητα. Το είδος της σημασιολογίας των Περιγραφικών Λογικών οφείλεται στον Tarski και ονομάζεται **μοντελοθεωρητική ή συνολοθεωρητική σημασιολογία (model-theoretic or set-theoretic semantics)**.

Τυπικά η **ερμηνεία (interpretation)** μίας βάσης γνώσης είναι ένα μη κενό σύνολο Δ^I (το πεδίο της ερμηνείας) και μία συνάρτηση ερμηνείας I που απεικονίζει κάθε άτομο a σε ένα στοιχείο $a^I \in \Delta^I$ του πεδίου, κάθε έννοια A σε ένα σύνολο $A^I \subseteq \Delta^I$ και κάθε ρόλο R σε μία διμελή σχέση $R^I \subseteq \Delta^I \times \Delta^I$. Όταν η ερμηνεία ενός ατόμου ανήκει στην ερμηνεία μίας έννοιας, τότε ονομάζεται **στιγμιότυπο (instance)** της.

Στην συνολοθεωρητική σημασιολογία λοιπόν, μία έννοια ερμηνεύεται ως ένα σύνολο από άτομα και ένας ρόλος ερμηνεύεται ως μία διμελής σχέση μεταξύ διαφορετικών συνόλων ατόμων. Παρόμοια μία σχέση **συμπερίληψης (inclu-**

Ονομασία	Σύνταξη	Σημασιολογία
Γενική συμπερίληψη έννοιας	$C \sqsubseteq D$	$C^I \subseteq D^I$
Γενική συμπερίληψη ρόλου	$R \sqsubseteq S$	$R^I \subseteq S^I$
ισότητα εννοιών	$C \equiv D$	$C^I = D^I$
ισότητα ρόλων	$R \equiv S$	$R^I = S^I$
ισχυρισμός έννοιας	$C(\alpha)$	$\alpha^I \in C^I$
ισχυρισμός ρόλου	$R(\alpha, b)$	$(\alpha^I, b^I) \in R^I$

Πίνακας 2.3: Ορολογικά και ισχυρισμικά αξιώματα

sion) μεταξύ δύο εννοιών/ρόλων, ερμηνεύεται ως σχέση υπαγωγής (**subsumption**) μεταξύ τους, δηλαδή η ερμηνεία της μίας έννοιας/ρόλου είναι υποσύνολο της ερμηνείας της άλλης έννοιας/ρόλου. Με τον ίδιο τρόπο ερμηνεύεται και η σχέση **ισότητας (equality)** μεταξύ δύο εννοιών/ρόλων, δηλαδή ερμηνεύεται ως σχέση ισότητας των δύο συνόλων που τις/τους αντιπροσωπεύουν.

Η συνολοθεωρητική σημασιολογία των κατασκευαστών εννοιών και ρόλων και των ορολογικών αξιωμάτων παρουσιάζονται στην προτελευταία στήλη των πινάκων 2.1, 2.2, 2.3 .

2.2.4 Συλλογιστικές Εργασίες

Τα συστήματα αναπαράστασης γνώσης που βασίζονται στις Περιγραφικές Λογικές μπορούν από τη βάση γνώσης τους να συμπεραίνουν σχέσεις οι οποίες δεν περιλαμβάνονται στα σαφώς ορισμένα αξιώματα. Αν η σχέση A εξάγεται

Ονομασία	Σύνταξη	Σημασιολογία
Υπαγωγή εννοιών	(concept-subsumes? C D)	$C \sqsubseteq D ?$
Ικανοποιησιμότητα έννοιας	(concept-satisfiable? C)	$C \sqsubseteq \perp ?$
Υπαγωγή ρόλων	(role-subsumes? R S)	$R \sqsubseteq S ?$
Εξακρίβωση στιγμιοτύπου	(individual-instance? a C)	$a^I \in C^I ?$
Εξακρίβωση συσχέτισης	(individual-related? a b R)	$(a^I, b^I) \in R^I ?$
Απόγονοι έννοιας	(concept-descendants C)	$\{A \in C A \sqsubseteq C\}$
Παιδιά έννοιας	(concept-offspring C)	$\{A \in C A \sqsubseteq C\} \wedge \nexists B \in C. (A \sqsubseteq B \wedge B \sqsubseteq C)$
Συσχετιζόμενες οντότητες	(individual-fillers a R)	$\{b \in \Delta (a^I, b^I) \in R^I\}$

Πίνακας 2.4: Συλλογιστικές εργασίες

από μία βάση γνώσης T , συμβολίζεται $T \vdash A$. Ένας αλγόριθμος που επιτελεί μία συλλογιστική εργασία ονομάζεται **ορθός (sound)** αν $T \vdash A \implies T \models A$ και **πλήρης (complete)** αν $T \models A \implies T \vdash A$.

Οι συλλογιστικές εργασίες σε συστήματα αναπαράστασης γνώσης που βασίζονται στις Περιγραφικές Λογικές επιτελούνται σύμφωνα με την **υπόθεση του ανοικτού κόσμου (open world assumption)**. Δηλαδή, μία μηχανή συ-

μπερασματολογίας δεν μπορεί να υποθέσει ότι κάτι είναι λάθος επειδή δεν έχει δηλωθεί ότι είναι σωστό, το μόνο που μπορεί να υποθέσει είναι ότι αυτού του είδους η γνώση δεν έχει ακόμα προστεθεί στη βάση γνώσης.

Μία βασική συλλογιστική εργασία που μπορεί να επιτελεί κάθε σύστημα αναπαράστασης γνώσης που βασίζεται στις Περιγραφικές Λογικές είναι ο έλεγχος της **ικανοποιησιμότητας (satisfiability)** του σώματος όρων και του σώματος ισχυρισμών δηλαδή ο έλεγχος αν όλες οι έννοιες μπορούν να περιλαμβάνουν άτομα στο σύνολο της ερμηνείας τους με δεδομένο ότι ικανοποιούν ταυτόχρονα τα αξιώματα του σώματος όρων και τους ισχυρισμούς του σώματος ισχυρισμών.

Μία άλλη βασική συλλογιστική εργασία πάνω στο σώμα όρων που μπορεί να επιτελεί κάθε σύστημα αναπαράστασης γνώσης που βασίζεται στις Περιγραφικές Λογικές είναι η **κατάταξη (classification)** μίας έννοιας, δηλαδή η εύρεση όλων των πιο ειδικών υπαγουσών και των πιο γενικών υπαγόμενων εννοιών αυτής.

Μία άλλη συλλογιστική εργασία πάνω στο σώμα ισχυρισμών που μπορεί να επιτελεί κάθε σύστημα αναπαράστασης γνώσης που βασίζεται στις Περιγραφικές Λογικές είναι η εύρεση των πιο ειδικών υπαγουσών εννοιών ενός στιγμιότυπου μίας έννοιας (**the realisation problem**) $A \models C(\alpha)$.

Οι συλλογιστικές εργασίες που μπορεί να επιτελεί ένα τυπικό σύστημα αναπαράστασης γνώσης που βασίζεται στις Περιγραφικές Λογικές μαζί με τη σημασιολογία τους φαίνονται στον πίνακα 2.4

Κεφάλαιο 3

Περιγραφή του Protégé OWL Plugin

3.1 Εισαγωγή

Οι *Περιγραφικές Λογικές*, με τις οποίες ασχοληθήκαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, βρίσκονται στην αιχμή της τεχνολογίας για την περιγραφή της οντολογικής συνιστώσας του Σημασιολογικού Ιστού με την *Web Ontology Language (OWL)*, καθώς σε αυτές βασίζονται η σύνταξη, η σημασιολογία και οι συλλογιστικές εργασίες που προσφέρει η OWL.

Το πρόγραμμα εφαρμογής **Protégé** είναι ένα εργαλείο ανάπτυξης συστημάτων γνώσης αναπαράστασης που βασίζονται στα πλαίσια ¹. Χρησιμοποιείται από χιλιάδες χρήστες εδώ και δύο δεκαετίες του τμήματος του Stanford, Medical Informatics για την διάγνωση ασθενειών με τη βοήθεια μίας διαρκώς ενημερωμένης βάσης γνώσης.

Με βάση την ανάγκη για την ανάπτυξη του Σημασιολογικού Ιστού και τη διαπίστωση των δυνατοτήτων των Περιγραφικών Λογικών οι ερευνητές που ασχολούνται με την ανάπτυξη (developers) του Protégé αποφάσισαν να αναπτύξουν μία νέα γενιά εργαλείων ανάπτυξης οντολογιών στη γλώσσα OWL που να διατηρεί τη αντικειμενοστραφή διαλογική εμφάνιση (interface) του Protégé ταυτόχρονα με την τυπική σημασιολογία της OWL DL. Το αποτέλεσμα αυτής της προσπάθειας είναι το **Protégé OWL Plugin**.

¹τα πλαίσια εξηγούνται στην υποενότητα 2.1

3.2 Βασικά στοιχεία του Protégé OWL Plugin

Το Protégé OWL Plugin χρησιμοποιείται για την κατασκευή OWL οντολογιών και για την εκτέλεση συλλογιστικών εργασιών σε αυτές, με βάση τις Περιγραφικές Λογικές, σε ένα φιλικό προς το χρήστη γραφικό περιβάλλον. Μία OWL οντολογία σποτελείται από άτομα (individuals), ρόλους (properties) και κλάσεις (classes) που στο Protégé OWL Plugin αντιστοιχούν σε στιγμιότυπα (instances), ιδιότητες (slots) και κλάσεις (classes).

3.2.1 Protégé OWL Plugin tabs

Το Protégé OWL Plugin αποτελείται από τα εξής παράθυρα (tabs), όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.1:

◊ το OWL Classes tab, το οποίο παρουσιάζει την ιεραρχία των κλάσεων της οντολογίας και επιτρέπει την δημιουργία νέων. Κάθε νέα OWL οντολογία περιλαμβάνει μία κλάση owl:Thing η οποία είναι η Κορυφή της οντολογίας, δηλαδή, σύμφωνα με τη συνολοθεωρητική σημασιολογία των Περιγραφικών Λογικών, αποτελεί το σύνολο που περιλαμβάνει όλα τα άτομα (individuals). Για αυτό το λόγο στην κορυφή της ιεραρχίας του OWL Classes tab βρίσκεται πάντα η κλάση owl:Thing. Μία σημαντική προσφορά του OWL Classes tab είναι η δυνατότητα να επιβάλλουμε περιορισμούς (restrictions), αναγκαίους ή ικανούς και αναγκαίους, στις κλάσεις, τους οποίους θα πρέπει να ικανοποιούν τα άτομα που τις απαρτίζουν². Επιπλέον, στο OWL Classes tab επιτρέπεται ο καθορισμός των ξένων (disjoint) κλάσεων οποιασδήποτε κλάσης στο παραθυράκι με τον τίτλο Disjoints στο δεξί κάτω μέρος της οθόνης, δηλαδή κλάσεων που δεν μπορούν να περιέχουν κοινές οντότητες στο σύνολο της ερνηνείας τους.

◊ το Properties tab, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προβολή ιδιοτήτων και τη δημιουργία νέων. Όταν θέλουμε να δημιουργήσουμε μία νέα ιδιότητα μπορούμε να επιλέξουμε από το Properties tab σε ποιον από τους τρεις τύπους των OWL ιδιοτήτων object, datatype ή annotation θα ανήκει. Οι Object properties συνδέουν ένα άτομο από το πεδίο ορισμού με ένα άλλο άτομο από το πεδίο τιμών. Μία άλλη δυνατότητα που δίνει το Properties tab είναι να ορίζουμε το **πεδίο ορισμού (domain)** και το **πεδίο τιμών (range)** κάθε ιδιότητας ως ένωση πολλών διαφορετικών κλάσεων. Οι Datatype properties συνδέουν ένα άτομο μιας έννοιας με μία τιμή τύπου XML Schema Datatype. Οι Annotation

²περισσότερα για τους περιορισμούς στην επόμενη υποενότητα

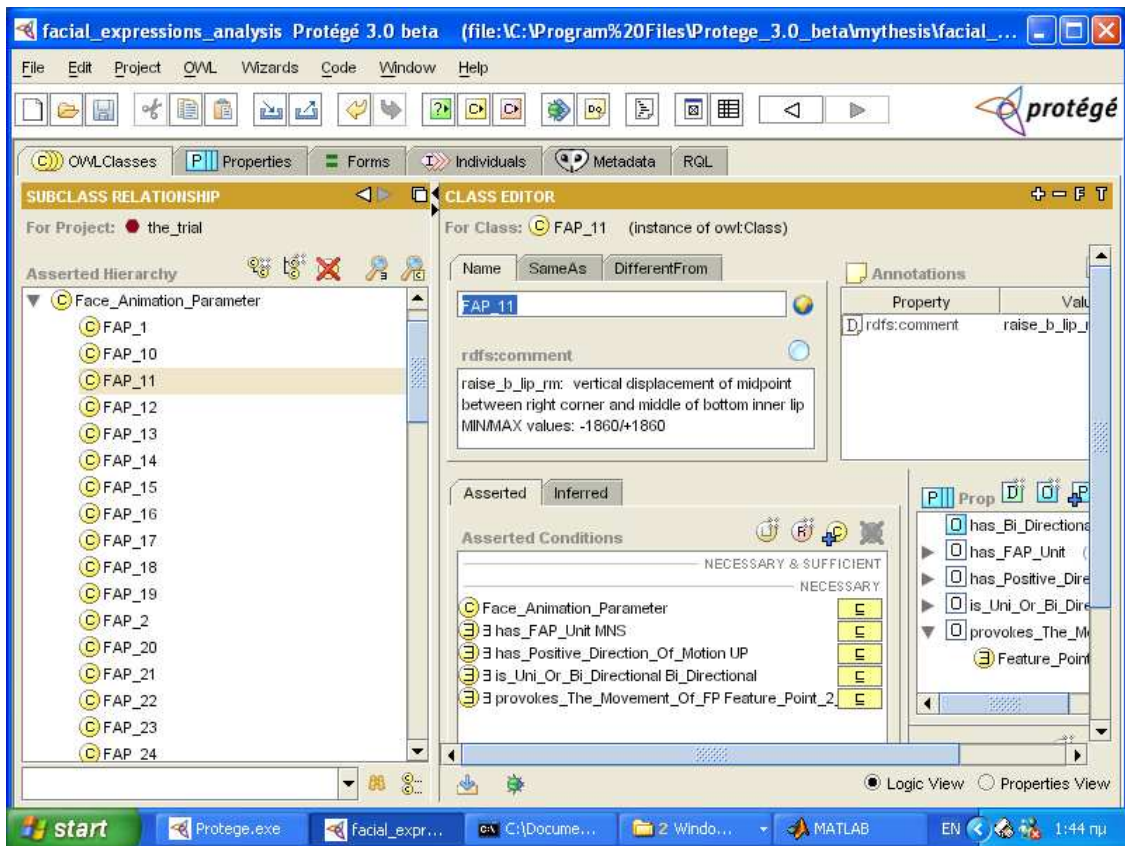
Properties μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσθέσουν μεταδεδομένα σε κλάσεις, άτομα και object/datatype ιδιότητες. Επιπλέον, όπως με τις κλάσεις, έτσι και με τις ιδιότητες μπορούμε να δημιουργήσουμε **αντίστροφες ιδιότητες (inverse properties)** με το Properties tab. Όπου αντίστροφη ιδιότητα σημαίνει, ότι αν μία ιδιότητα συνδέει ένα άτομο α με ένα άτομο β , τότε η αντίστροφη της ιδιότητα συνδέει το άτομο β με το άτομο α . Ακόμα στο Properties tab μπορούμε να ορίσουμε αν μία ιδιότητα είναι functional ή όχι, δηλαδή αν κάθε άτομο θα συνδέεται μέσω της ιδιότητας αυτής με το πολύ άλλο ένα άτομο

◊ το Individuals tab, με το οποίο μπορούμε να προβάλλουμε τα υπάρχοντα στιγμιότυπα και να δημιουργούμε νέα

◊ και το Metadata tab, το οποίο παρουσιάζει τα μεταδεδομένα της οντολογίας, όπως για παράδειγμα είναι οι **χώροι ονομάτων (namespaces)**. Επειδή ο Σημασιολογικός Ιστός είναι κατανεμημένος, η OWL θα πρέπει να επιτρέπει να συλλέγεται η πληροφορία από διαφορετικές πηγές, δηλαδή θα πρέπει να επιτρέπει την επικοινωνία των διαφορετικών οντολογιών μεταξύ τους. Αυτό το επιτυγχάνει με το γεγονός ότι κάθε οντολογία έχει το δικό της χώρο ονομάτων. Ο χώρος ονομάτων είναι μία ακολουθία χαρακτήρων που μπαίνει ως πρόθεμα σε κάθε κλάση, ιδιότητα και οντότητα της οντολογίας. Μία οντολογία μπορεί να χρησιμοποιεί και άλλους χώρους ονομάτων εκτός από τον δικό της, προκειμένου να χρησιμοποιήσει κλάσεις, ιδιότητες ή οντότητες άλλων οντολογιών. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης κλάσης από άλλη οντολογία, είναι η χρήση της κλάσης owl:Thing από όλες τις άλλες οντολογίες, η οποία κλάση owl:Thing ανήκει στην οντολογία του λεξιλογίου της OWL (OWL vocabulary ontology) με χώρο ονομάτων τον: **<http://www.w3.org/2002/07/owl#>**.

Ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα του Protégé OWL Plugin είναι ότι ο χρήστης ανάλογα με τις ανάγκες της εργασίας που θέλει να φέρει σε πέρας μπορεί να προσθέσει, επιλέγοντας από τη λίστα Project → Configure επιπλέον tabs, όπως είναι τα SWRL tab, XML tab, Queries tab και άλλα. Για τη συγκεκριμένη εργασία εμείς προσθέσαμε το RQL tab (Racer Query Language tab), το οποίο επιτρέπει να θέτουμε ερωτήματα για την OWL DL οντολογία που έχουμε φτιάξει στη μηχανή συμπερασματολογίας RACER και να εξάγουμε συμπεράσματα για αυτήν από τις απαντήσεις που δίνει ο RACER.³

³περισσότερα για το RQL tab και για το RACER στο επόμενο κεφάλαιο



Σχήμα 3.1: Protégé OWL Plugin tabs

3.2.2 Περιγραφές και ορισμοί κλάσεων

Στο Protégé OWL Plugin οι κλάσεις ερμηνεύονται ως σύνολα από άτομα. Για την περιγραφή τους χρησιμοποιούνται λογικές εκφράσεις που η σύνταξη τους βασίζεται στη σύνταξη των Περιγραφικών Λογικών και η σημασιολογία τους στη συνολοθεωρητική σημασιολογία των Περιγραφικών Λογικών. Οι περιγραφές των κλάσεων καθορίζουν τις συνθήκες που πρέπει να ικανοποιούνται από ένα άτομο για να είναι μέλος μίας κλάσης.

Οι συνθήκες που πρέπει να ικανοποιούν τα άτομα-μέλη μίας κλάσης παρουσιάζονται στο Asserted Conditions παράθυρο και χωρίζονται σε τρεις τύπους: necessary&sufficient (αναγκαίες και ικανές), necessary (ικανές) και inherited (κληρονομημένες). Παράδειγμα των διαφορετικών μπλοκ από συνθήκες μπορείτε να παρατηρήσετε στο Asserted Conditions widget, δηλαδή στο κεντρικό προς τα κάτω παράθυρο της εικόνας 3.1

Αν μία κλάση **A** περιγράφεται από **ικανές (necessary)** συνθήκες, τότε μπορούμε να ισχυριστούμε ότι κάθε άτομο που είναι μέλος της κλάσης **A** θα πρέπει να ικανοποιεί τις συνθήκες. Ωστόσο, δεν μπορούμε να ισχυριστούμε ότι οποιοδήποτε άτομο που ικανοποιεί αυτές τις συνθήκες είναι σίγουρα μέλος της κλάσης **A**. Οι κλάσεις οι οποίες περιγράφονται μόνο με ικανές συνθήκες ονομάζονται στην OWL **πρωταρχικές (primitive)**.

Αν μία κλάση **B** περιγράφεται από ικανές και αναγκαίες συνθήκες, τότε μπορούμε να ισχυριστούμε ότι κάθε άτομο που είναι μέλος της κλάσης **B** θα πρέπει να ικανοποιεί τις συνθήκες αυτές και ότι οποιοδήποτε άτομο που ικανοποιεί αυτές τις συνθήκες είναι σίγουρα μέλος της κλάσης **B**. Οι κλάσεις οι οποίες υπόκεινται σε μία ή και περισσότερες ικανές και αναγκαίες συνθήκες ονομάζονται στην OWL **ορισμένες (defined)**.

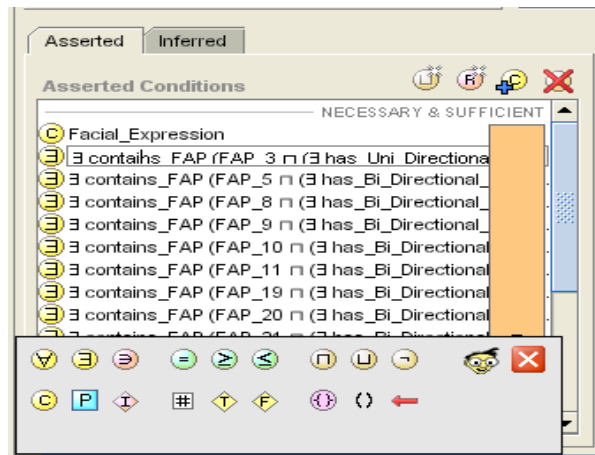
Ωστόσο, εδώ πρέπει να σταθούμε και να επισημάνουμε ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της OWL: οι κλάσεις περιγράφονται ή ορίζονται με βάση τις υπερκλάσεις στις οποίες ανήκουν. Οι υπερκλάσεις τους μπορεί να είναι άλλες ονομασμένες κλάσεις (*named classes*). Υπερκλάσεις τους όμως μπορούν να είναι και οι διάφοροι **περιορισμοί (restrictions)** στους οποίους υπόκεινται, καθώς ο κάθε περιορισμός είναι στην OWL **ανώνυμη κλάση (anonymous class)**, δηλαδή ένα ανώνυμο σύνολο που περιέχει όλες τα άτομα τα οποία ικανοποιούν αυτόν τον περιορισμό. Τέλος, υπερκλάσεις μίας κλάσης αποτελούν και οι **σύνθετες περιγραφές (complex descriptions)** οι οποίες κατασκευάζονται από άλλες ονομασμένες ή ανώνυμες κλάσεις που συνδέονται μεταξύ τους με τη χρήση των λογικών τελεστών της τομής \sqcap και της ένωσης \sqcup .

Μπορούμε να εισάγουμε σύνθετες περιγραφές και περιορισμούς ως αναγκαίες ή ως ικανές και αναγκαίες συνθήκες για μία κλάση στο Protégé OWL Plugin με τη χρήση του expression editor⁴ (επεξεργαστή εκφράσεων), ο οποίος παρουσιάζεται στην εικόνα 3.2 .

Η σύνταξη των σύνθετων περιγραφών και των περιορισμών στο Protégé OWL Plugin βασίζεται στο φορμαλισμό των Περιγραφικών Λογικών. Η σημασιολογία τους εξηγείται σύντομα αμέσως παρακάτω:

◊ ο υπαρξιακός ποσοδείκτης \exists ή αλλιώς “**someValuesFrom**” στο Protégé

⁴για ακόμα πιο σύνθετες συνθήκες υπάρχει και η δυνατότητα του multiline expression editor



Σχήμα 3.2: Expression Editor

OWL Plugin , χρησιμοποιείται συνήθως σε περιορισμούς με τη μορφή $\exists \text{ prop ClassA}$ και ορίζει το σύνολο των ατόμων-μέλη της ανώνυμης κλάσης, τα οποία συνδέονται με τουλάχιστον ένα άτομο το οποίο ανήκει στην κλάση A διαμέσου της ιδιότητας prop.

◊ ο ποιοτικός περιορισμός \forall ή αλλιώς “**allValuesFrom**” στο Protégé OWL Plugin , χρησιμοποιείται συνήθως σε περιορισμούς με τη μορφή $\forall \text{ prop ClassA}$ και ορίζει το σύνολο των ατόμων-μέλη της ανώνυμης κλάσης τα οποία αν συνδέονται διαμέσου της ιδιότητας prop με ένα ή περισσότερα άτομα, αυτά θα πρέπει οπωσδήποτε να ανήκουν στην κλάση ClassA .

