



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Ολοκληρωμένη Διαχείριση Ασφαρούς Γνώσης – Το Πλαίσιο IKARUS

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Παναγιώτης Μ. Αλεξόπουλος

Αθήνα, Μάιος 2012



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Ολοκληρωμένη Διαχείριση Ασφαφούς Γνώσης – Το Πλαίσιο IKARUS

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Παναγιώτης Μ. Αλεξόπουλος

Συμβουλευτική Επιτροπή : Δημήτριος Ασκούνης, Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π. (Επιβλέπων)
Ιωαννης Ψαρράς, Καθηγητής Ε.Μ.Π.
Γρηγόριος Μέντζας, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την

.....
Δ. Ασκούνης
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ι. Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γ. Μέντζας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Β. Ασημακόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Θ. Βαρβαρίγου
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

.....
Κ. Μεταξιώτης
Επ. Καθηγητής
Πανεπιστήμιο Πειραιά

.....
Ι. Σίσκος
Καθηγητής
Πανεπιστήμιο Πειραιά

Αθήνα, Μάιος 2012

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

Copyright © Παναγιώτης Μ. Αλεξόπουλος, 2012
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.

Περίληψη

Το πρόβλημα της ασάφειας της ανθρώπινης γνώσης είναι ευρέως αναγνωρισμένο από την επιστημονική κοινότητα και ο ρόλος του σε διάφορους τομείς εφαρμογής έχει μελετηθεί ευρέως στη βιβλιογραφία. Στον τομέα όμως της Επιχειρηματικής Διαχείρισης Γνώσης (Enterprise Knowledge Management) η ύπαρξη προσεγγίσεων που να αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της ασάφειας με ολοκληρωμένο και διαισθητικό τρόπο είναι σημαντικά περιορισμένη. Στο πλαίσιο αυτό, αντικείμενο της παρούσας διατριβής αποτελεί η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου μεθοδολογικού και τεχνολογικού πλαισίου το οποίο συνεισφέρει στην αποτελεσματική διαχείριση ασαφούς γνώσης σε οργανισμούς και επιχειρήσεις.

Το προτεινόμενο πλαίσιο ονομάζεται **IKARUS** (Imprecise Knowledge Acquisition Representation and Use) και η προσέγγιση που ακολουθείται για την ανάπτυξή του βασίζεται στο συνδυασμό τεχνικών και μεθόδων από τις περιοχές της Συλλογιστικής Βασισμένης σε Περιπτώσεις, της Οντολογικής Μηχανικής και της Ασαφούς Λογικής. Βάσει του παραπάνω συνδυασμού, τα συστατικά στοιχεία του πλαισίου IKARUS που αναπτύσσονται και προτείνονται στη διατριβή είναι τα εξής:

- Η μεθοδολογία ανάπτυξης ασαφών οντολογιών **IKARUS-Onto** η οποία επιτρέπει τη μοντελοποίηση ασαφούς γνώσης με τη μορφή οντολογιών.
- Το πλαίσιο διαχείρισης ασαφούς επιχειρηματικής γνώσης **IKARUS-CBR** το οποίο επιτρέπει τη διαχείριση του κύκλου ζωής ασαφών γνωσιακών πόρων (knowledge assets) στο πλαίσιο της λειτουργίας ενός οργανισμού ή μιας επιχείρησης.
- Η πλατφόρμα διαχείρισης ασαφούς γνώσης **IKARUS-Platform** η οποία επιτρέπει την πρακτική χρήση των παραπάνω θεωρητικών εργαλείων σε πραγματικά σενάρια εφαρμογής.

Λέξεις Κλειδιά: Διαχείριση Γνώσης, Ασάφεια, Συλλογιστική Βασισμένη σε Περιπτώσεις, Οντολογίες, Ασαφής Λογική.

Abstract

Imprecision and vagueness are inherent characteristics of human knowledge and their role in knowledge engineering and knowledge-based systems development has been extensively examined in the literature. However, when it comes to enterprise knowledge management, existence of corresponding frameworks that are able to address the issue of knowledge vagueness in a formal and comprehensive way is limited. With that in mind, we propose in this thesis an integrated methodological and technological knowledge management framework that effectively deals with the above limitation and enables organizations to effectively capture, store, and exploit knowledge that is vague.

The proposed framework is called **IKARUS** (**I**nprecise **Knowledge **A**cquisition **R**epresentation and **U**se) and the approach we have followed for its development is based on the combination of techniques and methods from the areas of Case Based Reasoning, Ontologies and Fuzzy Logic. Through this combination, the primary components of IKARUS that are developed and proposed within this thesis are the following:**

1. The fuzzy ontology development methodology **IKARUS-Onto** which enables the modeling of vague knowledge by means of ontologies.
2. The fuzzy knowledge management framework **IKARUS-CBR** which enables the lifecycle management of vague enterprise knowledge assets.
3. The fuzzy knowledge management platform **IKARUS-Platform** which enables the practical use of the above in practical application scenarios.

Keywords: Knowledge Management, Vagueness, Case Based Reasoning, Ontologies, Fuzzy Logic.

Ευχαριστίες

Η παρούσα διατριβή οφείλει την ύπαρξη της στη βοήθεια και τη συμπαράσταση πολλών ανθρώπων. Ευχαριστώ καταρχήν τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Δ. Ασκούνη για την ευκαιρία που μου προσέφερε να πραγματοποιήσω τη διδακτορική μου έρευνα υπό την επίβλεψή του. Ευχαριστώ επίσης τα άλλα δύο μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής μου Καθηγητή κ. Ιωάννη Ψαρρά και Καθηγητή κ. Γρηγόριο Μέντζα καθώς και τον Καθηγητή κ. Β. Ασημακόπουλο, την Καθηγήτρια κ. Θ. Βαρβαρίγου, τον Επ. Καθηγητή κ. Κ. Μεταξιώτη και τον Καθηγητή κ. Ι. Σίσκο για την τιμή που μου έκαναν να συμμετάσχουν στην επιτροπή εξέτασης της διατριβής μου.

Ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον Μανώλη Wallace η ερευνητική δουλειά του οποίου αποτέλεσε την αφετηρία και την πηγή έμπνευσης της συγκεκριμένης διατριβής. Οι δε συμβουλές, παραινέσεις, σχόλια και κατευθύνσεις που παρείχε πρόθυμα καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής, συνέβαλαν καθοριστικά στην επιτυχή έκβαση της τελευταίας.

Πολύ σημαντικό ρόλο έπαιξαν ακόμα οι Πάνος Γεωργολιός, Κωνσταντίνος Καφεντζής και Γιώργος Παπαβασιλείου, ιδρυτές και διευθύνοντα στελέχη της εταιρείας IMC Technologies, οι οποίοι παρείχαν το κατάλληλο περιβάλλον και την απαραίτητη υλική και ηθική υποστήριξη προκειμένου η ερευνητική μου δραστηριότητα να πάρει σάρκα και οστά και τα αποτελέσματά της να εφαρμοστούν άμεσα και σε πραγματικές συνθήκες τόσο σε τεχνολογικό όσο και σε εμπορικό επίπεδο.

Τέλος, ευχαριστώ όλους τους κατά καιρούς συναδέλφους και συνεργάτες μου στην εταιρεία IMC Technologies και στο Mediterranean College Athens, όπου εργάστηκα τα προηγούμενα πέντε περίπου χρόνια, οι οποίοι με άμεσο ή έμμεσο τρόπο συμμετείχαν και συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής.

Πάνος Αλεξόπουλος

Αθήνα, 2012.

Περιεχόμενα

Περίληψη	iii
Abstract	v
Ευχαριστίες	vii
1 Εισαγωγή	1
1.1 Διαχείριση Γνώσης, Τεχνητή Νοημοσύνη & Υθριδικές Προσεγγίσεις	1
1.2 Καθορισμός Προβλήματος	3
1.3 Πρόταση και Συμβολή της Διατριβής	6
1.4 Δομή της Διατριβής	10
2 Θεωρητικό και Τεχνολογικό Υπόβαθρο	13
2.1 Διαχείριση Επιχειρηματικής Γνώσης	14
2.1.1 Γνωσιακά Αγαθά	18
2.1.2 Τεχνολογίες Διαχείρισης Γνώσης	22
2.2 Συλλογιστική Βασισμένη σε Περιπτώσεις (CBR)	32
2.2.1 CBR και Επίλυση Προβλημάτων	32
2.2.2 CBR και Διαχείριση Γνώσης	34
2.2.3 CBR Προσεγγίσεις	35
2.3 Οντολογίες και Οντολογική Μηχανική	38
2.3.1 Η Έννοια της Οντολογίας	38
2.3.2 Οντολογική Μηχανική & Μεθοδολογίες	42
2.3.3 Αναπαράσταση Γνώσης & Γλώσσες Οντολογιών	46
2.3.4 Περιγραφικές Λογικές	49
2.3.5 Η Γλώσσα OWL	50
2.4 Ασαφής Άλγεβρα	55
2.4.1 Ασαφή Σύνολα	55
2.4.2 Ασαφείς Σχέσεις	57
2.4.3 Μεταβατικό Κλείσιμο	58
2.4.4 Ασαφείς Αριθμοί	59

2.4.5 Γλωσσικές Μεταβλητές	60
2.4.6 Γλωσσικοί Τροποποιητές και Ποσοτικοποιητές	60
2.4.7 Τελεστές OWA	61
3 Επισκόπηση Σχετικών Προσεγγίσεων	65
3.1 Προσεγγίσεις Αναπαράστασης και Χρήσης Ασαφών Οντολογιών	66
3.1.1 Ασαφής ALC	66
3.1.2 Ασαφής SHOIN (Stoilos et al.) και Σύστημα FiRe	68
3.1.3 Ασαφής SHOIN(D) (Straccia) και Σύστημα fuzzyDL	70
3.1.4 Η Προσέγγιση των Gu et al	74
3.1.5 Το Μοντέλο των Zhai et al	75
3.2 Υθριδικές Προσεγγίσεις CBR και Ασαφούς Λογικής	76
3.2.1 Σύστημα ARC	77
3.2.2 Σύστημα BOLERO	77
3.2.3 Σύστημα CAREFUL	78
3.2.4 Σύστημα FLORAN	78
3.3 Υθριδικές Προσεγγίσεις CBR και Οντολογιών	78
3.3.1 Το Πλαίσιο jColibri	80
3.3.2 Το Πλαίσιο KMIR	85
3.4 Συμπεράσματα Επισκόπησης	87
4 Ανάπτυξη Ασαφών Οντολογιών - Η Μεθοδολογία IKARUS-Onto	89
4.1 Το φαινόμενο της ασάφειας	91
4.2 Δομικά Στοιχεία Ασαφών Οντολογιών	92
4.3 Η Μεθοδολογία Ανάπτυξης Ασαφών Οντολογιών IKARUS-Onto	94
4.3.1 Βήμα 0: Απόκτηση της μη ασαφούς οντολογίας του πεδίου	95
4.3.2 Βήμα 1: Εδραίωση της ανάγκης για ανάπτυξη ασαφούς οντολογίας	95
4.3.3 Βήμα 2: Ορισμός των ασαφών οντολογικών στοιχείων	98
4.3.4 Βήμα 3: Κωδικοποίηση των ασαφών οντολογικών στοιχείων	102
4.3.5 Βήμα 4: Επικύρωση της ασαφούς οντολογίας	103
4.4 Σενάριο Εφαρμογής Μεθοδολογίας	104
4.4.1 Εφαρμογή βήματος 0	105
4.4.2 Εφαρμογή βήματος 1	107
4.4.3 Εφαρμογή βήματος 2	107
4.4.4 Εφαρμογή βήματος 4	108
4.5 Αξιολόγηση Μεθοδολογίας	111
4.5.1 Προσέγγιση αξιολόγησης	111

4.5.2 Διαδικασία αξιολόγησης	113
4.5.3 Αποτελέσματα αξιολόγησης	115
4.5.4 Ανάλυση κόστους-οφέλους	119
5 Διαχείριση Ασαφούς Γνώσης - Το πλαίσιο IKARUS-CBR	121
5.1 Προσέγγιση Ανάπτυξης Πλαισίου	122
5.2 Πλαίσιο Αναπαράστασης Ασαφών Περιπτώσεων	123
5.3 Πλαίσιο Ανάκτησης Ασαφών Περιπτώσεων	125
5.3.1 Προσδιορισμός Ομοιότητας Γνωρισμάτων με τη μορφή Ασαφών Ιδιοτήτων	125
5.3.2 Προσδιορισμός Ομοιότητας Γνωρισμάτων με τη μορφή Ασαφώς Εκτιμώμενων Ιδιοτήτων	127
5.3.3 Προσδιορισμός Ομοιότητας Γνωρισμάτων με τη μορφή Ασαφών Σχέσεων	127
5.3.4 Συνάθροιση Επιμέρους Ομοιοτήτων	131
5.4 Σενάριο Εφαρμογής Πλαισίου	131
5.4.1 Ανάπτυξη Ασαφούς Μοντέλου Περιπτώσεων	132
5.4.2 Ορισμός Νοηματικού Πλαισίου Ανάκτησης Περιπτώσεων	133
5.4.3 Ανάκτηση Περιπτώσεων	136
5.5 Αξιολόγηση Πλαισίου	139
5.5.1 Μεθοδολογία Αξιολόγησης	140
5.5.2 Αποτελέσματα Αξιολόγησης	141
6 Πλατφόρμα Διαχείρισης Ασαφούς Γνώσης IKARUS-Platform	145
6.1 Λειτουργική Αρχιτεκτονική	145
6.2 Επίπεδο Αναπαράστασης Γνώσης	147
6.2.1 Αναπαράσταση ασαφών βαθμών σε OWL	147
6.2.2 Οντολογικά Σχήματα	150
6.3 Επίπεδο Διαχείρισης Γνώσης	154
6.3.1 Κατασκευή και Διαχείριση Σχήματος Ασαφών Περιπτώσεων	154
6.3.2 Κατασκευή και Διαχείριση Ασαφούς Οντολογίας	158
6.3.3 Κατασκευή και Διαχείριση Νοηματικών Πλαισίων Ανάκτησης Περιπτώσεων	162
6.4 Επίπεδο Αλληλεπίδρασης	168
6.4.1 Γραφική Διαπροσωπεία Χρήστη	168
6.5 Γενική Μεθοδολογία Χρήσης Πλατφόρμας	169
6.6 Παράδειγμα Χρήσης Πλατφόρμας	171
6.6.1 Δημιουργία Ασαφούς Οντολογίας Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας	171

6.6.2 Δημιουργία Ασαφούς Οντολογίας Περιπτώσεων	173
6.6.3 Ορισμός Νοηματικού Πλαισίου Ανάκτησης	177
7 Συμπεράσματα & Μελλοντική Έρευνα	185
Βιβλιογραφία	191
Κατάλογος Δημοσιεύσεων	203

Κατάλογος Σχημάτων

2.1	Ο CBR Κύκλος [2]	34
2.2	Ο Κύκλος Διαχείρισης Γνώσης [58]	35
2.3	Δομημένη CBR προσέγγιση	37
2.4	Υπολογισμός Ομοιότητας στη Δομημένη CBR προσέγγιση	37
2.5	Δραστηριότητες Οντολογικής Μηχανικής [5]	42
2.6	Η μεθοδολογία On-To-Knowledge [124]	47
2.7	Η μεθοδολογία METHONTOLOGY [5]	48
2.8	Η μεθοδολογία HCOME [65]	49
2.9	Ασαφής Τριγωνικός Αριθμός	59
2.10	Ασαφής Τραπεζοειδής Αριθμός	60
2.11	Παράδειγμα Ασαφούς Γλωσσικής Μεταβλητής [38]	61
2.12	Ασαφείς Ποσοτικοποιητές [38]	62
2.13	Σημασιολογία Τελεστών OWA [105]	63
3.1	Γραμμικός τροποποιητής	71
3.2	Συνάρτηση crisp	72
3.3	Συνάρτηση left-shoulder	72
3.4	Συνάρτηση right-shoulder	73
3.5	Τριγωνική συνάρτηση	73
3.6	Τραπεζοειδής συνάρτηση	74
3.7	Ασαφής Σχέση Εννοιών [48]	75
3.8	Ασαφής Σχέση Βάσης Εννοιών [48]	76
3.9	Η Αρχιτεκτονική του jColibri [7]	80
3.10	Παράδειγμα Δόμησης Περίπτωσης στο jColibri [7]	81
3.11	Συναρτήσεις Υπολογισμού Ομοιότητας Οντολογικών Στιγμιοτύπων στο jColibri [7]	83
3.12	Παράδειγμα Υπολογισμού Ομοιότητας στο jColibri [7]	84
3.13	Ο προσαρμοσμένος κύκλος CBR του KMIR [73]	85
3.14	Μέρος της Οντολογίας του KMIR [73]	86
4.1	Η μεθοδολογία IKARUS-Onto	96

4.2 Παράδειγμα Ασαφούς Τύπου Δεδομένων	101
4.3 Ασαφής Τύπος Δεδομένων για την Ιδιότητα του Προϋπολογισμού . .	108
4.4 Ασαφής Τύπος Δεδομένων για την Ιδιότητα της Εμπειρίας	110
4.5 Χρονοδιάγραμμα Πειράματος Αξιολόγησης της IKARUS-Onto	116
4.6 Αξιολόγηση της διαδικασίας εκμάθησης και εφαρμογής της IKARUS-Onto	117
4.7 Αξιολόγηση της διαδικασίας μοντελοποίησης ασαφούς οντολογίας της IKARUS-Onto	118
4.8 Αξιολόγηση της διαδικασίας επικύρωσης ασαφών οντολογιών της IKARUS-Onto και της ποιότητας της τελικής οντολογίας	119
6.1 Λειτουργική Αρχιτεκτονική Πλατφόρμας IKARUS	146
6.2 Αναπαράσταση Ασαφούς Σχέσης σε OWL	148
6.3 Κατασκευή Σχήματος Ασαφών Περιπτώσεων	155
6.4 Διάγραμμα Περιπτώσεων Χρήσης Case Manager	156
6.5 Κατασκευή Ασαφούς Οντολογίας	159
6.6 Διάγραμμα Περιπτώσεων Χρήσης Ontology Manager	160
6.7 Ορισμός Νοηματικού Πλαισίου Ανάκτησης Περιπτώσεων	163
6.8 Ορισμός Νοηματικού Πλαισίου Ομοιότητας Οντολογικών Σχέσεων .	163
6.9 Διάγραμμα Περιπτώσεων Χρήσης Context Manager	164
6.10 Διαπροσωπεία Διαχείρισης Οντολογιών	169
6.11 Διαπροσωπεία Διαχείρισης Νοηματικών Πλαισιών Ανάκτησης	170
6.12 Γενική Μεθοδολογία Χρήσης της Πλατφόρμας IKARUS	171
6.13 Προσθήκη Νέας Έννοιας (1)	172
6.14 Προσθήκη Νέας Έννοιας (2)	172
6.15 Μήνυμα Μη Έγκυρου Uri	172
6.16 Ασαφής Συσχετισμός Στιγμιοτύπων (1)	173
6.17 Ασαφής Συσχετισμός Στιγμιοτύπων (2)	174
6.18 Μήνυμα Μη Έγκυρου Ασαφούς Βαθμού	174
6.19 Προσθήκη Τύπου Περιπτώσεων (1)	174
6.20 Προσθήκη Τύπου Περιπτώσεων (2)	175
6.21 Προσθήκη Γνωρίσματος (1)	175
6.22 Προσθήκη Γνωρίσματος (2)	176
6.23 Προσθήκη Γνωρίσματος (3)	176
6.24 Ορισμός Νοηματικού Πλαισίου Ανάκτησης (1)	177
6.25 Ορισμός Νοηματικού Πλαισίου Ανάκτησης (2)	178
6.26 Ορισμός Πλαισίου Ομοιότητας Γνωρίσματος (1)	178

6.27 Ορισμός Πλαισίου Ομοιότητας Γνωρίσματος (2)	178
6.28 Παράμετροι Πλαισίου Ομοιότητας Γνωρίσματος	179
6.29 Σύνδεση Πλαισίου Ομοιότητας Γνωρίσματος με Γνώρισμα (1)	179
6.30 Σύνδεση Πλαισίου Ομοιότητας Γνωρίσματος με Γνώρισμα (2)	179
6.31 Ορισμός Πλαισίου Οντολογικής Ομοιότητας	180
6.32 Ορισμός Πλαισίου Ομοιότητας Συσχετιστικής Οντολογικής Σχέσης (1)	181
6.33 Ορισμός Πλαισίου Ομοιότητας Συσχετιστικής Οντολογικής Σχέσης (2)	181
6.34 Ορισμός Πλαισίου Ομοιότητας Συσχετιστικής Οντολογικής Σχέσης (3)	181
6.35 Ορισμός Πλαισίου Ομοιότητας Συσχετιστικής Οντολογικής Σχέσης (4)	182
6.36 Ορισμός Πλαισίου Οντολογικής Ομοιότητας	182
6.37 Ορισμός Πλαισίου Οντολογικής Ομοιότητας	183
6.38 Ορισμός Πλαισίου Οντολογικής Ομοιότητας	183
6.39 Ορισμός Πλαισίου Οντολογικής Ομοιότητας	184

Κατάλογος Πινάκων

1.1	Αντιστοιχία Δραστηριοτήτων Διαχείρισης Γνώσης (ΔΓ) και Προσεγγίσεων Τεχνητής Νοημοσύνης (TN)	2
2.1	Σύγκριση θεμελιωδών CBR Προσεγγίσεων	38
4.1	Πρότυπο Περιγραφής Ασαφών Οντολογικών Σχέσεων και Ιδιοτήτων .	100
4.2	Πρότυπο Περιγραφής Ασαφών Οντολογικών Εννοιών	102
4.3	Ασαφείς Σχέσεις για το Παράδειγμα της Οντολογίας Συμβούλων . .	109
4.4	Δηλώσεις Ασαφών Σχέσεων για το Παράδειγμα της Οντολογίας Συμβούλων	109
4.5	Ασαφείς Έννοιες για το Παράδειγμα της Οντολογίας Συμβούλων . .	111
4.6	Ασαφή Στιγμιότυπα για το Παράδειγμα της Οντολογίας Συμβούλων .	112
5.1	Έννοιες Οντολογίας Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας	134
5.2	Σχέσεις Οντολογίας Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας	135
5.3	Νοηματικό Πλαίσιο Ομοιότητας Οντολογικών Σχέσεων για τη Βιβλιοθήκη του ΔΕΣΜΗΕ	136
5.4	Στιγμιότυπα Σχέσεων Οντολογίας Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας . .	138
5.5	Τιμές Ομοιότητας για το Γνώρισμα του Θεματικού Περιεχομένου .	138
5.6	Δοκιμαστική Ερώτηση 1: Διαδικασία Κατανομής (10 σχετικά έγγραφα στην πάγια αλήθεια)	141
5.7	Δοκιμαστική Ερώτηση 2: Αποσύνδεση Ζήτησης Συχνότητας (15 σχετικά έγγραφα στην πάγια αλήθεια)	142
5.8	Δοκιμαστική Ερώτηση 3: Παραγωγός Μονάδας Ψυχρής Εφεδρείας (35 σχετικά έγγραφα στην πάγια αλήθεια)	142
5.9	Συνολικά Αποτελέσματα Αξιολόγησης IKARUS-CBR	142

Εισαγωγή

The nations that will lead the world into the next century will be those that can shift from being industrial economies based upon the production of manufactured goods to those that possess the capacity to produce and utilize knowledge successfully.

—Michael Porter

1.1 Διαχείριση Γνώσης, Τεχνητή Νοημοσύνη & Υθριδικές Προσεγγίσεις

Η αυγή του εικοστού πρώτου αιώνα σηματοδότησε την αρχή μιας νέας εποχής η οποία είναι γνωστή με διάφορους όρους όπως "Μετα-βιομηχανική Εποχή" [37], "Εποχή της Πληροφορίας" [18], "Το Τρίτο Κύμα" [60] και "Κοινωνία της Γνώσης" [93]. Χαρακτηριστικό της εποχής αυτής είναι ότι τα παραδοσιακά μέσα της οικονομικής δύναμης (κεφάλαιο, γη, υλικά και εργασία) δεν αποτελούν πλέον καθοριστικούς παράγοντες επιχειρηματικής επιτυχίας. Αντίθετα, η τελευταία εξαρτάται ολοένα και περισσότερο από τη δυνατότητα των επιχειρήσεων να χρησιμοποιούν με αποδοτικό τρόπο τη γνώση που οι ίδιες έχουν ή παράγουν και να τη μετατρέψουν σε πολύτιμο στρατηγικό πόρο. Έτσι, η βασική ιδέα που διέπει αυτή τη νέα εποχή και δρα ενοποιητικά για όλους τους παραπάνω όρους είναι η έννοια της **Διαχείρισης Γνώσης (Knowledge Management)**.

Η Διαχείριση Γνώσης αποσκοπεί στο να βοηθήσει τις εταιρείες και τους οργανισμούς να αυξήσουν την αποδοτικότητα των επιχειρηματικών λειτουργιών τους αλλά και να προσδώσουν σε αυτές καινοτόμα χαρακτηριστικά μέσω της αποτελεσματικής εκμετάλλευσης της γνώσης τους. Κι αυτό γιατί, όπως έχει αναγνωριστεί τόσο από ερευνητές όσο κι από ανθρώπους του επιχειρηματικού κόσμου, ο τρόπος διαχείρισης της γνώσης σε μια επιχείρηση επηρεάζει σημαντικά την απόδοση και αποτελεσματι-

κότητα της τελευταίας και αποτελεί βασικό παράγοντα εξασφάλισης ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος [119] [91] [53]. Ως εκ τούτου, για μια σύγχρονη επιχείρηση είναι βασικό να αναπτύξει και να εφαρμόσει συστηματικές πρακτικές και μηχανισμούς για την διοίκηση και ανάπτυξη της γνώσης ώστε να εκμεταλλευτεί κατά το βέλτιστο δυνατό τα πλεονεκτήματα που αυτή προσφέρει.

Για το σκοπό αυτό πολλοί ερευνητές έχουν προτείνει διοικητικά και τεχνολογικά πλαίσια διαχείρισης γνώσης (Knowledge Management Frameworks) που αφορούν τον τρόπο με τον οποίο η γνώση ενός οργανισμού γίνεται αντικείμενο διαχείρισης. Τα πλαίσια αυτά στο σύνολό τους περιλαμβάνουν μεθόδους, τεχνικές και εργαλεία βάσει των οποίων η γνώση συλλέγεται, αποθηκεύεται, μεταδίδεται, εφαρμόζεται και εξελίσσεται εντός του οργανισμού. Ταυτόχρονα όμως καθένα από αυτά δίνει διαφορετική έμφαση στις επιμέρους διεργασίες της διαχείρισης γνώσης τονίζοντας για παράδειγμα περισσότερο την τεχνολογική διάσταση έναντι της διοικητικής [41] ή και αντίστροφα [53].

Σε ό,τι αφορά την τεχνολογική διάσταση της διαχείρισης γνώσης ιδιαίτερο ενδιαφέρον συγκεντρώνει ο χώρος της Τεχνητής Νοημοσύνης και οι σχετικές με αυτόν τεχνολογίες. Μάλιστα, στο πλαίσιο ενός workshop που πραγματοποιήθηκε το 2001 στο Cambridge της Αγγλίας, μια ομάδα ερευνητών και επαγγελματιών από τους χώρους της Τεχνητής Νοημοσύνης και της Διαχείρισης Γνώσης αντιστοίχισαν τις κύριες δραστηριότητες της τελευταίας σε προσεγγίσεις και τεχνικές της πρώτης [56]. Τα αποτελέσματα της αντιστοίχισης αυτής φαίνονται στον πίνακα 1.1.

Πίνακας 1.1: Αντιστοιχία Δραστηριοτήτων Διαχείρισης Γνώσης (ΔΓ) και Προσεγγίσεων Τεχνητής Νοημοσύνης (ΤΝ)

Δραστηριότητα ΔΓ	Προσέγγιση ΤΝ
Συλλογή Γνώσης	Εκμαίευση Γνώσης, Μηχανική Μάθηση, Εξαγωγή Πληροφορίας
Οργάνωση & Συντήρηση Γνώσης	Μοντελοποίηση & Αναπαράσταση Γνώσης, Οντολογίες, Συστήματα Βασισμένα σε Γνώση, Συλλογιστική Βασισμένη σε Περιπτώσεις
Χρήση & Εκμετάλλευση Γνώσης	Οντολογίες, Τεχνολογία Πρακτόρων, Συστήματα Βασισμένα σε Γνώση, Συλλογιστική Βασισμένη σε Περιπτώσεις

Οι προσεγγίσεις που αναφέρονται στη δεύτερη στήλη του πίνακα είναι αρκετά γενικές και μπορούν να εξειδικευτούν ακόμα περισσότερο. Το πιο σημαντικό όμως είναι ότι κάθε μία από αυτές διαθέτει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αναφορικά με την ικανότητά της να υποστηρίζει την αντίστοιχη δραστηριότητα διαχείρισης γνώσης. Το γεγονός αυτό σημαίνει δύο πράγματα:

1. 'Οτι για την επιλογή της κατάλληλης κάθε φορά προσέγγισης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι επιμέρους απαιτήσεις διαχείρισης γνώσης που έχει ο οργανισμός.
2. 'Οτι προκειμένου να αναπτυχθούν λύσεις διαχείρισης γνώσης χωρίς τα επιμέρους μειονεκτήματα των διαφόρων προσεγγίσεων, θα πρέπει οι τελευταίες να συνδυάζονται με αποτελεσματικό τρόπο.

Η εγκυρότητα της δεύτερης διαπίστωσης βεβαιώνεται από ένα πλήθος υθριδικών προσεγγίσεων Τεχνητής Νοημοσύνης που αποσκοπούν ακριβώς στο να άρουν τους περιορισμούς που έχουν οι επιμέρους τεχνικές που συνδυάζουν [8] [88] [108] [122]. Κάθε μία από αυτές τις προσεγγίσεις στοχεύει συνήθως στην αντιμετώπιση ενός συγκεκριμένου προβλήματος το οποίο μπορεί να κυμαίνεται από πολύ γενικό έως πολύ εξειδικευμένο ενώ και η προτεινόμενη λύση του να είναι σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό γενική και επαναχρησιμοποιήσιμη.

Στο πλαίσιο αυτό, αντικείμενο της παρούσας διατριβής είναι η δημιουργία ενός υθριδικού τεχνολογικού πλαισίου διαχείρισης γνώσης το οποίο συνδυάζοντας επιμέρους προσεγγίσεις και τεχνικές της Τεχνητής Νοημοσύνης θα αντιμετωπίζει με αποτελεσματικό τρόπο το πρόβλημα της **διαχείρισης ασαφούς γνώσης**. Στόχος είναι ο βαθμός γενικότητας και επαναχρησιμοποίησης του συγκεκριμένου πλαισίου να είναι αρκετά μεγάλος προκειμένου να μπορεί να καλύπτει ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών και περιπτώσεων.

1.2 Καθορισμός Προβλήματος

Το πρόβλημα της ασάφειας της επιχειρηματικής γνώσης προέρχεται από την εγγενή ανακρίβεια, αοριστία και αβεβαιότητα που χαρακτηρίζει την ανθρώπινη γνώση και γλώσσα. Πιο συγκεκριμένα, σε μια πολύ σημαντική εργασία του [68] ο Lotfi Zadeh, θεμελιωτής της Ασαφούς Λογικής, προσδιόρισε δύο πολύ βασικά προβλήματα που σχετίζονται με την έννοια της ασάφειας και που αντιμετωπίζουν τα σύγχρονα συστήματα διαχείρισης γνώσης:

1. Το πρόβλημα του χειρισμού της ανθρώπινης γνώσης.
2. Το πρόβλημα του υπολογισμού της σχετικότητας.

Ως ανθρώπινη γνώση μπορεί να οριστεί η γνώση που οι άνθρωποι αποκτούν μέσω της εμπειρίας, της επικοινωνίας και της εκπαίδευσης. Μεγάλο μέρος της γνώσης αυτής βασίζεται στην έννοια της αντίληψης (perception) και κατά συνέπεια

είναι εγγενώς ανακριβής αφού εξαρτάται άμεσα από την περιορισμένη δυνατότητα των αισθητηρίων οργάνων και του εγκεφάλου του ανθρώπου να αντιλαμβάνονται και να αποθηκεύουν πληροφορία σε μεγάλο βαθμό λεπτομέρειας. Ενώ όμως για έναν άνθρωπο είναι σχετικά εύκολο να χειριστεί και να χρησιμοποιήσει την ανακρίβεια αυτή, για ένα σύστημα είναι αρκετά δύσκολο.

Παράδειγμα γνώσης βασισμένης στην αντίληψη είναι η δήλωση "Οι περισσότεροι ενήλικες Σουηδοί είναι ψηλοί". Σε μια ερώτηση του τύπου "Πόσοι ενήλικες Σουηδοί είναι κοντοί" ή "Ποιο είναι το μέσο ύψος των ενήλικων Σουηδών" ένας άνθρωπος μπορεί προσεγγιστικά να δώσει μια απάντηση, ένα σύστημα όμως συνήθως όχι. Άλλα παραδείγματα ανακριθούς ανθρώπινης γνώσης είναι δηλώσεις της μορφής:

- Οι περισσότεροι πολιτικοί είναι αναξιόπιστοι.
- Συνήθως ένα μεγάλο σπίτι κοστίζει περισσότερο από ένα μικρό.
- Είναι πιθανό να βρέξει σήμερα.

Το δεύτερο πρόβλημα αφορά την έννοια της σχετικότητας (relevance) η οποία κατέχει κεντρικό ρόλο στα συστήματα διαχείρισης γνώσης καθώς σχετίζεται άμεσα με τη λειτουργία της ανάκτησης. Πιο συγκεκριμένα, η συγκεκριμένη έννοια αφενός είναι ασαφής από μόνη της (καθώς το πόσο σχετικό είναι κάτι με κάτι άλλο είναι πάντα θέμα βαθμού) και αφετέρου γίνεται περισσότερο ασαφής όταν ο υπολογισμός της βασίζεται σε ασαφή ανθρώπινη γνώση. Σε ένα τρίτο επίπεδο η ασάφεια της σχετικότητας προκύπτει και από την υποκειμενική αντίληψη του ανθρώπου για το τι είναι σχετικό και τι όχι σε ένα δεδομένο σενάριο εφαρμογής. Επομένως, η ολοκληρωμένη αντιμετώπιση του προβλήματος της σχετικότητας και στα τρία αυτά επίπεδα αποτελεί σημαντική πρόκληση για τα σύγχρονα συστήματα διαχείρισης γνώσης.

Εξειδικεύοντας τα παραπάνω προβλήματα στον τομέα της διαχείρισης επιχειρηματικής γνώσης μπορεί κανείς να διαπιστώσει καταρχήν ότι η γνώση που κατέχει μια επιχείρηση είναι σε μεγάλο βαθμό ασαφής. Ένας πρωταρχικός λόγος γι' αυτό είναι ότι ένα μεγάλο μέρος της γνώσης αυτής προέρχεται, είτε άμεσα είτε έμμεσα, από ανθρώπους. Παραδείγματα αποτελούν:

- Γνώση σχετικά με το περιβάλλον της επιχείρησης (π.χ. ανταγωνισμός) καθώς αυτή προκύπτει από την αντίληψη που έχουν συγκεκριμένα στελέχη γι' αυτό.
- Γνώση σχετικά με τις ικανότητες και δεξιότητες των στελεχών καθώς αυτή προέρχεται από την αξιολόγηση που γίνεται σε αυτά είτε από τα ίδια (αυτοαξιολόγηση) είτε από άλλα στελέχη.

Επιπλέον, μπορεί ένα μέρος της γνώσης να είναι ασαφές λόγω του ότι η επιχείρηση δε διαθέτει τους απαραίτητους πόρους (κεφάλαια, ανθρώπινο δυναμικό) προκειμένου να μειώσει την ασάφεια. Για παράδειγμα σε μια επιχείρηση με χιλιάδες εργαζομένους η ακριβής μέτρηση της απόδοσης του καθενός από αυτούς μπορεί να είναι σημαντικά χρονοβόρα και κοστοβόρα. Σε μια τέτοια περίπτωση είναι πιθανόν να είναι αποδεκτή μικρότερη ακρίβεια μέτρησης προκειμένου να μειωθούν ο χρόνος και το κόστος.

Η ύπαρξη ασάφειας στη γνώση μιας επιχείρησης έχει άμεσες συνέπειες στη χρήση και την εκμετάλλευση αυτής. Πιο συγκεκριμένα, ένα από τα βασικά ζητούμενα της επιχειρηματικής διαχείρισης γνώσης είναι η δυνατότητα του να εντοπίζει κανείς τη γνώση που χρειάζεται για να εκτελέσει κάποια λειτουργία ή να επιλύσει κάποιο πρόβλημα. Η αποτελεσματική υποστήριξη του εντοπισμού αυτού από ένα σύστημα φέρνει άμεσα στο προσκήνιο το πρόβλημα της σχετικότητας που περιγράφηκε προηγουμένως.

Γίνεται επομένως ξεκάθαρο ότι η ανάγκη για ολοκληρωμένη και αποτελεσματική διαχείριση της ασάφειας της επιχειρηματικής γνώσης είναι υπαρκτή και κατά συνέπεια υπάρχει ανάγκη για πλαίσια διαχείρισης γνώσης τα οποία μπορούν να ανταπεξέλθουν στις προκλήσεις που συνεπάγεται η διαχείριση αυτή. Ο όρος πλαίσιο (framework) υποδηλώνει το γεγονός ότι για την κάλυψη της παραπάνω ανάγκης δεν αρκεί απλά ένα εξελιγμένο σύστημα τεχνητής νοημοσύνης αλλά απαιτούνται επιπλέον συγκεκριμένες και ολοκληρωμένες μεθοδολογίες που θα επιτρέψουν την αποτελεσματική εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος μέσα στην επιχείρηση.

Ειδικότερα, λαμβάνοντας υπόψη τις βασικές διαδικασίες διαχείρισης γνώσης (συλλογή, οργάνωση, χρήση, συντήρηση) ένα πλαίσιο διαχείρισης της ασάφειας οφείλει να παρέχει στην επιχείρηση τις εξής δυνατότητες και ικανότητες:

- Τη δυνατότητα και ικανότητα να εντοπίζει και να προσδιορίζει τη φύση και το νόημα της ασάφειας που ενυπάρχει στη γνώση της.
- Τη δυνατότητα και ικανότητα να μοντελοποιεί εννοιολογικά την ασάφεια αυτή και να την κωδικοποιεί και αποθηκεύει σε υπολογιστικά επεξεργάσιμη και ερμηνεύσιμη μορφή.
- Τη δυνατότητα και ικανότητα να εκμεταλλεύεται την ασάφεια της γνώσης της προκειμένου να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα και αποδοτικότητα των βασισμένων σε αυτή λειτουργιών της.

Από την επισκόπηση της βιβλιογραφίας προκύπτει ότι τα υπάρχοντα πλαίσια διαχείρισης γνώσης δεν καλύπτουν επαρκώς τις παραπάνω απαιτήσεις. Στόχος της παρούσας διατριβής είναι να καλύψει ένα σημαντικό μέρος του κενού αυτού.

1.3 Πρόταση και Συμβολή της Διατριβής

Με δεδομένη την αναγκαιότητα για ολοκληρωμένη διαχείριση της ασάφειας της γνώσης μιας επιχείρησης η παρούσα διατριβή έρχεται να προτείνει ένα καινοτόμο υθριδικό πλαίσιο διαχείρισης ασαφούς γνώσης το οποίο καλύπτει την ανάγκη αυτή τόσο σε τεχνολογικό όσο και σε μεθοδολογικό επίπεδο. Το προτεινόμενο πλαίσιο βασίζεται στο συνδυασμό τριών προσεγγίσεων της Τεχνητής Νοημοσύνης, της **Συλλογιστικής Βασισμένης σε Περιπτώσεις (Case Based Reasoning - CBR)**, της **Οντολογικής Μηχανικής (Ontology Engineering)** και της **Ασαφούς Λογικής (Fuzzy Logic)**, και περιλαμβάνει μεθόδους και εργαλεία που παρέχουν τις δυνατότητες και ικανότητες διαχείρισης γνώσης που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο.

Αναλυτικότερα, η Συλλογιστική Βασισμένη σε Περιπτώσεις αποτελεί μια τεχνική επίλυσης προβλημάτων η οποία βασίζεται στη διαπίστωση ότι όταν οι άνθρωποι καλούνται να επιλύσουν ένα πρόβλημα τότε ανακαλούν προηγούμενα προβλήματα που έχουν ήδη επιλυθεί, βάσει της λογικής ότι παρόμοια προβλήματα έχουν και παρόμοιες λύσεις. Η θεμελιώδης αυτή ιδέα της σύγκρισης προβλημάτων υλοποιείται στα CBR συστήματα μέσω μιας κυκλικής διαδικασίας η οποία περιλαμβάνει την οργάνωση, αποθήκευση, ανάκτηση και προσαρμογή προβλημάτων και λύσεων αυτών [2]. Η λογική και δομή της διαδικασίας αυτής αντιστοιχεί πλήρως στις βασικές δραστηριότητες της διαχείρισης γνώσης [57] και για το λόγο αυτό η CBR τεχνική έχει προταθεί ως προσέγγιση ανάπτυξης αντίστοιχων συστημάτων [58] μέσω της αντικατάστασης της έννοιας του προβλήματος με αυτήν του αγαθού γνώσης (knowledge asset).

Βασικό παράγοντα αποτελεσματικότητας μιας τέτοιας πρότασης αποτελεί το εύρος των δυνατοτήτων διαχείρισης γνώσης που μπορεί να προσφέρει ένα CBR σύστημα, ειδικά σε ό,τι αφορά τα ζητήματα της μοντελοποίησης και της ανάκτησης. Ως προς τη μοντελοποίηση το βασικό ζητούμενο είναι η αντιμετώπιση του λεγόμενου "Knowledge Acquisition Bottleneck", της αυξημένης δυσκολίας δηλαδή και κόστους που συνεπάγεται η απαραίτητη διαδικασία συλλογής, κωδικοποίησης και αποθήκευσης της γνώσης. Ως προς την ανάκτηση πάλι το ζητούμενο είναι ο αντίστοιχος μηχανισμός να μπορεί να καλύπτει την εκάστοτε ανάγκη της επιχείρησης για γνώση όντας σε θέση να "κατανοεί" την ανάγκη αυτή και να την αντιστοιχεί σε νοηματικά σχετική αποθηκευμένη γνώση. Οι δύο αυτές απαιτήσεις οδήγησαν την ερευνητική κοινότητα στο να προτείνει μια σχετικά νέα CBR προσέγγιση [8] στην οποία τόσο η μοντελοποίηση όσο και η ανάκτηση γνώσης πραγματοποιείται με τη βοήθεια αρχών, τεχνικών και μεθόδων από το χώρο των Οντολογιών.

Οι οντολογίες [103] [120] έχουν προταθεί από την ερευνητική κοινότητα ως ο κύριος τρόπος μοντελοποίησης υπολογιστικά ερμηνεύσιμης (machine interpretable), κοινά αποδεκτής (shared) και επαναχρησιμοποιήσιμης (reusable) γνώσης. Η πρώτη ιδιότητα επιτρέπει σε ένα CBR σύστημα το οποίο χρησιμοποιεί οντολογίες να εκμεταλλεύεται τις δυνατότητες "κατανόησης" της γνώσης που αυτές προσφέρουν (π.χ. λογικός συμπερασμός) και να ορίζει πιο εξελιγμένες μεθόδους ανάκτησης. Οι άλλες δύο ιδιότητες επιτρέπουν στο ίδιο σύστημα να χρησιμοποιεί γνώση που έχει ήδη αναπτυχθεί (και βρίσκεται αποθηκευμένη σε άλλα συστήματα) μειώνοντας έτσι την ανάγκη για εξαρχής συλλογή και μοντελοποίηση γνώσης.

Στο ίδιο πνεύμα λοιπόν που υπαγόρευσε την ενσωμάτωση των οντολογιών στη CBR προσέγγιση προκειμένου να βελτιωθούν οι δυνατότητες μοντελοποίησης και ανάκτησης γνώσης της τελευταίας, η παρούσα διατριβή προτείνει επιπλέον την ενσωμάτωση της Ασαφούς Λογικής στον ήδη υπάρχοντα συνδυασμό προκειμένου να καταστεί δυνατή η αντιμετώπιση της ασάφειας. Οι λόγοι που ευνοούν μια τέτοια προσέγγιση είναι μεταξύ άλλων οι εξής:

- Η ασαφής λογική αποτελεί καθιερωμένη προσέγγιση αναπαράστασης πληροφορίας που είναι ασαφής, ατελής ή αβέβαιη και παρέχει σημαντικές δυνατότητες χειρισμού αυτής. Αυτό καθιστά την ενσωμάτωσή της στον υπάρχοντα συνδυασμό CBR και οντολογιών ευκολότερη και με σημαντικά αυξημένες πιθανότητες επιτυχίας.
- Τόσο η CBR τεχνική όσο και οι οντολογίες αποτελούν καθιερωμένες, εφαρμοσμένες και αποδεδειγμένα αποτελεσματικές προσεγγίσεις στο χώρο της διαχείρισης γνώσης. Η επιλογή διαφορετικών και λιγότερο διαδεδομένων προσεγγίσεων ως βάση του προτεινόμενου πλαισίου θα μείωνε σημαντικά τη δυναμική και την εφαρμοσιμότητα του τελευταίου.
- Το γεγονός ότι η ασαφής λογική είναι επέκταση της κλασσικής λογικής επιτρέπει την ενσωμάτωσή της στις οντολογίες με τέτοιο τρόπο ώστε οι ήδη υπάρχουσες μέθοδοι και τεχνικές μοντελοποίησης και ανάκτησης γνώσης να παραμένουν εφαρμόσιμες. Αυτό γραπτικά σημαίνει ότι το προτεινόμενο πλαίσιο θα μπορεί να χρησιμοποιείται ακόμα και σε περιπτώσεις όπου η διαθέσιμη γνώση είναι μερικώς ή και καθόλου ασαφής.

Αναλυτικότερα, η ενσωμάτωση της ασαφούς λογικής στον υπάρχοντα συνδυασμό CBR και οντολογιών γίνεται σε τρία επίπεδα τα οποία αποτελούν και τα επίπεδα συμβολής της διατριβής. Αυτά είναι:

- **Επίπεδο 1:** Ορισμός μιας καινοτόμου μεθοδολογίας ανάπτυξης ασαφών οντολογιών η οποία επιτρέπει τη συλλογή, την εννοιολογική μοντελοποίηση και την κωδικοποίηση ασαφούς γνώσης μέσω του συνδυασμού οντολογιών και ασαφούς λογικής.
- **Επίπεδο 2:** Ορισμός ενός καινοτόμου πλαισίου διαχείρισης ασαφούς επιχειρηματικής γνώσης το οποίο βασίζεται στην υιοθέτηση των ασαφών οντολογιών από τη CBR προσέγγιση και επιτρέπει τη μοντελοποίηση, αποθήκευση, ανάκτηση και συντήρηση γνωσιακών πόρων στο πλαίσιο της λειτουργίας μιας επιχείρησης.
- **Επίπεδο 3:** Ανάπτυξη μιας ενιαίας πλατφόρμας διαχείρισης ασαφούς γνώσης η οποία υλοποιεί τα παραπάνω πλαίσια και επιτρέπει την πρακτική υλοποίηση αντίστοιχων εφαρμογών σε επιχειρήσεις.

Αναλυτικότερα, η μεθοδολογία IKARUS-Onto αποτελεί μια καινοτόμο μεθοδολογία μοντελοποίησης ασαφών οντολογιών η οποία συνεισφέρει στην αποτελεσματική ανάπτυξη επαναχρησιμοποιήσιμων και διαμοιράσιμων ασαφών οντολογιών. Αυτό το κάνει παρέχοντας συγκεκριμένα βήματα και οδηγίες τόσο για την αποτελεσματική και σωστή αναγνώριση της ασαφούς γνώσης σε ένα πεδίο γνώσης όσο και για τη μοντελοποίηση της γνώσης αυτής μέσω ασαφών οντολογικών στοιχείων με τρόπο ρητό και όσο το δυνατόν ακριβή. Επιτυγχάνει έτσι να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας ανάπτυξης και της ποιότητας του τελικού προϊόντος, δηλαδή της ασαφούς οντολογίας, κι αυτό συμβαίνει για τους ακόλουθους λόγους:

- Εστιάζει περισσότερο στο ποια γνώση πρέπει να αναπαρασταθεί ως ασαφής στην οντολογία παρά στον ακριβή τρόπο που θα πρέπει να αναπαρασταθεί. Έτσι, ο μηχανικός μπορεί να εστιάσει περισσότερο στο περιεχόμενο της οντολογίας ανησυχώντας λιγότερο για τον φορμαλισμό που θα πρέπει να ακολουθήσει.
- Αντιμετωπίζει την ασάφεια ως "πολίτη πρώτης κατηγορίας" περιγράφοντας τη φύση της και τον τρόπο με τον οποίο συνήθως εμφανιζεται σε ένα πεδίο γνώσης. Εξασφαλίζει έτσι ότι όλοι οι εμπλεκόμενοι στη διαδικασία ανάπτυξης της οντολογίας θα μπορούν να αναγνωρίζουν την ασαφή γνώση του πεδίου ευκολότερα, πληρέστερα και με μεγαλύτερη ακρίβεια.
- Απαιτεί από το μηχανικό να δηλώσει (και να καταγράψει) ρητά το ακριβές νόημα των ασαφών οντολογικών στοιχείων που ορίζει. Αυτό έχει δύο σημαντικά πλεονεκτήματα: αφενός η επικοινωνία μεταξύ όλων των εμπλεκομένων στη διαδικασία ανάπτυξης γίνεται πιο αποτελεσματική και αφετέρου η οντολογία

γίνεται περισσότερο διαμοιράσιμη και επαναχρησιμοποιήσιμη καθώς άτομα τα οποία δεν έχουν εμπλακεί στην ανάπτυξή της μπορούν εύκολα να καταλάβουν, μέσα από την τεκμηρίωση της οντολογίας, το νοήμα των ασαφών στοιχείων.

- Δεν αναιρεί τις πρακτικές και τις μεθόδους της κλασικής οντολογικής μηχανικής αλλά χτίζει πάνω από αυτές καλύπτοντας και αντιμετωπίζοντας τα ζητήματα που προκύπτουν από την ύπαρξη της ασάφειας. Αυτό επιτρέπει σε ανθρώπους που είναι ήδη εξοικειωμένοι με τις κλασικές οντολογίες να μεταβούν στην ανάπτυξη ασαφών οντολογιών γρηγορότερα και ομαλότερα.
- Χρησιμοποιεί ως αφετηρία ήδη κατασκευασμένες μη-ασαφείς οντολογίες. Αυτό επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση γνώσης (καθώς σε πολλά πεδία υπάρχουν ήδη διαθέσιμες οντολογίες) και κάνει πιο αποτελεσματική τη διαδικασία μοντελοποίησης (καθώς είναι ευκολότερο να δουλεύει κανείς σε ήδη δομημένη γνώση παρά σε αδόμητη).

Η IKARUS-Onto δεν είναι μια ακόμα μεθοδολογία για ανάπτυξη οντολογιών αλλά έρχεται να καλύψει το μεθοδολογικό κενό που υπάρχει στην ανάπτυξη ασαφών οντολογικών προδιαγράφοντας το πώς μια συμβατική οντολογία μπορεί να μετατραπεί σε ασαφή. Η ύπαρξη μιας τέτοιας λεπτομερούς και συγκεκριμένης μεθοδολογίας η οποία διευκολύνει και προτυποποιεί την ανάπτυξη ασαφών οντολογιών είναι αρκετά σημαντική για το σχετικό πεδίο έρευνας καθώς η προτυποποίηση της διαδικασίας καθιστά τις παραγόμενες ασαφείς οντολογίες εύκολα επαναχρησιμοποίησιμες, γεγονός που επιτρέπει με τη σειρά του τη σταδιακή ανάπτυξη ολοένα και μεγαλύτερων ασαφών οντολογιών οι οποίες μπορούν να χρησιμεύσουν ως γενικές οντολογίες αναφοράς.

Το πλαίσιο IKARUS-CBR με τη σειρά του επιτρέπει τη διαχείριση ασαφούς επιχειρηματικής γνώσης μέσω της αποτελεσματικής ενσωμάτωσης ασαφών οντολογιών στη CBR τεχνική. Η ενσωμάτωση αυτή πραγματοποιείται σε δύο επίπεδα, στο επίπεδο της αναπαράστασης ασαφούς γνώσης και στο επίπεδο της εκμετάλλευσης της τελευταίας για την αποτελεσματική ανάκτηση περιπτώσεων. Για το πρώτο επίπεδο, το πλαίσιο ορίζει ένα περιεκτικό μοντέλο αναπαράστασης ασαφών οντολογιών το οποίο και χρησιμοποιεί για να αναπαραστήσει την ασάφεια που χαρακτηρίζει τόσο τα χαρακτηριστικά των περιπτώσεων όσο και τις τιμές αυτών. Για το δεύτερο επίπεδο, το IKARUS-CBR ορίζει ένα πλαίσιο ασαφούς σημασιολογικής ομοιότητας το οποίο και χρησιμοποιεί για την ανάκτηση των ασαφώς ορισμένων περιπτώσεων.

Ειδικά στο κομμάτι της ανάκτησης, το πλαίσιο ορίζει ένα μέτρο ομοιότητας το οποίο έχει δύο πολύ σημαντικά χαρακτηριστικά:

1. Συνδυάζει τις δυνατότητες συμπερασμού (reasoning) των οντολογιών με αυτές των ασαφών συστημάτων προκειμένου να υπολογίσει την ομοιότητα μεταξύ ασαφώς ορισμένων περιπτώσεων.
2. Θεωρεί τον υπολογισμό της ομοιότητας ως μια διαδικασία αρκετά υποκειμενική και εξαρτώμενη από το εκάστοτε σενάριο εφαρμογής που προκειμένου να εκτελεστεί αποτελεσματικά χρειάζεται κάποιου είδους πληροφορία νοηματικού πλαισίου (contextual information). Για το σκοπό αυτό ορίζει ένα περιεκτικό τέτοιο μοντέλο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσαρμογή της διαδικασίας υπολογισμού της ομοιότητας στις ιδιαίτερες απαιτήσεις του οποιουδήποτε σεναρίου εφαρμογής.

Με τη μοντελοποίηση και εκμετάλλευση της ασάφειας για την ανάκτηση γνώσης, το πλαίσιο IKARUS-CBR επιτυγχάνει σημαντικό βαθμό βελτίωσης στην αποτελεσματικότητα της τελευταίας σε σύγκριση με τις παραδοσιακές προσεγγίσεις που δε λαμβάνουν υπόψη καθόλου την ασάφεια.

Τέλος, η πλατφόρμα IKARUS-Platform αποτελεί ένα σύστημα λογισμικού το οποίο υλοποιεί τη μεθοδολογία IKARUS-Onto και το πλαίσιο IKARUS-CBR σε επίπεδο συστήματος, επιτρέποντας έτσι τη μοντελοποίηση και εκμετάλλευση ασαφούς γνώσης σε πρακτικά σενάρια εφαρμογής. Μαζί με την πλατφόρμα προδιαγράφεται και μια γενική μεθοδολογία χρήσης αυτής η οποία ορίζει τα βήματα που απαιτούνται για τη σχεδίαση και τη χρήση μιας τυπικής εφαρμογής διαχείρισης ασαφούς γνώσης.

Τα παραπάνω επίπεδα της διατριβής συνθέτουν το ενιαίο πλαίσιο ασαφούς διαχείρισης γνώσης **IKARUS** (Imprecise Knowledge Acquisition Representation and Use) το οποίο στοχεύει στο να αναδείξει την ασάφεια της γνώσης ως κάτι διαχειρίσιμο και ωφέλιμο για μια επιχείρηση παρέχοντας ταυτόχρονα τις τεχνολογικές και μεθοδολογικές βάσεις για κάτι τέτοιο.

1.4 Δομή της Διατριβής

Με βάση τα παραπάνω, η δομή της παρούσας διατριβής είναι δομημένη ως εξής:

- Το **Κεφάλαιο 1** αποτελεί την παρούσα εισαγωγή στο αντικείμενο και τους στόχους της διατριβής.
- Στο **Κεφάλαιο 2** περιγράφεται το θεωρητικό και τεχνολογικό υπόβαθρο της διατριβής με στόχο την κατανόηση από την πλευρά του αναγνώστη των βασικών μεθόδων και εργαλείων που αποτελούν τη βάση του προτεινόμενου πλαισίου.

- Στο **Κεφάλαιο 3** περιγράφονται οι κυριότερες ερευνητικές προσπάθειες που σχετίζονται με το αντικείμενο της διατριβής και ιδιαίτερα με το υβριδικό πλαίσιο διαχείρισης γνώσης που αυτή προτείνει.
- Στο **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζεται η μεθοδολογία **IKARUS-Onto**, μια καινοτόμος μεθοδολογία ανάπτυξης ασαφών οντολογιών η οποία βελτιώνει σημαντικά την αποδοτικότητα της διαδικασίας ανάπτυξης μιας ασαφούς οντολογίας αλλά και την ποιότητα του τελικού προϊόντος.
- Στο **Κεφάλαιο 5** παρουσιάζεται το πλαίσιο **IKARUS-CBR**, ένα καινοτόμο υβριδικό CBR πλαίσιο το οποίο μπορεί να διαχειριστεί και να εκμεταλλευτεί ασαφή γνώση μέσω της αποτελεσματικής ενσωμάτωσης ασαφών οντολογιών στο πρότυπο CBR.
- Στο **Κεφάλαιο 6** παρουσιάζεται η πλατφόρμα λογισμικού **IKARUS-Platform**, μια ενιαία πλατφόρμα διαχείρισης ασαφούς γνώσης η οποία υλοποιεί τη μεθοδολογία IKARUS-Onto και το πλαίσιο IKARUS-CBR σε επίπεδο συστήματος και επιτρέπει την πρακτική χρήση αυτών σε πραγματικά σενάρια εφαρμογής.
- Στο **Κεφάλαιο 7** παρουσιάζονται τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την όλη ερευνητική εργασία της διατριβής και αναλύονται οι κατευθύνσεις τις οποίες αυτή μπορεί να λάβει στο μέλλον.

Θεωρητικό και Τεχνολογικό Υπόβαθρο

Nothing is as practical as theory.

—J. Robert Oppenheimer

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται το θεωρητικό και τεχνολογικό υπόβαθρο της διατριβής με στόχο την κατανόηση από την πλευρά του αναγνώστη των βασικών εννοιών που χαρακτηρίζουν το πλαίσιο IKARUS και της φύσης των τεχνικών και μεθόδων που εμφανίζονται σε αυτό.

Πιο συγκεκριμένα, δεδομένης της υβριδικής προσέγγισης του πλαισίου, η δομή του κεφαλαίου έχει ως εξής: Στην πρώτη ενότητα περιγράφεται αναλυτικά η έννοια της Διαχείρισης Γνώσης και οι σχετικές με αυτή προσεγγίσεις και τεχνολογίες με στόχο την εξοικείωση του αναγνώστη με το πεδίο εφαρμογής της διατριβής.

Στη δεύτερη ενότητα περιγράφεται η έννοια της Βασισμένης σε Περιπτώσεις Συλλογιστικής (CBR), αρχικά ως τεχνική επίλυσης προβλημάτων και στη συνέχεια ως μεθοδολογία διαχείρισης γνώσης. Παρουσιάζονται επίσης οι διαφορετικές CBR προσεγγίσεις που έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία και έχουν εφαρμοστεί στην πράξη. Στόχος της ενότητας είναι αφενός να γίνει εμφανής η εφαρμοσιμότητα της CBR τεχνικής στον τομέα της διαχείρισης γνώσης και αφετέρου να γίνουν επαρκώς κατανοητές οι βασικές έννοιες που θα απασχολήσουν τα επόμενα κεφάλαια της διατριβής.

Στη δεύτερη ενότητα ορίζονται οι έννοιες των οντολογιών και της οντολογικής μηχανικής και περιγράφονται οι σχετικές με τις έννοιες αυτές μεθοδολογίες και τεχνολογίες. Στόχος είναι να καταστεί σαφές τι είναι, σε τι χρησιμεύουν και πώς κατασκευάζονται οι οντολογίες έτσι ώστε να γίνει ευκολότερα κατανοητός ο ρόλος και ο τρόπος χρήσης τους στο πλαίσιο IKARUS.

Τέλος, στην τρίτη ενότητα γίνεται μία εισαγωγή στις κυριότερες έννοιες της θεωρίας της ασαφούς λογικής και επεξηγούνται τα βασικά στοιχεία αυτής που θα χρησιμοποιηθούν στο πλαίσιο της διατριβής.

2.1 Διαχείριση Επιχειρηματικής Γνώσης

Ο εικοστός αιώνας σηματοδότησε την αρχή μιας εποχής στην οποία τα παραδοσιακά μέσα της οικονομικής δύναμης (κεφάλαιο, γη, υλικά και εργασία) δεν καθορίζουν πλέον την επιχειρηματική επιτυχία. Αντίθετα, η επιτυχία καθορίζεται από τη δυνατότητα των επιχειρήσεων να χρησιμοποιούν με αποδοτικό τρόπο τη γνώση η οποία μετατρέπεται πλέον σε έναν πολύτιμο πόρο. Αυτό οφείλεται κυρίως στην αστραπαία αλλαγή του σύγχρονου επιχειρηματικού περιβάλλοντος. Από ένα περιβάλλον στο οποίο η αγορά άλλαζε με αργούς ρυθμούς, οι επιχειρηματικοί κανόνες ήταν άκαμπτοι, το μοντέλο διοίκησης βασιζόταν στο δίπτυχο εντολή και έλεγχος και το μέλλον ήταν σχεδόν προβλέψιμο, σε ένα περιβάλλον που το μόνο σίγουρο είναι η αδυναμία πρόβλεψης [92].

Οι περισσότερες σημερινές εταιρείες λειτουργούν βάσει του βιομηχανικού μοντέλου της οικονομίας το οποίο βασίζεται στις κατασκευές και στην ένταση κεφαλαίου. Το μοντέλο αυτό όμως έχει αλλάξει και το μέλλον δείχνει τη μετάβαση από τη μεταβιομηχανική εποχή στην παγκόσμια οικονομία της γνώσης.

Σε αυτή την οικονομία της γνώσης οι περισσότεροι οργανισμοί εξαρτούν την αξία τους και την ανταγωνιστικότητά τους από τη δημιουργία, τη χρήση και τη διανομή ικανοτήτων βασισμένων στη γνώση. Καθώς η γνώση μετατρέπεται σε σημαντικό στρατηγικό πόρο του μέλλοντος, η ανάγκη των οργανισμών για κατανόηση των στρατηγικών, των διεργασιών και των εργαλείων δημιουργίας, μεταφοράς και εφαρμογής αυτού του μοναδικού αγαθού είναι κρίσιμη. Η πρόκληση έγκειται στην αναζήτηση θεμελιωδών διαισθήσεων (insights) οι οποίες θα βοηθήσουν τους οργανισμούς να εκμεταλλευτούν τις τεράστιες δυνατότητες και ευκαιρίες που τους δίνει η γνώση τους ώστε να καινοτομήσουν και να υπερτερήσουν στη νέα οικονομία.

Η καθιέρωση της διαχείρισης γνώσης ως νέο επιστημονικό πεδίο απαιτεί προσπάθεια καθώς θα πρέπει να ανταποκρίνεται στις ποικίλες ανάγκες των εταιρειών σε σύντομο χρόνο. Όμως, παρά την πληθώρα βιβλίων, αναφορών και μελετών, ούτε οι ερευνητές ούτε και οι επαγγελματίες δεν έχουν καταφέρει να συμφωνήσουν σε έναν κοινά αποδεκτό ορισμό της διαχείρισης γνώσης. Ο όρος χρησιμοποιείται ασαφώς ως αναφορά σε μια ευρεία συλλογή οργανωσιακών πρακτικών σχετικών με τη δημιουργία, τη σύλληψη και τη διασπορά γνώσης που αφορά τις επιχειρηματικές δραστηριότητες του οργανισμού [119] [91] [53]. Υπάρχουν αρκετές ερμηνείες τόσο για το τι σημαίνει όσο και για το πώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποδοτικά. Κάποιοι μάλιστα θεωρούν πως ο όρος "διαχείριση γνώσης" εμπεριέχει αντίφαση υπό την έννοια ότι αποτελεί κατάλοιπο της βιομηχανικής εποχής στην οποία κυριαρχούσε το μοντέλο ελέγχου της σκέψης.

Σε κάθε περίπτωση η διαχείριση γνώσης δεν αποτελεί απλά την τελευταία μόδα στο χώρο της διοίκησης αλλά σηματοδοτεί τη δημιουργία ενός πιο οργανικού και ολιστικού τρόπου κατανόησης και εκμετάλλευσης του ρόλου της οργανωσιακής γνώσης στις διοικητικές διαδικασίες.

Το τι ακριβώς συνιστά γνώση στον οργανωσιακό χώρο είναι αντικείμενο διαφωνιών και συζητήσεων. Στην καθημερινή γλώσσα, ο όρος χρησιμοποιείται για να ξεχωρίσει την απλή πληροφορία (δηλαδή δεδομένα οργανωμένα με τρόπο που να έχουν νόημα) από τη γνώση (δηλαδή κάτι που πιστεύεται, που είναι αληθινό και αξιόπιστο). Η αδιάκριτη χρήση των όρων πληροφορία και γνώση προκαλεί συχνά σύγχυση και αποκρύπτει το γεγονός ότι ενώ η πληροφορία είναι εύκολα και γρήγορα μεταφέρσιμη, η γνώση είναι πολύ δύσκολο να μεταφερθεί.

Στις δυτικές κοινωνίες, η διαισθητική γνώση έχει υποτιμηθεί προς όφελος της ορθολογιστικής επιστημονικής γνώσης και η πρόοδος της επιστήμης έχει οδηγήσει ακόμα και στον ισχυρισμό ότι η διαισθητική γνώση δεν είναι καθόλου γνώση. Η αναγνώριση, όμως, των έμφυτων δυσκολιών στη μεταφορά της γνώσης ανάμεσα στα άτομα τόνισε τη σημασία της άρρητης γνώσης. Αντίθετα, η διαίσθηση κατέχει παραδοσιακά εξέχουσα θέση στην ανατολική σκέψη και φιλοσοφία. Οι Κινέζοι, για παράδειγμα, δίνουν έμφαση στη συμπληρωματική φύση της διαίσθησης και του ορθολογισμού παριστάνοντας τα με το αρχέτυπο του γιν και του γιανγκ [55] [54] [53].

Παρόμοιες διαφωνίες σχετικά με το νόημα της γνώσης συνεχίζονται εδώ και χιλιάδες χρόνια και μάλλον θα συνεχίσουν να υφίστανται. Στο χώρο όμως των οργανισμών και της διοίκησης δεν έχει τόσο σημασία ο ορισμός της γνώσης αλλά οι δυνατότητες που προσφέρει αυτή στη βελτίωση της απόδοσης των οργανισμών.

Ένας κατάλληλος για την περίσταση ορισμός είναι αυτός που δίνεται από τους Davenport και Prusak [118] οι οποίοι ορίζουν τη γνώση ως "ένα ρευστό μείγμα σχηματοποιημένης εμπειρίας, αξιών, πληροφορίας και τεχνογνωσία ειδικών το οποίο παρέχει ένα πλαίσιο αποτίμησης και ενσωμάτωσης νέων εμπειριών και πληροφοριών. Προέρχεται από και εφαρμόζεται στα μυαλά των ατόμων και ο τρόπος ενσωμάτωσης της στους οργανισμούς αποτελείται τόσο από έγγραφα και αποθήκες δεδομένων όσο και από διαδικασίες, πρακτικές και νόρμες". Ο ορισμός αυτός αναγνωρίζει πρακτικά δύο τύπους γνώσης: τη ρητή και την άρρητη.

Η άρρητη γνώση είναι η γνώση η οποία εμπεριέχεται στην ατομική εμπειρία όπως η οπτική ενός πράγματος ή η επαγωγική γνώση. Η άρρητη γνώση περιλαμβάνει προαισθήματα, διαισθήσεις και γενικά ικανότητες οι οποίες όντας αυστηρά προσωπικές και δύσκολο να εκφραστούν με δομημένο τρόπο δεν μπορούν εύκολα να μεταφερθούν σε άλλους.

Η ρητή γνώση, από την άλλη, είναι γνώση η οποία έχει εκφραστεί σε επίσημη

γλώσσα και μπορεί εύκολα να μεταδοθεί ανάμεσα στα άτομα. Μπορεί να εκφραστεί με επιστημονικές φόρμουλες, κωδικοποιημένες διαδικασίες ή άλλες μορφές. Αποτελείται από τρία συστατικά:

- Τη γλώσσα που χρησιμοποιείται για την έκφραση και κωδικοποίηση της γνώσης.
- Την πληροφορία που αποτελεί την κωδικοποιημένη γνώση.
- Το φορέα της γνώσης ο οποίος είναι σε θέση να ενσωματώνει, να αποθηκεύει, να διατηρεί και να μεταφέρει την κωδικοποιημένη γνώση στο χώρο και το χρόνο ανεξάρτητα από τους δημιουργούς της.

Τόσο η ρητή όσο και η άρρητη γνώση είναι σημαντικές για έναν οργανισμό και πρέπει να αναγνωρίζεται ότι αμφότερες προσθέτουν αξία στον οργανισμό αυτό. Μέσω της μετατροπής της άρρητης γνώσης σε ρητή ή και το αντίστροφο, απελευθερώνεται η δημιουργικότητα και η καινοτομία και η δυνατότητα δημιουργίας αξίας αυξάνεται. Ο στόχος είναι η ενίσχυση της ρητής και της άρρητης γνώσης και η μείωση του μεγέθους των οργανωσιακών γνωσιακών χασμάτων.

Οι πρακτικές που ακολουθούν οι οργανισμοί για την επίτευξη του παραπάνω στόχου χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία, εταιρείες όπως η Dow Chemical προσπαθούν να δημιουργήσουν καινοτόμα προϊόντα είτε ενσωματώνοντας σε αυτά γνώση είτε αναγνωρίζοντας και επαναχρησιμοποιώντας την υπάρχουσα γνώση. Στη δεύτερη κατηγορία οργανισμοί όπως η Texas Chevron στην προσπάθειά τους να βελτιώσουν τις λειτουργικές και επιχειρηματικές τους διαδικασίες επικεντρώνονται στη μεταφορά καλών πρακτικών. Τέλος, στην τρίτη κατηγορία εταιρείες όπως τράπεζες ή τηλεπικοινωνιακοί οργανισμοί εφαρμόζουν τεχνικές εξόρυξης δεδομένων από αποθήκες δεδομένων με σόχο την απόκτηση γνώσης σχετικά με τις καταναλωτικές συνήθειες των πελατών τους.