◊ οι ποσοτικοί περιορισμοί συμβολίζονται ως $\geq, \leq, =$ ή αλλιώς ως “**maxCardinality**”, “**minCardinality**” και “**cardinality**”, αντίστοιχα, στο Protégé OWL Plugin . Ο ποσοτικός περιορισμός \geq χρησιμοποιείται συνήθως σε περιορισμούς με τη μορφή $\geq \text{ prop integer}$ και ορίζει το σύνολο των ατόμων-μέλη της ανώνυμης κλάσης τα οποία συνδέονται διαμέσου της ιδιότητας prop με τουλάχιστον τόσα άτομα όσα ορίζει ο ακέραιος αριθμός (integer) στο τέλος της έκφρασης. Ο ποσοτικός περιορισμός \leq χρησιμοποιείται συνήθως σε περιορισμούς με τη μορφή $\leq \text{ prop integer}$ και ορίζει το σύνολο των ατόμων-μέλη της ανώνυμης κλάσης τα οποία συνδέονται διαμέσου της ιδιότητας prop με το πολύ τόσα άτομα, όσα ορίζει ο ακέραιος αριθμός (integer) στο τέλος της έκφρασης. Ο ποσοτικός περιορισμός $=$ χρησιμοποιείται συνήθως σε περιορισμούς με τη μορφή $= \text{ prop integer}$ και ορίζει το σύνολο των

ατόμων-μέλη της ανώνυμης κλάσης, τα οποία συνδέονται διαμέσου της ιδιότητας `prop` με τόσα άτομα όσα ορίζει ο ακέραιος αριθμός (integer) στο τέλος της έκφρασης.

◊ ο λογικός τελεστής της τομής \sqcap μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή σύνθετων κλάσεων, τις ονομαζόμενες από την OWL κλάσεις τομής (intersection classes) από άλλες ονομασμένες κλάσεις ή ανωνυμες κλάσεις περιορισμών. Οι κλάσεις τομής έχουν τη μορφή

ClassA \sqcap **ClassB** και είναι ουσιαστικά ανώνυμες κλάσεις οι οποίες περιέχουν στην ερμηνεία τους το σύνολο των ατόμων που ανήκουν στην κλάση A και στην κλάση B.

◊ ο κατασκευαστής σύνθετων κλάσεων \sqcup μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή σύνθετων κλάσεων, τις ονομαζόμενες από την OWL κλάσεις ένωσης (union classes) από άλλες ονομασμένες κλάσεις ή ανωνυμες κλάσεις περιορισμών. Οι κλάσεις ένωσης έχουν τη μορφή

ClassA \sqcup **ClassB** και είναι ουσιαστικά ανώνυμες κλάσεις οι οποίες περιέχουν στην ερμηνεία τους το σύνολο των ατόμων που ανήκουν στην κλάση A ή στην κλάση B.

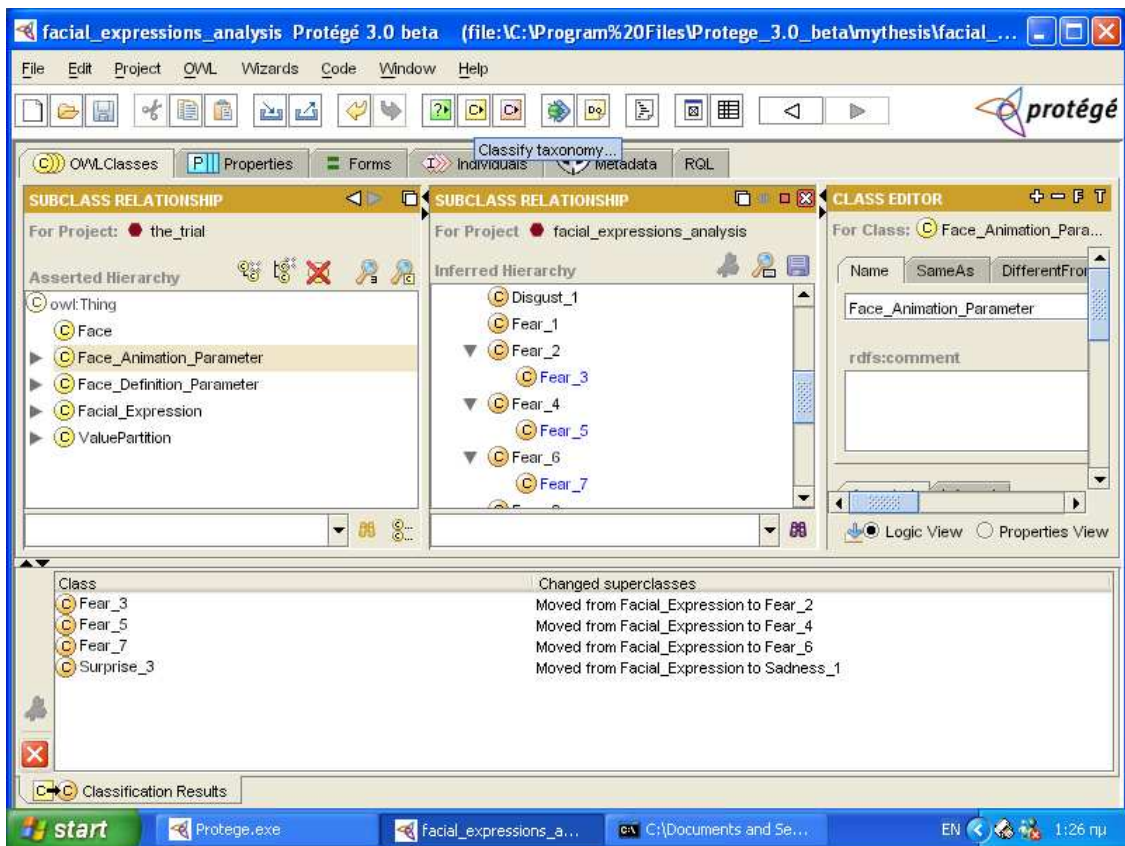
Τέλος, το Protégé OWL Plugin προσφέρει ακόμα τη δυνατότητα να υπάρχουν περισσότερα του ενός διαφορετικά μπλοκ ικανών και αναγκαίων συνθηκών για τον ορισμό μιας κλάσης, όπου κάθε μπλοκ ερμηνεύεται ως μία κλάση η οποία είναι η τομή των ανώνυμων κλάσεων που αντιπροσωπεύει κάθε συνθήκη ξεχωριστά.

3.2.3 Συλλογιστικές εργασίες

Το Protégé OWL Plugin προσφέρει απευθείας πρόσβαση σε μηχανές συμπερασματολογίας όπως ο RACER⁵. Το καινούργιο διαλογικό περιβάλλον για το χρήστη που προσφέρει η νέα έκδοση του Protégé, το **Protégé-3.0-Beta**, επιτρέπει τους εξής τρεις τύπους συλλογιστικών εργασιών: Consistency Checking (έλεγχος ικανοποιησιμότητας), Classification (κατάταξη) και Compute Inferred Types (υπολογισμός των πιο ειδικών υπαγουσών εννοιών), όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.3. Και οι τρεις βασίζονται στις αντίστοιχες συλλογιστικές εργασίες των Περιγραφικών Λογικών.

Ο έλεγχος της ικανοποιησιμότητας, δηλαδή ο έλεγχος αν μία κλάση θα μπορούσε να έχει έστω και ένα άτομο ως μέλος της, μπορεί να εφαρμοστεί

⁵υπομονή! περισσότερες πληροφορίες στο επόμενο κεφάλαιο



Σχήμα 3.3: Οι συλλογιστικές εργασίες που προσφέρει το Protégé OWL Plugin: Consistency checking, Classification και Compute Inferred Types

για όλη την ιεραρχία των κλάσεων ή για μία επιλεγμένη ομάδα κλάσεων πατώντας το κουμπί **Consistency checking** στη γραμμή εργαλείων του Protégé OWL Plugin. Το αποτέλεσμα του ελέγχου δίνεται σε ξεχωριστό παράθυρο στο OWLClasses tab δίπλα στο παράθυρο της δηλωμένης ιεραρχίας από το χρήστη, όπου οι μη ικανοποιησμες κλάσεις σημειώνονται με κόκκινο κύκλο.

Η **κατάταξη**, δηλαδή η εύρεση των πιο ειδικών υπαγουσών και των πιο γενικών υπαγόμενων εννοιών, μπορεί να εφαρμοστεί σε ολόκληρη την ιεραρχία των κλάσεων ή σε μία επιλεγμένη ομάδα κλάσεων πατώντας το κουμπί **Classification** στη γραμμή εργαλείων του Protégé OWL Plugin. Το αποτέλεσμα της κατάταξης παρουσιάζεται σε ξεχωριστό παράθυρο στο OWLClasses tab δίπλα στο παράθυρο της δηλωμένης ιεραρχίας από το χρήστη, όπου οι κλάσεις

που έχουν τοποθετηθεί σε διαφορετικό σημείο της ιεραρχίας των κλάσεων από αυτό που είχε δηλωθεί ρητά από τον χρήστη σημειώνονται με έναν μπλε κύκλο. Ένα παράδειγμα φαίνεται στην εικόνα 3.3.

Η εύρεση των πιο ειδικών υπαγουσών εννοιών ενός στιγμιότυπου μίας έννοιας (the realisation problem) μπορεί να γίνει κάνοντας δεξί κλικ με το ποντίκι πάνω στο επιλεγμένο στιγμιότυπο και επιλέγοντας **Compute inferred types**.

Ωστόσο, εκτός από τις παραπάνω συλλογιστικές εργασίες που προσφέρει η γραμμή εργαλείων του Protégé OWL Plugin, υπάρχει η δυνατότητα εγκαθιστώντας το RQL tab (Racer Query Language tab) να επιτελέσουμε και πολλές άλλες. Το επόμενο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στο να εξηγήσει τον τρόπο με τον οποίο μπορούμε να εκμεταλλευτούμε τις επιπλέον δυνατότητες που μας δίνει η μηχανή συμπερασματολογίας RACER για να εξάγουμε διάφορα χρήσιμα συμπεράσματα για την οντολογία μας.

Κεφάλαιο 4

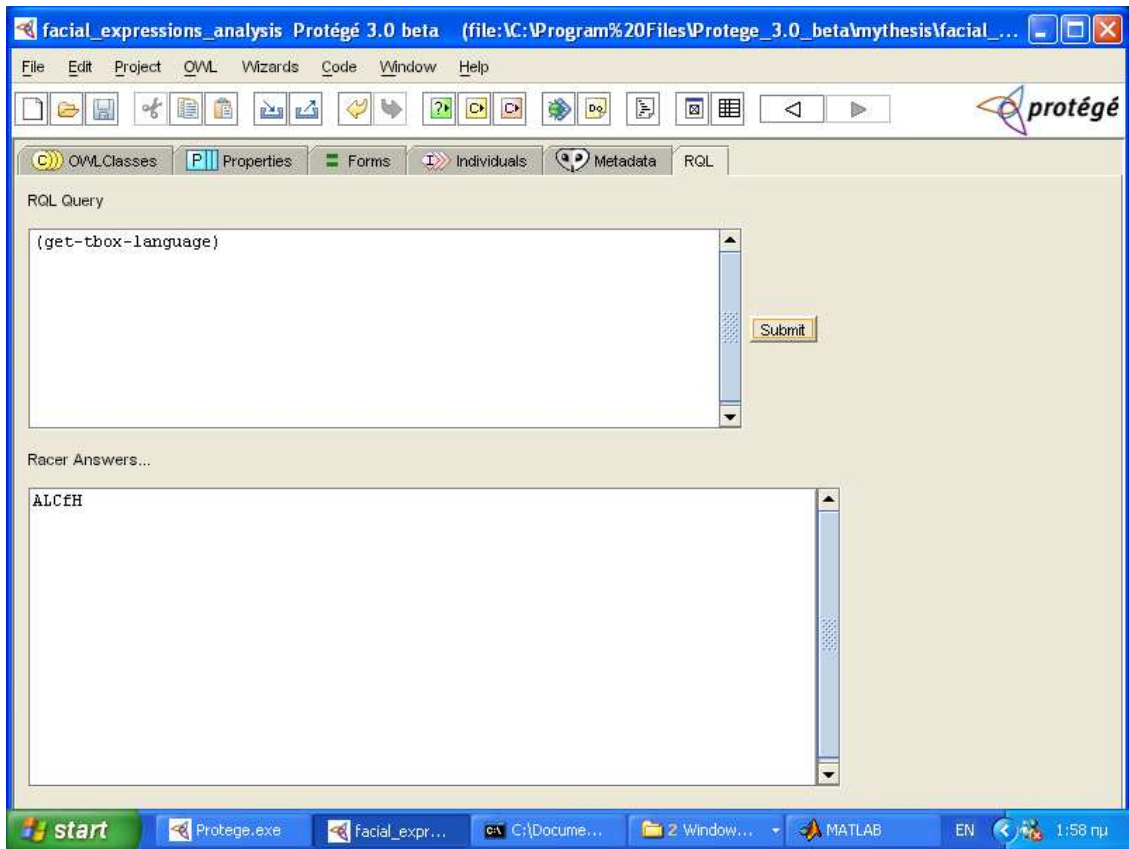
Εισαγωγή στο RACER και την RQL

4.1 Εισαγωγή

Ο RACER (**R**enamed **A**Box and **C**oncept **E**xpression **R**easoner) είναι ένα πρόγραμμα ανάπτυξης οντολογιών και ταυτόχρονα μηχανή συμπερασματολογίας που βασίζεται στην πλούσια σε εκφραστικότητα γλώσσα Περιγραφικής Λογικής $ALCQHI_{\mathcal{R}^+}$, ή αλλιώς γνωστή και ως $SHIQ$. Η γλώσσα αυτή είναι η βασική γλώσσα AL εμπλουτισμένη με τον κατασκευαστή της άρνησης (C), με ποιοτικοποσοτικούς περιορισμούς (Q), με ιεραρχίες ρόλων (\mathcal{H}), με αντίστροφους ρόλους (\mathcal{I}) και με μεταβατικούς ρόλους(+). Επιπλέον, ο RACER υποστηρίζει αλγεβρικές συλλογιστικές εργασίες, όπως για παράδειγμα ο έλεγχος \min/\max περιορισμών ακεραίων αριθμών (\min/\max restrictions over the integers) ή ο έλεγχος της ισότητας συμβολοακολουθιών¹. Εμείς ωστόσο θα περιοριστούμε να χρησιμοποιήσουμε τον RACER μόνο ως μηχανή συμπερασματολογίας με τη χρήση της γλώσσας ερωτημάτων του Racer Query Language (RQL) και μόνο πάνω στις εκφραστικές δυνατότητες που προσφέρει η OWL DL. Ένα παράδειγμα χρήσης του RQL tab φαίνεται στην εικόνα 4.1.

Ο RACER επιτελεί τις συλλογιστικές εργασίες σε οντολογίες που βασίζονται στις Περιγραφικές Λογικές σύμφωνα με την **υπόθεση του ανοικτού κόσμου (open world assumption)**. Δηλαδή, αν σε μία ερώτηση που του γίνεται δεν μπορεί να υποθέσει ότι η απάντηση είναι λάθος επειδή δεν έχει δηλωθεί στην οντολογία το αντίθετο, το μόνο που μπορεί να απαντήσει είναι **NIL**, δηλαδή ότι αυτού του είδους η γνώση δεν έχει ακόμα προστεθεί στη

¹περισσότερα για τις δυνατότητες του RACER στο [4]



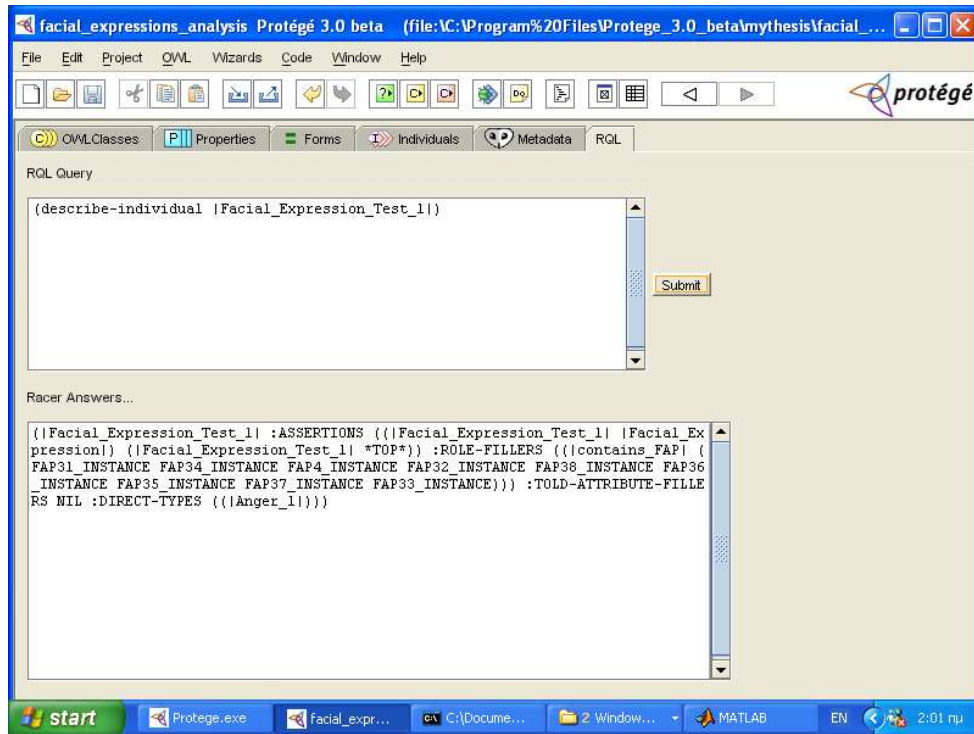
Σχήμα 4.1: Ένα παράδειγμα χρήσης του RQL tab με την υποβολή ενός ερωτήματος στη μηχανή συμπερασματολογίας RACER με τη γλώσσα υποβολής ερωτημάτων Racer Query Language

βάση γνώσης.

Έχοντας στη διάθεσή του το σώμα όρων μίας οντολογίας ο RACER μπορεί να απαντήσει σε ερωτήσεις βασισμένες στην RQL όπως οι εξής: αν είναι ικανοποιήσιμη μία έννοια, ή αν μία έννοια υπάγεται σε κάποια άλλη ή ποια είναι η περιγραφή μίας έννοιας ή ακόμα και ποιοι είναι οι γονείς ή τα παιδιά μιας έννοιας.

Έχοντας στη διάθεσή του το σώμα ισχυρισμών μίας οντολογίας ο RACER μπορεί να απαντήσει σε ερωτήσεις βασισμένες στην RQL όπως οι εξής: αν ένα άτομο ανήκει σε μία έννοια, ή ποιες είναι οι πιο ειδικές υπάγουσες έννοιες ενός ατόμου ή ακόμα σε ποιους ρόλους συμμετέχει ένα άτομο. Ένα παράδειγμα

ερωτήματος με βάση το σώμα ισχυρισμών φαίνεται στο σχήμα 4.2 .



Σχήμα 4.2: Παράδειγμα ερωτήματος με βάση το σώμα ισχυρισμών

Η αναλυτική περιγραφή των πιο σημαντικών ερωτημάτων που μπορεί να γίνουν με τη βοήθεια της RQL παρατίθενται στη συνέχεια.

4.2 Ερωτήματα βασισμένα στο σώμα όρων

- **concept-satisfiable?**

Περιγραφή: ελέγχει αν μία έννοια είναι ικανοποιήσιμη

Σύνταξη: (concept-satisfiable? | C |)

Παράμετροι: C έννοια

Απάντηση: T αν η έννοια είναι ικανοποιήσιμη, αλλιώς NIL.

- **concept-subsumes?**

Περιγραφή: ελέγχει αν μία έννοια C2 υπάγεται σε μία άλλη έννοια C1

Σύνταξη: (concept-subsumes? | C1 | | C2 |)

Παράμετροι: C1, C2 έννοιες

Απάντηση: T αν η έννοια C2 υπάγεται στην C1, αλλιώς NIL.

- **concept-equivalent?**

Περιγραφή: ελέγχει αν δύο έννοιες είναι ...ίσες

Σύνταξη: (concept-equivalent? | C1 | | C2 |)

Παράμετροι: C1, C2 έννοιες

Απάντηση: T αν οι έννοιες C1 και C2 είναι ίσες, αλλιώς NIL.

- **concept-disjoint?**

Περιγραφή: ελέγχει αν δύο έννοιες είναι ...

Σύνταξη: (concept-disjoint? | C1 | | C2 |)

Παράμετροι: C1, C2 έννοιες

Απάντηση: T αν οι έννοιες C1, C2 είναι ..., αλλιώς NIL.

- **concept-is-primitive?**

Περιγραφή: ελέγχει αν μία έννοια είναι πρωταρχική

Σύνταξη: (concept-is-primitive? | C |)

Παράμετροι: C έννοια

Απάντηση: T αν η έννοια είναι πρωταρχική, αλλιώς NIL.

- **atomic-role-inverse**

Περιγραφή: βρίσκει την αντίστροφη ιδιότητα(ρόλος) του R

Σύνταξη: (atomic-role-inverse? | R |)

Παράμετροι: R ιδιότητα(Object property στο Protégé OWL Plugin)

Απάντηση: το όνομα της αντίστροφης ιδιότητας του R.

- **atomic-role-domain**

Περιγραφή: βρίσκει το πεδίο ορισμού της ιδιότητας(ρόλος) R

Σύνταξη: (atomic-role-domain | R |)

Παράμετροι: R ιδιότητα(Object property στο Protégé OWL Plugin)

Απάντηση: οι κλάσεις που αποτελούν το πεδίο ορισμού της ιδιότητας R.

- **atomic-role-range**

Περιγραφή: βρίσκει το πεδίο τιμών της ιδιότητας(ρόλου) R

Σύνταξη: (atomic-role-range | R |)

Παράμετροι: R ιδιότητα(Object property στο Protégé OWL Plugin)

Απάντηση: οι κλάσεις που αποτελούν το πεδίο τιμών της ιδιότητας R.

- **attribute-domain**

Περιγραφή: βρίσκει το πεδίο ορισμού της ιδιότητας R

Σύνταξη: (attribute-domain | A |)

Παράμετροι: Α ιδιότητα (Datatype property στο Protégé OWL Plugin)
Απάντηση: οι κλάσεις που αποτελούν το πεδίο ορισμού της ιδιότητας R.

- **get-tbox-language**

Περιγραφή: επιστρέφει μία συμβολοακολουθία που περιγράφει την εκφραστικότητα της γλώσσας της Περιγραφικής Λογικής που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του σώματος όρων της συγκεκριμένης οντολογίας

Σύνταξη: (get-tbox-language)

Απάντηση: η συμβολοακολουθία ξεκινάει με το τυπικό συμβολισμό των γλωσσών των Περιγραφικών Λογικών \mathcal{ALC} και έπειτα προσθέτει το γράμμα **f** αν χρησιμοποιούνται Datatype properties, το γράμμα **Q** αν χρησιμοποιούνται ποιοτικοποσοτικοί περιορισμοί², το γράμμα **N** αν χρησιμοποιούνται απλοί ποσοτικοί περιορισμοί, το γράμμα **H** αν χρησιμοποιούνται ιεραρχίες ρόλων, το γράμμα **I** αν χρησιμοποιούνται αντίστροφοι ρόλοι, το γράμμα **r+** αν χρησιμοποιούνται μεταβατικοί ρόλοι και το γράμμα **-D** αν χρησιμοποιούνται concrete domain language constructs³.

- **concept-synonyms**

Περιγραφή: επιστρέφει όλες τις ισοδύναμες έννοιες της κλάσης C

Σύνταξη: (concept-synonyms | C |)

Παράμετροι: C έννοια

Απάντηση: λίστα των ισοδύναμων εννοιών

- **concept-descendants**

Περιγραφή: επιστρέφει όλες τις υπαγόμενες έννοιες της κλάσης C

Σύνταξη: (concept-descendants | C |)

Παράμετροι: C έννοια

Απάντηση: λίστα των υπαγόμενων εννοιών

- **describe-concept**

Περιγραφή: δημιουργεί μία περιγραφή της κλάσης C χρησιμοποιώντας το σώμα όρων και το σώμα ισχυρισμών, και συμπεράσματα από τις συλλογιστικές εργασίες

Σύνταξη: (describe-concept | C |)

Παράμετροι: C έννοια

Απάντηση: μία περιγραφή της κλάσης C

²δε χρησιμοποιούνται στο Protégé OWL Plugin

³επίσης δε χρησιμοποιούνται στο Protégé OWL Plugin

4.3 Ερωτήματα βασισμένα στο σώμα ισχυρισμών

- **get-abox-language**

Περιγραφή: επιστρέφει μία συμβολοακολουθία που περιγράφει την εκφραστικότητα της γλώσσας της Περιγραφικής Λογικής που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του σώματος ισχυρισμών της συγκεκριμένης οντολογίας

Σύνταξη: (get-abox-language)

Απάντηση: όμοια με την απάντηση του get-tbox-language

- **individual-instance?**

Περιγραφή: ελέγχει αν ένα άτομο IN ανήκει στην κλάση C

Σύνταξη: (individual-instance? | IN | | C |)

Παράμετροι: IN άτομο, C κλάση

Απάντηση: T αν το άτομο IN ανήκει στην ερμηνεία της κλάσης C, αλλιώς NIL

- **individuals-related?**

Περιγραφή: ελέγχει αν δύο άτομα IN1 και IN2 συνδέονται μέσω της ιδιότητας R

Σύνταξη: (individuals-related? | IN1 | | IN2 | | R |)

Παράμετροι: IN1, IN2 άτομα, R ιδιότητα

Απάντηση: T αν το άτομο IN1 συνδέεται με το άτομο IN2 μέσω της ιδιότητας R στο σώμα ισχυρισμών, αλλιώς NIL

- **individual-direct-types?**

Περιγραφή: βρίσκει τις πιο γενικές υπαγόμενες έννοιες ενός ατόμου IN

Σύνταξη: (individual-direct-types? | IN |)

Παράμετροι: IN άτομο

Απάντηση: μία λίστα με τα ονόματα των πιο γενικών υπαγόμενων εννοιών του ατόμου IN

- **describe-individual**

Περιγραφή: δημιουργεί μία περιγραφή του ατόμου IN χρησιμοποιώντας το σώμα όρων και το σώμα ισχυρισμών, και συμπεράσματα από τις συλλογιστικές εργασίες

Σύνταξη: (describe-individual | IN |)

Παράμετροι: IN άτομο

Απάντηση: μία περιγραφή του ατόμου IN

- **individual-fillers**

Περιγραφή: προσδιορίζει όλα τα άτομα που είναι συνδεδεμένα μέσω της ιδιότητας R με το άτομο IN

Σύνταξη: (individual-fillers | IN | | R |)

Παράμετροι: IN άτομο, R ιδιότητα

Απάντηση: μία λίστα από τα άτομα που είναι συνδεδεμένα μεσω της ιδιότητας R με το άτομο IN

Μέρος ΙΙΙ

Ανάπτυξη οντολογικής γνώσης
για την αναπαράσταση των
εκφράσεων του προσώπου
σύμφωνα με το πρότυπο
MPEG-4

Η ανάπτυξη του Παγκόσμιου Ιστού σε συνδυασμό με την εξέλιξη των οπτικο-ακουστικών μέσων αύξησε σημαντικά τις δυνατότητες αλλά και τις απαιτήσεις του ανθρώπου να επεξεργάζεται και να εμπλουτίζει το πολυμεσικό υλικό που βρίσκεται στη διάθεσή του. Μία λύση στις αυξανόμενες απαιτήσεις της διαχείρισης του πολυμεσικού υλικού του Παγκόσμιου Ιστού προσέφερε το πρότυπο MPEG-4, αναπαριστώντας την πολυμεσική πληροφορία με αντικείμενα, πραγματικά ή συνθετικά, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με σχέσεις στο χώρο και στο χρόνο.

Ιδιαίτερα σημαντική είναι η συμβολή του προτύπου MPEG-4 στην αφαιρετική αναπαράσταση του ανθρώπινου προσώπου.

Στη συνέχεια του τρίτου μέρους, στο κεφάλαιο 5, θα περιγράψουμε την αναπαράσταση του ανθρώπινου προσώπου και της κίνησής του με τη βοήθεια των παραμέτρων FDPs και FAPs του προτύπου MPEG-4. Στη συνέχεια στο κεφάλαιο 6, θα αναλύσουμε τις βασικές συναισθηματικές του εκφράσεις χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους FAPs του MPEG-4, και τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο να παρουσιάσουμε την οντολογία που φτιάξαμε για την ανάλυση των ανθρώπινων εκφράσεων με βάση το MPEG-4.

Κεφάλαιο 5

Παραμετρική αναπαράσταση του προσώπου

5.1 Εισαγωγή στο MPEG-4

Η εξάπλωση του Παγκόσμιου Ιστού σε συνδυασμό με την εξέλιξη των οπτικοακουστικών μέσων άνοιξε νέους ορίζοντες για την ανάπτυξη καινούργιων τομέων εφαρμογών. Ταυτόχρονα, όμως, αύξησε και τις απαιτήσεις ως προς το να συνδυαστούν αντικείμενα ήχου, πραγματικής και συνθετικής εικόνας σε μία μοναδική ιστοσελίδα, ως προς το να υπάρξει υποστήριξη περιγραφής και διαλογικότητας στα αντικείμενα αυτά, καθώς και δυνατότητα περιήγησης στη σκηνή καθώς και ως προς το να υπάρξει η δυνατότητα της ανεξάρτητης αναπαράστασης των αντικειμένων, ώστε να είναι δυνατή η διακριτή επεξεργασία και χρησιμοποίησή τους. Το πρότυπο **MPEG-4** αποτελεί μία προσπάθεια να ικανοποιηθούν οι παραπάνω απαιτήσεις, αναπαριστώντας την πολυμεσική πληροφορία με αντικείμενα, πραγματικά ή συνθετικά, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με σχέσεις στο χώρο και στο χρόνο.

Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του προτύπου MPEG-4 είναι ότι προτείνει μία παραμετρική αναπαράσταση του ανθρώπινου προσώπου, της κίνησής του και των έξι χαρακτηριστικών του συναισθηματικών εκφράσεων.

Με τη βοήθεια του MPEG-4, λοιπόν, είναι πλέον εφικτή η δημιουργία εφαρμογών που περιέχουν ένα μοντέλο ομιλούντος ανθρώπινου προσώπου (talking head) ως τμήμα της διασύνδεσης με το χρήστη, όπως για παράδειγμα είναι οι ιστοσελίδες που προσφέρουν υπηρεσίες ηλεκτρονικού εμπορίου χρησιμοποιώντας τέτοια μοντέλα για την επικοινωνία με το χρήστη. Είναι πλέον εφικτό να πραγματοποιούνται τηλεδιασκέψεις, στις οποίες συνθετικοί διαμεσολαβητές

(agents) υποκαθιστούν τους πραγματικούς χρήστες, και όπου οι διαμεσολαβητές μπορούν να προσομοιώνουν την ομιλία και τις εκφράσεις των χρηστών, αναλύοντας το κείμενο που δέχονται ως είσοδο από τους χρήστες. Στο άμεσο μέλλον αναμένεται να χρησιμοποιηθούν και σε πολλές εκπαιδευτικές και ψυχαγωγικές εφαρμογές.

Πως όμως αναπαρίσταται το ανθρώπινο πρόσωπο και οι εκφράσεις του σύμφωνα με το πρότυπο MPEG-4;

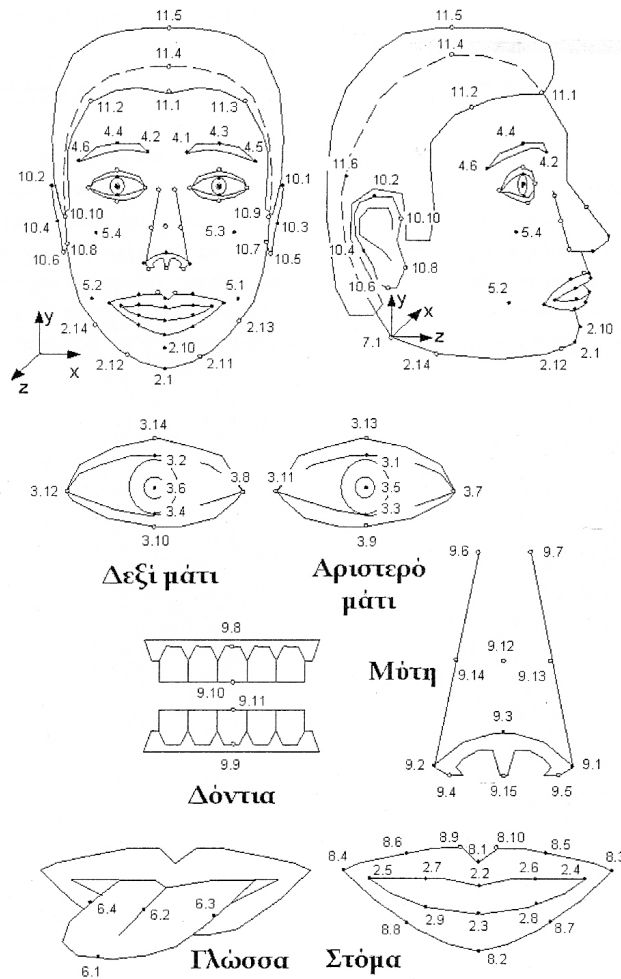
Το κεφάλαιο αυτό είναι αφιερωμένο στο να περιγράψει τον τρόπο με τον οποίο το πρότυπο MPEG-4 χρησιμοποιεί τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του ανθρώπινου κεφαλιού για να παράγει την περιγραφή της γεωμετρίας του, της κίνησής των χαρακτηριστικών του σημείων και των συναισθηματικών του εκφράσεων.

5.2 Παράμετροι Προσδιορισμού και Εμφύχωσης

Το πρότυπο MPEG-4 περιγράφει τη γεωμετρία, την κίνηση και την έκφραση ενός συνθετικού μοντέλου ανθρώπινου προσώπου με ένα σύνολο *Παραμέτρων Προσδιορισμού* και με ένα σύνολο *Παραμέτρων Εμφύχωσης*.

Οι **Παράμετροι Προσδιορισμού (Face Definition Parameters)** του ανθρώπινου προσώπου περιλαμβάνουν τρισδιάστατα **Χαρακτηριστικά Σημεία (Feature Points)**, τα οποία χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό χαρακτηριστικών σημείων του προσώπου, όπως για παράδειγμα το σημείο 4.1 προσδιορίζει το δεξί άκρο του αριστερού φρυδιού. Το σύνολο των Χαρακτηριστικών Σημείων του μοντέλου ανθρώπινου προσώπου που ορίζει το πρότυπο MPEG-4 φαίνονται στην εικόνα 5.1.

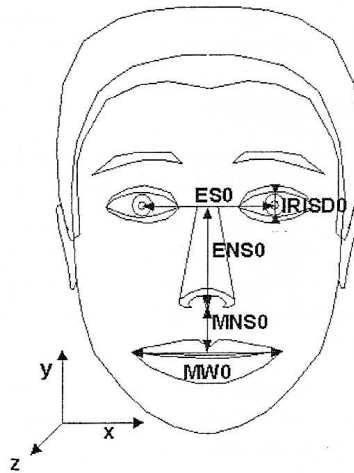
Επιπλέον, στις Παραμέτρους Προσδιορισμού του ανθρώπινου μοντέλου ανήκει το **τρειςδιάστατο πλέγμα (scene graph)** με πληροφορίες για την υφή του και διάφοροι πίνακες (**Face Animation Tables**) που ορίζουν τον τρόπο της παραμόρφωσης του μοντέλου από τις τιμές των Παραμέτρων Εμφύχωσης.



Σχήμα 5.1: Τα Χαρακτηριστικά Σημεία (Feature Points)

Οι **Παράμετροι Εμφύχωσης (Face Animation Parameters)** προέκυψαν από τη μελέτη των παραμορφώσεων του προσώπου, ακόμα και των πιο ανεπαίσθητων, και βασίζονται σε κινήσεις χαρακτηριστικών μυών του προσώπου¹. Οι Παράμετροι Εμφύχωσης περιγράφουν τις βασικές κινήσεις μεμονωμένων ή και ομάδων Χαρακτηριστικών Σημείων του προσώπου. Σύνολα των Παραμέτρων Εμφύχωσης χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των έξι βασικών συναισθηματικών εκφράσεων, αλλά και πολλών άλλων παραμορφώσεων του προσώπου, όπως αυτές που προκύπτουν κατά την ομιλία του. Οι Παράμε-

¹μια πλήρης περιγραφή των μυών του προσώπου και του πώς αυτοί συμμετέχουν στις διάφορες παραμορφώσεις του υπάρχει στην πηγή [5]



Σχήμα 5.2: Οι μονάδες των παραμέτρων εμφύχωσης (FAPUs)

τρει Εμφύχωσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2 στο τέλος του κεφαλαίου, μαζί με τα βασικά χαρακτηριστικά τους, τα οποία θα εξηγηθούν στη συνέχεια.

Το κυριότερο χαρακτηριστικό των Παραμέτρων Εμφύχωσης είναι η ακέραια τιμή τους αν πρόκειται για Παράμετρο διπλής κατεύθυνσης (Bidirectional FAP) ή η θετική ακέραια τιμή τους, αν πρόκειται για Παράμετρο μονής κατεύθυνσης (Unidirectional FAP). Η τιμή της κάθε Παραμέτρου Εμφύχωσης (**FAP value**) αντιστοιχεί στην ένταση της παραμόρφωσης που θα επιβληθεί στο ανθρώπινο μοντέλο, και για αυτό άλλωστε όταν θέλουμε να αποδώσουμε εκφράσεις δυνατές μόνο από ένα cartoon χρησιμοποιούμε τις πιο υπερβολικές τιμές των Παραμέτρων Εμφύχωσης. Ένα άλλο παράδειγμα είναι ότι αν θέλουμε να πετύχουμε τη διάκριση ενός ειλικρινούς χαμόγελου από ένα συγκρατημένο μειδίαμα, αυτό μπορούμε να το καταφέρουμε απλά, χρησιμοποιώντας και για τα δύο είδη χαμόγελου το ίδιο σύνολο από Παραμέτρους, αλλά διαφοροποιώντας τις τιμές τους. Το αν είναι μία Παράμετρος Εμφύχωσης μονής ή διπλής κατεύθυνσης καθορίζεται στην τέταρτη στήλη των σχημάτων με τις ιδιότητες των Παραμέτρων Εμφύχωσης. Η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή κάθε Παραμέτρου Εμφύχωσης παρουσιάζεται στην τελευταία στήλη των Σχημάτων με τις ιδιότητές τους.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό των Παραμέτρων Εμφύχωσης είναι οι μονάδες τους (**FAP Units**). Οι μονάδες αυτές υπολογίζονται ως υποδιαιρέσεις μετρήσεων μεταξύ Χαρακτηριστικών Σημείων του μοντέλου, όπως φαίνεται στην

εικόνα 5.2. και δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$ES = \frac{ES_0}{1000}, ENS = \frac{ENS_0}{1000}, MNS = \frac{MNS_0}{1000}, MW = \frac{MW_0}{1000} \quad (5.1)$$

Η μονάδα κάθε Παραμέτρου Εμφύχωσης ξεχωριστά διευκρινίζεται στην προτελευταία στήλη των σχημάτων με τις ιδιότητες των Παραμέτρων Εμφύχωσης.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό των Παραμέτρων Εμφύχωσης είναι η κατεύθυνση των θετικών τιμών τους (PosMotion), που για κάθε Παράμετρο Εμφύχωσης ξεχωριστά διευκρινίζεται στην πέμπτη στήλη των σχημάτων με τις ιδιότητες των Παραμέτρων Εμφύχωσης .

5.3 Προσδιορισμός του ανθρώπινου μοντέλου

Η επικοινωνία μεταξύ του χρήστη και του κωδικοποιητή που διαμορφώνει το μοντέλο ομιλούντος ανθρώπινου προσώπου της εφαρμογής πραγματοποιείται με τη μετατροπή της εισόδου του χρήστη σε ακολουθία από Παραμέτρους Εμφύχωσης. Για την αποκωδικοποίηση της ακολουθίας αυτής, το τερματικό του χρήστη θα πρέπει να ενσωματώνει μία σειρά από κανόνες για την ικανοποιητική ερμηνεία των Παραμέτρων Εμφύχωσης, και οι οποίοι εξαρτώνται από το συγκεκριμένο ανθρώπινο μοντέλο που χρησιμοποιείται. Το μοντέλο που χρησιμοποιείται είναι ή τοπικό ή κάποιο μοντέλο που μπορεί να αντλήσει ο χρήστης από κάποια δικτυακή τοποθεσία. Το μοντέλο της δικτυακής τοποθεσίας είναι προσαρμοσμένο στις απαιτήσεις του προτύπου MPEG-4 με τη βοήθεια κανόνων, οι οποίοι μεταδίδονται ταυτόχρονα με αυτό στη μορφή των Face Animation Tables (FATs). Η προσαρμογή του τοπικού μοντέλου στο MPEG-4 θα βασίζεται σε κανόνες που είναι αποθηκευμένοι στον αποκωδικοποιητή του τερματικού του χρήστη.

Ωστόσο πρέπει να τονίσουμε ότι το πρότυπο είναι αρκετά ανεκτικό και δεν περιγράφει αναλυτικά την προσαρμογή του εκάστοτε μοντέλου σε συγκεκριμένες μετρήσεις, παρά μόνο καθορίζει το σύνολο των δεδομένων και των γεωμετρικών σημείων που απαιτούνται για τον πλήρη ορισμό του, και αυτό γιατί το MPEG-4 θέλει να είναι εύρειας χρήσης. Για παράδειγμα, η πιο απλή περίπτωση καθορισμού ενός μοντέλου σύμφωνα με το MPEG-4 απαιτεί τον καθορισμό

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΩΠΟΥ 49

πενήντα Χαρακτηριστικών Σημείων του. Παρόλο που το αισθητικό αποτέλεσμα της οποιαδήποτε εμφύχωσής του μοντέλου αυτού δε θα ήταν ικανοποιητικό για οποιοδήποτε χρήστη, επειδή το αποτέλεσμα για τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές είναι ικανοποιητικό το μοντέλο αυτό είναι αποδεκτό από το MPEG-4.

Οι μόνες σαφείς απαιτήσεις που επιβάλλει το πρότυπο MPEG-4 σε ένα μοντέλο ομιλούντος ανθρώπινου προσώπου που βρίσκεται σε κατάσταση πλήρους ηρεμίας, δηλαδή έχει την ουδέτερη έκφραση, ώστε το μοντέλο να είναι συμβατό με αυτό είναι οι εξής:

- το μοντέλο να κοιτάζει προς τον θετικό άξονα των z
- όλοι οι μυς του να είναι χαλαροί
- τα βλέφαρα να εφάπτονται στην ίριδα
- η κόρη του ματιού να έχει διάμετρο ίση με το ένα τρίτο της διαμέτρου της ίριδας
- το στόμα του να είναι κλειστό, τα χείλη του να εφάπτονται μεταξύ τους και η εσωτερική γραμμή των χειλιών του να είναι οριζόντια και στο ίδιο επίπεδο με τα εξωτερικά ακριανά σημεία των χειλιών
- και τέλος, η γλώσσα του να είναι επίπεδη και οριζόντια, με την άκρη της να εφάπτεται στο όριο μεταξύ της άνω και κάτω οδοντοστοιχείας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΩΠΟΥ 50

Αριθμός	Ονομασία	Περιγραφή	Μονής ή Διπλής Κατεύθυνσης	Κατεύθυνση θετικών τιμών	Μονάδα	Ελάχιστη Μέγιστη τιμή
3	open_jaw	κατακόρυφη μετατόπιση της γνάθου (δεν επηρεάζει το στόμα)	Μονής	Κάτω	MNS	0/+1080
4	lower_t_midlip	κατακόρυφη μετατόπιση του μέσου της εσωτερικής γραμμής του άνω χείλους	Διπλής	Κάτω	MNS	±600
5	raise_b_midlip	κατακόρυφη μετατόπιση του μέσου της εσωτερικής γραμμής του κάτω χείλους	Διπλής	Πάνω	MNS	±1860
6	strech_l_cornerlip	οριζόντια μετατόπιση του αριστερού άκρου της εσωτερικής γωνίας των χειλιών	Διπλής	Αριστερά	MW	±600
7	strech_r_cornerlip	οριζόντια μετατόπιση του δεξιού άκρου της εσωτερικής γωνίας των χειλιών	Διπλής	Δεξιά	MW	±600
8	lower_t_lip_lm	κατακόρυφη μετατόπιση του ενδιάμεσου σημείου μεταξύ της αριστερής γωνίας και κέντρου της εσωτερικής γραμμής του άνω χείλους	Διπλής	Κάτω	MNS	±600
9	lower_t_lip_rm	κατακόρυφη μετατόπιση του ενδιάμεσου σημείου μεταξύ της δεξιάς γωνίας και κέντρου της εσωτερικής γραμμής του άνω χείλους	Διπλής	Κάτω	MNS	±600

Σχήμα 5.3: Οι Παράμετροι Εμφύχωσης (FAPs) και οι ιδιότητες τους

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΩΠΟΥ 51

Αριθμός	Ονομασία	Περιγραφή	Μονής ή Διπλής Κατεύθυνσης	Κατεύθυνση θετικών τιμών	Μονάδα	Ελάχιστη Μέγιστη τιμή
10	raise_b_lip_lm	κατακόρυφη μετατόπιση του ενδιάμεσου σημείου μεταξύ της αριστερής γωνίας και κέντρου της εσωτερικής γραμμής του κάτω χείλους	Διπλής	Πάνω	MNS	±1860
11	raise_b_lip_rm	κατακόρυφη μετατόπιση του ενδιάμεσου σημείου μεταξύ της δεξιάς γωνίας και κέντρου της εσωτερικής γραμμής του κάτω χείλους	Διπλής	Πάνω	MNS	±1860
12	raise_l_comerlip	κατακόρυφη μετατόπιση του αριστερού άκρου της εσωτερικής γωνίας των χειλιών	Διπλής	Πάνω	MNS	±600
13	raise_r_comerlip	κατακόρυφη μετατόπιση του δεξιού άκρου της εσωτερικής γωνίας των χειλιών	Διπλής	Πάνω	MNS	±600
14	thrust_jaw	σε βάθος μετατόπιση της γνάθου	Μονής	Μπροστά	MNS	0/+600
15	shift_jaw	οριζόντια μετατόπιση της γνάθου	Διπλής	Δεξιά	MW	±1080
16	push_b_lip	σε βάθος μετατόπιση του μέσου της εσωτερικής γραμμής του κάτω χείλους	Διπλής	Μπροστά	MNS	±1080
17	push_t_lip	σε βάθος μετατόπιση του μέσου της εσωτερικής γραμμής του άνω χείλους	Διπλής	Μπροστά	MNS	±1080

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΩΠΟΥ 52

Αριθμός	Ονομασία	Περιγραφή	Μονής ή Διπλής Κατεύθυνσης	Κατεύθυνση θετικών τιμών	Μονάδα	Ελάχιστη Μέγιστη τιμή
18	depress_chin	ανύψωση και συμπίεση του σαγονιού (όπως στην έκφραση της λύπης)	Διπλής	Πάνω	MNS	±420
19	close_t_l_eyelid	κατακόρυφη μετατόπιση του μέσου του άνω αριστερού βλεφάρου	Διπλής	Κάτω	IRISD	±1080
20	close_t_r_eyelid	κατακόρυφη μετατόπιση του μέσου του άνω δεξιού βλεφάρου	Διπλής	Κάτω	IRISD	±1080
21	close_b_l_eyelid	κατακόρυφη μετατόπιση του μέσου του κάτω αριστερού βλεφάρου	Διπλής	Πάνω	IRISD	±600
22	close_b_r_eyelid	κατακόρυφη μετατόπιση του μέσου του κάτω δεξιού βλεφάρου	Διπλής	Πάνω	IRISD	±600
23	yaw_l_eyeball	οριζόντιος προσανατολισμός του βολβού του αριστερού ματιού	Διπλής	Αριστερά	AU	±1200
24	yaw_r_eyeball	οριζόντιος προσανατολισμός του βολβού του δεξιού ματιού	Διπλής	Αριστερά	AU	±1200
25	pitch_l_eyeball	κάθετος προσανατολισμός του βολβού του αριστερού ματιού	Διπλής	Κάτω	AU	±900
26	pitch_r_eyeball	κάθετος προσανατολισμός του βολβού του δεξιού ματιού	Διπλής	Κάτω	AU	±900
27	thrust_l_eyeball	σε βάθος μετατόπιση του βολβού του αριστερού ματιού	Διπλής	Μπροστά	ES	±600
28	thrust_r_eyeball	σε βάθος μετατόπιση του βολβού του δεξιού ματιού	Διπλής	Μπροστά	ES	±600