Η διαχείριση γνώσης έχει μεταβεί από την πρώιμη φάση της, που χαρακτηρίζοταν από υπερβολή και σύγχυση, σε μια κατάσταση σχετικής ωριμότητας στην οποία η αξία που φέρνει στις επιχειρήσεις και τους οργανισμούς δεν αμφισβητείται. Η εφαρμογή της ακολουθεί διαφορετικές προσεγγίσεις με έμφαση σε ζητήματα τεχνολογίας, κουλτούρας, οργάνωσης και διοίκησης. Τόσο όμως σε ερευνητικό όσο και σε επαγγελματικό επίπεδο φαίνεται να έχουν αναπτυχθεί δύο κύριες προσεγγίσεις στη διαχείριση γνώσης: η προσέγγιση "προϊόντος" και η προσέγγιση "διεργασίας".

Η προσέγγιση "προϊόντος" υπονοεί ότι η γνώση είναι κάτι που μπορεί να εντοπιστεί και να διαχειριστεί ως ανεξάρτητο αντικείμενο. Οι υπερασπιστές αυτής της προσέγγισης ισχυρίζονται ότι είναι δυνατή η σύλληψη, η διανομή, η μέτρηση και

η διαχείριση της γνώσης. Κεντρικό σημείο της προσέγγισης "προϊόντος" είναι τα προϊόντα και τα αντικείμενα (artifacts) που περιέχουν και παριστάνουν γνώση. Αυτό συνήθως μεταφράζεται σε διαχείριση, δημιουργία, αποθήκευση και επαναχρησιμοποίηση εγγράφων σε εταιρικά μέσα αποθήκευσης. Παραδείγματα αποτελούν οι βάσεις μελετών περίπτωσης, οι ταξονομίες γνώσης και οι επίσημες δομές γνώσης.

Η υιοθέτηση της προσέγγισης "προϊόντος" στη διαχείριση γνώσης σημαίνει ότι η γνώση αντιμετωπίζεται ως μια οντότητα τελείως ξεχωριστή από τον άνθρωπο που τη δημιουργεί και τη χρησιμοποιεί. Ο τυπικός στόχος είναι η συλλογή εγγράφων με ρητή γνώση (αναφορές, παρουσιάσεις κ.α.) και η αποθήκευσή τους σε μια αποθήκη δεδομένων από όπου μπορούν εύκολα να ανακτηθούν.

Η προσέγγιση "διεργασίας" δίνει έμφαση στους τρόπους με τους οποίους προωθείται και ενθαρρύνεται η διαδικασία απόκτησης γνώσης ενώ ακυρώνει την ιδέα της συλλογής και διανομής γνώσης. Σε αυτή την προσέγγιση, η γνώση είναι στενά συνδεδεμένη με το άτομο που τη δημιουργησε και μοιράζεται κυρίως μέσω διαπροσωπικών επαφών. Ο κύριος σκοπός της τεχνολογίας σε αυτή την περίπτωση είναι να βοηθήσει τους ανθρώπους να επικοινωνήσουν τη γνώση τους και όχι να την αποθηκεύσουν. Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, η τηλεδιάσκεψη, τα συστήματα διαχείρισης ροών εργασίας, συστήματα υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων κ.α.. Η προσέγγιση "διεργασίας" αναφέρεται και ως προσέγγιση "συνεργασίας" ή "εξατομίκευσης".

Οι εταιρείες που υιοθετούν την προσέγγιση "διεργασίας" για τη διαχείριση της γνώσης τους επικεντρώνονται στη δημιουργία κοινοτήτων ενδιαφέροντος (autoorganovýmenes ομάδες που επικοινωνούν μεταξύ τους γιατί ακολουθούν τις ίδιες εργασιακές πρακτικές, τα ίδια ενδιαφέροντα ή τους ίδιους στόχους) οι οποίες δημιουργούν και μοιράζονται γνώση. Η έμφαση σε αυτή την περίπτωση βρίσκεται στην παροχή πρόσθιασης στη γνώση ή τη διευκόλυνση της μεταφοράς της ανάμεσα στα άτομα. Για παράδειγμα εταιρείες όπως η British Petroleum, η Scandia και η Matsushita προσπαθούν να δημιουργήσουν εταιρικά περιβάλλοντα στα οποία δημιουργούνται κοινότητες γνώσης έτσι ώστε να είναι ευκολότερη η ανταλλαγή ιδεών και η συνεργασία σε όλο τον οργανισμό.

Οι δύο παραπάνω προσεγγίσεις είναι διακριτές υπό την έννοια ότι υπονοούν χάραξη διαφορετικών στρατηγικών, χρήση διαφορετικών εργαλείων λογισμικού κλπ. Το ερώτημα που τίθεται είναι ποιες εταιρείες και πότε θα πρέπει να υιοθετούν τη μία ή την άλλη προσέγγιση. Η απάντηση είναι ότι η επιλογή της συνολικής προσέγγισης δεν θα πρέπει να είναι αυθαίρετη αλλά να βασίζεται στα χαρακτηριστικά της εταιρείας, τους τρόπους με τους οποίους αυτή παρέχει τα προϊόντα και τις υπηρεσίες της, τις οικονομικές της δυνατότητες και την οργανωσιακή κουλτούρα της.

Η προσέγγιση "προϊόντος" είναι πιο πιθανό να ακολουθηθεί από εκείνες τις εταιρείες οι οποίες βασίζουν τη στρατηγική τους σε προτυποιημένα και ώριμα προϊόντα. Οι διαδικασίες ανάπτυξης και πώλησης τέτοιων προϊόντων περιλαμβάνουν καλά θεμελιωμένες πρακτικές και η παραγόμενη γνώση είναι σχετικά άκαμπτη και άρα εύκολα κωδικοποιήσιμη. Σε τέτοιες περιπτώσεις η ανάπτυξη μιας στρατηγικής διαχείρισης γνώσης βασισμένη στην ταυτότητα γνώσης ίσον προϊόν μοιάζει πιο κατάλληλη.

Η προσέγγιση "διεργασίας" είναι πιο πιθανό να ακολουθηθεί από εκείνες τις εταιρείες οι οποίες αναπτύσσουν προϊόντα καινοτόμα ή/και υψηλής προσαρμοστικότητας ή υπηρεσίες που καλύπτουν τις ιδιαίτερες ανάγκες κάθε πελάτη. Επειδή αυτές οι ανάγκες ποικίλουν πάρα πολύ, η κωδικοποιημένη γνώση έχει περιορισμένη αξία. Σε αυτές τις περιπτώσεις η υιοθέτηση της προσέγγισης "διεργασίας" μοιάζει πιο κατάλληλη.

Ο τρόπος αυτός επιλογής της κατάλληλης προσέγγισης στη διαχείριση γνώσης δείχνει να μην μπορεί να υποστηρίξει τις σημερινές εταιρείες οι οποίες λειτουργούν στον γεμάτο προκλήσεις κόσμο του ηλεκτρονικού επιχειρείν. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον υπάρχει ξεκάθαρα η ανάγκη για παροχή προϊόντων και υπηρεσιών με χαρακτηριστικά όπως:

- Ο χρόνος ζωής τους είναι ίσος με τη διάρκεια της ανάγκης του πελάτη.
- Το μεγαλύτερο κόστος είναι αυτό του σχεδιασμού.
- Το κύριο μοντέλο εσόδων είναι η συνδρομή.
- Ο στόχος του μάρκετινγκ είναι το κτίσιμο κοινοτήτων από ικανοποιημένους πελάτες.

Έτσι, η πρόκληση που αντιμετωπίζουν οι σύγχρονες εταιρείες είναι η αποτελεσματική χρήση των άυλων πόρων τους (τεχνογνωσία, σχεδιασμός, μάρκετινγκ), έτσι ώστε να ενσωματώνουν γνώση στις υπηρεσίες και τα προϊόντα τους και να δημιουργούν νέα αξία σχεδιάζοντας και αναπτύσσοντας νέα προϊόντα. Για να επιτευχθεί αυτό είναι αναγκαία η ενοποίηση της προσέγγισης "προϊόντος", η οποία θα επιτρέψει τη συνεπή διαχείριση της ρητής γνώσης, με την προσέγγιση "διεργασίας" η οποία θα ενισχύσει την άρρητη γνώση.

2.1.1 Γνωσιακά Αγαθά

Κεντρική έννοια στη διαχείριση γνώσης είναι το γνωσιακό αγαθό (knowledge asset) [43] [30]. Ένα γνωσιακό αγαθό αναπαριστά το διανοητικό κεφάλαιο ενός οργανισμού και αποτελεί σημαντικό επιχειρησιακό και στρατηγικό πόρο. Σε σχέση με τους

άλλους πόρους μιας επιχείρησης, τα γνωσιακά αγαθά διαθέτουν τα εξής ιδιαίτερα χαρακτηριστικά:

- Δεν είναι εύκολα διαχωρίσιμα. Αυτό σημαίνει ότι η ίδια πληροφορία και γνώση μπορεί να χρησιμοποιηθεί από διαφορετικές οικονομικές οντότητες ταυτόχρονα. Επιπλέον, τα γνωσιακά αγαθά δεν είναι εγγενώς σπάνια (παρόλο που εξαρτώνται από το χρόνο). Αυτό υπονοεί ότι δεν είναι εξαντλήσιμα.
- Μπορούν επί της ουσίας να αναδημιουργηθούν. Αυτό σημαίνει ότι καινούρια σχετική γνώση μπορεί να προκύψει από μια επιχειρηματική διαδικασία έντασης γνώσης ως πρόσθετο αποτέλεσμα εκτός από τα προϊόντα και τις υπηρεσίες.
- Στη διάρκεια της χρήσης τους αυξάνουν παρά μειώνουν την αποδοτικότητα τους. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι αποφασιστικής σημασίας για τη διοίκηση σε υψηλό επίπεδο. Οι περισσότεροι πόροι υπόκεινται σε ελαττούμενες αποδόσεις αλλά όχι και η γνώση. Το μεγαλύτερο μέρος του πάγιου κόστους στα γνωσιακά προϊόντα εντοπίζεται κυρίως στο στάδιο δημιουργίας τους παρά σε αυτό της κατασκευής ή διανομής τους. Από τη στιγμή της δημιουργίας γνώσης, το αρχικό κόστος ανάπτυξης διαμοιράζεται και αποσβένεται όσο η γνώση χρησιμοποιείται. Καθώς τα γνωσιακά αγαθά χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο, οι χρήστες αυτών μπορούν ταυτόχρονα να ωφελούνται από τη γνώση και να αυξάνουν την αξία της προσθέτοντας, προσαρμόζοντας και εμπλουτίζοντας τη βάση γνώσης. Στις παραδοσιακές βιομηχανικές οικονομίες, τα αγαθά χάνουν αξία όσο οι χρήστες τους αυξάνονται. Αντίθετα, τα γνωσιακά αγαθά μπορούν να αυξήσουν την αξία τους καθώς διαδίδεται η χρήση τους.
- Καθώς αναπτύσσονται τείνουν να διακλαδίζονται και να τεμαχίζονται. 'Οπως αναφέρει ο Drucker [92] , η γνώση συνεχώς καθίσταται από μόνη της απαρχαιωμένη με αποτέλεσμα η γνώση του σήμερα να είναι η άγνοια του αύριο. Ενώ τα γνωσιακά αγαθά που προτυποποιούνται γίνονται συνεχώς πιο πολύτιμα, άλλα τέτοια αγαθά όπως πατέντες ή πρώην εμπορικά μυστικά χάνουν σε αξία όσο πιο ευρέως χρησιμοποιούνται. Μια επιτυχημένη εταιρεία πρέπει επομένως συνεχώς να ανανεώνει τη βάση γνώσης της. Η άμεση και αποτελεσματική αναδημιουργία της γνώσης μπορεί να αποτελέσει σημαντική πηγή ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος.

Η διαχείριση γνώσης περιλαμβάνει την αναγνώριση και τη χαρτογράφηση των γνωσιακών αγαθών μέσα σε έναν οργανισμό καθώς και τη δημιουργία νέων γνωσιακών αγαθών για απόκτηση ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος. Με αυτόν τον τρόπο

τα γνωσιακά αγαθά γίνονται περισσότερο προσδέσιμα και διαμοιράζονται σε όλο τον οργανισμό.

Στην προηγούμενη παράγραφο, περιγράφησαν δύο κύριες προσεγγίσεις στη διαχείριση γνώσης: η προσέγγιση "προϊόντος" και η προσέγγιση "διεργασίας". Τονίστηκε επίσης η σημασία της ενοποίησης των δύο αυτών προσεγγίσεων για την καλύτερη εκμετάλλευση της γνώσης. Η ενοποιημένη προσέγγιση που επιδιώκεται θα πρέπει να χειρίζεται τόσο το απόθεμα της γνώσης όσο και τη ροή αυτής μέσα σε στον οργανισμό. Βασικό ρόλο σε αυτή την προσπάθεια παίζουν τα γνωσιακά αγαθά. Έτσι, στην ενοποιημένη αυτή προσέγγιση τα γνωσιακά αγαθά μπορεί να είναι ανθρώπινα (π.χ. κάποιο άτομο ή δίκτυο ανθρώπων), δομικά (π.χ. μια επιχειρηματική διεργασία) ή αγοραία (π.χ. η μάρκα ενός προϊόντος).

Τα ανθρώπινα γνωσιακά αγαθά είναι οι δυνατότητες των μεμονωμένων ατόμων που απαιτούνται για την παροχή λύσεων στους πελάτες της εταιρείας. Οι άνθρωποι είναι οι "ιδιοκτήτες" αυτών των αγαθών και τα "νοικιάζουν" στην εταιρεία τους. Τα ανθρώπινα αγαθά αναπτύσσονται όταν το περιβάλλον εργασίας υποστηρίζει τη δημιουργία και το διαμοιρασμό της γνώσης καθώς περισσότεροι άνθρωποι γνωρίζουν σε βάθος τι είδους γνώση είναι πραγματικά χρήσιμη σε έναν οργανισμό και ο οργανισμός χρησιμοποιεί περισσότερη γνώση από αυτή που οι άνθρωποι του έχουν. Καθώς τα ανθρώπινα αγαθά αναπτύσσονται, τα αποτελέσματα είναι μια υψηλότερη συγκέντρωση ικανοτήτων σε σχέση με το τι είναι σημαντικό για την εταιρεία. Επιπλέον αυξάνεται ο αριθμός των ανθρώπων που δουλεύουν σε κρίσιμους για την επιχείρηση τομείς.

Τα δομικά γνωσιακά αγαθά είναι οι οργανωσιακές δυνατότητες μιας εταιρείας με τις οποίες καλύπτει τις ανάγκες της αγοράς. Αποτελούνται από αυτό που μένει αφού οι άνθρωποι τελειώσουν την εργασία τους και παρέχουν τη δομή και τη συνέχεια που χρειάζονται οι άνθρωποι για να λειτουργούν αποδοτικά στο επιχειρηματικό περιβάλλον. Το κτίσιμο δομικών γνωσιακών αγαθών απαιτεί ηγεσία με προσανατολισμό στη γνώση, δηλαδή πολιτικές και στρατηγικές που στοχεύουν στην ενίσχυση της γνώσης, χτίζουν τις απαραίτητες δομές για τη δημιουργία και τη ροή της γνώσης και παρέχουν τεχνολογική υποστήριξη με τη μορφή ειδικευμένων λογισμικών συστημάτων.

Τα αγοραία γνωσιακά αγαθά αναφέρονται στη γνώση σχετικά με την αγορά, τους πελάτες της εταιρείας, τους συνεργάτες της, τους ανταγωνιστές της κλπ., δηλαδή στη γνώση για την αξία που δημιουργείται από τις σχέσεις της εταιρείας με τους ανθρώπους και τους οργανισμούς που συναλλάσσονται. Τα αγοραία γνωσιακά αγαθά εκτιμούν και αποτιμούν τα προϊόντα και τις υπηρεσίες της εταιρείας. Είναι το τελικό αποτέλεσμα των επενδύσεων σε ανθρώπινα και δομικά γνωσιακά αγαθά. Για να

δημιουργήσει ένας οργανισμός αγοραία αγαθά θα πρέπει να παραδίδει προσαρμοσμένες λύσεις πιο γρήγορα και να εμπλέκει τους συνεργάτες του σε όλες τις φάσεις της ανάπτυξης των προϊόντων. Καθώς τα αγοραία αγαθά αναπτύσσονται τα αποτελέσματα θα περιλαμβάνουν υψηλότερα επίπεδα εμπιστοσύνης στην εφοδιαστική αλυσίδα της εταιρείας και στην καθαρή αξία των πελατών.

Φυσικά, η προσέγγιση "προϊόντος" ασχολείται περισσότερο με την προσθασιμότητα και την οργάνωση των γνωσιακών αγαθών, ενώ η προσέγγιση "διεργασίας" ορίζει απευθείας συνδέσεις μεταξύ των οργανωσιακών γνωσιακών αγαθών, τόσο ρητών όσο και άρρητων. Και οι δύο προσεγγίσεις, όμως, χρησιμοποιούν κάποια μορφή αναπαράστασης γνώσης ως μέσο συσκευασίας και μεταφοράς γνώσης είτε από κάποιο άτομο σε κάποιο σύστημα και αντίστροφα είτε μεταξύ ανθρώπων.

Αν τα μέσα αναπαράστασης γνώσης οριστούν ως "γνωσιακά αντικείμενα" τότε για τη σχέση μεταξύ γνωσιακών αγαθών και αντικειμένων μπορεί να ειπωθεί ότι ένα γνωσιακό αγαθό δημιουργεί, αποθηκεύει και διασπείρει γνωσιακά αντικείμενα.

Για παράδειγμα:

- Ένα άτομο είναι ένα γνωσιακό αγαθό το οποίο μπορεί να δημιουργήσει νέες ιδέες, προτάσεις και γνώσεις.
- Μια κοινότητα κοινού ενδιαφέροντος είναι ένα γνωσιακό αγαθό το οποίο μπορεί να δημιουργήσει νέες ιδέες και καλές πρακτικές.
- Μια διεργασία είναι ένα γνωσιακό αγαθό το οποίο μπορεί να δημιουργεί ή και να αποθηκεύει και να διασπείρει καλές πρακτικές, εταιρικά πρότυπα και ερευνητικό υλικό.
- Ένα όραμα είναι ένα γνωσιακό αγαθό το οποίο μπορεί να δημιουργήσει νέες δηλώσεις αποστολής, στρατηγικά πλάνα και στόχους.

Ένα γνωσιακό αντικείμενο αναπαριστά την απαιτούμενη πληροφορία που επεξεργαζόμενη από ανθρώπους θα μετατραπεί σε γνώση. Η γνώση προκύπτει από την πληροφορία μέσω διαδικασιών δημιουργίας γνώσης οι οποίες λαμβάνουν χώρα ανάμεσα στους ανθρώπους. Τυπικές τέτοιες δραστηριότητες είναι οι ακόλουθες:

- **Σύγκριση:** Ποια είναι η σχέση μεταξύ της πληροφορίας για μια κατάσταση με την πληροφορία για μια άλλη κατάσταση.
- **Συνέπειες:** Τι επιπτώσεις έχει η πληροφορία στη λήψη μιας απόφασης ή σε μια συγκεκριμένη δράση.
- **Σύνδεσμοι:** Πώς ένα κομμάτι γνώσης συνδέεται με ένα άλλο.

- **Συνομιλία:** Τι γνώμη έχουν άλλοι άνθρωποι για μια συγκεκριμένη πληροφορία.

Τα γνωσιακά αντικείμενα στοχεύουν στη διευκόλυνση και την ενίσχυση τέτοιων διαδικασιών δημιουργίας γνώσης παρέχοντας στους ανθρώπους την απαραίτητη πληροφορία. Ένα γνωσιακό αντικείμενο έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά :

- Δρα καταλυτικά καθιστώντας δυνατή τη συνένωση των ροών γνώσης μεταξύ των ατόμων με την ανακάλυψη και ανάκτηση γνωσιακού περιεχομένου μέσω της τεχνολογίας. Αυτό σημαίνει ότι ένα γνωσιακό αντικείμενο δρα, μεταξύ άλλων, ως κύριος συνδετικός κρίκος μεταξύ όλων των σημαντικών συστατικών σε ένα σύστημα διαχείρισης γνώσης (στρατηγική, άνθρωποι, διεργασίες, περιεχόμενο, τεχνολογία).
- Διευκολύνει τη μεταφορά γνώσης από άτομο σε άτομο ή από πληροφορία σε άτομο.
- Δημιουργείται και συντηρείται από μια διεργασία διαχείρισης γνώσης.
- Χρησιμοποιείται για την αναζήτηση, την οργάνωση και τη διασπορά του γνωσιακού περιεχομένου.

2.1.2 Τεχνολογίες Διαχείρισης Γνώσης

Όπως φάνηκε από τις προηγούμενες παραγγράφους, η διαχείριση γνώσης αποτελεί ένα δι-επιστημονικό πεδίο με μεγάλο εύρος εφαρμογών και προσεγγίσεων. Για το λόγο αυτό κατά την εξέλιξη της χρησιμοποιήθηκε μία πλειάδα εργαλείων και συστημάτων τα οποία είτε δημιουργήθηκαν είτε προσαρμόστηκαν για να καλύψουν ανάγκες και ευκαιρίες επιμέρους πεδίων της διαχείρισης γνώσης. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι πιο σημαντικές ομάδες εργαλείων που έχουν χρησιμοποιηθεί για τη διαχείριση γνώσης εντός οργανισμών. Σε αυτές δεν συμπεριλαμβάνονται τα εταιρικά δίκτυα (intranets / extranets) καθώς τα τελευταία αποτελούν απλά ένα μέσο που διευκολύνει τη διαχείριση και τη διάχυση της γνώσης ή, αλλιώς, ένα interface κάτω από την ομπρέλα του οποίου τοποθετούνται και δρουν οι τεχνολογίες που θα περιγράφούν παρακάτω.

Εταιρικοί Ηλεκτρονικοί Κατάλογοι και Κοινωνικά Δίκτυα

"Μακάρι να ξέραμε τι ξέρουμε". Η ευχή αυτή στα στόματα πολλών υψηλόβαθμων στελεχών σημαντικών οργανισμών εκφράζει με καταπληκτική ακρίβεια τη βασική

υπηρεσία που αυτοί περιμένουν από τις τεχνολογίες διαχείρισης γνώσης. Να μπορούν να γνωρίζουν δηλαδή ανά πάσα στιγμή το είδος και την ποιότητα της συλλογικής γνώσης που η εταιρεία τους διαθέτει.

Μία από τις πρώτες προσεγγίσεις πάνω σε αυτό το ζήτημα ήταν οι Εταιρικοί Ηλεκτρονικοί Κατάλογοι (Corporate Yellow Pages). Ο όρος, που παραπέμπει σαφώς σε καταλόγους του τύπου Χρυσός Οδηγός, αναφέρεται σε έναν κατάλογο ο οποίος καταχωρεί σε μια ιεραρχική δομή πληροφορίες για το ανθρώπινο δυναμικό ενός οργανισμού αναφορικά με τις γνώσεις και τις ικανότητες του τελευταίου. Κάθε εργαζόμενος καλείται να καταχωρήσει το προφίλ του μέσω συνήθως κάποιας τυποποιημένης φόρμας ενώ η πρόσθαση στον κατάλογο γίνεται μέσω μιας απλής μηχανής αναζήτησης.

Στην πράξη, οι εταιρικοί ηλεκτρονικοί κατάλογοι υλοποιήθηκαν αλλού με επιτυχία (BP, Schlumberger) και αλλού με λιγότερη. Σε κάθε περίπτωση όμως η όλη προσέγγιση αποδείχθηκε ακριβότερη απ' όσο αναμενόταν καθώς χρειάστηκε να επιστρατευθούν ανταποδοτικά και μη κίνητρα προκειμένου να λυθούν δύο βασικά προβλήματα ποιότητας.

Το πρώτο πρόβλημα αφορούσε τη δομή του καταλόγου η οποία έπρεπε να είναι αρκετά απλή για να μπορούν οι χρήστες να καταχωρούν σχετικά εύκολα στοιχεία αλλά ταυτόχρονα και αρκετά λεπτομερής ώστε ο εντοπισμός των ειδικών να είναι όσο το δυνατόν πιο ακριβής. Το δεύτερο πρόβλημα αφορούσε την σε τακτά διαστήματα ανανέωση του περιεχομένου του καταλόγου προκειμένου η ανακτώμενη πληροφορία να είναι πάντα επίκαιρη.

Η ανάγκη αντιμετώπισης των δύο αυτών προβλημάτων με ταυτόχρονη διατήρηση του κόστους σε χαμηλά επίπεδα οδήγησε σε δύο παράλληλες προσεγγίσεις: Την χρήση εργαλείων επαγγελματικής κοινωνικής δικτύωσης (Business-oriented social networking) καθώς και τη χρήση εργαλείων σημασιολογικής ανάλυσης κειμένου.

Τα επαγγελματικά κοινωνικά δίκτυα, όπως το LinkedIn, το Xing ή το Ryze, έχουν το χαρακτηριστικό ότι δίνουν έμφαση περισσότερο στους συνδέσμους μεταξύ των μελών τους παρά στα μέλη αυτά καθ' αυτά. Αυτό τα κάνει πιο ελκυστικά στους χρήστες οι οποίοι είναι πλέον θετικά διακείμενοι στο να καταχωρούν το προφίλ τους και βάσει αυτού να συνδέονται με επαγγελματίες παρομοίων ικανοτήτων και ενδιαφερόντων. Η χρήση επομένως ενός τέτοιου δικτύου από έναν οργανισμό (είτε ως είναι είτε ειδικά διαμορφωμένου για αυτήν) ως εταιρικού ηλεκτρονικού καταλόγου μπορεί να του μειώσει σημαντικά το συνεπαγόμενο κόστος συντήρησης αυτού.

Από την άλλη πλευρά, η σημασιολογική ανάλυση κειμένου αποτελεί μια προσπάθεια αυτόματης κατασκευής ενός εταιρικού καταλόγου με προφανή στόχο την ελαχιστοποίηση της συμμετοχής των εργαζομένων στη συντήρηση αυτού. Τα προς

ανάλυση κείμενα είναι συνήθως ενδοεταιρικά e-mails ή οποιαδήποτε άλλα έγγραφα παράγει ένας εργαζόμενος ενώ στόχος της ανάλυσης είναι η εξαγωγή των ικανοτήτων και των γνώσεων του εργαζομένου.

Η προσέγγιση αυτή παρουσιάζει κάποιες βασικές αδυναμίες. Πρώτον, ο απαιτούμενος όγκος κειμένου είναι μεγάλος και σε μια εταιρεία δε γράφουν απαραίτητα όλοι οι εργαζόμενοι με τον ίδιο ρυθμό. Κάποιοι μάλιστα δε γράφουν και καθόλου. Δεύτερον, τίθενται σημαντικά νομικά ζητήματα αναφορικά με τον ιδιωτικότητα ορισμένων κειμένων όπως είναι τα e-mails. Τρίτον, και αρκετά σημαντικό, η ποιότητα της σημασιολογικής ανάλυσης εξαρτάται από την ύπαρξη καλά δομημένων οντολογικών μοντέλων που να καλύπτουν τις διαφορετικές περιοχές εξειδίκευσης όλων των εργαζομένων. Η δημιουργία και η συντήρηση τέτοιων μοντέλων είναι γενικά μια αρκετά απαιτητική και δύσκολη διαδικασία.

Βάσει όλων των παραπάνω, μπορεί κανείς να πει ότι η υλοποίηση ενός Εταιρικού Ηλεκτρονικού Καταλόγου σε μια εταιρεία εξαρτάται σημαντικά από τη νοοτροπία και τον τρόπο λειτουργίας της τελευταίας. Αναλόγως λοιπόν μπορεί να υιοθετηθεί οποιαδήποτε από τις παραπάνω προσεγγίσεις ή και συνδυασμός αυτών.

Συστήματα Διαχείρισης Εγγράφων και Περιεχομένου

Μια από τις σημαντικότερες πηγές γνώσης σε έναν οργανισμό, πέραν του ανθρωπίνου δυναμικού του, είναι ο όγκος του περιεχομένου που παράγει. Ως εκ τούτου η αποτελεσματική διαχείριση αυτού είναι σημαντικός παράγοντας αποτελεσματικής διαχείρισης της συνολικής οργανωσιακής γνώσης.

Ένα σύστημα διαχείρισης περιεχομένου (Content Management System - CMS) είναι ένα λογισμικό που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία, επεξεργασία, διαχείριση και δημοσίευση περιεχομένου με συνεπή και οργανωμένο τρόπο εντός του οργανισμού. Ειδική κατηγορία των CMSs αποτελούν τα συστήματα διαχείρισης εγγράφων (Document Management Systems - DMS). Ένα DMS περιλαμβάνει όλες τις βασικές λειτουργίες για τη διαχείριση των εγγράφων που χρησιμοποιούνται κατά τις διαδικασίες διεκπεραίωσης των διαδικασιών καθημερινής λειτουργίας του οργανισμού.

Με τον όρο "έγγραφα" μπορεί να εννοούμε ηλεκτρονικά αρχεία ή δεδομένα εφαρμογών (π.χ. στοιχεία ηλεκτρονικού πρωτοκόλλου, πληροφορίες επαφών, στοιχεία διαχείρισης έργων, αιτήσεις κτλ.). Η πληροφορία που αποθηκεύεται από την εφαρμογή αντιμετωπίζεται ως ένα ενιαίο έγγραφο, το οποίο χαρακτηρίζεται από πεδία (ή ιδιότητες - properties) που αφορούν σε στοιχεία τους (π.χ. τίτλος, τύπος, λέξεις-κλειδί, κλπ.) και ενδεχομένως επιπλέον περιεχόμενο (content) αυτών (π.χ. το ηλεκτρονικό αρχείο κειμένου ή εικόνα από scanner που αντιπροσωπεύει το έγγραφο).

Το λογισμικό διαχείρισης εγγράφων δίνει την δυνατότητα στον διαχειριστή, ορισμού για κάθε χρήστη ή ομάδα χρηστών, περιοχών εργασίας στις οποίες θα έχουν οι διάφοροι χρήστες πρόσβαση και τα δικαιώματά τους σε αυτές. Το λογισμικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση και διαχείριση των σχετικών εγγράφων εξασφαλίζοντας:

- Πλήρως ελεγχόμενη πρόσβαση στα έγγραφα
- Έλεγχο εκδόσεων (versioning)
- Καταγραφή όλων σχετικών με τα έγγραφα ενεργειών των χρηστών (event logging).

Ένα τέτοιο σύστημα δίνει επίσης τη δυνατότητα εισαγωγής μεταδεδομένων στα έγγραφα, τα οποία χρησιμοποιούνται για προσωποποίηση και αναζήτηση. Όλα τα έγγραφα είναι διαθέσιμα προς αναζήτηση με συνδυασμό λογικών κριτηρίων. Η αναζήτηση μπορεί να αφορά είτε στις τιμές των πεδίων των εγγράφων είτε στο περιεχόμενο αυτών (π.χ. αρχείο Word ή PDF).

Τέλος, το σύστημα παρέχει μηχανισμούς και εργαλεία για να διευκολύνει τη συνεισφορά εγγράφων από χρήστες που δεν έχουν ειδικές γνώσεις σε θέματα τεχνολογίας, μέσα από μια απλή διεπαφή χρήστη, με εύκολο, γρήγορο και ελεγχόμενο τρόπο και μηχανισμούς αποθήκευσης και διαχείρισης εγγράφων (όπως χαρακτηριστικά check-in/check-out, έλεγχο εκδόσεων κλπ.), ενώ αποθηκεύει αυτόμata την προηγούμενη έκδοση όταν δημοσιοποιηθεί μια καινούργια έκδοση.

Κοινότητες Πρακτικής

Οι Κοινότητες Πρακτικής (ΚΠ) είναι ευέλικτες ομάδες επαγγελματιών, οι οποίες ενώνονται ανεπίσημα βάσει κοινών ενδιαφερόντων, αλληλεπιδρούν με αλληλοεξαρτώμενες εργασίες και οδηγούνται από ένα κοινό σκοπό. Οι άνθρωποι που συμμετέχουν στις κοινότητες πρακτικής ενσωματώνουν ένα σύνολο κοινής γνώσης γύρω από το αντικείμενο της κοινότητας και αναπτύσσουν παρόμοιες ταυτότητες, καθώς χρησιμοποιούν στο χώρο εργασίας τους παρόμοιες πρακτικές και παρόμοιες πηγές, πιθανόν έχουν ένα κοινό παρελθόν ή εμπειρίες και μοιράζονται την ίδια γλώσσα. Αυτές οι κοινές αναφορές είναι που επιτρέπουν στους ανθρώπους να δημιουργούν κοινωνικά δίκτυα υπό μορφή κοινοτήτων με τα οποία η γνώση για την πρακτική της κοινότητας μπορεί να διαμοιράζεται και να αφομοιώνεται εύκολα.

Η απόκτηση της γνώσης στις ΚΠ γίνεται με τη μαθητεία. Οι νέοι έρχονται στην ομάδα και έχουν πρόσβαση στα υπάρχοντα μέλη και μαθαίνουν καθώς τους βλέπουν να δουλεύουν. Η λέξη "κοινότητα" σηματοδοτεί την προσωπική βάση πάνω

στην οποία διαμορφώνονται οι σχέσεις ενώ υπονοεί ότι οι κοινότητες πρακτικής δεν περιορίζονται από τα τυπικά γεωγραφικά, επιχειρησιακά ή λειτουργικά όρια αλλά από τις κοινές εργασίες, πλαίσια και εργασιακά ενδιαφέροντα.

Ο όρος "πρακτική" υπονοεί τη "γνώση μέσα στη δράση". Η έννοια της "πρακτικής" όπως χρησιμοποιείται εδώ είναι η αναπαράσταση του πώς ενεργούν τα άτομα στη δουλειά τους καθημερινά, σε αντίθεση με πιο επίσημες πολιτικές και διαδικασίες που αντικατοπτρίζουν το πώς πρέπει να γίνεται η δουλειά. Επίσης, ο όρος "πρακτική" αναφέρεται στη δυναμική διαδικασία μέσω της οποίας τα άτομα μαθαίνουν πώς να κάνουν τη δουλειά τους διεκπεραιώνοντας εργασίες και αλληλεπιδρώντας με άλλους που διεκπεραιώνουν παρόμοιες εργασίες.

Τα κεντρικά χαρακτηριστικά των ΚΠ είναι η επικοινωνία, η μάθηση, η συμμετοχή, η κοινότητα και μετά η εξέλιξη, ο κοινός σκοπός, η κοινή γλώσσα, το κοινό υπόβαθρο/εμπειρία, ο δυναμισμός, η δημιουργία νέας γνώσης, και η αλληλεπίδραση (όχι μόνο η κοινωνική). Από μια έρευνα που διενεργήθηκε διαπιστώθηκε ότι τα μέλη μιας Κοινότητας: α) είναι σε συχνή επαφή με συναδέλφους κάνοντας παρόμοιες δουλειές σε άλλους χώρους, β) μιλούσαν με συναδέλφους σε άλλους χώρους όταν είχαν να λύσουν ένα πρόβλημα, γ) κάνουν εργασίες σε συνεργασία με συναδέλφους σε άλλα μέρη, δ) ανταλλάσσουν ανέκδοτα/εμπειρίες με συναδέλφους σε άλλα μέρη και ε) μαθαίνουν μέσα από συζητήσεις με συναδέλφους σε άλλους χώρους.

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τις κοινότητες πρακτικής έρχονται να εξυπηρετήσουν τους παραπάνω στόχους και χαρακτηριστικά των κοινοτήτων. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι κοινότητες αυτές μπορούν να δουλέψουν μερικώς και χωρίς την τεχνολογία ενώ στις πιο αποδοτικές εκφράσεις τους τα τεχνολογικά εργαλεία συνδυάζονται με την ανθρώπινη επαφή.

Εργαλεία Ενδυνάμωσης Συνεργασίας

Η υποστήριξη της συνεργασίας των εργαζόμενων γνώσης (knowledge workers) είναι κυρίως ο χώρος των συνεργατικών (groupware) προϊόντων που παρέχουν μία βασική υποδομή επικοινωνίας καθώς και αριθμό επιπρόσθετων δυνατοτήτων ανταλλαγής πληροφοριών σε ανεπίσημο επίπεδο. Λειτουργώντας σε περισσότερο επίσημο επίπεδο, τεχνολογίες διαχείρισης εγγράφων και ροών εργασίας (document και workflow management) επιτρέπουν καλύτερο έλεγχο σε λειτουργίες που απαιτούν τη συνεργασία ανθρώπων με ένα συγχρονισμένο τρόπο γύρω από ένα σύνολο εγγράφων.

Η διαχείριση ροής εργασίας αφορά την αυτοματοποίηση ροών εργασίας, έτσι ώστε τα έγγραφα, οι πληροφορίες και οι εργασίες να μεταβιβάζονται από ένα συμμετέχοντα στον επόμενο κατά την εξέλιξη μία επιχειρηματικής διεργασίας ενός οργανισμού. Έτσι, ένα σύστημα ροής εργασίας είναι ένα εργαλείο αυτοματοποίησης επιχειρησια-

κάν διεργασιών το οποίο θέτει τους μηχανισμούς ελέγχου συστήματος στα χέρια των τμημάτων χρηστών, για αυτοματισμό των εργασιών επεξεργασίας πληροφοριών.

Τα οφέλη των συστημάτων διαχείρισης ροής εργασίας περιλαμβάνουν:

- Βελτιωμένο έλεγχο επιχειρησιακών διεργασιών.
- Βελτιωμένη ποιότητα υπηρεσιών.
- Μικρότερο κόστος εκπαίδευσης προσωπικού.
- Μικρότερο κόστος διαχείρισης, το οποίο επιτρέπει σε διευθυντές να επικεντρώνουν την προσοχή τους στην καθοδήγηση υπαλλήλων και στη διαχείριση ειδικών περιπτώσεων, αντί να ασχολούνται με θέματα αναφορών και διανομής.
- Βελτιωμένη ικανοποίηση χρηστών.

Συστήματα ροών εργασίας χρησιμοποιούνται ευρέως σε ασφαλιστικές εταιρείες για να υποστηρίζουν τη λειτουργία εκτίμησης ζημιών. Επίσης, στη φαρμακευτική βιομηχανία, η διαδικασία έγκρισης νέων φαρμάκων έχει μηχανογραφηθεί με συστήματα διαχείρισης εγγράφων, λόγω του μεγάλου αριθμού εγγράφων και θεωρήσεων αυτών που απαιτούνται. Τέλος, στο άκρο της αγοράς και σε εφαρμογές κρίσιμου χαρακτήρα, τεχνολογίες ροών εργασίας και διαχείρισης εγγράφων χρησιμοποιούνται για το συντονισμό εργαζόμενων γνώσης.

Από την άλλη πλευρά, στο άλλο άκρο της αγοράς, συνεργατικά εργαλεία χρησιμοποιούνται για περισσότερο ad hoc μορφές ανταλλαγές πληροφοριών. Γενικά, τα εργαλεία αυτά υποστηρίζουν συνεργασία επάνω σε δίκτυα και ανάμεσα σε ομάδες ατόμων, τα οποία μοιράζονται μία κοινή εργασία ή στόχο.

Πιο συγκεκριμένα, οι λειτουργίες ενός περιβάλλοντος συνεργασίας περιλαμβάνουν:

- Σύγχρονη επικοινωνία (synchronous communication): Η δυνατότητα ανταλλαγής σε πραγματικό χρόνο μηνυμάτων επιτρέπει στους χρήστες να πραγματοποιούν συζητήσεις πάνω από το δίκτυο. Παρελκόμενες υπηρεσίες περιλαμβάνουν την δυνατότητα προσδιορισμού της ταυτότητας συναδέλφων που είναι επίσης συνδεδεμένοι στο δίκτυο. Η σύγχρονη τάση σε τέτοια συστήματα είναι η ολοκλήρωση των υπηρεσιών επικοινωνίας με ήχο και εικόνα που παρέχεται σε δίκτυο, ως ένας εναλλακτικός τρόπος ζωντανής διασύνδεσης χρηστών.
- Εικονικά περιβάλλοντα (virtual/network spaces): Εργαλεία όπως το NetMeeting της Microsoft και το Sametime της Lotus επιτρέπουν στους χρήστες όχι

μόνο ζωντανή επικοινωνία αλλά και ζωντανή συνεργασία γύρω από ένα κοινό κείμενο, μία εφαρμογή ή χρησιμοποιώντας τον ηλεκτρονικό πίνακα που παρέχεται. Σημαντικά θέματα εδώ είναι η ασφάλεια των πληροφοριών που ανταλλάσσονται και οι δυνατότητες διαχείρισης (π.χ. αναθεωρήσεις κειμένων, κλείδωμα αρχείων).

- Υπηρεσίες ασύγχρονης επικοινωνίας (asynchronous communication): Τέτοιες υπηρεσίες παρέχονται από εργαλεία όπως το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο μέχρι εργαλεία συζητήσεων και εφαρμογές συνεργασίας πάνω σε κάποιο θέμα ή έργο (π.χ. Lotus Team Room).
- Δυνατότητες σχηματισμού κοινοτήτων κοινών ενδιαφερόντων (communities of interest) και διασύνδεση χρηστών με γνωστικά αντικείμενα μέσα στον οργανισμό: Τελευταίες εξελίξεις στο τομέα των υπηρεσιών καταλόγου (directory services), και η ανάπτυξη και αποδοχή του πρωτοκόλλου LDAP βοηθούν σημαντικά στην αυτοματοποίηση της ανεύρεσης γνωστικών πηγών (συμπεριλαμβανομένων ατόμων) με αποτέλεσμα την αποτελεσματική οργάνωση των γνωστικών πηγών και ειδικοτήτων ατόμων σε έναν οργανισμό.

Πρόσβαση στην Πληροφορία (Information Access)

Η Διαχείριση της Πρόσβασης στην Πληροφορία (Information Access Management - IAM) αποτελεί ένα εκτεταμένο πεδίο εφαρμογών και λύσεων οι οποίες εξειδικεύονται και προσαρμόζονται κατά την εφαρμογή τους σε συγκεκριμένες εταιρείες και οργανισμούς. Επιπλέον, είναι ένα πεδίο που βασίζεται σημαντικά στην τεχνολογία και ιδιαίτερα σε ευφυείς και καινοτόμες μεθοδολογίες.

Η στοχευμένη πρόσβαση στην πληροφορία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη βιομηχανοποίηση της τελευταίας καθώς η δυνατότητα μιας εταιρείας να έχει τη σωστή πληροφορία, στο σωστό πλαίσιο χρήσης και στο σωστό χρόνο αποτελεί βασικό παράγοντα επιτυχούς λειτουργίας της. Εν γένει, η επεξεργασία της πληροφορίας υποστηρίζεται από τη γνώση. Γνώση που συλλέγεται από πηγές εντός και εκτός της εταιρείας, που δομείται και που συνεισφέρει στον εντοπισμό, την ανάκτηση και τη χρήση εκείνης της πληροφορίας που απαιτείται για τη βέλτιστη λήψη αποφάσεων ή ανάληψη δράσεων.

Οι τεχνολογίες πρόσβασης στην πληροφορία περιλαμβάνουν δυνατότητες και χαρακτηριστικά που ξεπερνάνε κατά πολύ την έννοια της απλής αναζήτησης. Αναφέρονται, μεταξύ άλλων, δυνατότητες όπως ταξινόμηση, κατηγοριοποίηση και συσταδοποίηση περιεχομένου, εξαγωγή σημασιολογικών εννοιών και σχέσεων από περιεχόμενο, οπτικοποίηση πληροφορίας και προσωποποιημένη αναζήτηση. Εν γένει, οι

τεχνολογίες πρόσθασης στην πληροφορία συλλέγουν και δομούν την πληροφορία με τέτοιο τρόπο ώστε οι χρήστες να μπορούν να την αναζητούν με ενεργό τρόπο, να την αναλύουν και να τη χρησιμοποιούν.

Μια από τις πρώτες και πιο ώριμες τεχνολογίες πρόσθασης είναι αυτή των μηχανών αναζήτησης η οποία εφαρμόζεται συνήθως σε αποθετήρια εγγράφων των οποίων τα δεδομένα είναι αδόμητα. Η εξέλιξη όμως της τεχνολογίας αυτής προσέθεσε στις μηχανές αναζήτησης δυνατότητες όπως αυτόματη κατηγοριοποίηση, υποστήριξη ιεραρχικών (ή ταξονομικών) σχέσεων και αναζήτηση σε δεδομένα που έχουν κάποια a priori γνωστή δομή.

Οι περισσότερες μηχανές αναζήτησης βασίζουν τη λειτουργία τους σε στατιστικές μεθόδους ανάλυσης και δεικτοδότησης (indexing) μεγάλων συλλογών εγγράφων και γενικά αδόμητου περιεχομένου ενώ η αναζήτηση γίνεται με βάση λέξεις-κλειδιά (keywords). Έτσι η "σχετικότητα" των αποτελεσμάτων τους σε σχέση με την ερώτηση του χρήστη βασίζεται σε χαρακτηριστικά όπως ο αριθμός και η συχνότητα των όρων της ερώτησης εντός του περιεχομένου. Το μειονέκτημα της στατιστικής αυτής προσέγγισης είναι ότι εξαρτάται σχεδόν αποκλειστικά από τη σαφήνεια της ερώτησης του χρήστη και από το αν αυτή η ερώτηση περιέχει αρκετούς όρους που να την καθιστούν διαχωρίσιμη από άλλες.

Οι περισσότεροι προμηθευτές λογισμικού ανάκτησης πληροφοριών παρέχουν κάποιες βελτιώσεις στην αναζήτηση με λέξεις-κλειδιά και Boolean λογική. Η πιο κοινή προσθήκη είναι η δυνατότητα στοιχειώδους γλωσσικής ανάλυσης, που επιτρέπει στις λέξεις να "αποστελεχώνονται" (έτσι ώστε η έρευνα να περιλαμβάνει τόσο τον ενικό όσο και το πληθυντικό βαθμό καθώς και παράγωγα της λέξης). Μια περαιτέρω βελτίωση είναι η παροχή δυνατοτήτων λεξικού (thesaurus), με τη οποία οι όροι της έρευνας μπορούν αν επεκτείνονται και να συμπεριλαμβάνουν και συνώνυμους όρους. Τα βασικά συνώνυμα συνήθως αντιμετωπίζονται αυτομάτως ενώ ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επεκτείνει το λεξικό προσθέτοντας όρους που σχετίζονται με το συγκεκριμένο πεδίο εφαρμογής (domain).

Μια άλλη, πιο εξελιγμένη, τεχνολογία πρόσθασης είναι τα συστήματα κατηγοριοποίησης. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν μεταξύ άλλων αναγνώριση προτύπων, οντολογικά μοντέλα, σημασιολογικά δίκτυα, λεξικά εννοιών και όρων, μέτρα ομοιότητας και μηχανική μάθηση με σκοπό την ομαδοποίηση ή συσταδοποίηση όμοιων εγγράφων. Όλες αυτές οι μεθόδοι διαφοροποιούνται σε ζητήματα ταχύτητας, ακρίβειας και διακριτικής ικανότητας γι' αυτό και συνήθως χρησιμοποιείται κάποιος συνδυασμός αυτών.

Τέλος, η υιοθέτηση και ενσωμάτωση της τεχνολογίας επεξεργασίας φυσικής γλώσσας (Natural Language Processing - NLP) στις προηγούμενες οδήγησε σε ακόμα πιο

εξελιγμένες και αποτελεσματικές μεθόδους πρόσθασης στην πληροφορία. Συγκεκριμένα, η χρήση της εντοπίζεται στη σημασιολογική ανάλυση κειμένου όπου η ανάλυση της φυσικής γλώσσας βοηθά στην αποτελεσματικότερη εξαγωγή σημασιολογικών εννοιών, συσχετίσεων και γεγονότων καθώς και στη συνολική κατηγοριοποίηση ενός εγγράφου με βάση το νόημά του περιεχομένου του.

Εργαλεία βασιζόμενα στο Web 2.0.

Ένα από τα σημαντικά μειονεκτήματα των πολύπλοκων και εξεζητημένων συστημάτων διαχείρισης γνώσης είναι ότι τόσο οι χρήστες τους όσο και οι διαχειριστές τους τα μισούν. Κι αυτό γιατί όλο το βάρος διαχείρισης των συστημάτων αυτών και της γνώσης που περιέχουν πέφτει ως επί το πλείστον σε αυτούς. Έτσι παρατηρείται συχνά το φαινόμενο σημαντικές επενδύσεις σε εξελιγμένα συστήματα διαχείρισης γνώσης να αποτυγχάνουν ακριβώς γιατί τα τελευταία δε χρησιμοποιούνται επί της ουσίας ποτέ.

Τη λύση σε αυτό το πρόβλημα φαίνεται ότι μπορεί να δώσει, εν μέρει, το λεγόμενο Web 2.0. Ο όρος αναφέρεται σε ένα σύνολο διαδικτυακών εργαλείων και υπηρεσιών που στοχεύουν στην ενίσχυση και ανάδειξη της δημιουργικότητας, στην ευρύτερη κατανομή της πληροφορίας (information sharing) και στην διευκόλυνση της συνεργασίας μεταξύ των χρηστών. Παραδείγματα Web 2.0 υπηρεσιών και εργαλείων αποτελούν οι ιστοσελίδες κοινωνικής δικτύωσης, τα ιστολόγια (blogs), τα wikis κ.α.

Δανειζόμενες λοιπόν ιδέες από επιτυχημένες υπηρεσίες του Web 2.0, πολλές εταιρείες, όπως η Tacit Software ή η iUpload, ανέπτυξαν συστήματα και λύσεις, όπως το illumio ή το Customer Conversation System αντίστοιχα, με τα οποία εταιρείες μπορούν να λύνουν συγκεκριμένα προβλήματα διαχείρισης γνώσης χωρίς να απαιτείται σημαντική δέσμευση ανθρωπίνων πόρων αλλά και με σημαντικά χαμηλότερο κόστος.

Για παράδειγμα, το προϊόν της iUpload εφαρμόστηκε επιτυχώς στην εταιρεία Northwestern Mutual το πρόβλημα της οποίας ήταν ότι η επίσημη ιεραρχική δομή της και τα κανάλια επικοινωνίας που αυτή προέβλεπε συχνά εμπόδιζαν τη ροή της πληροφορίας σε διατμηματικό επίπεδο. Κι αυτό γιατί η επικοινωνία βασιζόταν κυρίως σε e-mails και επίσημες αναφορές που όμως στέλνονταν σχεδόν πάντα προς τα ανώτερα κλιμάκια της διοίκησης χωρίς η τελευταία να φροντίζει τη διάδοσή τους προς τα λοιπά ενδιαφερόμενα μέρη. Η λύση δόθηκε με τη μορφή του corporate blogging και της διαχείρισης του περιεχομένου που αυτό παράγει.

Συνολικά, η προσέγγιση διαχείρισης γνώσης με ιδέες και εργαλεία του Web 2.0 μπορεί να μην είναι τόσο εξελιγμένη ή εξεζητημένη όσο άλλες προσεγγίσεις αλλά έχει ένα βασικό πλεονέκτημα: Δίνει την αίσθηση και τη σιγουριά στους χρήστες αλλά και

στα στελέχη των εταιρειών ότι "δουλεύει". Και αυτό ειδικά για τους δεύτερους, οι οποίοι επιφορτίζονται με το καθήκον να εξηγούν στην ανώτερη διοίκηση την ανάγκη επένδυσης στη διαχείριση γνώσης, είναι πολύ σημαντικό.

Εταιρικές Πύλες Γνώσης

Οι εταιρικές πύλες - αποκαλούμενες επίσης και "πύλες γνώσης" (knowledge portals) ή "εταιρικές πύλες πληροφόρησης" (enterprise information portals) παρέχουν ένα κοινό σημείο πρόσβασης σε εύρος πηγών πληροφόρησης, που στη συγκεκριμένη περίπτωση, ενυπάρχουν σε μεγάλο βαθμό στον οργανισμό. Καθώς το λογισμικό διαχείρισης γνώσης φέρνει κοντά τις διάφορες πληροφοριακές πηγές του οργανισμού και δημιουργεί την αποκαλούμενη εταιρική μνήμη, η πύλη αποτελεί τη διεπαφή σε αυτές τις πηγές.

Πιο συγκεκριμένα, η εμφάνιση της πύλης ως κοινή όψη της εταιρικής μνήμης για όλους τους χρήστες συνοδεύεται από δυνατότητες προσωποποίησης της διεπαφής σε σχέση με την παρουσίαση της πληροφορίας. Οι δυνατότητες αυτές περιλαμβάνουν:

- Τη διανομή της πληροφορίας φιλτραρισμένης σύμφωνα με τις προτιμήσεις του χρήστη, όπως νέα θέματα και θέματα προτεραιότητας.
- Τη δημιουργία προσωπικής όψης του χάρτη γνώσης του οργανισμού για πιο εύκολη πλοήγηση.
- Τη δημιουργία δεσμών σε σημαντικές πηγές που υπάρχουν εντός ή εκτός του εταιρικού χώρου.

Σε σύγκριση με τη χρηστικότητα των αρχικών μηχανών αναζήτησης, οι πύλες παρέχουν μία περισσότερο δομημένη και εύκολα πλοηγήσιμη διεπαφή για το Web. Επιπλέον πολλές πύλες παρέχουν πρόσβαση σε ένα πλήθος υπηρεσιών, συμπεριλαμβανομένων υπηρεσιών ηλεκτρονικού εμπορίου.

Ενώ όμως η ύπαρξη μίας δικτυακής πύλης που να εξυπηρετεί τις εσωτερικές ανάγκες πληροφόρησης ενός οργανισμού είναι ελκυστική ως ιδέα, εντούτοις υπάρχουν συγκεκριμένες τεχνικές προκλήσεις που πρέπει να ξεπερασθούν για να αποτελέσουν οι πύλες τη βασική υποδομή διαχείρισης γνώσης.

Εταιρικοί χρήστες απαιτούν πρόσβαση σε ένα ευρύ φάσμα πηγών και τύπων αρχείων, που ξεπερνούν κατά πολύ τα αρχεία τύπου HTML και PDF που συναντώνται ως επί των πλείστων στο διαδίκτυο. Τα εταιρικά portals πρέπει να είναι σε θέση να διαχειρίζονται το πλήρες εύρος των τύπων αρχείου γραφείου, και θα ήταν επιθυμητό να προσφέρουν και πρόσβαση σε συστήματα βάσεων δεδομένων και ERP.

Κατά δεύτερο λόγο, ένα βασικό στοιχείο σε κάθε πύλη είναι η οντολογία (σχήμα ταξινόμησης) δια μέσου της οποίας επιτυγχάνεται η οργάνωση των πληροφοριών. Στη περίπτωση των πυλών του διαδικτύου, κατηγορίες όπως "επιχειρήσεις", "ταξίδια", "αθλητικά" μπορούν να χρησιμοποιηθούν, ενώ σε εταιρικές πύλες τυπικές κατηγορίες είναι "έρευνα και ανάπτυξη", "πωλήσεις", κλπ. Ο ορισμός και η διαχείριση μίας εταιρικής οντολογίας δεν είναι μία απλή εργασία και σε κάθε περίπτωση διαφέρει από την αντίστοιχη εργασία σε επίπεδο πύλης διαδικτύου. Πολλές από τις ενδιαφέρουσες καινοτομίες στις νέες πύλες σχετίζονται με την αυτόματη δημιουργία οντολογιών και μηχανισμών αυτόματης κατηγοριοποίησης κειμένων. Το κατά πόσο τέτοιοι αυτοματισμοί μπορούν να εφαρμοσθούν σε εταιρικά συστήματα είναι ακόμη άγνωστο, δεδομένου ότι δεν υπάρχει σημαντική εγκατεστημένη βάση πυλών τελευταίας γενιάς σε οργανισμούς.

Επιπλέον, ενώ η εύκολη πρόσβαση σε πηγές πληροφόρησης είναι σημαντική στο εταιρικό επίπεδο, εξίσου σημαντική είναι η ανάγκη για άμεσο έλεγχο στη διανομή της πληροφορίας. Οι πύλες πρέπει να είναι κάτι περισσότερο από στατικοί κατάλογοι πηγών πληροφόρησης, πρέπει να είναι ενεργό μέρος της δυναμικής εταιρικής μνήμης. Επίσης, για να αποτελέσει η πύλη το βασικό σύστημα ΔΓ θα πρέπει να μπορεί να υποστηρίζει άμεσα τόσο τις σχετικές επιχειρηματικές λειτουργίες όσο και τους οργανωτικούς ρόλους που βοηθούν τη ΔΓ στον οργανισμό.

2.2 Συλλογιστική Βασισμένη σε Περιπτώσεις (CBR)

2.2.1 CBR και Επίλυση Προβλημάτων

Η Βασισμένη σε Περιπτώσεις Συλλογιστική (Case Based Reasoning - CBR) είναι μια τεχνική επίλυσης προβλημάτων η οποία βασίζεται στην έννοια της *υπενθύμισης* (*remindings*) του Schank [104]. Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη έννοια όταν οι άνθρωποι καλούνται να επιλύσουν ένα πρόβλημα τότε ανακαλούν στη μνήμη τους προηγούμενα προβλήματα που έχουν ήδη αντιμετωπίσει και που με κάποιο τρόπο είναι παρόμοια με την τρέχουσα κατάσταση που αντιμετωπίζουν. Η εφαρμογή της διαπίστωσης αυτή στον τομέα της επίλυσης προβλημάτων μεταφράζεται στην προσπάθεια να λύσει κανείς ένα νέο πρόβλημα συγκρίνοντας το με προβλήματα που έχουν ήδη επιλυθεί, βάσει της λογικής ότι παρόμοια προβλήματα έχουν πιθανώς και παρόμοιες λύσεις [2] [99] [24] [27]. Παραδείγματα αυτού του τρόπου επίλυσης προβλημάτων είναι τα ακόλουθα:

- Ένας γιατρός αφού εξετάσει ένα συγκεκριμένο ασθενή θυμάται ότι είχε διαγνώσει και θεραπεύσει πριν από δύο εβδομάδες έναν ασθενή με παρόμοια

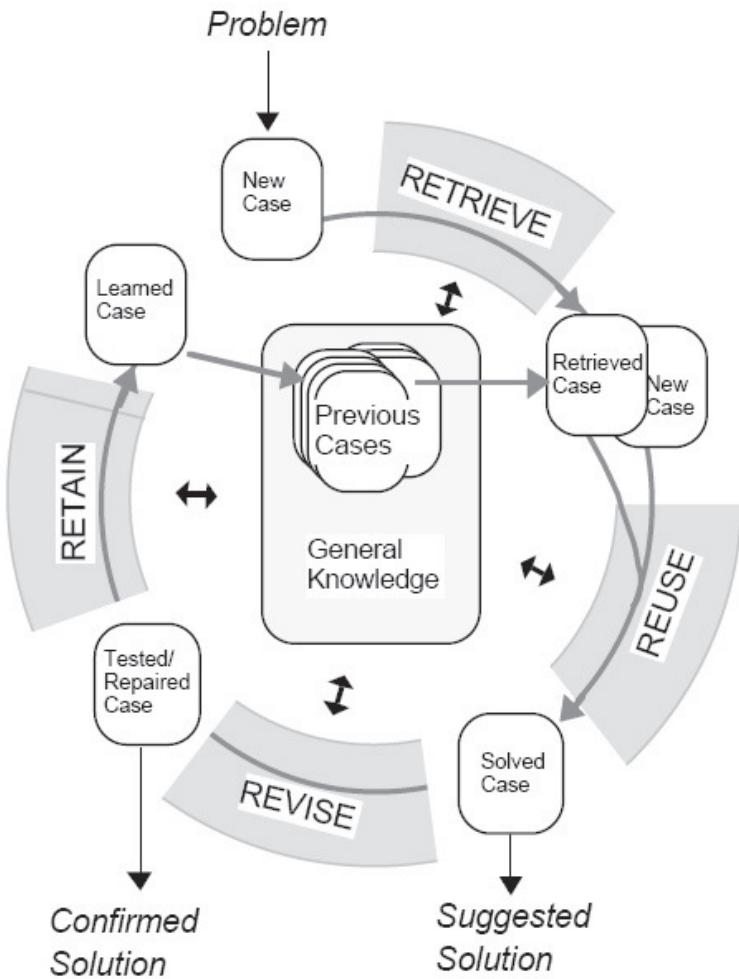
συμπτώματα. Συγκρίνοντας τα συμπτώματα των δύο ασθενών προσδιορίζει τη διάγνωση και τη θεραπεία του τρέχοντος ασθενούς με βάση αυτές του παλαιότερου.

- Ένας μηχανικός εξορύξεων ο οποίος έχει στο παρελθόν δύο αποτυχημένες προσπάθειες εξόρυξης που τελικά οδήγησαν σε έκρηξη, χρησιμοποιεί την εμπειρία του αυτή προκειμένου να αξιολογήσει και τελικά να αποφύγει τον κίνδυνο έκρηξης σε μια νέα εξόρυξη με παρόμοια χαρακτηριστικά.
- Ένας χρηματοοικονομικός σύμβουλος καλείται να αξιολογήσει την πιστοληπτική ικανότητα μιας εταιρείας. Συγκρίνοντας την κατάσταση της εταιρείας αυτής με τις καταστάσεις άλλων εταιρειών οι οποίες έλαβαν τελικά πίστωση, είναι σε θέση να εγκρίνει ή όχι τη χορήγηση δανείου στη συγκεκριμένη εταιρεία.

Η υποστήριξη της παραπάνω λογικής σε ένα CBR σύστημα υλοποιείται μέσω μιας συστηματικής διαδικασίας η οποία περιλαμβάνει την οργάνωση, αποθήκευση, ανάκτηση και προσαρμογή προβλημάτων και λύσεων αυτών [2] (σχήμα 2.1). Στη CBR ορολογία ένα πρόβλημα μαζί με τη λύση του ονομάζεται *περίπτωση (case)* ενώ το σύνολο των αποθηκευμένων περιπτώσεων ονομάζεται *βάση περιπτώσεων (case base)*.

Αναλυτικότερα, οι επιμέρους δραστηριότητες της κυκλικής διαδικασίας του σχήματος 2.1 είναι οι εξής:

- **Ανάκτηση (RETRIEVE):** Αφορά τη διαδικασία κατά την οποία ένα νέο πρόβλημα συγκρίνεται με τις αποθηκευμένες περιπτώσεις της βάσης και ανακτώνται οι περιπτώσεις με τη μεγαλύτερη ομοιότητα.
- **Επαναχρησιμοποίηση (REUSE):** Αφορά τη διαδικασία κατά την οποία η λύση ενός ανακτημένου παρόμοιου προβλήματος χρησιμοποιείται για την εύρεση λύσης του νέου.
- **Αξιολόγηση (REVISE):** Αφορά τη διαδικασία κατά την οποία η νέα λύση αξιολογείται ως προς την αποτελεσματικότητά της στην επίλυση του προβλήματος.
- **Διατήρηση (RETAIN):** Αφορά τη διαδικασία κατά την οποία το νέο πρόβλημα μαζί με τη λύση του αποθηκεύονται ως νέα περίπτωση στη βάση περιπτώσεων για μελλοντική χρήση.



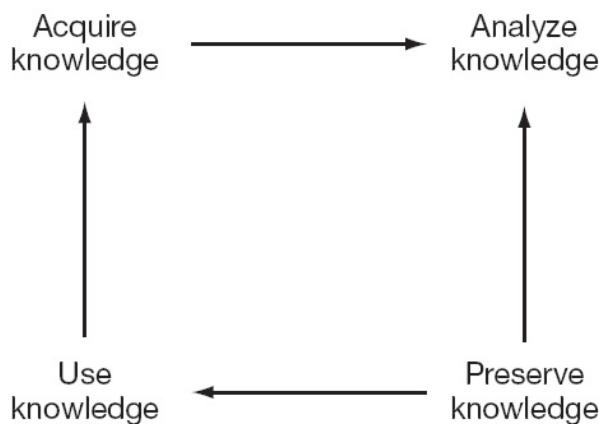
Σχήμα 2.1: Ο CBR Κύκλος [2]

2.2.2 CBR και Διαχείριση Γνώσης

Στον πίνακα 1.1 του κεφαλαίου 1 αναφέρθηκε η αντιστοίχιση μεταξύ των κύριων δραστηριοτήτων διαχείρισης γνώσης (συλλογή, οργάνωση, αποθήκευση, χρήση κ.λ.π.) με τεχνικές από το χώρο της Τεχνητής Νοημοσύνης όπως αυτή πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο ενός workshop που πραγματοποιήθηκε το 2001 στο Cambridge της Αγγλίας [56]. Στην αντιστοίχιση αυτή η CBR τεχνική φέρεται να μπορεί να υποστηρίξει μεγάλο μέρος των δραστηριοτήτων διαχείρισης γνώσης και για το λόγο αυτό η συγκεκριμένη τεχνική έχει προταθεί ως προσέγγιση ανάπτυξης αντίστοιχων συστημάτων [58] [57] μέσω της επέκτασης της έννοιας της περίπτωσης ως φορέα αναπαράστασης γνώσης (αντί μόνο προβλημάτων και λύσεων).

Οι δραστηριότητες αυτές μπορούν να αντιστοιχιστούν πλήρως στις βασικές δραστηριότητες της διαχείρισης γνώσης (σχήμα 2.2) ως εξής [58]:

- Οι δραστηριότητες της ανάκτησης, επαναχρησιμοποίησης και αξιολόγησης περιπτώσεων υποστηρίζουν τη δραστηριότητα απόκτησης γνώσης (knowledge acquisition).
- Η δραστηριότητα της αξιολόγησης περιπτώσεων υποστηρίζει την ανάλυση γνώσης (knowledge analysis).
- Η δραστηριότητα της διατήρησης περιπτώσεων υποστηρίζει τη διατήρηση γνώσης (knowledge preservation).
- Οι δραστηριότητες της ανάκτησης, επαναχρησιμοποίησης και αξιολόγησης περιπτώσεων υποστηρίζουν τη χρήση γνώσης (knowledge use)



Σχήμα 2.2: Ο Κύκλος Διαχείρισης Γνώσης [58]

2.2.3 CBR Προσεγγίσεις

Από την περιγραφή της CBR τεχνικής στις προηγούμενες παραγράφους προκύπτει ότι, ανεξάρτητα από το τι αναπαριστά μια περίπτωση (πρόβλημα ή γενικότερη γνώση) οι βασικές δυνατότητες που πρέπει να προσφέρει ένα CBR σύστημα περιλαμβάνουν:

- Τη δυνατότητα μοντελοποίησης των περιπτώσεων για ένα δεδομένο πεδίο εφαρμογής μέσω κατάλληλων μοντέλων αναπαράστασης.
- Τη δυνατότητα ανάκτησης παρόμοιων περιπτώσεων από τη βάση μέσω κατάληλων μηχανισμών σύγκρισης.

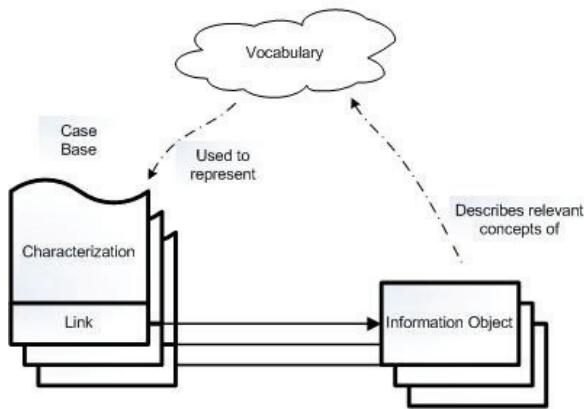
Οι δύο αυτές δυνατότητες είναι αλληλένδετες υπό την έννοια ότι ο μηχανισμός σύγκρισης εξαρτάται από το μοντέλο αναπαράστασης. Έτσι, ένας από τους βασικότερους παράγοντες διαφοροποίησης των διαφόρων CBR προσεγγίσεων που έχουν προταθεί από την ερευνητική κοινότητα και έχουν υλοποιηθεί σε πρακτικό επίπεδο είναι ο ακριβής τρόπος υλοποίησης του συνδυασμού αναπαράστασης-ανάκτησης των περιπτώσεων.

Αναλυτικότερα, οι θεμελιώδεις CBR προσεγγίσεις είναι η προσέγγιση κειμένου (Textual CBR), η προσέγγιση διαλόγου (Conversational CBR) και η δομημένη προσέγγιση (Structural CBR) [99]. Στην προσέγγιση κειμένου οι περιπτώσεις αναπαρίστανται ως ελεύθερο κείμενο [77] [49] ενώ η ανάκτησή τους πραγματοποιείται με χρήση γλωσσολογικών τεχνικών αντιστοίχισης λέξεων και όρων ή και άλλων στατιστικών μέτρων ομοιότητας κειμένων. Επιπλέον για τη βελτίωση της ανάκτησης είναι δυνατόν να χρησιμοποιούνται και λεξικά όρων τα οποία καταγράφουν την τυχόν ομοιότητα μεταξύ διαφορετικών όρων (π.χ. συνώνυμους όρους) την οποία και εκμεταλλεύεται ο μηχανισμός ανάκτησης για τη σύγκριση των περιπτώσεων. Γενικά η ακρίβεια του μηχανισμού ανάκτησης της προσέγγισης κειμένου μειώνεται σημαντικά με την αύξηση του αριθμού των περιπτώσεων.

Από την άλλη πλευρά, η προσέγγιση διαλόγου [20] [21] θεωρεί ως περιπτώσεις σύνολα ερωταπαντήσεων που έχουν προκύψει από κάποιο διάλογο (π.χ. από την επικοινωνία ενός πελάτη με έναν υπάλληλο) και που εν γένει περιέχουν δυνητικά χρήσιμη πληροφορία για την επίλυση κάποιου προβλήματος. Γενικά δεν υπάρχει κάποιο προκαθορισμένο μοντέλο βάσει του οποίου δομούνται οι ερωταπαντήσεις αν και συνήθως υιοθετείται το δενδρικό μοντέλο έτσι ώστε οι περιπτώσεις να έχουν τη μορφή ενός δέντρου αποφάσεων και η ανάκτηση να γίνεται μέσω διαλόγων του συστήματος με το χρήστη.

Τέλος, στη δομημένη προσέγγιση η δομή των περιπτώσεων καθορίζεται από ένα μοντέλο πεδίου (*domain model*) το οποίο προδιαγράφει τα χαρακτηριστικά (features ή attributes) βάσει των οποίων περιγράφεται μια περίπτωση καθώς και το σύνολο των τιμών που αυτά μπορεί να λάβουν. Σε διαφορετικά συστήματα το συγκεκριμένο μοντέλο μπορεί να είναι τόσο απλό όσο ένας πίνακας ή τόσο περίπλοκο όσο ένα αντικειμενοστραφές μοντέλο [79] [59] ή μια οντολογία [8]. Το σχήμα 2.3 απεικονίζει τη γενική μορφή αναπαράστασης των περιπτώσεων στη δομημένη προσέγγιση.