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΩΠΟΥ 53

Αριθμός	Ονομασία	Περιγραφή	Μονής ή Διπλής Κατεύθυνσης	Κατεύθυνση θετικών τιμών	Μονάδα	Ελάχιστη Μέγιστη τιμή
29	dilate_l_pupil	διαστολή της κόρης του αριστερού ματιού	Διπλής	Έξω	IRISD	±420
30	dilate_r_pupil	διαστολή της κόρης του δεξιού ματιού	Διπλής	Έξω	IRISD	±420
31	raise_l_i_eyebrow	κατακόρυφη μετατόπιση της εσωτερικής γωνίας του αριστερού φρυδιού	Διπλής	Πάνω	ENS	±900
32	raise_r_i_eyebrow	κατακόρυφη μετατόπιση της εσωτερικής γωνίας του δεξιού φρυδιού	Διπλής	Πάνω	ENS	±900
33	raise_l_m_eyebrow	κατακόρυφη μετατόπιση του μέσου του αριστερού φρυδιού	Διπλής	Πάνω	ENS	±900
34	raise_r_m_eyebrow	κατακόρυφη μετατόπιση του μέσου του δεξιού φρυδιού	Διπλής	Πάνω	ENS	±900
35	raise_l_o_eyebrow	κατακόρυφη μετατόπιση της εξωτερικής γωνίας του αριστερού φρυδιού	Διπλής	Πάνω	ENS	±900
36	raise_r_o_eyebrow	κατακόρυφη μετατόπιση της εξωτερικής γωνίας του δεξιού φρυδιού	Διπλής	Πάνω	ENS	±900
37	squeeze_l_eyebrow	οριζόντια μετατόπιση της εσωτερικής γωνίας του αριστερού φρυδιού	Διπλής	Δεξιά	ES	±900
38	squeeze_r_eyebrow	οριζόντια μετατόπιση της εσωτερικής γωνίας του δεξιού φρυδιού	Διπλής	Αριστερά	ES	±900

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΩΠΟΥ 54

Αριθμός	Ονομασία	Περιγραφή	Μονής ή Διπλής Κατεύθυνσης	Κατεύθυνση θετικών τιμών	Μονάδα	Ελάχιστη Μέγιστη τιμή
39	puff_l_cheek	οριζόντια μετατόπιση του αριστερού μάγουλου	Διπλής	Αριστερά	ES	±900
40	puff_r_cheek	οριζόντια μετατόπιση του δεξιού μάγουλου	Διπλής	Δεξιά	ES	±900
41	lift_l_cheek	κατακόρυφη μετατόπιση του αριστερού μάγουλου	Μονής	Πάνω	ENS	0/+600
42	lift_r_cheek	κατακόρυφη μετατόπιση του δεξιού μάγουλου	Μονής	Πάνω	ENS	0/+600
43	shift_tongue_tip	οριζόντια μετατόπιση της άκρης της γλώσσας	Διπλής	Δεξιά	MW	±1080
44	raise_tongue_tip	κατακόρυφη μετατόπιση της άκρης της γλώσσας	Διπλής	Πάνω	MNS	±1080
45	thrust_tongue_tip	σε βάθος μετατόπιση της άκρης της γλώσσας	Διπλής	Μπροστά	MW	±1080
46	raise_tongue	κατακόρυφη μετατόπιση της γλώσσας	Διπλής	Πάνω	MNS	±1080
47	tongue_roll	δίπλωση της γλώσσας σε σχήμα "U"	Μονής	Κέντρο	AU	0/+300
48	head_pitch	κάθετος προσανατολισμός του κεφαλιού από την κορυφή της σπονδυλικής στήλης	Διπλής	Κάτω	AU	±1860
49	head_yaw	οριζόντιος προσανατολισμός του κεφαλιού από την κορυφή της σπονδυλικής στήλης	Διπλής	Αριστερά	AU	±1860

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΩΠΟΥ 55

Αριθμός	Ονομασία	Περιγραφή	Μονής ή Διπλής Κατεύθυνσης	Κατεύθυνση θετικών τιμών	Μονάδα	Ελάχιστη Μέγιστη τιμή
50	head_roll	περιστροφική κίνηση του κεφαλιού από την κορυφή της σπονδυλικής στήλης	Διπλής	Δεξιά	AU	±1860
51	lower_t_midlip_o	κατακόρυφη μετατόπιση του μέσου της εξωτερικής γραμμής του άνω χείλους	Διπλής	Κάτω	MNS	±600
52	raise_b_midlip_o	κατακόρυφη μετατόπιση του μέσου της εξωτερικής γραμμής του κάτω χείλους	Διπλής	Πάνω	MNS	±1860
53	stretch_l_cornerlip_o	οριζόντια μετατόπιση του αριστερού άκρου της εξωτερικής γωνίας των χειλιών	Διπλής	Αριστερά	MW	±600
54	stretch_r_cornerlip_o	οριζόντια μετατόπιση του δεξιού άκρου της εξωτερικής γωνίας των χειλιών	Διπλής	Δεξιά	MW	±600
55	lower_t_lip_lm_o	κατακόρυφη μετατόπιση του ενδιάμεσου σημείου μεταξύ της αριστερής γωνίας και κέντρου της εξωτερικής γραμμής του άνω χείλους	Διπλής	Κάτω	MNS	±600

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΩΠΟΥ 56

Αριθμός	Ονομασία	Περιγραφή	Μονής ή Διπλής Κατεύθυνσης	Κατεύθυνση θετικών τιμών	Μονάδα	Ελάχιστη Μέγιστη τιμή
56	lower_t_lip_rm_o	κατακόρυφη μετατόπιση του ενδιάμεσου σημείου μεταξύ της δεξιάς γωνίας και κέντρου της εξωτερικής γραμμής του άνω χείλους	Διπλής	Κάτω	MNS	±600
57	raise_b_lip_lm_o	κατακόρυφη μετατόπιση του ενδιάμεσου σημείου μεταξύ της αριστερής γωνίας και κέντρου της εξωτερικής γραμμής του κάτω χείλους	Διπλής	Πάνω	MNS	±1860
58	raise_b_lip_rm_o	κατακόρυφη μετατόπιση του ενδιάμεσου σημείου μεταξύ της δεξιάς γωνίας και κέντρου της εξωτερικής γραμμής του κάτω χείλους	Διπλής	Πάνω	MNS	±1860
59	raise_l_comerlip_o	οριζόντια μετατόπιση του αριστερού άκρου της εξωτερικής γωνίας των χειλιών	Διπλής	Πάνω	MNS	±600
60	raise_r_comerlip_o	οριζόντια μετατόπιση του δεξιού άκρου της εξωτερικής γωνίας των χειλιών	Διπλής	Πάνω	MNS	±600
61	stretch_l_nose	οριζόντια μετατόπιση του αριστερού ρουθουνιού	Διπλής	Αριστερά	ENS	±540
62	stretch_r_nose	οριζόντια μετατόπιση του δεξιού ρουθουνιού	Διπλής	Δεξιά	ENS	±540

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΩΠΟΥ 57

Αριθμός	Ονομασία	Περιγραφή	Μονής ή Διπλής Κατεύθυνσης	Κατεύθυνση θετικών τιμών	Μονάδα	Ελάχιστη Μέγιστη τιμή
63	raise_nose	κατακόρυφη μετατόπιση της άκρης της μύτης	Διπλής	Πάνω	ENS	±680
64	bend_nose	οριζόντια μετατόπιση της άκρης της μύτης	Διπλής	Δεξιά	ENS	±900
65	raise_l_ear	κατακόρυφη μετατόπιση του αριστερού αυτιού	Διπλής	Πάνω	ENS	±900
66	raise_r_ear	κατακόρυφη μετατόπιση του δεξιού αυτιού	Διπλής	Πάνω	ENS	±900
67	pull_l_ear	οριζόντια μετατόπιση του αριστερού αυτιού	Διπλής	Αριστερά	ENS	±900
68	pull_r_ear	οριζόντια μετατόπιση του δεξιού αυτιού	Διπλής	Δεξιά	ENS	±900
Παράμετροι Εμφύχωσης Υψηλού Επιπέδου						
1	visemes	Οπτικοποιήσεις Φωνημάτων				
2	expressions	Μεταβλητές που προδιορίζουν τις συναισθηματικές εκφράσεις του συνθετικού μοντέλου				

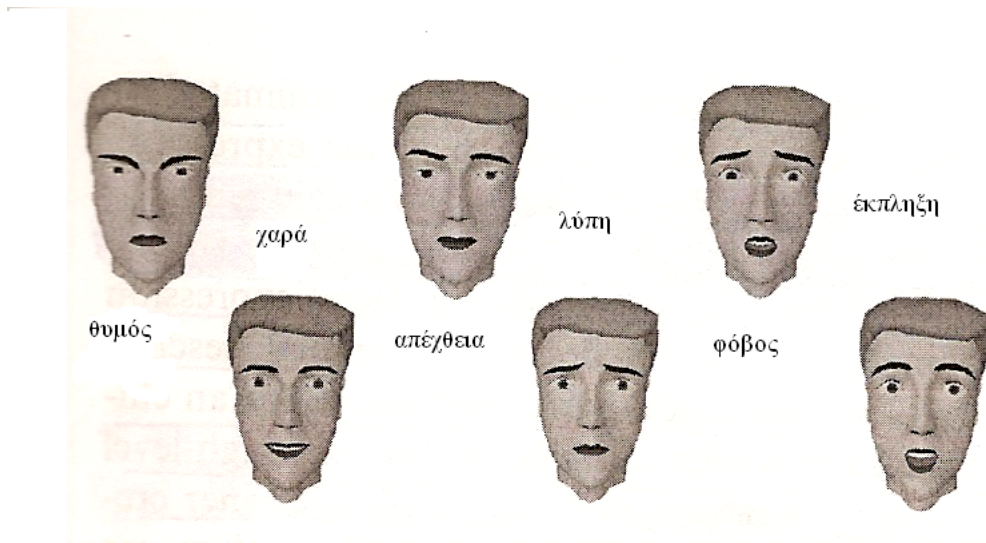
Κεφάλαιο 6

Οι χαρακτηριστικές εκφράσεις

6.1 Εισαγωγή

Η ικανοποιητική αναπαράσταση συναισθηματικών εκφράσεων σε ένα συνθετικό μοντέλο ανθρώπινου κεφαλιού είναι ένα απαραίτητο στοιχείο για τις εφαρμογές που στηρίζονται στην επικοινωνία ανθρώπου - μηχανής. Σε ένα τέτοιο οικείο γραφικό περιβάλλον οι οδηγίες ή οι πληροφορίες που παρουσιάζονται στο χρήστη γίνονται πιο εύκολα αντιληπτές, για αυτό άλλωστε πολλά σύγχρονα προϊόντα λογισμικού περιέχουν ενσωματωμένα ανθρωπόμορφα μοντέλα στα συστήματα βοήθειας τους. Τα συνθετικά μοντέλα χρησιμοποιούνται ή πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στο άμεσο μέλλον σε πολλές ακόμα εκπαιδευτικές και ψυχαγωγικές εφαρμογές.

Επειδή λοιπόν προέκυψε η ανάγκη για την όσο το δυνατόν καλύτερη αναπαράσταση των συναισθηματικών εκφράσεων ενός συνθετικού μοντέλου το πρότυπο MPEG-4 προβλέπει την περιγραφή των έξι βασικών χαρακτηριστικών εκφράσεων, δηλαδή της χαράς, της λύπης, του θυμού, του φόβου, της απέχθειας και της έκπληξης. Ωστόσο, όπως συμβαίνει σε όλους τους τομείς του προτύπου, η περιγραφή αυτή των έξι βασικών χαρακτηριστικών εκφράσεων είναι μόνο λεκτική και αρκετά γενική, χωρίς να προσδιορίζει ακριβώς το σύνολο των FAPs (Παραμέτρων Εμφύχωσης) και τις τιμές τους που θα χρησιμοποιηθούν από τον κωδικοποιητή ή τον αποκωδικοποιητή για να σχηματίσουν τη συγκεκριμένη έκφραση. Αντίθετα, αφήνει τη διαδικασία αυτή να γίνει από τον εκάστοτε σχεδιαστή της εφαρμογής ή του κωδικοποιητή. Μία πρόταση του προτύπου για το πως να αναπαρίστανται οι καθολικές εκφράσεις σε συνθετικά μοντέλα φαίνεται στην εικόνα 6.1.



Σχήμα 6.1: Μία πρόταση για τις έξι καθολικές εκφράσεις από το πρότυπο MPEG-4

Για τους παραπάνω λόγους, προκύπτει η ανάγκη εμείς να προσδιορίσουμε σύνολα από FAPs(Παραμέτρους Εμφύχωσης) μαζί με τις τιμές τους, που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν από έναν αποκωδικοποιητή για να αναπαραστήσουν ικανοποιητικά διαφορετικές εκφάνσεις των έξι βασικών χαρακτηριστικών εκφράσεων του συνθέτικου μοντέλου, αφού πρώτα μελετήσουμε ορισμένα βασικά στοιχεία για την αναπαράσταση των συναισθηματικών εκφράσεων του ανθρώπινου προσώπου.

Έτσι, στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε βασικά στοιχεία για την αναπαράσταση των συναισθηματικών εκφράσεων του ανθρώπινου προσώπου, για να μπορέσουμε έπειτα να καταλήξουμε στον καθορισμό των κατάλληλων συνόλων από FAPs που αρκούν για την αισθητικά ικανοποιητική απόδοση τους.

6.2 Οι έξι καθολικές χαρακτηριστικές εκφράσεις συναισθήματος

Η αναγνώριση, η αναπαράσταση και η κατηγοριοποίηση των συναισθηματικών εκφράσεων του ανθρώπινου προσώπου αποτελούν αντικείμενο έρευνας από τις αρχές του εικοστού αιώνα τόσο για τη ζωγραφική όσο και για την ψυχολογία. Σύμφωνα με μία εργασία του Paul Ekman[8], μία έρευνα που πραγματοποιή-

ήθηκε δείχνοντας τις ίδιες φωτογραφίες διαφορετικών εκφράσεων προσώπων σε άτομα μεγαλωμένα σε διαφορετικά πολιτιστικά περιβάλλοντα, οι μόνες εκφράσεις που γίνονταν από όλους και με τον ίδιο τρόπο αντιληπτές ήταν οι εκφράσεις της χαράς, της λύπης, του θυμού, του φόβου, της απέχθειας και της έκπληξης. Για αυτό το λόγο, αυτές οι εκφράσεις ονομάστηκαν **καθολικές (universal)** και για αυτό υιοθετήθηκαν από το πρότυπο MPEG-4.

Ένα χαρακτηριστικό όλων των συναισθηματικών εκφράσεων του προσώπου είναι ότι για να παραχθούν εμπλέκουν οπωσδήποτε μία ή και περισσότερες από τις **τρεις εκφραστικές περιοχές** του προσώπου, οι οποίες είναι **τα φρύδια, τα μάτια και το στόμα**.

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε τις έξι καθολικές συναισθηματικές εκφράσεις, θεωρώντας την καθεμία ξεχωριστά ως μία οικογένεια διαφορετικών εκφράσεων. Οι εκφράσεις που ανήκουν στην ίδια οικογένεια μπορούν να διαφέρουν τόσο ως προς την ένταση, όπως για παράδειγμα η λύπη από την απόγνωση, όσο και ως προς τη σημασιολογία τους, όπως για παράδειγμα η ευχάριστη από την αμήχανη έκπληξη.

Οι έξι καθολικές συναισθηματικές εκφράσεις μαζί με τις διάφορες εκφάνσεις τους και με την αφαιρετική περιγραφή της αναπαράστασής τους μέσω των παραμορφώσεων των εκφραστικών περιοχών του προσώπου παρουσιάζονται αμέσως παρακάτω, με βάση την πηγή [5]:

* **Χαρά**

Η έκφραση της χαράς είναι η πιο πολύπλοκη από όλες τις άλλες εκφράσεις και η πιο δύσκολη στην ανάλυσή της. Το χαμόγελο μπορεί να συνδέεται με ένα πλήθος διαφορετικών εκφράσεων και συναισθημάτων. Μπορεί να ενυπάρχει τόσο στην ευφορία όσο και στη μελαγχολία, τόσο στην πραγματική όσο και στην υποκριτική ευτυχία.

Στην απλή έκφραση της χαράς τα φρύδια είναι χαλαρωμένα. Τα άνω βλέφαρα είναι ελαφρά χαμηλωμένα και τα κάτω βλέφαρα πιέζονται προς τα πάνω από το άνω μέρος των μάγουλων (των ζυγοματικών). Το στόμα μπορεί να είναι κλειστό, οπότε τα χείλη είναι λεπτά και σφιχτά, ή πολύ ανοικτό, οπότε οι άκρες των χειλιών είναι τραβηγμένες προς τα αυτιά, το άνω χείλος σχηματίζει ευθεία οριζόντια γραμμή, επιτρέποντας στην άνω οδοντοστοιχία να φανεί, και το κάτω χείλος είναι ίσιο στο κέντρο και σχηματίζει γωνίες στις άκρες.

Οι διαφορετικές εκφάνσεις της χαράς ποικίλουν και περιλαμβάνουν θορυβώδη ή όχι γέλια, χαμόγελο με ανοικτό ή κλειστό στόμα, συγκαλυμμένο, ή μελαγχολικό, ή ενθουσιώδες, ή διεφθαρμένο, ή ψεύτικο χαμόγελο. Ακόμα οι παραλλάγές αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν ανοικτά ή και κλειστά μάτια.

* Λύπη

Είναι το πλέον έντονο συναίσθημα και είναι δυνατό να αφήνει μία σκιά στο πρόσωπο, ενώ οι υπόλοιπες εκφράσεις έχουν ήδη ατονήσει. Η παραμόρφωση των φρυδιών είναι παρούσα σε κάθε έκφασή της. Συνήθως, κυρτώνουν προς τα πάνω, ιδιαίτερα οι εσωτερικές τους γωνίες, με εξαίρεση το κλάμα, στο οποίο είναι πιεσμένα προς τα κάτω. Ωστόσο, όταν η λύπη είναι πολύ μεγάλη το σημείο-κλειδί για την αναγνώρισή της είναι τα μάτια, τα οποία είναι πολύ σφιχτά κλεισμένα.

Η λύπη έχει πολλές διαβαθμίσεις και παραλλαγές, από τη συγκαλυμμένη λύπη μέχρι το γοερό κλάμα με ανοικτό το στόμα. Επιπλέον, λυπημένος θεωρείται αυτός που είναι έτοιμος να κλάψει, αλλά και αυτός που είναι απλά δυστυχημένος. Οι παραλλαγές αυτές μπορούν να περιλαμβάνουν ερμητικά κλειστά μάτια, εντελώς κατεβασμένα φρύδια, ανοικτό τετραγωνισμένο στόμα, εξόγκωμα στο πηγούνι ή και έντονο ρινοχειλικό δίπλωμα.

* Θυμός

Το κοινό σημείο σε όλα σχεδόν τα θυμωμένα πρόσωπα είναι τα κατεβασμένα φρύδια, ενώ το σημείο διαφοροποίησης είναι το άνοιγμα των ματιών και του στόματος. Όσο πιο πολύ ανοικτά είναι τα μάτια, τόσο πιο έντονος είναι ο θυμός. Επιπλέον, δεδομένων των ματιών, κάποιος ο οποίος έχει τα χείλη του σφιχτά κλεισμένα θεωρείται λιγότερο θυμωμένος από κάποιον ο οποίος φωνάζει με ανοικτό το στόμα.

Τα χαρακτηριστικά στοιχεία του θυμού είναι τα κατεβασμένα φρύδια, τα οποία πρέπει να βρίσκονται κάτω από το ανώτερο μέρος των άνω βλεφάρων, τα ανοικτά μάτια, στα οποία συνήθως η ίριδα δεν σκεπάζεται από το άνω βλέφαρο περισσότερο από 25%, και το στόμα, το οποίο είναι είτε ανοικτό αφήνοντας να φανούν τα δόντια είτε σφιχτά κλειστό. Στον απλό θυμό οι εσωτερικές γωνίες των φρυδιών σμίγουν προς τα κάτω και η χαμηλότερη άκρη είναι στο ίδιο επίπεδο με το άνω βλέφαρο. Τα μάτια είναι ορθάνοικτα, αλλά τα κατεβασμένα φρύδια εμποδίζουν την εμφάνιση

του άσπρου των ματιών, πάνω από την ίριδα. Το στόμα είναι κλειστό και το άνω χείλος είναι ελαφρώς συμπιεσμένο ή τετραγωνισμένο.

Οι διαβαθμίσεις του κυμαίνονται από τον απλό θυμό μέχρι τον κραυγάζοντα, από τη βλοσυρότητα μέχρι τη λυσσαλέα οργή. Οι διαφορετικές αυτές εκφάνσεις του θυμού μπορούν να περιλαμβάνουν σφιχτά συμπιεσμένα χείλη και εξόγκωμα στο πηγούνι ή ανοικτό στόμα που αφήνει να φανούν τα δόντια και έχει σχήμα περιπαικτικού χαμόγελου

* Φόβος

Το σημείο-κλειδί για την αναγνώριση της έντασης του συναισθήματος του φόβου είναι τα μάτια. Αν τα μάτια είναι πολύ ανοικτά αμέσως συμπεραίνουμε ότι προκειται για τρόμο. Αντίθετα στον απλό φόβο τα μάτια είναι λίγο πιο ανοικτά από το κανονικό και τα φρύδια είναι ελαφρώς υψωμένα. Η ανησυχία σε ένα πρόσωπο διακρίνεται από το συνδυασμό των υψωμένων φρυδιών είτε με τα γουρλωμένα μάτια, είτε με το ανοικτό στόμα είτε με το σφιχτά κλεισμένο στόμα.

Γενικά ο φόβος ποικίλει από την απλή ανησυχία μέχρι τον τρόμο. Ο φόβος εκδηλώνεται με τα σηκωμένα και ταυτόχρονα πιεσμένα φρύδια, και τις εσωτερικές τους γωνίες διπλωμένες προς τα πάνω. Τα μάτια του φοβισμένου είναι σε επαγρύπνηση. Το στόμα μπορεί να είναι ελαφρώς ανοικτό. Στην ανησυχία, τα χείλη είναι σφιγμένα γερά και τα περιφερειακά όρια των χειλιών εξαφανίζονται, ενώ ταυτόχρονα εμφανίζεται ένα εξόγκωμα κάτω από το κάτω χείλος και πάνω από το πηγούνι. Στον τρόμο τα μάτια και το στόμα είναι ορθάνοικτα, το πάνω χείλος είναι χαλαρωμένο, ενώ το κάτω χείλος είναι εντελώς τεντωμένο και σφιχτό αφήνοντας να φανεί η κάτω οδοντοστοιχία.

* Απέχθεια

Η απέχθεια κυμαίνεται από την περιφρόνηση και τον σαρχασμό μέχρι τη φυσική αποστροφή. Στην απέχθεια τα φρύδια είναι χαλαρωμένα και τα βλέφαρα είναι επίσης χαλαρωμένα ή ελαφρώς κλειστά. Το άνω χείλος είναι ανυψωμένο όπως σε ένα περιπαικτικό και συχνά ασύμμετρο χαμόγελο. Το κάτω χείλος είναι χαλαρωμένο. Στην περιφρόνηση τα βλέφαρα μπορεί να είναι μερικώς κλειστά και τα μάτια να κοιτάζουν προς τα κάτω. Στη φυσική αποστροφή τα φρύδια, κυρίως οι εσωτερικές τους γωνίες, είναι χαμηλωμένα, ενώ τα μάτια μπορεί να είναι σχεδόν κλειστά, δίνοντας την εντύπωση ότι “στραβοκοιτάζουν”. Το άνω χεί-

λος υψώνεται όπως σε ένα έντονα περιπαικτικό χαμόγελο, και επιτρέπει στην άνω οδοντοστοιχεία να φανεί, ενώ το κάτω χείλος υψώνεται και αυτό ελαφρά. Όσο η ένταση του συναισθήματος μειώνεται, η έκφραση εκφυλίζεται στο επίπεδο σχήμα του άνω χείλους.

* **Έκπληξη**

Στην έκπληξη τα φρύδια είναι υψωμένα όσο το δυνατόν περισσότερο. Τα άνω βλέφαρα είναι ορθάνοικτα και τα κάτω είναι χαλαρωμένα. Το στόμα είναι ανοικτό σε σχήμα οβάλ.

6.3 Απόδοση των εκφράσεων με σύνολα από FAPs

Μετά την αφαιρετική περιγραφή των έξι καθολικών συναισθηματικών εκφράσεων που έγινε παραπάνω και αφού συσχετίσουμε την κίνηση χαρακτηριστικών σημείων των εκφραστικών περιοχών του προσώπου με συγκεκριμένα FAPs μπορούμε στη συνέχεια με βάση μετρήσεις σε πραγματικά δεδομένα να καθορίσουμε ποια σύνολα από FAPs μπορούν να εμπλέκονται σε κάθε έκφραση.

Για να συσχετίσουμε την κίνηση χαρακτηριστικών σημείων του ανθρώπινου προσώπου με συγκεκριμένα FAPs πρέπει να κάνουμε την παραδοχή ότι η κίνηση προκύπτει σαν αποτέλεσμα μιας στοιχειώδους δράσης, αντίστοιχης της συνθετικής παραμόρφωσης που περιγράφει η Παράμετρος Εμφύχωσης. Για παράδειγμα, η χαμηλού επιπέδου (low level) Παράμετρος Εμφύχωσης `open_jaw` (FAP_3) μπορεί να προσεγγιστεί από τη μεταβολή της απόστασης ανάμεσα στο άνω άκρο του άνω χείλους και το κάτω άκρο του κάτω χείλους σε μία πραγματική εικόνα ή σε μία ακολουθία εικόνων[7]. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε στατικές εικόνες από το σύνολο του Ekman[9], αλλά και σε ακολουθίες εικόνων από το Medialab[10] οδήγησαν στα γενικά αποτελέσματα του σχήματος 6.2 για τις έξι καθολικές συναισθηματικές εκφράσεις και στα πιο ειδικά αποτελέσματα του σχήματος 6.3 για συγκεκριμένες εκφάνσεις των έξι καθολικών συναισθηματικών εκφράσεων[11].