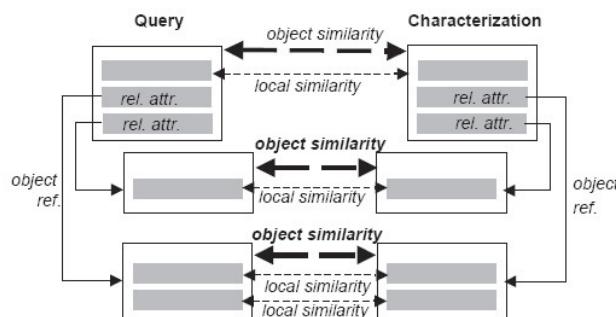
Σε κάθε περίπτωση, η λειτουργία της ανάκτησης στη δομημένη προσέγγιση πραγματοποιείται ως εξής: Το πρόβλημα του χρήστη (ή εν γένει η ανάγκη γνώσης που έχει) αναπαρίσταται ως περίπτωση βάσει του μοντέλου πεδίου και στη συνέχεια συγκρίνεται με όλες τις περιπτώσεις που είναι αποθηκευμένες στη βάση. Κατόπιν, οι αποθηκευμένες περιπτώσεις που έχουν τη μεγαλύτερη ομοιότητα ανακτώνται και



Σχήμα 2.3: Δομημένη CBR προσέγγιση

επιστρέφονται στο χρήστη. Η διαδικασία σύγκρισης μεταξύ μιας ζητούμενης περίπτωσης και μιας αποθηκευμένης γίνεται με χρήση μέτρων ομοιότητας τα οποία γενικά λειτουργούν με τον εξής τρόπο (σχήμα 2.4):

1. Υπολογίζουν αρχικά τις επιμέρους ομοιότητες των δύο περιπτώσεων συγκρίνοντας τις τιμές των επιμέρους χαρακτηριστικών τους.
2. Συναθροίζουν (aggregate) κατόπιν τις επιμέρους ομοιότητες σε μία τιμή η οποία υποδηλώνει το συνολικό βαθμό ομοιότητας μεταξύ των δύο περιπτώσεων.



Σχήμα 2.4: Υπολογισμός Ομοιότητας στη Δομημένη CBR προσέγγιση

Ο ακριβής τρόπος υπολογισμού των παραπάνω ομοιοτήτων (επιμέρους και συνολικής) εξαρτάται γενικά από το είδος και το νόημα των χαρακτηριστικών τών περιπτώσεων και των τιμών που αυτά μπορεί να λάβουν. Ανάλογα με την πολυπλοκότητα και εκφραστικότητα του μοντέλου αναπαράστασης των περιπτώσεων είναι δυνατόν

να οριστούν διαφορετικά μέτρα ομοιότητας που εκμεταλλεύονται σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό το νόημα αυτό.

Η δυνατότητα διαφοροποίησης στη μορφή (και άρα στη δυνατότητα εκμετάλλευσης) του μοντέλου αναπαράστασης των περιπτώσεων στη δομημένη προσεγγιση έχει οδηγήσει στη δημιουργία πολλών επιμέρους προσεγγίσεων βασικό χαρακτηριστικό των οποίων είναι η εκμετάλλευση γνώσης σχετικά με το πεδίο εφαρμογής των περιπτώσεων με σκοπό τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της ανάκτησης. Η γνώση αυτή αφορά κατά κανόνα τις τιμές που δύνανται να λαμβάνουν τα χαρακτηριστικά των περιπτώσεων και χρησιμοποιείται για την καλύτερη σύγκριση αυτών. Για το λόγο αυτό οι δομημένες προσεγγίσεις είναι γνωστές και με τον όρο Knowledge Intensive [2].

Ο πίνακας 2.1 συνοψίζει τα χαρακτηριστικά των τριών προσεγγίσεων.

Πίνακας 2.1: Σύγκριση Θεμελιωδών CBR Προσεγγίσεων

	Προσέγγιση Κειμένου	Προσέγγιση Διαλόγου	Δομημένη Προσέγ- γιση
Δομή Βάσης Περι- πτώσεων	Συλλογή κειμέ- νων	Λίστες ερωτα- παντήσεων	Δομημένο μοντέλο α- ναπαράστασης (αντι- κειμενοστραφές, ον- τολογία) που καθορί- ζει τα χαρακτηριστι- κά των περιπτώσεων και τις πιθανές τιμές τους
Τρόπος Ανάκτησης Περιπτώσεων	Συντακτική ο- μοιότητα λέξεων και όρων	Εμφάνιση ερω- τήσεων στο χρή- στη και ενδεχό- μενος διάλογος	Ομοιότητα περιπτώ- σεων βάσει των επι- μέρους τιμών των χα- ρακτηριστικών τους
Χρήση Γνώσης	Λεξικά παρό- μοιων όρων	Δέντρα αποφάσε- ων	Μοντέλο γνώσης για το πεδίο εφαρμογής των περιπτώσεων

2.3 Οντολογίες και Οντολογική Μηχανική

2.3.1 Η Έννοια της Οντολογίας

Η λέξη "οντολογία" προέρχεται από το χώρο της Φιλοσοφίας και υποδηλώνει τον επι-
στημονικό τομέα έρευνας ο οποίος ασχολείται με τη φύση του όντος, δηλαδή με το τι
υπάρχει στο φυσικό κόσμο και με ποιον τρόπο εκδηλώνεται η ύπαρξη αυτή. Αποτελεί
με άλλα λόγια μια διαδικασία η οποία προσπαθεί να απαντήσει σε ερωτήσεις σχετικά
με τι οντότητες υπάρχουν στον κόσμο και πώς αυτές μπορούν να συσχετίζονται

και να ομαδοποιούνται βάσει των χαρακτηριστικών τους. Ιστορικά τέτοιες ερωτήσεις τέθηκαν για πρώτη φορά από αρχαίους φιλόσοφους όπως ο Παρμενίδης και ο Αριστοτέλης ενώ η μελέτη της οντολογίας ως ξεχωριστός φιλοσοφικός κλάδος καθιερώθηκε και συστηματοποιήθηκε στη διάρκεια των επόμενων αιώνων από φιλοσόφους όπως ο Aquinas, ο Ockham, ο Kant, ο Husserl και ο Wittgenstein.

Στα τέλη του εικοστού και στις αρχές του εικοστού πρώτου αιώνα, η ίδια έννοια εμφανίστηκε ως αντικείμενο έρευνας και στην Πληροφορική και ιδιαίτερα στην περιοχή της Μηχανικής Γνώσης (Knowledge Engineering). Αυτό συνέβη όταν οι επιστήμονες και οι ερευνητές συνειδητοποίησαν τις ομοιότητες μεταξύ της προσπάθειας των φιλοσόφων να κατανοήσουν και να κατηγοριοποιήσουν τον κόσμο και της δικής τους προσπάθειας να κατασκευάσουν συστήματα που να μπορούν να αναπαραστήσουν και να κατανοήσουν την ανθρώπινη γνώση. Ενώ όμως στη φιλοσοφία η έννοια της οντολογίας αντιμετωπίζεται ως μια διαδικασία αναζήτησης της αλήθειας μέσω της μελέτης του τι συνιστά την πραγματικότητα, στην πληροφορική η ίδια έννοια υποδηλώνει κάποιο μοντέλο αναπαράστασης (μέρους) της ανθρώπινης γνώσης το οποίο καθιστά την τελευταία κατανοητή και επεξεργάσιμη τόσο από ανθρώπους όσο και από συστήματα.

Αυτό βέβαια δε σημαίνει ότι οποιοδήποτε μοντέλο αναπαράστασης γνώσης αποτελεί και οντολογία. Γενικά υπάρχει ποικιλία από τεχνικές αναπαράστασης γνώσης με διαφορετικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες η κάθε μία (π.χ. Κατηγορηματικός Λογισμός Πρώτης Τάξης, Σημασιολογικά Δίκτυα, Πλαίσια, Συστήματα Κανόνων κ.α.). Ένα μοντέλο γνώσης που κατασκευάζεται με κάποιες από αυτές τις τεχνικές αναπαριστά μεν γνώση αλλά προκειμένου να μπορεί να χαρακτηριστεί ως οντολογία θα πρέπει να διαθέτει ένα σύνολο συγκεκριμένων χαρακτηριστικών.

Τα χαρακτηριστικά αυτά αναφέρονται (μερικώς) στους διάφορους ορισμούς της έννοιας της οντολογίας που έχουν δοθεί κατά καιρούς από την ερευνητική κοινότητα. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι οι εξής:

- "Μια οντολογία είναι ένας ρητός προσδιορισμός μιας κοινής αντίληψης." (Gruber [120]).
- "Μια οντολογία ορίζει τους βασικούς όρους και τις σχέσεις που απαρτίζουν ένα λεξιλόγιο μιας συγκεκριμένης θεματικής περιοχής καθώς και τους κανόνες βάσει των οποίων οι όροι και οι σχέσεις αυτές συνδυάζονται προκειμένου να εμπλουτίσουν το συγκεκριμένο λεξιλόγιο." (Neches [101]).
- "Μια οντολογία είναι ένας ρητός, μερικός προσδιορισμός μιας αντίληψης ο οποίος εκφράζεται ως ένα σύνολο πιθανών θεωριών πεδίου για το σκοπό του σχεδιασμού,

του ανασχεδιασμού και της επαναχρησιμοποίησης συστημάτων που βασίζονται σε γνώση." (Schreiber [41]).

- "Οι οντολογίες είναι αντικειμενικές περιγραφές των κατηγοριών των οντοτήτων που υπάρχουν και του τρόπου με τον οποίον αυτές σχετίζονται." (Welty).

Όλοι οι παραπάνω ορισμοί είναι έγκυροι αλλά ορισμένοι από αυτούς τείνουν είτε να περιορίζουν υπερβολικά το νόημα της έννοιας (π.χ. η συσχέτιση των οντολογιών με τα συστήματα γνώσης στον ορισμό του Schreiber) είτε να το αφήνουν σχετικά ασαφές (π.χ. η χρήση του όρου "αντίληψη" στον ορισμό του Gruber). Για το λόγο αυτό και με δεδομένο ότι μια οντολογία στην Πληροφορική μπορεί να λάβει πολλές μορφές και να χρησιμοποιηθεί για πολλούς σκοπούς, ένας χρηστικός ορισμός της έννοιας που είναι επαρκώς γενικός και σαφής είναι ο ακόλουθος:

Ορισμός 2.1 "Μια οντολογία είναι ένας ρητός, κοινός και τυπικός προσδιορισμός του προτιθέμενου νοήματος των όρων που απαρτίζουν ένα πεδίο γνώσης".

Χαρακτηριστικό του ορισμού αυτού είναι ότι εστιάζει στα εγγενή χαρακτηριστικά της έννοιας της οντολογίας τα οποία αναλύονται ως εξής:

1. *Mια οντολογία προσδιορίζει το νόημα ενός συνόλου όρων:* Αυτό σημαίνει ότι αποτελεί ένα είδος λεξιλογίου το οποίο περιλαμβάνει όρους μαζί με τη σημασία τους. Η ακριβής μορφή αναπαράστασης της σημασίας των όρων (π.χ. λεκτικά ή μέσω συσχετίσεων μεταξύ τους) είναι γενικά σημαντική αλλά δεν αποτελεί κριτήριο για το αν ένα τέτοιο λεξιλόγιο αποτελεί οντολογία ή όχι.
2. *Mια οντολογία ορίζει το προτιθέμενο νόημα των όρων του πεδίου γνώσης:* Αυτό σημαίνει ότι μια οντολογία δεν προσδιορίζει απαραίτητα όλες τις διαφορετικές πιθανές σημασίες ενός όρου αλλά μόνο αυτές που χρησιμοποιούνται στο συγκεκριμένο πεδίο γνώσης. Αυτό είναι σημαντικό γιατί, μεταξύ άλλων, καταργεί την ανάγκη της εξαντλητικής ανάλυσης ενός όρου προκειμένου να προσδιοριστούν όλα τα πιθανά νοήματά του κατά την κατασκευή της οντολογίας.
3. *Ο προσδιορισμός του νοήματος των όρων σε μια οντολογία είναι ρητός:* Αυτό σημαίνει ότι το νόημα ενός όρου της οντολογίας θα πρέπει να ορίζεται με τρόπο σαφή και μονοσήμαντο χωρίς να είναι δυνατή η συσχέτιση του όρου με κάποιο διαφορετικό νόημα από τους χρήστες της οντολογίας. Σε περίπτωση που ένας όρος μπορεί να έχει διαφορετικές σημασίες τότε η οντολογία θα πρέπει με κάποιο τρόπο να τις καθιστά διακριτές.

4. **Ο προσδιορισμός του νοήματος των όρων σε μια οντολογία είναι κοινός:** Αυτό σημαίνει ότι οι προσδιορισμοί του νοήματος των όρων σε μια οντολογία θα πρέπει να είναι κοινά αποδεκτοί και κατανοητοί από όλους τους δυνητικούς χρήστες της. Αυτό είναι πολύ σημαντικό γιατί, όπως θα αναφερθεί παρακάτω, μία από τις βασικές χρήσεις των οντολογιών είναι ο διαμοιρασμός γνώσης ανάμεσα σε ανθρώπους αλλά και συστήματα.
5. **Ο προσδιορισμός του νοήματος των όρων σε μια οντολογία είναι τυπικός:** Το χαρακτηριστικό της τυπικότητας (formality) αναφέρεται στον τρόπο αναπαράστασης του νοήματος των όρων της οντολογίας και υποδηλώνει ότι μια οντολογία πρέπει να αναπαρίσταται σε μηχανικά αναγνώσιμη μορφή (machine readable), συνήθως μέσω της κωδικοποίησής της βάσει κάποιας τυπικής γλώσσας αναπαράστασης γνώσης (π.χ. λογική). Πράγματι, κάτι τέτοιο ισχύει στην περίπτωση που μια οντολογία πρόκειται να χρησιμοποιηθεί από κάποιο σύστημα και στην πλειοψηφία των περιπτώσεων οι οντολογίες κατασκευάζονται ακριβώς γι' αυτό το σκοπό, καθιστώντας έτσι απαραίτητη την τυποποίησή τους.

Επιπλέον, ο ορισμός του Nches αναδεικνύει μια άλλη σημαντική ιδιότητα των οντολογιών: το γεγονός ότι εκτός από έννοιες και σχέσεις μια οντολογία μπορεί να περιέχει και άλλα συστατικά στοιχεία (π.χ. κανόνες ή αξιώματα) τα οποία επιτρέπουν την αυτόματη παραγωγή νέας γνώσης για ένα δεδομένο γνωστικό πεδίο βάσει της υπάρχουσας. Η διαδικασία παραγωγής τέτοιας γνώσης ονομάζεται συμπερασμός (inference) ή συλλογισμός (reasoning) και μπορεί να λάβει διάφορες μορφές ανάλογα με τον τρόπο δόμησης και αναπαράστασης της οντολογίας.

Έτσι συνολικά προκύπτει το συμπέρασμα ότι μια οντολογία είναι σε θέση να εξυπηρετήσει δύο σκοπούς:

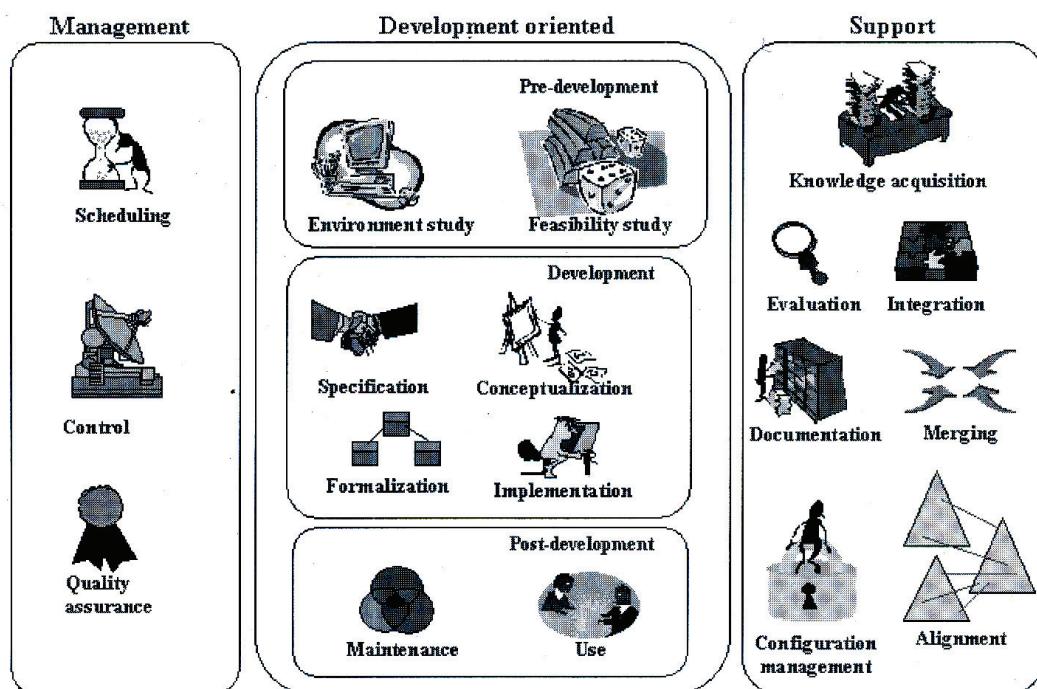
1. Να επιτρέψει το διαμοιρασμό και την επαναχρησιμοποίηση της γνώσης που αφορά ένα συγκεκριμένο γνωστικό πεδίο μεταξύ ανθρώπων αλλά και υπολογιστικών συστημάτων.
2. Να επιτρέψει σε υπολογιστικά συστήματα να χρησιμοποιήσουν και να επεκτείνουν τη γνώση τους.

Και οι δύο αυτές ικανότητες καθιστούν τις οντολογίες εφαρμόσιμες σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών όπως τα Ευφυή Συστήματα, το Ηλεκτρονικό Εμπόριο, ο Σημασιολογικός Ιστός και η Διαχείριση Γνώσης.

2.3.2 Οντολογική Μηχανική & Μεθοδολογίες

Η σταδιακά αυξανόμενη υιοθέτηση των οντολογιών από την ερευνητική κοινότητα και τη βιομηχανία κατέστησε σαφή την ανάγκη για ανάπτυξη συγκεκριμένων μεθόδων και διαδικασιών βάσει των οποίων θα γινόταν η κατασκευή μιας οντολογίας. Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του '90 η διαδικασία αυτή αντιμετωπίζόταν περισσότερο ως τέχνη παρά ως σαφώς ορισμένη διαδικασία. Αυτό σήμαινε ότι οι διάφοροι φορείς κατασκεύαζαν οντολογίες με εντελώς διαφορετικές διαδικασίες και πρότυπα με αποτέλεσμα αυξημένους χρόνους και κόστη ανάπτυξης και ελάχιστη έως μηδενική δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης του τελικού προϊόντος.

Από τότε διάφορες προσπάθειες δημιουργίας μεθοδολογικών πλαισίων σχετικά με διάφορες πλευρές της διαδικασίας ανάπτυξης οντολογιών έλαβαν χώρα και αναπύχθηκαν αντίστοιχες μεθοδολογίες. Ένα γενικό πλαίσιο το οποίο ορίζει τις κύριες δραστηριότητες που θα πρέπει να περιλαμβάνει η διαδικασία αυτή απεικονίζεται στο σχήμα 2.5. Αναλυτικά οι δραστηριότητες του πλαισίου είναι οι εξής:



Σχήμα 2.5: Δραστηριότητες Οντολογικής Μηχανικής [5]

- Δραστηριότητες Διαχείρισης Ανάπτυξης:** Στη συγκεκριμένη κατηγορία εμπίπτουν δραστηριότητες που σαν σκοπό έχουν να εξασφαλίσουν ότι η διαδικασία ανάπτυξης της οντολογίας θα εκτελεστεί με σωστό και αποτελεσματικό τρόπο. Οι δραστηριότητες αυτές είναι:

- **Προγραμματισμός Εργασιών (Scheduling):** Περιλαμβάνει τον προσδιορισμό και την οργάνωση των επιμέρους εργασιών που πρέπει να εκτελεστούν κατά την ανάπτυξη καθώς και τον υπολογισμό του χρόνου και των πόρων που απαιτούνται.
 - **Έλεγχος (Control):** Αφορά την παρακολούθηση της εκτέλεσης των εργασιών και την εξασφάλιση τόσο της ορθή εκτέλεσής αυτών όσο και της έγκαιρης ολοκλήρωσης τους.
 - **Διασφάλιση Ποιότητας (Quality Assurance):** Περιλαμβάνει ενέργειες για την εξασφάλιση ότι η ποιότητα των παραγόμενων αποτελεσμάτων (οντολογία και τεκμηρίωση) είναι η υψηλότερη δυνατή.
- **Δραστηριότητες Ανάπτυξης:** Στη συγκεκριμένη κατηγορία εμπίπτουν δραστηριότητες που εκτελούνται κατά την ανάπτυξη της οντολογίας ξεκινώντας από τη σύλληψη της ιδέας μέχρι την παράδοση του τελικού προϊόντος. Οι δραστηριότητες αυτές είναι:
- **Μελέτη Περιβάλλοντος και Σκοπιμότητας (Environment and Feasibility Study):** Στη μελέτη αυτή αναλύεται το περιβάλλον στο οποίο θα αναπτυχθεί και θα χρησιμοποιηθεί η οντολογία (π.χ. συστήματα στα οποία θα ενσωματωθεί, άτομα που θα τη χρησιμοποιήσουν κ.λ.π.) και καθορίζεται ο βαθμός στον οποίο η ανάπτυξη της οντολογίας στο συγκεκριμένο περιβάλλον είναι επιθυμητή αλλά και δυνατή.
 - **Ανάλυση Προδιαγραφών (Specification):** Η δραστηριότητα αυτή περιλαμβάνει το σαφή προσδιορισμό του σκοπού για τον οποίο κατασκευάζεται η οντολογία, την αναγνώριση των γνωστικών πεδίων που πρόκειται να καλύψει, το εύρος της κάλυψης αυτής (scope) και τις πηγές γνώσης που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν κατά την ανάπτυξη.
 - **Εννοιολογική Μοντελοποίηση (Conceptualization):** Η δραστηριότητα αυτή είναι υπεύθυνη για τη δόμηση της γνώσης του γνωστικού πεδίου της οντολογίας με βάση ένα κοινά κατανοητό και αποδεκτό εννοιολογικό μοντέλο το οποίο αναπαριστά ξεκάθαρα τη σημασιολογία του πεδίου.
 - **Τυποποίηση και Κωδικοποίηση (Formalization and Implementation):** Οι δύο αυτές δραστηριότητες αφορούν τη μετατροπή του εννοιολογικού μοντέλου σε ένα υπολογιστικά ερμηνεύσιμο μοντέλο αναπαράστασης γνώσης βάσει κάποιας επίσημης γλώσσας οντολογιών.
 - **Συντήρηση (Maintenance):** Η δραστηριότητα της συντήρησης λαμβάνει χώρα στη διάρκεια ζωής και χρήσης της οντολογίας και αφορά τη μεταβο-

λή της δομής ή του περιεχομένου αυτής προκειμένου να αντιμετωπιστούν νέες απαιτήσεις αναπαράστασης γνώσης.

- **Υποστηρικτικές Δραστηριότητες Ανάπτυξης:** Οι υποστηρικτικές δραστηριότητες λαμβάνουν χώρα παράλληλα με τις δραστηριότητες ανάπτυξης και είναι απαραίτητες προκειμένου η εκτέλεση των τελευταίων να είναι δυνατή και επιτυχής. Οι δραστηριότητες αυτές είναι:

- **Απόκτηση Γνώσης (Knowledge Acquisition):** Η δραστηριότητα αυτή στοχεύει στην εξαγωγή και συγκέντρωση της γνώσης ενός γνωστικού πεδίου από διάφορες πηγές γνώσης (π.χ. experts).
- **Αξιολόγηση (Evaluation):** Η δραστηριότητα αυτή αξιολογεί από τεχνική απόψεως τα ενδιάμεσα και τελικά αποτελέσματα της διαδικασίας ανάπτυξης.
- **Ολοκλήρωση (Integration):** Η δραστηριότητα αυτή λαμβάνει χώρα όταν ήδη έτοιμες οντολογίες μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν για την κατασκευή μιας νέας οντολογίας.
- **Συγχώνευση (Merging):** Η δραστηριότητα αυτή αναφέρεται στην κατασκευή μιας νέας οντολογίας μέσω της ενοποίησης εννοιών, ορολογίας, ορισμών, περιορισμών κλπ. που υπάρχουν σε ήδη διαθέσιμες οντολογίες.
- **Ευθυγράμμιση (Alignment):** Η δραστηριότητα αυτή φροντίζει ώστε δύο διαφορετικές οντολογίες να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από κοινού χωρίς να είναι απαραίτητη η συγχώνευσή τους. Αυτό γίνεται αντιστοιχίζοντας τα συστατικά των δύο οντολογιών με βάση τη σημασιολογία τους.
- **Τεκμηρίωση (Documentation):** Η δραστηριότητα αυτή καταγράφει με λεπτομερή τρόπο ολόκληρη τη διαδικασία ανάπτυξης των οντολογιών καθώς και τα αποτελέσματα αυτής.
- **Διαχείριση Εκδόσεων (Configuration Management):** Η δραστηριότητα αυτή ελέγχει τις διάφορες εκδόσεις της οντολογίας και της τεκμηρίωσής της.

Οι πιο γνωστές μεθοδολογίες οντολογικής μηχανικής που έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία και που προδιαγράφουν είτε όλες είτε μερικές από τις παραπάνω δραστηριότητες, είναι οι εξής:

- **Η μέθοδος των Uschold και King [81] [80]:** Η συγκεκριμένη μεθοδολογία ήταν από τις πρώτες του είδους της και βασίστηκε στην εμπειρία κατασκευής

της Enterprise Ontology [63], μια οντολογίας για τη μοντελοποίηση επιχειρηματικών διαδικασιών. Οι προτεινόμενες δραστηριότητες της μεθοδολογίας περιλαμβάνουν τον προσδιορισμό του σκοπού και του εύρους (scope) της οντολογίας, την κατασκευή της, την αξιολόγησή της και την τεκμηρίωσή της. Κατά την κατασκευή πραγματοποιούνται η συλλογή της γνώσης, η κωδικοποίησή της και η ενοποίησή της οντολογίας με άλλες υπάρχουσες οντολογίες.

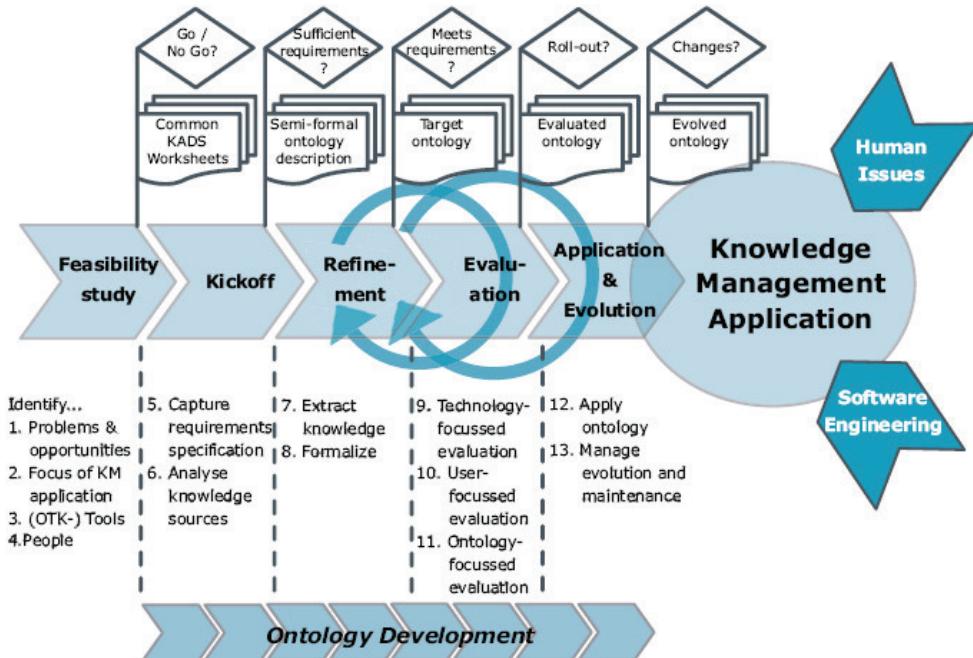
- **Η μεθοδολογία των Gruninger και Fox [72]:** Η συγκεκριμένη μεθοδολογία εμπνεύστηκε από την εμπειρία κατασκευής συστημάτων γνώσης με χρήση λογικής πρώτης τάξης (first order logic) και αποτελείται από έξι βασικές δραστηριότητες. Η πρώτη δραστηριότητα αφορά τον προσδιορισμό σεναρίων χρήσης της οντολογίας (motivating scenarios) προκειμένου να γίνουν σαφείς οι απαιτήσεις της ανάπτυξης αυτής. Η δεύτερη δραστηριότητα αφορά τη δημιουργία ερωτήσεων επάρκειας (competency questions) για κάθε ένα από τα σενάρια χρήσης. Μια ερώτηση επάρκειας εκφράζεται σε φυσική γλώσσα και οφείλει να μπορεί να απαντηθεί από την τελική οντολογία. Η τρίτη δραστηριότητα περιλαμβάνει την κωδικοποίηση των όρων της οντολογίας με χρήση λογικής πρώτης τάξης ενώ η τέταρτη αφορά την αναπαράσταση των ερωτήσεων επάρκειας με βάση αυτή την κωδικοποίηση. Τέλος, οι δύο τελευταίες δραστηριότητες περιλαμβάνουν τον ορισμό αξιωμάτων και θεωρημάτων πληρότητας (completeness theorems) για τους κωδικοποιημένους όρους της οντολογίας).
- **Η προσέγγιση KACTUS [3]:** Η συγκεκριμένη μεθοδολογία προτείνει μια διαδικασία κατασκευής οντολογιών που λαμβάνει χώρα ταυτόχρονα με την ανάπτυξη της εφαρμογής που τη χρησιμοποιεί. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τρεις δραστηριότητες: την προδιαγραφή της εφαρμογής, το βασικό σχεδιασμό της οντολογίας με επαναχρησιμοποίηση άλλων οντολογιών και την εκλέπτυνση της οντολογίας με βάση πρακτικές από το χώρο της μηχανικής λογισμικού και μηχανικής γνώσης.
- **Η μεθοδολογία On-To-Knowledge [114] [124]:** Η συγκεκριμένη μεθοδολογία προδιαγράφει μια διαδικασία για την ανάπτυξη και συντήρηση οντολογιών σε συστήματα διαχείρισης γνώσης. Αποτελείται από πέντε επιμέρους δραστηριότητες οι οποίες απεικονίζονται στο σχήμα 2.6. Αυτές είναι η εκπόνηση της μελέτης σκοπιμότητας (feasibility study), η ανάλυση των προδιαγραφών της οντολογίας και η κατασκευή μιας αρχικής έκδοσης αυτής (kickoff), η κατασκευή της τελικής οντολογίας (refinement), η αξιολόγησή του τελικού προϊόντος (evaluation) και ο προσδιορισμός των απαραίτητων διαδικασιών συντήρησης (maintenance).

- **Η μεθοδολογία METHONTOLOGY [71] [70]:** Η συγκεκριμένη μεθοδολογία προδιαγράφει μια διαδικασία παρόμοια με αυτή της On-To-Knowledge αλλά δίνει μεγαλύτερη έμφαση στο κομμάτι της ανάπτυξης της οντολογίας και περιγράφει λεπτομερώς τη δραστηριότητα της εννοιολογικής μοντελοποίησης. Προτείνει επίσης ένα κύκλο ζωής οντολογιών βασισμένο στην έννοια των "εξελισσόμενων πρωτότυπων", της διαδικασίας δηλαδή κατά την οποία παράγονται με επαναληπτικό τρόπο εκδόσεις της οντολογίας (πρωτότυπα) μέχρι το τελικό αποτέλεσμα να είναι αποδεκτό. Οι δραστηριότητες της μεθοδολογίας απεικονίζονται στο σχήμα 2.7.
- **Η μεθοδολογία Diligent [26]:** Η συγκεκριμένη μεθοδολογία προδιαγράφει μια διαδικασία ανάπτυξης οντολογιών που είναι κατανεμημένη (distributed), χαλαρά ελεγχόμενη (loosely controlled) και εξελισσόμενη (evolving). Σκοπός της μεθοδολογίας είναι να υποστηρίζει με το βέλτιστο δυνατό τρόπο ανάπτυξη μεγάλων οντολογιών με αποκεντρωμένο (decentralized) τρόπο. Έτσι, ορίζει πέντε κύριες δραστηριότητες ανάπτυξης: την κατασκευή, την τοπική προσαρμογή, την ανάλυση, τη διόρθωση και την τοπική ανανέωση.
- **Η μεθοδολογία HCOME [65]:** Η συγκεκριμένη μεθοδολογία δίνει μεγάλη έμφαση στη συμμετοχή των χρηστών της οντολογίας στη διαδικασία ανάπτυξης. Στο σχήμα 2.8 απεικονίζονται οι κυριότερες δραστηριότητες της μεθοδολογίας με τις επιμέρους εργασίες της κάθε μίας να γίνονται είτε μεμονωμένα από τον κάθε χρήστη (γράμμα P στο σχήμα) είτε συνεργατικά από μια ομάδα χρηστών (γράμμα S στο σχήμα). Η βασική ιδέα είναι ότι οι εργασίες αυτές επαναλαμβάνονται μέχρι να επιτευχθεί συμφωνία από όλους τους χρήστες σχετικά με τη δομή και το περιεχόμενο της οντολογίας.

2.3.3 Αναπαράσταση Γνώσης & Γλώσσες Οντολογιών

Στη γενική διαδικασία ανάπτυξης οντολογιών οι δραστηριότητες της εννοιολογικής μοντελοποίησης, της τυποποίησης και της κωδικοποίησης πραγματοποιούνται κατά κανόνα μέσω κάποιας γλώσσας οντολογιών. Μία τέτοια γλώσσα ορίζει ένα σύνολο δομών έκφρασης νοήματος οι οποίες επιτρέπουν την αναπαράσταση γνώσης με τρόπο σαφή, τυποποιημένο και υπολογιστικά ερμηνεύσιμο.

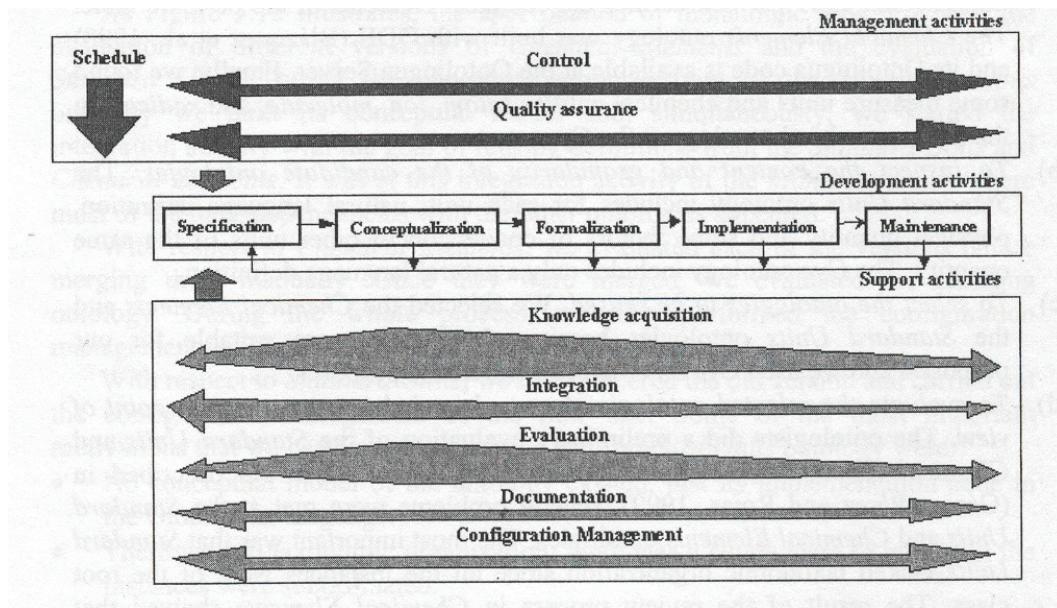
Οι διαφορετικές γλώσσες οντολογιών διακρίνονται με βάση την εκφραστικότητα που προσφέρουν, την ευκολία χρήσης τους και την υπολογιστική πολυπλοκότητα που τις διέπει. Ως εκ τούτου κατά την επιλογή μιας γλώσσας για την αναπαράσταση μιας οντολογίας πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι εξής παράμετροι:



Σχήμα 2.6: Η μεθοδολογία On-To-Knowledge [124]

- **Εκφραστικότητα της γλώσσας:** Η εκφραστική δύναμη μιας γλώσσας αναπαράστασης γνώσης είναι ένα μέτρο του εύρους των δομών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να περιγραφούν με τυπικό, ρητό, ακριβή αλλά και ευέλικτο τρόπο τα συστατικά μιας οντολογίας.
- **Σημασιολογία της γλώσσας:** Η σημασιολογία μιας γλώσσας αναφέρεται στην ερώτηση εάν είναι σαφές το τι σημαίνουν οι επιμέρους γλωσσικές δομές. Οι σαφείς ορισμοί της σημασιολογίας και μία καλή κατανόηση αυτών είναι απαραίτητοι ειδικά εάν η οντολογία πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την ανταλλαγή πληροφοριών.
- **Πολυπλοκότητα εξαγωγής συμπερασμάτων:** Η πολυπλοκότητα της εξαγωγής συμπερασμάτων είναι ένα μέτρο το οποίο περιγράφει το μέγεθος των υπολογιστικών πόρων που απαιτούνται, για να υπολογίσουν τις εκφράσεις στη δεδομένη γλώσσα αναπαράστασης γνώσης, και αναπόφευκτα συσχετίζεται με την εκφραστικότητα της χρησιμοποιούμενης γλώσσας. Ενώ η υψηλότερη εκφραστικότητα επιτρέπει συνήθως όλο και πιο σύνθετες δηλώσεις σχετικά με τη μοντελοποιούμενη περιοχή, απαιτεί περισσότερους υπολογιστικούς πόρους προκειμένου να υπολογίσει όλες τις πιθανές εκφράσεις.

Οι σύγχρονες γλώσσες οντολογιών, αν και διαφορετικές μεταξύ τους, μοιράζονται



Σχήμα 2.7: Η μεθοδολογία METHONTOLOGY [5]

πολλές δομικές ομοιότητες αναφορικά με τα εκφραστικά μέσα που προσφέρουν. Έτσι οι περισσότερες από αυτές περιγράφουν τα εξής:

- **Έννοιες (Concepts):** Σύνολα, συλλογές ή τύποι αντικειμένων.
- **Στιγμιότυπα (Instances):** Τα αντικείμενα που κατηγοριοποιούνται βάσει των έννοιών.
- **Ιδιότητες (Attributes):** Ιδιότητες, χαρακτηριστικά γνωρίσματα, γενικά χαρακτηριστικά ή παράμετροι, που μπορούν να έχουν ή και να μοιράζονται τα αντικείμενα.
- **Σχέσεις (Relations):** Οι τρόποι με τους οποίους μπορούν να συσχετισθούν τα αντικείμενα μεταξύ τους.
- **Ταξονομίες Έννοιών (Concept Taxonomies):** Ιεραρχικές δομές που συσχετίζουν έννοιες με βάση σχέσεις γενίκευσης-ειδίκευσης.
- **Αξιώματα και Κανόνες (Axioms and Rules):** Λογικοί κανόνες και περιορισμοί που πρέπει να διέπουν την οντολογία.

Γενικά οι γλώσσες οντολογιών χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις προερχόμενες από την τεχνητή νοημοσύνη (AI-based) και τις προερχόμενες από τις τεχνολογίες ιστού (web-based). Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν γλώσσες που βασίζονται σε κάποια

Ontology life-cycle phases	Goals	Tasks
Specification	Define aim / scope/ requirements/ teams	<ul style="list-style-type: none"> ▪ discuss requirements (S) ▪ produce documents (S) ▪ identify collaborators (S) ▪ specify the scope, aim of the ontology (S)
Conceptualisation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Acquire knowledge ▪ Develop & Maintain Ontology 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ import from ontology libraries (P) ▪ consult generic top ontology (P) ▪ consult domain experts by discussion (S) ▪ improvise (P) ▪ manage conceptualisations (P) ▪ merge versions (P) ▪ compare own versions (P) ▪ generalize/specialize versions (P) ▪ add documentation (P)
Exploitation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Use ontology ▪ Evaluate ontology 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ browse ontology (P) ▪ exploit in applications ▪ initiate arguments and criticism (S) ▪ compare others' versions (S) ▪ browse/exploit agreed ontologies (S) ▪ manage the recorded discussions upon an ontology (S) ▪ propose new ontology versions by incorporating suggested changes (S)

Σχήμα 2.8: Η μεθοδολογία HCOME [65]

λογικό φορμαλισμό (π.χ. λογική πρώτης τάξης, περιγραφικές λογικές κ.λ.π). Παραδείγματα αποτελούν οι γλώσσες KIF [84], CycL [28] , Ontolingua [4], LOOM [100], OCML [29] και FLogic [76].

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει γλώσσες το συντακτικό των οποίων βασίζεται σε γλώσσες όπως είναι η HTML και η XML και οι οποίες αναπτύχθηκαν αρχικά με σκοπό την αναπαράσταση και ανταλλαγή δεδομένων. Παραδείγματα τέτοιων γλωσσών είναι η SHOE [109], η XOL [95], το RDF [86], το RDF Schema [22] και η OWL [107].

2.3.4 Περιγραφικές Λογικές

Οι Περιγραφικές Λογικές (ΠΛ) (Description Logics - DLs) [33] αποτελούν μια οικογένεια γλωσσών αναπαράστασης γνώσης που βασίζονται στη λογική (logic-based) και που έχουν σχεδιαστεί για την καταγραφή γνώσης αλλά και τη διενέργεια εργασιών συλλογιστικής πάνω σε αυτή, με τρόπο δομημένο και κατανοητό. Βασίζονται σε μια ευρύτερη οικογένεια γλωσσών αναπαράστασης γνώσης οι οποίες ονομάζονται γλώσσες περιγραφής (description languages) και ουσιαστικά προέκυψαν από τη συστηματική και μακροχρόνια προσπάθεια ορισμού αυστηρής σημασιολογίας για

τη γλώσσα των Σημασιολογικών Δικτύων (Semantic Networks) [102] αλλά και της γλώσσας των Πλαισίων (Frames) [78], για τις οποίες μέχρι τότε δεν υπήρχε κάποια μαθηματική θεωρία για την απόδοση τυπικής σημασιολογίας.

Οι Περιγραφικές Λογικές προσφέρουν ένα σύνολο από κατασκευαστές (constructors) για τη δημιουργία εννοιών (concepts) και ρόλων (roles). Οι έννοιες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αξιώματα (axioms) και ισχυρισμούς (assertions) με σκοπό τη δημιουργία βάσεων γνώσης. Με αυτό τον τρόπο καθίσταται δυνατή η εφαρμογή εργασιών συλλογιστικής πάνω στις βάσεις γνώσης προκειμένου να εξαχθεί νέα γνώση από την περιγραφείσα.

Μια Περιγραφική Λογική αποτελείται τυπικά από ένα αλφάριθμο (alphabet), ένα συντακτικό (syntax) και μια σημασιολογία (semantics). Το αλφάριθμο περιλαμβάνει διακεκριμένες ατομικές έννοιες (atomic concepts) (**C**), ατομικούς ρόλους (atomic roles) (**R**) και άτομα (individuals) (**I**). Οι ατομικές έννοιες και οι ρόλοι αποτελούν τα στοιχειώδη στοιχεία της γλώσσας ενώ προσφέρεται και ένα σύνολο από κατασκευαστές οι οποίοι επενεργούν πάνω στις ατομικές έννοιες και ρόλους και συντελούν στην κατασκευή περισσότερο πολύπλοκων εννοιών και εκφράσεων που ονομάζονται περιγραφές εννοιών ή σύνθετες έννοιες. Ανάλογα με το υποσύνολο των κατασκευαστών που χρησιμοποιούνται ορίζεται και μια διαφορετική Περιγραφική Λογική.

Στις πιο γνωστές περιγραφικές λογικές συγκαταλέγεται η λογική SHOIN [52] [51] η οποία αποτελεί τη βάση της γλώσσας OWL (Ontology Web Language) που είναι πρότυπο του World Wide Web Consortium (W3C) για την αναπαράσταση γνώσης στο Σημασιολογικό Ιστό. Επιπλέον, όπως θα φανεί στο κεφάλαιο 3, οι κυριότερες και πιο ολοκληρωμένες προσπάθειες δημιουργίας ασαφών οντολογιών επικεντρώνονται στην ενσωμάτωση ασαφών χαρακτηριστικών σε αυτή τη λογική.

2.3.5 Η Γλώσσα OWL

Ο Σημασιολογικός Ιστός αποτελεί μια επέκταση του σημερινού Ιστού στην οποία η πληροφορία θα είναι δομημένη με έναν τυπικό τρόπο ο οποίος θα της προσδίδει αυστηρή σημασιολογία. Προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος αυτός απαιτείται η εισαγωγή γνώσης και η δομή της πληροφορίας με τη χρήση γλωσσών αναπαράστασης γνώσης. Για να χρησιμοποιήσουμε όμως τέτοιες τεχνολογίες στο διαδίκτυο θα πρέπει να αναθεωρήσουμε και να τροποποιήσουμε κάποια από τα συστατικά τους. Πιο συγκεκριμένα, όπως είναι γνωστό, στο σημερινό Ιστό κατά ένα πολύ μεγάλο ποσοστό η πληροφορία δομείται με τη χρήση της γλώσσας XML. Έτσι λοιπόν αφενός πρέπει να περιγράψουμε γνώση με τη χρήση κάποιας γλώσσας αναπαράστασης γνώσης αλλά αφετέρου η σύνταξη της γλώσσας που θα χρησιμοποιήσουμε θα πρέπει να βασίζεται

στη γλώσσα XML. Για το λόγο αυτό το World Wide Web Consortium (W3C), το οποίο είναι ο οργανισμός που ασχολείται με την ανάπτυξη και προτυποποίηση τεχνολογιών για τον Παγκόσμιο Ιστό, έχει αναπτύξει αρκετές γλώσσες αναπαράστασης γνώσης. Η πιο εκφραστική από αυτές είναι η γλώσσα OWL (Ontology Web Language) [107].

Η OWL είναι μια γλώσσα οντολογιών για το Σημασιολογικό Ιστό, η οποία έχει αρκετά κοινά στοιχεία με τις Περιγραφικές Λογικές αλλά και κάποιες σημαντικές διαφορές. Το πρότυπο της OWL καθορίζει ουσιαστικά τρεις υπογλώσσες αυξανόμενης εκφραστικής δυνατότητας οι οποίες είναι:

- **OWL Lite:** Η γλώσσα αυτή απευθύνεται σε χρήστες οι οποίοι επιθυμούν να χρησιμοποιήσουν την OWL για την περιγραφή γνώσης σε εφαρμογές που δεν έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε εκφραστικές δυνατότητες. Έτσι δίνεται η δυνατότητα ανάπτυξης εξειδικευμένων εργαλείων και μηχανισμών εξαγωγής συμπερασμάτων τα οποία αναμένεται να λειτουργούν ταχύτερα από εργαλεία τα οποία υλοποιούν περισσότερο εκφραστικές γλώσσες. Μιλώντας με όρους Περιγραφικών Λογικών η γλώσσα αυτή παρέχει την ίδια εκφραστική δυνατότητα με τη γλώσσα SHIF.
- **OWL DL:** Η γλώσσα αυτή δίνει τη μέγιστη εκφραστική δυνατότητα που προσφέρεται από τη γλώσσα OWL χωρίς όμως να χάνονται οι καλές υπολογιστικές ιδιότητές της. Αυτό σημαίνει ότι η γλώσσα αυτή, σε αντίθεση με την τελευταία υπογλώσσα της OWL, είναι αποφασίσιμη (decidable). Συγκριτικά με τις Περιγραφικές Λογικές, η OWL DL παρέχει την ίδια εκφραστική δυνατότητα με τη γλώσσα SHOIN [52] [51].
- **OWL Full:** Η γλώσσα αυτή προσφέρει το ίδιο λεξιλόγιο με τη γλώσσα OWL DL. Επιπρόσθετα όμως παρέχει τη συντακτική ελευθερία και τα χαρακτηριστικά της γλώσσας RDF και πιο συγκεκριμένα τη δυνατότητα μετα-μοντελοποίησης. Η γλώσσα αυτή είναι μη-αποφασίσιμη (undecidable) [13] και αυτή τη στιγμή δεν υποστηρίζεται από κανένα σύστημα.

Όπως και οι Περιγραφικές Λογικές έτσι και η OWL DL ορίζεται από ένα αλφαριθμητικό οποίο αποτελείται από ένα σύνολο ατομικών κλάσεων, ατομικών ιδιοτήτων και ατόμων (ή στιγμιοτύπων), μαζί με ένα πλήθος από κατασκευαστές κλάσεων για τη δημιουργία περίπλοκων κλάσεων αλλά και το χαρακτηρισμό ιδιοτήτων. Αυτοί οι κατασκευαστές έχουν στενή σχέση με τους κατασκευαστές των ΠΛ που είδαμε στην προηγούμενη ενότητα. Παρατηρήστε ότι οι κλάσεις και οι ιδιότητες είναι τα ανάλογα των εννοιών και των ρόλων στις ΠΛ. Συντακτικά η OWL κληρονομεί την RDF/XML

σύνταξη της RDF. Παρόλα αυτά το πρότυπο της OWL ορίζει και εναλλακτικούς τρόπους σύνταξης για την πιο συμπαγή και τυπική γραφή των αξιωμάτων [97].

Βάσει της RDF/XML σύνταξης, τα δομικά στοιχεία της γλώσσας OWL είναι τα ακόλουθα:

- **owl:Class:** Μια κλάση ορίζει μια ομάδα ατόμων (στιγμιοτύπων) που έχουν κοινές ορισμένες ιδιότητες. Υπάρχει μια προκατασκευασμένη γενική κλάση που ονομάζεται Thing και η οποία είναι η κλάση όλων των ατόμων και υπερκλάση όλων των OWL κλάσεων.
- **rdfs:subClassOf:** Ιεραρχίες κλάσεων μπορούν να δημιουργηθούν πραγματοποιώντας μία ή περισσότερες δηλώσεις ότι μια κλάση είναι υποκλάση μιας άλλης.
- **rdf:Property, owl:ObjectProperty, owl:DatatypeProperty:** Οι ιδιότητες χρησιμοποιούνται για να δηλώσουν ιδιότητες μεταξύ ατόμων (στιγμιοτύπων) ή μεταξύ ατόμων και τιμών. Ιδιότητες που συνδέουν άτομα μεταξύ τους λέγονται object properties, ενώ ιδιότητες που συνδέουν άτομα με τιμές λέγονται datatype properties. Τόσο η owl:ObjectProperty όσο και η owl:DatatypeProperty είναι υποκλάσεις της rdf:Property.
- **rdfs:subPropertyOf:** Ιεραρχίες ιδιοτήτων μπορούν να δημιουργηθούν κάνοντας μία ή περισσότερες δηλώσεις ότι μια ιδιότητα είναι υπο-ιδιότητα μιας ή περισσοτέρων ιδιοτήτων. Για παράδειγμα, η ιδιότητα "έχω Αδελφό" είναι υπο-ιδιότητα της ιδιότητας "έχω Συγγενή".
- **rdfs:domain:** Το πεδίο ορισμού μιας ιδιότητας περιορίζει τα στιγμιότυπα στα οποία μπορεί αυτή να εφαρμοστεί. Αν μια ιδιότητα συσχετίζει ένα στιγμιότυπο με ένα άλλο και η ιδιότητα έχει ως πεδίο ορισμού μια κλάση, τότε το πρώτο στιγμιότυπο πρέπει ανήκει σε αυτήν την κλάση.
- **rdfs:range:** Το πεδίο τιμών μιας ιδιότητας περιορίζει τα στιγμιότυπα που αυτή μπορεί να έχει ως τιμή. Αν μια ιδιότητα συσχετίζει ένα στιγμιότυπο με ένα άλλο και ιδιότητα έχει ως πεδίο τιμών μια κλάση, τότε το δεύτερο στιγμιότυπο πρέπει ανήκει σε αυτήν την κλάση.
- **owl:Individual:** Τα άτομα είναι στιγμιότυπα κλάσεων και οι ιδιότητες μπορούν να συσχετίσουν ένα άτομο με ένα άλλο.
- **owl:equivalentClass:** Δύο κλάσεις είναι ισοδύναμες όταν έχουν τα ίδια στιγμιότυπα. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να οριστούν συνώνυμες κλάσεις.

- **owl:equivalentProperty:** Δύο ιδιότητες όταν συνδέουν ένα άτομο με το ίδιο σύνολο ατόμων. Η ισοδυναμία Με αυτό τον τρόπο μπορούν να οριστούν συνώνυμες ιδιότητες.
- **owl:sameAs:** Δύο άτομα μπορούν να δηλωθούν ότι είναι τα ίδια. Αυτό το δομικό στοιχείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργηθεί ένας αριθμός διαφορετικών ονομάτων για το ίδιο άτομο.
- **owl:differentFrom:** Ένα άτομο μπορεί να δηλωθεί ότι είναι διαφορετικό από ένα άλλο. Η ρητή δήλωση ότι δύο άτομα είναι διαφορετικά μπορεί να είναι πολύ σημαντική σε γλώσσες όπως η OWL και η RDF οι οποίες δεν υποθέτουν ότι τα άτομα έχουν ένα και μοναδικό όνομα.
- **owl:AllDifferent:** Ένας αριθμός ατόμων μπορούν να δηλωθούν ως διαφορετικά μεταξύ τους με τη χρήση μιας owl:AllDifferent δήλωσης. Αυτό χρειάζεται όταν υπάρχουν σύνολα διαφορετικών αντικειμένων και οι κατασκευαστές μιας οντολογίας επιθυμούν να ενισχύσουν την υπόθεση μοναδικών ονομάτων σε αυτά τα σύνολα.
- **owl:InverseOf:** Μια ιδιότητα μπορεί να δηλωθεί ως αντίστροφη μιας άλλης. Αν η ιδιότητα P_1 είναι η αντίστροφη της P_2 , τότε αν το x συσχετίζεται με το y μέσω της P_1 , τότε το Y συσχετίζεται με το X μέσω της P_2 .
- **owl:TransitiveProperty:** Μια ιδιότητα μπορεί να δηλωθεί ως μεταβατική. Αν μια ιδιότητα είναι μεταβατική, τότε αν το ζεύγος (x, y) είναι στιγμιότυπο της μεταβατικής ιδιότητας P και το ζεύγος (y, z) είναι στιγμιότυπο της P , ισχύει ότι το ζεύγος (x, z) είναι επίσης στιγμιότυπο της P .
- **owl:SymmetricProperty:** Μια ιδιότητα μπορεί να δηλωθεί ως συμμετρική. Αν μια ιδιότητα είναι συμμετρική, τότε αν το ζεύγος (x, y) είναι στιγμιότυπο της συμμετρικής ιδιότητας P , ισχύει ότι και το ζεύγος (y, x) είναι στιγμιότυπο της P .
- **owl:FunctionalProperty:** Μια ιδιότητα μπορεί να δηλωθεί ότι έχει μοναδική τιμή. Αν μια ιδιότητα είναι μονότιμη, τότε δεν έχει παραπάνω από μία τιμή για κάθε άτομο (μπορεί βέβαια, να μην έχει τιμή για κάποιο άτομο).
- **owl:InverseFunctionalProperty:** Μια ιδιότητα μπορεί να δηλωθεί ως αντιστρόφως μονότιμη. Αν μια ιδιότητα είναι αντιστρόφως μονότιμη, αυτό σημαίνει ότι η αντίστροφή της είναι μονότιμη. Επομένως, η αντίστροφη αυτής της ιδιότητας έχει το πολύ μία τιμή για κάθε άτομο.

- **owl:allValuesFrom:** Ο περιορισμός allValuesFrom τίθεται σε μια ιδιότητα και αναφέρεται σε μία κλάση. Σημαίνει ότι η ιδιότητα στη συγκεκριμένη αυτή κλάση περιορίζεται από έναν περιορισμό πεδίου τιμών. Επομένως, αν ένα στιγμιότυπο της κλάσης σχετίζεται μέσω αυτής της ιδιότητας με ένα δεύτερο άτομο, τότε μπορεί να συναχθεί ότι το άτομο αυτό είναι στιγμιότυπο της κλάσης που αποτελεί τον περιορισμό του πεδίου τιμών. Για παράδειγμα, η κλάση Πρόσωπο μπορεί να έχει μια ιδιότητα που ονομάζεται "έχειΚόρη", η οποία περιορίζεται να έχει όλες τις τιμές της από την κλάση Γυναίκα.
- **owl:someValuesFrom:** Ο περιορισμός someValuesFrom τίθεται σε μια ιδιότητα και αναφέρεται σε μία κλάση. Μία συγκεκριμένη κλάση μπορεί να έχει έναν περιορισμό που να δηλώνει ότι μια τουλάχιστον τιμή για μία ιδιότητά της πρέπει να είναι συγκεκριμένου τύπου. Σε αντίθεση με την allValuesFrom, η someValuesFrom δεν περιορίζει όλες τις τιμές της ιδιότητας να είναι στιγμιότυπα της ίδιας κλάσης.
- **owl:minCardinality:** Ο περιορισμός ελάχιστης πληθικότητας τίθεται σε μια ιδιότητα και αναφέρεται σε μία κλάση. Αν τεθεί σε μια ιδιότητα ελάχιστη πληθικότητα 1, αυτό σημαίνει ότι κάθε στιγμιότυπο της κλάσης στην οποία έχει τεθεί αυτός ο περιορισμός θα πρέπει να έχει τουλάχιστον μία τιμή για αυτήν την ιδιότητα. Για παράδειγμα, η κλάση Πατέρας θα πρέπει να έχει ελάχιστη πολλαπλότητα τιμής 1 για την ιδιότητα "έχειΑπόγονο".
- **owl:maxCardinality:** Ομοίως με παραπάνω, αυτός ο περιορισμός θέτει τη μέγιστη πληθικότητα για μια ιδιότητα σε μια συγκεκριμένη κλάση.
- **owl:minCardinality, owl:maxCardinality, owl:cardinality:** Αυτός ο περιορισμός θέτει αντίστοιχα την ελάχιστη, μέγιστη και ακριβή πληθικότητα που πρέπει να έχει μια ιδιότητα σε μια συγκεκριμένη κλάση.
- **owl:oneOf:** Οι κλάσεις μπορούν να περιγραφούν ως απαριθμηση των ατόμων που αποτελούν την κλάση. Τα μέλη της κλάσης είναι ακριβώς το σύνολο των απαριθμημένων ατόμων.
- **owl:hasValue:** Μια ιδιότητα μπορεί να χρειάζεται να έχει ως τιμή ένα συγκεκριμένο άτομο.
- **owl:disjointWith:** Δύο ή περισσότερες κλάσεις μπορούν να δηλωθούν ότι είναι ξένες μεταξύ τους, ότι δεν έχουν δηλαδή κοινά στοιχεία.

- **owl:unionOf, owl:complementOf, owl:intersectionOf:** Συνδυασμοί κλάσεων και περιορισμών με τη χρησιμοποίηση των μηχανισμών της ένωσης, του συμπληρώματος και της τομής αντίστοιχα.

2.4 Ασαφής Άλγεβρα

Στην ενότητα αυτή γίνεται μία εισαγωγή στις κυριότερες έννοιες της θεωρίας ασαφών συνόλων (fuzzy set theory) [67]. Γενικά η ασαφής συνολοθεωρία είναι μια ευρέως διαδεδομένη μαθηματική θεωρία η οποία αποβλέπει στη μοντελοποίηση και διαχείριση ασαφούς (vague) πληροφορίας και γνώσης [38]. Η βασική ιδέα είναι ότι ενώ στην κλασική συνολοθεωρία ένα αντικείμενο είτε ανήκει είτε δεν ανήκει σε ένα σύνολο, στην ασαφή συνολοθεωρία ένα αντικείμενο μπορεί να ανήκει σε κάποιο βαθμό ο οποίος παίρνει τιμές από το διάστημα $[0, 1]$.

2.4.1 Ασαφή Σύνολα

Όπως στην κλασική θεωρία συνόλων, αφετηρία είναι ένα καθολικό σύνολο S . Ένα ασαφές σύνολο A επί του S , ή ισοδύναμα ένα ασαφές υποσύνολο του S είναι μια αντιστοίχιση

$$\mu_A : S \rightarrow [0, 1] \quad (2.1)$$

Η αντιστοίχιση αυτή ονομάζεται και συνάρτηση συμμετοχής. Συχνά το σύμβολο της συνάρτησης συμμετοχής είναι το ίδιο το σύμβολο A . Για $s \in S$, το $A(s)$ συμβολίζει το βαθμό, στον οποίο το s ανήκει στο A , ή ισοδύναμα την τιμή $\mu_A(s)$ στην οποία η συνάρτηση συμμετοχής αντιστοιχεί το s .

Η μέγιστη τιμή της συνάρτησης συμμετοχής για ένα ασαφές σύνολο ονομάζεται ύψος του ασαφούς συνόλου και συμβολίζεται ως

$$h(A) = \sup_{s \in S} A(s) \quad (2.2)$$

Ένα ασαφές σύνολο A καλείται κανονικό αν το ύψος του $h(A)$ είναι 1. Άλλες έννοιες της κλασικής θεωρίας συνόλων, που γενικεύονται από τη θεωρία ασαφών συνόλων είναι ο βαθμωτός πληθυκός αριθμός $|A|$:

$$|A| = \sum_{s \in S} A(s) \quad (2.3)$$

το υποσύνολο $A \subseteq B$:

$$A \subseteq B \Leftrightarrow A(s) \leq B(s), \forall s \in S \quad (2.4)$$

και οι έννοιες της τομής t

$$t(x, 1) = x \quad (2.5)$$

$$x_1 \leq x_2 \Leftrightarrow t(x, x_1) \leq t(x, x_2) \quad (2.6)$$

$$t(x_1, x_2) = t(x_2, x_1) \quad (2.7)$$

$$t(x_1, t(x_2, x_3)) = t(t(x_1, x_2), x_3) \quad (2.8)$$

ένωσης u

$$u(x, 0) = x \quad (2.9)$$

$$x_1 \leq x_2 \Leftrightarrow u(x, x_1) \leq u(x, x_2) \quad (2.10)$$

$$u(x_1, x_2) = u(x_2, x_1) \quad (2.11)$$

$$u(x_1, u(x_2, x_3)) = u(u(x_1, x_2), x_3) \quad (2.12)$$

και του συμπληρώματος c

$$c(0) = 1 \quad (2.13)$$

$$c(1) = 0 \quad (2.14)$$

$$x_1 \leq x_2 \Leftrightarrow c(x_1) \geq c(x_2) \quad (2.15)$$

Αντίθετα με την κλασική θεωρία συνόλων, υπάρχουν πολλές επιλογές για συναρτήσεις τομής, ένωσης και συμπληρώματος. Οι συνηθέστερες (κλασσικές) επιλογές είναι για τομή η

$$t(x_1, x_2) = \min(x_1, x_2) \quad (2.16)$$

για ένωση η

$$u(x_1, x_2) = \max(x_1, x_2) \quad (2.17)$$

και για συμπλήρωμα η

$$c(x) = 1 - x \quad (2.18)$$

Αν μια νόρμα τομής t (t -νόρμα) είναι συνεχής και ισχύει

$$t(x, x) < x, \quad \forall x \in (0, 1) \quad (2.19)$$

τότε η νόρμα λέγεται Αρχιμήδεια.

Αν μια νόρμα τομής t , μια νόρμα ένωσης u (s -νόρμα) και ένα συμπλήρωμα c ικανοποιούν τις σχέσεις

$$c(t(x_1, x_2)) = u(c(x_1), c(x_2)) \quad (2.20)$$

$$c(u(x_1, x_2)) = t(c(x_1), c(x_2)) \quad (2.21)$$

(δηλαδή αν ικανοποιούν το νόμο De Morgan) τότε η τριάδα (t, u, c) ονομάζεται δυική τριάδα. Σημαντικές δυικές τριάδες είναι οι:

$$(min(x_1, x_2), max(x_1, x_2), 1 - x) \quad (2.22)$$

$$(x_1 x_2, x_1 + x_2 - x_1 x_2, 1 - x) \quad (2.23)$$

$$(max(0, x_1 + x_2 - 1), min(1, x_1 + x_2), 1 - x) \quad (2.24)$$

2.4.2 Ασαφείς Σχέσεις

Μία ασαφής R σχέση από το (κλασικό) σύνολο A στο (κλασικό) B είναι ένα ασαφές σύνολο επί του $A \times B$. Αντίστοιχα λοιπόν με την περίπτωση των ασαφών συνόλων ορίζονται η τομή και η ένωση:

$$[R_1 \cup R_2](s_2, s_2) = u(R_1(s_1, s_2), R_2(s_1, s_2)) \quad (2.25)$$

$$[R_1 \cap R_2](s_2, s_2) = t(R_1(s_1, s_2), R_2(s_1, s_2)) \quad (2.26)$$

Η αντίστροφη σχέση ορίζεται ως

$$R^{-1}(s_1, s_2) \doteq R(s_2, s_1) \quad (2.27)$$

Η σύνθεση $\sup -t$ ορίζεται ως

$$\left[A \stackrel{t}{\circ} B \right] (s_1, s_2) \doteq \sup_{s \in S} (t(A(s_1, s), B(s, s_2))) \quad (2.28)$$

ενώ για την αντίστροφη της σύνθεσης $(P \circ Q)^{-1}$ ισχύει

$$(P \circ Q)^{-1} = Q^{-1} \circ P^{-1} \quad (2.29)$$

Η ταυτοτική σχέση I

$$I(s_1, s_2) = 1, s_1 = s_2 \quad (2.30)$$

$$I(s_1, s_2) = 0, s_1 \neq s_2 \quad (2.31)$$

είναι το ουδέτερο στοιχείο της σύνθεσης

$$R \circ I = I \circ R = R, \forall R \quad (2.32)$$

Ιδιαίτερα χρήσιμοι ορισμοί είναι αυτοί της ανακλαστικότητας

$$R \supseteq I \quad (2.33)$$

συμμετρικότητας

$$R = R^{-1} \quad (2.34)$$

και $\sup -t$ μεταβατικότητας

$$R \stackrel{t}{\circ} R \subseteq R \quad (2.35)$$

Επίσης, οι ιδιότητες της ισοδυναμίας (ανακλαστική, συμμετρική και μεταβατική), συμβατότητας (ανακλαστική και συμμετρική), διάταξης (αντισυμμετρική και μεταβατική) και ημιδιάταξης (μεταβατική και ανακλαστική).

2.4.3 Μεταβατικό Κλείσιμο

Η ιδιότητα της μεταβατικότητας είναι μια από τις πιο σημαντικές ιδιότητες, όσον αφορά στις ασαφείς δυαδικές σχέσεις, ειδικά στην περίπτωση που οι τελευταίες χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση χαρακτηριστικών ομοιότητας ή και διάταξης της πληροφορίας. Ο αυστηρός μαθηματικός ορισμός του μεταβατικού κλεισίματος μιας δυαδικής σχέσης R σε ένα σύνολο X το ορίζει ως την μικρότερη μεταβατική σχέση στο X που περιέχει την R .

Παραδείγματος χάριν, εάν το X είναι το σύνολο των ανθρώπων (ζωντανών ή νεκρών) και η R είναι η σχέση "γονέας", τότε το μεταβατικό κλείσιμο της R είναι η σχέση " x είναι πρόγονος του y , $x, y \in X$ ". Η με άλλα λόγια, αν το X είναι ένα σύνολο αεροδρομίων, $x, y \in X$ και $R(x, y)$ σημαίνει "υπάρχει μια απ' ευθείας πτήση από το αεροδρόμιο x στο αεροδρόμιο y ", τότε το μεταβατικό κλείσιμο της R είναι η σχέση "είναι δυνατόν να πετάξει κανείς από το x στο y με μια ή περισσότερες πτήσεις".

Το μεταβατικό κλείσιμο ασαφών δυαδικών σχέσεων έχει μελετηθεί στα πλαίσια των [83] [94], [47] και [50]. Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής το μεταβατικό κλείσιμο $Tr^t(R)$ μια πλήρους δυαδικής σχέσης R , με δεδομένη μια t-norm, υπολογίζεται με

την ακόλουθη μέθοδο [38]:

$$Tr^t(R) = \bigcup_{f=1}^{\infty} R^f \quad (2.36)$$

$$R^{f+1} = R^f \circ^t R \quad (2.37)$$

$$R^1 = R \quad (2.38)$$

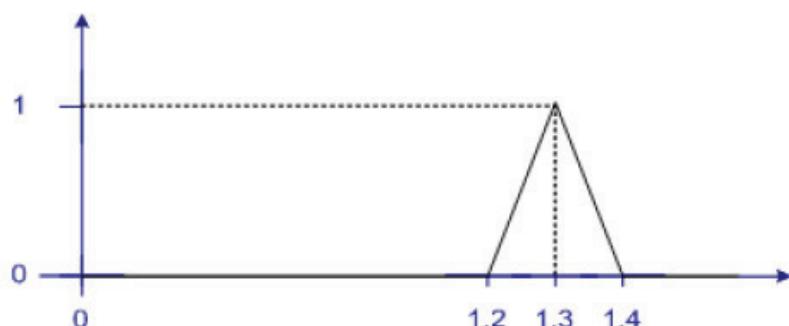
Στη σχέση 2.36 χρησιμοποιείται η κλασική ένωση max. Υποθέτοντας πως το καθολικό σύνολο Σ είναι φραγμένο ($|S| = n$), η σχέση 2.36 γράφεται τελικά ως:

$$Tr^t(R) = \bigcup_{f=1}^{n-1} R^f \quad (2.39)$$

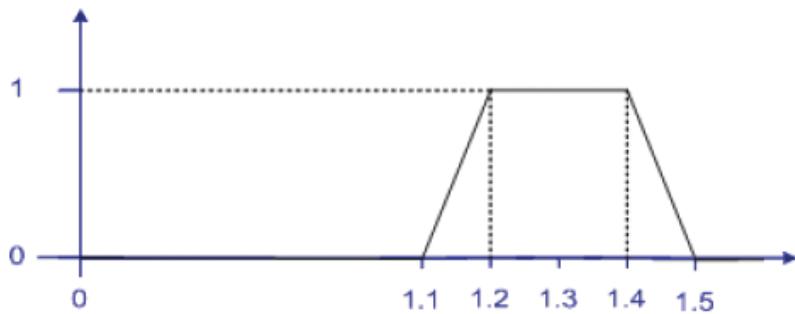
2.4.4 Ασαφείς Αριθμοί

Διαισθητικά, ένας ασαφής αριθμός δεν είναι τίποτα παραπάνω από ένα ασαφές σύνολο με πεδίο ορισμού το σύνολο των πραγματικών αριθμών και το οποίο αντιπροσωπεύει έναν πραγματικό αριθμό. Ο όρος "αντιπροσωπεύει" υπονοεί ότι η συνάρτηση συμμετοχής λαμβάνει τιμές πιο κοντά στο 1 όσο προσεγγίζει κανείς τον αριθμό αυτό (είτε από αριστερά είτε από δεξιά) και πιο κοντά στο 0 όσο απομακρύνεται από αυτόν.

Τυπικές συναρτήσεις συμμετοχής που χρησιμοποιούνται για τους ασαφείς αριθμούς είναι οι τριγωνικές (σχήμα 2.9) και οι τραπεζοειδείς (σχήμα 2.10) ενώ αρκετά δημοφιλείς είναι και οι γκαουσιανές.



Σχήμα 2.9: Ασαφής Τριγωνικός Αριθμός



Σχήμα 2.10: Ασαφής Τραπεζοειδής Αριθμός

2.4.5 Γλωσσικές Μεταβλητές

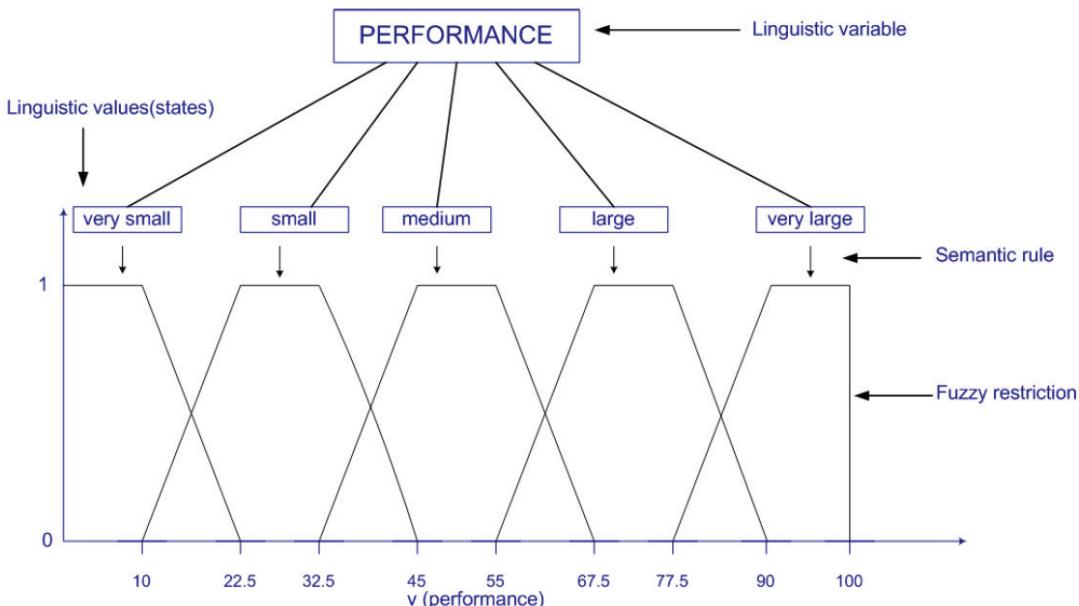
Με βάση τους ασαφείς αριθμούς ορίζονται οι γλωσσικές μεταβλητές. Μια γλωσσική μεταβλητή διαθέτει μία μεταβλητή βάσης, οι τιμές της οποίας είναι πραγματικοί αριθμοί σ' ένα προκαθορισμένο εύρος. Μία μεταβλητή βάσης μπορεί να έχει είτε φυσική υπόσταση (π.χ. θερμοκρασία) είτε να πρόκειται για κάτι μετρήσιμο (π.χ. αξιοπιστία). Στο πλαίσιο μιας γλωσσικής μεταβλητής χρησιμοποιούνται διαβαθμίσεις (π.χ. πολύ λίγο, λίγο, μέτρια, πολύ πάρα πολύ) οι οποίες αντιστοιχούν σε ασαφείς αριθμούς.

Με πιο τυπικό τρόπο, μία γλωσσική μεταβλητή αποτελείται από μία πεντάδα (u, T, X, g, m) , όπου u είναι το όνομα της μεταβλητής, T είναι το σύνολο των γλωσσικών όρων που αναφέρονται στη μεταβλητή u και των οποίων η σημασία καλύπτει όλο το εύρος του καθολικού συνόλου X , g είναι ένας γραμματικός κανόνας για την παραγωγή γλωσσικών όρων και m είναι ένας σημασιολογικός κανόνας ο οποίος αναθέτει σε κάθε γλωσσικό όρο $t \in T$ μια σημασία $m(t)$ η οποία με τη σειρά της αντιστοιχεί σε ένα ασαφές σύνολο στο X .

Στο σχήμα 2.11 δίνεται ένα διάγραμμα με τα ασαφή σύνολα που αντιστοιχούν στη γλωσσική μεταβλητή της απόδοσης. Παρατηρείται ο ρόλος που διαδραματίζουν σε μία γλωσσική μεταβλητή η μεταβλητή βάσης (performance), οι γλωσσικές τιμές (very small, small, medium, large , very large) και οι σημασιολογικοί κανόνες που αντιστοιχίζουν κάθε γλωσσική τιμή στο ανάλογο ασαφές σύνολο.

2.4.6 Γλωσσικοί Τροποποιητές και Ποσοτικοποιητές

Ένας γλωσσολογικός τροποποιητής (modifier) είναι μια πράξη που "ρυθμίζει" τη βαρύτητα της έννοιας ενός όρου. Για παράδειγμα στη φράση "πολύ κοντά στο 0" , η λέξη "πολύ" τροποποιεί τη φράση "κοντά στο 0" η οποία είναι ένα ασαφές σύνολο.



Σχήμα 2.11: Παράδειγμα Ασαφούς Γλωσσικής Μεταβλητής [38]

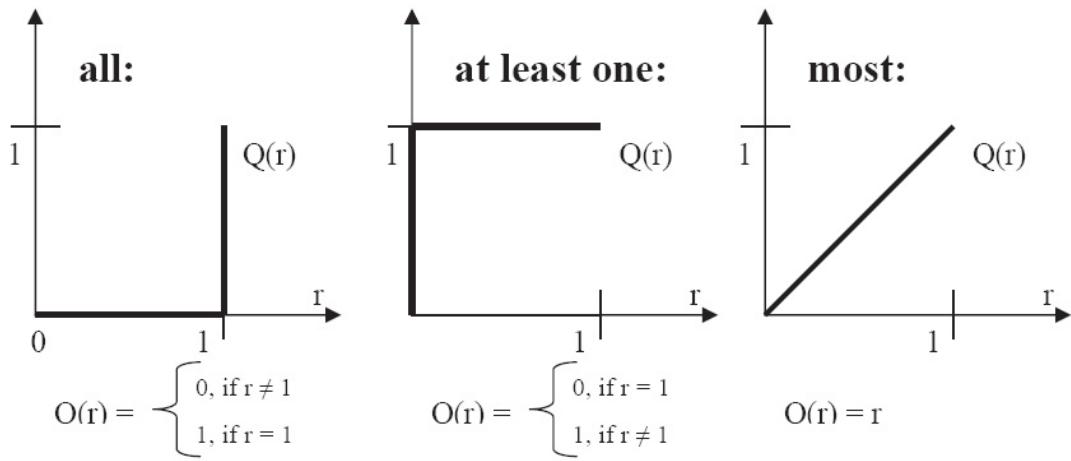
Ένας τροποποιητής επομένως είναι μια πράξη σε ένα ασαφές σύνολο. Άλλα παραδείγματα είναι οι φράσεις "λίγο", "περισσότερο", "λιγότερο", "πιθανώς" και "σίγουρα".

Ένας γλωσσολογικός ποσοτικοποιητής (linguistic quantifier) Q , έχει τη μορφή ενός ασαφούς συνόλου πάνω στο σύνολο $I = [0, 1]$ όπου το I δηλώνει το μέρος (ποσοστό) ένός συνόλου αντικειμένων. Για κάθε $r \in I$ το $Q(r)$ είναι ο βαθμός κατά τον οποίο το μέρος r των αντικειμένων ικανοποιεί την έννοια που δηλώνει ο ποσοτικοποιητής Q . Ο βαθμός ικανοποίησης δίνεται ως μια τιμή που κυμαίνεται στο διάστημα $[0, 1]$ όπου 0 σημαίνει ότι η έννοια του Q δεν ικανοποιείται καθόλου και 1 σημαίνει ότι ικανοποιείται πλήρως.

Για παράδειγμα ο ποσοτικοποιητής "όλα" ικανοποιείται μόνο όταν $r = 1$ (δηλαδή όταν το μέρος των αντικειμένων του είναι 100%), ο ποσοτικοποιητής "τουλάχιστον ένα" ικανοποιείται για κάθε $r > 0$ ενώ ο ποσοτικοποιητής "τα περισσότερα" ικανοποιείται σταδιακά όσο αυξάνεται η τιμή του r (ποσοστό) και μπορεί π.χ να έχει τη μορφή $Q(r) = r$ ή $Q(r) = r^2$. Το σχήμα 2.12 απεικονίζει τα τρία αυτά παραδείγματα.

2.4.7 Τελεστές OWA

Οι τελεστές Ordered Weighted Average (OWA) [105] είναι μια οικογένεια τελεστών μέσου όρου (averaging) που μπορούν και προσαρμόζουν τον βαθμό σύζευξης και διάζευξης της συνάθροισης (aggregation) ενός συνόλου τιμών. Οι τελεστές αυτοί έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές συμπεριλαμβανομένης της μηχανικής



Σχήμα 2.12: Ασαφείς Ποσοτικοποιητές [38]

μάθησης και της πολυκριτηριακής λήψης αποφάσεων [69].

Αναλυτικότερα, έναν τελεστής OWA διάστασης n είναι μια απεικόνιση $f : R^n \rightarrow R$ που βασίζεται σε ένα διάνυσμα βαρών $w = [w_1, w_2, \dots, w_n]$ τέτοιων ώστε

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1, w_i \in [0, 1] \quad (2.40)$$

Αν $a_i, i = 1..n$ οι τιμές προς συνάθροιση τότε

$$f(a_1, \dots, a_n) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot b_i \quad (2.41)$$

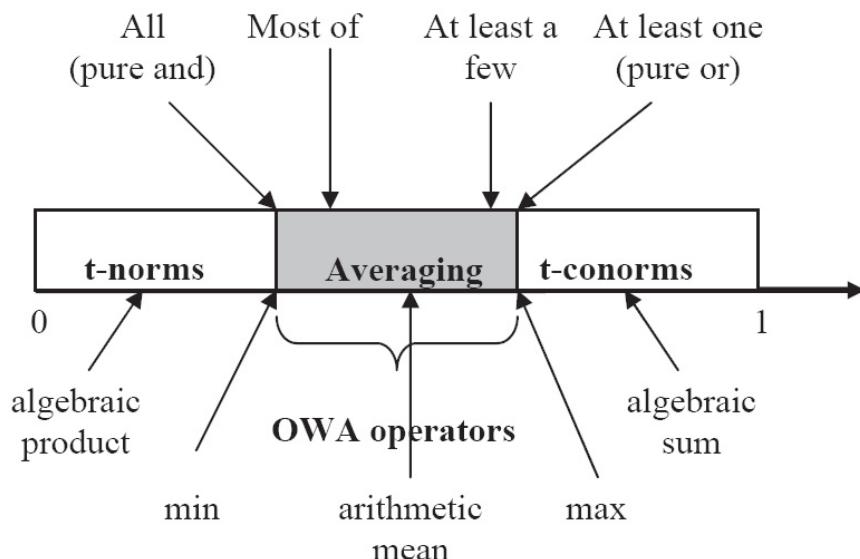
όπου b_i είναι το i_{th} μεγαλύτερο από τα a_i . Με αυτό τον τρόπο το βάρος w_i δε συσχετίζεται με μια τιμή a_i αλλά με το i_{th} μεγαλύτερο στοιχείο εισάγοντας την έννοια της μη γραμμικότητας στη συνάθροιση. Ειδικές περιπτώσεις τελεστών OWA είναι οι ακόλουθες:

- Ο τελεστής Max με $w = [1, 0, \dots, 0]$
- Ο τελεστής Min με $w = [0, 0, \dots, 1]$
- Ο τελεστής Average $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i$
- Ο τελεστής που επιστρέφει το k μεγαλύτερο στοιχείο των τιμών με βάση τη στάθμιση $w_k = 1$ και $w_i = 0$ για $i \neq k$.

Ένα μέτρο χαρακτηρισμού των τελεστών OWA είναι το orness το οποίο ορίζεται ως εξής:

$$\text{orness}(w) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (n-i)w_i \quad (2.42)$$

Η τιμή του μέτρου αυτού για ένα δεδομένο τελεστή υποδηλώνει το βαθμό στον οποίο ο τελεστής αυτός προσεγγίζει το νόημα του τελεστή Or (τιμές μέτρου κοντά στο 1) ή του τελεστή And (τιμές μέτρου κοντά στο 0). Για παράδειγμα το orness του τελεστή Max είναι 1, αυτό του Min 0 ενώ του Average είναι 0.5. Συμπληρωματικά ορίζεται το μέτρο andness με βάση τον τύπο $\text{andness}(w) = 1 - \text{orness}(w)$. Το σχήμα 2.13 συνοψίζει τη σημασιολογία των τελεστών OWA.



Σχήμα 2.13: Σημασιολογία Τελεστών OWA [105]

Τέλος, σε ό,τι αφορά τον τρόπο παραγωγής των βαρών που συνιστούν τους τελεστές OWA, υπάρχουν δύο προσεγγίσεις. Η πρώτη βασίζεται σε τύπους και τεχνικές μηχανικής μάθησης ενώ η δεύτερη σε μια προσπάθεια να χρησιμοποιηθούν γλωσσολογικές έννοιες με βάση μια συγκεκριμένη κατηγορία γλωσσικών ποσοτικοποιητών. Η κατηγορία αυτή ονομάζεται Regularly Increasing Monotonic Quantifiers (RIM) και περιλαμβάνει όλους τους ποσοτικοποιητές που βρίσκονται ανάμεσα σε στους ποσοτικοποιητές "υπάρχει τουλάχιστον ένας" και "για όλους". Παραδείγματα αποτελούν οι ποσοτικοποιητές "τουλάχιστον ένα", "τουλάχιστον x " και "περισσότερο από x ". Ο γενικός τύπος παραγωγής βαρών για ένα δεδομένο RIM ποσοτικοποιητή Q είναι ο ακόλουθος:

$$w_i = Q\left(\frac{i}{n}\right) - Q\left(\frac{i-1}{n}\right), i = 1, 2, \dots, n \quad (2.43)$$

Επισκόπηση Σχετικών Προσεγγίσεων

There is nothing like looking, if you want to find something.

You certainly usually find something, if you look,
but it is not always quite the something you were after.

—J.R.R. Tolkien

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφονται οι κυριότερες ερευνητικές προσπάθειες που σχετίζονται με το αντικείμενο της διατριβής και ιδιαίτερα με το υβριδικό πλαίσιο διαχείρισης γνώσης που αυτή προτείνει. Το τελευταίο, όπως αναφέρθηκε στο εισαγωγικό κεφάλαιο, συνδυάζει τις περιοχές των Οντολογιών, της Ασαφούς Λογικής και της Βασισμένης σε Περιπτώσεις Συλλογιστικής. Σχετική έρευνα στη βιβλιογραφία κατέδειξε ότι παρόμοιος συνδυασμός δεν έχει προταθεί, αντίθετα αυτό που έχει προταθεί είναι επιμέρους συνδυασμοί όπως μοντέλα ασαφών οντολογιών, ασαφή CBR συστήματα και CBR συστήματα με βάση οντολογίες. Για το λόγο αυτό και δεδομένου ότι η προσέγγιση της διατριβής βασίστηκε εν μέρει σε τέτοιους συνδυασμούς, στις επόμενες ενότητες του κεφαλαίου περιγράφονται οι πιο σημαντικοί από αυτούς.

Πιο συγκεκριμένα, στην πρώτη ενότητα περιγράφονται οι πιο σημαντικές προσεγγίσεις αναπαράστασης και χρήσης ασαφούς γνώσης με χρήση οντολογιών. Κάθε προσέγγιση αναλύεται με βάση τις δυνατότητες αναπαράστασης γνώσης που προσφέρει, τους μηχανισμούς συλλογιστικής που υποστηρίζει και τα τυχόν εργαλεία που παρέχει για τη διευκόλυνση της εφαρμογής της.

Στη δεύτερη ενότητα αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο η ασαφής λογική έχει χρησιμοποιηθεί για την αναπαράσταση και ανάκτηση περιπτώσεων σε CBR συστήματα και παρατίθενται παραδείγματα τέτοιων συστήματων. Παρόμοια ανάλυση γίνεται και στην τρίτη ενότητα για CBR συστήματα που χρησιμοποιούν οντολογίες. Τέλος, στην τέταρτη ενότητα, αναφέρονται τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν από τις αναλύσεις των προσεγγίσεων με ιδιαίτερη έμφαση στην ανάδειξη των επιμέρους

αδυναμιών της κάθε μιας από αυτές, τις οποίες το προτεινόμενο πλαίσιο φιλοδοξεί να αντιμετωπίσει.

3.1 Προσεγγίσεις Αναπαράστασης και Χρήσης Ασαφών Οντολογιών

Οι υπάρχουσες προσεγγίσεις και απόπειρες συνδυασμού ασαφούς λογικής και οντολογιών για την αναπαράσταση ανακριθούς και αβέβαιης γνώσης διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

1. Στις προσεγγίσεις που επιχειρούν την ενσωμάτωση στοιχείων της ασαφούς λογικής στις Περιγραφικές Λογικές και κατ' επέκταση στις γλώσσες οντολογιών που βασίζονται σε αυτές (π.χ. OWL).
2. Στις προσεγγίσεις που προτείνουν γενικά εννοιολογικά μοντέλα αναπαράστασης ασαφών οντολογιών χωρίς να προτείνουν κάποια συγκεκριμένη γλώσσα φορμαλισμού.

Σημαντικές προσπάθειες της πρώτης κατηγορίας είναι οι εξής:

- Η ασαφής επέκταση της περιγραφικής λογικής ALC από τον Straccia [121].
- Η ασαφής επέκταση της περιγραφικής λογικής SHOIN από τους Stoilos et al. [40] [39].
- Η ασαφής επέκταση της περιγραφικής λογικής SHOIN(D) από τον Straccia [122].

Αντίστοιχα στη δεύτερη κατηγορία διακρίνονται κυρίως οι προσπάθειες των Gu et al [48] και Zhai et al [62]. Στις επόμενες παραγράφους σκιαγραφούνται τα κύρια χαρακτηριστικά όλων των παραπάνω προσεγγίσεων.

3.1.1 Ασαφής ALC

Η περιγραφική λογική ALC περιλαμβάνει έννοιες, ρόλους, άτομα, κατασκευαστές εννοιών, ισχυρισμούς και αξιώματα εννοιών. Αναλυτικότερα, η κατασκευή μιας σύνθετης έννοιας από επιμέρους ατομικές γίνεται με βάση τους ακόλουθους συντακτικούς κανόνες:

$C, D \rightarrow$	$\top $	(καθολική έννοια)
	$\perp $	(κενή έννοια)
	$A $	(ατομική έννοια)
	$C \sqcap D $	(τομή εννοιών)
	$C \sqcup D $	(ένωση εννοιών)
	$\neg C $	(άρνηση έννοιας)
	$\forall R.C $	(καθολικός περιορισμός)
	$\exists R.C$	(υπαρξιακός περιορισμός)

Από την άλλη, ένας ισχυρισμός στην ALC είναι μια έκφραση της μορφής $a : C$ (δηλαδή το άτομο a είναι στιγμιότυπο της έννοιας C) ή μια έκφραση της μορφής $(a, b) : R$ (δηλαδή το ζευγάρι ατόμων (a, b) συνδέεται μέσω του ρόλου R). Για παράδειγμα η έκφραση $tom : Student$ ισχυρίζεται ότι ο Tom είναι μαθητής ενώ η έκφραση $(tim, tom) : Friend$ ισχυρίζεται ότι ο Tom είναι φίλος του Tim.

Τέλος, ένα αξίωμα εννοιών αφορά είτε τον ορισμό μιας έννοιας είτε την εξειδίκευση αυτής. Ένα αξίωμα εξειδίκευσης είναι μια έκφραση της μορφής $A < C$, όπου A είναι μια ατομική έννοια και C μια έννοια (είτε ατομική είτε σύνθετη), και υποδηλώνει ότι η έννοια A είναι εξειδίκευση (δηλαδή πιο συγκεκριμένη) της C . Για παράδειγμα το αξίωμα $Ferrari < SportCar \sqcap \exists OwnedBy.CarFanatic$ δηλώνει ότι μια Ferrari είναι ένα σπορ αυτοκίνητο ιδιοκτήτης του οποίου είναι ένας φανατικός των αυτοκινήτων.

Από την άλλη πλευρά, ένα αξίωμα ορισμού είναι μια έκφραση της μορφής $A := C$ που δηλώνει ότι οι έννοιες A και C είναι ισοδύναμες. Η διαφορά με την εξειδίκευση είναι ότι στην ισοδυναμία κάθε άτομο που ανήκει στην έννοια A ανήκει και στη C και αντίστροφα ενώ στην εξειδίκευση το αντίστροφο δεν ισχύει (δηλαδή ένα σπορ αυτοκίνητο ιδιοκτήτης του οποίου είναι ένας φανατικός των αυτοκινήτων δεν είναι απαραίτητα Ferrari).

Η ασαφής επέκταση της ALC, όπως ορίζεται στο [121], πραγματοποιείται αντιστοιχίζοντας κάθε έννοια σε ένα ασαφές σύνολο (μέλη του οποίου είναι τα άτομα της έννοιας αυτής) και κάθε ρόλο σε μία ασαφή σχέση. Βάσει αυτής της αντιστοίχισης, τα βασικά χαρακτηριστικά της ασαφούς ALC είναι τα εξής:

- Στους κανόνες σύνταξης σύνθετων εννοιών που περιγράφονται παραπάνω, χρησιμοποιούνται οι έννοιες της ασαφούς τομής, της ασαφούς ένωσης, του ασαφούς συμπληρώματος (για την άρνηση) και των ασαφών ποσοτικοποιητών που περιγράφονται στην ενότητα 2.4.
- Οι ισχυρισμοί γίνονται της μορφής $a : C \geq n$ ή $a : C \leq n$ και $(a, b) : R \geq n$ ή $(a, b) : R \leq n$ όπου $n \in (0, 1]$. Ο ισχυρισμός $a : C \geq n$ υποδηλώνει ότι το άτομο a είναι στιγμιότυπο της έννοιας C με βαθμό τουλάχιστον n ενώ αντίστοιχα ο

ισχυρισμός $(a, b) : R \geq n$ υποδηλώνει ότι το άτομο a σχετίζεται με το άτομο b με βαθμό τουλάχιστον n .

- Τα αξιώματα εξειδίκευσης και ισοδυναμίας ερμηνεύονται με βάση τη θεωρία ασαφών συνόλων. Αυτό σημαίνει ότι ένα ασαφές αξιώμα εξειδίκευσης $A < C$ υποδηλώνει ότι όλα τα ασαφή στιγμιότυπα της έννοιας A είναι στιγμιότυπα της έννοιας C με τον ίδιο ή μικρότερο βαθμό ([67]).

3.1.2 Ασαφής SHOIN (Stoilos et al.) και Σύστημα FiRe

Η περιγραφική λογική SHOIN περιλαμβάνει τα στοιχεία της ALC όπως περιγράφησαν παραπάνω αλλά ορίζει επιπλέον πρόσθετους κατασκευαστές εννοιών και αξιώματα ρόλων. Αναλυτικότερα, η κατασκευή μιας σύνθετης έννοιας στη SHOIN(D) γίνεται με βάση τους ακόλουθους συντακτικούς κανόνες:

$C, D \rightarrow$	$\top $	(καθολική έννοια)
	$\perp $	(κενή έννοια)
	$\{o\} $	(ονοματική έννοια)
	$A $	(ατομική έννοια)
	$C \sqcap D $	(τομή εννοιών)
	$C \sqcup D $	(ένωση εννοιών)
	$\neg C $	(άρνηση έννοιας)
	$\forall R.C $	(περιορισμός τιμής)
	$\exists R.C $	(υπαρξιακός περιορισμός)
	$\exists \leq nR $	(περιορισμός το-πολύ)
	$\exists \geq nR $	(περιορισμός το-λιγότερο)

Επιπλέον, στη SHOIN ένας ρόλος μπορεί να οριστεί ως ο αντίστροφος ενός άλλου. Αυτό σημαίνει ότι αν ένας ρόλος R_1 είναι αντίστροφος ενός ρόλου R_2 τότε για κάθε ζευγάρι ατόμων a, b όπου $(a, b) : R_1$ ισχύει $(b, a) : R_2$.

Σε ό,τι αφορά τα αξιώματα ρόλων, αυτά διακρίνονται σε αξιώματα μεταβατικών ρόλων και αξιώματα υπαγωγής (εξειδίκευσης) ρόλων. Τα πρώτα είναι εκφράσεις της μορφής $Trans(R)$ και υποδηλώνουν ότι αν $(a, b) : R$ και $(b, c) : R$ τότε $(a, c) : R$ όπου a, b, c άτομα. Τα δεύτερα είναι εκφράσεις της μορφής $R_1 \sqsubseteq R_2$ και υποδηλώνουν ότι αν $(a, b) : R_1$ τότε $(a, b) : R_2$.

Η ασαφής επέκταση της SHOIN που προτείνεται στα [40] [117] περιλαμβάνει ό,τι και η ασαφής ALC και ορίζει επιπλέον ασαφή αξιώματα μεταβατικότητας και εξειδίκευσης ρόλων. Για τα δεύτερα ισχύει ό,τι και για τα ασαφή αξιώματα εξειδίκευσης εννοιών ενώ για τα αξιώματα μεταβατικότητας χρησιμοποιείται η έννοια του μεταβατικού κλεισίματος της παραγράφου 2.4.3.

Η δυνατότητα χρήσης της συγκεκριμένης ασαφούς περιγραφικής λογικής για τη μοντελοποίηση και χρήση ασαφούς γνώσης παρέχεται από το σύστημα FiRE [39] το οποίο υλοποιεί τη λογική SHIN, δηλαδή τη SHOIN χωρίς τις ονοματικές έννοιες. Αναλυτικότερα, η εισαγωγή γνώσης στο σύστημα FiRE γίνεται με τον εξής τρόπο:

- **Ατομικές Έννοιες:** Χρησιμοποιείται η λέξη-κλειδί atomic-concepts ακολουθούμενη από τις έννοιες εντός παρενθέσεων και χωρισμένες με κενό. Για παράδειγμα, οι έννοιες Άνθρωπος, Άτομο, Πατέρας και Μητέρα εισάγονται με τη δήλωση **atomic-concepts (Human Person Father Mother)**.
- **Ρόλοι:** Χρησιμοποιείται η λέξη-κλειδί roles ακολουθούμενη από τους ρόλους εντός παρενθέσεων και χωρισμένους με κενό. Κάθε ρόλος συνοδεύται από μία ή περισσότερες από τις ακόλουθες παραμέτρους:
 - parent: Δηλώνει το ρόλο τον οποίο εξειδικεύει ο δηλούμενος ρόλος.
 - transitive: Δηλώνει ότι ο δηλούμενος ρόλος είναι μεταβατικός.
 - inverse: Δηλώνει τον αντίστροφο του δηλούμενου όρου.
 - domain: Δηλώνει το πεδίο ορισμού του ρόλου.
 - range: Δηλώνει το πεδίο τιμών του ρόλου.

Παράδειγμα αποτελεί η δήλωση **roles ((has-gender :transitive t) (has-descendant :transitive t) (has-child :inverse has-descendant :domain parent :range person))**.

- **Αξιώματα Εξειδίκευσης και Ισοδυναμίας:** Ορίζονται με δηλώσεις της μορφής (**implies/equivalent** έννοια1 έννοια2) (π.χ. **implies man (and person (some has-gender male))** και **equivalent father-having-only-sons (and man (all has-child man))**).
- **Ισχυρισμοί:** Γίνονται με δηλώσεις της μορφής (**instance** άτομο έννοια \bowtie βαθμός) και (**related** άτομο1 άτομο2 ρόλος \bowtie βαθμός). Για παράδειγμα (**instance charles brother ≥ 0.7**) και (**related alice betty has-child ≥ 0.8**).

Επιπλέον, οι δυνατότητες χρήσης της βάσης γνώσης που προσφέρει το σύστημα FiRE είναι οι εξής:

- **Έλεγχος συνέπειας της βάσης (Consistency Check):** Η υπηρεσία αυτή ελέγχει εάν οι δηλώσεις που εμπεριέχονται στη βάση γνώσης εκφράζουν αντιφατική μεταξύ τους γνώση.

- **Έλεγχος συνεπαγωγής (Entailment Check):** Η υπηρεσία αυτή προσδιορίζει το βαθμό στον οποίο ένα άτομο ανήκει σε μία έννοια.
- **Έλεγχος υπαγωγής (Subsumption Check):** Η υπηρεσία αυτή ελέγχει εάν μια έννοια αποτελεί εξειδίκευση μιας άλλης.

3.1.3 Ασαφής SHOIN(D) (Straccia) και Σύστημα fuzzyDL

Η περιγραφική λογική SHOIN(D) επεκτείνει τη SHOIN ορίζοντας την έννοια των στέρεων χώρων (concrete domains) [35] [16] [17]. Οι στέρεοι χώροι ορίζουν με τη μορφή κατηγορημάτων (predicates) περιορισμούς τιμών (value constraints) πάνω σε τύπους δεδομένων, όπως ακέραιους αριθμούς, πραγματικούς αριθμούς και συμβολοσειρές. Τα κατηγορήματα αυτά χρησιμοποιούνται στο πλαίσιο της περιγραφικής λογικής για την κατασκευή σύνθετων εννοιών.

Έτσι για παράδειγμα, το κατηγόρημα \geq_{18} δηλώνει το σύνολο των ακεραίων αριθμών που είναι μεγαλύτεροι ή ίσοι του 18 και βάσει αυτού μπορεί να οριστεί η σύνθετη έννοια $AdultPerson \equiv Person \sqcap \exists age. \geq_{18}$ η οποία αναπαριστά το σύνολο των ενηλίκων ατόμων. Ένα πιο πολύπλοκο παράδειγμα είναι η έννοια $Flower \sqcap (\exists hasPetalWidth.(\geq_{20mm} \sqcap \leq_{40mm})) \sqcap \exists hasColour.Red$.

Ο Straccia ασαφοποιεί τους στέρεους χώρους θεωρώντας ότι τα αντίστοιχα κατηγορήματα είναι ασαφή σύνολα. Αυτό επιτρέπει κατ' επέκταση τον ορισμό σύνθετων ασαφών εννοιών. Για παράδειγμα το κατηγόρημα $Young(x)$ μπορεί να οριστεί ως ασαφές σύνολο στο σύνολο των ακεραίων αριθμών με συνάρτηση συμμετοχής $\max(1 - 0.00075x^2)$ και κατ' επέκταση η ασαφής έννοια $YoungPerson$ να οριστεί ως ισοδύναμη της σύνθετης έννοιας $Person \sqcap \exists age. Young$. Επιπλέον είναι δυνατή και η χρήση γλωσσικών τροποποιητών (βλέπε παράγραφο 2.4.6) για την υποστήριξη ορισμών της μορφής $Sport \equiv Car \sqcap \exists age. very(High)$.

Η υποστήριξη της συγκεκριμένης ασαφούς περιγραφικής λογικής σε επίπεδο αναπαράστασης και συλλογιστικής παρέχεται εν μέρει από το σύστημα fuzzyDL [36] το οποίο υλοποιεί τη ασαφή εκδοχή της λογικής SHIF(D) (που είναι υποσύνολο της SHOIN(D)). Η εισαγωγή γνώσης στο σύστημα fuzzyDL γίνεται βάσει συγκεκριμένης γλώσσας μέρος της οποίας είναι οι ακόλουθες εκφράσεις:

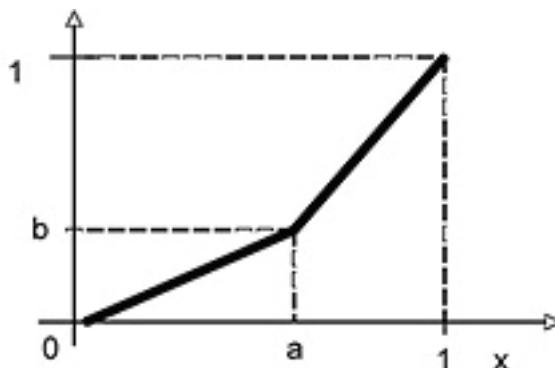
Εκφράσεις Εννοιών:

- ***top***: Καθολική έννοια.
- ***bottom***: Κενή έννοια.
- **A**: Ατομική έννοια.

- **(and C1 C2):** Τομή εννοιών.
- **(or C1 C2):** Ένωση εννοιών.
- **(not C1):** Άρνηση εννοιας.
- **(some R C1):** Υπαρξιακός περιορισμός.
- **(all R C1):** Καθολικός περιορισμός.
- **(CM C):** Εφαρμογή τροποποιητή (βλέπε παρακάτω).
- **(CFCM):** Ορισμός ασαφούς εννοιας με συγκεκριμένη συνάρτηση συμμετοχής(βλέπε παρακάτω).
- **(DR):** Περιορισμός τύπου δεδομένων (βλέπε παρακάτω).
- **(implies C1 C2):** Αξίωμα εξειδίκευσης.
- **(some R fn):** Υπαρξιακός περιορισμός ρόλου με ασαφή αριθμό.
- **(all R fn):** Καθολικός περιορισμός ρόλου με ασαφή αριθμό.

Τροποποιητές Εννοιών:

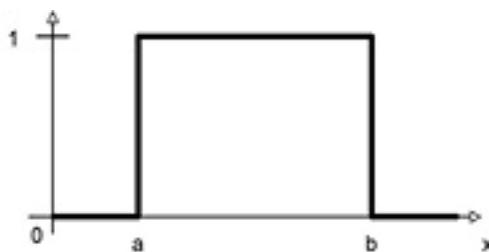
- **((define-modifier CM linear-modifier(b))):** Ορίζει έναν τροποποιητή του τύπου του σχήματος 3.1.
- **((define-modifier CM triangular-modifier(a,b,c))):** Ορίζει έναν τροποποιητή του τύπου του σχήματος 3.5.



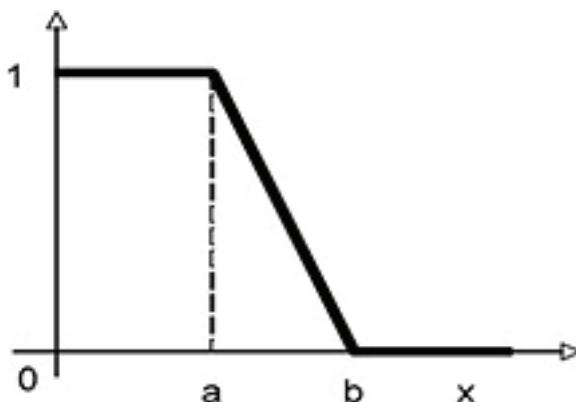
Σχήμα 3.1: Γραμμικός τροποποιητής

Ορισμός Ασαφών Εννοιών:

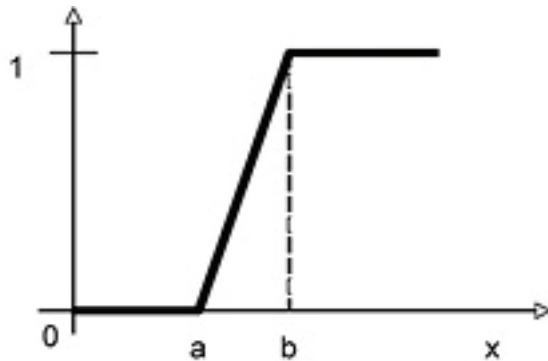
- (**(define-fuzzy-concept CFC crisp(k1,k2,a,b))**): Ορίζει μια έννοια με τη συνάρτηση συμμετοχής του σχήματος 3.2.
- (**(define-fuzzy-concept CFC left-shoulder(k1,k2,a,b))**, $a < b$): Ορίζει μια έννοια με τη συνάρτηση συμμετοχής του σχήματος 3.3.
- (**(define-fuzzy-concept CFC right-shoulder(k1,k2,a,b))**, $a < b$): Ορίζει μια έννοια με τη συνάρτηση συμμετοχής του σχήματος 3.4.
- (**(define-fuzzy-concept triangular(k1,k2,a,b,c))**, $a < b < c$): Ορίζει μια έννοια με τη συνάρτηση συμμετοχής του σχήματος 3.5.
- (**(define-fuzzy-concept trapezoidal(k1,k2,a,b,c))**, $a < b < c$): Ορίζει μια έννοια με τη συνάρτηση συμμετοχής του σχήματος 3.6



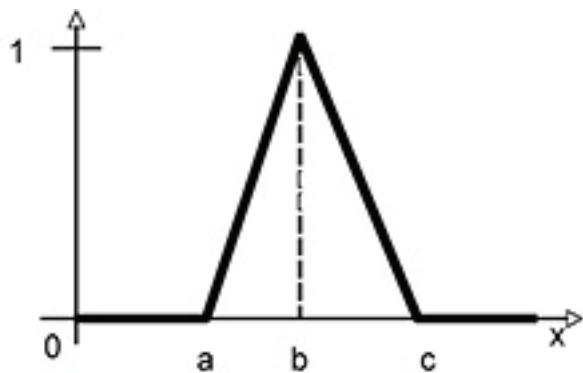
Σχήμα 3.2: Συνάρτηση crisp



Σχήμα 3.3: Συνάρτηση left-shoulder



Σχήμα 3.4: Συνάρτηση right-shoulder



Σχήμα 3.5: Τριγωνική συνάρτηση

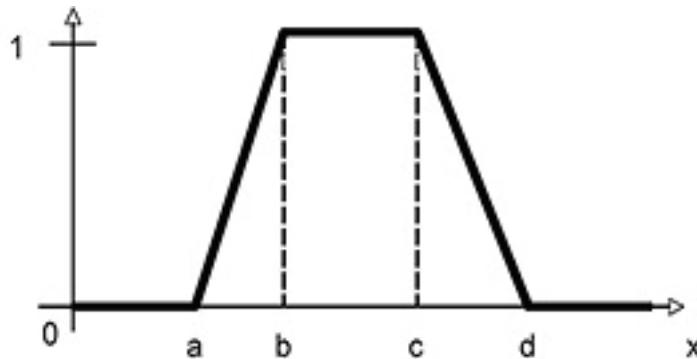
Ορισμός Ασαφών Αριθμών:

Ένας ασαφής αριθμός ορίζεται με την έκφραση (**define-fuzzy-number-name FN**) όπου FN είναι μια έκφραση της μορφής:

$FN \rightarrow$	<i>name</i>	(το όνομα του αριθμού)
	<i>n</i>	(πραγματικός αριθμός)
	(a, b, c)	(τριγωνικός ασαφής αριθμός)
	$(f + fn1fn2)$	(πρόσθεση)
	$(f - fn1fn2)$	(αφαίρεση)
	$(f * fn1fn2)$	(πολλαπλασιασμός)
	$(f / fn1fn2)$	(διαίρεση)

Ορισμός Περιορισμών Τύπων Δεδομένων:

Οι τύποι δεδομένων ορίζονται ως εξής:



Σχήμα 3.6: Τραπεζοειδής συνάρτηση

- (**define-concrete-feature** **featureName** ***integer*** **k1 k2**): Ορίζει έναν τύπο ακέραιων με τιμές μεταξύ k_1 και k_2 .
- (**define-concrete-feature** **featureName** ***real*** **k1 k2**): Ορίζει έναν τύπο πραγματικών αριθμών με τιμές μεταξύ k_1 και k_2 .
- (**define-concrete-feature** **featureName** ***string***): Ορίζει έναν τύπο συμβολοσειρών.

Περιορισμοί στους παραπάνω τύπους ορίζονται ως έννοιες με βάση την ακόλουθη σύνταξη:

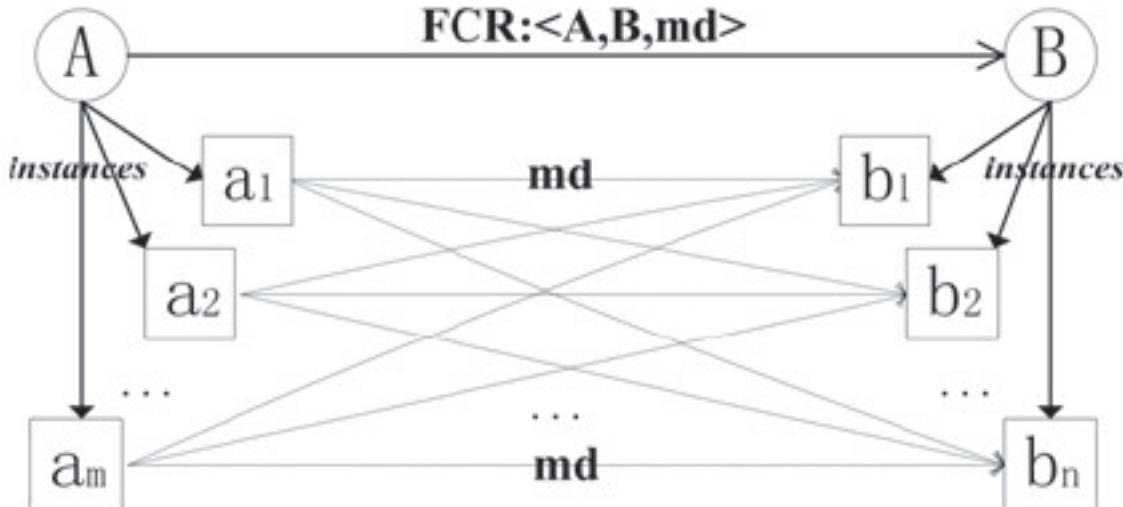
$DR \rightarrow$	\geq featureName value	(περιορισμός ελάχιστης τιμής)
	\leq featureName value	(περιορισμός μέγιστης τιμής)
value \rightarrow	<i>string</i>	(συμβολοσειρά)
	<i>integer</i>	(ακέραιος)
	<i>rational</i>	(πραγματικός)
	<i>FN</i>	(ασαφής αριθμός)
	<i>AE</i>	(αριθμητική έκφραση)
$AE \rightarrow$	<i>n</i>	(αριθμός)
	<i>t</i>	(τύπος δεδομένων)
	<i>n * t</i>	(γινόμενο μεταξύ αριθμού και τύπου)
	$AE_1 + AE_2 + \dots + AE_k$	(άθροισμα k αριθμητικών εκφράσεων)

3.1.4 Η Προσέγγιση των Gu et al

Βασικό χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης προσεγγισης είναι ο ορισμός τριών γενικών ασαφών σχέσεων που δύνανται να υπάρξουν σε μια ασαφή οντολογία καθώς και η ανάπτυξη ενός μηχανισμού συλλογιστικής που στηρίζεται στις σχέσεις αυτές.

Αναλυτικότερα, οι τρεις σχέσεις που ορίζονται είναι οι εξής:

1. Ασαφής Σχέση Στιγμιοτύπων (Fuzzy Instance Relation): Δεδομένων δύο εννοιών X και Y , μια Ασαφής Σχέση Στιγμιοτύπων συνδέει στιγμιότυπα της Q με στιγμιότυπα της U με κάποιο ασαφή βαθμό συσχέτισης.
2. Ασαφής Σχέση Εννοιών (Fuzzy Concept Relation): Μια Ασαφής Σχέση Εννοιών μεταξύ δύο εννοιών είναι ένα ιδιαίτερο είδος Ασαφούς Σχέσης Στιγμιοτύπων όπου όλα τα συσχετιζόμενα στιγμιότυπα των δύο εννοιών χαρακτηρίζονται από τόν ίδιο βαθμό συσχέτισης. Το συγκεκριμένο είδος σχέσης απεικονίζεται στο σχήμα 3.7.
3. Ασαφής Σχέση Βάσης Εννοιών (Fuzzy Concept Base Relation): Μία Ασαφής Σχέση Βάσης Εννοιών συνδέει δύο έννοιες X και Y όταν όλες οι υπο-έννοιες της έννοιας X συνδέονται με όλες τις υπο-έννοιες της έννοιας Y μέσω κάποιας Ασαφούς Σχέσης Εννοιών. Το συγκεκριμένο είδος σχέσης απεικονίζεται στο σχήμα 3.8.

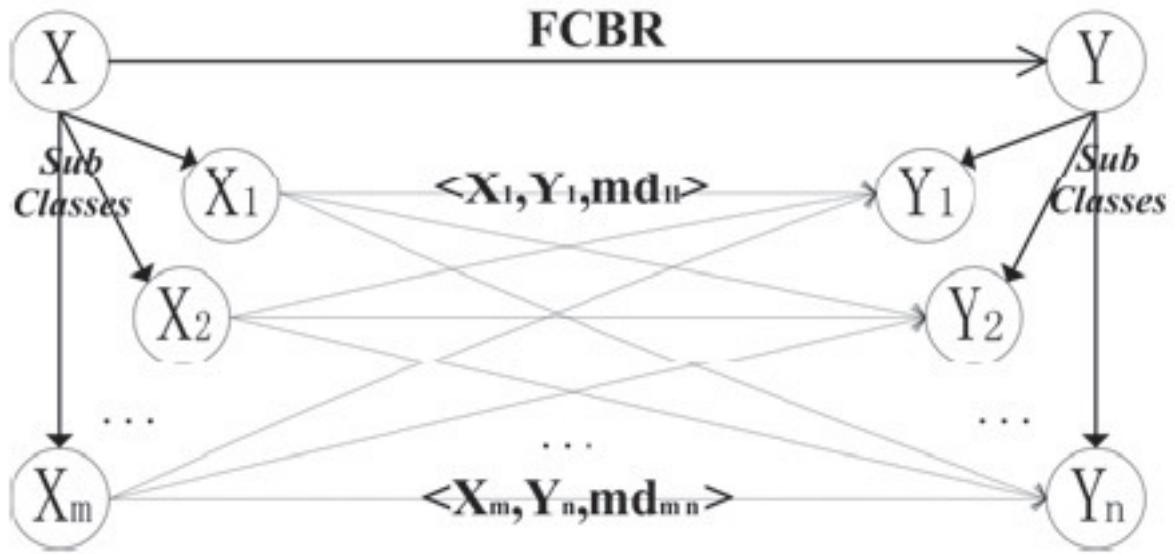


Σχήμα 3.7: Ασαφής Σχέση Εννοιών [48]

Οι τρεις αυτές σχέσεις υλοποιούνται σε επίπεδο αναπαράστασης μέσω της επέκτασης της περιγραφικής λογικής f-SHIN [40] που περιγράφηκε στην παράγραφο 3.1.2.

3.1.5 Το Μοντέλο των Zhai et al

Βάσει του μοντέλου των Zhai et al μια ασαφής οντολογία ορίζεται ως μια πλειάδα $O = (C, P_F, R_F, A_F)$ όπου:



Σχήμα 3.8: Ασαφής Σχέση Βάσης Εννοιών [48]

- C είναι ένα σύνολο εννοιών.
- P είναι ένα σύνολο ασαφών ιδιοτήτων. Κάθε ασαφής ιδιότητα $p_F \in P_F$ είναι μια πλειάδα της μορφής $p_F(c, v_F, q_F, f, U)$ όπου $c \in C$ είναι μια έννοια, v_F είναι το σύνολο των πιθανών τιμών της ιδιότητας, q_F είναι ένα σύνολο γλωσσικών τροποποιητών που μπορούν να εφαρμοστούν στις τιμές του συνόλου v_F , f είναι ένα σύνολο περιορισμών στις τιμές της ιδιότητας και U είναι το σύνολο όλων των ασαφών συνόλων.
- R είναι ένα σύνολο ασαφών σχέσεων μεταξύ εννοιών. Κάθε σχέση $r_F \in R_F$ είναι μια πλειάδα της μορφής $r_F(c_1, c_2, t, s_F, U)$ όπου $c_1, c_2 \in C$, t είναι ο τύπος της σχέσης και s_F είναι ο βαθμός της σχέσης.
- A είναι ένα σύνολο ασαφών κανόνων .

Τα σύνολα τιμών v_F των ασαφών ιδιοτήτων ορίζονται στα πλαίσια αντίστοιχων ασαφών γλωσσικών μεταβλητών (βλέπε παράγραφο 2.4.5).

3.2 Υθριδικές Προσεγγίσεις CBR και Ασαφούς Λογικής

Η χρησιμότητα και εφαρμοσιμότητα της ασαφούς λογικής στα CBR συστήματα έχει αναγνωριστεί από την προηγούμενη κιόλας δεκαετία [88] [125] και αφορά τόσο

το κομμάτι της αναπαράστασης περιπτώσεων με ασαφή και αβέβαια χαρακτηριστικά όσο και αυτό της ανάκτησης τέτοιων περιπτώσεων. Ειδικότερα, από τη σχετικά έρευνα στη βιβλιογραφία προκύπτει ότι η ασαφής λογική μπορεί να ενισχύσει τις CBR λειτουργίες με τους εξής τρόπους:

1. Η βάση των περιπτώσεων μπορεί να αναπαρασταθεί ως ένα ασαφές σύνολο στο οποίο κάθε περίπτωση θα συνοδεύεται από έναν ασαφή βαθμό που θα υποδηλώνει τη χρησιμότητα της για ένα δεδομένο πρόβλημα.
2. Τα χαρακτηριστικά μιας περίπτωσης (attributes) μπορούν να λαμβάνουν ως τιμές ασαφείς γλωσσικούς όρους (βλέπε παράγραφο 2.4.5) [31] [89] [12] [74].
3. Μέσω της ασαφούς λογικής είναι δυνατή η αναπαράσταση βαθμών ομοιότητας μεταξύ τιμών που δεν είναι ακριβώς ορισμένες.
4. Η ανάκτηση των περιπτώσεων μπορεί να γίνεται με χρήση ασαφών όρων καθώς και μηχανισμών ασαφούς συνάθροισης (π.χ. τελεστές OWA) για τον υπολογισμό της συνολικής ομοιότητας των περιπτώσεων με βάση τις επιμέρους ομοιότητες των τιμών των χαρακτηριστικών τους [88].
5. Είναι δυνατός ο ορισμός και η χρήση κανόνων ανάκτησης που βασίζονται στη λογική ότι όσο πιο όμοιες είναι δύο περιπτώσεις σε σχέση με ένα χαρακτηριστικό τόσο πιθανό είναι να είναι όμοιες και ως προς ένα άλλο.

Οι παραπάνω τρόποι έχουν βρει εφαρμογή σε αρκετά ασαφή CBR συστήματα όπως είναι το ARC [31], το BOLERO [12], CAREFUL [74], CARS [89] [90] και το FLORAN [112].

3.2.1 Σύστημα ARC

Στο σύστημα ARC η οργάνωση της πληροφορίας γίνεται μέσω μιας ιεραρχίας κλάσεων και περιπτώσεων. Κάθε κλάση ορίζει τα ασαφή χαρακτηριστικά των περιπτώσεων που ανήκουν σε αυτή ενώ είναι δυνατός και ο ορισμός υποκλάσεων. Οι τιμές που λαμβάνουν τα χαρακτηριστικά των περιπτώσεων είναι ασαφείς γλωσσικοί όροι. Η διαδικασία της ανάκτησης περιλαμβάνει σε πρώτη φάση τον προσδιορισμό της κλάσης της ζητούμενης περίπτωσης και στη συνέχεια την επιλογή των πιο σχετικών με αυτή περιπτώσεων με βάση τις ομοιότητες και τις διαφορές τους.

3.2.2 Σύστημα BOLERO

Το σύστημα BOLERO έχει εφαρμοστεί στον τομέα της ιατρικής διάγνωσης και επιτρέπει εκτός από την αναπαράσταση περιπτώσεων, τον ορισμό και τη χρήση κανόνων

που συσχετίζουν τύπους προβλήματων με λυμένες εκδοχές αυτών. Η αναπαράσταση και ανάκτηση των λυμένων προβλημάτων μπορεί να γίνει και με χρήση ασαφών γλωσσικών όρων και αντίστοιχων τεχνικών υπολογισμού ομοιότητας.

3.2.3 Σύστημα CAREFUL

Το σύστημα CAREFUL χρησιμοποιεί ένα αντικειμενοστραφές μοντέλο αναπαράστασης το οποίο βασίζεται σε μια ιεραρχία ασαφών κλάσεων. Μέσω ασαφών συνόλων περιγράφονται τόσο οι τιμές των χαρακτηριστικών των περιπτώσεων όσο και άλλοι ασαφείς περιορισμοί που αφορούν την περιγραφή του προβλήματος. Από την άλλη πλευρά, η ανάκτηση γίνεται σε δύο βήματα. Στο πρώτο βήμα γίνεται ένα αρχικό φιλτράρισμα των περιπτώσεων μέσω ενός αλγορίθμου ασαφούς κατηγοριοποίησης ο οποίος επιλέγει τις περιπτώσεις που είναι πιο πιθανό να ταιριάζουν στο πρόβλημα. Στο δεύτερο βήμα συγκρίνονται αναλυτικότερα οι ασαφείς τιμές των περιπτώσεων και λαμβάνονται υπόψη οι τυχόν ασαφείς περιορισμοί που έχουν τεθεί.

3.2.4 Σύστημα FLORAN

Το σύστημα FLORAN υιοθετεί κι αυτό ένα αντικειμενοστραφές μοντέλο αναπαράστασης όπου επιπλέον κάθε κλάση συνδέεται με ένα πλαίσιο εξάρτησης (dependency context) το οποίο περιλαμβάνει κάποιο συγκεκριμένο στόχο για την κλάση, ένα σύνολο σχετικών χαρακτηριστικών μαζί με τη βαρύτητά τους και ένα σύνολο ασαφών περιορισμών σχετικά με τα χαρακτηριστικά αυτά. Η διαφορά με το σύστημα CAREFUL είναι ότι τα πλαίσια αυτά δε σχετίζονται ιεραρχικά μεταξύ τους. Από την άλλη, η ανάκτηση γίνεται κι εδώ σε δύο βήματα (φιλτράρισμα και σύγκριση).

3.3 Υθριδικές Προσεγγίσεις CBR και Οντολογιών

Όπως αναφέρθηκε στο εισαγωγικό κεφάλαιο της διατριβής, η υιοθέτηση οντολογιών από την κοινότητα των CBR συστημάτων προέκυψε από την ανάγκη κάλυψης δύο κύριων αναγκών:

- Της ανάγκης αντιμετώπισης του λεγόμενου "*Knowledge Acquisition Bottleneck*", της αυξημένης δυσκολίας δηλαδή και κόστους που συνεπάγεται η απαραίτητη διαδικασία συλλογής, κωδικοποίησης και αποθήκευσης της γνώσης στα CBR συστήματα.
- Της ανάγκης βελτίωσης του μηχανισμού ανάκτησης των συστημάτων αυτών

προκειμένου να εκμεταλλέυονται καλύτερα και σε μεγαλύτερο βαθμό τη διαθέσιμη γνώση.

Προς την κατεύθυνση κάλυψης αυτών των αναγκών έχουν κινηθεί αρκετές ερευνητικές προσπάθειες οι οποίες προτείνουν διάφορα CBR μοντέλα που χρησιμοποιούν οντολογίες (και κυρίως περιγραφικές λογικές) [61] [66] [6] [115] [10]. Κοινό χαρακτηριστικό όλων των προσπαθειών αυτών είναι ότι αναγνωρίζουν σημαντικά οφέλη στη χρήση οντολογιών για τη σχεδίαση και την υλοποίηση Knowledge Intensive [2] CBR συστημάτων. Τέτοια οφέλη είναι:

- Η δυνατότητα εφαρμογής καθιερωμένων μεθοδολογιών και τεχνικών από το χώρο της οντολογικής μηχανικής (βλέπε παράγραφο 2.3.2) οι οποίες βελτιώνουν σημαντικά την διαδικασία διαδικασία συλλογής, κωδικοποίησης και αποθήκευσης της γνώσης.
- Η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης γνώσης που είναι διαθέσιμη με τη μορφή ήδη αναπτυγμένων και αξιόπιστων οντολογιών η οποία οδηγεί στη σημαντική μείωση της ανάγκης και του κόπου συλλογής και μοντελοποίησης νέας γνώσης.
- Η δυνατότητα εκμετάλλευσης των δυνατοτήτων λογικού συμπερασμού (reasoning) που προσφέρουν οι οντολογίες η οποία οδηγεί στην ανάπτυξη πιο αποτελεσματικών μηχανισμών ανάκτησης περιπτώσεων.
- Η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης της γνώσης ενός CBR συστήματος σε πολλαπλά σενάρια εφαρμογής χωρίς την ανάγκη σημαντικής διαφοροποίησης της γνώσης αυτής από σενάριο σε σενάριο.

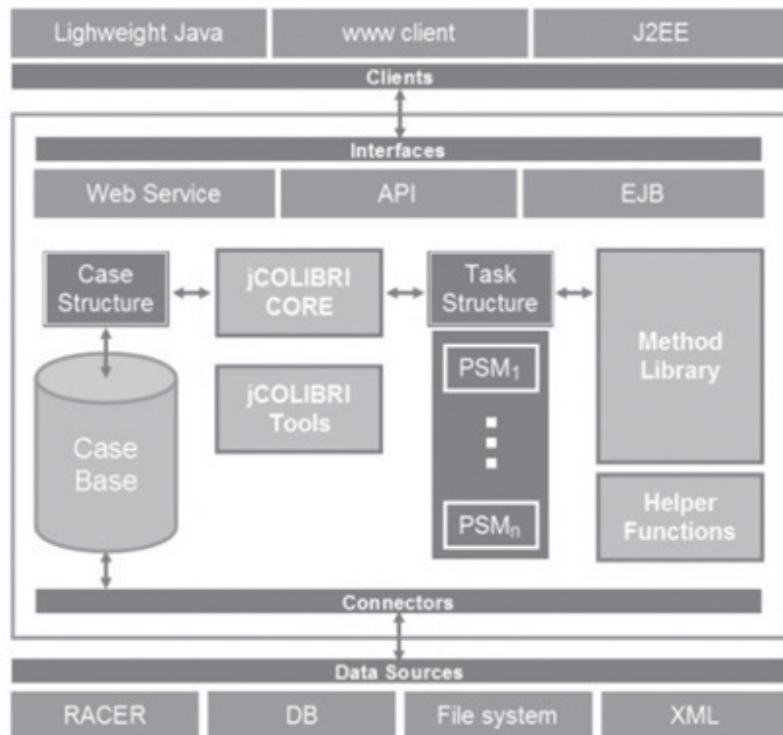
Πράγματι, από τη μελέτη της βιβλιογραφίας προκύπτει ότι οι οντολογίες στα CBR συστήματα χρησιμοποιούνται για:

- Τον ορισμό του λεξιλογίου βάσει του οποίου δομούνται οι περιπτώσεις, είτε αυτές ενσωματώνονται στην οντολογία είτε βρίσκονται αποθηκευμένες σε κάποιο άλλο μέσο (π.χ. βάση δεδομένων).
- Τον ορισμό του λεξιλογίου βάσει του οποίου δομούνται οι ερωτήσεις ανάκτησης περιπτώσεων των χρηστών υπό την έννοια ότι το σύστημα θα μπορέσει να απαντήσει καλύτερα την ερώτηση ενός χρήστη εφόσον αυτή είναι εκφρασμένη με όρους από μια κοινά συμφωνημένη οντολογία.
- Για την ανάκτηση των περιπτώσεων μέσω μηχανισμών και μέτρων ομοιότητας που εκμεταλλέυονται τη δομή και τους μηχανισμούς συλλογιστικής των οντολογιών.

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται δύο από τις πιο ολοκληρωμένες υβριδικές προσεγγίσεις CBR και οντολογιών, το πλαίσιο jColibri και το πλαίσιο KMIR.

3.3.1 Το Πλαίσιο jColibri

Το πλαίσιο jColibri [96] [9] [10] [11] είναι ένα αντικειμενοστραφές και γραμμένο σε Java CBR πλαίσιο το οποίο υποστηρίζει τη χρήση οντολογιών με βάση τη γλώσσα OWL. Η αρχιτεκτονική του jColibri (σχήμα 3.9) επιτρέπει την ανάπτυξη ενός CBR συστήματος μέσω της επέκτασης των κλάσεων του πλαισίου και της προσαρμογής μερικών αρχείων XML. Η διαδικασία αυτή υποστηρίζεται από αντίστοιχο γραφικό περιθάλλον.

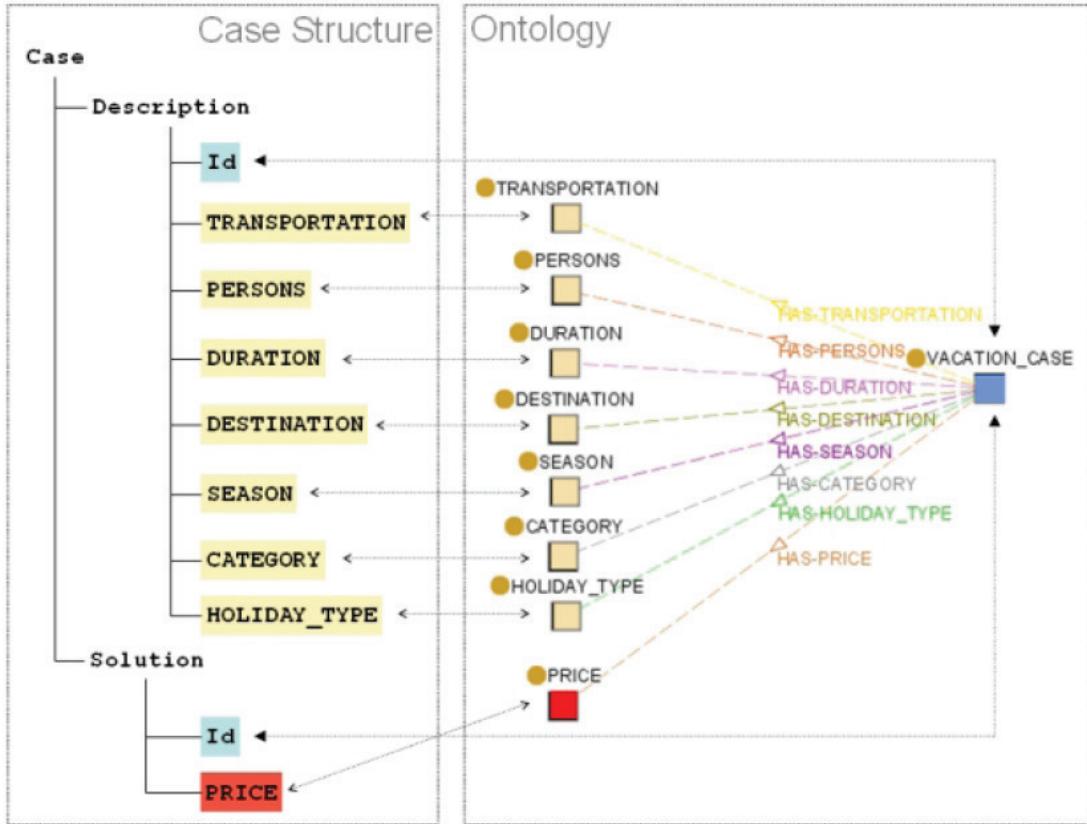


Σχήμα 3.9: Η Αρχιτεκτονική του jColibri [7]

Αναπαράσταση Περιπτώσεων

Στο jColibri οι οντολογίες χρησιμοποιούνται καταρχήν ως το λεξιλόγιο βάσει του οποίου δομούνται οι περιπτώσεις όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Αυτό γίνεται αντιστοιχίζοντας το κάθε χαρακτηριστικό της περίπτωσης με μία ή περισσότερες έννοιες της οντολογίας τα στιγμιότυπα των οποίων αποτελούν τις

επιτρεπόμενες τιμές για το χαρακτηριστικό αυτό. Ο τρόπος αυτός δόμησης των περιπτώσεων απεικονίζεται στο σχήμα 3.10 και ισχύει ακόμα και στην περίπτωση που οι περιπτώσεις δεν έχουν τη μορφή οντολογικών στιγμιοτύπων.



Σχήμα 3.10: Παράδειγμα Δόμησης Περίπτωσης στο jColibri [7]

Ανάκτηση Περιπτώσεων

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 2.2.3 η διαδικασία ανάκτησης περιπτώσεων σε όλα τα CBR συστήματα βασίζεται στον προσδιορισμό της ομοιότητας μεταξύ της ζητούμενης περίπτωσης και αυτών που είναι αποθηκευμένες στη βάση του συστήματος. Η βασική υπόθεση που ακολουθεί το jColibri για τον ορισμό τέτοιων μεθόδων είναι ότι στην περίπτωση που οι περιπτώσεις δομούνται βάσει οντολογίας τότε η ομοιότητα επηρεάζεται από την ιεραρχία των κλάσεων της οντολογίας αυτής.

Αναλυτικότερα, το jColibri υιοθετεί τη γενική μέθοδο σύγκρισης της δομημένης CBR προσέγγισης που περιγράφεται στην παράγραφο 2.2.3 και σύμφωνα με την οποία οι ορίζονται και χρησιμοποιούνται μέτρα ομοιότητας τα οποία υπολογίζουν αρχικά τις επιμέρους ομοιότητες των δύο περιπτώσεων συγκρίνοντας τις τιμές των επιμέρους χαρακτηριστικών τους και συναθροίζουν (aggregate) κατόπιν τις επιμέρους

ομοιότητες σε μία τιμή η οποία υποδηλώνει το συνολικό βαθμό ομοιότητας μεταξύ των δύο περιπτώσεων.

Ο μηχανισμός ομοιότητας που ορίζει και χρησιμοποιεί το jColibri εκμεταλλεύεται την ύπαρξη της οντολογίας συγκρίνοντας βάσει αυτής τα χαρακτηριστικά των περιπτώσεων που λαμβάνουν ως τιμές στιγμιότυπα των εννοιών της. Η σύγκριση μεταξύ δύο στιγμιοτύπων της οντολογίας γίνεται με συναρτήσεις ομοιότητας σαν αυτές του σχήματος 3.11 παράδειγμα εφαρμογής των οποίων αποτελεί το σχήμα 3.12.

$$fdeep_basic(i1, i2) = \frac{\max(\text{prof}(LCS(i1, i2)))}{\max(\text{prof}(Ci)), Ci \in CN}$$

$$\text{cosine}(i_1, i_2) = sim(t(i_1), t(i_2)) = \frac{\left| \left(\bigcup_{d \in \text{def}(i_1)} \text{super}(d_i, CN) \right) \cap \left(\bigcup_{d \in \text{def}(i_2)} \text{super}(d_i, CN) \right) \right|}{\sqrt{\left| \bigcup_{d \in \text{def}(i_1)} \text{super}(d_i, CN) \right|} \cdot \sqrt{\left| \bigcup_{d \in \text{def}(i_2)} \text{super}(d_i, CN) \right|}}$$

$$\text{detail}(i_1, i_2) = \text{detail}(t(i_1), t(i_2)) = 1 - \frac{1}{2 \cdot \left| \left(\bigcup_{d \in \text{def}(i_1)} \text{super}(d_i, CN) \right) \cap \left(\bigcup_{d \in \text{def}(i_2)} \text{super}(d_i, CN) \right) \right|}$$

Where

$\text{super}(c, C)$ is the subset of concepts in C which are superconcepts of c

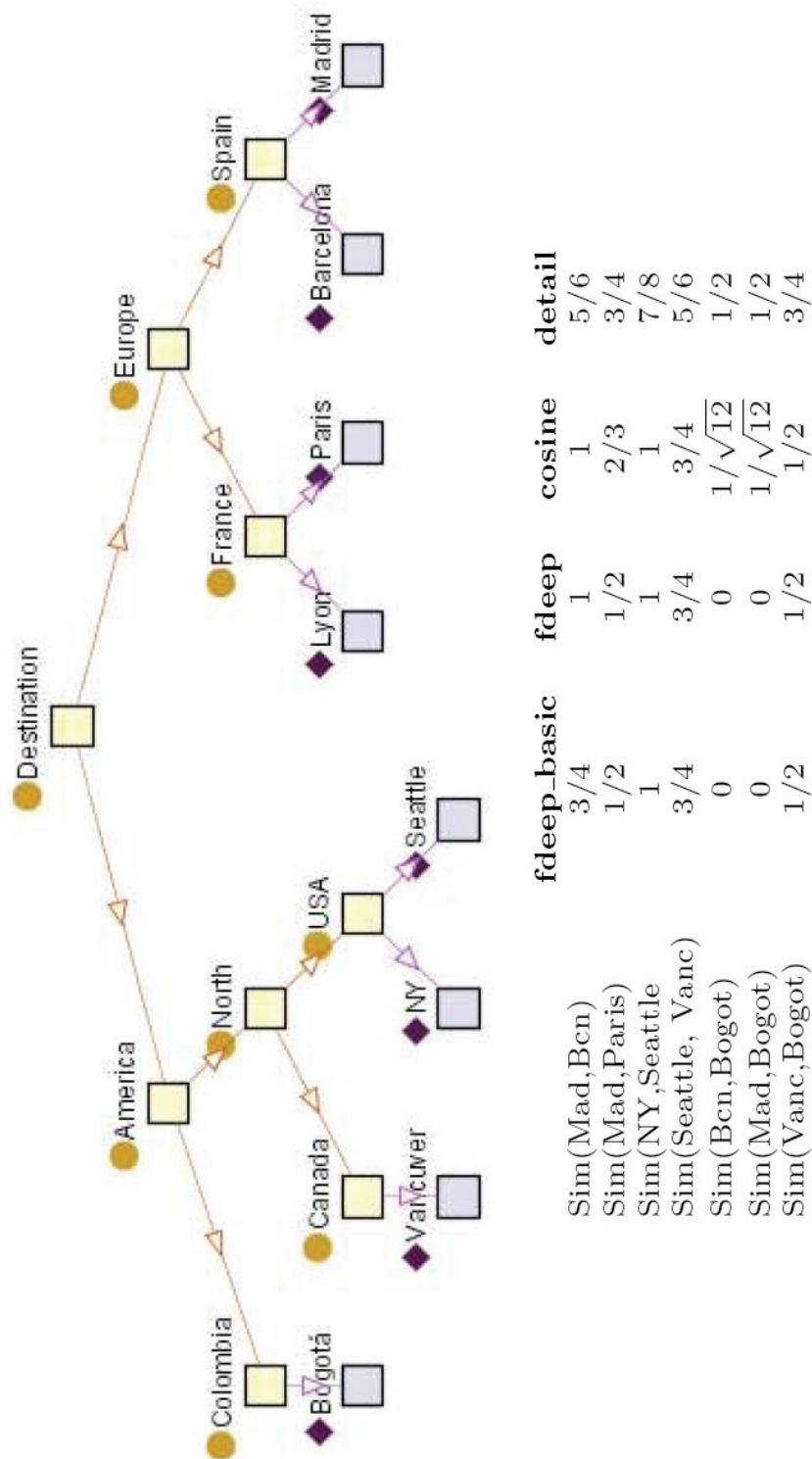
CN is the set of all the concepts in the current knowledge base

$LCS(i1, i2)$ is the set of the least common subsumer concepts of the two given individuals

$\text{Prof}(Ci)$: depth of the concept Ci

$\text{Prof}(i)$: depth of the individual i

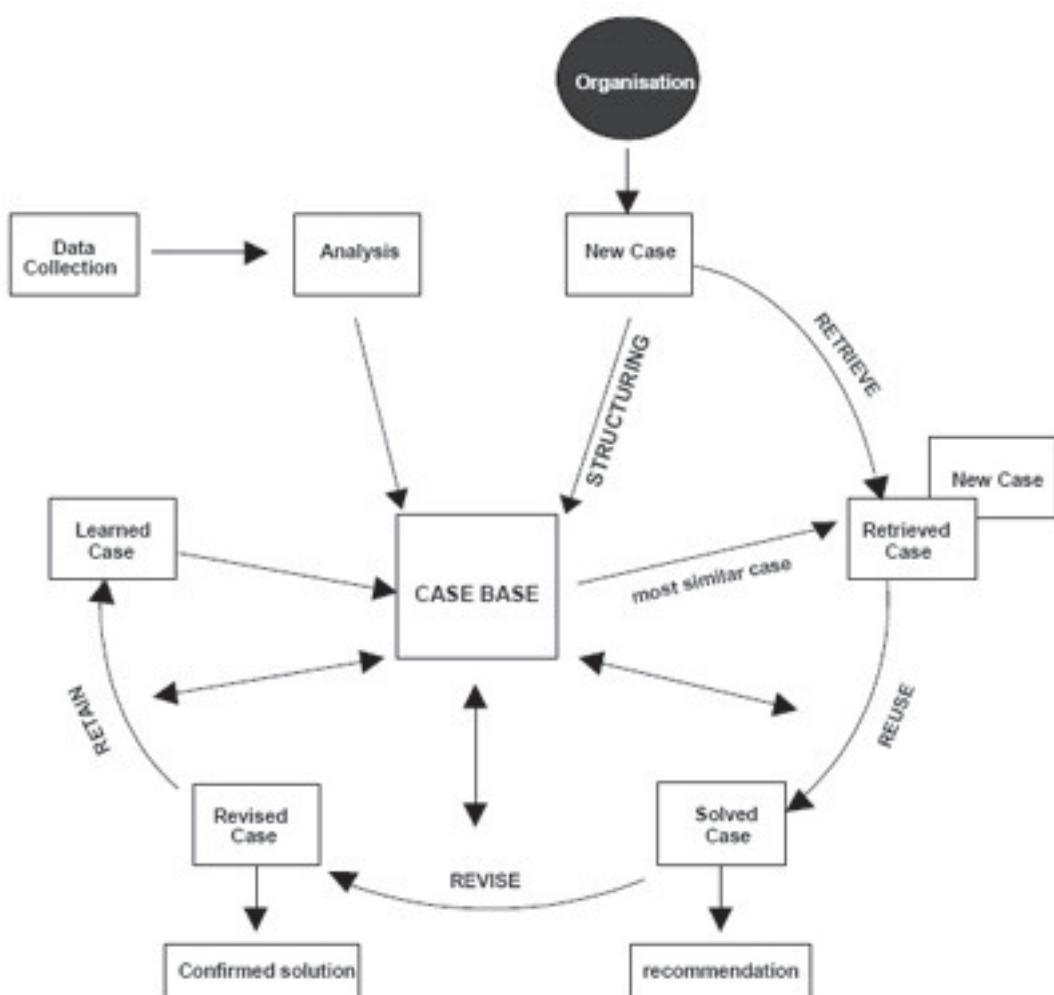
Σχήμα 3.11: Συναρτήσεις Υπολογισμού Ομοιότητας Οντολογικών Συγμούπων στο jColibri [7]



Σχήμα 3.12: Παράδειγμα Υπολογητρού Ομοιότητας στο jColibri [7]

3.3.2 Το Πλαίσιο KMIR

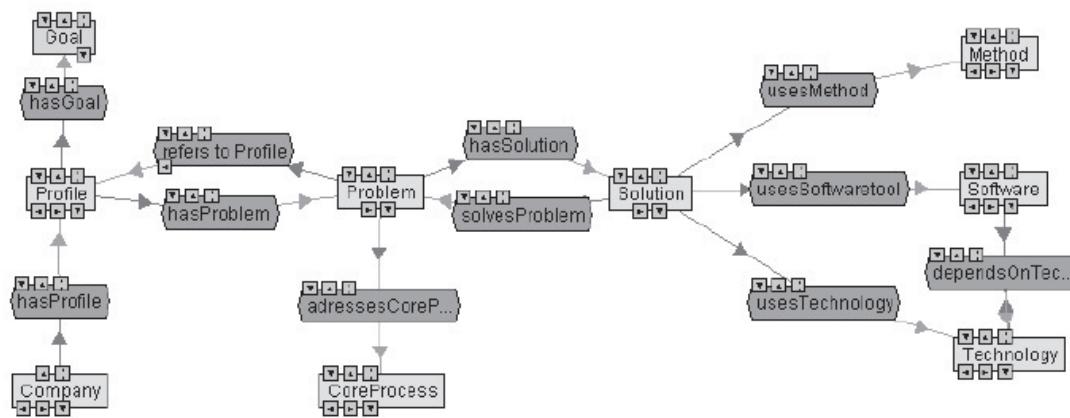
Το πλαίσιο KMIR (Knowledge Management Implementation and Recommendation Framework) [73] είναι ένα υθριδικό πλαίσιο διαχείρισης γνώσης το οποίο βασίζεται σε μια ελαφρώς διαφοροποιημένη εκδοχή του κύκλου CBR της παραγράφου 2.2.1 (βλέπε σχήμα 3.13) και σε ένα οντολογικό μοντέλο εκφρασμένο στη γλώσσα RDFS (βλέπε σχήμα 3.14). Σε αντίθεση με το jColibri το πλαίσιο KMIR δεν αποτελεί γενικό πλαίσιο ανάπτυξης CBR συστημάτων αλλά εξειδικευμένο σύστημα υποστήριξης οργανισμών και επιχειρήσεων για την επιτυχή υλοποίηση πρωτοβουλιών Διαχείρισης Γνώσης από αυτούς.