Χαρά	<i>open_jaw (F₃), lower_t_midlip (F₄), raise_b_midlip (F₅), stretch_l_cornerlip (F₆), stretch_r_cornerlip (F₇), raise_l_cornerlip (F₁₂), raise_r_cornerlip (F₁₃), close_t_l_eyelid (F₁₉), close_t_r_eyelid (F₂₀), close_b_l_eyelid (F₂₁), close_b_r_eyelid (F₂₂), raise_l_m_eyebrow (F₃₃), raise_r_m_eyebrow (F₃₄), lift_l_cheek (F₄₁), lift_r_cheek (F₄₂), stretch_l_cornerlip_o (F₅₃), stretch_r_cornerlip_o (F₅₄)</i>
Λύπη	<i>close_t_l_eyelid (F₁₉), close_t_r_eyelid (F₂₀), close_b_l_eyelid (F₂₁), close_b_r_eyelid (F₂₂), raise_l_i_eyebrow (F₃₁), raise_r_i_eyebrow (F₃₂), raise_l_m_eyebrow (F₃₃), raise_r_m_eyebrow (F₃₄), raise_l_o_eyebrow (F₃₅), raise_r_o_eyebrow (F₃₆)</i>
Θυμός	<i>lower_t_midlip (F₄), raise_b_midlip (F₅), push_b_lip (F₁₆), depress_chin (F₁₈), close_t_l_eyelid (F₁₉), close_t_r_eyelid (F₂₀), close_b_l_eyelid (F₂₁), close_b_r_eyelid (F₂₂), raise_l_i_eyebrow (F₃₁), raise_r_i_eyebrow (F₃₂), raise_l_m_eyebrow (F₃₃), raise_r_m_eyebrow (F₃₄), raise_l_o_eyebrow (F₃₅), raise_r_o_eyebrow (F₃₆), squeeze_l_eyebrow (F₃₇), squeeze_r_eyebrow (F₃₈)</i>
Φόβος	<i>open_jaw (F₃), lower_t_midlip (F₄), raise_b_midlip (F₅), lower_t_lip_lm (F₈), lower_t_lip_rm (F₉), raise_b_lip_lm (F₁₀), raise_b_lip_rm (F₁₁), close_t_l_eyelid (F₁₉), close_t_r_eyelid (F₂₀), close_b_l_eyelid (F₂₁), close_b_r_eyelid (F₂₂), raise_l_i_eyebrow (F₃₁), raise_r_i_eyebrow (F₃₂), raise_l_m_eyebrow (F₃₃), raise_r_m_eyebrow (F₃₄), raise_l_o_eyebrow (F₃₅), raise_r_o_eyebrow (F₃₆), squeeze_l_eyebrow (F₃₇), squeeze_r_eyebrow (F₃₈)</i>
Απέχθεια	<i>open_jaw (F₃), lower_t_midlip (F₄), raise_b_midlip (F₅), lower_t_lip_lm (F₈), lower_t_lip_rm (F₉), raise_b_lip_lm (F₁₀), raise_b_lip_rm (F₁₁), close_t_l_eyelid (F₁₉), close_t_r_eyelid (F₂₀), close_b_l_eyelid (F₂₁), close_b_r_eyelid (F₂₂), raise_l_m_eyebrow (F₃₃), raise_r_m_eyebrow (F₃₄), lower_t_lip_lm_o (F₅₅), lower_t_lip_rm_o (F₅₆), raise_b_lip_lm_o (F₅₇), raise_b_lip_rm_o (F₅₈), raise_l_cornerlip_o (F₅₉), raise_r_cornerlip_o (F₆₀)</i>
Εκτίληξη	<i>open_jaw (F₃), raise_b_midlip (F₅), stretch_l_cornerlip (F₆), stretch_r_cornerlip (F₇), raise_b_lip_lm (F₁₀), raise_b_lip_rm (F₁₁), close_t_l_eyelid (F₁₉), close_t_r_eyelid (F₂₀), close_b_l_eyelid (F₂₁), close_b_r_eyelid (F₂₂), raise_l_i_eyebrow (F₃₁), raise_r_i_eyebrow (F₃₂), raise_l_m_eyebrow (F₃₃), raise_r_m_eyebrow (F₃₄), raise_l_o_eyebrow (F₃₅), raise_r_o_eyebrow (F₃₆), squeeze_l_eyebrow (F₃₇), squeeze_r_eyebrow (F₃₈), stretch_l_cornerlip_o (F₅₃), stretch_r_cornerlip_o (F₅₄)</i>

Σχήμα 6.2: Γενική περιγραφή των έξι καθολικών εκφράσεων ως σύνολα Παραμέτρων Εμφύχωσης

Anger_1	FAP4[22, 124], FAP31[-131,-25], FAP32[-136, -34], FAP33[-189, -109], FAP34[-183, -105], FAP35[-101, -31], FAP36[-108, -32], FAP37[29, 85], FAP38[27, 89]
Anger_2	FAP19[-330, -200], FAP20[-335,-205], FAP21[200, 330], FAP22[205, 335], FAP31[-200, -80], FAP32[-194, -74], FAP33[-190, -70], FAP34[-190,-70],
Anger_3	FAP19[-330, -200], FAP20[-335,-205], FAP21[200, 330], FAP22[205, 335], FAP31[-200, -80], FAP32[-194, -74], FAP33[70,190], FAP34[70,190]
Anger_4	FAP16[45, 155], FAP18[45,155], FAP19[-330, -200], FAP20[-330,-200], FAP31[-200, -80], FAP32[-194, -74], FAP33[-190, -70], FAP34[-190,-70], FAP37[65, 135], FAP38[65, 135]
Anger_5	FAP16[-355, -245], FAP18[145, 255], FAP19[-330, -200], FAP20[-330,-200], FAP31[-200, -80], FAP32[-194, -74], FAP33[-190, -70], FAP34[-190,-70], FAP37[65, 135], FAP38[65, 135]
Sadness_1	FAP19[-265, -41], FAP20[-270,-52], FAP21[-265, -41], FAP22[-270, -52], FAP31[30, 140], FAP32[26, 134],
Surprise_1	FAP3[569, 1201], FAP5[340, 746], FAP6[-121, -43], FAP7[-121, -43] FAP19[170, 337], FAP20[171, 333], FAP21[170, 337], FAP22[171, 333], FAP31[121, 327], FAP32[114, 308], FAP33[80, 208], FAP34[80, 204], FAP35[23, 85], FAP36[23, 85], FAP53[-121, -43], FAP54[-121, -43]
Surprise_2	FAP3[1150, 1252], FAP5[-792, -700], FAP6[-141, -101], FAP7[-141, -101], FAP10[-530, -470], FAP11[-530, -470] FAP19[-350, -324], FAP20[-346, -320], FAP21[-350, -324], FAP22[-346, -320], FAP31[314, 340], FAP32[295, 321], FAP33[195, 221], FAP34[191, 217], FAP35[72, 98], FAP36[73, 99], FAP53[-141, -101], FAP54[-141, -101]
Surprise_3	FAP3[834, 936], FAP5[-589, -497], FAP6[-102, -62], FAP7[-102, -62], FAP10[-380, -320], FAP11[-380, -320] FAP19[-267, -241], FAP20[-265, -239], FAP21[-267, -241], FAP22[-265, -239], FAP31[211, 237], FAP32[198, 224], FAP33[131, 157], FAP34[129, 155], FAP35[41, 67], FAP36[42, 68]
Surprise_4	FAP3[523, 615], FAP5[-386, -294], FAP6[-63, -23], FAP7[-63, -23], FAP10[-230, -170], FAP11[-230, -170] FAP19[-158, -184], FAP20[-158, -184], FAP21[-158, -184], FAP22[-158, -184], FAP31[108, 134], FAP32[101, 127], FAP33[67, 93], FAP34[67, 93], FAP35[10, 36], FAP36[11, 37]
Joy_1	FAP4[-381, -161], FAP6[136, 382], FAP7[136, 382], FAP19[-387, -121], FAP20[-364, -120], FAP21[-387, -121], FAP22[-364, -120], FAP33[2, 46], FAP34[3, 47], FAP53[136, 332], FAP54[136, 332]

Σχήμα 6.3: Περιγραφή διαφόρων εκφάνσεων των έξι καθολικών εκφράσεων με τις Παραμέτρους Εμφύχωσης

Joy_2	FAP6[160, 240], FAP7[160, 240], FAP12[260, 340], FAP13[260, 340], FAP19[-349, -325], FAP20[-426, -302], FAP21[325, 449], FAP22[302, 426], FAP33[70, 130], FAP34[70, 130], FAP41[130, 170], FAP42[130, 170], FAP53[160, 240], FAP54[160, 240]
Joy_3	FAP6[160, 240], FAP7[160, 240], FAP12[260, 340], FAP13[260, 340], FAP19[-349, -325], FAP20[-426, -302], FAP21[-312, -188], FAP22[-289, -165], FAP33[70, 130], FAP34[70, 130], FAP41[130, 170], FAP42[130, 170], FAP53[160, 240], FAP54[160, 240]
Joy_4	FAP6[160, 240], FAP7[160, 240], FAP12[260, 340], FAP13[260, 340], FAP19[-349, -325], FAP20[-426, -302], FAP21[61, 185], FAP22[38, 162], FAP33[70, 130], FAP34[70, 130], FAP41[130, 170], FAP42[130, 170], FAP53[160, 240], FAP54[160, 240]
Disgust_1	FAP4[-343, -125], FAP5[-285, -69], FAP19[-351, -55], FAP20[-356, -66], FAP21[-351, -55], FAP22[-356, -66], FAP33[-123, -27], FAP34[-126, -28]
Fear_1	FAP3[102, 480], FAP5[83, 453], FAP19[118, 370], FAP20[121, 377], FAP21[118, 370], FAP22[121, 377], FAP31[35, 173], FAP32[39, 183], FAP33[14, 130], FAP34[15, 135]
Fear_2	FAP3[400, 560], FAP5[333, 373], FAP19[-400, -340], FAP20[-407, -347], FAP21[-400, -340], FAP22[-407, -347]
Fear_3	FAP3[400, 560], FAP5[307, 399], FAP19[-530, -470], FAP20[-523, -463], FAP21[-530, -470], FAP22[-523, -463], FAP31[460, 540], FAP32[460, 540], FAP33[460, 540], FAP34[460, 540], FAP35[460, 540], FAP36[460, 540]
Fear_5	FAP3[400, 560], FAP5[-240, -160], FAP19[-630, -570], FAP20[-630, -570], FAP21[-630, -570], FAP22[-630, -570], FAP31[460, 540], FAP32[460, 540], FAP37[60, 140], FAP38[60, 140]
Fear_6	FAP3[400, 560], FAP5[-240, -160], FAP19[-630, -570], FAP20[-630, -570], FAP21[-630, -570], FAP22[-630, -570], FAP31[460, 540], FAP32[460, 540], FAP33[360, 440], FAP34[360, 440], FAP35[260, 340], FAP36[260, 340]
Fear_7	FAP3[400, 560], FAP5[-240, -160], FAP8[-120, -80], FAP9[-120, -80], FAP10[-120, -80], FAP11[-120, -80], FAP19[-630, -570], FAP20[-630, -570], FAP21[-630, -570], FAP22[-630, -570], FAP31[460, 540], FAP32[460, 540], FAP33[360, 440], FAP34[360, 440], FAP35[260, 340], FAP36[260, 340]
Fear_8	FAP3[400, 560], FAP5[-240, -160], FAP19[-630, -570], FAP20[-630, -570], FAP21[-630, -570], FAP22[-630, -570], FAP31[360, 440], FAP32[360, 440], FAP33[260, 340], FAP34[260, 340], FAP35[160, 240], FAP36[160, 240]

Fear_9	FAP3[400, 560], FAP5[-240, -160], FAP19[-630, -570], FAP20[-630, -570], FAP21[-630, -570], FAP22[-630, -570], FAP31[260, 340], FAP32[260, 340], FAP33[160, 240], FAP34[160, 240], FAP35[60, 140], FAP36[60, 140]
Fear_10	FAP3[400, 560], FAP5[307, 399], FAP19[-630, -570], FAP20[-623, -563], FAP21[-630, -570], FAP22[-623, -563], FAP31[460, 540], FAP32[460, 540], FAP33[460, 540], FAP34[460, 540], FAP35[460, 540], FAP36[460, 540]

Κεφάλαιο 7

Ανάπτυξη της οντολογίας

7.1 Εισαγωγή

Είμαστε πλέον έτοιμοι να παρουσιάσουμε το σχεδιασμό και την υλοποίηση του πειραματικού μέρους της διπλωματικής αυτής εργασίας, εφόσον στα προηγούμενα κεφάλαια ολοκληρώθηκε η παρουσίαση των απαραίτητων θεωρητικών στοιχείων που αποτέλεσαν τους κατευθυντήριους άξονες για να γίνει αυτό.

Το πειραματικό μέρος της εργασίας αυτής είναι η ανάπτυξη μίας οντολογίας για την παραμετρική αναπαράσταση του προσώπου ενός συνθετικού ανθρώπινου μοντέλου με βάση το Πρότυπο MPEG-4 και κυρίως για την ανάλυση των έξι καθολικών συναισθηματικών εκφράσεών του.

Για την ανάπτυξη της οντολογίας μας επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε το πρόγραμμα Protégé 3.0 Beta και συγκεκριμένα το Protégé OWL Plugin γιατί συνδυάζει ένα γραφικό, φιλικό προς το χρήστη περιβάλλον εργασίας σε συνδυασμό με την πλούσια σε εκφραστικότητα, και πλήρη ως προς τις συλλογιστικές εργασίες γλώσσα OWL DL¹.

Το επόμενο βήμα για το σχεδιασμό της οντολογίας ήταν να καθορίσουμε με ακρίβεια το πεδίο και το σκοπό της οντολογίας. Το πεδίο της οντολογίας μας είναι η παραμετρική αναπαράσταση του προσώπου ενός συνθετικού ανθρώπινου μοντέλου και των έξι καθολικών συναισθηματικών του εκφράσεων με βάση το πρότυπο MPEG-4. Ο κύριος σκοπός της οντολογίας αυτής είναι να βρίσκει σε ποια από τις έξι οικογένειες καθολικών συναισθηματικών εκφράσεων ανήκει η έκφραση ενός τυχαίου συνθετικού μοντέλου.

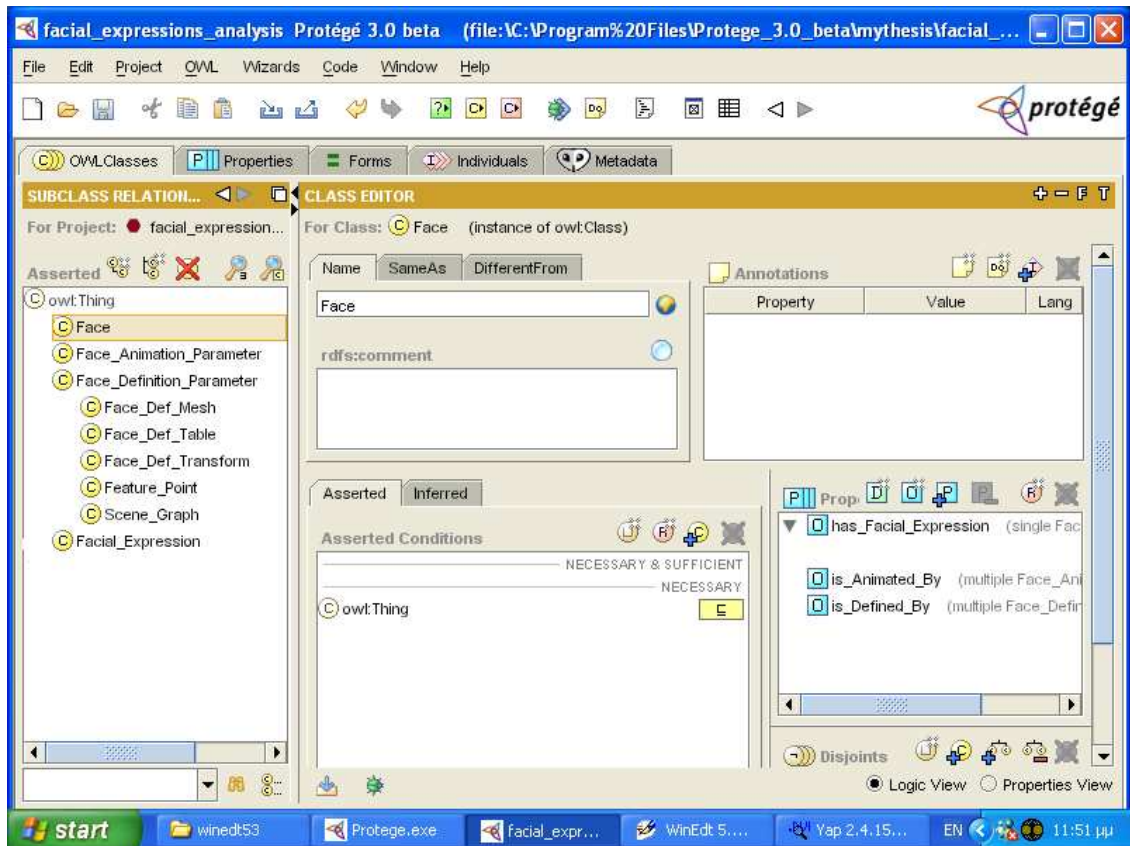
¹πιο πλήρης αιτιολόγηση δόθηκε στο δεύτερο μέρος

Αφού απαντήσαμε στα βασικά ερωτήματα για το σχεδιασμό κάθε οντολογίας, δηλαδή στο ποιο πεδίο γνώσης καλείται να αναπαραστήσει και γιατί, είμαστε έτοιμοι να ξεκινήσουμε την υλοποίησή της.

7.1.1 Κατασκευή σώματος όρων

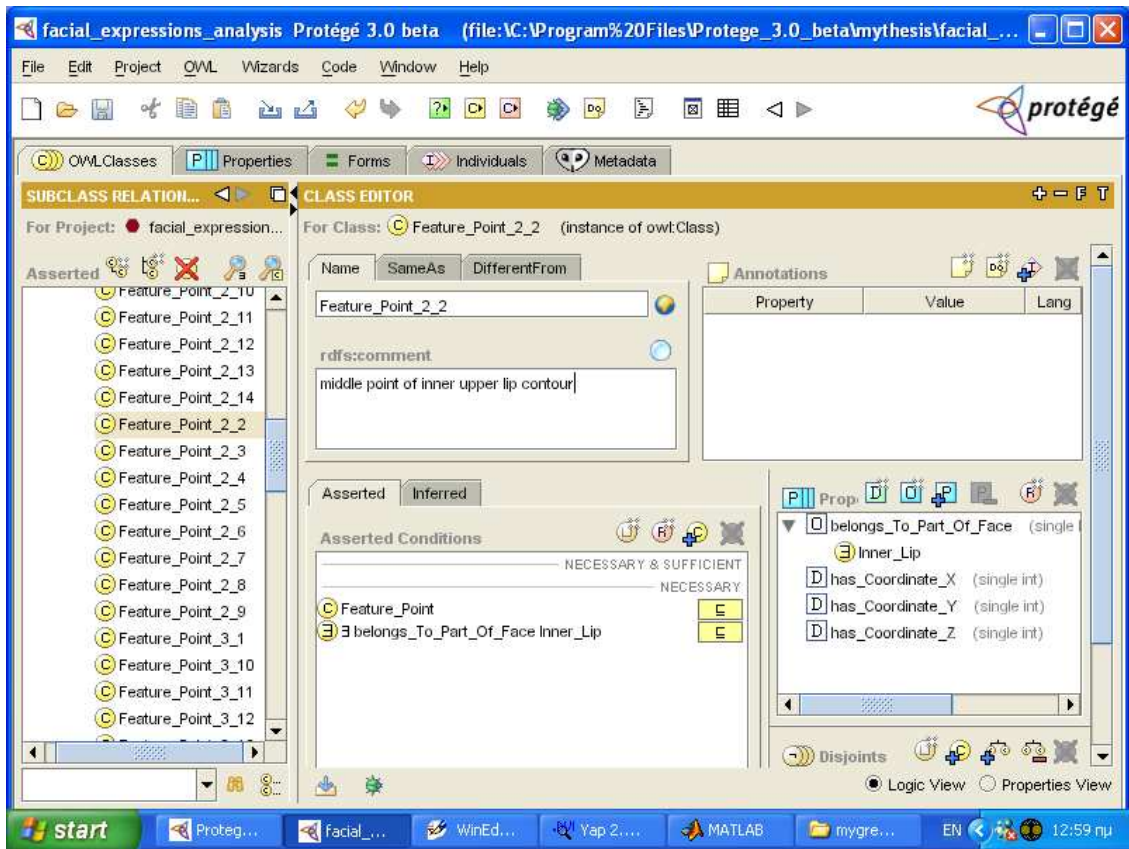
Καταρχήν θα κατασκευάσουμε το σώμα όρων, δηλαδή το λεξιλόγιο της οντολογίας μας. Για να το κάνουμε αυτό, πρέπει να αποφασίσουμε ποιες είναι οι έννοιες και οι ιδιότητες που είναι απαραίτητες για την περιγραφή του πεδίου της γνώσης που μας ενδιαφέρει. Από τον τρόπο που αναπαρίσταται το πρόσωπο ενός συνθετικού ανθρώπινου μοντέλου, οι παραμορφώσεις του και οι συναισθηματικές του εκφράσεις στο πρότυπο MPEG-4 προκύπτει ότι καταρχήν πρέπει να δημιουργηθεί μία κλάση `Face`, που να αναπαριστά το πρόσωπο του συνθετικού μοντέλου, μία κλάση `Face_Definition_Parameter`, που να αναπαριστά τις Παραμέτρους Προσδιορισμού του συνθετικού μοντέλου, μία κλάση `Face_Animation_Parameter`, που να αναπαριστά τις Παραμέτρους Εμφύχωσης του μοντέλου και μία κλάση `Facial_Expression`, που να αναπαριστά τις έξι καθολικές συναισθηματικές εκφράσεις του μοντέλου. Επιπλέον, είναι αναγκαίο να οριστούν οι ιδιότητες (Object Properties): `is_Defined_By`, η οποία συνδέει την κλάση `Face` με την κλάση `Face_Definition_Parameter`, δηλαδή περιγράφει από τι (ποιες κλάσεις) προσδιορίζεται ένα συνθετικό μοντέλο, `is_Animated_By`, η οποία συνδέει την κλάση `Face` με την κλάση `Face_Animation_Parameter`, δηλαδή περιγράφει από τι (ποιες κλάσεις) παραμορφώνεται ένα συνθετικό μοντέλο και `has_Facial_Expression`, η οποία συνδέει την κλάση `Face` με την κλάση `Facial_Expression`, δηλαδή περιγράφει ποια έκφραση έχει ένα συνθετικό μοντέλο .

Όπως είδαμε στο κεφάλαιο 5, Παράμετροι Προσδιορισμού του συνθετικού μοντέλου μπορεί να είναι ένα τρισδιάστατο πλέγμα (Scene Graph), διάφοροι πίνακες (Face Animation Tables : `FaceDefMesh`, `FaceDefTable`, `FaceDefTransform`) ή και Χαρακτηριστικά Σημεία (Feature Points). Για το λόγο αυτό ορίσαμε τις κλάσεις `Scene_Graph`, `Face_Def_Mesh`, `Face_Def_Table`, `Face_Def_Transform`, `Feature_Point` ως υποκλάσεις της κλάσης `Face_Definition_Parameter`. Η υλοποίηση των βημάτων που παρουσιάσαμε μέχρι εδώ για την ανάπτυξη της οντολογίας φαίνονται στο σχήμα 7.1.