Σχήμα 3.13: Ο προσαρμοσμένος κύκλος CBR του KMIR [73]

Με αυτά τα δεδομένα, τα κύρια συστατικά στοιχεία του πλαισίου είναι τα εξής:

- Μία βάση περιπτώσεων η οποία αποθηκεύει βέλτιστες πρακτικές διαχείρισης γνώσης που δομούνται βάσει μιας οντολογίας.



Σχήμα 3.14: Μέρος της Οντολογίας του KMIR [73]

- Ένα υποσύστημα διαχείρισης περιπτώσεων που επιτρέπει την αναπαράσταση και αποθήκευση γνώσης στη βάση από τον οργανισμό.
- Ένα υποσύστημα ταιριάσματος (matching) το οποίο επιτρέπει την ανάκτηση περιπτώσεων.

Οι περιπτώσεις στο KMIR αφορούν βέλτιστες πρακτικές διαχείρισης γνώσης σε οργανισμούς και δομούνται σε οντολογική μορφή μέσω της γλώσσας RDFS. Κάθε περίπτωση αποτελεί στιγμιότυπο της οντολογίας ενώ τα χαρακτηριστικά της έχουν τη μορφή σχέσεων που συνδέουν την περίπτωση με στιγμιότυπα εννοιών της οντολογίας πεδίου του συστήματος (που αφορά τη διαχείριση γνώσης).

Για την ανάκτηση των περιπτώσεων, ο παρεχόμενος μηχανισμός ταιριάσματος υπολογίζει την ομοιότητα σε δύο βήματα: Πρώτα χρησιμοποιεί παραδοσιακά μέτρα ομοιότητας (δηλαδή όχι βασισμένα σε οντολογίες) προκειμένου να προσδιορίσει ένα αρχικό σύνολο παρόμοιων περιπτώσεων και στη συνέχεια εφαρμόζει στο σύνολο αυτό μέτρα που κάνουν χρήση της οντολογίας.

Στο πρώτο βήμα, η σύγκριση μεταξύ των περιπτώσεων βασίζεται στα μη οντολογικά χαρακτηριστικά των περιπτώσεων ενώ στο δεύτερο η σύγκριση γίνεται σύμφωνα με τη μέθοδο που περιγράφεται στο [1] βάσει της οποίας λαμβάνονται υπόψη τρία διαφορετικά είδη ομοιότητας:

- Η ομοιότητα στιγμιοτύπων βάσει των οντολογικών ιδιοτήτων τους (Attribute Similarity).
- Η ομοιότητα στιγμιοτύπων βάσει των οντολογικών σχέσεων τους (Relation Similarity).

- Η ομοιότητα στιγμιοτύπων βάσει της θέσης των αντίστοιχων εννοιών τους στην ταξονομία της οντολογίας (Relation Similarity).

3.4 Συμπεράσματα Επισκόπησης

Η επισκόπηση των προσεγγίσεων των προηγούμενων παραγράφων σε συνδυασμό με την ανάλυση του κεφαλαίου 2 ενισχύει την προτεινόμενη προσέγγιση της παρούσας διατριβής, καθώς και τις επιμέρους επιλογές αυτής, για τους εξής λόγους:

1. Η γενική ιδέα του συνδυασμού CBR και οντολογιών έχει σημαντικά οφέλη στο πλαίσιο της υλοποίησης συστημάτων διαχείρισης γνώσης καθώς συνδυάζει την καταλληλότητα της CBR προσέγγισης για τέτοιου είδους συστήματα με τις αρετές των οντολογιών και της οντολογικής μηχανικής για την αναπαράσταση και την επεξεργασία γνώσης. Οι υπάρχουσες προσεγγίσεις όμως δε διαθέτουν κάποιο τρόπο αντιμετώπισης του προβλήματος της ασάφειας της γνώσης. Επομένως η ενσωμάτωση στο συγκεκριμένο συνδυασμό της ασαφούς λογικής, που είναι το κατεξοχήν θεωρητικό εργαλείο διαχείρισης της ασάφειας, αποτελεί την πλέον κατάλληλη προσέγγιση.
2. Οι υπάρχουσες υβριδικές προσεγγίσεις CBR και Ασαφούς Λογικής της παραγράφου 3.2 δεν καλύπτουν επαρκώς το πρόβλημα της διαχείρισης ασαφούς γνώσης αφενός γιατί οι δυνατότητες αναπαράστασης ασαφούς γνώσης που προσφέρουν είναι περιορισμένες (πρακτικά υποστηρίζουν αποκλειστικά τη χρήση γλωσσικών μεταβλητών) και αφετέρου γιατί δε συνοδεύονται από συγκεκριμένες και καθιερωμένες μεθοδολογίες και εργαλεία που να επιτρέπουν την πρακτική τους εφαρμογή στο επίπεδο ενός οργανισμού. Επομένως, η ενσωμάτωση της ασαφούς λογικής με "όχημα" τις οντολογίες, οι οποίες προσφέρουν μεγαλύτερο εύρος δυνατοτήτων διαχείρισης γνώσης, αναμένεται να οδηγήσει στην αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση της ασάφειας.
3. Οι υπάρχουσες προσεγγίσεις ασαφών οντολογιών της παραγράφου 3.1 προτίνουν διάφορους φορμαλισμούς που ενσωματώνουν τα στοιχεία της ασαφούς συνολοθεωρίας σε αυτά των οντολογιών επιτρέποντας έτσι την αναπαράσταση ασαφούς γνώσης, καμία όμως από αυτές δεν ασχολείται με το τι απαιτεί και τι συνεπάγεται η κατασκευή μιας ασαφούς οντολογίας στο πλαίσιο ενός πραγματικού συστήματος. Για το λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου μεθοδολογικού πλαισίου οντολογιών το οποίο θα καλύπτει και θα υποστηρίζει όλα τα απαραίτητα βήματα ανάπτυξης μιας ασαφους οντολογίας.

Ανάπτυξη Ασαφών Οντολογιών - Η Μεθοδολογία IKARUS-Onto

So far as the laws of mathematics refer to reality, they are not certain. And so far as they are certain, they do not refer to reality.

—Albert Einstein

Οι ασαφείς οντολογίες αναπτύσσονται και χρησιμοποιούνται σε μεγάλο αριθμό συστημάτων και πεδίων εφαρμογής όπως είναι η ανάκτηση πληροφορίας [108] [25], η θεματική κατηγοριοποίηση [82], το σημασιολογικό ταίριασμα [106], η υποστήριξη λήψης αποφάσεων [87] [44] [45] [46] [64] και η εξόρυξη δεδομένων [32]. Κοινό χαρακτηριστικό σε όλες αυτές τις περιπτώσεις είναι η ανάγκη αντιμετώπισης από τους μηχανικούς των ασαφών οντολογιών δύο σημαντικών θεμάτων:

- Του πώς θα αναπτύξουν την ασαφή οντολογία με τον πιο αποτελεσματικό και αποδοτικό τρόπο.
- Του πώς θα εξασφαλίσουν ότι το τελικό προϊόν θα έχει τη βέλτιστη ποιότητα.

Στο χώρο της ανάπτυξης κλασσικών (μη ασαφών δηλαδή) οντολογιών τα δύο αυτά ζητήματα αντιμετωπίζονται μέσω των διαφόρων μεθοδολογιών, γλωσσών και εργαλείων ανάπτυξης οντολογιών που έχουν προταθεί από την ερευνητική κοινότητα (βλέπε ενότητα 2.3). Στην περιοχή όμως των ασαφών οντολογιών, η μεθοδολογική διάσταση της διαδικασίας ανάπτυξης έχει ως τώρα παραμεληθεί.

Ειδικότερα, όπως αναλύθηκε στην ενότητα 3.1, διάφοροι εννοιολογικοί φορμαλισμοί για την αναπαράσταση ασαφών οντολογιών έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία [62] [98] [34] [39] [19], με τους πιο γνωστούς να είναι αυτοί που ενσωματώνουν την ασαφή συνολοθεωρία στην περιγραφική λογική [34] [39]. Επίσης, διάφορα εργαλεία λογισμικού έχουν αναπτυχθεί για την κατασκευή ασαφών οντολογιών και για την

εκτέλεση λειτουργιών συμπερασμού (reasoning) σε αυτές βάσει των φορμαλισμών αυτών [85] [36] [34]. Αυτό όμως που η κοινότητα των ασαφών οντολογιών δε διαθέτει ακόμα είναι κάποιο είδος μεθοδολογίας η οποία θα μπορούσε να ενισχύσει την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας ανάπτυξης ασαφών οντολογιών και την ποιότητα του τελικού της προϊόντος εξασφαλίζοντας ότι:

1. Οι μηχανικοί οντολογιών και οι ειδικοί πεδίου (domain experts) μπορούν εύκολα και σωστά να αναγνωρίζουν τη γνώση του πεδίου που χρειάζεται να μοντελοποιηθεί ως ασαφής.
2. Οι μηχανικοί οντολογιών μπορούν να επιλέγουν τα κατάλληλα δομικά στοιχεία των ασαφών οντολογιών για την αναπαράσταση αυτής της γνώσης.
3. Οι ειδικοί πεδίου μπορούν να αποφασίζουν με διαισθητικό τρόπο ποιες θα πρέπει περίπου να είναι οι τιμές των διαφόρων στοιχείων της ασαφούς οντολογίας.
4. Οι ασαφείς βαθμοί της οντολογίας αντικατοπτρίζουν με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια την ασάφεια του πεδίου.
5. Η ασαφής οντολογία είναι επαναχρησιμοποιήσιμη και διαμοιράσιμη μέσω της ρητής περιγραφής του νοήματος των ασαφών οντολογικών στοιχείων και των βαθμών αυτών.

Με αυτό το σκεπτικό, στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η **IKARUS-Onto**, μια καινοτόμος μεθοδολογία η οποία συνεισφέρει στην αποτελεσματική ανάπτυξη επαναχρησιμοποιήσιμων και διαμοιράσιμων ασαφών οντολογιών παρέχοντας συγκεκριμένα βήματα και οδηγίες για:

- Την αποτελεσματική και σωστή αναγνώριση της ασαφούς γνώσης σε ένα πεδίο γνώσης (π.χ. μέσω της διαφοροποίησης της έννοιας της ασάφειας από άλλες έννοιες όπως είναι η αβεβαιότητα ή η αμφισημία).
- Τη μοντελοποίηση της γνώσης αυτής μέσω ασαφών οντολογικών στοιχείων με τρόπο ρητό και όσο το δυνατόν ακριβή.

Βάσει των παραπάνω, η δομή του κεφαλαίου έχει ως εξής: Στην πρώτη ενότητα παρέχεται μια συνοπτική αλλά περιεκτική κάλυψη του φαινομένου της ασάφειας όπου, μεταξύ άλλων, διαχωρίζεται η συγκεκριμένη έννοια από άλλες έννοιες (όπως είναι η ανακρίβεια, η αβεβαιότητα και η αμφισημία) και ορίζονται τα βασικά είδη ασάφειας που υπάρχουν. Στην ενότητα 4.2 περιγράφονται τα κύρια δομικά στοιχεία ασαφών οντολογιών, όπως αυτά προκύπτουν από τους σχετικούς φορμαλισμούς

(βλέπε ενότητα 3.1), καθώς και ο τρόπος με τον οποίο το καθένα από αυτά μπορεί να αναπαραστήσει ασαφή πληροφορία. Στην επόμενη ενότητα (4.3) περιγράφεται με αναλυτικό τρόπο η προτεινόμενη μεθοδολογία IKARUS-Onto. Τέλος, οι δύο τελευταίες ενότητες περιγράφουν ένα πρακτικό παράδειγμα εφαρμογής της μεθοδολογίας σε ένα πραγματικό σενάριο ανάπτυξης ασαφούς οντολογίας καθώς και την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της μεθοδολογίας στο πλαίσιο του σεναρίου αυτού.

4.1 Το φαινόμενο της ασάφειας

Η ασάφεια ως σημασιολογικό φαινόμενο εμφανίζεται συνήθως με τη μορφή κατηγορημάτων (predicates) η εφαρμογή των οποίων επιδέχεται οριακές περιπτώσεις (borderline cases) [23] [113], περιπτώσεις δηλαδή για τις οποίες δεν είναι ξεκάθαρο αν το κατηγόρημα είναι πράγματι εφαρμόσιμο. Για παράδειγμα, μερικοί άνθρωποι είναι οριακά ψηλοί: όχι ξεκάθαρα ψηλοί αλλά ούτε και ξεκάθαρα μη ψηλοί.

Πιο τυπικά, ένα αντικείμενο a αποτελεί οριακή περίπτωση ενός κατηγορήματος P αν η δήλωση $P(a)$ είναι "αμφισβητήσιμη", αν δηλαδή δεν είναι ξεκάθαρα αληθές ότι $P(a)$ ή ότι $\neg P(a)$ [113]. Ο χαρακτηρισμός "ξεκάθαρα" για την αλήθεια ενός κατηγορήματος σημαίνει ότι οι κυρίαρχες πρακτικές χρήσης της γλώσσας ορίζουν συγκεκριμένες συνθήκες αληθείας για αυτό [123].

Προφανώς, η ύπαρξη οριακών περιπτώσεων σχετίζεται με την ύπαρξη ασαφών ορίων. Για παράδειγμα, στην κλίμακα των υψών δε φαίνεται να υπάρχει αυστηρό όριο μεταξύ των ψηλών και των μη ψηλών ανθρώπων. Για το λόγο αυτό δύο ισοδύναμοι τρόποι διαχωρισμού ενός ασαφούς κατηγορήματος από ένα μη ασαφές είναι να πει κανείς ότι:

1. Ένα ασαφές κατηγόρημα δύναται να έχει οριακές περιπτώσεις ενώ ένα μη ασαφές όχι.
2. Ένα ασαφές κατηγόρημα δεν έχει αυστηρά όρια εφαρμογής.

Στη σχετική βιβλιογραφία αναγνωρίζονται δύο βασικά είδη ασάφειας, η *ασάφεια βαθμού* και η *συνδυαστική ασάφεια* [23]. Ένα κατηγόρημα P έχει ασάφεια βαθμού όταν η δυνητική ύπαρξη οριακών περιπτώσεων οφείλεται στην (προφανή) έλλειψη αυστηρών ορίων μεταξύ εφαρμογής και μη εφαρμογής του κατηγορήματος σε κάποια διάσταση. Για παράδειγμα, το κατηγόρημα *Καραφλός* αποτυγχάνει να θέσει αυστηρά όρια εφαρμογής του στη διάσταση της ποσότητας τριχών ενώ το κατηγόρημα *Ψηλός* στη διάσταση του ύψους. Υπάρχει βέβαια και η περίπτωση ένα κατηγόρημα να έχει ασάφεια βαθμού σε παραπάνω από μία διαστάσεις όπως για παράδειγμα το

κατηγόρημα *Κόκκινος* το οποίο είναι ασάφεις τόσο στη διάσταση της φωτεινότητας του χρώματος όσο και σε αυτή του κορεσμού (saturation).

Από την άλλη πλευρά, ένα κατηγόρημα P έχει συνδυαστική ασάφεια όταν υπάρχει μια ποικιλία συνθηκών οι οποίες σχετίζονται με την εφαρμογή του κατηγορήματος αλλά δεν είναι δυνατός ο αυστηρός ορισμός των συνδυασμών των συνθηκών αυτών που είναι αναγκαίοι και ικανοί για να θεωρηθεί το κατηγόρημα αληθές. Κλασικό παράδειγμα συνδυαστικής ασάφειας αποτελεί το κατηγόρημα *Θρησκεία* καθώς υπάρχουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά τα οποία όλες οι θρησκείες μοιράζονται (π.χ. πίστη σε υπερφυσικά όντα, τελετουργίες κλπ.) αλλά δεν είναι ξεκάθαρο ποια από αυτά τα χαρακτηριστικά είναι ικανά να ξεχωρίσουν μια θρησκεία από άλλα φαινόμενα.

Επίσης είναι πολύ σημαντικό να μη συγχέεται η έννοια της ασάφειας από τις έννοιες της ανακρίβειας (inexactness), της αβεβαιότητας (uncertainty) και της αμφισημίας (ambiguity). Για παράδειγμα, η δήλωση ότι κάποιος έχει ύψος μεταξύ 1,70 και 1,80 μέτρων είναι ανακριθής αλλά δεν είναι ασαφής αφού τα όρια εφαρμογής της δήλωσης είναι ξεκάθαρα. Επίσης, η αλήθεια μιας αβέβαιης δήλωσης, όπως για παράδειγμα ότι σήμερα μπορεί να βρέξει, δεν μπορεί να προσδιοριστεί λόγω έλλειψης επαρκούς πληροφόρησης και όχι λόγω κάποιας έλλειψης αυστηρών ορίων για το φαινόμενο της βροχής. Τέλος, η αλήθεια μιας δήλωσης μπορεί να μην είναι προσδιορίσιμη λόγω της αμφισημίας κάποιου όρου (π.χ. στη δήλωση *Κατάλαβε το σκοπό όρος σκοπός* είναι αμφίσημος), αλλά αυτό δεν καθιστά τη δήλωση ασαφή.

Τέλος, το φαινόμενο της ασάφειας εξαρτάται από το νοηματικό πλαίσιο εφαρμογής (context) στο οποίο εξετάζονται τα κατηγορήματα και οι όροι. Για παράδειγμα, ένας άνθρωπος μπορεί να θεωρείται ψηλός σε σχέση με το μέσο πληθυσμό αλλά κοντός σε σχέση με έναν επαγγελματία παίκτη του μπάσκετ. Ομοίως ένας υπάλληλος μπορεί να θεωρείται πλούσιος σε σχέση με το μέσο εισόδημα της περιοχής που ζει αλλά φτωχός σε σχέση με το αφεντικό του. Αυτό δε σημαίνει ότι ένας όρος μπορεί να είναι ασαφής στο ένα πλαίσιο και μη ασαφής σε ένα άλλο αλλά ότι η ερμηνεία της ασάφειας του μπορεί να είναι διαφορετική.

4.2 Δομικά Στοιχεία Ασαφών Οντολογιών

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 2.3.3, οι κλασσικές οντολογίες αποτελούνται κατά κανόνα από έννοιες, στιγμιότυπα, ιδιότητες και σχέσεις. Μια έννοια αναπαριστά ένα σύνολο ή μία κλάση αντικειμένων μέσα σε ένα πεδίο ενώ τα αντικείμενα που ανήκουν σε μια συγκεκριμένη έννοια ονομάζονται στιγμιότυπα αυτής. Μια ιδιότητα με τη σειρά της αναπαριστά κάποιο χαρακτηριστικό μια έννοιας (για το οποίο τα

στιγμιότυπα της έννοιας αυτής λαμβάνουν τιμές) ενώ μια σχέση περιγράφει τη συσχέτιση που μπορεί να υπάρξει μεταξύ δύο ή περισσοτέρων εννοιών (και κατ' επέκταση μεταξύ των στιγμιοτύπων τους).

Οι ασαφείς οντολογίες, από την άλλη πλευρά, αναπαρίστανται από παρόμοια με τα παραπάνω δομικά στοιχεία τα οποία, επιπροσθέτως, επιτρέπουν την αναπάρασταση ασαφών βαθμών οι οποίοι προσπαθούν να εκφράσουν την ασάφεια της γνώσης. Πιο συγκεκριμένα, δεδομένων των διαφόρων υπαρχόντων φορμαλισμών για αναπαράσταση ασαφών οντολογιών [34] [39] [62], τα βασικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται μια ασαφής οντολογία μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- **Ασαφείς Έννοιες:** Μια ασαφής οντολογική έννοια είναι μια έννοια τα στιγμιότυπα της οποίας δύνανται να ανήκουν σε αυτή όχι πλήρως αλλά σε συγκεκριμένους βαθμούς. Ένας τέτοιος βαθμός υποδηλώνει πρακτικά το κατά πόσο μια δεδομένη οντότητα πρέπει να θεωρηθεί ως στιγμιότυπο της έννοιας. Παράδειγμα ασαφούς έννοιας αποτελεί η έννοια *Ψηλός Άνδρωπος* τα στιγμιότυπα της οποίας υποτίθεται ότι είναι άνθρωποι που το ύψος τους τούς κατηγοριοποιεί ως ψηλούς. Από τη στιγμή που το κατηγόρημα *Ψηλός* είναι ασαφές (βλέπε προηγούμενη παράγραφο), η έννοια είναι επίσης ασαφής και η ασάφεια της αυτή αναπαρίσταται μέσω δηλώσεων όπως *O άνδρωπος X είναι στιγμιότυπο της έννοιας Ψηλός Άνδρωπος σε βαθμό 0.8*. Σε γλώσσες που βασίζονται σε ασαφείς περιγραφικές λογικές τέτοιες δηλώσεις ονομάζονται *ασαφείς ισχυρισμοί εννοιών (fuzzy concept assertions)* [34] [39].
- **Ασαφείς Σχέσεις:** Παρομοίως με τις ασαφείς έννοιες, μια ασαφής οντολογική σχέση συνδέει στιγμιότυπα εννοιών σε συγκεκριμένους βαθμούς. Ένας τέτοιος βαθμός υποδηλώνει πρακτικά το κατά πόσο η σχέση μεταξύ των δύο στιγμιοτύπων πρέπει να θεωρείται αληθής. Για παράδειγμα, η σχέση *είναιΕιδήμωνΣε*, η οποία περιέχει το ασαφές κατηγόρημα *Eιδήμων*, είναι ασαφής και η ασάφεια της αυτή αναπαρίσταται μέσω δηλώσεων όπως *O άνδρωπος X είναι ειδήμων στην περιοχή Y σε βαθμό 0.5*. Σε γλώσσες που βασίζονται σε ασαφείς περιγραφικές λογικές τέτοιες δηλώσεις ονομάζονται *ασαφείς ισχυρισμοί ρόλων (fuzzy concept assertions)* [34] [39].
- **Ασαφείς Ιδιότητες:** Μια ασαφής ιδιότητα αναθέτει τιμές (literal values) σε στιγμιότυπα εννοιών σε συγκεκριμένους βαθμούς. Ένας τέτοιος βαθμός υποδηλώνει πρακτικά το κατά πόσο η τιμή είναι εφαρμόσιμη στο στιγμιότυπο για τη συγκεκριμένη ιδιότητα. Για παράδειγμα, η ιδιότητα *κατηγορία* της έννοιας *Tainia* που παίρνει ως τιμές λέξεις που υποδηλώνουν την κατηγορία στην οποία ανήκει η ταινία (π.χ. "επιστημονική φαντασίας", "τρόμου", "κωμωδία" κλπ.).

είναι ασαφής (γιατί υπάρχουν ταινίες που ανήκουν οριακά σε μια κατηγορία και αντίστροφα) και η ασάφεια της αυτής αναπαρίσταται μέσω δηλώσεων όπως η *κατηγορία της ταινίας X είναι "κωμωδία"* σε βαθμό 0.7. Στην πράξη, οι ασαφείς ιδιότητες διαφέρουν από τις ασαφείς σχέσεις μόνο στο γεγονός ότι μια σχέση συνδέει στιγμιότυπα με στιγμιότυπα ενώ μια ιδιότητα στιγμιότυπα με τιμές.

- **Ασαφείς Τύποι Δεδομένων:** Ένας ασαφής τύπος δεδομένων αποτελείται από ασαφείς όρους οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην οντολογία ως τιμές ιδιοτήτων. Για παράδειγμα, η ιδιότητα *απόδοση*, η οποία λαμβάνει ως τιμές ακέραιους αριθμούς, μπορεί σε ένα δεδομένο πεδίο ή σενάριο εφαρμογής να λαμβάνει ως τιμές όρους όπως *πολύ χαμηλή, χαμηλή, μέτρια, καλή* και *άριστη*. Αυτό που κάνει ένας ασαφής τύπος δεδομένων είναι να αντιστοιχίζει κάθε όρο σε ένα ασαφές σύνολο το οποίο ορίζει το νόημά του αναθέτοντας σε κάθε μία από τις πιθανές ακριβείς τιμές του τύπου δεδομένων έναν ασαφή βαθμό. Ο βαθμός αυτός υποδηλώνει πρακτικά το κατά πόσο η ακριβής τιμή και ο ασαφής όρος εκφράζουν την ίδια πληροφορία. Οι ασαφείς τύποι δεδομένων είναι γνωστοί και ως ασαφείς στέρεοι χώροι (fuzzy concrete domains) [34] ή ασαφείς γλωσσικές μεταβλητές (fuzzy linguistic variables) [62].

Η παραπάνω περιγραφή των ασαφών οντολογικών στοιχείων δεν είναι εξαντλητική και δεν πρέπει να θεωρηθεί ως ένας προτεινόμενος εννοιολογικός φορμαλισμός για την αναπαράσταση ασαφών οντολογιών. Είναι απλά μια βολική ορολογία την οποία υιοθετεί η μεθοδολογία IKARUS-Onto προκειμένου να ορίσει τα επιμέρους βήματά της. Όπως θα φανεί παρακάτω, η συγκεκριμένη ορολογία καθιστά πιο εύκολη τη δουλειά των μηχανικών οντολογιών και των ειδικών πεδίου κατά τη διαδικασία αναγνώρισης και αναπαράστασης ασαφούς πληροφορίας καθώς αποτελεί φυσική επέκταση της ορολογίας που χρησιμοποιείται στις κλασσικές οντολογίες.

4.3 Η Μεθοδολογία Ανάπτυξης Ασαφών Οντολογιών IKARUS-Onto

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, η μεθοδολογία IKARUS-Onto ορίζει ένα σύνολο από συγκεκριμένα βήματα και οδηγίες για την αναπαράσταση ασαφούς γνώσης μέσω ασαφών οντολογικών στοιχείων. Η έμφαση δε δίνεται τόσο πολύ στη δομή της ασαφούς οντολογίας αλλά στη διαδικασία που ακολουθείται για την κατασκευή της και στο περιεχόμενο που τελικά έχει η οντολογία. Σκοπός της μεθοδολογίας είναι να καταστήσει ευκολότερες για το μηχανικό οντολογιών την αναγνώριση και τη μο-

ντελοποίηση της ασάφειας του πεδίου γνώσης και να εξασφαλίσει ότι το περιεχόμενο αντικατοπτρίζει την ασάφεια αυτή με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια.

Τονίζεται ότι η IKARUS-Onto δεν είναι μια ακόμα μεθοδολογία για ανάπτυξη οντολογιών αλλά μια μεθοδολογία για τη μετατροπή συμβατικών οντολογιών σε ασαφείς. Επίσης, η εφαρμογή της προϋποθέτει πρότερη γνώση ανάπτυξης κλασσικών οντολογιών από αυτούς που την εφαρμόζουν. Αυτό φαίνεται και στον κύκλο ζωής της μεθοδολογίας του οποίου τα επιμέρους βήματα απεικονίζονται στην εικόνα 4.1. Στις παραγράφους που ακολουθούν παρουσιάζονται με αναλυτικό τρόπο όλα τα βήματα της μεθοδολογίας IKARUS-Onto.

4.3.1 Βήμα 0: Απόκτηση της μη ασαφούς οντολογίας του πεδίου

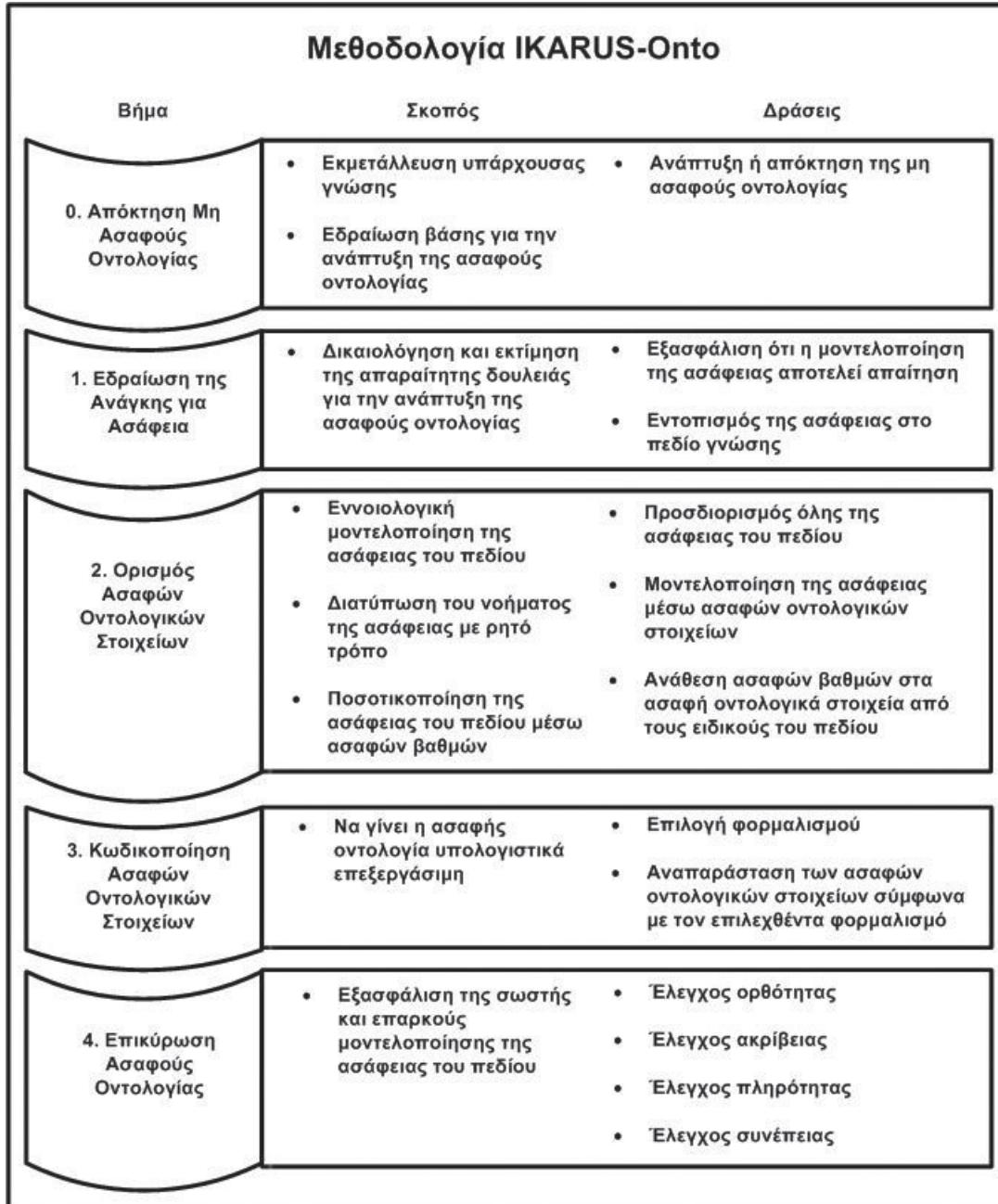
Το σημείο έναρξης της μεθοδολογίας είναι κάποιο πεδίο γνώσης το οποίο είναι ήδη μοντελοποιημένο με τη μορφή κάποιας μη ασαφούς οντολογίας. Αν δεν υπάρχει κάποια τέτοια οντολογία τότε θα πρέπει να αναπτυχθεί (χρησιμοποιώντας κάποια συμβατική μεθοδολογία) καθώς θα αποτελέσει τη βάση πάνω την οποία θα εκτελεστεί η ανάπτυξη της ασαφούς οντολογίας. Οι κύριοι λόγοι για τους οποίους ακολουθείται αυτή η προσέγγιση (η μη δηλαδή ανάμειξη της ανάπτυξης του μη ασαφούς μέρους της οντολογίας με αυτή του ασαφούς) είναι οι εξής:

- Είναι ευκολότερο για τους μηχανικούς οντολογιών και τους ειδικούς πεδίου να αναγνωρίσουν την ασάφεια σε γνώση που είναι ήδη εννοιολογικά μοντελοποιημένη και δομημένη.
- Σε πολλά πεδία γνώσης το μη ασαφές μέρος της οντολογίας είναι ήδη διαθέσιμο ως ξεχωριστή οντολογία.
- Η προσέγγιση αυτή δίνει τη δυνατότητα ανάθεσης της ανάπτυξης του ασαφούς μέρους της οντολογίας σε ειδικούς που δεν είναι απαραίτητα εξοικειωμένοι με τις συμβατικές μεθοδολογίες και γλώσσες ανάπτυξης οντολογιών, μειώνοντας έτσι μερικώς το πρόβλημα της εκμαίευσης γνώσης.

4.3.2 Βήμα 1: Εδραίωση της ανάγκης για ανάπτυξη ασαφούς οντολογίας

Η εδραίωση της ανάγκης για ανάπτυξη ασαφούς οντολογίας μεταφράζεται στον προσδιορισμό δύο πραγμάτων, του εάν και σε τι βαθμό υπάρχει ασάφεια στο πεδίο

Σχήμα 4.1: Η μεθοδολογία IKARUS-Onto



γνώσης και του εάν οι προτιθέμενες χρήσεις της οντολογίας απαιτούν τη μοντελοποίηση της ασάφειας αυτής. Ο προσδιορισμός αυτός είναι απαραίτητος καθώς δικαιολογεί και εκτιμά τη δουλειά που θα χρειαστεί για την ανάπτυξη της ασαφούς οντολογίας.

Αναλυτικότερα, η εκτέλεση του συγκεκριμένου βήματος απαιτεί από το μηχανικό οντολογιών να εξασφαλίσει ότι η αναγνώριση και μοντελοποίηση της ασάφειας του πεδίου απαιτείται από το σενάριο εφαρμογής της οντολογίας. Κάτι τέτοιο συμβαίνει συνήθως όταν υπάρχει (ή πρόκειται να υπάρξει) κάποιο βασισμένο στη γνώση πληροφοριακό σύστημα (knowledge-based system) το οποίο διαχειρίζεται και χρησιμοποιεί ασαφή γνώση με τη μορφή ασαφών οντολογιών για σκοπούς όπως είναι η ανάκτηση πληροφορίας, η θεματική κατηγοριοποίηση, η διαχείριση γνώσης κλπ. Σε πιο σπάνιες περιπτώσεις μπορεί να μην υπάρχει κάποιο τέτοιο σύστημα αλλά να είναι απλά επιθυμητό να αναπαρασταθεί η ασάφεια του πεδίου με ρητό τρόπο.

Δεδομένης της απαίτησης για διαχείριση της ασάφειας, ο μηχανικός προσπαθεί στη συνέχεια να προσδιορίσει κατά πόσο υπάρχει ασάφεια στο πεδίο γνώσης. Αυτό γίνεται μέσω του εντοπισμού στοιχείων της μη ασαφούς οντολογίας το νόημα των οποίων μπορεί να ερμηνευτεί ως ασαφές στο δεδομένο πεδίο ή/και σενάριο εφαρμογής. Ειδικότερα, δεδομένων των ορισμών περί ασάφειας της ενότητας 4.1 και των ασαφών οντολογικών στοιχείων της ενότητας 4.2, ο εντοπισμός αυτός πραγματοποιείται ως εξής:

- **Αναγνώριση ασαφών εννοιών:** Μία έννοια είναι ασαφής εάν, στο δεδομένο πεδίο, νοηματικό πλαίσιο ή σενάριο εφαρμογής, επιδέχεται οριακές περιπτώσεις, αν δηλαδή υπάρχουν (ή μπορεί να υπάρξουν) οντότητες για τις οποίες δεν είναι ξεκάθαρο αν αποτελούν στιγμιότυπα της έννοιας. Βασικές υποψήφιες για να είναι ασαφείς είναι έννοιες που υποδηλώνουν κάποια φάση ή κατάσταση (π.χ. Ενήλικας, Παιδί) καθώς και χαρακτηρισμοί, έννοιες δηλαδή που απεικονίζουν ποιοτικές καταστάσεις μιας οντότητας (π.χ. Κόκκινος, Μεγάλος, Σπασμένος κλπ.).
- **Αναγνώριση ασαφών σχέσεων και ιδιοτήτων:** Μία σχέση είναι ασαφής εάν, στο δεδομένο πεδίο, νοηματικό πλαίσιο ή σενάριο εφαρμογής, επιδέχεται οριακές περιπτώσεις, αν δηλαδή υπάρχουν (ή μπορεί να υπάρξουν) ζευγάρια στιγμιοτύπων για τα οποία δεν είναι ξεκάθαρο εάν ισχύει η σχέση. Το ίδιο ισχύει και για τις ιδιότητες και τα ζευγάρια στιγμιοτύπων με τιμές.
- **Αναγνώριση όρων ασαφών τύπων δεδομένων:** Τέτοιοι όροι αναγνωρίζονται λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιότητες της οντολογίας και ελέγχοντας εάν οι πιθανές τιμές αυτών μπορούν να εκφραστούν μέσω ασαφών όρων. Τέτοιες ιδιότητες

είναι συνήθως αυτές που να ποσοτικοποιηθούν όπως για παράδειγμα το μέγεθος και το ύψος οι τιμές των οποίων μπορούν να εκφραστούν με όρους όπως {μεγάλος, μικρός} και {ψηλός, κοντός} αντίστοιχα.

Προφανώς, σε αυτό το βήμα, η αναγνώριση της ασάφειας δεν είναι απαραίτητο να είναι εξαντλητική αλλά τόση ώστε να εδραιώσει την ανάγκη για ανάπτυξη της ασαφούς οντολογίας. Αυτό που είναι όμως σημαντικό σε κάθε περίπτωση είναι η εξασφάλιση ότι τα αναγνωρισθέντα ως ασαφή οντολογικά στοιχεία εκφράζουν πράγματι ασάφεια και όχι κάτι άλλο (π.χ. αβεβαιότητα). Για το σκοπό αυτό, οι παραπάνω ορισμοί και κατευθυντήριες γραμμές είναι πολύ σημαντικές.

4.3.3 Βήμα 2: Ορισμός των ασαφών οντολογικών στοιχείων

Το δεύτερο βήμα της IKARUS-Onto περιλαμβάνει τον πλήρη εντοπισμό της ασαφούς γνώσης του πεδίου και τη ρητή περιγραφή αυτής μέσω των ασαφών οντολογικών στοιχείων της ενότητας 4.2. Ο στόχος της περιγραφής αυτής είναι η εξασφάλιση ότι τα ασαφή οντολογικά στοιχεία που θα οριστούν θα έχουν τις εξής ιδιότητες:

- Το νόημα της ασάφειάς τους θα είναι ξεκάθαρο και συγκεκριμένο έτσι ώστε τα στοιχεία αυτά να είναι διαμοιράσιμα και επαναχρησιμοποιήσιμα.
- Οι ασαφείς βαθμοί τους θα προσεγγίζουν με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια την ασάφειά τους.

Για τους δύο αυτούς λόγους, η μεθοδολογία IKARUS-Onto προτείνει μια συγκεκριμένη διαδικασία και ένα πρότυπο περιγραφής για τον ορισμό κάθε τύπου ασαφούς οντολογικού στοιχείου. Ειδικότερα, το βήμα 2 ξεκινάει με την αναγνώριση και την περιγραφή των ασαφών οντολογικών σχέσεων και ιδιοτήτων. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενες ενότητες, τα δύο αυτά στοιχεία είναι αρκετά παρόμοια με τη μόνη τους διαφορά να είναι ότι οι ασαφείς σχέσεις συνδέουν στιγμιότυπα μεταξύ τους ενώ οι ασαφείς ιδιότητες συνδέουν στιγμιότυπα με τιμές. Για το λόγο αυτό η διαδικασία ορισμού των στοιχείων των δύο αυτών τύπων είναι κοινή και αποτελείται από τις εξής εργασίες:

1. Την αναγνώριση στη μη ασαφή οντολογία όλων των σχέσεων/ιδιοτήτων που έχουν ασαφές νόημα σύμφωνα με τους ορισμούς και τις κατευθυντήριες γραμμές του βήματος 1.
2. Τον προσδιορισμό για κάθε στοιχείο (σχέση ή ιδιότητα) του είδους της ασάφειας (ασάφεια βαθμού ή συνδυαστική ασάφεια). Εάν το στοιχείο έχει ασάφεια

βαθμού τότε πρέπει να προσδιοριστούν και όλες οι διαστάσεις στις οποίες είναι ασαφές.

3. Τη χρήση της παραπάνω πληροφορίας για τον ορισμό για κάθε στοιχείο του ακριβούς νοήματος της ασάφειάς του. Αν το στοιχείο έχει ασάφεια βαθμού σε πολλαπλές διαστάσεις τότε η διάκριση μεταξύ των διαστάσεων αυτών ενδέχεται να είναι σημαντική ή και όχι. Στην περίπτωση που είναι τότε θα πρέπει να οριστεί ένα ξεχωριστό στοιχείο για κάθε διάσταση.
4. Τον ορισμό της αναμενόμενης ερμηνείας του ασαφούς βαθμού του κάθε στοιχείου. Αν το στοιχείο έχει ασάφεια βαθμού τότε ο ασαφής βαθμός ενός συσχετισμένου ζεύγους στιγμιοτύπων (ή στιγμιοτύπου και τιμής) εκφράζει πρακτικά το κατά πόσο η τιμή του ζεύγους για τη διάσταση της ασάφειας του στοιχείου τοποθετεί το πρώτο εντός των ορίων εφαρμογής του τελευταίου. Αν, από την άλλη πλευρά, ή ασάφεια είναι συνδυαστική τότε ο ασαφής βαθμός εκφράζει πρακτικά το κατά πόσο οι ικανοποιηθείσες από το ζεύγος συνθήκες εφαρμογής του στοιχείου είναι επαρκείς για να θεωρηθεί το ζεύγος ότι ικανοποιεί τη σχέση/ιδιότητα.
5. Την ανάθεση στα ζεύγη στιγμιοτύπων (ή στιγμιοτύπων και τιμών) που συνδέονται βάσει της κάθε σχέσης/ιδιότητας συγκεκριμένων ασαφών βαθμών. Οι βαθμοί αυτοί θα πρέπει να εκφράζουν με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια την αναμενόμενη ερμηνεία των ασαφών βαθμών του στοιχείου για το κάθε ζεύγος.

Στο τέλος της παραπάνω διαδικασίας παράγεται ένα σύνολο από περιγραφές στοιχείων όπως αυτές του πίνακα 4.1. Μέσω αυτού του τρόπου περιγραφής, το νόημα της ασάφειας των ασαφών οντολογικών στοιχείων και η αναμενόμενη ερμηνεία των ασαφών βαθμών τους γίνονται ξεκάθαρα. Αυτό εξασφαλίζει αφενός την κοινή κατανόηση της ασάφειας των στοιχείων από όλους τους χρήστες της ασαφούς οντολογίας και αφετέρου βοηθάει τους ειδικούς πεδίου να αναθέτουν βαθμούς στα στιγμιότυπα των στοιχείων με πιο διαισθητικό και ακριβή τρόπο.

Μετά από το ορισμό όλων των ασαφών οντολογικών σχέσεων και ιδιοτήτων, λαμβάνει χώρα ο ορισμός των ασαφών τύπων δεδομένων. Η διαδικασία γι' αυτό περιλαμβάνει τις εξής εργασίες:

1. Την αναγνώριση στη μη ασαφή οντολογία όλων των ιδιοτήτων οι τιμές των οποίων μπορούν να εκφραστούν με ασαφείς όρους.
2. Τον προσδιορισμό των όρων αυτών και την ομαδοποίησή τους σε ασαφείς τύπους δεδομένων (συνήθως ένας τύπος ανά ιδιότητα). Σημειώνεται ότι ο ίδιος όρος μπορεί να ανήκει σε παραπάνω του ενός τύπους.

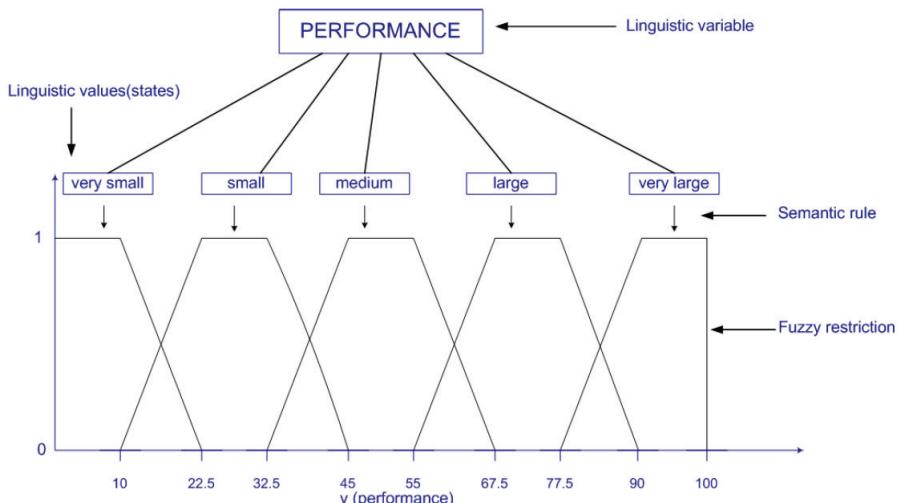
Πίνακας 4.1: Πρότυπο Περιγραφής Ασαφών Οντολογικών Σχέσεων και Ιδιοτήτων

Σχέση ή Ιδιότητα	Νόημα Ασάφειας	Ερμηνεία Βαθμού
<i>είναιΚοντάΣε</i>	Ασάφεια βαθμού στη διάσταση της απόστασης.	Ο βαθμός στον οποίο η απόσταση μεταξύ των συσχετιζόμενων στιγμοτύπων θεωρείται κοντινή.
<i>είναιΛειτουργικόΜέροςΤου</i>	Ασάφεια βαθμού στη διάσταση της συνεισφοράς του μέρους στη λειτουργικότητα του όλου.	Ο βαθμός στον οποίο η συνεισφορά του μέρους στη λειτουργία του όλου δικαιολογεί το χαρακτηρισμό "λειτουργικό".
<i>είναιΑνταγωνιστήςΤου</i>	Ασάφεια βαθμού στη διάσταση των τομέων δραστηριότητας του ανταγωνιστή και στη διάσταση των αγορών-στόχων του ανταγωνιστή.	Ο βαθμός στον οποίο οι τομείς δραστηριότητας και οι αγορές-στόχοι του υποκειμένου της σχέσης το καθιστούν ανταγωνιστή του αντικειμένου.
<i>ανήκειΣτηνΚατηγορία</i>	Συνδυαστική ασάφεια λόγω της έλλειψης αυστηρού διαχωρισμού μεταξύ εκείνων των συνθηκών που είναι απαραίτητες για κάτι να ανήκει σε μια δεδομένη κατηγορία.	Ο βαθμός στον οποίο το σύνολο των συνθηκών εφαρμογής της κατηγορίας που ικανοποιεί το υποκείμενο της σχέσης το κατατάσσουν στην κατηγορία αυτή.
<i>είναιΕιδικόςΣε</i>	Ασάφεια βαθμού στη διάσταση του επιπέδου γνώσης ενός αντικειμένου	Ο βαθμός στον οποίο το επίπεδο γνώσης κάποιου σε ένα αντικείμενο τον καθιστά ειδικό σε αυτό.

3. Τον ορισμό για κάθε όρο ενός ασαφούς τύπου δεδομένων ενός ασαφούς συνόλου το οποίο ορίζει το νόημά του όρου. Και πάλι είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο ίδιος όρος μπορεί να ορίζεται μέσω διαφορετικών ασαφών συνόλων σε διαφορετικούς τύπους δεδομένων.

Το σχήμα 4.2 δείχνει ένα παράδειγμα ασαφούς τύπου δεδομένων για την ιδιότητα απόδοσης ο οποίος αποτελείται από τους ασαφείς όρους πολύ κακή, κακή, μέτρια, καλή και άριστη. Όπως φαίνεται στην εικόνα, κάθε όρος αντιστοιχεί σε ένα ασαφές σύνολο το οποίο ορίζει το νόημά του. Έτσι για παράδειγμα μια απόδοση 45 θεωρείται μέτρια σε βαθμό 1.0 ενώ μια απόδοση 38.75 θεωρείται κακή σε βαθμό 0.5 και μέτρια στον ίδιο βαθμό.

Σχήμα 4.2: Παράδειγμα Ασαφούς Τύπου Δεδομένων



Ο τελευταίος τύπος ασαφών οντολογικών στοιχείων που πρέπει να οριστεί στο βήμα αυτό είναι αυτός των ασαφών εννοιών. Η διαδικασία που ακολουθείται για τον ορισμό αυτό είναι παρόμοια με αυτή για τις ασαφείς σχέσεις και ιδιότητες με μια σημαντική όμως διαφορά. Σε πολλές περιπτώσεις οι ασαφείς έννοιες "οφείλουν" την ασάφειά τους σε κάποια ασαφή σχέση, ιδιότητα ή όρο που έχει ήδη οριστεί. Αν συμβαίνει κάτι τέτοιο τότε ο ορισμός της ασάφειας της έννοιας μπορεί να προκύψει κατευθείαν από το ασαφές οντολογικό στοιχείο που την προκαλεί. Έτσι, η διαδικασία ορισμού των ασαφών εννοιών της οντολογίας περιλαμβάνει:

1. Την αναγνώριση στη μη ασαφή οντολογία όλων των εννοιών που έχουν ασαφές νόημα σύμφωνα με τους ορισμούς και τις κατευθυντήριες γραμμές του βήματος 1.

2. Τον προσδιορισμό για κάθε ασαφή έννοια του εάν η ασάφειά της προκαλείται από ένα ή περισσότερα ασαφή οντολογικά στοιχεία (σχέσεις, ιδιότητες, τύποι δεδομένων) που έχουν ήδη οριστεί. Αν συμβαίνει κάτι τέτοιο τότε το νόημα της ασάφειας της έννοιας καθώς και η ερμηνεία των βαθμών των στιγμιοτύπων της, προκύπτει από το στοιχείο που προκαλεί την ασάφεια.
3. Τον ορισμό, σε διαφορετική περίπτωση, κάθε ασαφούς έννοιας με τον ίδιο τρόπο που ορίζονται οι ασαφείς σχέσεις και ιδιότητες (συμπεριλαμβανομένης της ανάθεσης ασαφών βαθμών σε ζευγάρια στιγμιοτύπων και εννοιών).

Ο πίνακας 4.2 δείχνει ένα παράδειγμα ορισμού ασαφών εννοιών βάσει της παραπάνω διαδικασίας. Και πάλι το όφελος μιας τέτοιας περιγραφής σχετίζεται με την ξεκάθαρη περιγραφή του νοήματος της ασάφειας της έννοιας και την ακρίβεια της ανάθεσης ασαφών βαθμών στα στιγμιότυπα της.

Πίνακας 4.2: Πρότυπο Περιγραφής Ασαφών Οντολογικών Εννοιών

Έννοια	Νόημα Ασάφειας	Ερμηνεία Βαθμού
Φαλακρός Άνδρωπος	Ασάφεια βαθμού στη διάσταση της ποσότητας τριχών.	Ο βαθμός στον οποίο η ποσότητα τριχών κάποιου τον καθιστά φαλακρό.
Μέτριος Υπάλληλος	Ασάφεια βαθμού που προκύπτει από τον ασαφή τύπο δεδομένων Απόδοση (βλέπε παραπάνω).	Η ίδια με αυτή του όρου μέτρια του τύπου δεδομένων Απόδοση.
Θρησκεία	Συνδυαστική ασάφεια λόγω της έλλειψης αυστηρού διαχωρισμού μεταξύ εκείνων των συνθηκών που είναι απαραίτητες για να είναι κάτι θρησκεία.	Ο βαθμός στον οποίο το σύνολο των συνθηκών εφαρμογής της έννοιας Θρησκεία που ικανοποιεί το στιγμιότυπο, το καθιστούν θρησκεία.
Ταινία Επιστημονικής Φαντασίας	Συνδυαστική ασάφεια που προκύπτει από την ασαφή σχέση ανήκειστηνΚατηγορία του πίνακα 4.1	Η ίδια με αυτή της σχέσης ανήκειστηνΚατηγορία.

4.3.4 Βήμα 3: Κωδικοποίηση των ασαφών οντολογικών στοιχείων

Το βήμα της κωδικοποίησης αφορά τη μετατροπή των ορισμένων στο βήμα 2 ασαφών οντολογικών στοιχείων σε υπολογιστικά επεξεργάσιμη (machine-interpretable) μορφή μέσω κάποιας γλώσσας ασαφών οντολογιών. Όπως και με τις συμβατικές γλώσσες οντολογιών, οι διάφορες γλώσσες ασαφών οντολογιών διαφέρουν μεταξύ

τους ως προς τις δυνατότητες αναπαράστασης και συλλογιστικής που προσφέρουν. Για το λόγο αυτό ο μηχανικός οντολογιών πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε γλώσσας και τις δυνατότητες διαχείρισης ασαφούς γνώσης που αυτή προσφέρει. Ειδικότερα, σημαντικές παράμετροι μιας γλώσσας ασαφών οντολογιών αποτελούν:

- **Το εύρος των ασαφών οντολογικών στοιχείων που προσφέρει:** Όλες οι γλώσσες δεν υποστηρίζουν όλη τη γκάμα των ασαφών οντολογικών στοιχείων που αναφέρονται στην ενότητα 4.2 ή και με τον ίδιο τρόπο. Για παράδειγμα, η ασαφής περιγραφική λογική f-SHIN [42] δεν υποστηρίζει ασαφείς τύπους δεδομένων ενώ οι γλώσσες των [34] και [62] τους υποστηρίζει, η μεν πρώτη όμως με τη μορφή ασαφών στέρεων χώρων, η δε δεύτερη με τη μορφή ασαφών γλωσσικών μεταβλητών.
- **Το εύρος των δυνατοτήτων ασαφούς συλλογιστικής που υποστηρίζει:** Συγκεκριμένες δυνατότητες συλλογιστικής που υποστηρίζουν τα συστήματα συλλογισμού για μη ασαφείς οντολογίες χρειάζονται προσαρμογή στην περίπτωση που η οντολογία είναι ασαφής. Παράδειγμα αποτελεί η υπαγωγή η οποία, στην ασαφή περίπτωση, απαιτεί από το σύστημα συλλογισμού να μπορεί να προσδιορίζει αν ένα στιγμιότυπο ανήκει σε μια εννοια κατά ένα συγκεκριμένο βαθμό. Μερικές, αλλά όχι όλες, γλώσσες ασαφών οντολογιών συνοδεύονται από αντίστοιχα συστήματα συλλογιστικής [36] [34] [85] τα οποία συνήθως διαφέρουν ως προς τις δυνατότητες που προσφέρουν.

Τα παραπάνω σημαίνουν πρακτικά ότι, ανάλογα με το σενάριο εφαρμογής της ασαφούς οντολογίας, μία γλώσσα μπορεί να είναι καταλληλότερη από μία άλλη. Λεπτομερέστερη περιγραφή του τρόπου με τον οποίο μια ασαφής οντολογία μπορεί να κωδικοποιηθεί μέσω μιας γλώσσας είναι εκτός του εύρους της διατριβής καθώς εξαρτάται κάθε φορά από την επιλεχθείσα γλώσσα.

4.3.5 Βήμα 4: Επικύρωση της ασαφούς οντολογίας

Μετά την κατασκευή της ασαφούς οντολογίας είναι απαραίτητη η εκτέλεση μιας διαδικασίας επικύρωσης έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ότι το αναπτυχθέν προϊόν αναπριστά την ασάφεια του πεδίου με επαρκή και ορθό τρόπο. Αυτό πρακτικά μεταφράζεται σε ανάγκη αξιολόγησης των εξής τεσσάρων ιδιοτήτων της ασαφούς οντολογίας:

- **Ορθότητα:** Μία ασαφής οντολογία είναι ορθή όταν όλα τα ασαφή στοιχεία της αναπαριστούν πράγματι ασαφή γνώση στο δεδομένο πεδίο, πλαίσιο ή σενάριο

εφαρμογής. Αυτό σημαίνει ότι κάθε ένα από τα στοιχεία αυτά (δύναται να) έχει οριακές περιπτώσεις.

- **Ακρίβεια:** Μία ασαφής οντολογία είναι ακριβής όταν οι βαθμοί των ασαφών στοιχείων της προσεγγίζουν την ασάφεια των τελευταίων με διαισθητικά ακριβή τρόπο για το δεδομένο πεδίο, πλαίσιο ή σενάριο εφαρμογής. Αυτό δε σημαίνει ότι οι βαθμοί πρέπει να είναι συγκεκριμένοι αλλά ότι οι τιμές τους θα πρέπει να θεωρούνται φυσικές από αυτούς που χρησιμοποιούν την οντολογία. Για παράδειγμα η ασαφής δήλωση *O Ομπάμα είναι ένας Μαύρος Άνθρωπος σε βαθμό 0.2* είναι σημαντικά ανακριβής ενώ η δήλωση *O Σεργκέι Μπριν είναι ένας α Πλούσιος Άνθρωπος σε βαθμό 0.7* έχει περισσότερο νόημα.
- **Πληρότητα:** Μία ασαφής οντολογία είναι πλήρης όταν όλη η ασάφεια του πεδίου έχει αναπαρασταθεί μέσω της οντολογίας. Αυτό σημαίνει κυρίως ότι η οντολογία δεν θα πρέπει να περιέχει μη ασαφή στοιχεία τα οποία στο δεδομένο πεδίο, πλαίσιο ή σενάριο εφαρμογής έχουν ασαφές νόημα. Σημαίνει επίσης ότι για κάθε ασαφές στοιχείο όλες οι (απαραίτητες) διαστάσεις της ασάφειάς του πρέπει να έχουν αναγνωριστεί και μοντελοποιηθεί.
- **Συνέπεια:** Μία ασαφής οντολογία είναι συνεπής όταν δεν περιέχει αντιφατική πληροφορία σχετικά με την ασάφεια του πεδίου όπως αυτή εκφράζεται μέσω των ασαφών βαθμών. Για παράδειγμα οι ασαφείς δηλώσεις *O Ομπάμα είναι ένας Μαύρος Άνθρωπος σε βαθμό 0.9* και *O Ομπάμα έχει Χρώμα Δέρματος μαύρο σε βαθμό 0.4* είναι αντιφατικές.

Οι πρώτες τρεις ιδιότητες αξιολογούνται κατά κανόνα από ανθρώπους (χρήστες της οντολογίας και ειδικούς πεδίου) ενώ η τέταρτη μπορεί ενδεχομένως να ελεγχθεί μέσω κάποιου συστήματος συλλογιστικής για ασαφείς οντολογίες. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι η αξιολόγηση της πληρότητας γίνεται σε σχέση με την αρχική μη ασαφή οντολογία. Αυτό σημαίνει ότι ασαφής γνώση που δεν είχε καταγραφεί ως μη ασαφής στην αρχική οντολογία δεν θα περιέχεται ούτε και στην τελική και άρα δεν μπορεί να συμπεριληφθεί στη διαδικασία αξιολόγησης.

4.4 Σενάριο Εφαρμογής Μεθοδολογίας

Προκειμένου να φανεί ο τρόπος με τον οποίο η μεθοδολογία IKARUS-Onto μπορεί να εφαρμοστεί πρακτικά για την κατασκευή ασαφών οντολογιών, παρουσιάζεται στην ενότητα αυτή ένα ενδεικτικό κομμάτι από ένα πραγματικό σενάριο εφαρμογής το οποίο περιελάμβανε την ανάπτυξη μιας ασαφούς επιχειρηματικής οντολογίας για

μια εταιρεία συμβούλων. Σύμφωνα με το σενάριο η οντολογία χρειάζεται να μοντελοποιεί γνώση σχετικά με τη λειτουργία της εταιρείας καθώς η τελευταία διαθέτει ένα βασισμένο στη γνώση σύστημα υποστήριξης αποφάσεων που απαιτεί αυτή τη γνώση. Το σύστημα έχει τη δυνατότητα διαχείρισης και εκμετάλλευσης ασαφούς γνώσης με τη μορφή ασαφών οντολογιών.

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφεται ο τρόπος εκτέλεσης κάθε βήματος της μεθοδολογίας IKARUS-Onto προκειμένου να παραχθεί η παραπάνω οντολογία με τρόπο που να απεικονίζει αποτελεσματικά την ασάφεια του πεδίου. Από το παράδειγμα παραλείπεται το βήμα 3 (κωδικοποίηση) καθώς, όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.3.4, η περιγραφή του θα απαιτούσε την αναλυτική περιγραφή κάποιας συγκεκριμένη γλώσσας ασαφών οντολογιών.

4.4.1 Εφαρμογή βήματος 0

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 4.3, το σημείο έναρξης της ανάπτυξης της ασαφούς οντολογίας είναι η απόκτηση μιας μη ασαφούς η οποία μοντελοποιεί το πεδίο. Για τις ανάγκες του συγκεκριμένου παραδείγματος θεωρούμε ότι η οντολογία αυτή αποτελείται από τα εξής στοιχεία:

Ταξονομία Εννοιών

- Εταιρεία
 - Ανταγωνιστής
- Εργαζόμενος
 - Πολλά Υποσχόμενος Εργαζόμενος
- Συμβουλευτικό Πεδίο
 - Κύριο Συμβουλευτικό Πεδίο Εταιρείας: Περιλαμβάνει τα συμβουλευτικά πεδία στα οποία η εταιρεία έχει τη μεγαλύτερη τεχνογνωσία.
- Έργο
 - Έργο Πληροφορικής
 - Έργο Υψηλού Προϋπολογισμού

Σχέσεις

- είναιΕιδικόςΣτοΠεδίο : Συσχετίζει τους εργαζομένους με τα συμβουλευτικά πεδία στα οποία ειδικεύονται.
- εμπίπτειΣτοΠεδίο : Συσχετίζει τα έργα με τα συμβουλευτικά πεδία στα οποία εμπίπτουν

Ιδιότητες

- προϋπολογισμόςΈργου
- εμπειρίαΕργαζομένου

Στιγμιότυπα εννοιών

- Εταιρείες: Accenture, McKinsey, Bain, Boston Consulting Group
- Ανταγωνιστές: Accenture, McKinsey
- Υπάλληλοι: Ελένη, Πάνος, Χρήστος, Μανώλης
- Πολλά υποσχόμενοι εργαζόμενοι: Ελένη, Μανώλης
- Συμβουλευτικά πεδία: Πληροφορική, Ανθρώπινοι Πόροι, Στρατηγική, Μάρκετινγκ
- Κύρια συμβουλευτικά πεδίο εταιρείας: Πληροφορική, Στρατηγική
- Έργα: Ε1, Ε2, Ε3
- Έργα πληροφορικής: Ε1, Ε2

Συσχετισμένα ζεύγη στιγμιοτύπων

- είναιΕιδικόςΣτοΠεδίο(Ελένη, Πληροφορική)
- είναιΕιδικόςΣτοΠεδίο(Ελένη, Στρατηγική)
- είναιΕιδικόςΣτοΠεδίο(Μανώλης, Στρατηγική)
- είναιΕιδικόςΣτοΠεδίο(Μανώλης, Μάρκετινγκ)
- είναιΕιδικόςΣτοΠεδίο(Πάνος, Μάρκετινγκ)
- είναιΕιδικόςΣτοΠεδίο(Χρήστος, Στρατηγική)
- εμπίπτειΣτοΠεδίο(Ε1, Πληροφορική)
- εμπίπτειΣτοΠεδίο(Ε1, Ανθρώπινοι Πόροι)
- εμπίπτειΣτοΠεδίο(Ε2, Πληροφορική)
- εμπίπτειΣτοΠεδίο(Ε3, Στρατηγική)

4.4.2 Εφαρμογή βήματος 1

Η πρώτη προϋπόθεση για την ανάγκη για ασαφείς οντολογίες, δηλαδή η ύπαρξη κάποιου πληροφοριακού συστήματος που χειρίζεται και εκμεταλλεύεται ασαφείς οντολογίες, ικανοποιείται στο συγκεκριμένο σενάριο μέσω του ευφυούς συστήματος υποστήριξης αποφάσεων της εταιρείας. Για τη δεύτερη προϋπόθεση, δηλαδή την ύπαρξη ασάφειας στο πεδίο, ο μηχανικός οντολογιών προσπαθεί, σε συνεργασία με τους συμβούλους της εταιρείας που έχουν το ρόλο του ειδικού πεδίου, να εντοπίσει οριακές περιπτώσεις (για σχέσεις, ιδιότητες και έννοιες) και πιθανούς ασάφεις όρους στην παραπάνω οντολογία. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι τα ακόλουθα ασαφή στοιχεία:

- Ασαφείς έννοιες: Ανταγωνιστής (γιατί μερικές εταιρείες είναι οριακά ανταγωνιστές), ΠολλάΥποσχόμενοςΕργαζόμενος (γιατί μερικοί εργαζόμενοι είναι οριακά πολλά υποσχόμενοι), ΚύριοΣυμβουλευτικόΠεδίοΕταιρείας (γιατί μερικά πεδία ανήκουν οριακά στα κύρια της εταιρείας), ΈργοΠληροφορικής (γιατί μερικά έργα αφορούν οριακά την πληροφορική) και ΈργοΥψηλούΠροϋπολογισμού (γιατί ο προϋπολογισμός μερικών έργων είναι οριακά υψηλός).
- Ασαφείς σχέσεις: είναιΕιδικόςΣτοΠεδίο (γιατί μερικοί εργαζόμενοι είναι οριακά ειδικοί σε κάποια πεδία) και εμπίπτειΣτοΠεδίο (γιατί μερικά έργα αφορούν οριακά κάποιες περιοχές).
- Ασαφείς όροι τύπων δεδομένων: {χαμηλός, μέτριος, υψηλός} για την ιδιότητα προϋπολογισμόςΈργου και {άπειρος, έμπειρος, βετεράνος} για την ιδιότητα εμπειρίαΕργαζομένου.