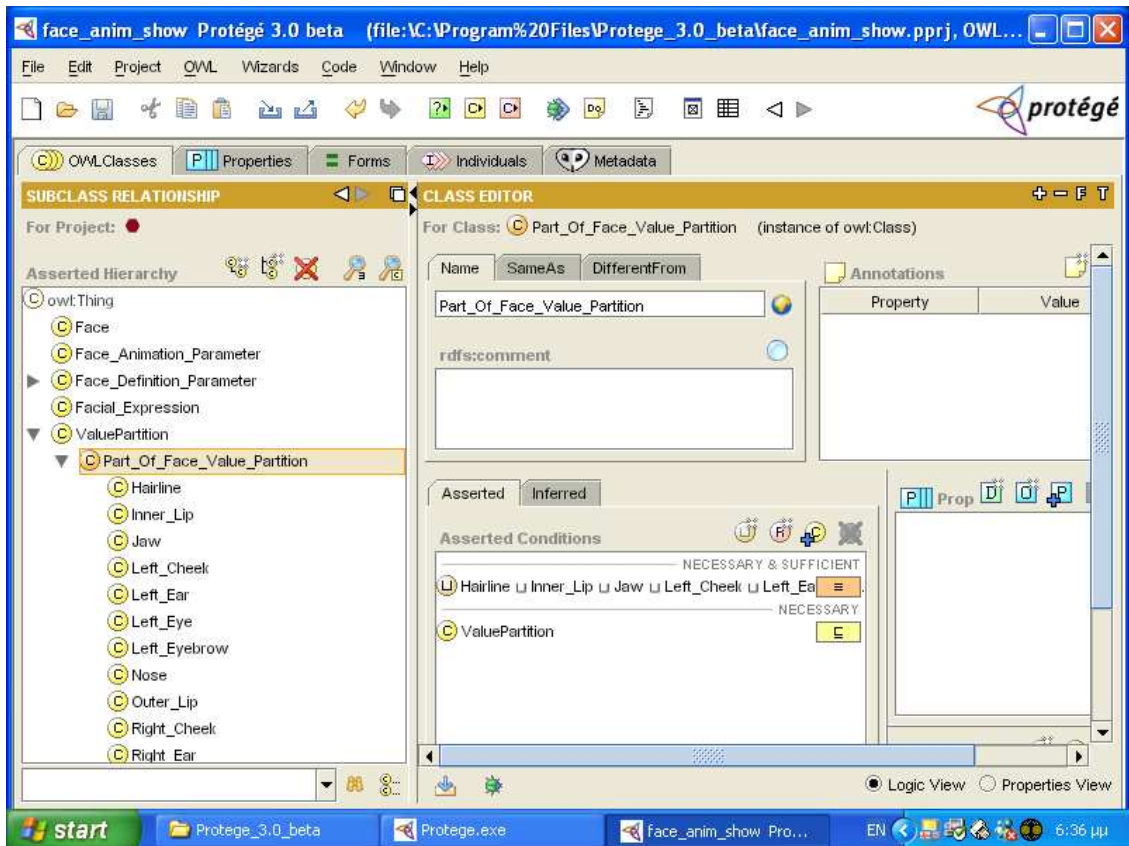
Σχήμα 7.1: Πρώτο στάδιο: Βασικές κλάσεις

Ωστόσο, επειδή από τις Παραμέτρους Προσδιορισμού τα Χαρακτηριστικά Σημεία έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την αναπαράσταση της γεωμετρίας του συνθετικού μοντέλου, θα αναπαραστήσουμε κάθε Χαρακτηριστικό Σημείο με μία υποκλάση της κλάσης *Feature_Point*, για παράδειγμα θα αναπαραστήσουμε το Χαρακτηριστικό Σημείο 2.2 με την κλάση *Feature_Point_2_2*. Για κάθε Χαρακτηριστικό Σημείο εισάγουμε σχόλια που περιγράφουν ποιο ακριβώς είναι. Για το Χαρακτηριστικό Σημείο 2.2 που το χρησιμοποιούμε εδώ ως παράδειγμα τα σχόλια φαίνονται στο παραθυράκι με τον τίτλο **rdfs:comment** στο σχήμα 7.2 και προσδιορίζουν ότι είναι το μεσαίο σημείο του εσωτερικού άνω χείλους (middle point of inner upper lip contour). Πρέπει να σημειώσουμε ότι όλη η οντολογία είναι γραμμένη στα αγγλικά, ακόμα και τα σχόλια, ώστε να είναι συμβατή με την παγκοσμιότητα του Σημασιολογικού Ιστού και να γίνεται κατανοητή και από χρήστες διαφορετικής εθνικότητας.



Σχήμα 7.2: Δεύτερο στάδιο: η αναπαράσταση των Χαρακτηριστικών Σημείων

Επιπλέον, για κάθε Χαρακτηριστικό Σημείο ορίσαμε τρεις ιδιότητες (Datatype properties) `has_Coordinate_X`, `has_Coordinate_Y`, `has_Coordinate_Z`, οι οποίες αναπαριστούν τις τρισδιάστατες συντεταγμένες του, δηλαδή συνδέσαμε κάθε Χαρακτηριστικό Σημείο με τρεις ακέραιους αριθμούς (Integer). Τέλος, επειδή κάθε Χαρακτηριστικό Σημείο ανήκει σε κάποια από τις χαρακτηριστικές περιοχές του προσώπου, όπως δεξί μάτι, αριστερό μάτι, μύτη κ.τ.λ. ορίσαμε την ιδιότητα `belongs_To_Part_Of_Face`, η οποία συνδέει κάθε Χαρακτηριστικό Σημείο με μία χαρακτηριστική περιοχή του προσώπου. Για τις χαρακτηριστικές περιοχές του προσώπου ορίσαμε τις υποκλάσεις `Hairline`, `Inner_Lip`, `Jaw`, `Left_Cheek`, `Left_Ear`, `Left_Eye`, `Left_Eyebrow`, `Nose`, `Outer_Lip`, `Right_Cheek`, `Right_Ear`, `Right_Eye`, `Right_Eyebrow`, `Teeth` και `Tongue` της κλάσης `Part_Of_Face_Value_Partition`, η οποία είναι υποκλάση της `ValuePartition`, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.3.



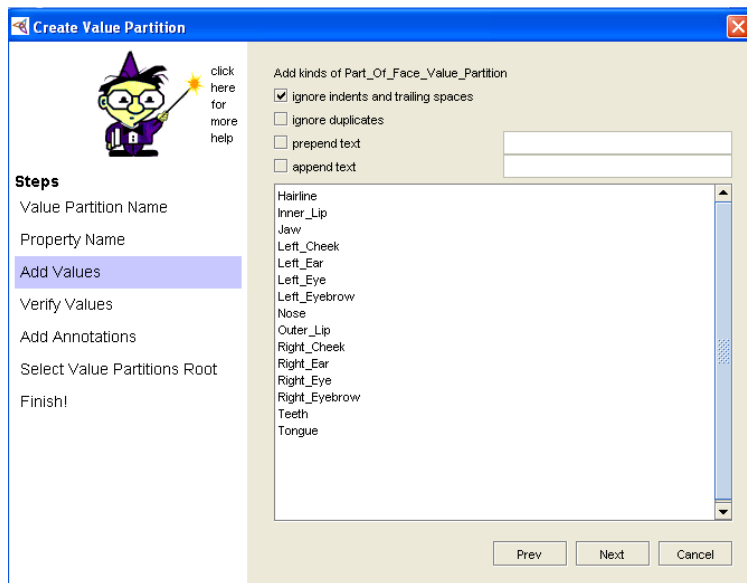
Σχήμα 7.3: Τρίτο στάδιο: παρουσίαση της κλάσης ValuePartition

Ωστόσο, εδώ πρέπει να κάνουμε μία στάση και να εξηγήσουμε την χρησιμότητα της κλάσης ValuePartition, καθώς θα την χρησιμοποιήσουμε πολλές φορές στη συνέχεια.

Η κλάση ValuePartition δεν αποτελεί κάποια κλάση της OWL, αλλά είναι ένα σχεδιαστικό τρικ των ειδικών του Protégé προκειμένου να περιορίσουν το πεδίο τιμών μίας ιδιότητας σε ένα συγκεκριμένο σύνολο κλάσεων. Στο παράδειγμά μας η κλάση Part_Of_Face_Value_Partition, η οποία είναι μία υποκλάση της ValuePartition, περιορίζει την τιμή της ιδιότητας belongs_To_Part_Of_Face σε μία από τις υποκλάσεις της: Hairline, Inner_Lip, Jaw, Left_Cheek, Left_Ear, Left_Eye, Left_Eyebrow, Nose, Outer_Lip, Right_Cheek, Right_Ear, Right_Eye, Right_Eyebrow, Teeth και Tongue. Το μυστικό του σχεδιαστικού συτού τρικ είναι ότι χρησιμοποιείται ένα **covering axiom** για να ορίσει την κλάση

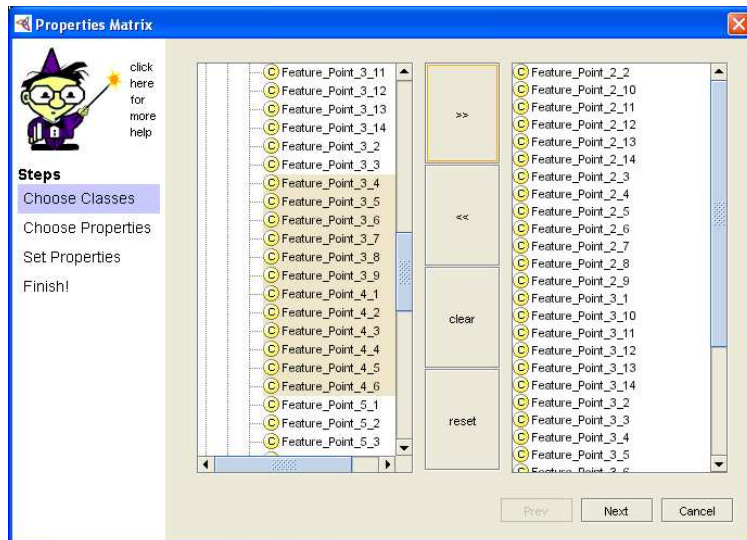
`Part_Of_Face_Value_Partition` ως ένωση των ξένων μεταξύ τους υποκλάσεων της και μόνο αυτών, ενώ ταυτόχρονα επιβάλλει στην ιδιότητα με την οποία συνδέεται `belongs_To_Part_Of_Face` να είναι μονότιμη (functional). Ένα άλλο σημείο που πρέπει να αναφέρουμε εδώ είναι ότι το Protégé OWL Plugin για την διευκόλυνση του χρήστη παρέχει διάφορα βοηθητικά εργαλεία, τους λεγόμενους “Μάγους” (**Wizards**), όπως το Create Group of classes, για την γρήγορη δημιουργία υποκλάσεων μίας κλάσης, το Create Value Partition, για τη δημιουργία μίας υποκλάσης της ValuePartition και των υποκλάσεων της, καθώς και το Properties Matrix, για να καταχωρεί την τιμή σε μία επιλεγμένη ιδιότητα μίας κλάσης, η οποία τιμή πρέπει να είναι μία από τις υποκλάσεις κάποιας υποκλάσης της ValuePartition. Δηλαδή στο παράδειγμά μας με το Properties Matrix καταχωρούμε σε κάθε Χαρακτηριστικό Σημείο, π.χ. `Feature_Point_2_2` την τιμή της ιδιότητας `belongs_To_Part_Of_Face`, δηλαδή `Inner_Lip`, όπως άλλωστε φαίνεται στα σχήματα 7.5, 7.6 και 7.7. Το **Create Group of classes Wizard** είναι ιδιαίτερα χρήσιμο αν οι υποκλάσεις που θέλουμε να δημιουργήσουμε πρόκειται να έχουν κάποιο κοινό πρόθεμα (**prepend text**) ή κατάληξη (**append text**). Ως ώρας το έχουμε χρησιμοποιήσει για την δημιουργία των υποκλάσεων της κλάσης `Feature_Point`, `Feature_Point_2_2`, `Feature_Point_2_3` κ.τ.λ. και θα το χρησιμοποιήσουμε αμέσως μετά για τη δημιουργία των υποκλάσεων της `Face_Animation_Parameter`, `FAP_3`, `FAP_4` κ.τ.λ.

Στη συνέχεια, στο σχήμα 7.4 παρουσιάζεται αναλυτικά η χρήση του Wizard **Create Value Partition** για να κατασκευάσουμε την κλάση `Part_Of_Face_Value_Partition`, την ιδιότητα `belongs_To_Part_Of_Face` με την οποία συνδέεται και τις disjoint υποκλάσεις της: `Hairline`, `Inner_Lip`, `Jaw`, `Left_Cheek`, `Left_Ear`, `Left_Eye`, `Left_Eyebrow`, `Nose`, `Outer_Lip`, `Right_Cheek`, `Right_Ear`, `Right_Eye`, `Right_Eyebrow`, `Teeth` και `Tongue`.

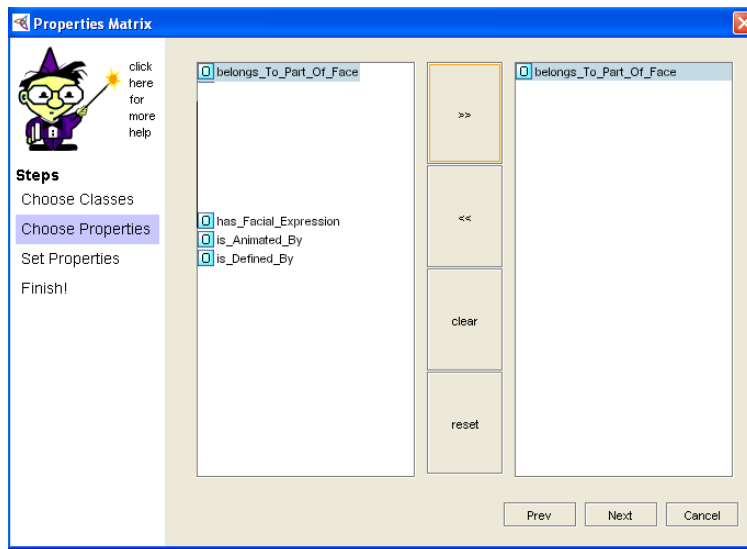


Σχήμα 7.4: Τέταρτο στάδιο: χρήση του Create Value Partition Wizard

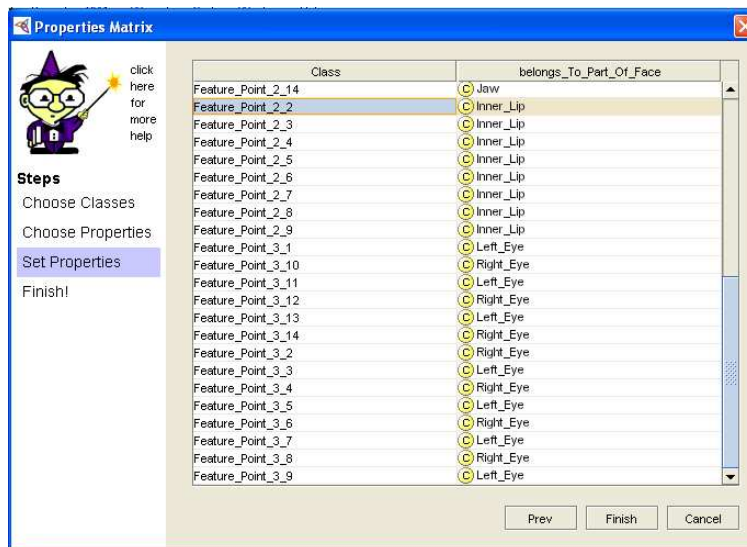
Στο επόμενα σχήματα 7.5 , 7.6 και 7.7 παρουσιάζεται αναλυτικά η απόδοση της τιμής της ιδιότητας `belongs_To_Part_Of_Face` για κάθε ένα `Feature_Point` με τη χρήση του **Properties Value Wizard**.



Σχήμα 7.5: Πέμπτο στάδιο: χρήση του Properties Value Wizard



Σχήμα 7.6: Πέμπτο στάδιο: χρήση του Properties Value Wizard



Σχήμα 7.7: Πέμπτο στάδιο: χρήση του Properties Value Wizard

Αφού ολοκληρώσαμε την αναπαράσταση των Χαρακτηριστικών Σημείων μπορούμε να προχωρήσουμε στην αναπαράσταση των άλλων εξίσου σημαντικών παραμέτρων του MPEG-4, τις Παραμέτρους Εμφύχωσης (FAPs). Οι Παράμετροι Εμφύχωσης, οι οποίες παρουσιάζονται αναλυτικά και με τις ιδιό-

τητες τους στον Πίνακα 5.2, αναπαραστήθηκαν ως υποκλάσεις της κλάσης `Face_Animation_Parameter`.

Επειδή κάθε Παράμετρος Εμφύχωσης, με εξαίρεση τις υψηλού επιπέδου Παραμέτρους 1 και 2, έχει μία μονάδα (FAP Unit) ορίσαμε την ιδιότητα (Object Property) `has_FAP_Unit`, η οποία συνδέει κάθε Παράμετρο Εμφύχωσης με την αντίστοιχη της μονάδα, πάλι χρησιμοποιώντας το τρικ της `ValuePartition`. Η υποκλάση της `ValuePartition` που χρησιμοποιήσαμε εδώ ονομάζεται `FAP_Unit_Value_Partition` και οι υποκλάσεις της, που αποτελούν τις δυνατές τιμές της ιδιότητας `has_FAP_Unit` είναι οι: `AU`, `ENS`, `ES`, `IRISD`, `MNS`, `MW`, και `NONE`.

Επίσης, επειδή κάθε Παράμετρος Εμφύχωσης έχει μία κατεύθυνση θετικών τιμών (`PosMotion`) ορίσαμε την ιδιότητα (Object Property) `has_Positive_Direction_Of_Motion`, η οποία συνδέει κάθε Παράμετρο Εμφύχωσης με την αντίστοιχη σε αυτήν κατεύθυνση θετικών τιμών, χρησιμοποιώντας ξανά την κλάση `ValuePartition`. Η υποκλάση της `ValuePartition` που χρησιμοποιήσαμε εδώ ονομάζεται `Positive_Direction_Value_Partition` και οι υποκλάσεις της, που αποτελούν τις δυνατές τιμές της ιδιότητας `has_Positive_Direction_Of_Motion` είναι οι: `CONCAVE_UPWARD`, `DOWN`, `UP`, `LEFT`, `RIGHT`, `FORWARD` και `GROWING`.

Ακόμα, επειδή κάθε Παράμετρος Εμφύχωσης είναι μονής ή διπλής κατεύθυνσης ορίσαμε την ιδιότητα (Object Property) `is_Uni_Or_Bi_Directional`, για να το διευκρινίζει, χρησιμοποιώντας για μία ακόμα φορά την κλάση `ValuePartition`. Η υποκλάση της `ValuePartition` που χρησιμοποιήσαμε εδώ ονομάζεται `Uni_Or_Bi_Directional_Value_Partition` και οι υποκλάσεις της, που αποτελούν τις δυνατές τιμές της ιδιότητας `is_Uni_Or_Bi_Directional` είναι οι: `Uni_Directional` και `Bi_Directional`.

Ακόμα, επειδή κάθε Παράμετρος Εμφύχωσης συνδέεται με την κίνηση κάποιου Χαρακτηριστικού Σημείου ορίσαμε την ιδιότητα (Object property) `provokes_The_Movement_Of_FP`, η οποία συνδέει κάθε Παράμετρο Εμφύχωσης με ένα ή με μία ομάδα Χαρακτηριστικών Σημείων.

Επιπλέον, όπως είδαμε στο κεφάλαιο 5, κάθε Παράμετρος Εμφύχωσης, έχει μία τιμή, θετική ακέραια αν είναι μονής κατεύθυνσης, ή ακέραια, θετική ή αρνητική, αν είναι διπλής κατεύθυνσης. Για να καθορίσουμε την τιμή μίας Παραμέτρου Εμφύχωσης μονής κατεύθυνσης ορίσαμε την ιδιότητα

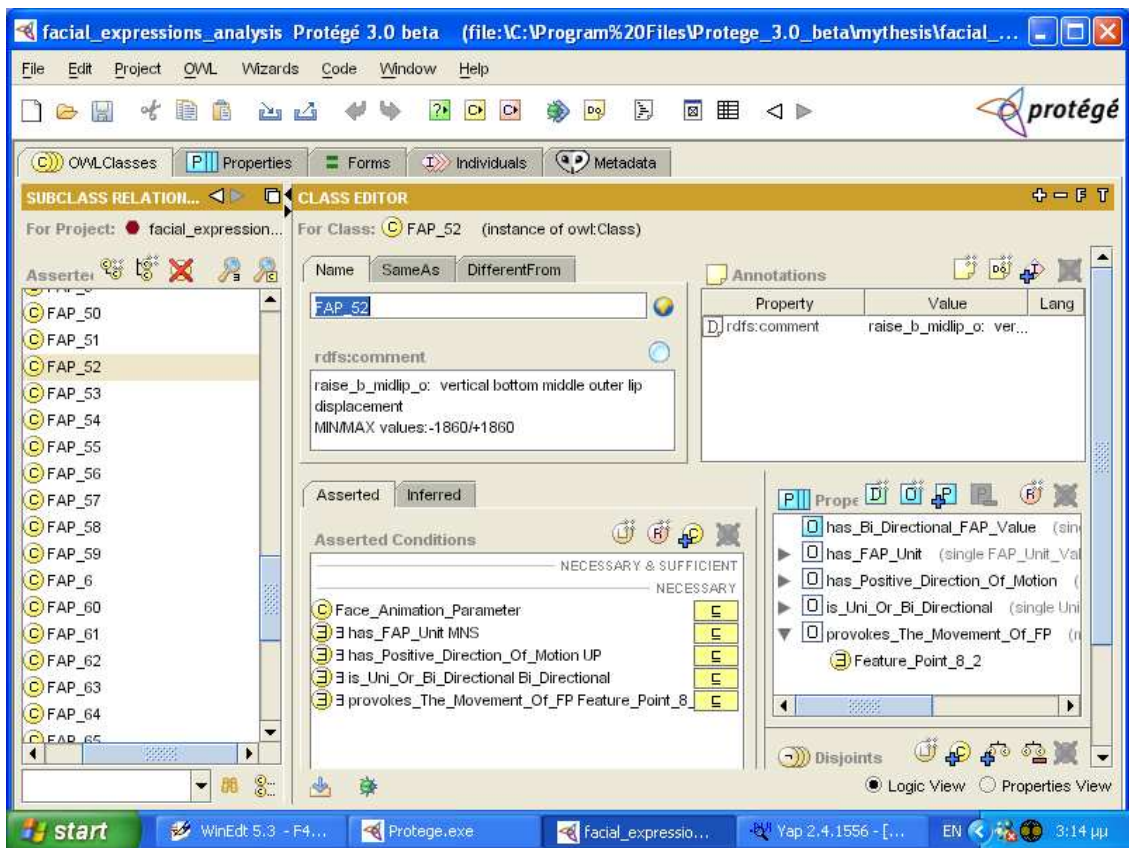
(Object Property) `has_Uni_Directional_FAP_Value`, η οποία παίρνει ως τιμή μία από τις υποκλάσεις, Για να καθορίσουμε την τιμή μίας Παραμέτρου Εμφύχωσης μονής κατεύθυνσης ορίσαμε την ιδιότητα (Object Property) `has_Uni_Directional_FAP_Value`, η οποία παίρνει ως τιμή μία από τις υποκλάσεις `HIGH`, `MEDIUM`, `LOW`, `U_NEUTRAL` της υποκλάσης `Uni_Directional_FAP_Value_Partition` της κλάσης `ValuePartition`. Για να καθορίσουμε την τιμή μίας Παραμέτρου Εμφύχωσης διπλής κατεύθυνσης ορίσαμε την ιδιότητα (Object Property) `has_Bi_Directional_FAP_Value`, η οποία παίρνει ως τιμή μία από τις υποκλάσεις `POS_HIGH`, `POS_LOW`, `B_NEUTRAL`, `NEG_HIGH`, `NEG_LOW` της υποκλάσης `Bi_Directional_FAP_Value_Partition` της κλάσης `ValuePartition`. Ωστόσο, εδώ οφείλουμε να δώσουμε μία εξήγηση γιατί χρησιμοποιήσαμε ως τιμές των Παραμέτρων Εμφύχωσης κλάσεις, όπως `HIGH`, `MEDIUM` κ.τ.λ. και όχι ακέραιους αριθμούς. Αυτό έγινε για τον εξής λόγο: εφόσον το Protégé OWL Plugin δεν υποστηρίζει περιορισμούς στο σώμα των ακεραίων, θα ήταν αδύνατη η αναπαράσταση των έξι καθολικών συναισθηματικών εκφράσεων ενός συνθετικού μοντέλου ως σύνολα από FAPs που οι τιμές τους ανήκουν σε ένα συγκεκριμένο διάστημα, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.3. Έτσι, υιοθετήσαμε τη λύση των παραπάνω κλάσεων συμβολικών διαστημάτων.

Εδώ πρέπει να κάνουμε άλλη μία στάση για να εξηγήσουμε ότι η απόδοση τιμής σε κάθεμία από τις παραπάνω ιδιότητες για κάθε Παράμετρο Εμφύχωσης πραγματοποιήθηκε επιβάλλοντας μία ξεχωριστή αναγκαία συνθήκη (NECESSARY) για κάθε τιμή. Με αυτόν τον τρόπο πετύχαμε την περιγραφή κάθε Παραμέτρου Εμφύχωσης, εφόσον δημιουργήσαμε τη συνθήκη ότι για να είναι κάποια οντότητα μέλος μίας συγκεκριμένης Παραμέτρου Εμφύχωσης θα πρέπει να έχει τις ίδιες τιμές με αυτή στις αντίστοιχες ιδιότητες.