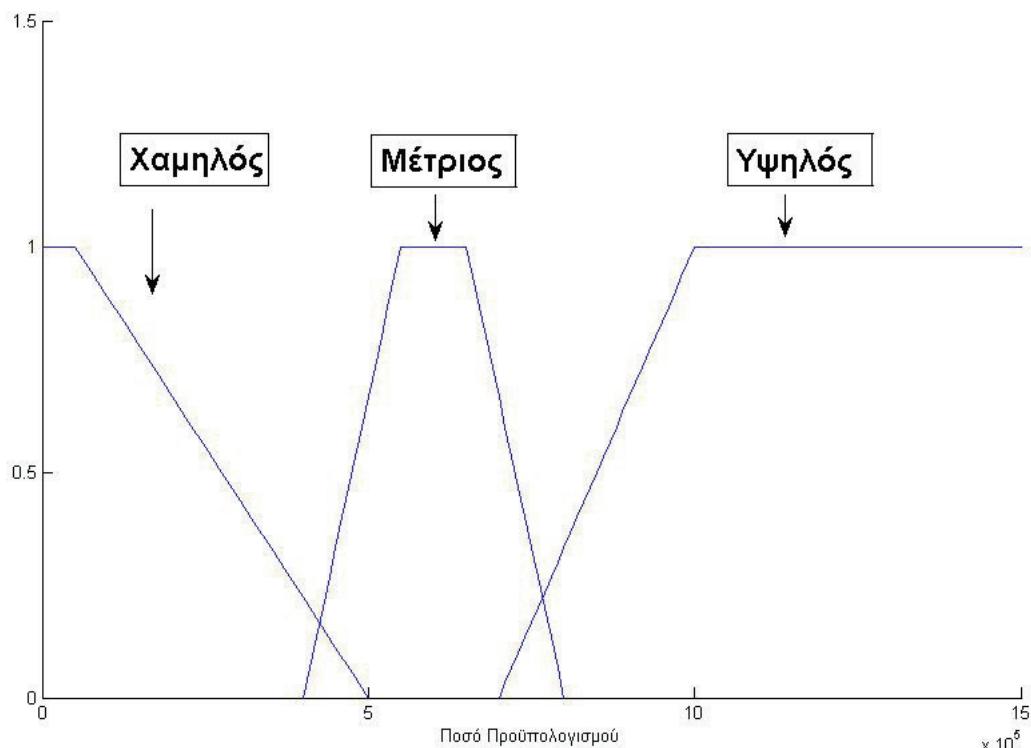
4.4.3 Εφαρμογή βήματος 2

Δεδομένων των ασαφών οντολογικών στοιχείων του βήματος 1, το βήμα 2 προχωράει με τον αναλυτικό ορισμό καθενός από τα στοιχεία αυτά ακολουθώντας τις διαδικασίες και τα πρότυπα της παραγράφου 4.3.3. Αυτό σημαίνει ότι ο μηχανικός οντολογιών, σε συνεργασία με τους ειδικούς πεδίου, παράγει τα ακόλουθα:

- Τις περιγραφές των δύο ασαφών οντολογικών σχέσεων (πίνακας 4.3) και τα αντίστοιχα ασαφεώς συσχετισμένα ζεύγη στιγμιοτύπων (πίνακας 4.4). Οι ασαφείς βαθμοί ανατίθενται από τους ειδικούς πεδίου.
- Δύο ασαφείς τύπους δεδομένων (σχήματα 4.3 και 4.4), με το καθένα να ορίζει το νόημα των ασαφών όρων των ιδιοτήτων προϋπολογισμόςΈργου και εμπειρίαΕργαζομένου.

- Τις περιγραφές των ασαφών οντολογικών εννοιών (πίνακας 4.2) και των αντίστοιχων ασαφών στιγμιοτύπων τους (πίνακας 4.6). Για εκείνες τις έννοιες που ορίζονται μέσω κάποιας ασαφής σχέσης ή τύπου δεδομένων (ΈργοΠληροφορικής και ΈργοΥψηλούΠροϋπολογισμού αντίστοιχα), οι ασαφείς βαθμοί των στιγμιοτύπων τους αφήνονται να υπολογιστούν από το σύστημα. Οι υπόλοιποι προσδιορίζονται από τους ειδικούς πεδίου.

Σχήμα 4.3: Ασαφής Τύπος Δεδομένων για την Ιδιότητα του Προϋπολογισμού



4.4.4 Εφαρμογή βήματος 4

Η επικύρωση της παραπάνω ασαφούς οντολογίας μεταφράζεται σε εξασφάλιση ότι:

- Η οντολογία είναι ορθή, δηλαδή όλα της τα ασαφή στοιχεία έχουν πράγματι ασαφές νόημα. Αυτό γίνεται ζητώντας από μια άλλη ομάδα ειδικών πεδίου να επιβεβαιώσουν την ορθότητα των ορισμών των πινάκων 4.5 και 4.3.

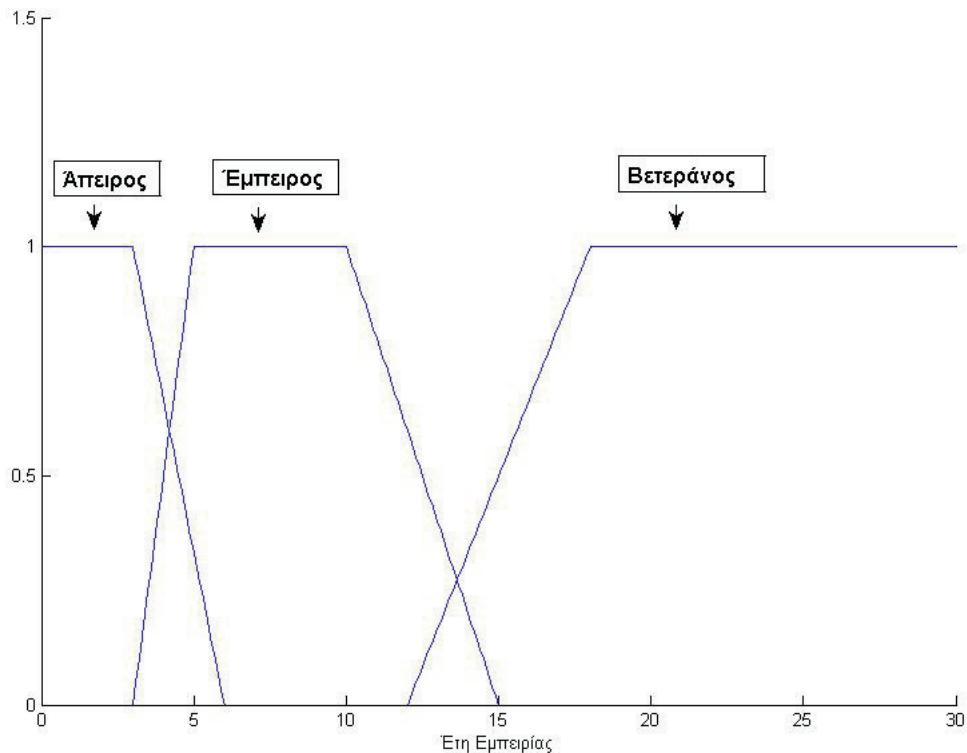
Πίνακας 4.3: Ασαφείς Σχέσεις για το Παράδειγμα της Οντολογίας Συμβούλων

Σχέση	Νόημα Ασάφειας	Ερμηνεία Βαθμού
<i>είναιΕιδικόςΣτοΠεδίο</i>	Ασάφεια βαθμού στη διάσταση του επιπέδου γνώσης σε ένα συμβουλευτικό πεδίο.	Ο βαθμός στον οποίο το επίπεδο γνώσης ενός εργαζομένου σε ένα συμβουλευτικό πεδίο τον καθιστά ειδικό σε αυτό.
<i>εμπίπτειΣτοΠεδίο</i>	Συνδυαστική ασάφεια λόγω της έλλειψης αυστηρού διαχωρισμού μεταξύ εκείνων των συνθηκών που είναι απαραίτητες ώστε ένα έργο να ανήκει σε ένα συγκεκριμένο συμβουλευτικό πεδίο.	Ο βαθμός στον οποίο το σύνολο των συνθηκών εφαρμογής του πεδίου που ικανοποιεί το έργο το κατατάσσει στο πεδίο αυτό.

Πίνακας 4.4: Δηλώσεις Ασαφών Σχέσεων για το Παράδειγμα της Οντολογίας Συμβούλων

Δήλωση	Ασαφής Βαθμός
<i>είναιΕιδικόςΣτοΠεδίο</i> (Ελένη, Πληροφορική)	0.8
<i>είναιΕιδικόςΣτοΠεδίο</i> (Ελένη, Στρατηγική)	0.9
<i>είναιΕιδικόςΣτοΠεδίο</i> (Μανώλης, Στρατηγική)	0.6
<i>είναιΕιδικόςΣτοΠεδίο</i> (Μανώλης, Μάρκετινγκ)	0.4
<i>είναιΕιδικόςΣτοΠεδίο</i> (Πάνος, Μάρκετινγκ)	0.75
<i>είναιΕιδικόςΣτοΠεδίο</i> (Χρήστος, Στρατηγική)	0.8
<i>εμπίπτειΣτοΠεδίο</i> (Ε1, Πληροφορική)	0.9
<i>εμπίπτειΣτοΠεδίο</i> (Ε2, Ανθρώπινοι Πόροι)	0.5
<i>εμπίπτειΣτοΠεδίο</i> (Ε2, Πληροφορική)	0.5
<i>εμπίπτειΣτοΠεδίο</i> (Ε3, Στρατηγική)	0.8

Σχήμα 4.4: Ασαφής Τύπος Δεδομένων για την Ιδιότητα της Εμπειρίας



- Η οντολογία είναι ακριβής, δηλαδή οι βαθμοί των ασαφών στοιχείων της προσεγγίζουν την ασάφεια των τελευταίων με διαισθητικά ακριβή τρόπο. Αυτό γίνεται ζητώντας από μια άλλη ομάδα ειδικών πεδίου να επιβεβαιώσουν ότι οι βαθμοί των πινάκων 4.6 και 4.4 είναι διαισθητικά σωστοί.
- Η οντολογία είναι πλήρης, δηλαδή όλη η ασάφεια του πεδίου έχει αναπαρασταθεί μέσω της οντολογίας.. Αυτό γίνεται ζητώντας από μια άλλη ομάδα ειδικών πεδίου να ελέγξει ότι τα μη ασαφή στοιχεία της οντολογίας είναι πράγματι μη ασαφή.
- Η οντολογία είναι συνεπής, δηλαδή δεν περιέχει αντιφατική πληροφορία σχετικά με την ασάφεια του πεδίου. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας κάποιο σύστημα συλλογιστικής που είναι συμβατό με τη γλώσσα κωδικοποίησης της οντολογίας.

Πίνακας 4.5: Ασαφείς Έννοιες για το Παράδειγμα της Οντολογίας Συμβούλων

Έννοια	Νόημα Ασάφειας	Ερμηνεία Βαθμού
Ανταγωνιστής	Ασάφεια βαθμού στη διάσταση των τομέων δραστηριότητας του ανταγωνιστή και στη διάσταση των αγορών-στόχων του ανταγωνιστή	Ο βαθμός στον οποίο οι τομείς δραστηριότητας και οι αγορές-στόχοι του στιγμιού που το καθιστούν ανταγωνιστή της εταιρείας.
Κύριο Συμβουλευτικό Πεδίο Εταιρείας	Ασάφεια βαθμού στις διαστάσεις της ειδίκευσης και της εμπειρίας της εταιρείας στο δεδομένο πεδίο	Ο βαθμός στον οποίο η ειδίκευση και η εμπειρία της εταιρείας κατατάσσουν το πεδίο ως κύριο.
Πολλά Υποσχόμενος Εργαζόμενος	Συνδυαστική ασάφεια λόγω της έλλειψης αυστηρού διαχωρισμού μεταξύ εκείνων των συνθηκών που είναι απαραίτητες ώστε ένας εργαζόμενος να θεωρείται πολλά υποσχόμενος.	Ο βαθμός στον οποίο τα χαρακτηριστικά του υπαλλήλου των καθιστούν πολλά υποσχόμενο.
Έργο Πληροφορικής	Συνδυαστική ασάφεια που προκύπτει από την ασαφή σχέση εμπίπτει στο Πεδίο	Η ίδια με αυτή της σχέσης εμπίπτει στο Πεδίο.
Έργο Υψηλού Προϋπολογισμού	Ασάφεια βαθμού που προκύπτει από τον ασαφή τύπο δεδομένων προϋπολογισμός έργου	Η ίδια με αυτή του όρου υψηλός στον τύπο δεδομένων προϋπολογισμός έργου.

4.5 Αξιολόγηση Μεθοδολογίας

4.5.1 Προσέγγιση αξιολόγησης

Μία μεθοδολογία είναι επί της ουσίας μια αφηρημένη περιγραφή εργασιών που πρέπει να εκτελεστούν από ανθρώπους. Ως τέτοια, χαρακτηρίζεται από μεγάλο βαθμό υποκειμενικότητας καθώς η μετάφραση των αφηρημένων εργασιών σε συγκεκριμένες δράσεις αφήνεται στον άνθρωπο. Το αποτέλεσμα είναι ότι η μηχανική γνώσης, παρόλο που είναι ξεκάθαρα ένα πεδίο μηχανικής (engineering discipline), δε διαθέτει εντούτοις διαδικασίες ποσοτικής ανάλυσης και αξιολόγησης των μεθόδων που χρησιμοποιεί. Ενώ δηλαδή θα ήθελε κανείς ιδανικά να τεστάρει μια νέα μεθοδολογία έναντι κάποιας "πάγιας αλήθειας" και σε σύγκριση με άλλες μεθοδολογίες και να υπολογίσει το ακριβές ποσοστό της βελτίωσης που επιτυγχάνει, τίποτα από αυτά δεν είναι εφικτό. Ο λόγος φυσικά είναι ότι από τη μία πλευρά είναι πρακτικά αδύνατο να ορίσει κανείς μια "πάγια αλήθεια" και από την άλλη η μεθοδολογία, όντας μια αφηρημένη και υποκειμενική περιγραφή εργασιών, δε διαθέτει την αλγορίθμική ι-

Πίνακας 4.6: Ασαφή Στιγμιότυπα για το Παράδειγμα της Οντολογίας Συμβούλων

Στιγμιότυπο	Ασαφής Βαθμός
Ανταγωνιστής(Accenture)	0.8
Ανταγωνιστής(McKinsey)	0.5
ΚύριοΣυμβουλευτικόΠεδίοΕταιρείας(Πληροφορική)	1.0
ΚύριοΣυμβουλευτικόΠεδίοΕταιρείας(Στρατηγική)	0.6
ΥπάλληλοςΥψηλώνΔυνατοτήτων(Ελένη)	0.9
ΥπάλληλοςΥψηλώνΔυνατοτήτων(Μανώλης)	0.5

διότητα να προκαλεί το ίδιο αποτέλεσμα κάθε φορά που εκτελείται. Αυτός άλλωστε είναι και ο λόγος που οι παραδοσιακές μεθοδολογίες μηχανικής γνώσης παραμένουν αναξιολόγητες και γίνονται αποδεκτές ως είναι.

Αναλυτικότερα, ανατρέχοντας στη σχετική βιβλιογραφία [110] βρίσκει κανείς τα εξής:

- Η μεθοδολογία METHONTOLOGY όπως παρουσιάζεται στα [71] [70] δε διαθέτει κάποιου είδους αξιολόγηση.
- Η μεθοδολογία Diligent όπως παρουσιάζεται στα [111] [26] παρέχει κάποια παραδείγματα εφαρμογής της αλλά δεν αξιολογείται.
- Η παρουσίαση της μεθοδολογίας DOGMA στο [75] συνοδεύεται από ένα παράδειγμα αλλά δεν υπάρχει καμία αναφορά σε κάποιου είδους αξιολόγηση.
- Στο [65] όπου παρουσιάζεται η μεθοδολογία HCOME υπάρχει η δήλωση ότι η μέθοδος αξιολογήθηκε από μια ομάδα φοιτητών αλλά δεν παρουσιάζονται οι λεπτομέρειες της διαδικασίας όπως ο τρόπος που στήθηκε η αξιολόγηση, ο ρόλος των φοιτητών στη διαδικασία, το ερωτηματολόγιο που χρησιμοποιήθηκε, οι απαντήσεις που δόθηκαν ή και τα συμπεράσματα που προέκυψαν.
- Η μεθοδολογία των Gruninger και Fox [72] δίνεται επίσης ως είναι χωρίς κάποια αξιολόγηση.
- Η μεθοδολογία των Uschold και King [81] τέλος συνοδεύεται από μια αφηρημένη μελέτη περίπτωσης για την οποία δε δίνονται συγκεκριμένα βήματα ούτε και κάποια αξιολόγηση.

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω, είναι γενικά αποδεκτό ότι λόγω της υποκειμενικής φύσης του πεδίου, οι μεθοδολογίες ανάπτυξης οντολογιών είναι πολύ δύσκολο να αξιολογηθούν με μονοσήμαντο και πειθαρχημένο τρόπο. Από την άλλη πλευρά

βέβαια, το γεγονός αυτό δεν καταργεί την ανάγκη για κάποιου είδους πιστοτικού μέτρου της απόδοσης της μεθοδολογίας IKARUS-Onto, είτε μεμονωμένα είτε σε σχέση με άλλες παρόμοιες μεθοδολογίες. Για το σκοπό αυτό, στο πλαίσιο του σχεδιασμού της IKARUS-Onto, σχεδιάστηκε και μια διαδικασία αξιολόγησης αυτής αξιοποιώντας κατά βάση τους ανθρώπους που εμπλέκονται στη διαδικασίας ανάπτυξης ασαφών οντολογιών.

Φυσικά με δεδομένο ότι η IKARUS-Onto είναι, με βάση την έρευνα στη βιβλιογραφία, η πρώτη προσέγγιση ασαφοποίησης οντολογιών, η αξιολόγησή της δεν θα μπορούσε να γίνει συγκριτικά. Αντ' αυτού, η μεθοδολογία συγκρίνεται με την αμέσως προηγούμενη πρακτική βάσει της οποίας ο μηχανικός γνώσης κατασκευάζει την ασαφή οντολογία καθαρά διαισθητικά και χωρίς καμία συγκεκριμένη μεθοδολογία. Φυσικά αναμένεται ότι η χρήση μιας μεθοδολογίας θα παράξει καλύτερα ή τουλάχιστον παρόμοια αποτελέσματα, επομένως η κρίσιμη ερώτηση κατά την αξιολόγηση είναι εάν η βελτίωση που προσφέρει η IKARUS-Onto είναι αρκετή για να δικαιολογήσει τον επιπλέον κόπο μάθησης και χρήσης της.

4.5.2 Διαδικασία αξιολόγησης

Η αξιολόγηση της μεθοδολογίας IKARUS-Onto έλαβε χώρα στην εταιρεία IMC Technologies με τη μορφή πειράματος που περιελάμβανε την ανάπτυξη μιας ασαφούς επιχειρηματικής οντολογίας, παρόμοια με αυτή της προηγούμενης ενότητας. Για το σκοπό αυτό συστάθηκαν τρεις ομάδες ατόμων, κάθε μία με διαφορετικό αντικείμενο:

- Η πρώτη ομάδα έπρεπε να αναπτύξει την ασαφή οντολογία χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία IKARUS-Onto.
- Η δεύτερη ομάδα έπρεπε να αναπτύξει την ασαφή οντολογία χωρίς την IKARUS-Onto, βασίζομενη αποκλειστικά στην υπάρχουσα γνώση σχετικά με το θέμα δηλαδή μοντέλα και γλώσσες ασαφών οντολογιών.
- Η τρίτη ομάδα έπρεπε να συγκρίνει και να αξιολογήσει τις ασαφοποιημένες οντολογίες των δύο προηγούμενων ομάδων.

Κάθε ομάδα αποτελείτο από ένα μηχανικό γνώσης και πέντε υπαλλήλους της εταιρείας που είχαν το ρόλο του ειδικού. Πριν από την εκτέλεση του πειράματος όλες οι ομάδες εκπαιδεύτηκαν στην έννοια της ασαφούς οντολογίας και των στοιχείων από τα οποία αυτή μπορεί να αποτελείται, ενώ τα μέλη της πρώτης ομάδας εκπαιδεύτηκαν επιπλέον στη χρήση της μεθοδολογίας IKARUS-Onto. Μετά την εκπαίδευση οι δύο ομάδες προχώρησαν με την ανάπτυξη των οντολογιών τους και, όταν τελείωσαν,

η τρίτη ομάδα ανέλαβε να κάνει μια διαισθητική αξιολόγηση των δύο οντολογιών. Κατόπιν, ζητήθηκε από την ίδια ομάδα να εκτελέσει δύο ακόμα αξιολογήσεις, μία αφού γνώριζε τα κριτήρια αξιολόγησης της μεθοδολογίας IKARUS-Onto και μία αφού εκπαιδεύτηκε σε ολόκληρη τη μεθοδολογία. Στο τέλος, τα μέλη και των τριών ομάδων κληθήκαν να απαντήσουν στις εξής ερωτήσεις:

- Μηχανικοί γνώσης και ειδικοί των ομάδων που εκπαιδεύτηκαν στη μεθοδολογία:
 - Πόσο εύκολη ήταν η εκμάθηση και η πρακτική εφαρμογή της όλης διαδικασίας;
- Ειδικοί των δύο ομάδων που ανέπτυξαν τις οντολογίες:
 - Πόσο εύκολη ήταν η αναγνώριση ασαφούς γνώσης στο πεδίο;
 - Πόσο εύκολη ήταν η ανάθεση ασαφών βαθμών στα ασαφή οντολογικά στοιχεία;
- Μηχανικοί γνώσης των δύο ομάδων που ανέπτυξαν τις οντολογίες:
 - Πόσο εύκολη ήταν η καθοδήγηση των ειδικών στις εργασίες τους (αναγνώριση ασαφούς γνώσης και ανάθεση ασαφών βαθμών);
- Μηχανικός γνώσης της ομάδας αξιολόγησης:
 - Πόσο εύκολος ήταν ο προσδιορισμός των κριτηρίων αξιολόγησης όταν δε γνωρίζατε τα κριτήρια της μεθοδολογίας IKARUS-Onto;
- Ειδικοί της ομάδας αξιολόγησης:
 - Δεδομένων των κριτηρίων αξιολόγησης της IKARUS-Onto, αλλά όχι της υπόλοιπης μεθοδολογίας, πόσο εύκολη ήταν η εκτέλεση της αξιολόγησης; Πόσο εύκολη ήταν αφού γνωρίζατε την IKARUS-Onto;
 - Ποια από τις δύο οντολογίες ήταν ευκολότερο να αξιολογηθεί και ποια ήταν η απόδοση κάθε οντολογίας ως προς την πληρότητα, την ορθότητα και την ακρίβεια.

Στις ερωτήσεις περί "ευκολίας" τα μέλη των ομάδων έπρεπε να επιλέξουν μεταξύ των απαντήσεων "χαμηλή", "μέτρια" και "υψηλή". Αντίθετα, για τις δυο τελευταίες ερωτήσεις που αφορούσαν τη συγκριτική αξιολόγηση των δύο οντολογιών, έπρεπε να

βαθμολογήσουν την απόδοση των οντολογιών σε κάθε ένα από τα κριτήρια αξιολόγησης (ευκολία επικύρωσης, ορθότητα, πληρότητα και ακρίβεια) στην κλίμακα 1 έως 10.

Χρονικά, το πρώτο μέρος του πειράματος, δηλαδή η ανάπτυξη των ασαφών οντολογιών, πραγματοποιήθηκε σε μία εργάσιμη ημέρα (8 ώρες) ενώ η αξιολόγηση των παραγόμενων οντολογιών έγινε την επόμενη. Την πρώτη μέρα, μία ώρα αφιερώθηκε στη "γενική" εκπαίδευση όλων των συμμετεχόντων στο πείραμα και περιελάμβανε μια εισαγωγή στην έννοια της οντολογίας και της ασαφούς οντολογίας καθώς και στο σκοπό και το εύρος του έργου της προς ανάπτυξη οντολογίας. Στη συνέχεια, δόθηκαν στην πρώτη ομάδα έξι ώρες για αναπτύξουν την οντολογία.

Την ίδια στιγμή, η δεύτερη ομάδα ξόδεψε δύο επιπλέον ώρες δουλεύοντας με τη μεθοδολογία IKARUS-Onto. Τα πρώτα τριάντα λεπτά αφιερώθηκαν στην παρουσίαση της μεθοδολογίας στο μηχανικό γνώσης που ήταν επικεφαλής της ομάδας ενώ την υπόλοιπη μιάμιση ώρα η μεθοδολογία παρουσιάστηκε και στα υπόλοιπα μέλη. Η παρουσίαση αυτή δεν ήταν μόνο θεωρητική αλλά περιελάμβανε και πρακτικά παραδείγματα για τη διευκόλυνση της κατανόησης. Μετά από αυτό, η δεύτερη ομάδα ανέλαβε να αναπτύξει την οντολογία μέσα σε τέσσερεις ώρες.

Η δεύτερη ομάδα τελείωσε τελικά τη δουλειά της σε τρεις ώρες. Η πρώτη ομάδα ήταν επίσης έτοιμη να παραδώσει την οντολογία της εκείνη τη στιγμή αλλά ο επικεφαλής μηχανικός δήλωσε ότι αν υπήρχε επιπλέον χρόνος θα τον χρησιμοποιούσε προκειμένου να βελτιώσει την οντολογία, πράγμα που και τελικά έκανε. Το συνολικό χρονοδιάγραμμα του πειράματος συνοψίζεται στο σχήμα 4.5.

4.5.3 Αποτελέσματα αξιολόγησης

Τα σχήματα 4.6-4.8 απεικονίζουν τις απαντήσεις των τριών ομάδων στις ερωτήσεις της προηγούμενης παραγράφου. Ξεκινώντας με την πρώτη ερώτηση, δηλαδή την ευκολία εκμάθησης και εφαρμογής της μεθοδολογίας, το σχήμα 4.6 δείχνει ότι τα περισσότερα άτομα απάντησαν είτε "μέτρια" είτε "υψηλή" ενώ μόνο ένα άτομο (ένας ειδικός) βρήκε τη μεθοδολογία δύσκολη. Μιλώντας με τα άτομα αυτά, δύο ήταν οι βασικοί λόγοι για τους οποίους έδωσαν αυτές τις απαντήσεις:

1. Διότι η μεθοδολογία ορίζει μια διαδικασία παρόμοια με αυτές που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη μη ασαφών οντολογιών οντολογίας και με τις οποίες οι μηχανικοί αλλά και αρκετοί από τους ειδικούς ήταν ήδη εξοικειωμένοι.
2. Διότι η μεθοδολογία επικεντρώνεται στο φαινόμενο της ασάφειας και την εννοιολογική του μοντελοποίηση παρά σε πολύπλοκους φορμαλισμούς όπως αυτοί των γλωσσών αναπαράστασης ασαφών οντολογιών.

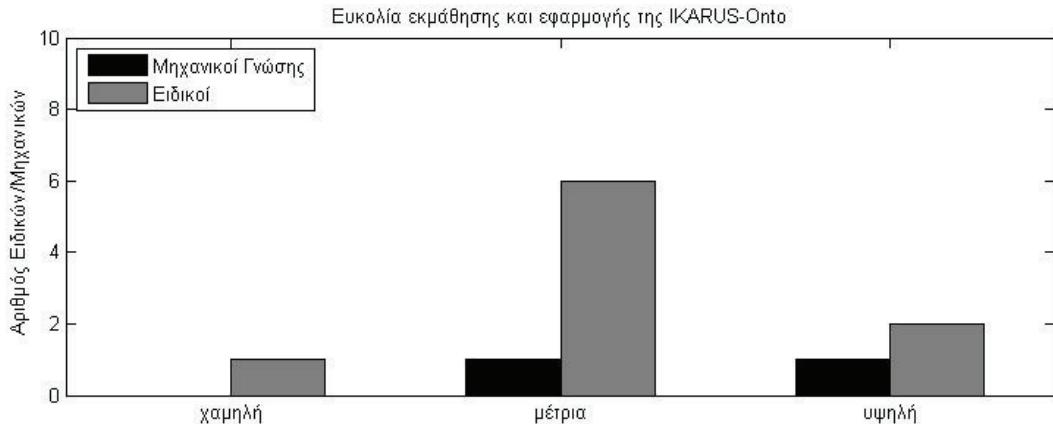
Σχήμα 4.5: Χρονοδιάγραμμα Πειράματος Αξιολόγησης της IKARUS-Onto

Χρόνος	1η ομάδα	2η ομάδα
0:30	Ενημέρωση σχετικά με το πείραμα και την οντολογία	Ενημέρωση σχετικά με το πείραμα και την οντολογία
1:00		
1:30		
2:00		
2:30		
3:00	Ανάπτυξη της ασαφούς οντολογίας	
3:30		
4:00		
4:30		
5:00		
5:30		
6:00		
6:30	Βελτίωση της οντολογίας	
7:00		
7:30	Αξιολόγηση	Αξιολόγηση
8:00		

Εμβαθύνοντας στη διαδικασία ανάπτυξης της ασαφούς οντολογίας, το σχήμα 4.7 απεικονίζει τις απαντήσεις των δύο ομάδων ανάπτυξης σχετικά με το κομμάτι της αναγνώρισης και της εννοιολογικής μοντελοποίησης των ασαφών οντολογικών στοιχείων. Όπως εύκολα φαίνεται, τα μέλη της ομάδας που δε χρησιμοποίησαν την IKARUS-Onto αντιμετώπισαν σημαντικά περισσότερες δυσκολίες με την ασάφεια και τους ασαφείς βαθμούς συγκριτικά με την ομάδα που τη χρησιμοποίησε. Αυτό συνέβη γιατί, όπως ανέφεραν οι ειδικοί της πρώτης ομάδας, υπήρχαν συνεχώς διαφωνίες σχετικά με το αν ένα οντολογικό στοιχείο εξέφραζε ασαφές νόημα (ειδικά για τις σχέσεις) καθώς και αρκετά παράπονα σχετικά με τη δυσκολία ανάθεσης ασαφών βαθμών. Επίσης, ο μηχανικός γνώσης της ομάδας αυτής δήλωσε ότι ήταν αρκετά δύσκολο γι' αυτόν να οργανώσει την όλη διαδικασία μοντελοποίησης και ειδικότερα να εξηγήσει την έννοια της ασάφειας στους ειδικούς. Από την άλλη πλευρά, η ομάδα που χρησιμοποίησε την IKARUS-Onto αντιμετώπισε επίσης κάποιες από αυτές τις δυσκολίες αλλά σε πολύ μικρότερο βαθμό.

Το σχήμα 4.8 με τη σειρά του δείχνει τις απαντήσεις της ομάδας επικύρωσης σχετικά με την αποδοτικότητα της αντίστοιχης διαδικασίας. Όπως φαίνεται στο πρώτο διάγραμμα, ο μηχανικός γνώσης της ομάδας είχε δυσκολία στο να ορίσει τα κριτήρια τα οποία έπρεπε να χρησιμοποιήσει για να κάνει την επικύρωση. Όπως είπε, το μόνο κριτήριο το οποίο μπορούσε εύκολα να σκεφτεί ήταν η ακρίβεια των ασαφών βαθμών. Επιπλέον, ακόμα κι όταν η ομάδα έμαθε τα κριτήρια επικύρωσης της IKARUS-Onto αλλά όχι την υπόλοιπη μεθοδολογία, συνέχισε να αντιμετωπίζει τα

Σχήμα 4.6: Αξιολόγηση της διαδικασίας εκμάθησης και εφαρμογής της IKARUS-Onto



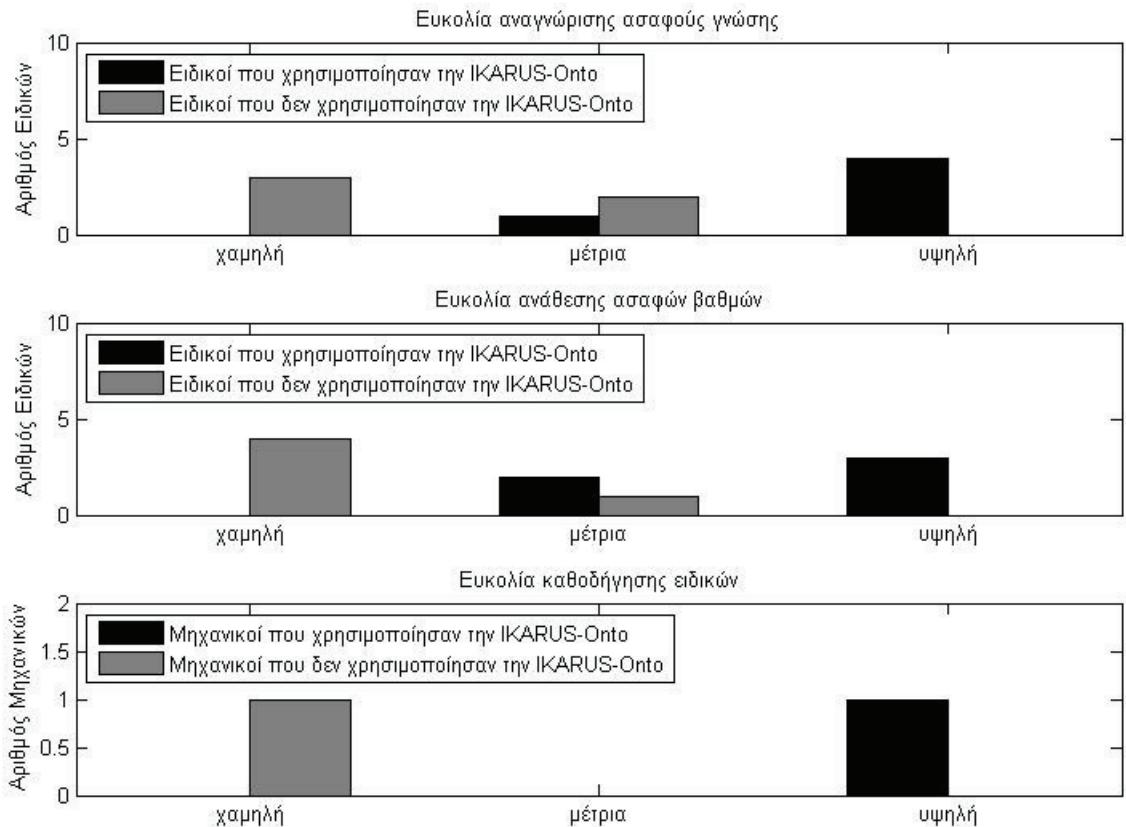
ίδια προβλήματα με αυτά της πρώτης ομάδας ανάπτυξης σχετικά με την αναγνώριση ασαφούς νοήματος και την ανάθεση ασαφών βαθμών. Το δεύτερο διάγραμμα του σχήματος 4.8 δείχνει τη βελτίωση που επέφερε η εκμάθηση και η εφαρμογή της μεθοδολογίας IKARUS-Onto στη διαδικασία επικύρωσης.

Τέλος, σε ό,τι αφορά τις δύο τελευταίες ερωτήσεις, το τρίτο διάγραμμα στο σχήμα 4.8 δείχνει ότι η οντολογία που αναπτύχθηκε με την IKARUS-Onto ήταν αφενός πιο εύκολο να επικυρωθεί και αφετέρου ήταν συνολικά καλύτερη στα τρία κριτήρια επικύρωσης. Ο λόγος για το πρώτο, δηλαδή την ευκολία επικύρωσης, ήταν ότι τα στοιχεία της οντολογίας συνοδεύονταν από μια ρητή περιγραφή του νοήματος της ασάφειάς τους και της ερμηνείας των ασαφών βαθμών τους. Ο λόγος για το δεύτερο ήταν ότι οι οδηγίες αναγνώρισης της ασάφειας της IKARUS-Onto έδωσε τη δυνατότητα στους ειδικούς της ομάδας να κρίνουν πιο αποτελεσματικά την ορθότητα και την πλήροτητα των ασαφών οντολογικών στοιχείων καθώς και την ακρίβεια των ασαφών βαθμών τους.

Συνολικά, τα αποτελέσματα της αξιολόγησης δείχνουν ότι, στο συγκεκριμένο πείραμα, η προτεινόμενη μεθοδολογία επιτυγχάνει να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας ανάπτυξης ασαφών οντολογιών συγκριτικά με την ως τώρα βέλτιστη πρακτική που ακολουθείτο, τη μη χρήση δηλαδή καμίας μεθοδολογίας αλλά μόνο γλωσσών ασαφών οντολογιών.

Επιπλέον, καθώς οι λόγοι γι' αυτή τη βελτίωση τεκμηριώθηκαν παραπάνω, είναι λογικά αναμενόμενο ότι η μεθοδολογία θα έχει παρόμοια οφέλη και σε άλλα πεδία και σενάρια εφαρμογής. Τέλος, δεδομένων των απαντήσεων του σχήματος 4.6 σχετικά με την ευκολία εκμάθησης και εφαρμογής της μεθοδολογίας, μπορεί να ειπωθεί ότι η βελτίωση που αυτή προσφέρει είναι επαρκώς σημαντική ώστε να δικαιολογεί

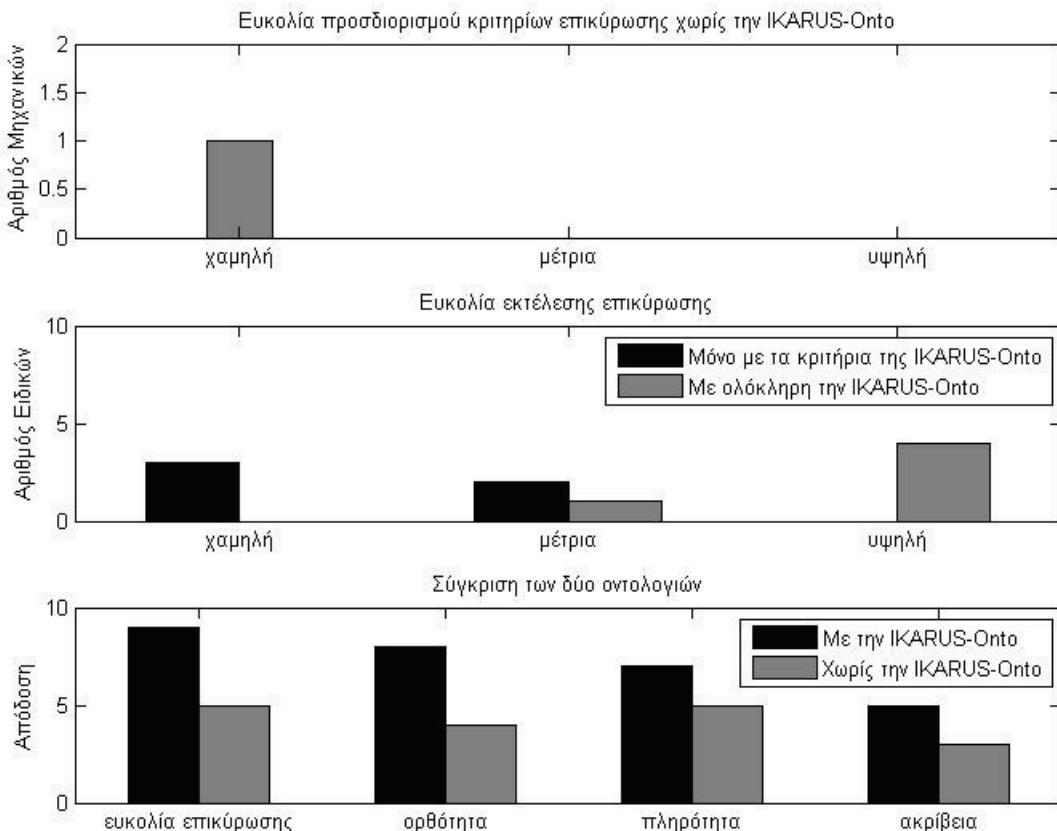
Σχήμα 4.7: Αξιολόγηση της διαδικασίας μοντελοποίησης ασαφούς οντολογίας της IKARUS-Onto



την επιβάρυνση της εκμάθησης και της εφαρμογής της.

Σαφέστατα, η αξιολόγηση της IKARUS-Onto θα μπορούσε να γίνει με περισσότερα πειράματα και σε μεγαλύτερη κλίμακα. Παρόλα αυτά, δεδομένης της δυσκολίας ενός τέτοιου εγχειρήματος (μεγάλες ομάδες μηχανικών γνώσης με παρόμοια γνώση και εμπειρία είναι πολύ δύσκολο να φτιαχτούν) και της τρέχουσας τάσης στο πεδίο (τέτοιου είδους αξιολογήσεις συνήθως δε γίνονται καθόλου), η αξιολόγηση που έγινε για την IKARUS-Onto είναι αρκετά ικανοποιητική. Επιπλέον, οι απαντήσεις που δόθηκαν από τους μηχανικούς και τους ειδικούς στο πείραμα αυτό έδειξαν ότι υπάρχει καθαρή διαφορά μεταξύ αυτών που χρησιμοποίησαν τη μεθοδολογία και αυτών που δεν τη χρησιμοποίησαν. Επομένως, μπορεί να βγει με σχετική ασφάλεια το συμπέρασμα ότι η προτεινόμενη προσέγγιση της IKARUS-Onto προσφέρει ένα σημαντικό πλεονέκτημα στο μηχανικό γνώσης που προσπαθεί να κατασκευάσει μια ασαφή οντολογία.

Σχήμα 4.8: Αξιολόγηση της διαδικασίας επικύρωσης ασαφών οντολογιών της IKARUS-Onto και της ποιότητας της τελικής οντολογίας



4.5.4 Ανάλυση κόστους-οφέλους

Δεδομένου ότι η αξιολόγηση της IKARUS-Onto έγινε σε σύγκριση με το να μη χρησιμοποίησει κανείς καμία μεθοδολογία, ήταν σχετικά αναμενόμενο ότι η χρήση της IKARUS-Onto θα βελτίωνε την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας ανάπτυξης ασαφών οντολογιών. Ως εκ τούτου, ένα σημαντικό ερώτημα που προκύπτει είναι κατά πόσο η βελτίωση αυτή "δικαιολογεί" την επιπλέον προσπάθεια που συνεπάγεται η εκμάθηση και η χρήση της συγκεκριμένης μεθοδολογίας. Υπ' αυτή την έννοια, ως "κόστος" της μεθοδολογίας μπορεί να οριστεί ο χρόνος και η προσπάθεια που απαιτεί η εφαρμογή αυτής ενώ ως όφελος η ποιότητα της παραγόμενης ασαφούς οντολογίας.

Για το λόγο αυτό προκειμένου να εκτιμηθεί το κόστος της διαδικασίας χρειάζεται να παρατηρήσει κανείς λεπτομερέστερα τον τρόπο υλοποίησης αυτής όπως περιγράφηκε στην ενότητα 4.5. Με μια πρώτη ματιά προκύπτει ότι ο συνολικός χρόνος που απαιτείται για την εφαρμογή της συμβατικής προσέγγισης ήταν επτά ώρες ενώ

της IKARUS-Onto έξι. Από την άλλη πλευρά, ο ελάχιστος συνολικός απαιτούμενος χρόνος εφαρμογής της συμβατικής προσέγγισης ήταν πέντε ώρες, δηλαδή μία ώρα λιγότερο απ' ό,τι η IKARUS-Onto.

Προφανώς το εάν η βελτίωση αυτή δικαιολογεί τον έξτρα χρόνο είναι μια ποιοτική και άρα υποκειμενική εκτίμηση που είναι ανοιχτή σε συζήτηση. Αυτό που αξίζει όμως να σημειωθεί πάντως είναι ότι η παραπάνω επιβάρυνση ισχύει μόνο την πρώτη φορά που θα εφαρμοστεί η μεθοδολογία από μια ομάδα μηχανικών γνώσης και ειδικών. Εάν η ίδια ομάδα ατόμων χρειαστεί να εφαρμόσει ξανά την ίδια μεθοδολογία, οι δύο ώρες εκπαίδευσης δεν θα χρειαστούν και επομένως η προτεινόμενη προσέγγιση είναι γρηγορότερη σε κάθε περίπτωση. Ακόμα και εάν κάποιο νέο θέμα χρειαστεί να μοντελοποιηθεί (και να χρειαστεί κατά συνέπεια εκπαίδευση στην IKARUS-Onto) η χρήση ενός έμπειρου μηχανικού γνώσης μειώνει το χρόνο εκπαίδευσης κατά μισή ώρα, γεγονός το οποίο καθιστά τη διαφορά μεταξύ της προτεινόμενης και της συμβατικής προσέγγισης αμελητέα.

Επίσης, με την προτεινόμενη προσέγγιση εξασφαλίζεται ότι στο τέλος της διαδικασίας δεν υπάρχει τίποτα άλλο για να γίνει ενώ με τη πιο συμβατική προσέγγιση, αν υπήρχε περισσότερος χρόνος θα χρησιμοποιείτο. Αυτό ήταν ένα αναμενόμενο πλεονέκτημα της μεθοδολογίας που έχει μερικές πολύ θετικές συνέπειες για οργανισμούς που αναπτύσσουν οντολογίες όπως για παράδειγμα η δυνατότητα να προγραμματίζουν και να προϋπολογίζουν καλύτερα τις σχετικές εργασίες ανάπτυξης.

Διαχείριση Ασαφούς Γνώσης - Το πλαίσιο **IKARUS-CBR**

The ideal engineer is a composite ...
 He is not a scientist, he is not a mathematician,
 he is not a sociologist or a writer;
 but he may use the knowledge and techniques of any or all
 of these disciplines in solving engineering problems.

—N. W. Dougherty

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται το πλαίσιο IKARUS-CBR, ένα καινοτόμο υβριδικό CBR πλαίσιο το οποίο μπορεί να διαχειριστεί και να εκμεταλλευτεί ασαφή γνώση μέσω της αποτελεσματικής ενσωμάτωσης της ασαφούς συνολοθεωρίας στον υπάρχοντα συνδυασμό οντολογιών και CBR (βλέπε παράγραφο 3.3).

Η προσέγγιση που υιοθετείται στο πλαίσιο IKARUS-CBR διαφέρει από άλλες υβριδικές προσεγγίσεις CBR και Ασαφούς Λογικής (βλέπε παράγραφο 3.2) στο ότι χρησιμοποιεί οντολογίες ως "όχημα" εισαγωγής ασαφούς σημασιολογίας στο CBR μοντέλο. Η διαφορά αυτή, όπως θα φανεί στις επόμενες παραγράφους, καθιστά τη συγκεκριμένη προσέγγιση πιο αποτελεσματική και διαισθητική σε ό,τι αφορά τη διαχείριση και την εκμετάλλευση της ασάφειας.

Το πλαίσιο IKARUS-CBR ενσωματώνει την ασαφή λογική σε δύο επίπεδα, στο επίπεδο της αναπαράστασης ασαφούς γνώσης και στο επίπεδο της εκμετάλλευσης της τελευταίας για την αποτελεσματική ανάκτηση περιπτώσεων. Για το πρώτο επίπεδο, το πλαίσιο ορίζει ένα περιεκτικό μοντέλο αναπαράστασης ασαφών οντολογιών το οποίο και χρησιμοποιεί για να αναπαραστήσει την ασάφεια που χαρακτηρίζει τόσο τα χαρακτηριστικά των περιπτώσεων όσο και τις τιμές αυτών. Από την άλλη πλευρά, για το δεύτερο επίπεδο, το IKARUS-CBR ορίζει ένα πλαίσιο ασαφούς σημασιολογικής ομοιότητας το οποίο και χρησιμοποιεί για την ανάκτηση των ασαφώς ορισμένων

περιπτώσεων.

Βάσει των παραπάνω, η δομή του κεφαλαίου έχει ως εξής: Στην πρώτη ενότητα περιγράφεται αναλυτικά η υθριδική προσέγγιση του προτεινόμενου πλαισίου ενώ η δεύτερη και η τρίτη ενότητα περιγράφουν τα επιμέρους πλαίσια αναπαράστασης και ανάκτησης αντίστοιχα. Κατόπιν στην τέταρτη ενότητα παρουσιάζεται μια μελέτη περίπτωσης η οποία περιγράφει τη διαδικασία και το αποτέλεσμα της εφαρμογής του πλαισίου για την ανάπτυξη ενός συστήματος ηλεκτρονικής βιβλιοθήκης για λογαριασμό του Διαχειριστή Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ). Τέλος, στην πέμπτη ενότητα, περιγράφονται τα αποτελέσματα της ποσοτικής αξιολόγησης της αποδοτικότητας του πλαισίου ως προς τη λειτουργικότητα ανάκτησης γνώσης που προσφέρει.

5.1 Προσέγγιση Ανάπτυξης Πλαισίου

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το προτεινόμενο CBR πλαίσιο λειτουργεί σε δύο άξονες, τον άξονα της αναπαράστασης ασαφούς γνώσης με τη μορφή οντολογιών και τον άξονα της εκμετάλλευσης της γνώσης αυτής για την αποτελεσματική ανάκτηση των περιπτώσεων.

Ως προς τον πρώτο άξονα, το πλαίσιο IKARUS-CBR υιοθετεί και χρησιμοποιεί την έννοια της ασαφούς οντολογίας, όπως αυτή περιγράφεται στα προηγούμενα κεφάλαια, προκειμένου να ορίσει ένα οντολογικό μοντέλο αναπαράστασης ασαφών περιπτώσεων. Για το δεύτερο άξονα, την ανάκτηση των περιπτώσεων δηλαδή, το πλαίσιο IKARUS-CBR υιοθετεί τη γενική μέθοδο ανάκτησης της δομημένης CBR προσέγγισης που περιγράφεται στην παράγραφο 2.2.3. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή οι περιπτώσεις που είναι αποθηκευμένες στη βάση συγκρίνονται με τη ζητούμενη περίπτωση και αυτές που έχουν τη μεγαλύτερη ομοιότητα ανακτώνται και επιστρέφονται στο χρήστη. Η διαδικασία σύγκρισης μεταξύ μιας ζητούμενης περίπτωσης και μιας αποθηκευμένης γίνεται με χρήση μέτρων ομοιότητας τα οποία γενικά λειτουργούν με τον εξής τρόπο:

1. Υπολογίζουν αρχικά τις επιμέρους ομοιότητες των δύο περιπτώσεων συγκρίνοντας τις τιμές των επιμέρους χαρακτηριστικών τους.
2. Συναθροίζουν (aggregate) κατόπιν τις επιμέρους ομοιότητες σε μία τιμή η οποία υποδηλώνει το συνολικό βαθμό ομοιότητας μεταξύ των δύο περιπτώσεων.

Στις υθριδικές προσεγγίσεις CBR και οντολογιών η παραπάνω διαδικασία ανάκτησης περιλαμβάνει την εκμετάλλευση της δομής και του περιεχομένου της οντολογίας για τον υπολογισμό της σημασιολογικής ομοιότητας μέσω κατάλληλων μέτρων

ομοιότητας (βλέπε παράγραφο 3.3). Κανένα όμως από αυτά τα μέτρα δεν είναι σε θέση να χειριστεί και να εκμεταλλευτεί ασαφή οντολογική γνώση.

Από την άλλη πλευρά, τα διάφορα ασαφή CBR συστήματα (βλέπε παράγραφο 3.2), διαθέτουν ασαφή μέτρα ομοιότητας για τις τιμές των γνωρισμάτων των περιπτώσεων αλλά τα μέτρα αυτά δεν αφορούν οντολογίες καθώς η αναπαράσταση των περιπτώσεων στα εν λόγω συστήματα δεν είναι οντολογική. Το γεγονός αυτό περιορίζει την αποτελεσματικότητα της ανάκτησης καθώς δεν είναι δυνατή η εκμετάλλευση των δυνατοτήτων λογικού συμπερασμού που προσφέρουν οι οντολογίες, ειδικά σε ότι αφορά τις σημασιολογικές σχέσεις.

Βάσει των παραπάνω, η προσέγγιση ανάκτησης που ακολουθεί το πλαίσιο IKARUS-CBR συνδυάζει τις δυνατότητες συμπερασμού των κλασσικών οντολογιών με αυτές της ασαφούς λογικής προκειμένου να ορίσει έναν ισχυρό υβριδικό μηχανισμό ασαφούς οντολογικού συμπερασμού ο οποίος θα μπορεί να χρησιμοποιείται για τον αποτελεσματικό προσδιορισμό της σημασιολογικής ομοιότητας μεταξύ ασαφώς ορισμένων περιπτώσεων.

5.2 Πλαίσιο Αναπαράστασης Ασαφών Περιπτώσεων

Με βάση τα προηγούμενα κεφάλαια, μια ασαφής οντολογία μπορεί να οριστεί ως μια πλειάδα τη μορφής $O_F = \{C, I, FHR, FAR, FP, FLV, FVP\}$ όπου:

- C είναι ένα σύνολο εννοιών.
- I είναι ένα σύνολο στιγμιοτύπων με κάθε στιγμιότυπο να ανήκει τουλάχιστον σε μια έννοια.
- FHR και FAR είναι σύνολα ασαφών ιεραρχικών και συσχετιστικών σχέσεων αντίστοιχα. Κάθε σχέση $fr \in \{FHR \cup FAR\}$ είναι μια συνάρτηση της μορφής $I^2 \rightarrow [0, 1]$.
- FP είναι ένα σύνολο ασαφών ιδιοτήτων. Κάθε ασαφής ιδιότητα $fp \in FP$ είναι μια συνάρτηση της μορφής $I \rightarrow \mathcal{F}(X)$, όπου $\mathcal{F}(X)$ είναι το σύνολο όλων των ασαφών συνόλων.
- FLV είναι ένα σύνολο ασαφών γλωσσικών μεταβλητών. Μια γλωσσική μεταβλητή $flv \in FLV$ είναι μια πλειάδα $\{u, T, X, m\}$ όπου u είναι το όνομα της μεταβλητής, T το σύνολο των γλωσσικών όρων της μεταβλητής u οι οποίοι αναφέρονται σε μια μεταβλητή βάσης οι τιμές της οποίας βρίσκονται στο σύνολο X και m είναι ένας σημασιολογικός κανόνας που αντιστοιχεί σε κάθε όρο $t \in T$ το νόημά του $m(t)$ το οποίο είναι ένα ασαφές δυναμοσύνολο του X .

- FVP είναι ένα σύνολο ασαφώς αποτιμώμενων ιδιοτήτων (δηλαδή ιδιότητα με ασαφείς τιμές). Κάθε τέτοια ιδιότητα $fvp \in FVP$ είναι μια συνάρτηση της μορφής $I \rightarrow T$ όπου T είναι το σύνολο των γλωσσικών όρων κάποιας γλωσσικής μεταβλητής $flv \in FLV$.

Η αναπαράσταση των περιπτώσεων σε ένα CBR μοντέλο με βάση οντολογίες γίνεται θεωρώντας τις κατηγορίες των περιπτώσεων ως έννοιες, τις περιπτώσεις ως στιγμιότυπα των εννοιών αυτών και τα γνωρίσματα των περιπτώσεων ως οντολογικές σχέσεις ή ιδιότητες. Οι τιμές που μπορεί να λάβουν τα γνωρίσματα-σχέσεις είναι στιγμιότυπα που ορίζονται σε κάποια οντολογία πεδίου. Με βάση αυτά, το πλαίσιο IKARUS-CBR επιτρέπει την αναπαράσταση της ασάφειας σε μία περίπτωση με δύο τρόπους:

1. Επιτρέποντας στα γνωρίσματα των περιπτώσεων να έχουν τη μορφή ασαφών οντολογικών σχέσεων ή ασαφών οντολογικών ιδιοτήτων.
2. Επιτρέποντας στα γνωρίσματα-σχέσεις να λαμβάνουν τιμές από κάποια ασαφή οντολογία πεδίου.

Πιο τυπικά, μια οντολογία ασαφών περιπτώσεων ορίζεται ως ένα υποσύνολο μιας ασαφούς οντολογίας όπου:

- $FCT \subseteq C$ είναι ένα σύνολο από τύπους ασαφών περιπτώσεων.
- $FC \subseteq I$ είναι ένα σύνολο από ασαφείς περιπτώσεις. Κάθε ασαφής περίπτωση ανήκει σε έναν συγκεκριμένο τύπο.
- $FRA \subseteq \{FHR \cup FAR\}$ είναι ένα σύνολο από γνωρίσματα περιπτώσεων τα οποία ορίζονται ως ασαφείς σχέσεις. Κάθε $fra \in FRA$ είναι μια συνάρτηση $FC \times I \rightarrow [0, 1]$.
- $FPA \subseteq FP$ είναι ένα σύνολο από γνωρίσματα περιπτώσεων τα οποία ορίζονται ως ασαφείς ιδιότητες. Κάθε $fpa \in FPA$ είναι μια συνάρτηση $FC \rightarrow F(U)$, όπου $F(U)$ είναι το σύνολο όλων των ασαφών συνόλων.
- $FVPA \subseteq FVP$ είναι ένα σύνολο από γνωρίσματα περιπτώσεων τα οποία ορίζονται ως ασαφώς αποτιμώμενες ιδιότητες. Κάθε $fvp \in FVPA$ είναι μια συνάρτηση $FC \rightarrow T$ όπου T είναι το σύνολο των γλωσσικών όρων μιας ασαφούς γλωσσικής μεταβλητής $flv \in FLV$.

Με δεδομένο ότι μια μη ασαφής οντολογία είναι μια ειδική περίπτωση ασαφούς οντολογίας στην οποία όλοι οι ασαφείς βαθμοί είναι ίσοι με 1, ο παραπάνω φορμαλισμός διατηρεί τα χαρακτηριστικά του κλασσικού συνδυασμού CBR και οντολογιών.

Αυτό σημαίνει ότι οι αντίστοιχες μέθοδοι και τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί στο πλαίσιο του συνδυασμού αυτού είναι εφαρμόσιμες και στην περίπτωση του IKARUS-CBR.

5.3 Πλαίσιο Ανάκτησης Ασαφών Περιπτώσεων

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, στο κλασσικό μοντέλο CBR η ανάκτηση περιπτώσεων γίνεται μέσω του προσδιορισμού της ομοιότητας μεταξύ της ζητούμενης περίπτωσης και αυτών που είναι αποθηκευμένες στη βάση του συστήματος. Ο προσδιορισμός αυτός πραγματοποιείται συνυπολογίζοντας τις μερικές ομοιότητες των περιπτώσεων βάσει των τιμών καθενός από τα γνωρίσματά τους. Ο ακριβής τρόπος με τον οποίο υπολογίζονται οι συγκεκριμένες ομοιότητες εξαρτάται από τη φύση του κάθε γνωρίσματος και ιδιαίτερα από τον τύπο και το εύρος των τιμών που αυτό μπορεί να πάρει. Για το λόγο αυτό, οποιοδήποτε πλαίσιο CBR οφείλει να αναγνωρίζει τους διαφορετικούς τύπους γνωρίσματων που μπορεί να έχουν οι περιπτώσεις του, να ορίζει αντίστοιχα μέτρα ομοιότητας για κάθε τύπο και να παρέχει κατάλληλους τελεστές για τη συνάθροιση των επιμέρους ομοιοτήτων.

Στην περίπτωση του πλαισίου IKARUS-CBR οι διαφορετικοί τύποι ασαφών γνωρίσματων είναι τρεις: Τα γνωρίσματα με τη μορφή ασαφών ιδιοτήτων, τα γνωρίσματα με τη μορφή ασαφών αποτιμώμενων ιδιοτήτων και τα γνωρίσματα με τη μορφή ασαφών σχέσεων. Από τους τύπους αυτούς μόνο ο δεύτερος έχει επαρκώς αντιμετωπιστεί από την ερευνητική κοινότητα, κυρίως στο πλαίσιο των ασαφών CBR συστημάτων και των συστημάτων ασαφούς λήψης αποφάσεων [14] [15]. Οι άλλοι δύο τύποι εμφανίζονται για πρώτη φορά και ως εκ τούτου απαιτούν ξεχωριστή μεταχείριση.

Σε κάθε περίπτωση, το πλαίσιο IKARUS-CBR ορίζει μεθόδους για τον προσδιορισμό, για κάθε τύπο ασαφούς γνωρίσματος, της ομοιότητας μεταξύ των τιμών που τα γνωρίσματα του τύπου αυτού μπορούν να λάβουν. Το κύριο χαρακτηριστικό των μεθόδων αυτών είναι ότι θεωρούν την έννοια της ομοιότητας ως υποκειμενική και εξαρτώμενη από το εκάστοτε σενάριο εφαρμογής στο οποίο λαμβάνει χώρα η ανάκτηση καθώς και την ανακρίβεια που χαρακτηρίζει το σενάριο αυτό.

5.3.1 Προσδιορισμός Ομοιότητας Γνωρισμάτων με τη μορφή Ασαφών Ιδιοτήτων

Έστω ένα σενάριο ανάκτησης στο οποίο κάθε αποθηκευμένη περίπτωση χαρακτηρίζεται από ένα γνώρισμα με τη μορφή ασαφούς ιδιότητας οι τιμές του οποίου έχουν τη μορφή ενός ασαφούς συνόλου *SCVS*. Έστω επίσης ότι η ζητούμενη περίπτωση

έχει για το ίδιο γνώρισμα ένα (μη ασαφές) σύνολο τιμών *RCVS*. Σε αυτό το σενάριο η ομοιότητα μεταξύ της ζητούμενης περίπτωσης και της κάθε αποθηκευμένης προσδιορίζεται συγκρίνοντας τα δύο παραπάνω σύνολα.

Στο κλασσικό CBR μοντέλο όπου και τα δύο σύνολα είναι σαφή, η σύγκριση αυτή γίνεται σε δύο επίπεδα, αυτό των τιμών και αυτό του συνόλου. Στο επίπεδο των τιμών προσδιορίζεται η ομοιότητα μεταξύ όλων των δυνατών ζευγών τιμών από τα δύο σύνολα ενώ στο επίπεδο του συνόλου οι μερικές αυτές ομοιότητες συναθροίζονται σε μια μοναδικά τιμή που υποδηλώνει την ομοιότητα των δύο συνόλων.

Η ομοιότητα των τιμών συνήθως προσδιορίζεται δυαδικά (1 αν είναι ίδιες, 0 αλλιώς) και ανάλογα με τον τύπο τους. Η ομοιότητα στο επίπεδο του συνόλου μπορεί να προσδιοριστεί με διάφορους τρόπους που εξαρτώνται κάθε φορά από το σενάριο εφαρμογής. Για παράδειγμα μπορεί σε ένα σενάριο να είναι επιθυμητό η ζητούμενη περίπτωση να θεωρείται απολύτως όμοια με μια αποθηκευμένη όταν το σύνολο τιμών της πρώτης είναι υποσύνολο αυτού της δεύτερης ενώ σε ένα άλλο σενάριο η απόλυτη ομοιότητα να ισχύει όταν η τομή των δύο συνόλων δεν είναι το κενό σύνολο. Σε κάθε περίπτωση η ομοιότητα σε επίπεδο συνόλων μπορεί να θεωρηθεί ότι υπολογίζεται βάσει της ακόλουθης γενικής φόρμουλας:

$$sim(RCVS, SCVS) = \mathbf{Agg}(\{sim(rl_i, sl_j)\}) \quad (5.1)$$

όπου *Agg* είναι μια συνάρτηση συνάθροισης ομοιότητας και $sim(rl_i, sl_j)$ είναι η μερική ομοιότητα μεταξύ της i-οστής τιμής του *RCVS* και της j-οστής τιμής του *SCVS*.

Στην περίπτωση που το σύνολο *SCVS* είναι ασαφές, η ασάφεια αυτή υποδηλώνει ότι η ισχύς της σύνδεσης της αποθηκευμένης περίπτωσης με την κάθε τιμή του συνόλου καθορίζεται βάσει των αντιστοίχων ασαφών βαθμών. Αυτό σημαίνει ότι προκειμένου το μέγεθος $sim(rl_i, sl_j)$ να υποδηλώνει μερική ομοιότητα μεταξύ των περιπτώσεων θα πρέπει να "προσαρμοστεί" με βάση τον ασαφή βαθμό συμμετοχής του sl_j . Χρησιμοποιώντας την παραπάνω φόρμουλα η προσαρμογή αυτή λαμβάνει την ακόλουθη μορφή:

$$sim(RCVS, SCVS) = \mathbf{Agg}(\{sim(rl_i, sl_j) * SCVS(sl_j)\}) \quad (5.2)$$

Παρόλα αυτά, η τελική απόφαση για το αν η προσαρμογή αυτή θα πρέπει να γίνει ή όχι εξαρτάται από το σενάριο εφαρμογής και ειδικότερα από το εάν η ασάφεια της σύνδεσης μεταξύ τιμής και περίπτωσης θεωρείται ότι επηρεάζει την ομοιότητα στο σενάριο αυτό. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της υποκειμενικότητας του ρόλου της ασάφειας στον προσδιορισμό της ομοιότητας, ο ρόλος αυτός

μοντελοποιείται ως πληροφορία νοηματικού πλαισίου (contextual information) και ενσωματώνεται στη φόρμουλα υπολογισμού της ομοιότητας.

Πιο συγκεκριμένα, δεδομένου ενός συνόλου γνωρισμάτων με τη μορφή ασαφών ιδιοτήτων FPA ορίζεται το Νοηματικό Πλαίσιο Ομοιότητας Ασαφούς Ιδιότητας (Fuzzy Property Attribute Similarity Context) ως μια συνάρτηση $fpasc : FPA \rightarrow \{0, 1\}$. Αν $fpa \in FPA$ τότε η τιμή του $fpasc(fpa)$ καθορίζει εάν η ασάφεια του γνωρίσματος πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τη σύγκριση των συνόλων τιμών περιπτώσεων για το γνώρισμα αυτό. Τιμή ίση με 0 δηλώνει ότι η ασάφεια δεν παίζει ρόλο ενώ τιμή ίση με 1 το αντίθετο. Στην πρώτη περίπτωση το σύνολο $SCVS$ θεωρείται σαφές.

Με βάση τα παραπάνω, η φόρμουλα υπολογισμού ομοιότητας μεταξύ μιας αποθηκευμένης περίπτωσης SC και μιας ζητούμενης RC με βάση μόνο τις τιμές του γνωρίσματος fpa γίνεται:

$$sim_{fpa}(RC, SC) = \text{Agg}(\{sim(rl_i, sl_j) * max(SCVS(sl_j), 1 - fpasc(fpa))\}) \quad (5.3)$$

5.3.2 Προσδιορισμός Ομοιότητας Γνωρισμάτων με τη μορφή Ασαφώς Εκτιμώμενων Ιδιοτήτων

Όπως και στην προηγούμενη παράγραφο, έστω ένα σενάριο ανάκτησης στο οποίο κάθε αποθηκευμένη περίπτωση χαρακτηρίζεται από ένα γνώρισμα με τη μορφή ασαφούς αποτιμώμενης ιδιότητας για το οποίο λαμβάνει ως τιμή κάποιον γλωσσικό όρο ενώ η ζητούμενη περίπτωση έχει για το ίδιο γνώρισμα ως τιμή έναν άλλο γλωσσικό όρο. Σε αυτό το σενάριο η ομοιότητα μεταξύ της ζητούμενης περίπτωσης και της κάθε αποθηκευμένης προσδιορίζεται συγκρίνοντας τους δύο γλωσσικούς όρους.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αυτός ο τύπος σύγκρισης έχει μελετηθεί ευρέως στη βιβλιογραφία [116] και παράδειγμά του αποτελεί η μέθοδος *crisp score method* [116] για την αποασαφοποίηση ασαφών συνόλων. Η μέθοδος αυτή υιοθετείται και από το πλαίσιο IKARUS-CBR.

5.3.3 Προσδιορισμός Ομοιότητας Γνωρισμάτων με τη μορφή Ασαφών Σχέσεων

Έστω ένα σενάριο ανάκτησης στο οποίο κάθε αποθηκευμένη περίπτωση χαρακτηρίζεται από ένα γνώρισμα με τη μορφή ασαφούς σχέσης για το οποίο λαμβάνει ως τιμές στιγμιότυπα από κάποια ασαφή οντολογία πεδίου. Έστω επίσης ότι η ζητούμενη περίπτωση αποτελείται από ένα σαφές σύνολο οντολογικών στιγμιοτύπων

από την ίδια οντολογία. Σε ένα τέτοιο σενάριο η ομοιότητα μεταξύ μιας αποθηκευμένης περίπτωσης και της ζητούμενης υπολογίζεται συγκρίνοντας τα δύο σύνολα στιγμιοτύπων.

Η μοναδική διαφορά μεταξύ της σύγκρισης αυτής και της σύγκρισης στην περίπτωση των γνωρισμάτων με τη μορφή ασαφών ιδιοτήτων (βλέπε παράγραφο 5.3.1) είναι ότι τα στοιχεία των δύο συγκρινόμενων συνόλων είναι οντολογικά στιγμιότυπα. Κι αυτό γιατί για μια δεδομένη αποθηκευμένη περίπτωση τα ασαφώς συσχετίζομενα στιγμιότυπα με αυτή είναι επί της ουσίας ένα ασαφές σύνολο. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί κι εδώ να χρησιμοποιηθεί η φόρμουλα 5.3, περιορίζοντας το πρόβλημα σε αυτό του υπολογισμού της ομοιότητας μεταξύ ζευγών οντολογικών στιγμιοτύπων.

Στα συστήματα που συνδυάζουν CBR και οντολογίες ο υπολογισμός αυτός γίνεται με χρήση των συστατικών της οντολογίας απ' όπου προέρχονται τα στιγμιότυπα και ειδικότερα των σχέσεων που συνδέουν τα τελευταία. Κι αυτό γιατί συνήθως οι σχέσεις αυτές μπορούν να ερμηνευτούν και ως σχέσεις ομοιότητας. Έτσι, στη δική μας προσέγγιση όπου οι σχέσεις αυτές μπορεί να είναι ασαφείς, η ασάφεια αυτή αναμένεται να επηρεάσει και την ομοιότητα.

Παρόλα αυτά, το να προσδιορίσει κανείς ποιες ασαφείς οντολογικές σχέσεις, με ποιον τρόπο και σε τι βαθμό θα πρέπει να συμμετάσχουν στον υπολογισμό της ομοιότητας μεταξύ δύο στιγμιοτύπων είναι ένα ζήτημα καθαρά υποκειμενικό και εξαρτώμενο από το εκάστοτε σενάριο εφαρμογής. Κι αυτό γιατί σε διαφορετικά σενάρια η επιθυμητή συνεισφορά της ίδιας σχέσης στον προσδιορισμό της ομοιότητας μπορεί να είναι εντελώς διαφορετική. Επομένως χρειάζεται ένας τρόπος καταγραφής και χρήσης της συνεισφοράς αυτής.

Για το σκοπό αυτό ορίζουμε καταρχήν το Νοηματικό Πλαίσιο Ομοιότητας Ασαφών Οντολογικών Σχέσεων (Fuzzy Ontology Relation Similarity Context - FORSC), το οποίο επιτρέπει τη μοντελοποίηση του επιθυμητού ρόλου των σχέσεων μιας ασαφούς οντολογίας στη διαδικασία υπολογισμού της ομοιότητας μεταξύ δύο οποιωνδήποτε στιγμιοτύπων, και στη συνέχεια ορίζουμε έναν αλγόριθμο υπολογισμού σημασιολογικής ομοιότητας στιγμιοτύπων ο οποίος εκμεταλλεύεται την πληροφορία του πλαισίου.

Νοηματικό Πλαίσιο Ομοιότητας Ασαφών Οντολογικών Σχέσεων

Σε μία οντολογία, ένα στιγμιότυπο μπορεί να συνδέεται με ένα άλλο στιγμιότυπο μέσω πολλών διαφορετικών σχέσεων ή συνθέσεων αυτών. Σκοπός του Νοηματικού Πλαισίου Ομοιότητας Ασαφών Οντολογικών Σχέσεων είναι να ορίσει εάν και κατά πόσο κάθε μία από αυτές τις συνδέσεις θα πρέπει να θεωρηθούν ότι υποδηλώνουν ομοιότητα.

Πιο τυπικά, δεδομένης μιας ασαφούς οντολογίας $O_F = \{C, I, FHR, FAR, FP, FVP, FLV\}$, το πλαίσιο $FORSC(O_F)$ ορίζεται:

- Τον τρόπο με τον οποίο κάθε ιεραρχική σχέση $R \in \mathbf{FHR}$ θα πρέπει να χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ομοιότητας μεταξύ δύο στιγμιοτύπων.
- Τον τρόπο με τον οποίο η αντίστροφη σχέση κάθε ιεραρχικής σχέσης $R \in \mathbf{FHR}$ θα πρέπει να χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ομοιότητας μεταξύ δύο στιγμιοτύπων.
- Τον τρόπο με τον οποίο κάθε συσχετιστική σχέση $R \in \mathbf{FAR}$ θα πρέπει να χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ομοιότητας μεταξύ δύο στιγμιοτύπων.
- Τον τρόπο με τον οποίο η αντίστροφη σχέση κάθε συσχετιστικής σχέσης $R \in \mathbf{FAR}$ θα πρέπει να χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ομοιότητας μεταξύ δύο στιγμιοτύπων.
- Τον τρόπο με τον οποίο η σύνθεση n σχέσεων $R_1, R_2, \dots, R_n \in \mathbf{FAR} \cup \mathbf{FHR} \cup \mathbf{FAR}^{-1} \cup \mathbf{FHR}^{-1}$ θα πρέπει να χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ομοιότητας μεταξύ δύο στιγμιοτύπων. Τα σύνολα \mathbf{FAR}^{-1} και \mathbf{FHR}^{-1} περιέχουν τις αντίστροφες σχέσεις των συνόλων \mathbf{FAR} και \mathbf{FHR} αντίστοιχα.

Για να γίνει αυτό, το $FORSC$ αποτελείται από πέντε διακριτά υπο-πλαίσια που αντιστοιχούν σε κάθε μία από τις παραπάνω περιπτώσεις:

- Το Νοηματικό Πλαίσιο Ασαφών Ιεραρχικών Σχέσεων (Fuzzy Hierarchical Relation Similarity Context) το οποίο ορίζεται ως μια συνάρτηση της μορφής $fhrsc : \mathbf{FHR} \rightarrow [-1, 1]$.
- Το Νοηματικό Πλαίσιο Αντιστρόφων Ασαφών Ιεραρχικών Σχέσεων (Fuzzy Reverse Hierarchical Relation Similarity Context) το οποίο ορίζεται ως μια συνάρτηση της μορφής $frhrsc : \mathbf{FHR} \rightarrow [-1, 1]$.
- Το Νοηματικό Πλαίσιο Ασαφών Συσχετιστικών Σχέσεων (Fuzzy Associative Relation Similarity Context) το οποίο ορίζεται ως μια συνάρτηση της μορφής $farsc : \mathbf{FAR} \rightarrow [-1, 1]$.
- Το Νοηματικό Πλαίσιο Αντιστρόφων Ασαφών Συσχετιστικών Σχέσεων (Fuzzy Reverse Associative Relation Similarity Context) το οποίο ορίζεται ως μια συνάρτηση της μορφής $frarsc : \mathbf{FAR} \rightarrow [-1, 1]$.

- Νοηματικό Πλαίσιο Σύνθετων Ασαφών Σχέσεων (Fuzzy Composite Relation Similarity Context) το οποίο ορίζεται ως μια συνάρτηση της μορφής $f_{crsc} : (\mathbf{FHR} \cup \mathbf{FAR} \cup \mathbf{FHR}^{-1} \cup \mathbf{FAR}^{-1})^n \rightarrow [-1, 1]$ όπου n είναι ο αριθμός των σχέσεων που συμμετέχουν στη σύνθεση .

Το ακριβές νόημα του καθενός από τα παραπάνω πλαίσια είναι το ακόλουθο:

- Av $R \in \mathbf{FHR}$ τότε $fhrsc(R)$ είναι ο βαθμός στον οποίο η σχέση $[Tr^t(R)]$ θα πρέπει να θεωρηθεί ότι υποδηλώνει ομοιότητα μεταξύ όλων των στιγμιοτύπων $a, b \in \mathbf{I}$ για τα οποία $[Tr^t(R)](a, b) \neq 0$. $Tr^t(R)$ είναι το sup-t μεταβατικό κλείσιμο της σχέσης R .
- Av $R \in \mathbf{FHR}$ τότε $frhrsc(R)$ είναι ο βαθμός στον οποίο η σχέση $[Tr^t(R)]^{-1}$ θα πρέπει να θεωρηθεί ότι υποδηλώνει ομοιότητα μεταξύ όλων των στιγμιοτύπων $a, b \in \mathbf{I}$ για τα οποία $[Tr^t(R)]^{-1}(a, b) \neq 0$.
- Av $R \in \mathbf{FAR}$ τότε $farsc(R)$ είναι ο βαθμός στον οποίο η σχέση R θα πρέπει να θεωρηθεί ότι υποδηλώνει ομοιότητα μεταξύ όλων των στιγμιοτύπων $a, b \in \mathbf{I}$ για τα οποία $R(a, b) \neq 0$.
- Av $R \in \mathbf{FAR}$ τότε $frarsc(R)$ είναι ο βαθμός στον οποίο η σχέση R^{-1} θα πρέπει να θεωρηθεί ότι υποδηλώνει ομοιότητα μεταξύ όλων των στιγμιοτύπων $a, b \in \mathbf{I}$ για τα οποία $R^{-1}(a, b) \neq 0$.
- Av $R_1, R_2, \dots, R_n \in \mathbf{FAR} \cup \mathbf{FHR} \cup \mathbf{FAR}^{-1} \cup \mathbf{FHR}^{-1}$ τότε $fcrsc(R_1, R_2, \dots, R_n)$ είναι ο βαθμός στον οποίο η σχέση $[R_1^* \circ^t R_2^* \circ^t \dots \circ^t R_n^*]$, $R_i^* = R_i$ av $R_i \in \mathbf{FAR} \cup \mathbf{FAR}^{-1}$ και $R_i^* = Tr^t(R_i)$ av $R_i \in \mathbf{FHR} \cup \mathbf{FHR}^{-1}$ θα πρέπει να θεωρηθεί ότι υποδηλώνει ομοιότητα μεταξύ όλων των στιγμιοτύπων $a, b \in \mathbf{I}$ για τα οποία $[R_1^* \circ^t R_2^* \circ^t \dots \circ^t R_n^*](a, b) \neq 0$.

Οι τιμές όλων των παραπάνω βαθμών κυμαίνονται στο διάστημα $[-1, 1]$. Ένας βαθμός με τιμή -1 υποδηλώνει ότι η αντίστοιχη σχέση ή η σύνθεση σχέσεων δεν πρέπει να ληφθεί καθόλου υπόψη κατά τον υπολογισμό της ομοιότητας. Αντίθετα, ένα βαθμός με τιμή 1 υποδηλώνει ότι δύο στιγμιότυπα που συνδέονται με αυτή τη σχέση θα πρέπει να θεωρηθούν ταυτόσημα. Οποιοσδήποτε βαθμός μεταξύ -1 και 1 υποδηλώνει μια ενδιάμεση κατάσταση.

Αλγόριθμος Προσδιορισμού Ομοιότητας Στιγμιοτύπων Ασαφούς Οντολογίας

Η χρήση του νοηματικού πλαισίου *FORSC* για τον προσδιορισμό της σημασιολογικής ομοιότητας μεταξύ δύο στιγμιοτύπων γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο: Δεδομένης μιας ασαφούς οντολογίας $O_F = \{C, I, FHR, FAR, FP, FVP, FLV\}$ και ενός

αντίστοιχου πλαισίου ομοιότητας $FORSC_{O_F} = \{fhrsc, frhrsc, farsc, frarsc, fcrsc\}$ ορίζεται καταρχήν ο τελεστής πλαισίου ομοιότητας sco ως εξής:

$$sco(R(a, b), f) = \begin{cases} R(a, b)^{1-f(R)}, & 0 \leq f(R) \leq 1 \\ R(a, b) \times (1 + f(R)), & -1 \leq f(R) < 0 \end{cases} \quad (5.4)$$

όπου $R \in \mathbf{FAR} \cup \mathbf{FHR}$ και $f \in FORSC_{O_F}$.

Κατόπιν ο τελεστής αυτός εφαρμόζεται στην ασαφή οντολογία μέσω της ακόλουθης διαδικασίας:

1. $\forall R \in \mathbf{FHR}$ λαμβάνονται οι σχέσεις $R'_h = sco(Tr^t(R), fhrsc)$ και $R''_h = sco(Tr^t(R)^{-1}, frhrsc)$
2. $\forall R \in \mathbf{FAR}$ λαμβάνονται οι σχέσεις $R'_a = sco(R, farsc)$ και $R''_a = sco(R^{-1}, frarsc)$
3. $\forall R_1, R_2, \dots, R_n \in \mathbf{FAR} \cup \mathbf{FHR} \cup \mathbf{FAR}^{-1} \cup \mathbf{FHR}^{-1}$ έτσι ώστε $fcrsc(R_1, R_2, \dots, R_n) \neq -1$ και $[R_1^* \circ^t R_2^* \circ^t \dots \circ^t R_n^*] \neq \emptyset$, $R_i^* = R_i$ ιφ $R_i \in \mathbf{FAR} \cup \mathbf{FAR}^{-1}$ και $R_i^* = Tr^t(R_i)$ ιφ $R_i \in \mathbf{FHR} \cup \mathbf{FHR}^{-1}$ λαμβάνεται η σχέση $R'_{comp} = sco([R_1^* \circ^t R_2^* \circ^t \dots \circ^t R_n^*], fcrsc)$

Στο τέλος της παραπάνω διαδικασίας υπολογίζεται η ασαφής ένωση όλων των σχέσεων που προέκυψαν στα επιμέρους βήματα και προκύπτει έτσι μία ασαφής σχέση R_C . Μέσω της R_C είναι δυνατός ο προσδιορισμός της σημασιολογικής ομοιότητας μεταξύ δύο στιγμιοτύπων $a, b \in I$ η οποία και είναι ίση με τον ασαφή βαθμό $R_C(a, b)$.

5.3.4 Συνάθροιση Επιμέρους Ομοιοτήτων

Για τη συνάθροιση των επιμέρους ομοιοτήτων των περιπτώσεων, όπως αυτές υπολογίζονται για κάθε γνώρισμα βάσει των μεθόδων των προηγούμενων παραγράφων, μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν οι μέθοδοι που εφαρμόζονται σε υπάρχουσες CBR προσεγγίσεις. Επομένως δεν κρίνεται σκόπιμος ο ορισμός νέων τέτοιων μεθόδων για το πλαίσιο IKARUS-CBR.

5.4 Σενάριο Εφαρμογής Πλαισίου

Το πλαίσιο IKARUS-CBR όπως περιγράφηκε στις προηγούμενες παραγράφους, αποτέλεσε τον πυρήνα της σχεδίασης και ανάπτυξης της ηλεκτρονικής βιβλιοθήκης του Διαχειριστή Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕ-ΣΜΗΕ), μιας διαδικτυακής πύλης γνώσης η οποία παρέχει στο κοινό ευφυείς υπηρεσίες πρόσθασης σε γνώση σχετικά με την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Η γνώση αυτή έχει τη μορφή νομικών και τεχνικών εγγράφων τα οποία πριν την ανάπτυξη της βιβλιοθήκης ήταν προσβάσιμα μόνο μέσω αναζήτησης πλήρους κειμένου. Στο πλαίσιο της βιβλιοθήκης τα έγγραφα αυτά μοντελοποιούνται ως ασαφείς περιπτώσεις και ενσωματώνονται μαζί με την κατάλληλη γνώση πεδίου σε ένα CBR σύστημα το οποίο υλοποιεί τα χαρακτηριστικά του πλαισίου IKARUS-CBR και παρέχει τις αντίστοιχες λειτουργίες ασαφούς διαχείρισης και ανάκτησης περιπτώσεων. Η εφαρμογή του IKARUS-CBR στο σύστημα της ηλεκτρονικής βιβλιοθήκης επιτρέπει στο τελευταίο να εκμεταλλεύεται όχι μόνο το σημασιολογικό περιεχόμενο των εγγράφων αλλά και την ασάφεια που χαρακτηρίζει το περιεχόμενο αυτό προκειμένου να παρέχει στους χρήστες θεμελιωδώς πιο αποτελεσματικές υπηρεσίες σημασιολογικής πρόσθασης στο περιεχόμενο.

Στις ακόλουθες παραγράφους παρατίθενται οι λεπτομέρειες εφαρμογής του πλαισίου για την υλοποίηση του παραπάνω συστήματος και συγκεκριμένα περιγράφονται:

- Ο τρόπος με τον οποίο ορίστηκε η δομή της βάσης περιπτώσεων βάσει του πλαισίου αναπαράστασης της παραγράφου 5.2.
- Ο τρόπος με τον οποίο ο μηχανισμός ανάκτησης του συστήματος παραμετροποιήθηκε και χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο του συγκεκριμένου σεναρίου εφαρμογής.

5.4.1 Ανάπτυξη Ασαφούς Μοντέλου Περιπτώσεων

Η διαδικασία ορισμού και δημιουργίας της βάσης περιπτώσεων του συστήματος πρακτικά περιελάμβανε τη χρήση του μοντέλου της παραγράφου 5.2 για τον ορισμό της δομής και του περιεχομένου της ασαφούς οντολογίας περιπτώσεων του συστήματος. Ο ορισμός αυτός έγινε με τη βοήθεια αρκετών ειδικών στο πεδίο της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και το αποτέλεσμα ήταν η **Ασαφής Οντολογία Περιπτώσεων του ΔΕΣΜΗ**.

Η οντολογία αυτή αποτελείται από ένα τύπο ασαφούς περίπτωσης ο οποίος ονομάζεται **ΈγγραφοΔΕΣΜΗ** και περιλαμβάνει τα εξής γνωρίσματα:

- **Τίτλος:** Ο τίτλος του εγγράφου.
- **Ημερομηνία:** Η ημερομηνία έκδοσης του εγγράφου.
- **Συντελεστές:** Οι άνθρωποι του οργανισμού που συμμετείχαν στη δημιουργία του εγγράφου.

- **Θεματικό Περιεχόμενο:** Χαρακτηριστικοί όροι και λέξεις-κλειδιά που χαρακτηρίζουν το περιεχόμενο του εγγράφου.
- **Σχετικές Εξωτερικές Πηγές:** Σύνδεσμοι σε σχετικές με το έγγραφο πηγές που δεν περιέχονται στη βιβλιοθήκη.

Τα πρώτα δύο γνωρίσματα είναι επί της ουσίας σαφή και κατά συνέπεια αναπαρίστανται με τη μορφή ασαφών ιδιοτήτων οι τιμές των οποίων έχουν πάντα βαθμό 1. Από την άλλη πλευρά, τα γνωρίσματα **Συντελεστές** και **Σχετικές Εξωτερικές Πηγές** θεωρούνται ασαφή και αναπαρίστανται ως ασαφείς ιδιότητες. Η ασάφεια στην περίπτωση του γνωρίσματος **Συντελεστές** αντικατοπτρίζει το βαθμό στον οποίο κάποιος συνεισέφερε στη δημιουργία του εγγράφου ενώ στην περίπτωση του γνωρίσματος **Σχετικές Εξωτερικές Πηγές** η ασάφεια έχει να κάνει με το βαθμό σχετικότητας της πηγής.

Τέλος, το γνώρισμα **Θεματικό Περιεχόμενο** μοντελοποιείται ως ασαφής σχέση η οποία συνδέει τις περιπτώσεις με τους όρους που αναπαριστούν το νόημά τους. Οι όροι αυτοί έχουν τη μορφή οντολογικών στιγμιοτύπων και ορίζονται σε μια ασαφή οντολογία πεδίου που καλύπτει το χώρο της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Η συγκεκριμένη οντολογία αποτελείται από 10 έννοιες (πίνακας 5.1) και 18 σχέσεις, ασαφείς και μη. Ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα των σχέσεων αυτών φαίνεται στον πίνακα 5.2.

Η δημιουργία και αποθήκευση στη βάση των επιμέρους περιπτώσεων πραγματοποιήθηκε μέσω της δημιουργίας στιγμιοτύπων της έννοιας **Έγγραφο ΔΕΣΜΗΣ** και της ανάθεσης τιμών στα στιγμιότυπα αυτά για κάθε γνώρισμά τους. Και αυτή η διαδικασία έγινε εν μέρει με τη βοήθεια ειδικών στο πεδίο της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

5.4.2 Ορισμός Νοηματικού Πλαισίου Ανάκτησης Περιπτώσεων

Ο ορισμός του νοηματικού πλαισίου ανάκτησης των περιπτώσεων περιελάμβανε τον ορισμό για κάθε ασαφές γνώρισμα ενός αντίστοιχου του τύπου του νοηματικού πλαισίου. Δεδομένου του μοντέλου περιπτώσεων των προηγούμενων παραγράφων αυτό σήμαινε ότι έπρεπε να ορίσουμε τα εξής:

- Ένα νοηματικό πλαίσιο ομοιότητας γνωρισμάτων για το γνώρισμα **Συντελεστές**.
- Ένα νοηματικό πλαίσιο ομοιότητας γνωρισμάτων για το γνώρισμα **Σχετικές Εξωτερικές Πηγές**

Πίνακας 5.1: Έννοιες Οντολογίας Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

Έννοια	Περιγραφή
Διαδικασία	Αναφέρεται στις διεργασίες και διαδικασίες που αποτελούν μέρος της συνολικής λειτουργίας της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.
Συμμετέχων	Αναφέρεται στα άτομα και τους οργανισμούς που έχουν κάποιο ρόλο στην αγορά.
Ενέργεια	Αναφέρεται στις ενέργειες που εκτελούν οι συμμετέχοντες στην αγορά στο πλαίσιο της λειτουργίας της τελευταίας.
Δικαιώμα	Αναφέρεται στα δικαιώματα που έχουν οι συμμετέχοντες στην αγορά στο πλαίσιο της λειτουργίας της τελευταία.
Υποχρέωση	Αναφέρεται στις υποχρεώσεις που έχουν οι συμμετέχοντες στην αγορά στο πλαίσιο της λειτουργίας της τελευταία.
Κανόνας	Αναφέρεται στους κανόνες που διέπουν τη λειτουργία της αγοράς.
Σύστημα	Αναφέρεται στον εξοπλισμό, τα κτίρια και τα συστήματα που χρησιμοποιούνται στο πλαίσιο λειτουργίας της αγοράς.
Προδιαγραφή	Αναφέρεται στα πρότυπα και προδιαγραφές που χαρακτηρίζουν τα συστήματα της αγοράς.
Πηγή Πληροφορίας	Αναφέρεται σε οποιαδήποτε πληροφορία σχετίζεται με την αγορά όπως εγχειρίδια, αρχεία, μητρώα, πρότυπα εγγράφων κλπ.
Μέγεθος	Αναφέρεται σε παραμέτρους, δεδομένα, παράγοντες και εν γένει οποιοδήποτε μέγεθος σχετίζεται με τη λειτουργία της αγοράς.

Πίνακας 5.2: Σχέσεις Οντολογίας Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

Σχέση	Περιγραφή	Νόημα Ασάφειας
<i>είναιΣημαντικόΜέροςΤηςΔιαδικασίας</i> (Διαδικασία, Διαδικασία)	Ιεραρχική σχέση που συνδέει διαδικασίες με άλλες διαδικασίες που αποτελούν μέρος αυτών.	Ασάφεια ως προς τη σημαντικότητα της επιμέρους διαδικασίας
<i>είναιΣημαντικόΜέροςΤηςΕνέργειας</i> (Ενέργεια, Ενέργεια)	Ιεραρχική σχέση που συνδέει ενέργειες με άλλες ενέργειες που αποτελούν μέρος αυτών.	Ασάφεια ως προς τη σημαντικότητα της επιμέρους ενέργειας
<i>είναιΕίδοςΣυμμετέχοντα</i> (Συμμετέχων, Συμμετέχων)	Ιεραρχική σχέση που συνδέει τύπους συμμετεχόντων.	Σαφής σχέση
<i>είναιΕίδοςΔικαιώματος</i> (Δικαίωμα, Δικαίωμα)	Ιεραρχική σχέση που συνδέει τύπους δικαιωμάτων.	Σαφής σχέση
<i>είναιΕίδοςΠηγήςΠληροφορίας</i> (Πηγή Πληροφορίας, Πηγή Πληροφορίας)	Ιεραρχική σχέση που συνδέει τύπους πηγών πληροφορίας	Σαφής σχέση
<i>είναιΣημαντικόΜέροςΤηςΠροδιαγραφής</i> (Προδιαγραφή, Προδιαγραφή)	Ιεραρχική σχέση που συνδέει προδιαγραφές με άλλες προδιαγραφές που αποτελούν μέρος αυτών.	Ασάφεια ως προς τη σημαντικότητα της επιμέρους προδιαγραφής
<i>ενδιαφέρεταιΓιαΤηΔιαδικασία</i> (Συμμετέχων, Διαδικασία)	Συσχετιστική σχέση που συνδέει συμμετέχοντες στην αγορά με διαδικασίες οι οποίες τους ενδιαφέρουν.	Ασάφεια ως προς το βαθμό ενδιαφέροντος του συμμετέχοντα
<i>εκτελείταιΑπόΤοΣυμμετέχοντα</i> (Ενέργεια, Συμμετέχων)	Συσχετιστική σχέση που συνδέει ενέργειες με τους συμμετέχοντες που τις εκτελούν	Σαφής σχέση
<i>είναιΣημαντικήΓια</i> (Ενέργεια, Διαδικασία)	Συσχετιστική σχέση που συνδέει ενέργειες με τις διαδικασίες στο πλαίσιο των οποίων εκτελούνται.	Ασάφεια ως προς τη σημαντικότητα της ενέργειας για τη διαδικασία
<i>αφοράΤηΔιαδικασία</i> (Δικαίωμα \sqcup Υποχρέωση \sqcup Κανόνας, Διαδικασία)	Συσχετιστική σχέση που συνδέει δικαιωματα, υποχρεώσεις και κανόνες με τις διαδικασίες τις οποίες αφορούν.	Σαφής σχέση
<i>αφοράΤοΣυμμετέχοντα</i> (Δικαίωμα \sqcup Υποχρέωση, Συμμετέχων)	Συσχετιστική σχέση που συνδέει δικαιωματα και υποχρεώσεις με συμμετέχοντες.	Σαφής σχέση

- Ένα νοηματικό πλαίσιο ομοιότητας ασαφών οντολογικών σχέσεων για εκείνες τις σχέσεις της ασαφούς οντολογίας αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας που δύνανται να συνδέουν στιγμιότυπα που μπορούν να είναι τιμές του γνωρίσματος **ΘεματικόΠεριεχόμενο**.

Για τα πρώτα δύο γνωρίσματα οι αντίστοιχες τιμές των νοηματικών πλαισίων τους ήταν $f_{rasc}(\text{Συντελεστές}) = 1$ (δηλαδή η ασάφεια του γνωρίσματος παίζει ρόλο στην ομοιότητα) και $f_{rasc}(\text{ΣχετικέςΕξωτερικέςΠηγές}) = 0$ (δηλαδή η ασάφεια του γνωρίσματος δεν παίζει ρόλο στην ομοιότητα). Για το γνώρισμα **ΘεματικόΠεριεχόμενο** (το οποίο έχει τη μορφή ασαφούς σχέσης) οι τιμές του νοηματικού πλαισίου ομοιότητας ασαφών οντολογικών σχέσεων φαίνονται στον πίνακα 5.3 (εξαιρούνται αυτές που είναι ίσες με -1). Σημειώνεται ότι η τιμή του πλαισίου για το ίδιο το γνώρισμα (που είναι κι αυτό μια σχέση) είναι ίση με 1, δηλαδή η ασάφεια του γνωρίσματος παίζει ρόλο στην ομοιότητα.

Πίνακας 5.3: Νοηματικό Πλαίσιο Ομοιότητας Οντολογικών Σχέσεων για τη Βιβλιοθήκη του ΔΕΣΜΗΕ

Παράμετρος	Τιμή
$f_{arsc}(\text{ΘεματικόΠεριεχόμενο})$	1
$f_{rhrsc}(\text{είναιΣημαντικόΜέροςΤηςΔιαδικασίας})$	1
$f_{rhrsc}(\text{είναιΣημαντικόΜέροςΤηςΕνέργειας})$	1
$f_{rhrsc}(\text{είναιΕίδοςΣυμμετέχοντα})$	1
$f_{rhrsc}(\text{είναιΕίδοςΔικαιώματος})$	1
$f_{rhrsc}(\text{είναιΕίδοςΠηγήςΠληροφορίας})$	1
$f_{rhrsc}(\text{είναιΣημαντικόΜέροςΤηςΠροδιαγραφής})$	1
$f_{arsc}(\text{ενδιαφέρεταιΓιαΤηΔιαδικασία})$	0
$f_{arsc}(\text{είναιΣημαντικήΓιαΤηΔιαδικασία})$	0
$f_{rarsc}(\text{είναιΣημαντικήΓιαΤηΔιαδικασία})$	-0.5
$f_{rarsc}(\text{εκτελείταιΑπόΤοΣυμμετέχοντα})$	-0.2
$f_{arsc}(\text{αφοράΤηΔιαδικασία})$	-0.5
$f_{frarsc}(\text{αφοράΤηΔιαδικασία})$	-0.7
$f_{arsc}(\text{αφοράΤοΣυμμετέχοντα})$	-0.5
$f_{frarsc}(\text{αφοράΤοΣυμμετέχοντα})$	-0.2
$f_{crsc}(\text{ενδιαφέρεταιΓιαΤηΔιαδικασία, είναιΣημαντικόΜέροςΤηςΔιαδικασίας})$	0

5.4.3 Ανάκτηση Περιπτώσεων

Η ασαφής οντολογία περιπτώσεων του ΔΕΣΜΗΕ και το αντίστοιχο πλαίσιο ανάκτησης που ορίστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους επέτρεψαν στο υποσύστημα ανάκτησης του CBR συστήματος να προσδιορίζει την ομοιότητα μεταξύ των τιμών των γνωρισμάτων των περιπτώσεων υλοποιώντας τις μεθόδους της παραγράφου 5.3. Ο

προσδιορισμός αυτός είναι γενικά πιο αποτελεσματικός από άλλες CBR προσεγγίσεις καθώς λαμβάνει υπόψη τόσο την ασάφεια όσο και την υποκειμενικότητα που χαρακτηρίζουν το πεδίο και το σενάριο εφαρμογής. Προκειμένου αυτή η αποτελεσματικότητα να γίνει σαφής, παρατίθενται ακολούθως συγκεκριμένα παραδείγματα υπολογισμού σημασιολογικής ομοιότητας γνωρισμάτων περιπτώσεων και συγκρίνονται τα αποτελέσματά τους με αυτά που θα προέκυπταν από τις υπόλοιπες CBR προσεγγίσεις.

Παραδείγματα Υπολογισμού Ομοιότητας Γνωρισμάτων με τη μορφή Ασαφών Ιδιοτήτων

Για τα γνωρίσματα με τη μορφή ασαφών ιδιοτήτων ισχύει η φόρμουλα 5.3. Αυτό σημαίνει ότι για ένα δεδομένο παράδειγμα όπου οι παράμετροι της φόρμουλας αυτής είναι οι ακόλουθες:

- Γνώρισμα: Συντελεστές
- Σύνολο Τιμών Ζητούμενης Περίπτωσης (*RCVS*): {Χριστόφορος Ζούμας}
- Σύνολο Τιμών Αποθηκευμένης Περίπτωσης (*SCVS*): {Χριστόφορος Ζούμας /0.6, Κωνσταντίνος Πετσίνης /0.1, Βασίλης Ζιώγας /0.9}
- Συνάρτηση συνάθροισης (Agg): $\frac{1}{|n|} \cdot \frac{1}{|m|} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m$

η ομοιότητα μεταξύ των δύο συνόλων τιμών είναι 0.6 (δεδομένου ότι $f_{pasc}(\text{Συντελεστές})$ είναι 1). Σε ένα κλασσικό CBR σύστημα όπου το σύνολο *SCVS* θα ήταν σαφές η ίδια ομοιότητα θα ήταν 1. Η διαφορά έγκειται στο ότι στην πρώτη περίπτωση ο ασαφής βαθμός συμμετοχής του συντελεστή Χριστόφορου Ζούμα λαμβάνεται υπόψη και προσαμρόζει κατάλληλα την ομοιότητα των δύο συνόλων.

Από την άλλη πλευρά, για ένα παρόμοιο παράδειγμα για το γνώρισμα **Σχετικές Εξωτερικές Πηγές** οι δύο τιμές ομοιότητας θα ήταν ίδιες αφού το γεγονός ότι $f_{pasc}(\text{Σχετικές Εξωτερικές Πηγές}) = 0$ σημαίνει ότι στο συγκεκριμένο σενάριο η ασάφεια του γνωρίσματος δε θεωρείται ότι επηρεάζει την ομοιότητα.

Τα δύο παραδείγματα αναδεικνύουν το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του πλαισίου IKARUS-CBR που είναι η δυνατότητα επιλεκτικής εκμετάλλευσης της ασάφειας για τον υπολογισμό της σημασιολογικής ομοιότητας. Η δυνατότητα αυτή είναι πολύ σημαντική καθώς καθιστά το πλαίσιο εύκολα προσαρμόσιμο σε πολλαπλά σενάρια εφαρμογής σε καθένα από τα οποία ο ίδιος τύπος ασάφειας διαδραματίζει διαφορετικό ρόλο σε ότι αφορά τη σημασιολογική ομοιότητα.

Παραδείγματα Υπολογισμού Ομοιότητας Γνωρισμάτων με τη μορφή Ασαφών Σχέσεων

Για τα γνωρίσματα με τη μορφή ασαφών σχέσεων το υποσύστημα ανάκτησης του συστήματος εφαρμόζει και πάλι τη φόρμουλα 5.3 αλλά αυτή τη φορά χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο της παραγράφου 5.3.3 για τη σύγκριση των στοιχείων των συνόλων (αφού αυτά είναι οντολογικά στιγμιότυπα). Προκειμένου να φανεί πώς ακριβώς γίνεται αυτή η σύγκριση ας θεωρηθεί ως παράδειγμα το κομμάτι της οντολογίας αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας του πίνακα 5.4 ο οποίος απεικονίζει στιγμιότυπα της ιεραρχικής σχέσης *είναιΣημαντικόΜέροςΤηςΔιαδικασίας* και της συσχετιστικής σχέσης *ενδιαφέρεταιΓιαΤηΔιαδικασία*. Για το κομμάτι αυτό και με βάση το νοηματικό πλαίσιο του πίνακα 5.3, ο πίνακας 5.5 δείχνει τις ομοιότητες που προκύπτουν για τρία διαφορετικά παραδείγματα σύγκρισης που αφορούν το γνώρισμα **ΘεματικόΠεριεχόμενο**. Σημείωνεται ότι για τον υπολογισμό χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση συνάθροισης του παραδείγματος της προηγούμενης παραγράφου καθώς και η νόρμα γινομένου ως νόρμα τομής για τον αλγόριθμο της παραγράφου 5.3.3.

Πίνακας 5.4: Στιγμιότυπα Σχέσεων Οντολογίας Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

Ασαφής Σχέση	Βαθμός
<i>είναιΣημαντικόΜέροςΤηςΔιαδικασίας</i> (Έκδοση Εντολών Κατανομής, Διαδικασία Κατανομής)	0.5
<i>είναιΣημαντικόΜέροςΤηςΔιαδικασίας</i> (Αποστολή Εντολών Κατανομής, Διαδικασία Κατανομής)	0.5
<i>ενδιαφέρεταιΓιαΤηΔιαδικασία</i> (Παραγωγός Κατανεμόμενης Μονάδας, Έκδοση Εντολών Κατανομής)	0.9

Πίνακας 5.5: Τιμές Ομοιότητας για το Γνώρισμα του Θεματικού Περιεχομένου

Σύνολο Τιμών Ζητούμενης Περίπτωσης (RCVS)	Σύνολο Τιμών Αποθηκευμένης Περίπτωσης (SCVS)	Ομοιότητα
Διαδικασία Κατανομής	/1.0	1.0
Έκδοση Εντολών Κατανομής	Διαδικασία Κατανομής/1.0	0.0
Παραγωγός Κατανεμόμενης Μονάδας	Διαδικασία Κατανομής/1.0	0.45

Η πρώτη σειρά του πίνακα 5.5 υποδηλώνει ότι η ομοιότητα μεταξύ μιας ζητούμενης περίπτωσης η οποία πρέπει να έχει ως θεματικό περιεχόμενο τη διαδικασία **Διαδικασία Κατανομής** και μιας αποθηκευμένης περίπτωσης η οποία αφορά τη διαδικασία **Έκδοση Εντολών Κατανομής**. Αυτό συμβαίνει γιατί το νοηματικό πλαίσιο *frarsc(είναιΣημαντικόΜέροςΤηςΔιαδικασίας)* είναι ίσο με 1 γεγονός που δείχνει ότι για όλες τις ζητούμενες περιπτώσεις που χαρακτηρίζονται από μια διαδικασία το

σύστημα θα πρέπει να θεωρεί ως ταυτόσημες τις αποθηκευμένες περιπτώσεις που χαρακτηρίζονται από κάποια υπο-διαδικασία. Από την άλλη πλευρά, όπως φαίνεται στη δεύτερη σειρά του πίνακα, το αντίθετο δεν ισχύει, δηλαδή οι αποθηκευμένες περιπτώσεις που χαρακτηρίζονται από ιεραρχικά υψηλότερες διαδικασίες δεν πρέπει να επιστρέφονται ως σχετικές.

Τέλος, η τρίτη σειρά δείχνει τη χρήση μιας σύνθετης σχέσης για τον υπολογισμό της ομοιότητας καθώς το θεματικό περιεχόμενο της ζητούμενης περίπτωσης αναφέρεται σε κάποιον συμμετέχοντα και το σύστημα επιστρέφει ως (μερικώς) σχετικές περιπτώσεις που χαρακτηρίζονται από όλες τις διαδικασίες (και τις ιεραρχικά υψηλότερες από αυτές) στις οποίες ο συμμετέχων παίζει κάποιο ρόλο. Αυτού του είδους η συμπεριφορά καθορίζεται από το νοηματικό πλαίσιο του πίνακα 5.3.

Από τα παραπάνω παραδείγματα φαίνεται ξεκάθαρα ότι οι ομοιότητες που προκύπτουν από το μηχανισμό του πλαισίου IKARUS-CBR είναι διασθητικά πιο ακριβείς από αυτές που θα προέκυπταν από άλλες CBR προσεγγίσεις που βασίζονται σε οντολογίες. Ο κύριος λόγος γι' αυτό είναι ότι στις προσεγγίσεις αυτές ο υπολογισμός της ομοιότητας βασίζεται αποκλειστικά στις ιεραρχικές σχέσεις της οντολογίας και στη σχετική θέση των εννοιών και των στιγμιοτύπων μέσα σε αυτή ενώ το πλαίσιο IKARUS-CBR κάνει επιπρόσθετα τα εξής:

1. Περιλαμβάνει στον υπολογισμό τις συσχετιστικές σχέσεις της οντολογίας καθώς και τις πιθανές συνθέσεις αυτών. Με αυτό τον τρόπο εκμεταλλεύεται πολύ μεγαλύτερο μέρος της διαθέσιμης γνώσης.
2. Περιλαμβάνει στον υπολογισμό τους ασαφείς βαθμούς των σχέσεων όπου και στο βαθμό τον οποίο αυτοί θεωρούνται ότι επηρεάζουν την ομοιότητα. Για τις ιεραρχικές σχέσεις αυτό σημαίνει ότι οι σημασιολογικές αποστάσεις μεταξύ των διαφόρων στοιχείων της ιεραρχίας μπορούν να υπολογιστούν με μεγαλύτερη ακρίβεια ενώ για τις συσχετιστικές σχέσεις ότι λαμβάνεται υπόψη η σχετική ισχύς τους.

5.5 Αξιολόγηση Πλαισίου

Ενώ η προηγούμενη ενότητα περιγράφει την ποιοτική αξιολόγηση του πλαισίου IKARUS-CBR, η ενότητα αυτή περιγράφει την ποσοτική και συγκριτική ανάλυση της απόδοσης της προσέγγισης του πλαισίου σε συνθήκες πραγματικής εφαρμογής. Βάσει της ανάλυσης αυτής αποτελεί το σύστημα ηλεκτρονικής βιβλιοθήκης που περιγράφηκε στην ενότητα 5.4 και μέσω του οποίου αξιολογείται η αποδοτικότητα της ανάκτησης γνώσης που προσφέρει το πλαίσιο. Στις παραγράφους που ακολουθούν

περιγράφεται η διαδικασία διεξαγωγής της αξιολόγησης καθώς και τα αποτελέσματα αυτής.

5.5.1 Μεθοδολογία Αξιολόγησης

Δεδομένου του συστήματος της ενότητας 5.4, το πρώτο βήμα για την αξιολόγηση του πλαισίου ήταν ο ορισμός μιας "πάγιας αλήθειας" (ground truth) βάσει της οποίας θα γινόταν η μέτρηση της απόδοσης της ανάκτησης του συστήματος. Η αλήθεια αυτή περιελάμβανε γενικά ένα σύνολο από προκαθορισμένα ερωτήματα ανάκτησης καθώς και τα αντίστοιχα σύνολα από τις "ιδεατές" απαντήσεις του συστήματος για κάθε ερώτηση. Στη διαδικασία ορισμού της αλήθειας αυτής εμπλέκονται δύο διακριτά και εξίσου σημαντικά βήματα:

1. Από τη στιγμή που για την αξιολόγηση χρησιμοποιείται ένα πραγματικό σύστημα, η βάση των περιπτώσεων του είναι αρκετά ευρεία. Προκειμένου τα πειραματικά αποτελέσματα να είναι αντιπροσωπευτικά, τα δοκιμαστικά ερωτήματα επιλέχθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτουν την πλειονότητα των θεμάτων και του περιεχομένου που υπάρχει στη βάση. Ταυτόχρονα, επιλέχθηκαν λαμβάνοντας υπόψη ότι κάθε μία από αυτά θα πρέπει να απαντώνται από έναν επαρκή αριθμό περιπτώσεων προκειμένου η αξιολόγηση να έχει νόημα.
2. Αφότου ορίστηκαν τα δοκιμαστικά ερωτήματα, το "ιδεατό" σύνολο των απαντήσεων (λίστες από περιπτώσεις) έπρεπε να αντιστοιχιστεί με συγκεκριμένους βαθμούς σχετικότητας ή να ταξινομηθεί με ισοδύναμο τρόπο.

Κατόπιν, τα ερωτήματα τέθηκαν στο σύστημα και καταγράφηκαν οι αντίστοιχες απαντήσεις οι οποίες και συγκρίθηκαν με τις ιδεατές. Η σύγκριση αυτή έγινε με βάση τα ακόλουθα κριτήρια και μέτρα:

- **Ακρίβεια r :** Η ακρίβεια ορίζεται ως ο αριθμός των ανακτημένων σχετικών αντικειμένων δια του συνολικού αριθμού των ανακτημένων αντικειμένων.
- **Ανάκληση r :** Η ακρίβεια ορίζεται ως ο αριθμός των ανακτημένων σχετικών αντικειμένων δια του συνολικού αριθμού των σχετικών αντικειμένων.
- **Αποτελεσματικότητα e :** Η αποτελεσματικότητα είναι ένα μέγεθος που έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να δείχνει την απόδοση του συστήματος με τη μορφή ενός και μόνο αριθμού. Η φόρμουλα υπολογισμού του αριθμού αυτού είναι η ακόλουθη:

$$e = \frac{1}{(1/2p) + (1/2r)} \quad (5.5)$$

Προκειμένου να αξιολογηθεί η απόδοση της προσέγγισης του πλαισίου IKARUS-CBR σε σχέση με τις υπάρχουσες προσεγγίσεις, εκτελέστηκε ένα δεύτερο σύνολο πειραμάτων με μια τροποποιημένη εκδοχή του συστήματος της ενότητας 5.4. Στην εκδοχή αυτή είχαν αφαιρεθεί όλοι οι ασαφείς βαθμοί από την οντολογία και δεν ελήφθη υπόψη το νοηματικό πλαίσιο ανάκτησης και ο αλγόριθμος της ενότητας 5.3.3. Αντίθετα χρησιμοποιήθηκαν συμβατικά μέτρα ομοιότητας οντολογικών εννοιών από το [8].

5.5.2 Αποτελέσματα Αξιολόγησης

Χρησιμοποιώντας τη διαδικασία της προηγούμενης παραγράφου, η "πάγια αλήθεια" αποτελείτο τελικά από 25 ζευγάρια ερωταπαντήσεων. Όλα τα ερωτήματα τέθηκαν και στις δύο εκδόσεις του συστήματος και μετρήθηκε η αποτελεσματικότητα του καθενός. Επιλεγμένα αποτελέσματα της αξιολόγησης φαίνονται στους πίνακες 5.6, 5.7 και 5.8 ενώ τα συνολικά αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 5.9. Όπως εύκολα φαίνεται σε όλα τα ερωτήματα η προσέγγιση του πλαισίου είναι πιο αποτελεσματική από εκείνη που δε λαμβάνει υπόψη ούτε την ασάφεια του πεδίου αλλά ούτε και το νοηματικό πλαίσιο της εφαρμογής. Διαισθητικά αυτό συμβαίνει για τους εξής λόγους:

- Στο ερώτημα 1 ο χρήστης επιθυμεί να ανακτήσει περιπτώσεις το θεματικό περιεχόμενο των οποίων αφορά τη διαδικασία *Διαδικασία Κατανομής*. Για το σκοπό αυτό η προσέγγιση του πλαισίου IKARUS-CBR χρησιμοποιεί την ασαφή σχέση *είναιΣημαντικόΜέροςΤηςΔιαδικασίας* σε συνδυασμό με το αντίστοιχο νοηματικό πλαίσιο του πίνακα 5.3. Η συμβατική προσέγγιση από την άλλη πλευρά χειρίζεται τη σχέση ως μη ασαφή και υπολογίζει την ομοιότητα με βάση τη σημασιολογική απόσταση μεταξύ των στιγμιοτύπων στην ταξονομία των διαδικασιών. Για το λόγο αυτό η συμβατική προσέγγιση ανακτά περισσότερα αποτελέσματα από την προσέγγιση του πλαισίου αλλά λιγότερα από αυτά είναι πράγματι σχετικά.

Πίνακας 5.6: Δοκιμαστική Ερώτηση 1: Διαδικασία Κατανομής (10 σχετικά έγγραφα στην πάγια αλήθεια)

Προσέγγιση	Ανακτώμενα	Σχετικά	p	r	e
Συμβατική	14	8	57%	80%	67%
Προτεινόμενη	12	9	75%	90%	82%

Πίνακας 5.7: Δοκιμαστική Ερώτηση 2: Αποσύνδεση Ζήτησης Συχνότητας (15 σχετικά έγγραφα στην πάγια αλήθεια)

Προσέγγιση	Ανακτώμενα	Σχετικά	p	r	e
Συμβατική	13	7	54%	47%	50%
Προτεινόμενη	18	13	72%	87%	79%

Πίνακας 5.8: Δοκιμαστική Ερώτηση 3: Παραγωγός Μονάδας Ψυχρής Εφεδρείας (35 σχετικά έγγραφα στην πάγια αλήθεια)

Προσέγγιση	Ανακτώμενα	Σχετικά	p	r	e
Συμβατική	12	10	83%	29%	43%
Προτεινόμενη	38	28	74%	80%	77%

- Στο ερώτημα 2 ο χρήστης επιθυμεί να ανακτήσει περιπτώσεις το θεματικό περιεχόμενο των οποίων αφορά τη δράση Αποσύνδεση Ζήτησης Συχνότητας. Για το σκοπό αυτό η προσέγγιση του πλαισίου χρησιμοποιεί τις ασαφείς σχέσεις είναι Σημαντικό Μέρος Της Ένέργειας και είναι Σημαντική Για σε συνδυασμό με τα αντίστοιχα νοηματικά πλαίσια του πίνακα 5.3. Η συμβατική προσέγγιση από την άλλη πλευρά χειρίζεται την πρώτη σχέση ως μη ασαφή και αγνοεί εντελώς τη δεύτερη σχέση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η συμβατική προσέγγιση να ανακτά λιγότερα αποτελέσματα με ακόμα λιγότερα από αυτά να είναι πράγματι σχετικά με το ερώτημα.
- Στο ερώτημα 3 ο χρήστης επιθυμεί να ανακτήσει περιπτώσεις το θεματικό περιεχόμενο των οποίων αφορά το συμμετέχοντα Παραγωγός Μονάδας Ψυχρής Εφεδρείας. Για το σκοπό αυτό η προσέγγιση του πλαισίου χρησιμοποιεί πολλές σχέσεις (είναι Είδος Συμμετέχοντα, ενδιαφέρεται Για Τη Διαδικασία, εκτελείται Από Το Συμμετέχοντα, αφορά Τη Διαδικασία) καθώς και τη σύνθεση των σχέσεων ενδιαφέρεται Για Τη Διαδικασία και είναι Σημαντικό Μέρος Της Διαδικασίας. Η συμβατική προσέγγιση από την άλλη πλευρά χρησιμοποιεί μόνο τη σχέση είναι Είδος Συμμετέχοντα με αποτέλεσμα να ανακτά σημαντικά λιγότερα αποτελέσματα από την προσέγγιση του πλαισίου.

Σε ό,τι αφορά τα συνολικά αποτελέσματα είναι φανερό ότι η προτεινόμενη προσέγγιση υπερέχει σημαντικά της συμβατικής στο συγκεκριμένο πείραμα. Επιπλέον, καθώς οι αιτίες αυτής της υπεροχής έχουν τεκμηριωθεί πλήρως στην παραπάνω πε-

Πίνακας 5.9: Συνολικά Αποτελέσματα Αξιολόγησης IKARUS-CBR

Προσέγγιση	\bar{p}	\bar{r}	\bar{e}
Συμβατική	61%	51%	52%
Προτεινόμενη	77%	71%	73%

ριγραφή, αναμένεται ότι η προτεινόμενη προσέγγιση θα έχει παρόμοια οφέλη και σε άλλα πεδία εφαρμογής.

Πλατφόρμα Διαχείρισης Ασαφούς Γνώσης IKARUS-Platform

Computers are useless. They can only give you answers.

—Pablo Picasso

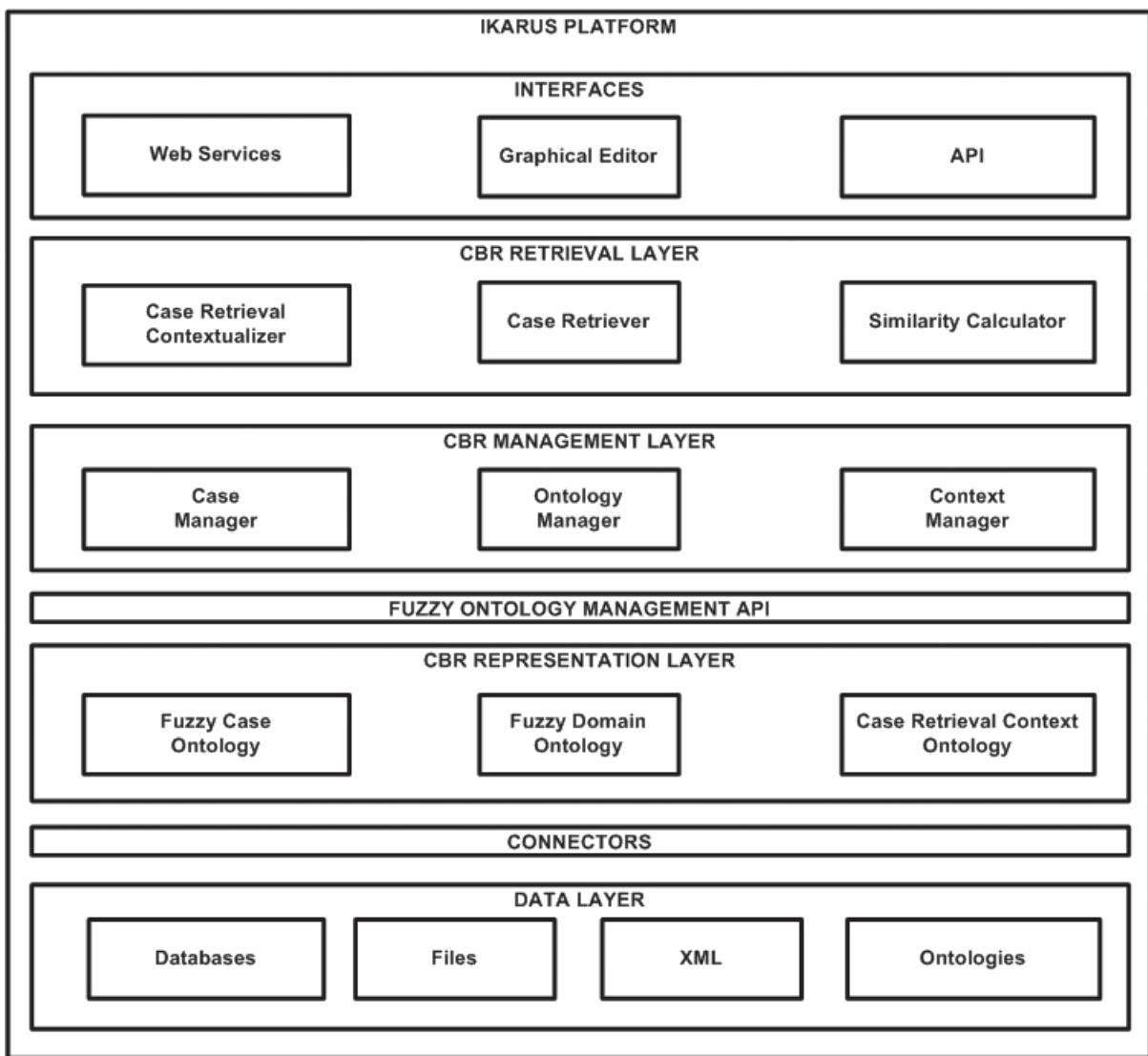
Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η πλατφόρμα διαχείρισης ασαφούς γνώσης IKARUS-Platform, ένα σύστημα λογισμικού το οποίο υλοποιεί τη μεθοδολογία IKARUS-Onto και το πλαίσιο IKARUS-CBR σε επίπεδο συστήματος, επιτρέποντας έτσι τη μοντελοποίηση και εκμετάλλευση ασαφούς γνώσης σε πρακτικά σενάρια εφαρμογής. Μαζί με την πλατφόρμα προδιαγράφεται και μια γενική μεθοδολογία χρήσης αυτής η οποία ορίζει τα βήματα που απαιτούνται για τη σχεδίαση και τη χρήση μιας τυπικής εφαρμογής διαχείρισης ασαφούς γνώσης.

Έτσι, η δομή του κεφαλαίου έχει ως εξής: Στις ενότητες 6.1 - 6.4 περιγράφεται η λειτουργική αρχιτεκτονική της πλατφόρμας και αναλύονται τα επιμέρους επίπεδα αυτής ενώ στην ενότητα 6.5 περιγράφεται η γενική μεθοδολογία χρήσης της πλατφόρμας.

6.1 Λειτουργική Αρχιτεκτονική

Η πλατφόρμα IKARUS έχει υλοποιηθεί με βάση μια πολυεπίπεδη λειτουργική αρχιτεκτονική η οποία και απεικονίζεται στο σχήμα 6.1. Καθένα από τα επίπεδα του σχήματος αναλύεται ως ακολούθως:

- **Επίπεδο Δεδομένων:** Το επίπεδο δεδομένων είναι υπεύθυνο για την αποθήκευση και την χαμηλού επιπέδου διαχείριση του περιεχομένου της πλατφόρμας, δηλαδή των περιπτώσεων και της γνώσης πεδίου. Το περιεχόμενο αυτό μπορεί να έχει τη μορφή αρχείων, βάσεων δεδομένων, XML σχημάτων ή/και



Σχήμα 6.1: Λειτουργική Αρχιτεκτονική Πλατφόρμας IKARUS

οντολογιών. Για κάθε τύπο περιεχομένου, κατάλληλοι connectors χρησιμοποιούνται για την πρόσβαση στο περιεχόμενο από τα ανώτερα επίπεδα.

- **Επίπεδο Αναπαράστασης Γνώσης:** Το επίπεδο αναπαράστασης γνώσης αποτελείται από τρία οντολογικά σχήματα μέσω των οποίων αναπαρίσταται και επεξεργάζεται το περιεχόμενο της πλατφόρμας με ενιαίο τρόπο. Τα πρώτα δύο σχήματα, το Σχήμα Ασαφούς Οντολογίας και η Οντολογία Ασαφών Περιπτώσεων, επιτρέπουν την αναπαράσταση ασαφών οντολογιών πεδίου και ασαφών περιπτώσεων με βάση το φορμαλισμό της ενότητας 5.2. Το τρίτο σχήμα χρησιμεύει για την αναπαράσταση του νοηματικού πλαισίου ανάκτησης περιπτώσεων όπως αυτό ορίστηκε στην ενότητα 5.3. Όλα τα σχήματα είναι εκφρασμένα στη γλώσσα OWL.

- **Επίπεδο Διαχείρισης Γνώσης:** Το επίπεδο διαχείρισης γνώσης παρέχει την απαραίτητη λειτουργικότητα για την ολοκληρωμένη διαχείριση των οντολογικών μοντέλων του παραπάνω επιπέδου. Ειδικότερα, τα υποσυστήματα Ontology Manager, Case Manager και Context Manager επιτρέπουν τον ορισμό νέων (και τη διαχείριση υπαρχόντων) ασαφών οντολογιών πεδίου, ασαφών σχημάτων περιπτώσεων και νοηματικών πλαισίων ανάκτησης περιπτώσεων αντίστοιχα.
- **Επίπεδο Ανάκτησης Γνώσης:** Το επιπεδο ανάκτησης παρέχει την απαραίτητη λειτουργικότητα για την ανάκτηση περιπτώσεων από τη αντίστοιχη βάση της πλατφόρμας. Ειδικότερα, το υποσύστημα Similarity Calculator ορίζει τα μέτρα ομοιότητας που χρησιμοποιούνται κατά την ανάκτηση ενώ το υποσύστημα Case Retrieval Contextualizer είναι υπεύθυνο για την προσαρμογή των μέτρων αυτών με βάση τις παραμέτρους του πλαισίου ανάκτησης. Τέλος, το υποσύστημα Case Retriever παρέχει σε υψηλό επίπεδο λειτουργικότητα ανάκτησης περιπτώσεων που περιλαμβάνει μεταξύ άλλων τη δόμηση ερωτήσεων, την εκτέλεση της ανάκτησης και τη διαχείριση των αποτελεσμάτων.
- **Επίπεδο Αλληλεπίδρασης:** Το επίπεδο αλληλεπίδρασης παρέχει πρόσθαση στη λειτουργικότητα των δύο προηγούμενων επιπέδων (διαχείρισης και ανάκτησης γνώσης) μέσω ενός περιεκτικού και καλά τεκμηριωμένου API, μέσω web services και μέσω μιας διαδικτυακής γραφικής διεπαφής χρήστη. Η τελευταία είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για τις εργασίες της μοντελοποίησης γνώσης ενώ το API και οι web services επιτρέπουν την ενσωμάτωση και τη διαλειτουργικότητα της πλατφόρμας με εξωτερικά συστήματα.

6.2 Επίπεδο Αναπαράστασης Γνώσης

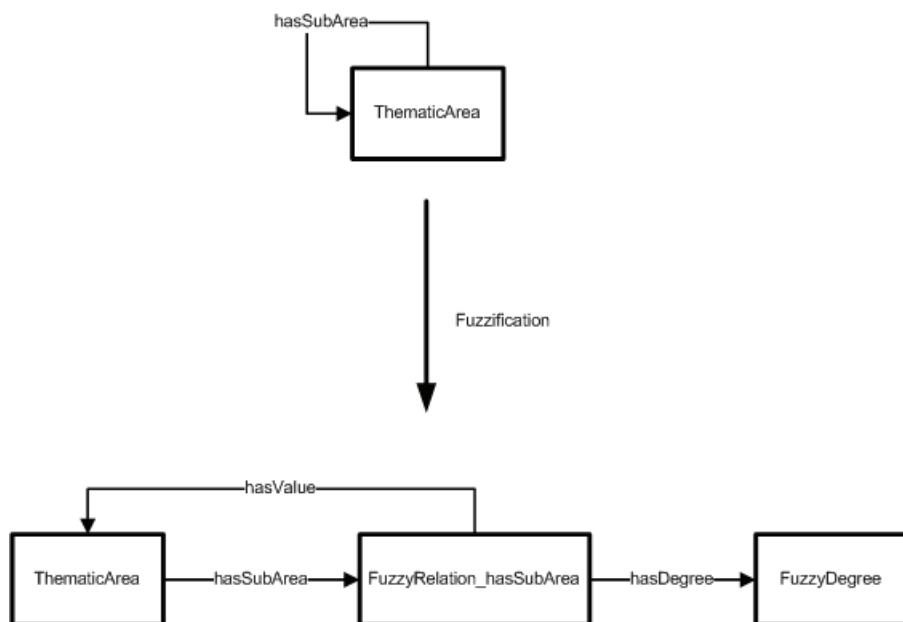
6.2.1 Αναπαράσταση ασαφών βαθμών σε OWL

Στις γλώσσες RDF(S) και η OWL, οι δυαδικές σχέσεις μεταξύ δύο στιγμιοτύπων αναπαρίστανται ως ιδιότητες αντικειμένων (object properties). Ένα βασικό χαρακτηριστικό των ιδιοτήτων αυτών είναι η χρήση του πεδίου ορισμού (*domain*) και του πεδίου τιμών (*range*), τα οποία αμφότερα συμβάλλουν στη σωστή περιγραφή μιας σχέσης. Ένα σημαντικό πρόβλημα όμως είναι ότι μία ιδιότητα αντικειμένου δεν μπορεί να χαρακτηριστεί από άλλες, δικές της ιδιότητες, όπως είναι για παράδειγμα η ισχύς ή η σχετικότητα μίας σχέσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι ασαφείς βαθμοί των σχέσεων σε μια ασαφή οντολογία να μην μπορούν να αναπαρασταθούν άμεσα

στις γλώσσες αυτές.

Για την αντιμετώπιση και τον περιορισμό του παραπάνω προβλήματος εφαρμόζουμε ένα σχεδιαστικό πρότυπο που χρησιμεύει στην επανασχεδίαση των σχέσεων μίας οντολογίας (<http://www.w3.org/TR/swbp-n-aryRelations/#pattern1>). Η βασική ιδέα αυτού του προτύπου είναι ότι όταν μία ιδιότητα αντικειμένου χρειαστεί να έχει τις δικές της ιδιότητες τότε αυτή αναπαρίσταται ως κλάση. Αυτό έχει σαν συνέπεια, τα στιγμιότυπα της ιδιότητας να είναι και στιγμιότυπα της κλάσης.

Για παράδειγμα, έστω ότι υπάρχει η σχέση του σχήματος 6.2, όπου χρειάζεται να αναπαρασταθεί η ασαφής σχέση "ThematicArea hasSubArea ThematicArea". Αν αυτή η σχέση δε συνοδεύοταν από κάποιον ασαφή βαθμό τότε θα είχε οριστεί μία απλή ιδιότητα αντικειμένου "hasSubArea" έχοντας ως πεδίο ορισμού και πεδίο τιμών την κλάση "ThematicArea". Δεδομένου όμως του βαθμού αυτού αυτό που μπορεί να γίνει είναι να δημιουργηθεί μια νέα, διαφορετική κλάση με το όνομα π.χ. "FuzzyRelation_hasSubArea", η οποία στη συνέχεια θα συσχετίστει με την κλάση "ThematicArea". Στο σχήμα 6.2 αναπαρίσταται η δημιουργία της νέας κλάσης και η συσχέτιση της με την ήδη υπάρχουσα.



Σχήμα 6.2: Αναπαράσταση Ασαφούς Σχέσης σε OWL

Έτσι για παράδειγμα η ασαφής σχέση "Technology has as sub area Communications Technology at a degree of 0.7" θα αναπαρίσταται βάσει του ακόλουθου κώδικα OWL:

```
<?xml version="1.0"?>
```

```
<rdf:RDF
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns="http://www.owl-ontologies.com/FuzzyOntology.owl#"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
  xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
  xml:base="http://www.owl-ontologies.com/FuzzyOntology.owl">
  <owl:Ontology rdf:about="" />
  <owl:Class rdf:ID="FuzzyRelation_hasSubArea" />
  <owl:Class rdf:ID="ThematicArea" />
  <owl:ObjectProperty rdf:ID="hasValue">
    <rdfs:range rdf:resource="#ThematicArea" />
    <rdfs:domain rdf:resource="#FuzzyRelation_hasSubArea" />
  </owl:ObjectProperty>
  <owl:ObjectProperty rdf:ID="hasSubArea">
    <rdfs:domain rdf:resource="#ThematicArea" />
    <rdfs:range rdf:resource="#FuzzyRelation_hasSubArea" />
  </owl:ObjectProperty>
  <owl:DatatypeProperty rdf:ID="fuzzy_degree">
    <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float" />
    <rdfs:domain rdf:resource="#FuzzyRelation_hasSubArea" />
  </owl:DatatypeProperty>
  <ThematicArea rdf:ID="Technology" >
    <hasSubArea>
      <FuzzyRelation_hasSubArea rdf:ID="FuzzyRelation_hasSubArea_Tech_CommTech">
        <hasValue>
          <ThematicArea rdf:ID="CommunicationsTechnology" />
        </hasValue>
        <fuzzy_degree rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float" >
          0.7
        </fuzzy_degree>
      </FuzzyRelation_hasSubArea>
    </hasSubArea>
  </ThematicArea>
</rdf:RDF>
```

6.2.2 Οντολογικά Σχήματα

Με βάση το σχεδιαστικό πρότυπο της προηγούμενης παραγράφου, το επιπέδο αναπαράστασης γνώσης ορίζει σε γλώσσα OWL τρία οντολογικά σχήματα μέσω των οποίων αναπαρίσταται και κωδικοποιείται το περιεχόμενο της πλατφόρμας:

- Το Σχήμα Ασαφούς Οντολογίας (Fuzzy Ontology) το οποίο επιτρέπει την κωδικοποίηση ασαφών οντολογικών στοιχείων.
- Την Οντολογία Ασαφών Περιπτώσεων (Case Ontology) η οποία επιτρέπει την κωδικοποίηση ασαφών σχημάτων περιπτώσεων.
- Την Οντολογία Νοηματικού Πλαισίου Ανάκτησης Περιπτώσεων (Case Retrieval Context Ontology) το οποίο κωδικοποιεί το νοηματικό πλαίσιο ανάκτησης περιπτώσεων.

Αναλυτικότερα, το Σχήμα Ασαφούς Οντολογίας αποτελείται από τα εξής στοιχεία:

- Έννοιες:
 - FuzzySet: Αναπαριστά ένα ασαφές σύνολο.
 - AdHocFuzzySet \subseteq FuzzySet: Αναπαριστά ένα ασαφές σύνολο με αυθαίρετη συνάρτηση συμμετοχής.
 - FuzzyNumber \subseteq FuzzySet: Αναπαριστά έναν ασαφή αριθμό.
 - FuzzyTriangularNumber \subseteq FuzzySet: Αναπαριστά έναν ασαφή αριθμό με τριγωνική συνάρτηση συμμετοχής.
 - FuzzyTrapezoidalNumber \subseteq FuzzySet: Αναπαριστά έναν ασαφή αριθμό με τραπεζοειδή συνάρτηση συμμετοχής.
 - FuzzySetElement: Αναπαριστά ένα μεμονωμένο στοιχείο ενός ασαφούς συνόλου.
 - FuzzyInstanceSetElement \subseteq FuzzySetElement: Αναπαριστά ένα μεμονωμένο στοιχείο ενός ασαφούς συνόλου το οποίο είναι οντολογικό στιγμιότυπο.
 - FuzzyLiteralSetElement \subseteq FuzzySetElement: Αναπαριστά ένα μεμονωμένο στοιχείο ενός ασαφούς συνόλου το οποίο είναι τιμή (literal values).
 - FuzzyRelation: Αναπαριστά μια ασαφή οντολογική σχέση.
 - FuzzyHierarchicalRelation \subseteq FuzzyRelation: Αναπαριστά μια ασαφή ιεραρχική οντολογική σχέση.

- FuzzyAssociativeRelation \subseteq FuzzyRelation: Αναπαριστά μια ασαφή συσχετιστική οντολογική σχέση.
 - FuzzyProperty: Αναπαριστά μια ασαφή οντολογική ιδιότητα.
 - FuzzyValuedProperty: Αναπαριστά μια ασαφώς αποτιμώμενη οντολογική ιδιότητα.
 - FuzzyLinguisticVariable: Αναπαριστά μια ασαφή γλωσσική μεταβλητή.
 - FuzzyLinguisticTerm: Αναπαριστά έναν ασαφή γλωσσικό όρο.
- Σχέσεις:
- *hasFuzzySetElement(AdHocFuzzySet, FuzzySetElement)*: Συνδέει ένα αυθαίρετο ασαφές σύνολο με τα στοιχεία που περιέχει.
 - *hasFuzzyInstanceSetValue(FuzzyInstanceSetElement, Thing)*: Συνδέει ένα FuzzyInstanceSetμε ένα οντολογικό στιγμιότυπο.
 - *hasFuzzyRelationValue(FuzzyRelationElement, Thing)*: Συνδέει το στιγμιότυπο μιας ασαφούς οντολογικής σχέσης με το στιγμιότυπο που αποτελεί την τιμή της.
 - *hasFuzzyLinguisticVariable(FuzzyValuedProperty, FuzzyLinguisticVariable)*: Συνδέει μια ασαφώς αποτιμώμενη οντολογική ιδιότητα με τη γλωσσική μεταβλητή στην οποία αντιστοιχεί.
 - *hasTermValue(FuzzyValuedProperty, FuzzyLinguisticTerm)*: Συνδέει μια ασαφώς αποτιμώμενη οντολογική ιδιότητα με το γλωσσικό όρο που αποτελεί την τιμή της.
 - *hasFuzzyLinguisticTerm(FuzzyLinguisticVariable, FuzzyLinguisticTerm)*: Συνδέει μια γλωσσική μεταβλητή με τους γλωσσικούς όρους τους οποίους περιέχει.
 - *hasTermMeaning(FuzzyLinguisticTerm, FuzzySet)*: Συνδέει ένα γλωσσικό όρο με το ασαφές σύνολο που αποτελεί το νόημά του.
- Ιδιότητες:
- *fuzzyDegree(FuzzyProperty \cup FuzzyRelation \cup FuzzySetElement, float)*: Αναπαριστά τους ασαφείς βαθμούς των στιγμιότυπων των ασαφών οντολογικών στοιχείων (FuzzyProperty, FuzzyRelation, FuzzySetElement).
 - *fuzzyPropertyValue(FuzzyProperty, String)*: Αναπαριστά την τιμή μιας ασαφούς οντολογικής ιδιότητας.

- `fuzzyLiteralSetValue(FuzzyLiteralSet, String)`: Αναπαριστά την τιμή ενός FuzzyLiteralSet

Η Οντολογία Ασαφών Περιπτώσεων βασίζεται στο Σχήμα Ασαφούς Οντολογίας και επαναχρησιμοποιεί πολλά από τα στοιχεία για να ορίσει τύπους περιπτώσεων και γνωρίσματα. Πρακτικά ο ορισμός ενός νέου τύπου περιπτώσεων γίνεται ορίζοντας τον ως υποκλάση της έννοιας Case.

Τέλος, η Οντολογία Νοηματικού Πλαισίου Ανάκτησης Περιπτώσεων αποτελείται από τα εξής στοιχεία:

- Έννοιες

- `CaseRetrievalContext`: Αναπαριστά ένα πλαίσιο ανάκτησης περιπτώσεων.
- `CaseAttributeSimilarityContext`: Αναπαριστά ένα πλαίσιο ομοιότητας γνωρίσματος.
- `OntologySimilarityContext`: Αναπαριστά ένα πλαίσιο οντολογικής ομοιότητας.
- `FuzzyAssociativeRelationContext`: Αναπαριστά ένα πλαίσιο ομοιότητας ασαφούς συσχετιστικής σχέσης.
- `FuzzyHierarchicalRelationContext`: Αναπαριστά ένα πλαίσιο ομοιότητας ασαφούς ιεραρχικής σχέσης.
- `FuzzyCompositeRelationContext`: Αναπαριστά ένα πλαίσιο ομοιότητας ασαφούς σύνθετης σχέσης.
- `ComponentRelation`: Αναπαριστά μια οντολογική σχέση που αποτελεί συνιστώσα μιας σύνθετης σχέσης.

- Σχέσεις

- `hasAttributeSimilarityContext(CaseRetrievalContext, CaseAttributeSimilarityContext)`: Συνδέει ένα πλαίσιο ανάκτησης με τα πλαίσια ομοιότητας γνωρίσματος που περιέχει.
- `hasOntologySimilarityContext(CaseRetrievalContext, OntologySimilarityContext)`: Συνδέει ένα πλαίσιο ανάκτησης με το πλαίσιο ομοιότητας οντολογίας που περιέχει.
- `hasComponentRelation(FuzzyCompositeRelationContext, ComponentRelation)`: Συνδέει ένα πλαίσιο ομοιότητας σύνθετης σχέσης με τις συντιθέμενες σχέσεις που περιέχει.

- *containsAssociativeRelationContext(OntologySimilarityContext, FuzzyAssociativeRelationContext)*: Συνδέει ένα πλαίσιο ομοιότητας οντολογίας με τα πλαίσια ομοιότητας συσχετιστικής σχέσης που περιέχει.
- *containsHierarchicalRelationContext(OntologySimilarityContext, FuzzyHierarchicalRelationContext)*: Συνδέει ένα πλαίσιο ομοιότητας οντολογίας με τα πλαίσια ομοιότητας ιεραρχικής σχέσης που περιέχει.
- *containsCompositeRelationContext(OntologySimilarityContext, FuzzyCompositeRelationContext)*: Συνδέει ένα πλαίσιο ομοιότητας οντολογίας με τα πλαίσια ομοιότητας σύνθετης σχέσης που περιέχει.

- Ιδιότητες

- *attributeSimilarityAggregationFunction(CaseRetrievalContext, int)*: Η συνάρτηση συνάθροισης επιμέρους ομοιοτήτων ενός πλαισίου ανάκτησης.
- *caseType(CaseRetrievalContext, String)*: Ο τύπος περιπτώσεων στον οποίο αντιστοιχεί ένα πλαίσιο ανάκτησης.
- *attributeUri(CaseAttributeSimilarityContext, String)*: Το uri του γνωρίσματος στο οποίο αντιστοιχεί ένα πλαίσιο ομοιότητας γνωρίσματος.
- *attributeWeight(CaseAttributeSimilarityContext, float)*: Το βάρος του γνωρίσματος σε ένα πλαίσιο ομοιότητας γνωρίσματος.
- *attributeFuzziness(CaseAttributeSimilarityContext, int)*: Καθορίζει το αν η ασάφεια του γνώρισματος πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την ανάκτηση.
- *attributeQueryMode(CaseAttributeSimilarityContext, int)*: Καθορίζει εάν οι πολλαπλές τιμές ενός γνωρίσματος σε ένα ερώτημα πρέπει να ληφθούν υπόψη όλες μαζί ("and" mode) ή κάθε μία χωριστά ("or" mode).
- *concernsAssociativeRelation(, String)*: Το uri της συσχετιστικής σχέσης την οποία αφορά ένα πλαίσιο ομοιότητας συσχετιστικής σχέσης.
- *concernsHierarchicalRelation(FuzzyHierarchicalRelationContext, String)*: Το uri της ιεραρχικής σχέσης την οποία αφορά ένα πλαίσιο ομοιότητας ιεραρχικής σχέσης.
- *farsc(FuzzyAssociativeRelationContext, float)*: Η τιμή της συνάρτησης farsc ενός πλαισίου ομοιότητας συσχετιστικής σχέσης.
- *frarsc(FuzzyAssociativeRelationContext, float)*: Η τιμή της συνάρτησης frarsc ενός πλαισίου ομοιότητας συσχετιστικής σχέσης.