Τέλος, για κάθε Παράμετρο Εμφύχωσης έχουμε προσθέσει ορισμένα σχόλια, απαραίτητα για την περιγραφή της. Συγκεκριμένα, το πρώτο μέρος των σχολίων αναφέρει το περιγραφικό όνομα κάθε Παραμέτρου, και μία σύντομη εξήγηση του τι παραμόρφωση αυτή προκαλεί. Το δεύτερο μέρος των σχολίων αναφέρει τη μέγιστη και ελάχιστη ακέραια τιμή κάθε Παραμέτρου.

Ωστόσο, για να γίνουν πιο κατανοητά όσα περιγράψαμε παραπάνω για τις Παραμέτρους Εμφύχωσης θα πάρουμε ως παράδειγμα την Παράμετρο Εμφύχωσης 52 (`raise_b_midlip_o`), η οποία φαίνεται στο σχήμα 7.8. μαζί με τις ιδιότητές της και τις τιμές τους. Όπως παρατηρούμε, η Παράμετρος Εμφύχωσης 52 αναπαρίσταται με την κλάση `FAP_52`, έχει μονάδα την `MNS` όπως φαίνεται από την τιμή της ιδιότητας `has_FAP_Unit`. Είναι διπλής κατεύθυνσης όπως φαίνεται από την τιμή `Bi_Directional` της ιδιότητας `is_Uni_Or_Bi_Directional`.

Έχει κατεύθυνση θετικών τιμών προς τα πάνω, όπως φαίνεται από την τιμή UP της ιδιότητας `has_Positive_Direction_Of_Motion`. Είναι συνδεδεμένη με την κίνηση του Χαρακτηριστικού Σημείου `Feature_Point_8_2`, όπως άλλωστε φαίνεται από την τιμή της ιδιότητας `provokes_The_Movement_Of_FP`. Ακόμα δύναται να έχει κάποια τιμή, η οποία θα είναι η τιμή της ιδιότητας `has_Bi_Directional_FAP_Value`. Τέλος, τα σχόλια αναφέρουν ότι η Παράμετρος Εμφύχωσης 52 ονομάζεται `raise_b_midlip_o` και εκφράζει την κατακόρυφη μετακίνηση του μεσαίου σημείου της εξωτερικής γραμμής του χείλους. Τέλος, στα σχόλια αναφέρεται ότι οι δυνατές αμέριστε τιμές που μπορεί να πάρει η Παράμετρος Εμφύχωσης 52 είναι από -1860 μέχρι +1860.



Σχήμα 7.8: Έκτο στάδιο: αναπαράσταση των Παραμέτρων Εμφύχωσης

Μετά από την αναπαράσταση και των Παραμέτρων Εμφύχωσης είμαστε πλέον έτοιμοι να διανύσουμε το τελευταίο στάδιο της κατασκευής του σώματος όρων της οντολογίας μας. Είμαστε πλέον έτοιμοι να φτιάξουμε τις κλάσεις των διαφορετικών εκφάνσεων των έξι καθολικών συναισθηματικών εκφράσεων

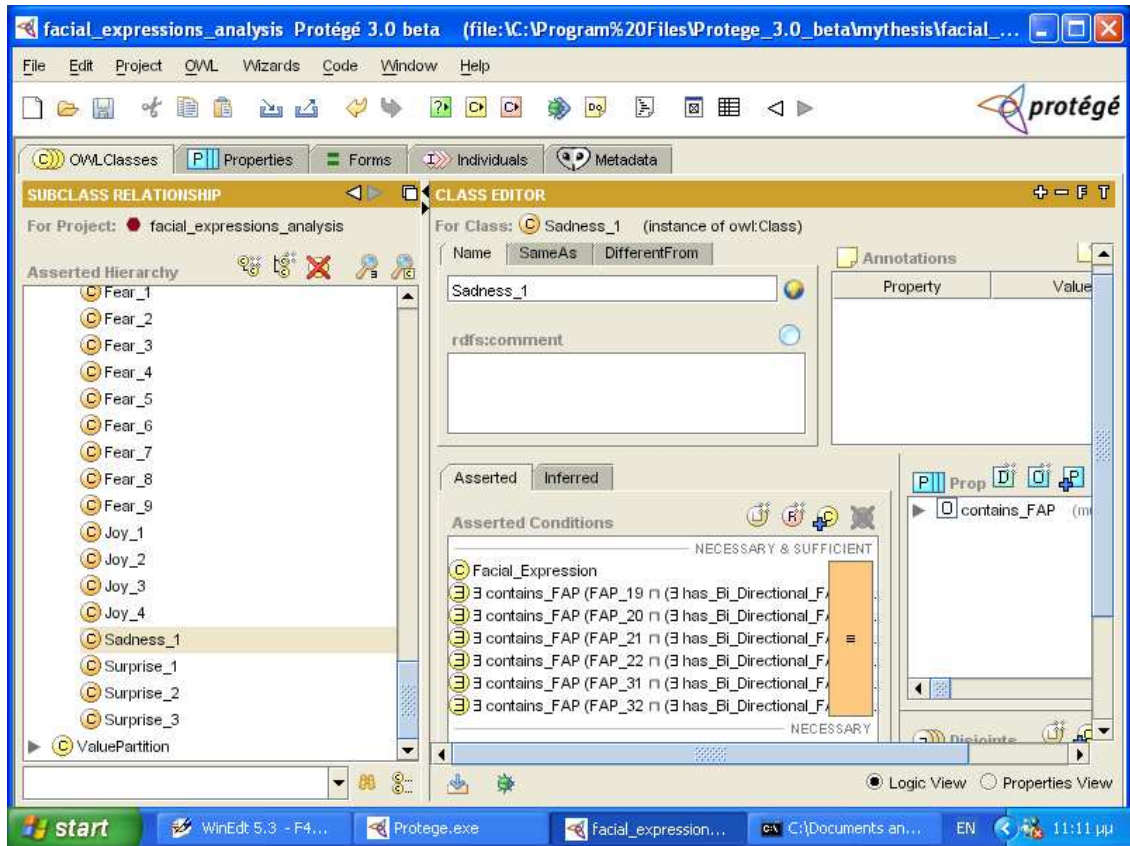
και να τις ορίσουμε. Για την καλύτερη αναπαράσταση των παραλλαγών των συναισθηματικών εκφράσεων αποφασίσαμε να δημιουργήσουμε μία υποκλάση της `Facial_Expression` για κάθε μία (παραλλαγή) ξεχωριστά. Για παράδειγμα, για τις διάφορες εκφάνσεις του θυμού που είχαμε στη διάθεσή μας από τον Πίνακα 6.3, δημιουργήσαμε τις εξής υποκλάσεις της `Facial_Expression`: `Anger_1`, `Anger_2`, `Anger_3`, `Anger_4` και `Anger_5`. Αφού δημιουργήσαμε όλες τις απαραίτητες υποκλάσεις, μπορούμε πλέον να προχωρήσουμε στον ορισμό τους. Όπως είδαμε στο τέλος του κεφαλαίου 6, στον Πίνακα 6.3, κάθε διαφορετική έκφραση μίας συναισθηματικής έκφρασης ορίζεται ως ένα σύνολο από Παραμέτρους Εμφύχωσης με ένα συγκεκριμένο διάστημα τιμών για κάθε μία Παράμετρο. Για το λόγο αυτό αποφασίσαμε να ορίσουμε μία ιδιότητα `contains_FAP`, η οποία να συνδέει την κλάση `Facial_Expression`, οπότε λόγω κληρονομικότητας και όλες τις υποκλάσεις της, με μία ή και περισσότερες Παραμέτρους Εμφύχωσης. Έτσι, κάθε παραλλαγή μίας συναισθηματικής έκφρασης μπορεί να οριστεί με ένα σύνολο από ικανές και αναγκαίες συνθήκες, καθεμία από τις οποίες επιβάλλει η συγκεκριμένη παραλλαγή να συνδέεται με μία συγκεκριμένη Παράμετρο Εμφύχωσης, και επιπλέον αυτή η Παράμετρος να έχει μία συγκεκριμένη τιμή. Δηλαδή, ορίζουμε κάθε παραλλαγή ως ένα υποσύνολο της ερμηνείας της τομής των ανώνυμων κλάσεων που αποτελούν οι ικανές και αναγκαίες συνθήκες στον ορισμό της.

Για να εξηγήσουμε καλύτερα τα παραπάνω θα πάρουμε ένα συγκεκριμένο παράδειγμα, την υποκλάση `Sadness_1`, της οποίας ο ορισμός φαίνεται στο παράθυρο με τον τίτλο `Asserted Conditions` στο σχήμα 7.9. Η κλάση `Sadness_1` ορίζεται ως η κλάση η οποία ανήκει στο σύνολο της ερμηνείας της τομής των παρακάτω ανωνύμων κλάσεων:

1. της ανώνυμης κλάσης που είναι η τομή της ανώνυμης κλάσης που συνδέεται με την Παράμετρο Εμφύχωσης 19 (`FAP_19`) μέσω της ιδιότητας `contains_FAP`, και της ανώνυμης κλάσης η οποία συνδέεται με την τιμή `NEG_LOW` μέσω της ιδιότητας `has_Bi_Directional_FAP_Value`
2. της ανώνυμης κλάσης που είναι η τομή της ανώνυμης κλάσης που συνδέεται με την Παράμετρο Εμφύχωσης 20 (`FAP_19`) μέσω της ιδιότητας `contains_FAP`, και της ανώνυμης κλάσης η οποία συνδέεται με την τιμή `NEG_LOW` μέσω της ιδιότητας `has_Bi_Directional_FAP_Value`
3. της ανώνυμης κλάσης που είναι η τομή της ανώνυμης κλάσης που συνδέεται με την Παράμετρο Εμφύχωσης 21 (`FAP_19`) μέσω της ιδιότητας `contains_FAP`, και της ανώνυμης κλάσης η οποία συνδέεται με την τιμή `NEG_LOW` μέσω της ιδιότητας `has_Bi_Directional_FAP_Value`

4. της ανώνυμης κλάσης που είναι η τομή της ανώνυμης κλάσης που συνδέεται με την Παράμετρο Εμφύχωσης 22 (FAP_19) μέσω της ιδιότητας `contains_FAP`, και της ανώνυμης κλάσης η οποία συνδέεται με την τιμή `NEG_LOW` μέσω της ιδιότητας `has_Bi_Directional_FAP_Value`
5. της ανώνυμης κλάσης που είναι η τομή της ανώνυμης κλάσης που συνδέεται με την Παράμετρο Εμφύχωσης 31 (FAP_19) μέσω της ιδιότητας `contains_FAP`, και της ανώνυμης κλάσης η οποία συνδέεται με την τιμή `POS_LOW` μέσω της ιδιότητας `has_Bi_Directional_FAP_Value`
6. της ανώνυμης κλάσης που είναι η τομή της ανώνυμης κλάσης που συνδέεται με την Παράμετρο Εμφύχωσης 32 (FAP_19) μέσω της ιδιότητας `contains_FAP`, και της ανώνυμης κλάσης η οποία συνδέεται με την τιμή `POS_LOW` μέσω της ιδιότητας `has_Bi_Directional_FAP_Value`

Εδώ ολοκληρώθηκε η ανάπτυξη του σώματος όρων της οντολογίας μας, και είμαστε έτοιμοι για την ανάπτυξη του σώματος ισχυρισμών.

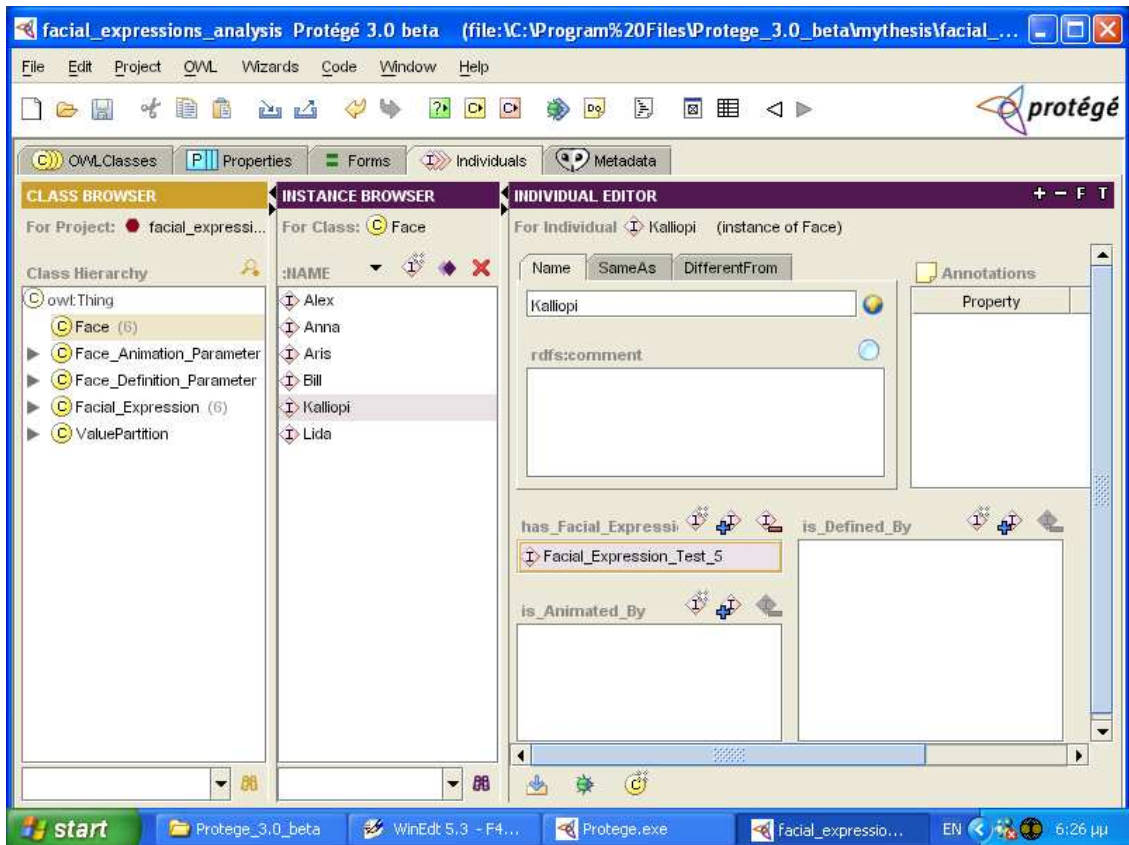


Σχήμα 7.9: Έβδομο στάδιο: Ορισμοί των διαφόρων παραλλαγών των έξι καθολικών εκφράσεων προσώπων συνθετικών μοντέλων, εδώ συγκεκριμένα της κλάσης Sadness-1

7.1.2 Κατασκευή σώματος ισχυρισμών

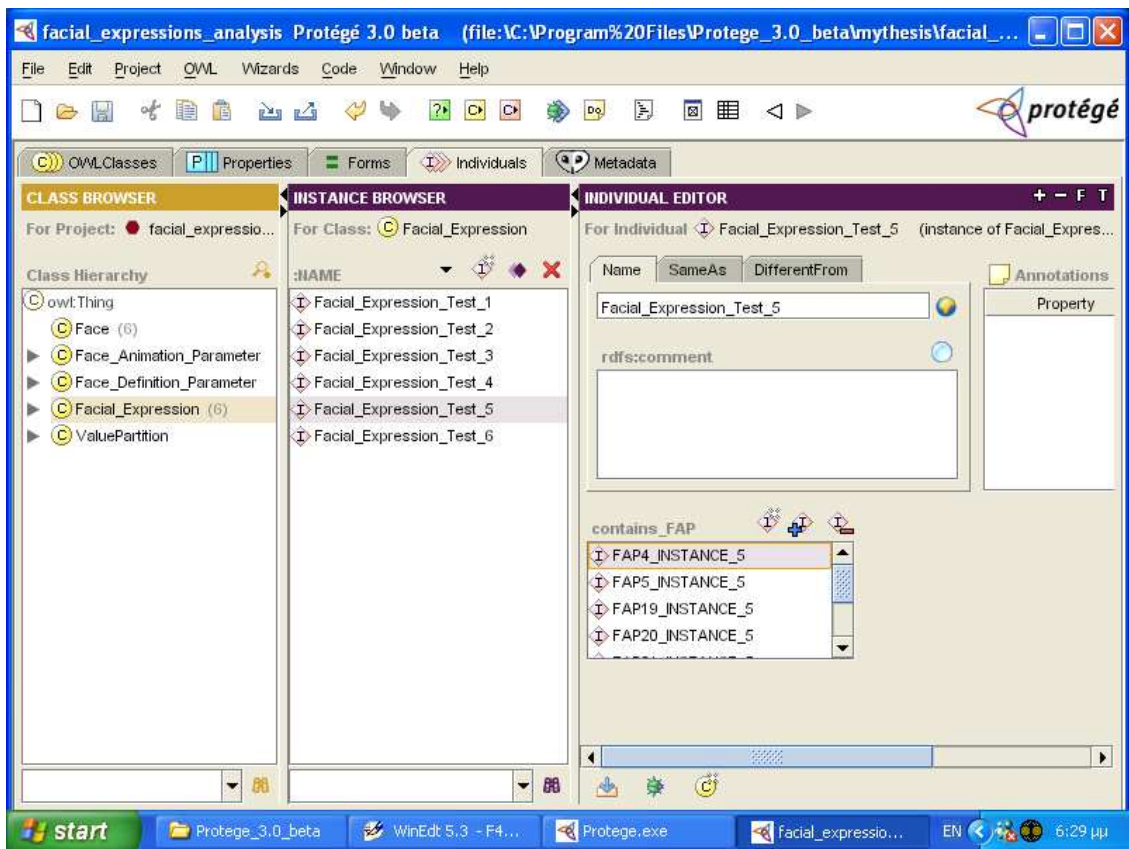
Στο σώμα ισχυρισμών ορίζουμε σε ποιες έννοιες ανήκουν τα άτομα του πεδίου της γνώσης μας και μέσω ποιων ιδιοτήτων συνδέονται αυτά μεταξύ τους. Με τη βοήθεια των στιγμιοτύπων και τις συλλογιστικές εργασίες που μπορούμε να εφαρμόσουμε στην οντολογία μας, θα μπορέσουμε να δώσουμε λύση στο πρόβλημα για το οποίο εκπονήθηκε αυτή η εργασία. Δηλαδή, θα καταφέρουμε να αναλύουμε τις τυχαίες συναισθηματικές εκφράσεις συνθετικών μοντέλων και να τις κατατάσσουμε σε μία από τις κατηγορίες των έξι καθολικών συναισθηματικών εκφράσεων που έχουμε δημιουργήσει στην οντολογία μας, αν φυσικά ανήκουν πράγματι σε κάποια από αυτές. Αυτό θα το πετύχουμε δημιουργώντας ένα στιγμιότυπο της κλάσης `Facial_Expression`, π.χ. `Facial_Expression_Test_5` με τη βοήθεια του *Individuals tab*, για κάθε τυ-

χαία συναισθηματική έκφραση ενός συνθετικού μοντέλου, το οποίο θα απεικονίζεται ως ένα στιγμιότυπο της κλάσης *Face*, π.χ. *Kalliopi* και συνδέεται με τη συναισθηματική του έκφραση μέσω της ιδιότητας *has_Facial_Expression*, τα παραπάνω παρουσιάζονται στο σχήμα 7.10.



Σχήμα 7.10: Όγδοο στάδιο: Δημιουργία στιγμιότυπων προσώπων και εκφράσεων στο σώμα ισχυρισμών

Το στιγμιότυπο της τυχαίας συναισθηματικής έκφρασης θα ορίζεται από τα στιγμιότυπα των Παραμέτρων Εμφύχωσης, π.χ. *FAP21_INSTANCE_5*, με τα οποία συνδέεται μέσω της ιδιότητας *contains_FAP*, και τα οποία συνδέονται με τις τιμές τους μέσω των ιδιοτήτων *has_Bi_Directional_FAP_Value* ή *has_Uni_Directional_FAP_Value*, π.χ. *NEG_LOW_INSTANCE_5*. Για να γίνουν πιο κατανοητά τα παραπάνω στο σχήμα 7.11 παρουσιάζεται ο ορισμός του στιγμιότυπου *Facial_Expression_Test_5* μέσω των στιγμιότυπων των Παραμέτρων Εμφύχωσης με τα οποία συνδέεται.



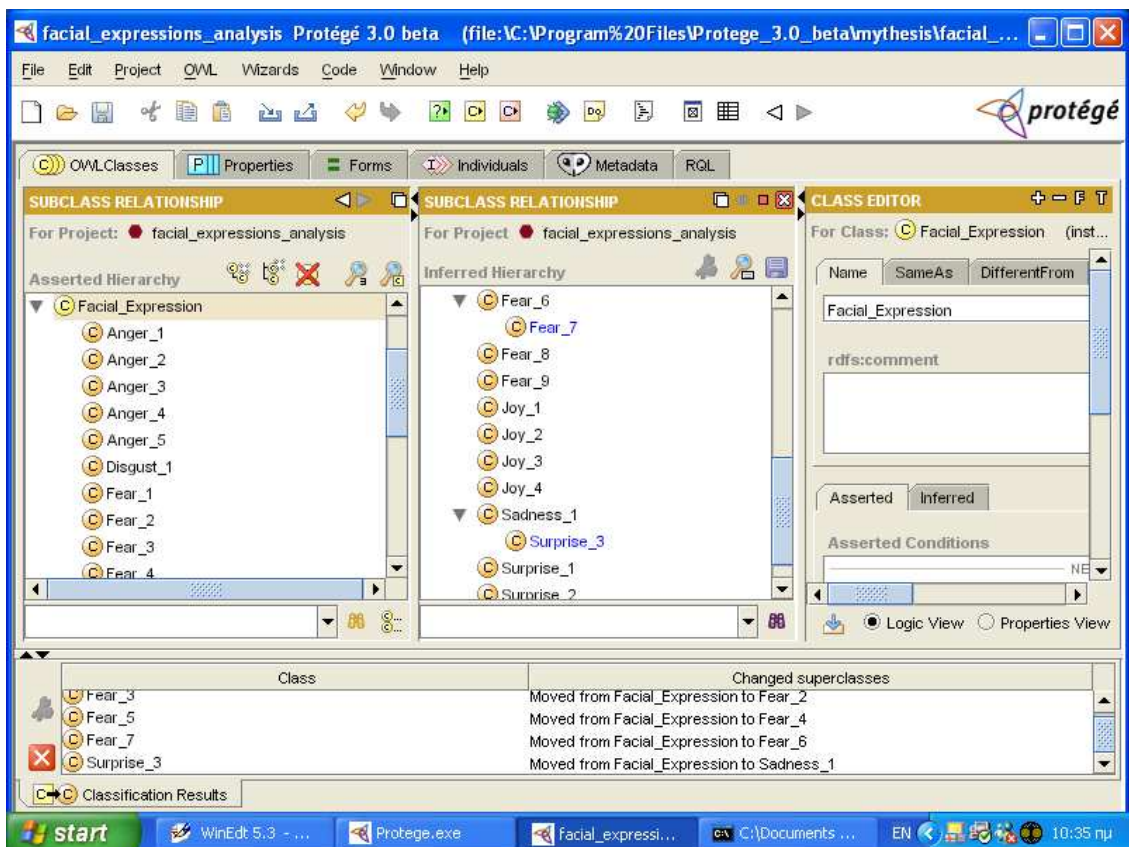
Σχήμα 7.11: Ένατο στάδιο: ορισμοί οντοτήτων τυχαίων συναισθηματικών εκφράσεων στο σώμα ισχυρισμών

7.2 Εξαγωγή συμπερασμάτων με την RQL

Αφού ολοκληρώσαμε την ανάπτυξη της οντολογίας μας, είμαστε πλέον έτοιμοι με τις συλλογιστικές εργασίες που προσφέρει το Protégé OWL Plugin από τη γραμμή εργαλείων του και από το RQL tab, όταν συνεργάζεται με τη μηχανή συμπερασματολογίας RACER, να εξάγουμε διάφορα χρήσιμα συμπεράσματα για αυτήν, αφού το χαρακτηριστικό των συστημάτων που βασίζονται στις Περιγραφικές Λογικές είναι ότι μπορούν από τη βάση γνώσης τους να συμπαιρένουν σχέσεις οι οποίες δεν περιλαμβάνονται στα σαφώς ορισμένα αξιώματα.

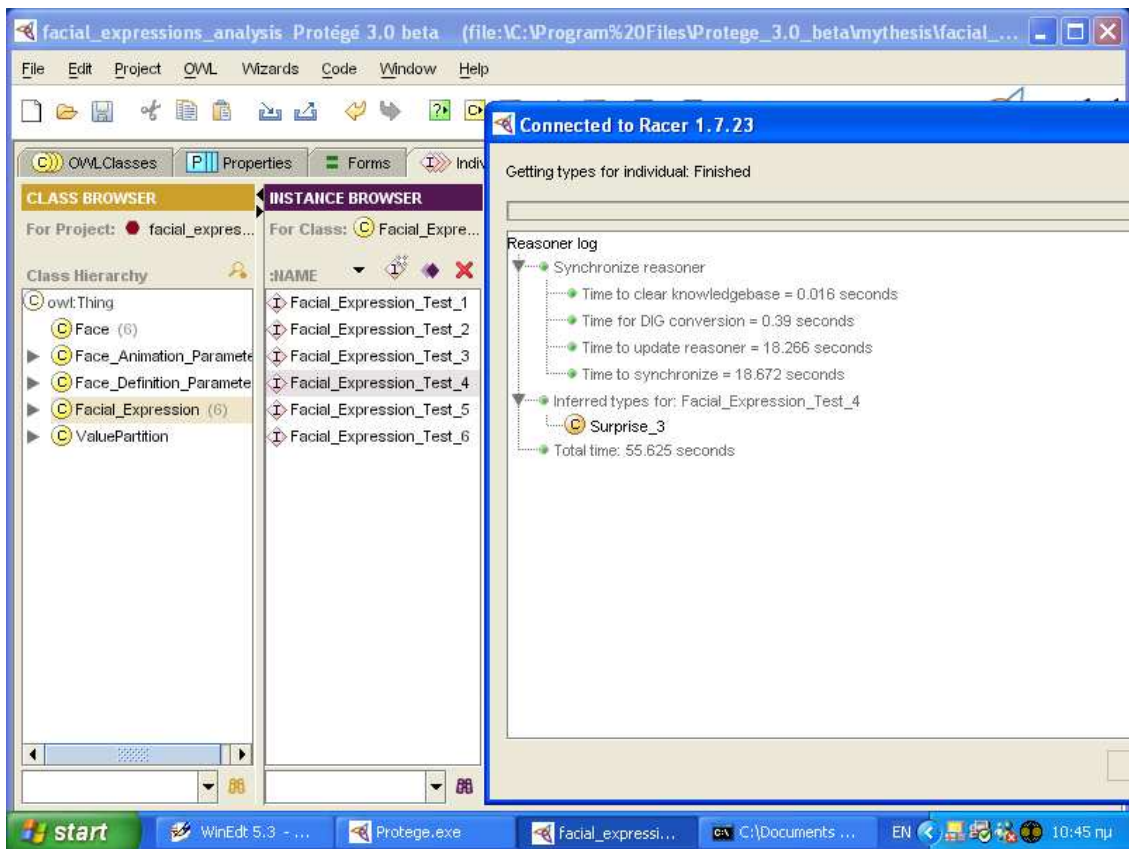
Καταρχήν, με τη χρήση του κουμπιού Classification στη γραμμή εργαλείων του Protégé OWL Plugin μπορούμε να δούμε την ταξινόμια των κλάσεων της οντολογίας μας όπως προκύπτει μετά την επεξεργασία της βάσης γνώσης μας από τη μηχανή συμπερασματολογίας RACER. Πράγματι, όπως φαίνεται στο

μεσαίο και στο κάτω παράθυρο του σχήματος 7.12 έχουν εξαχθεί ορισμένες επιπλέον σχέσεις υπαγωγής κλάσεων από αυτές που εμείς είχαμε δηλώσει. Συγκεκριμένα, εξάχθηκαν τα εξής συμπεράσματα: Πρώτον, ότι η κλάση *Fear_3* είναι υποκλάση της *Fear_2*, δηλαδή για να σχηματιστεί η έκφραση *Fear_3* του προσώπου απαιτούνται ακριβώς τα ίδια FAPs με την έκφραση *Fear_2* συν μερικά ακόμα. Δεύτερον ότι η κλάση *Fear_5* είναι υποκλάση της *Fear_4*. Τρίτον ότι η κλάση *Fear_7* είναι υποκλάση της *Fear_6*. Και τέταρτον ότι η κλάση *Surprise_3* είναι υποκλάση της *Sadness_1*, δηλαδή ότι ένα μέρος των παραμορφώσεων που προκαλεί η έκφραση της έκπληξης στο πρόσωπο του συνθετικού μοντέλου είναι ίδιες με αυτές της λύπης.



Σχήμα 7.12: Δέκατο στάδιο: συλλογιστικές εργασίες-Ταξινόμια

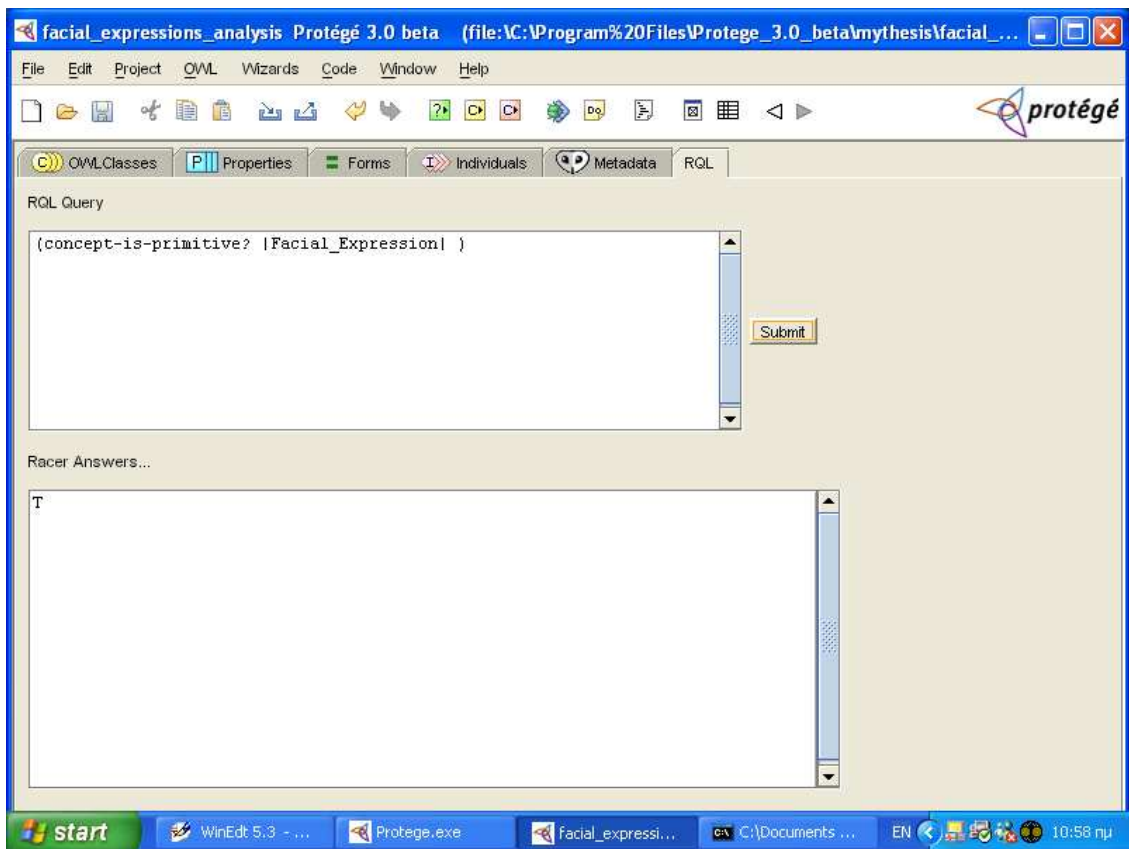
Επιπλέον, επιλέγοντας ένα στιγμιότυπο στο Individuals tab του Protégé OWL Plugin, κάνοντας δεξί κλικ στο ποντίκι και επιλέγοντας Compute Inferred Types μπορούμε να υπολογίσουμε τις πιο γενικές υπάγουσες έννοιες ενός στιγμιότυπου. Για παράδειγμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 7.13, η μηχανή συμπερασματολογίας RACER συμπαίρανε ότι το άτομο *Facial_Expression_Test_4*, που στο σώμα ισχυρισμών έχει υποτεθεί ότι είναι στιγμιότυπο μόνο της κλάσης *Facial_Expression*, είναι στιγμιότυπο και της κλάσης *Surprise_3*. Αυτό το εργαλείο, μας δίνει τη δυνατότητα να εισάγουμε στιγμιότυπα τυχαίων εκφράσεων συνθετικών μοντέλων στο σώμα ισχυρισμών και να εξάγουμε ως συμπέρασμα με τη βοήθεια του RACER σε ποια από τις ορισμένες στην οντολογία μας εκφάνσεις των έξι καθολικών εκφράσεων ανήκουν.



Σχήμα 7.13: Δέκατο στάδιο: συλλογιστικές εργασίες-υπολογισμός των πιο γενικών υπαγουσών εννοιών ενός ατόμου (Compute inferred types)

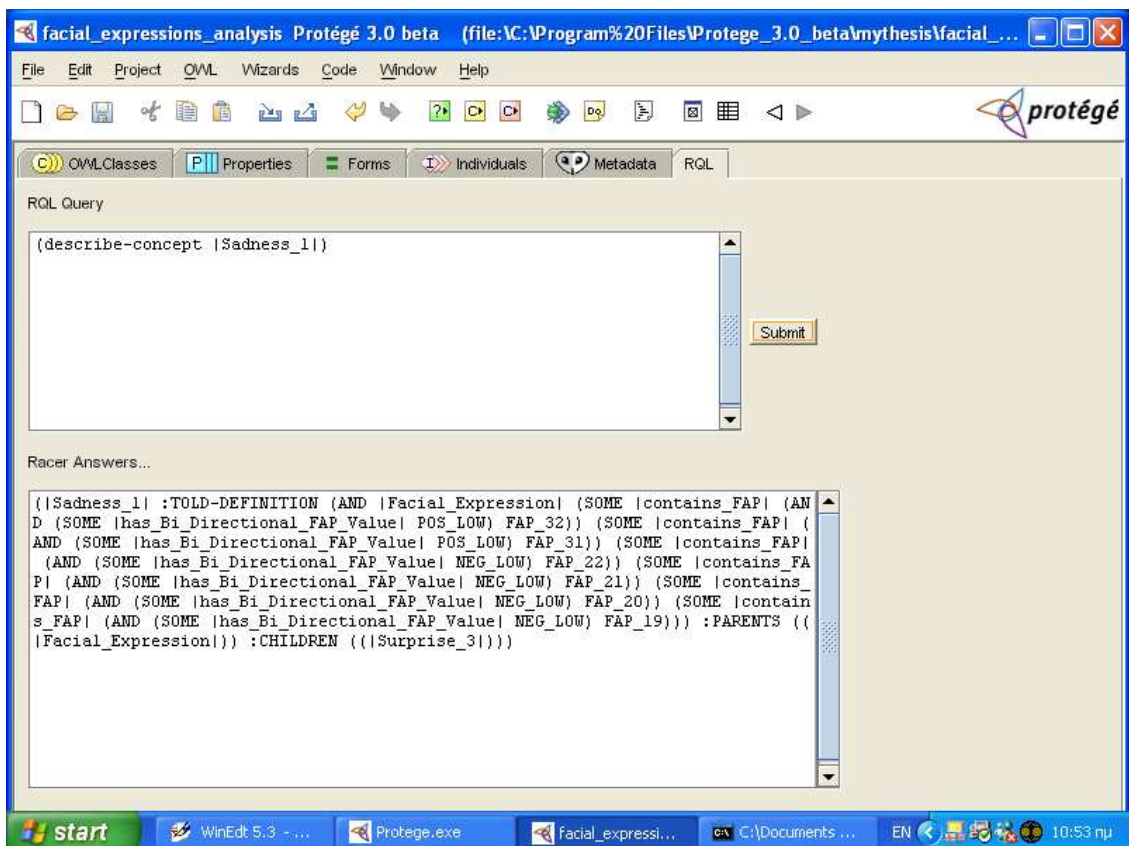
Ακόμα, με τη χρήση του RQL tab και των ερωτημάτων που επιτρέπει (**RQL Queries**) μπορούμε να αντλήσουμε χρήσιμες πληροφορίες από το σώμα όρων και το σώμα ισχυρισμών για τις έννοιες, τις ιδιότητες, τα άτομα και τα στιγμιότυπα που αποτελούν την οντολογία μας . Παρακάτω θα παρουσιάσουμε ένα μικρό αλλά αντιπροσωπευτικό δείγμα των δυνατοτήτων αυτών.

Στο σχήμα 7.14, παρουσιάζουμε την RQL Query `concept-is-primitive`, η οποία ελέγχει από το σώμα όρων αν μία έννοια είναι πρωταρχική, και συγκεκριμένα απαντάει `T` αν είναι πράγματι πρωταρχική, και `NIL` αν δεν είναι. Στο παράδειγμά μας η έννοια που επεξεργαζόμαστε είναι η `Facial_Expression`, για την οποία από την απάντηση του RACER βγάζουμε το συμπέρασμα ότι είναι πράγματι πρωταρχική, δηλαδή μη ορισμένη.



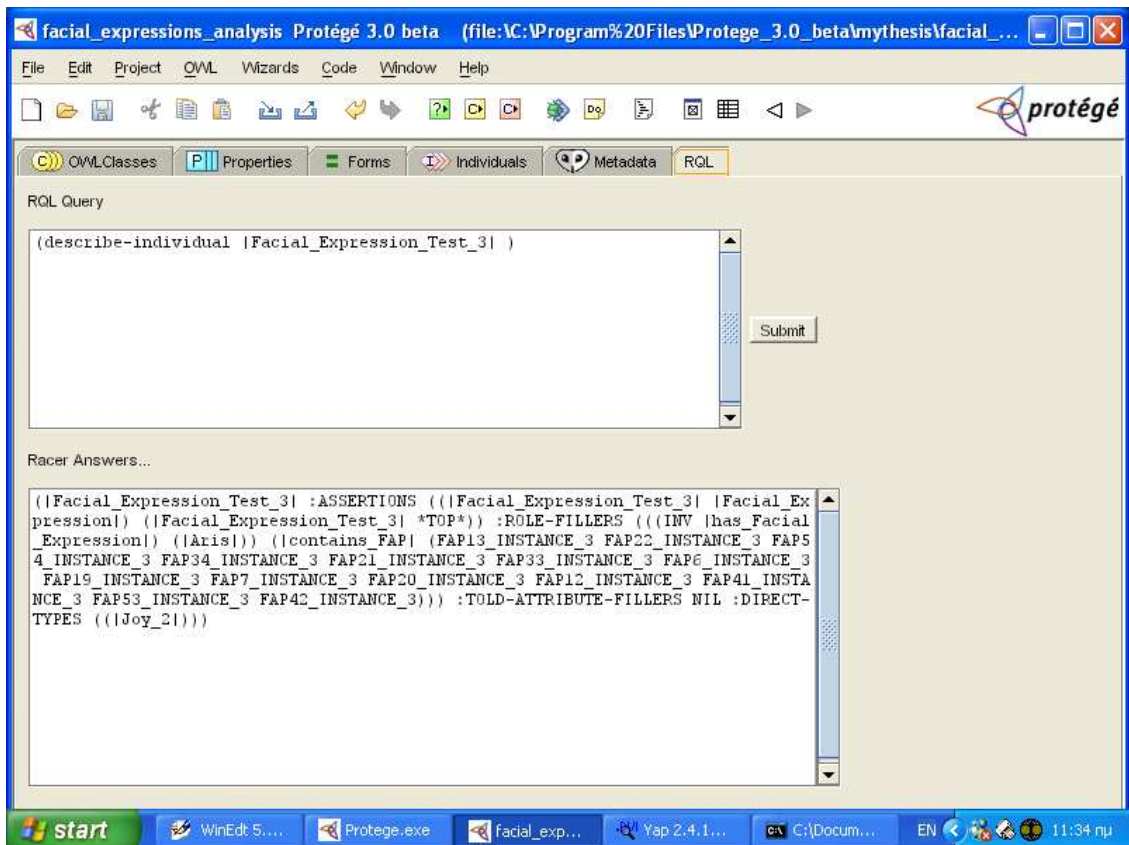
Σχήμα 7.14: Δέκατο στάδιο: συλλογιστικές εργασίες-έλεγχος αν μία έννοια είναι πρωταρχική (RQL Query `concept-is-primitive?`)

Μία άλλη πολύ σημαντική δυνατότητα που προσφέρει η γλώσσα ερωτημάτων του RACER (RACER QUERY LANGUAGE) είναι το ερώτημα `describe-concept`, στο οποίο η απάντηση του RACER είναι μία περιγραφή της έννοιας, όπως προκύπτει από το συνδυασμό των πληροφοριών για αυτήν από το σώμα όρων, από το σώμα ισχυρισμών και από τα συμπεράσματα των συλλογιστικών εργασιών. Ένα παράδειγμα χρήσης του ερωτήματος `describe-concept` φαίνεται στην εικόνα 7.15 για την έννοια `Sadness_1`. Η απάντηση του RACER όπως βλέπουμε περιλαμβάνει τόσο τον ορισμό της έννοιας στο σώμα όρων ως τομή των ανώνυμων κλάσεων που αποτελούν οι ικανοί και αναγκαίοι περιορισμοί, όσο και το συμπέρασμα από τις συλλογιστικές εργασίες ότι η έννοια `Surprise_3` είναι υποκλάση (παιδί-children) της.



Σχήμα 7.15: Δέκατο στάδιο: συλλογιστικές εργασίες- περιγραφή έννοιας (RQL Query `describe-concept`)

Σαν τελευταίο χαρακτηριστικό ερώτημα της RQL που χρησιμοποιήσαμε, παρουσιάζουμε το ερώτημα `describe-individual` για το σώμα ισχυρισμών, το οποίο έχει την ίδια σημασία με το ερώτημα `describe-concept` για το σώμα όρων, καθώς χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να αποκτήσουμε μία πλήρη περιγραφή ενός στιγμιότυπου, με πληροφορίες για αυτό τόσο από το σώμα όρων, όσο από το σώμα ισχυρισμών αλλά και από τα συμπεράσματα των συλλογιστικών εργασιών. Ένα παράδειγμα χρήσης του ερωτήματος `describe-individual` φαίνεται στην εικόνα 7.16 για το στιγμιότυπο `Facial_Expression_Test_6` της έννοιας `Facial_Expression`. Η απάντηση του RACER στο ερώτημα αυτό περιλαμβάνει τόσο ότι είναι στιγμιότυπο της έννοιας `Facial_Expression` και ποια είναι τα στιγμιότυπα και οι ιδιότητες με τις οποίες συνδέεται με αυτά στο σώμα ισχυρισμών, όσο και το συμπέρασμα από τις συλλογιστικές εργασίες ότι είναι στιγμιότυπο και της έννοιας `Joy_2`.



Σχήμα 7.16: Δέκατο στάδιο: συλλογιστικές εργασίες-περιγραφή ενός στιγμιότυπου (RQL Query `describe-individual`)

Συμπεράσματα και Επίλογος

Στην διπλωματική αυτή εργασία παρουσιάσαμε το θεωρητικό υπόβαθρο για την ανάπτυξη οντολογικής γνώσης βασισμένης στην Περιγραφική Λογική με τη χρήση του εργαλείου Protégé OWL Plugin και την εξαγωγή συμπερασμάτων από αυτήν με τη μηχανή συμπερασματολογίας RACER. Το πεδίο της γνώσης που επιλέξαμε να αναπαραστήσουμε είναι τα πρόσωπα ομιλούντων συνθετικών μοντέλων, οι διάφορες παραμορφώσεις τους και οι συναισθηματικές τους εκφράσεις, καθώς με την ανάπτυξη του Παγκόσμιου Ιστού πρόκειται να αποτελέσουν τον πυρήνα πολλών εκπαιδευτικών, ψυχαγωγικών και εμπορικών εφαρμογών στο άμεσο μέλλον.

Η εργασία αυτή στόχο έχει να συμβάλει στην προσπάθεια της ανάλυσης των τυχαίων συναισθηματικών εκφράσεων προσώπων συνθετικών μοντέλων ή ακόμα και πραγματικών προσώπων ή προσώπων που εμφανίζονται σε κάποιο άλλο είδος εικόνας. Συγκεκριμένα, στόχο έχει τη κατάταξη των εκφράσεων αυτών σε μία από τις κατηγορίες των εκφάνσεων των έξι καθολικών συναισθηματικών εκφράσεων που έχουμε δημιουργήσει στην οντολογία μας, αν φυσικά ανήκουν πράγματι σε κάποια από αυτές.

Σίγουρα οι δυσκολίες που συναντά όποιος μετέχει στην προσπάθεια που περιγράψαμε παραπάνω είναι πολλές, αφού το ανθρώπινο πρόσωπο είναι ασύμμετρο, και αφού υπάρχουν άπειροι τρόποι εκδήλωσης των συναισθηματικών εκφράσεων, εφόσον δεν υπάρχουν ούτε δύο άνθρωποι που να εκφράζονται με τον ίδιο τρόπο. Ωστόσο, ελπίζουμε ότι προτείναμε μία, έστω και πρωτόλεια ακόμα, λύση για το πρόβλημα με την εργασία αυτή και ότι μελλοντικές έρευνες ίσως με τον εμπλουτισμό της οντολογίας μας με πολύ περισσότερες εκφάνσεις των έξι καθολικών συναισθηματικών εκφράσεων να έχουν περισσότερα αποτελέσματα.

Βιβλιογραφία

- [1] T. Berners-Lee, J. Hendler and O. Lassila, “*The Semantic Web*”, Scientific American, (2001)
- [2] M.K. Smith, C. Welty, and D.L. McGuinness, “*OWL Web Ontology Language guide*”, W3C Recommendation, Editors, 10 February 2004, Available at: <http://www.w3.org/TR/owl-guide/>
- [3] Γ. Ακρίβας, “*Ανάλυση και πρόσβαση σε πολυμεσική πληροφορία βασισμένη στη γνώση*”, Διδακτορική διατριβή, Εργαστήριο Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνων, Video και Πολυμέσων, ΕΜΠ, Αθήνα, 2004
- [4] V. Haarslev and R. Moeller, “*RACER User’s Guide and Reference Manual Version 1.7.19*”, 2004, Available at: www.sts.tu-harburg.de/~r.f.moeller/racer/racer-manual-1-7-19.pdf
- [5] G. Faigin, “*The artist’s complete guide to Facial Expression*”, Watson - Guptill Publications, New York, 1989
- [6] Σ. Κόλλιας, “*Επεξεργασία, ανάλυση και τεχνολογία εικόνων-βίντεο*”, ΕΜΠ, Αθήνα, 2001
- [7] Κ. Καρπούζης, “*Προσαρμοζόμενα Παραμετρικά Μοντέλα Ανθρώπινων Προσώπων και Σωμάτων και εφαρμογές στην Επικοινωνία Ανθρώπου - Μηχανής*”, Διδακτορική διατριβή, Εργαστήριο Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνων, Video και Πολυμέσων, ΕΜΠ, Αθήνα, 2004
- [8] P. Ekman and W.V. Friesen, “*Pictures of Facial Affect*”, Palo Alto, CA : Consulting Psychologists Press, 1978
- [9] P. Ekman, “*Facial Expression and Emotion*”, Am. Psychologist, vol. 48 pp. 384-392, 1993
- [10] <http://www.media.mit.edu/>

- [11] A. Raouzaïou, N. Tsapatsoulis, K. Karpouzis and S. Kollias “*Parameterized facial expression synthesis based on MPEG-4* ”, Eurasip Journal on Applied Signal Processing, Vol. 2002, No 10, pp. 1021-1038, 2002
- [12] H. Knublauch, M.A. Musen, A.L. Rector, “*Editing Description Logic Ontologies with the Protégé OWL Plugin*”, International Workshop on Description Logics - DL2004, Whistler, BC, Canada (2004) - A technical discussion for logicians
- [13] A. Murat Tekalp and J. Ostermann, “*Face and 2-D mesh animation in MPEG-4*”, Signal Processing:Image Communication, Vol. 15, pp. 387-421, 2000
- [14] F. Baader, D. Calvanese, D.L. McGuinness, D. Nardi, P.F. Patel-Schneider, “*Description Logic Handbook*”, Cambridge University Press, 2003
- [15] P.F. Patel-Schneider, P. Hayes and I. Horrocks, “*OWL Web Ontology Language Semantics and Abstract Syntax*”, Editors. W3C Recommendation, 10 February 2004,
Available at: <http://www.w3.org/TR/owl-semantics/>
- [16] N.F. Noy and D.L. McGuinness, “*Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology*”, Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Report SMI-2001-0880, March 2001.
- [17] E.R. Harold, “*XML Bible*”, 2nd edition, Hungry Minds, Inc. , New York, 2001