- farsc(FuzzyHierarchicalRelationContext, float): Η τιμή της συνάρτησης fhrsc ενός πλαισίου ομοιότητας ιεραρχικής σχέσης.
- farsc(FuzzyHierarchicalRelationContext, float): Η τιμή της συνάρτησης frhrsc ενός πλαισίου ομοιότητας ιεραρχικής σχέσης.
- fersc(FuzzyCompositeRelationContext, float): Η τιμή της συνάρτησης fersc ενός πλαισίου ομοιότητας σύνθετης σχέσης.

6.3 Επίπεδο Διαχείρισης Γνώσης

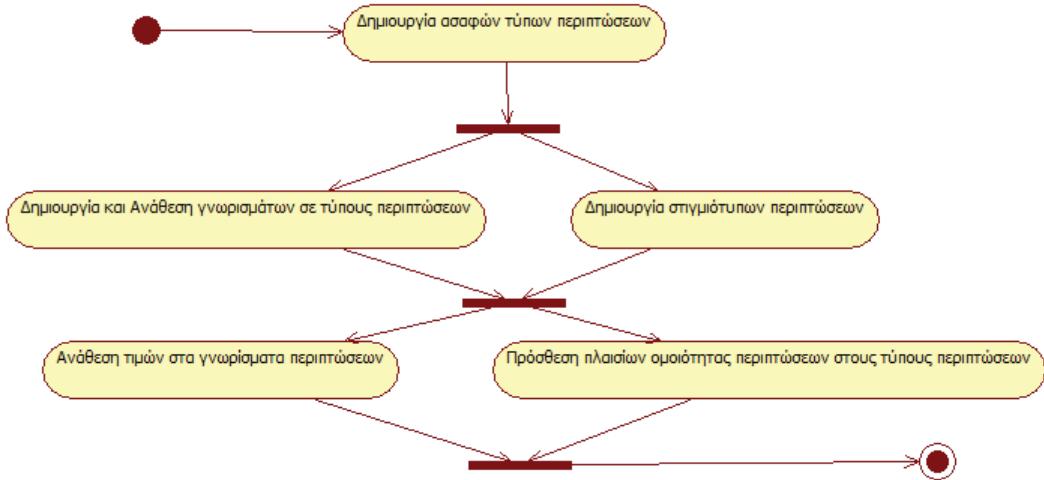
6.3.1 Κατασκευή και Διαχείριση Σχήματος Ασαφών Περιπτώσεων

Για τον ορισμό ενός σχήματος ασαφών περιπτώσεων ο χρήστης αρχικά δημιουργεί ένα σύνολο από ασαφείς τύπους περιπτώσεων. Στη συνέχεια σε κάθε έναν από αυτούς αναθέτει γνωρίσματα, τα οποία μπορεί να έχουν τη μορφή οντολογικών σχέσεων (ασαφών και μη), οντολογικών ιδιοτήτων (ασαφών και μη) και ασαφώς αποτιμώμενων ιδιοτήτων.

Στη συνέχεια, ο χρήστης είναι σε θέση να ορίσει για κάθε τύπο περιπτώσεων οσα δήποτε στιγμιότυπα περιπτώσεων και να αναθέσει τιμές στα αντίστοιχα γνωρίσματά τους. Τέλος, κάθε τύπος περιπτώσεων συνδέεται με κάποιο νοηματικό πλαίσιο ανάκτησης περιπτώσεων το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την ανάκτηση των περιπτώσεων που ανήκουν σε αυτόν. Οι ενέργειες αυτές φαίνονται στο διάγραμμα δραστηριοτήτων του σχήματος 6.3 και στο διάγραμμα χρήσης του σχήματος 6.4.

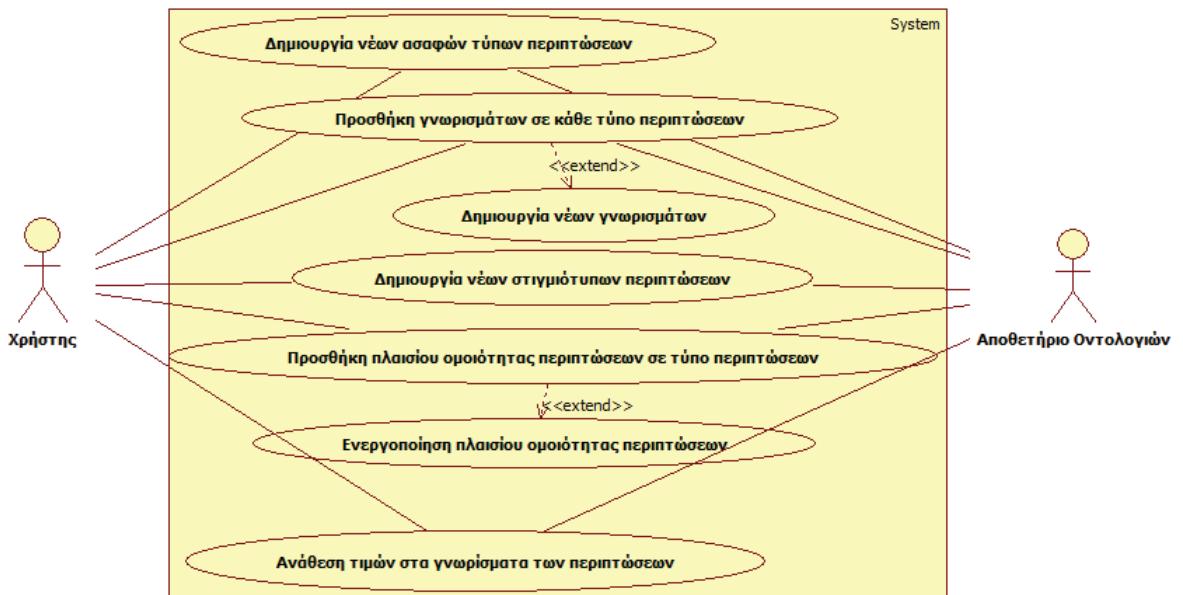
Για την υποστήριξη των παραπάνω ενεργειών χρησιμοποιείται το υποσύστημα CaseManager το οποίο και παρέχει μέσω του API του τις εξής μεθόδους:

- getCaseTypes: Επιστρέφει τους τύπους περιπτώσεων που έχουν οριστεί.
- addCaseType: Προσθέτει ένα νέο τύπο περιπτώσεων.
- deleteCaseType: Διαγράφει έναν υπάρχοντα τύπο περιπτώσεων.
- getCaseTypeCrispRelationAttributes: Επιστρέφει τα γνωρίσματα που έχουν τη μορφή μη ασαφούς οντολογικής σχέσης.
- addCaseTypeCrispRelationAttribute: Προσθέτει ένα νέο γνώρισμα με τη μορφή μη ασαφούς οντολογικής σχέσης.
- deleteCaseTypeCrispRelationAttribute: Διαγράφει ένα υπάρχον γνώρισμα με τη μορφή μη ασαφούς οντολογικής σχέσης.



Σχήμα 6.3: Κατασκευή Σχήματος Ασαφών Περιπτώσεων

- `getCaseTypeCrispPropertyAttributes`: Επιστρέφει τα γνωρίσματα που έχουν τη μορφή μη ασαφούς οντολογικής ιδιότητας.
- `addCaseTypeCrispPropertyAttribute`: Προσθέτει ένα νέο γνώρισμα με τη μορφή μη ασαφούς οντολογικής ιδιότητας.
- `deleteCaseTypeCrispPropertyAttribute`: Διαγράφει ένα υπάρχον γνώρισμα με τη μορφή μη ασαφούς οντολογικής ιδιότητας.
- `getCaseTypeFuzzyRelationAttributes`: Επιστρέφει τα γνωρίσματα που έχουν τη μορφή ασαφούς οντολογικής σχέσης.
- `addCaseTypeFuzzyRelationAttribute`: Προσθέτει ένα νέο γνώρισμα με τη μορφή ασαφούς οντολογικής σχέσης.
- `deleteCaseTypeFuzzyRelationAttribute`: Διαγράφει ένα υπάρχον γνώρισμα με τη μορφή ασαφούς οντολογικής σχέσης.
- `getCaseTypeFuzzyValuedPropertyAttributes`: Επιστρέφει τα γνωρίσματα που έχουν τη μορφή ασαφώς αποτιμώμενης οντολογικής ιδιότητας.
- `addCaseTypeFuzzyValuedPropertyAttribute`: Προσθέτει ένα νέο γνώρισμα με τη μορφή ασαφώς αποτιμώμενης οντολογικής ιδιότητας.
- `deleteCaseTypeFuzzyValuedPropertyAttribute`: Διαγράφει ένα υπάρχον γνώρισμα με τη μορφή ασαφώς αποτιμώμενης οντολογικής ιδιότητας.



Σχήμα 6.4: Διάγραμμα Περιπτώσεων Χρήστης Case Manager

- `getFuzzyValuedPropertyAttributeLinguisticVariable`: Επιστρέφει τη γλωσσική μεταβλητή ενός γνωρίσματος με τη μορφή ασαφώς αποτιμώμενης οντολογικής ιδιότητας.
- `setFuzzyValuedPropertyAttributeLinguisticVariable`: Θέτει τη γλωσσική μεταβλητή ενός γνωρίσματος με τη μορφή ασαφώς αποτιμώμενης οντολογικής ιδιότητας.
- `deleteFuzzyValuedPropertyAttributeLinguisticVariable`: Διαγράφει τη γλωσσική μεταβλητή ενός γνωρίσματος με τη μορφή ασαφώς αποτιμώμενης οντολογικής ιδιότητας.
- `getCaseCrispRelationAttributeValue`: Επιστρέφει για μια δεδομένη περίπτωση τις τιμές ενός γνωρίσματος που έχει τη μορφή μη ασαφούς οντολογικής σχέσης.
- `addCaseCrispRelationAttributeValue`: Προσθέτει για μια δεδομένη περίπτωση μια νέα τιμή σε ένα γνώρισμα που έχει τη μορφή μη ασαφούς οντολογικής σχέσης.
- `deleteCaseCrispRelationAttributeValue`: Διαγράφει για μια δεδομένη περίπτωση την τιμή ενός γνωρίσματος που έχει τη μορφή μη ασαφούς οντολογικής σχέσης.

- `deleteCaseCrispRelationAttributeAllValues`: Διαγράφει για μια δεδομένη περίπτωση όλες τις τιμές ενός γνωρίσματος που έχει τη μορφή μη ασαφούς οντολογικής σχέσης.
- `getCaseCrispPropertyAttributeValues`: Επιστρέφει για μια δεδομένη περίπτωση τις τιμές ενός γνωρίσματος που έχει τη μορφή μη ασαφούς οντολογικής ιδιότητας.
- `addCaseCrispPropertyAttributeValue`: Προσθέτει για μια δεδομένη περίπτωση μια νέα τιμή σε ένα γνώρισμα που έχει τη μορφή μη ασαφούς οντολογικής ιδιότητας.
- `deleteCaseCrispPropertyAttributeValue`: Διαγράφει για μια δεδομένη περίπτωση την τιμή ενός γνωρίσματος που έχει τη μορφή μη ασαφούς οντολογικής ιδιότητας.
- `deleteCaseCrispPropertyAttributeAllValues`: Διαγράφει για μια δεδομένη περίπτωση όλες τις τιμές ενός γνωρίσματος που έχει τη μορφή μη ασαφούς οντολογικής ιδιότητας.
- `getCaseFuzzyRelationAttributeValues`: Επιστρέφει για μια δεδομένη περίπτωση τις τιμές ενός γνωρίσματος που έχει τη μορφή ασαφούς οντολογικής σχέσης.
- `addCaseFuzzyRelationAttributeValue`: Προσθέτει για μια δεδομένη περίπτωση μια νέα τιμή σε ένα γνώρισμα που έχει τη μορφή ασαφούς οντολογικής σχέσης.
- `deleteCaseFuzzyRelationAttributeValue`: Διαγράφει για μια δεδομένη περίπτωση την τιμή ενός γνωρίσματος που έχει τη μορφή ασαφούς οντολογικής σχέσης.
- `deleteCaseFuzzyRelationAttributeAllValues`: Διαγράφει για μια δεδομένη περίπτωση όλες τις τιμές ενός γνωρίσματος που έχει τη μορφή ασαφούς οντολογικής σχέσης.
- `getCaseFuzzyPropertyAttributeValues`: Επιστρέφει για μια δεδομένη περίπτωση τις τιμές ενός γνωρίσματος που έχει τη μορφή ασαφούς οντολογικής ιδιότητας.
- `addCaseFuzzyPropertyAttributeValue`: Προσθέτει για μια δεδομένη περίπτωση μια νέα τιμή σε ένα γνώρισμα που έχει τη μορφή ασαφούς οντολογικής ιδιότητας.

- `deleteCaseFuzzyPropertyAttributeValue`: Διαγράφει για μια δεδομένη περίπτωση την τιμή ενός γνωρίσματος που έχει τη μορφή ασαφούς οντολογικής ιδιότητας.
- `deleteCaseFuzzyPropertyAttributeAllValues`: Διαγράφει για μια δεδομένη περίπτωση όλες τις τιμές ενός γνωρίσματος που έχει τη μορφή ασαφούς οντολογικής ιδιότητας.
- `getCaseFuzzyValuedPropertyAttributeValues`: Επιστρέφει για μια δεδομένη περίπτωση τις τιμές ενός γνωρίσματος που έχει τη μορφή ασαφώς αποτιμώμενης οντολογικής ιδιότητας.
- `addCaseFuzzyValuedPropertyAttributeValue`: Προσθέτει για μια δεδομένη περίπτωση μια νέα τιμή σε ένα γνώρισμα που έχει τη μορφή ασαφώς αποτιμώμενης οντολογικής ιδιότητας.
- `deleteCaseFuzzyValuedPropertyAttributeValue`: Διαγράφει για μια δεδομένη περίπτωση την τιμή ενός γνωρίσματος που έχει τη μορφή ασαφώς αποτιμώμενης οντολογικής ιδιότητας.
- `deleteCaseFuzzyValuedPropertyAttributeAllValues`: Διαγράφει για μια δεδομένη περίπτωση όλες τις τιμές ενός γνωρίσματος που έχει τη μορφή ασαφώς αποτιμώμενης οντολογικής ιδιότητας.

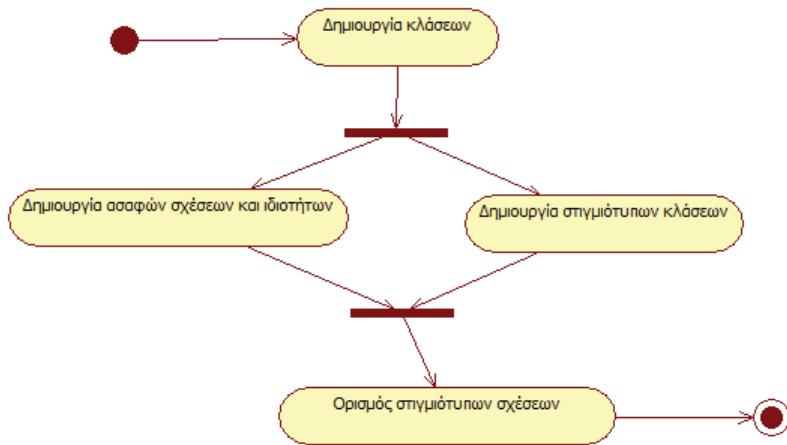
6.3.2 Κατασκευή και Διαχείριση Ασαφούς Οντολογίας

Για τον ορισμό μιας ασαφούς οντολογίας ο χρήστης αρχικά δημιουργεί ένα σύνολο από έννοιες και στη συνέχεια ορίζει για κάθε μία από αυτές σχέσεις (ιεραρχικές ή συσχετιστικές, ασαφείς ή μη), ιδιότητες (ασαφείς ή μη) και ασαφώς αποτιμώμενες ιδιότητες. Για κάθε μια ασαφώς αποτιμώμενη ιδιότητα ορίζει τη γλωσσική μεταβλητή στην οποία αντιστοιχεί.

Επίσης, ο χρήστης ορίζει για κάθε κλάση στιγμιότυπα τα οποία συσχετίζει βάσει των σχέσεων που αντιστοιχούν σε αυτά και στις ιδιότητες των οποίων αναθέτει τιμές. Οι ενέργειες αυτές φαίνονται στο διάγραμμα δραστηριοτήτων του σχήματος 6.5 και στο διάγραμμα χρήσης του σχήματος 6.6

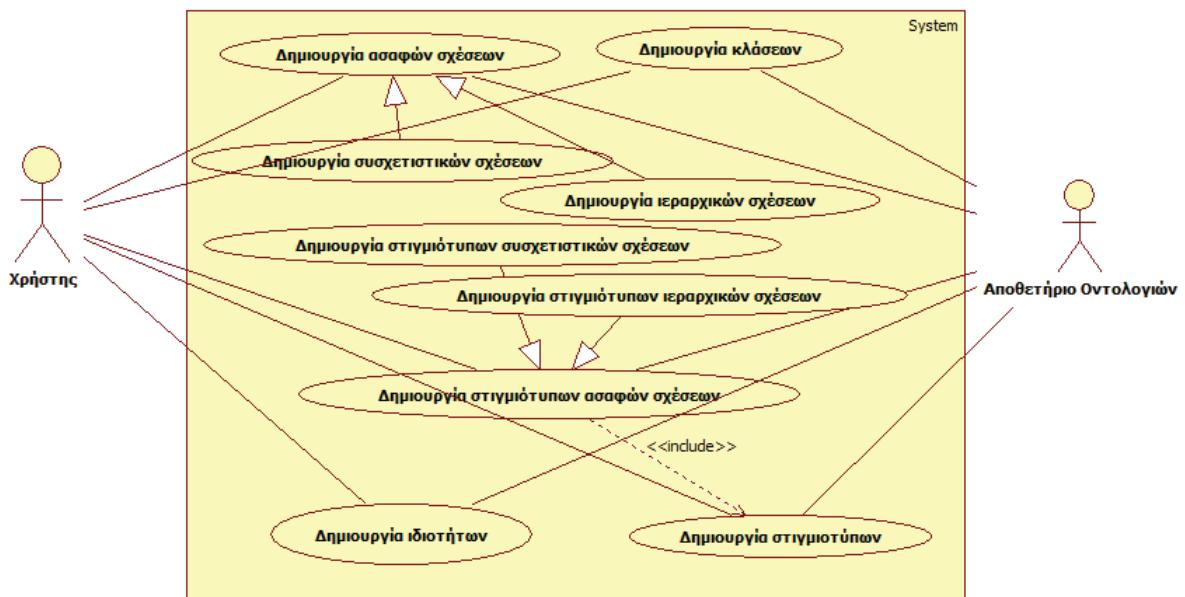
Για την υποστήριξη των παραπάνω ενεργειών χρησιμοποιείται το υποσύστημα `OntologyManager` το οποίο και παρέχει μέσω του API του τις εξής μεθόδους:

- `getFuzzyOntologyAssociativeRelationsByDomain`: Επιστρέφει τις ασαφείς συσχετιστικές οντολογικές σχέσεις με βάση το πεδίο ορισμού τους.



Σχήμα 6.5: Κατασκευή Ασαφούς Οντολογίας

- `getFuzzyOntologyHierarchicalRelationsByDomain`: Επιστρέφει τις ασαφείς ιεραρχικές οντολογικές σχέσεις με βάση το πεδίο ορισμού τους.
- `addFuzzyOntologyAssociativeRelation`: Προσθέτει μια νέα ασαφή συσχετιστική οντολογική σχέση.
- `addFuzzyOntologyHierarchicalRelation`: Προσθέτει μια νέα ασαφή ιεραρχική οντολογική σχέση.
- `deleteFuzzyOntologyRelation`: Διαγράφει μια υπάρχουσα ασαφή οντολογική σχέση.
- `getFuzzyPropertiesByDomain`: Επιστρέφει τις ασαφείς οντολογικές ιδιότητες με βάση το πεδίο ορισμού τους.
- `addFuzzyProperty`: Προσθέτει μια νέα ασαφή οντολογική ιδιότητα.
- `deleteFuzzyProperty`: Διαγράφει μια υπάρχουσα ασαφή οντολογική ιδιότητα.
- `getFuzzyValuedPropertiesByDomain`: Επιστρέφει τις ασαφώς αποτιμώμενες οντολογικές ιδιότητες με βάση το πεδίο ορισμού τους.
- `addFuzzyValuedProperty`: Προσθέτει μια νέα ασαφώς αποτιμώμενη οντολογική ιδιότητα.
- `deleteFuzzyValuedProperty`: Διαγράφει μια υπάρχουσα ασαφώς αποτιμώμενη ιδιότητα.



Σχήμα 6.6: Διάγραμμα Περιπτώσεων Χρήστης Ontology Manager

- `getFuzzyLinguisticVariables`: Επιστρέφει τις ασαφείς γλωσσικές μεταβλητές
- `getFuzzyValuedPropertyLinguisticVariable`: Επιστρέφει την ασαφή γλωσσική μεταβλητή μιας ασαφώς αποτιμώμενης ιδιότητας.
- `setFuzzyValuedPropertyLinguisticVariable`: Θέτει την ασαφή γλωσσική μεταβλητή μιας ασαφώς αποτιμώμενης ιδιότητας.
- `deleteFuzzyValuedPropertyLinguisticVariable`: Διαγράφει την ασαφή γλωσσική μεταβλητή μιας ασαφώς αποτιμώμενης ιδιότητας.
- `getFuzzyLinguisticTerms`: Έπιστρέφει τους ασαφείς γλωσσικούς όρους της οντολογίας.
- `addFuzzyLinguisticTerm`: Προσθέτει ένα νέο γλωσσικό όρο.
- `deleteFuzzyLinguisticTerm`:
- `getFuzzyLinguisticVariableTerms`: Έπιστρέφει τους ασαφείς γλωσσικούς όρους μιας ασαφούς γλωσσικής μεταβλητής.
- `addFuzzyLinguisticVariableTerm`: Προσθέτει ένα νέο γλωσσικό όρο σε μια ασαφή γλωσσική μεταβλητή.

- `deleteFuzzyLinguisticVariableTerm`: Διαγράφει έναν υπάρχοντα γλωσσικό όρο μιας ασαφούς γλωσσικής μεταβλητής.
- `getFuzzyLinguisticTermMeaning`: Επιστρέφει το ασαφές σύνολο που αποτελεί το νόημα ενός ασαφούς γλωσσικού όρου.
- `setFuzzyLinguisticTermMeaning`: Θέτει το νόημα ενός ασαφούς γλωσσικού όρου.
- `deleteFuzzyLinguisticTermMeaning`: Διαγράφει το νόημα ενός ασαφούς γλωσσικού όρου.
- `getFuzzyOntologyRelationInstances`: Επιστρέφει τις δηλώσεις μιας ασαφούς οντολογικής σχέσης.
- `getIndividualFuzzyOntologyRelationValues`: Επιστρέφει για ένα δεδομένο στιγμιότυπο τα στιγμιοτύπα με τα οποία συνδέεται μέσω μιας ασαφούς οντολογικής σχέσης.
- `getIndividualInverseFuzzyOntologyRelationValues`: Επιστρέφει για ένα δεδομένο στιγμιότυπο τα στιγμιοτύπα με τα οποία συνδέεται μέσω της αντίστροφης μιας ασαφούς οντολογικής σχέσης.
- `addFuzzyOntologyRelationInstance`: Προσθέτει μια νέα δήλωση για μια ασαφή οντολογική σχέση.
- `deleteFuzzyOntologyRelationAllInstances`: Διαγράφει όλες τις δηλώσεις μιας ασαφούς οντολογικής σχέσης.
- `deleteFuzzyOntologyRelationInstance`: Διαγράφει μια συγκεκριμένη δήλωση μιας ασαφούς οντολογικής σχέσης.
- `setFuzzyOntologyRelationInstanceDegree`: Θέτει το βαθμό μιας δήλωσης ασαφούς οντολογικής σχέσης.
- `getFuzzyPropertyInstances`: Επιστρέφει τις δηλώσεις μιας ασαφούς οντολογικής ιδιότητας.
- `getIndividualFuzzyPropertyValues`: Επιστρέφει για ένα δεδομένο στιγμιότυπο τις τιμές του για μια ασαφή οντολογική ιδιότητα.
- `addFuzzyPropertyInstance`: Προσθέτει μια νέα δήλωση για μια ασαφή οντολογική ιδιότητα.

- deleteFuzzyPropertyInstance: Διαγράφει μια συγκεκριμένη δήλωση μιας ασαφούς οντολογικής ιδιότητας.
- deleteFuzzyPropertyAllInstances: Διαγράφει όλες τις δηλώσεις μιας ασαφούς οντολογικής ιδιότητας.
- getFuzzyValuedPropertyInstances: Επιστρέφει τις δηλώσεις μιας ασαφώς αποτιμώμενης οντολογικής ιδιότητας.
- getIndividualFuzzyValuedPropertyValues: Επιστρέφει για ένα δεδομένο στιγμό την τιμές του για μια ασαφώς αποτιμώμενη οντολογική ιδιότητα.
- addFuzzyValuedPropertyInstance: Προσθέτει μια νέα δήλωση για μια ασαφώς αποτιμώμενη οντολογική ιδιότητα.
- deleteFuzzyValuedPropertyInstance: Διαγράφει μια συγκεκριμένη δήλωση μιας ασαφώς αποτιμώμενης οντολογικής ιδιότητας.
- deleteFuzzyValuedPropertyAllInstances: Διαγράφει όλες τις δηλώσεις μιας ασαφώς αποτιμώμενης οντολογικής ιδιότητας.

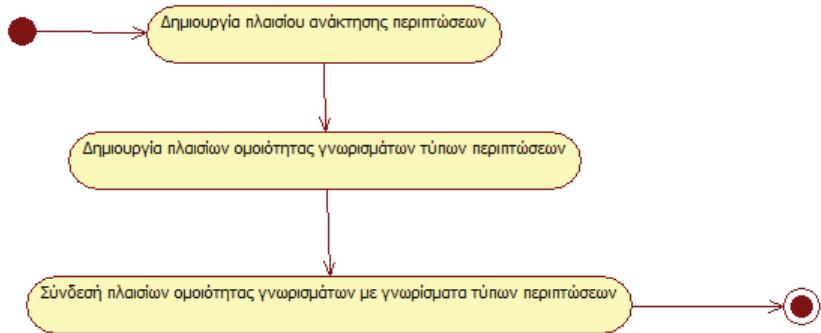
6.3.3 Κατασκευή και Διαχείριση Νοηματικών Πλαισίων Ανάκτησης Περιπτώσεων

Για την παραμετροποίηση της ανάκτησης περιπτώσεων ο χρήστης δημιουργεί καταρχήν ένα ή περισσότερα νοηματικά πλαίσια ανάκτησης περιπτώσεων τα οποία και συνδέει με συγκεκριμένους τύπους περιπτώσεων. Στη συνέχεια ορίζει επιμέρους πλαίσια ομοιότητας γνωρισμάτων για κάθε ένα από τα γνωρίσματα του κάθε τύπου και προσδιορίζει τη συνάρτηση συνάθροισης ομοιότητας για το συνολικό πλαίσιο.

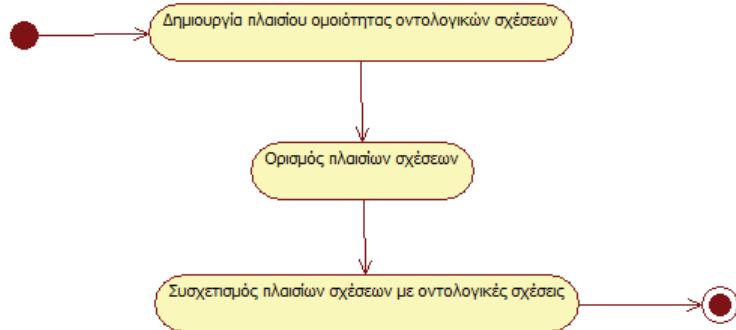
Πλαίσια ομοιότητας ανατίθενται και στις οντολογικές σχέσεις σύμφωνα με στόχο την ομοιότητα στιγμιότυπων που συνδέονται με τις σχέσεις αυτές. Για το συγκεκριμένο πλαίσιο ο χρήστης δημιουργεί ένα πλαίσιο ομοιότητας οντολογικών σχέσεων στο οποίο ορίζει πλαίσια ιεραρχικών, συσχετιστικών και σύνθετων σχέσεων. Τα πλαίσια αυτά συσχετίζονται συσχετισθούν με τις ανάλογες σχέσεις από την ασαφή οντολογία πεδίου.

Οι παραπάνω ενέργειες αυτές απεικονίζονται στα διάγραμμα δραστηριοτήτων των σχημάτων 6.7 και 6.8 και στο διάγραμμα χρήσης του σχήματος 6.9

Για την υποστήριξη των παραπάνω ενεργειών χρησιμοποιείται το υποσύστημα ContextManager το οποίο και παρέχει μέσω του API του τις εξής μεθόδους:

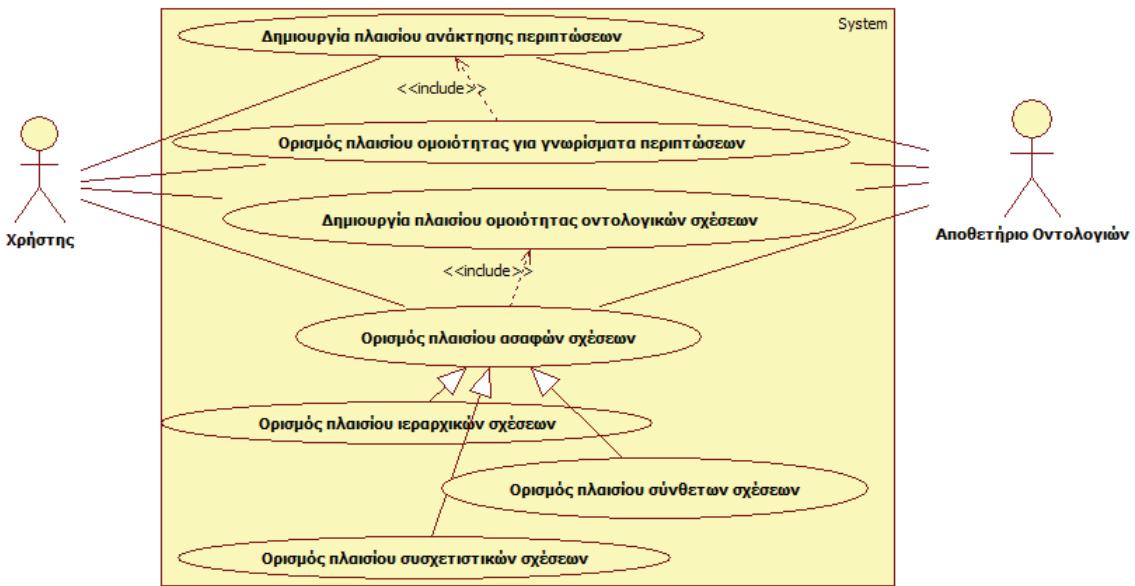


Σχήμα 6.7: Ορισμός Νοηματικού Πλαισίου Ανάκτησης Περιπτώσεων



Σχήμα 6.8: Ορισμός Νοηματικού Πλαισίου Ομοιότητας Οντολογικών Σχέσεων

- `getCaseRetrievalContexts`: Επιστρέφει όλα τα νοηματικά πλαίσια ανάκτησης περιπτώσεων.
- `addCaseRetrievalContext`: Προσθέτει ένα νέο νοηματικό πλαίσιο ανάκτησης περιπτώσεων.
- `deleteCaseTypeRetrievalContext`: Διαγράφει ένα υπάρχον νοηματικό πλαίσιο ανάκτησης περιπτώσεων.
- `getCaseTypeRetrievalContexts`: Επιστρέφει όλα τα νοηματικά πλαίσια ανάκτησης περιπτώσεων ενός δεδομένου τύπου περιπτώσεων.
- `addCaseTypeRetrievalContext`: Προσθέτει ένα νέο νοηματικό πλαίσιο ανάκτησης περιπτώσεων για ένα δεδομένο τύπο περιπτώσεων.
- `deleteCaseTypeRetrievalContext`: Διαγράφει ένα υπάρχον νοηματικό πλαίσιο



Σχήμα 6.9: Διάγραμμα Περιπτώσεων Χρήστης Context Manager

ανάκτησης περιπτώσεων για ένα δεδομένο τύπο περιπτώσεων.

- `setCaseTypeActiveRetrievalContext`: Θέτει το ενεργό νοηματικό πλαίσιο ανάκτησης περιπτώσεων για ένα δεδομένο τύπο περιπτώσεων.
- `getCaseRetrievalContextOntologySimilarityContext`: Επιστρέφει το πλαίσιο οντολογικής ομοιότητας ενός δεδομένου πλαισίου ανάκτησης περιπτώσεων.
- `setCaseRetrievalContextOntologySimilarityContext`: Θέτει το πλαίσιο οντολογικής ομοιότητας ενός δεδομένου πλαισίου ανάκτησης περιπτώσεων.
- `getAttributeSimilarityAggregationFunction`: Επιστρέφει τη συνάρτηση συνάθροισης ενός δεδομένου πλαισίου ανάκτησης περιπτώσεων.
- `setAttributeSimilarityAggregationFunction`: Θέτει τη συνάρτηση συνάθροισης ενός δεδομένου πλαισίου ανάκτησης περιπτώσεων.
- `getCaseAttributeSimilarityContexts`: Επιστρέφει τα πλαίσια ομοιότητας γνωρίσματος ενός δεδομένου πλαισίου ανάκτησης περιπτώσεων.
- `addCaseAttributeSimilarityContext`: Προσθέτει ένα ένο πλαίσιο ομοιότητας γνωρίσματος για ένα δεδομένο πλαίσιο ανάκτησης περιπτώσεων.
- `deleteCaseAttributeSimilarityContext`: Διαγράφει ένα υπάρχον πλαίσιο ομοιότητας γνωρίσματος ενός δεδομένου πλαισίου ανάκτησης περιπτώσεων.

- `getCaseAttributeSimilarityContextAttributeURI`: Επιστρέφει το γνώρισμα στο οποίο αντιστοιχεί ένα δεδομένο πλαισίο ομοιότητας γνωρίσματος.
- `setCaseAttributeSimilarityContextAttributeURI`: Θέτει το γνώρισμα στο οποίο αντιστοιχεί ένα δεδομένο πλαισίο ομοιότητας γνωρίσματος.
- `getCaseAttributeSimilarityContextAttributeWeight`: Επιστρέφει το βάρος ενός δεδομένου πλαισίου ομοιότητας γνωρίσματος.
- `setCaseAttributeSimilarityContextAttributeWeight`: Θέτει το βάρος ενός δεδομένου πλαισίου ομοιότητας γνωρίσματος.
- `getCaseAttributeSimilarityContextAttributeFuzziness`: Επιστρέφει την τιμή της παράμετρου ενός δεδομένου πλαισίου ομοιότητας γνωρίσματος σχετικά με το αν λαμβάνεται υπόψη η ασάφειά του κατά την ανάκτηση.
- `setCaseAttributeSimilarityContextAttributeFuzziness`: Θέτει την τιμή της παράμετρου ενός δεδομένου πλαισίου ομοιότητας γνωρίσματος σχετικά με το αν λαμβάνεται υπόψη η ασάφεια κατά την ανάκτηση.
- `getCaseAttributeSimilarityContextAttributeQueryMode`: Επιστρέφει την τιμή του `QueryMode` ενός δεδομένου πλαισίου ομοιότητας γνωρίσματος.
- `setCaseAttributeSimilarityContextAttributeQueryMode`: Θέτει την τιμή του `QueryMode` ενός δεδομένου πλαισίου ομοιότητας γνωρίσματος.
- `getCaseAttributeWeight`: Επιστρέφει το βάρος ενός γνωρίσματος.
- `setCaseAttributeWeight`: Θέτει το βάρος ενός γνωρίσματος.
- `getCaseAttributeFuzziness`: Επιστρέφει την τιμή της παράμετρου ενός γνωρίσματος σχετικά με το αν λαμβάνεται υπόψη η ασάφειά του κατά την ανάκτηση.
- `setCaseAttributeFuzziness`: Θέτει την τιμή της παράμετρου ενός γνωρίσματος σχετικά με το αν λαμβάνεται υπόψη η ασάφειά του κατά την ανάκτηση.
- `getCaseAttributeQueryMode`: Επιστρέφει την τιμή του `QueryMode` ενός γνωρίσματος.
- `setCaseAttributeQuerysMode`: Θέτει την τιμή του `QueryMode` ενός γνωρίσματος.
- `getOntologySimilarityContexts`: Επιστρέφει όλα τα πλαίσια οντολογικής ομοιότητας.

- addOntologySimilarityContext: Προσθέτει ένα νέο πλαίσιο οντολογικής ομοιότητας.
- deleteOntologySimilarityContext: Διαγράφει ένα υπάρχον πλαίσιο οντολογικής ομοιότητας.
- getFuzzyHierarchicalRelationContexts: Επιστρέφει όλα τα πλαίσια ασαφούς ιεραρχικής σχέσης.
- addFuzzyHierarchicalRelationContext: Προσθέτει ένα νέο πλαίσιο ασαφούς ιεραρχικής σχέσης.
- deleteFuzzyHierarchicalRelationContext: Διαγράφει ένα υπάρχον πλαίσιο ασαφούς ιεραρχικής σχέσης.
- getFuzzyAssociativeRelationContexts: Επιστρέφει όλα τα πλαίσια ασαφούς συσχετιστικής σχέσης.
- addFuzzyAssociativeRelationContext: Προσθέτει ένα νέο πλαίσιο ασαφούς συσχετιστικής σχέσης.
- deleteFuzzyAssociativeRelationContext: Διαγράφει ένα υπάρχον πλαίσιο ασαφούς συσχετιστικής σχέσης.
- getFuzzyCompositeRelationContexts: Επιστρέφει όλα τα πλαίσια ασαφούς σύνθετης σχέσης.
addFuzzyCompositeRelationContext: Προσθέτει ένα νέο πλαίσιο ασαφούς σύνθετης σχέσης.
deleteFuzzyCompositeRelationContext: Διαγράφει ένα υπάρχον πλαίσιο ασαφούς σύνθετης σχέσης.
- getFHRSC: Επιστρέφει την τιμή της παραμέτρου fhrsc ενός πλαισίου ομοιότητας ασαφούς ιεραρχικής σχέσης.
- setFHRSC: Θέτει την τιμή της παραμέτρου fhrsc ενός πλαισίου ομοιότητας ασαφούς ιεραρχικής σχέσης.
- getFRHRSC: Επιστρέφει την τιμή της παραμέτρου frhrsc ενός πλαισίου ομοιότητας ασαφούς ιεραρχικής σχέσης.
- setFRHRSC: Θέτει την τιμή της παραμέτρου frhrsc ενός πλαισίου ομοιότητας ασαφούς ιεραρχικής σχέσης.

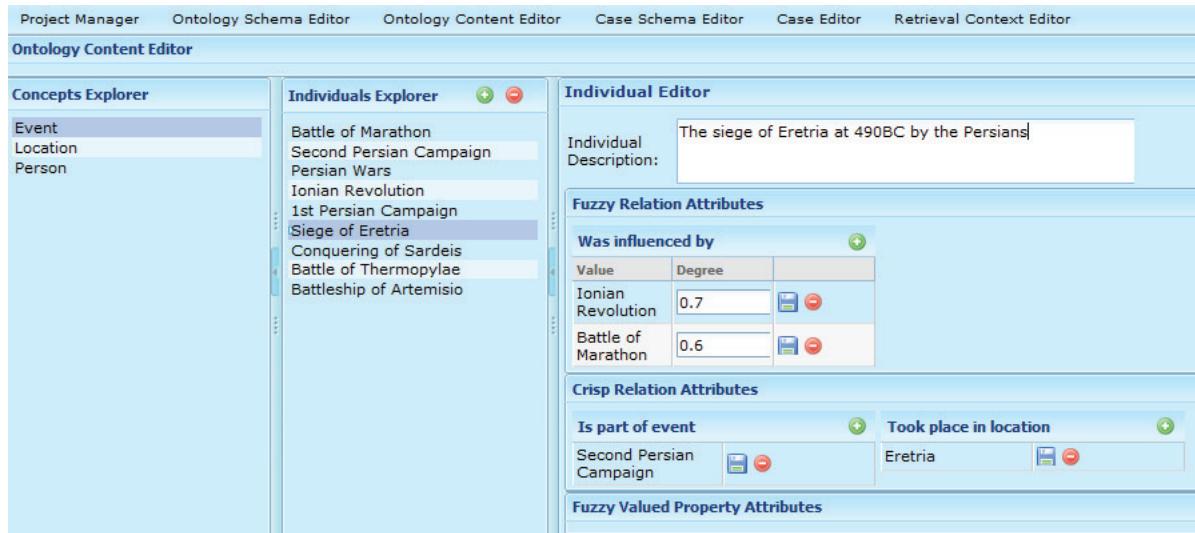
- `getContextHierarchicalRelation`: Επιστρέφει την ιεραρχική σχέση στην οποία αντιστοιχεί ένα πλαίσιο ομοιότητας ασαφούς ιεραρχικής σχέσης.
- `setContextHierarchicalRelation`: Θέτει την ιεραρχική σχέση στην οποία αντιστοιχεί ένα πλαίσιο ομοιότητας ασαφούς ιεραρχικής σχέσης.
- `getFARSC`: Επιστρέφει την τιμή της παραμέτρου farsc ενός πλαισίου ομοιότητας ασαφούς συσχετιστικής σχέσης.
- `setFARSC`: Θέτει την τιμή της παραμέτρου farsc ενός πλαισίου ομοιότητας ασαφούς συσχετιστικής σχέσης.
- `getFRARSC`: Επιστρέφει την τιμή της παραμέτρου frarsc ενός πλαισίου ομοιότητας ασαφούς συσχετιστικής σχέσης.
- `setFRARSC`: Θέτει την τιμή της παραμέτρου frarsc ενός πλαισίου ομοιότητας ασαφούς συσχετιστικής σχέσης.
- `getContextAssociativeRelation`: Επιστρέφει τη συσχετιστική σχέση στην οποία αντιστοιχεί ένα πλαίσιο ομοιότητας ασαφούς συσχετιστικής σχέσης.
- `setContextAssociativeRelation`: Θέτει τη συσχετιστική σχέση στην οποία αντιστοιχεί ένα πλαίσιο ομοιότητας ασαφούς συσχετιστικής σχέσης.
- `getFCRSC`: Επιστρέφει την τιμή της παραμέτρου fcrsc ενός πλαισίου ομοιότητας σύνθετης σχέσης.
- `setFCRSC`: Θέτει την τιμή της παραμέτρου fcrsc ενός πλαισίου ομοιότητας σύνθετης σχέσης.
- `getContextComponentRelations()`: Επιστρέφει τις συνιστώσες σχέσεις που περιλαμβάνονται σε ένα πλαίσιο ομοιότητας σύνθετης σχέσης.
- `addContextComponentRelation`: Προσθέτει μια νέα συνιστώσα σχέση σε ένα πλαίσιο ομοιότητας σύνθετης σχέσης.
- `deleteContextComponentRelation`: Διαγράφει μια υπάρχουσα συνιστώσα σχέση σε ένα πλαίσιο ομοιότητας σύνθετης σχέσης.

6.4 Επίπεδο Αλληλεπίδρασης

6.4.1 Γραφική Διαπροσωπεία Χρήστη

Η γραφική διαπροσωπεία χρήστη (GUI) της πλατφόρμας παρέχει στο χρήστη έναν εύχρηστο και διαισθητικό τρόπο για την κατασκευή και παραμετροποίηση εφαρμογών που βασίζονται στο πλαίσιο IKARUS. Ειδικότερα, ο χρήστης είναι σε θέση να κατασκευάζει και να διαχειρίζεται ασαφείς οντολογίες, σχήματα ασαφών περιπτώσεων, συγκεκριμένες περιπτώσεις και νοηματικά πλαίσια ανάκτησης περιπτώσεων μέσω των ακόλουθων διαπροσωπειών:

- Case Schema Editor: Στη συγκεκριμένη διαπροσωπεία ο χρήστης μπορεί να δει τους υπάρχοντες τύπους ασαφών περιπτώσεων που έχουν ήδη οριστεί, να ορίσει και νούμερους και να διαγράψει υπάρχοντες. Το ίδιο μπορεί να κάνει και για τα γνωρίσματα του κάθε τύπου τα οποία κατηγοριοποιούνται με βάση τους πέντε επιμέρους τύπους τους (Crisp Relation, Fuzzy Relation, Crisp Property, Fuzzy Property, Fuzzy Valued Property). Επίσης, μέσω της ίδιας διαπροσωπείας ο χρήστης μπορεί να ορίσει για κάθε τύπο περιπτώσεων ποιο νοηματικό πλαίσιο ανάκτησης θα χρησιμοποιηθεί κατά την ανάκτηση των περιπτώσεων αυτού του τύπου (Active Retrieval Context).
- Case Editor: Στη συγκεκριμένη διαπροσωπεία ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει συγκεκριμένες περιπτώσεις για κάθε τύπο και να αναθέσει τιμές στα γνωρίσματά τους.
- Ontology Schema Editor & Ontology Content Editor (σχήμα 6.10): Στις συγκεκριμένες διαπροσωπείες ο χρήστης μπορεί να κατασκευάσει και να διαχειρίστεί σχήματα ασαφών οντολογιών (έννοιες, ασαφείς σχέσεις, ασαφείς ιδιότητες, ασαφώς αποτιμώμενες ιδιότητες) καθώς και στιγμιότυπα αυτών (στιγμιότυπα εννοιών, ασαφείς δηλώσεις σχέσεων, ασαφείς τιμές ιδιοτήτων κλπ).
- Retrieval Context Editor (σχήμα 6.11): Στη συγκεκριμένη διαπροσωπεία ο χρήστης μπορεί να ορίσει και να διαχειριστεί νοηματικά πλαίσια ανάκτησης περιπτώσεων. Για κάθε τύπο περιπτώσεων ορίζεται ένα ή περισσότερα τέτοια πλαίσια και για το καθένα από αυτά ορίζονται οι παράμετροι σχετικά με τα γνωρίσματα των περιπτώσεων (Context Attributes) και τα συστατικά της οντολογίας (Context Simple & Composite Ontology Relations).

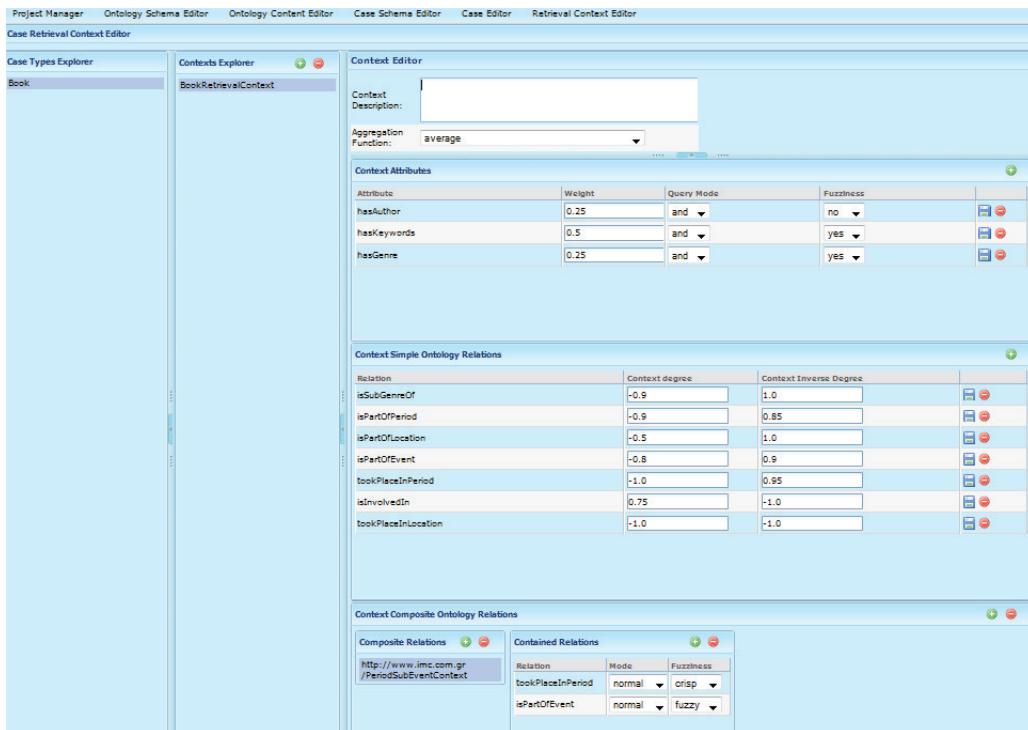


Σχήμα 6.10: Διαπροσωπεία Διαχείρισης Οντολογιών

6.5 Γενική Μεθοδολογία Χρήσης Πλατφόρμας

Τα τυπικά βήματα που απαιτούνται για τη σχεδίαση και τη χρήση μιας εφαρμογής διαχείρισης γνώσης με βάση το πλαίσιο IKARUS και με χρήση της πλατφόρμας απεικονίζονται στο σχήμα 6.12 και είναι τα ακόλουθα:

- Βήμα 1ο: Ορισμός του (ασαφούς) σχήματος των περιπτώσεων:** Το σχήμα των περιπτώσεων ορίζει τη δομή των περιπτώσεων (τύποι περιπτώσεων, γνωρίσματα κλπ) σύμφωνα με το φορμαλισμό της ενότητας 5.2 και η κατασκευή του γίνεται μέσα από το υποσύστημα Case Manager. Η ασάφεια είναι προαιρετική καθώς εκτός από ασαφή γνωρίσματα μπορούν να οριστούν και μη ασαφή.
- Βήμα 2ο: Ανάπτυξη ή εισαγωγή της (ασαφούς) οντολογίας πεδίου:** Η οντολογία πεδίου της πλατφόρμας αναπαριστά γνώση σχετικά με το πεδίο του σεναρίου εφαρμογής και κατά συνέπεια περιγράφει το σημασιολογικό περιεχόμενο των περιπτώσεων. Μια τέτοια οντολογία χρειάζεται όταν το σχήμα των περιπτώσεων περιλαμβάνει γνωρίσματα που είναι ορισμένα ως οντολογικές σχέσεις, ασαφείς και μη, καθώς οι τιμές των γνωρισμάτων αυτών προέρχονται από τα στιγμιότυπα των εννοιών της οντολογίας. Επίσης, ανάλογα με το πεδίο, η οντολογία μπορεί να είναι ή όχι ασαφής (ακολουθώντας το φορμαλισμό της ενότητας 5.2 στην περίπτωση που είναι) και μπορεί να αναπτυχθεί είτε από την αρχή είτε επαναχρησιμοποιώντας υπάρχουσες οντολογίες. Η απαιτούμενη λειτουργικότητα γι' αυτό παρέχεται από το υποσύστημα Ontology Manager.
- Βήμα 3ο: Δημιουργία ή εισαγωγή περιπτώσεων:** Το βήμα αυτό αφορά τη



Σχήμα 6.11: Διαπροσωπεία Διαχείρισης Νοηματικών Πλαισιών Ανάκτησης

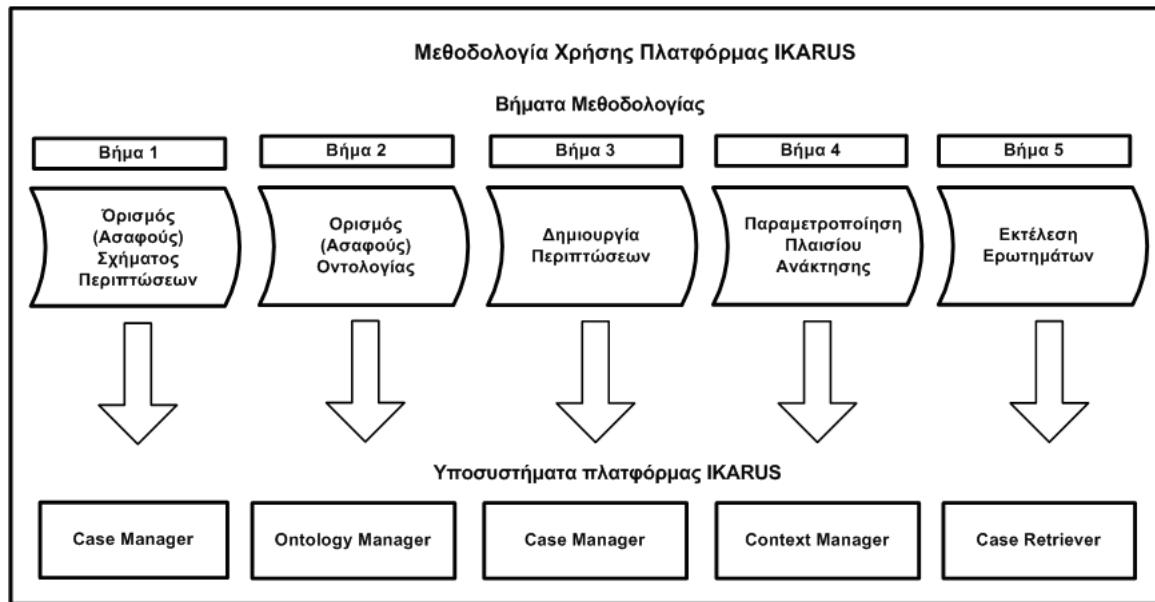
δημιουργία περιπτώσεων (αν δεν είναι ήδη διαθέσιμες) και την ανάθεση τιμών στα γνωρίσματά τους. Αυτό μπορεί να γίνει χειροκίνητα, μέσω του υποσυστήματος Case Manager ή και ημιαυτόματα μέσα από τεχνικές σημασιολογικού χαρακτηρισμού που η πλατφόρμα πρόκειται σύντομα να ενσωματώσει.

4. Βήμα 4ο: Παραμετροποίηση του νοηματικού πλαισίου ανάκτησης περιπτώσεων:

Το νοηματικό πλαίσιο ανάκτησης περιπτώσεων περιλαμβάνει διάφορες παραμέτρους που επηρεάζουν τη διαδικασία ανάκτησης όπως είναι τα βάρη των γνωρισμάτων, τα μέτρα ομοιότητας και οι συναρτήσεις συνάθροισης. Ιδιαίτερα σημαντικές είναι οι παράμετροι που "ρυθμίζουν" τη συμπεριφορά της οντολογίας πεδίου βάσει του μοντέλου της ενότητας 5.3.

5. Βήμα 5ο: Εκτέλεση ερωτημάτων ανάκτησης περιπτώσεων:

Έχοντας εκτελέσει τα προηγούμενα τέσσερα βήματα, η πλατφόρμα είναι έτοιμη να χρησιμοποιηθεί για ανάκτηση περιπτώσεων. Αυτό γίνεται μέσω του υποσυστήματος Case Retriever το οποίο παρέχει την απαραίτητη λειτουργικότητα για την κατασκευή ερωτημάτων και την ανάκτηση σχετικών με αυτά περιπτώσεων.



Σχήμα 6.12: Γενική Μεθοδολογία Χρήσης της Πλατφόρμας IKARUS

6.6 Παράδειγμα Χρήσης Πλατφόρμας

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφεται η χρήση της πλατφόρμας IKARUS για τη μοντελοποίηση και ανάκτηση της ασαφούς γνώσης του σεναρίου που περιγράφηκε στην ενότητα 5.4 σχετικά με την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Ειδικότερα περιγράφονται χαρακτηριστικά παραδείγματα από τον ορισμός της ασαφούς οντολογίας του πεδίου της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, της ασαφούς οντολογίας των σχετικών εγγράφων (περιπτώσεις) και του νοηματικού πλαισίου ανάκτησης.

6.6.1 Δημιουργία Ασαφούς Οντολογίας Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

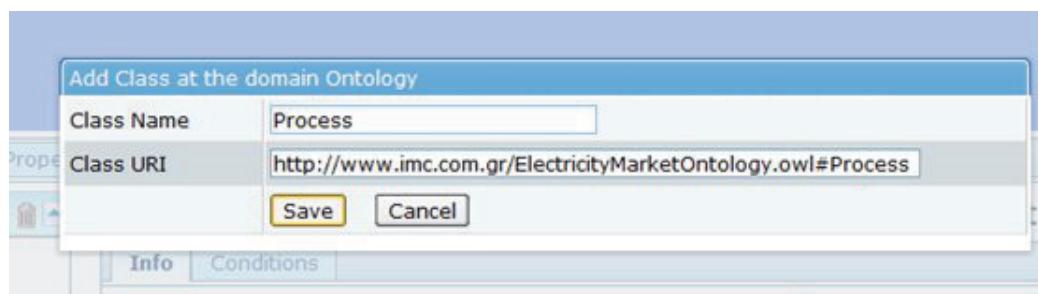
Ο ορισμός της οντολογίας πεδίου ξεκινάει από τη διαπροσωπεία του Ontology Manager όπου ορίζονται οι απαραίτητες έννοιες, σχέσεις και τα στιγμιότυπα αυτών.

Προσθήκη Έννοιας

Ο χρήστης κάνει κλικ στο εικονίδιο add που βρίσκεται στο panel Class Explorer της καρτέλας Classes (σχήμα 6.13) και εμφανίζεται ένα παράθυρο προσθήκης νέας έννοιας. Στο παράθυρο αυτό ο χρήστης πρέπει να εισάγει το uri της έννοιας καθώς και κάποιο όνομα γι' αυτή (σχήμα 6.14). Εάν το uri δεν είναι έγκυρο τότε εμφανίζεται κατάλληλο μήνυμα λάθους (σχήμα 6.15).



Σχήμα 6.13: Προσθήκη Νέας Έννοιας (1)



Σχήμα 6.14: Προσθήκη Νέας Έννοιας (2)



Σχήμα 6.15: Μήνυμα Μη Έγκυρου Uri

Προσθήκη Ασαφούς Σχέσης

Η προσθήκη ασαφών σχέσεων γίνεται από την καρτέλα Relations όπου ορίζεται το *uri* της σχέσης, το πεδίο ορισμού της και το πεδίο τιμών της. Δεδομένης μιας τέτοιας σχέσης μπορεί στη συνέχεια να πραγματοποιηθεί ο ασαφής συσχετισμός στιγμιοτύπων από την καρτέλα Individuals. Για να γίνει αυτό ο χρήστης επιλέγει τα προς συσχέτιση στιγμιότυπα και ορίζει έναν ασαφή βαθμό για αυτά (σχήματα 6.16 και 6.17). Αν ο ασαφής βαθμός δεν είναι έγκυρος εμφανίζεται κατάλληλο μήνυμα λάθους.

6.6.2 Δημιουργία Ασαφούς Οντολογίας Περιπτώσεων

Ο ορισμός της οντολογίας περιπτώσεων ξεκινάει από τη διαπροσωπεία του Case Manager όπου ορίζονται οι απαραίτητοι τύποι περιπτώσεων και τα γνωρίσματα αυτών.

Προσθήκη Τύπου Περιπτώσεων

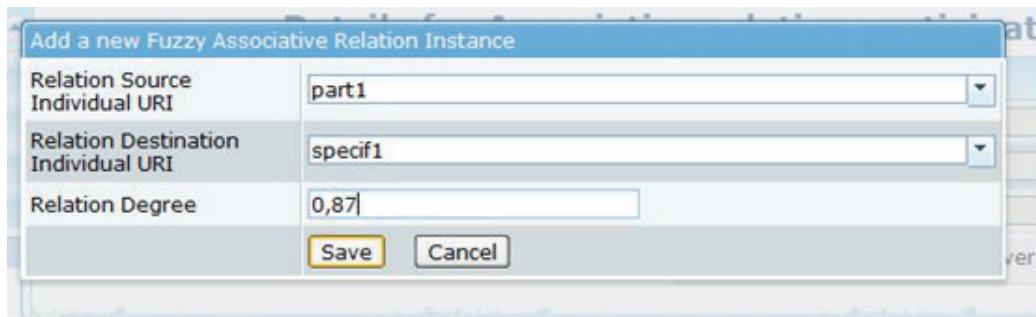
Ο χρήστης κάνει κλικ στο εικονίδιο add που βρίσκεται στο panel Case Class Explorer της καρτέλας Case Types (σχήμα 6.19) και εμφανίζεται ένα παράθυρο προσθήκης νέου τύπου. Στο παράθυρο αυτό ο χρήστης είτε εισάγει το *uri* του νεού τύπου είτε επιλέγει ως τύπο μια ήδη υπάρχουσα έννοια από την οντολογία πεδίου (σχήμα 6.20).

Προσθήκη Γνωρίσματος

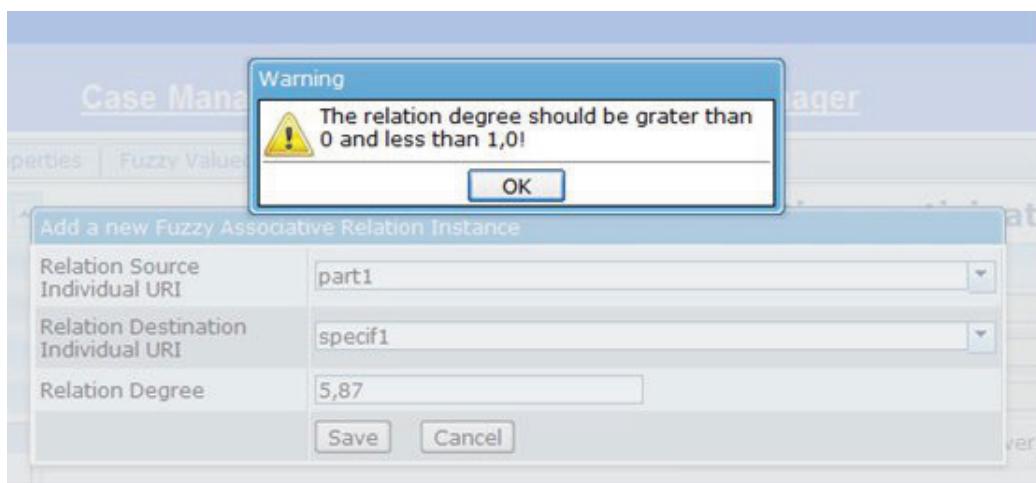
Ο χρήστης επιλέγει τον τύπο του γνωρίσματος από το panel Case Type Attributes της καρτέλας Case Types (σχήμα 6.21) και στη συνέχεια κάνει κλικ στο εικονίδιο add. Σε περίπτωση που ο τύπος περίπτωσης στον οποίο ανήκει το γνώρισμα δεν αποτελεί υπάρχουσα έννοια της οντολογίας πεδίου τότε στο παράθυρο προσθήκης που εμφανίζεται (σχήμα 6.22) ο χρήστης εισάγει το *uri* του γνωρίσματος.



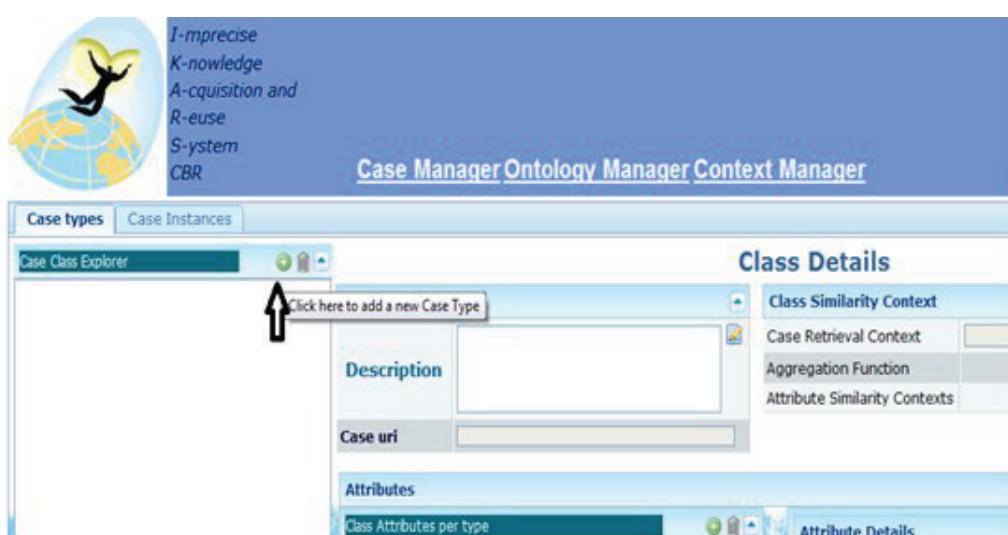
Σχήμα 6.16: Ασαφής Συσχετισμός Στιγμιοτύπων (1)



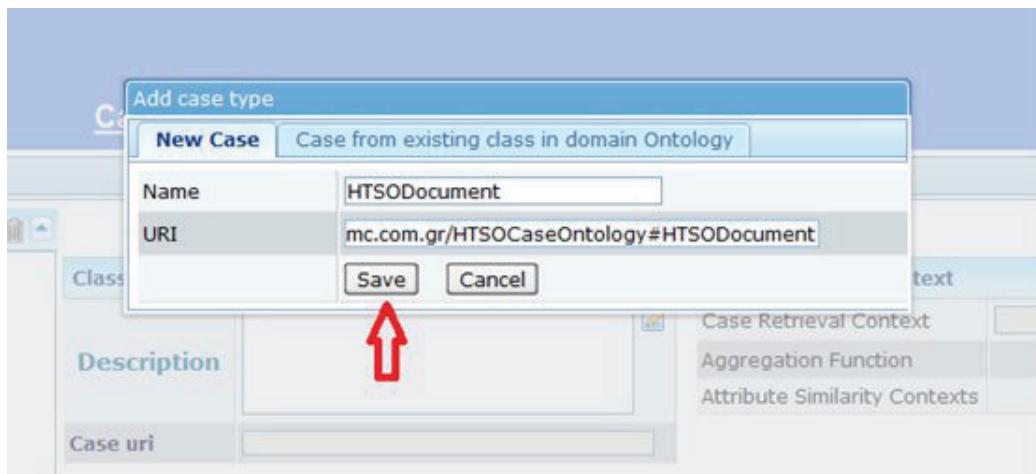
Σχήμα 6.17: Ασαφής Συσχετισμός Στιγμιοτύπων (2)



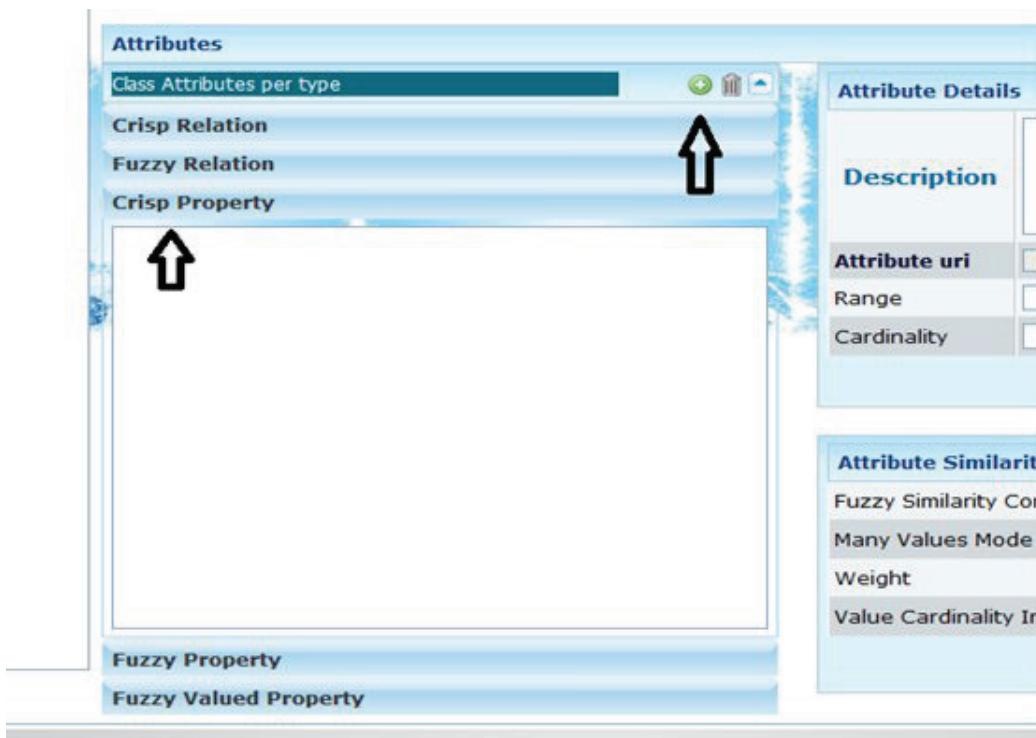
Σχήμα 6.18: Μήνυμα Μη Έγκυρου Ασαφούς Βαθμού



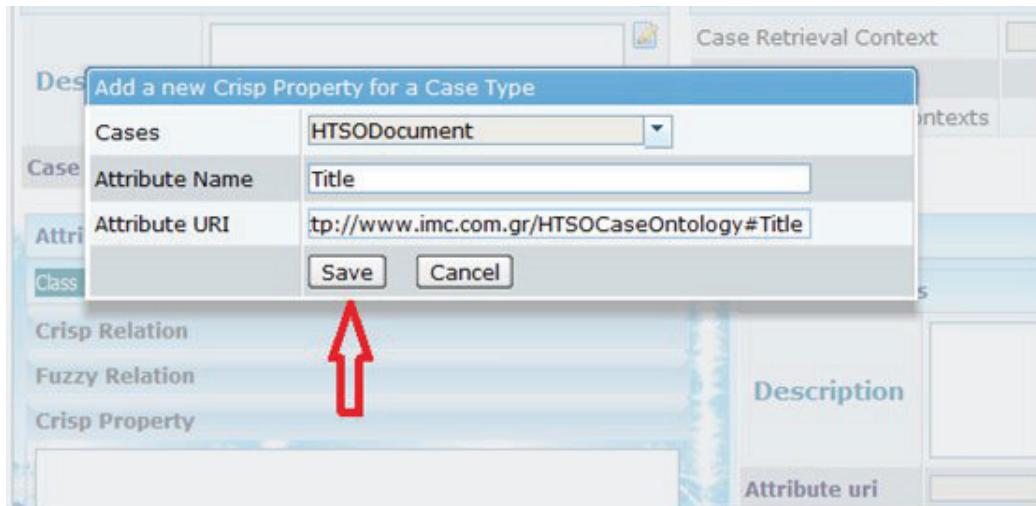
Σχήμα 6.19: Προσθήκη Τύπου Περιπτώσεων (1)



Σχήμα 6.20: Προσθήκη Τύπου Περιπτώσεων (2)



Σχήμα 6.21: Προσθήκη Γνωρίσματος (1)



Σχήμα 6.22: Προσθήκη Γνωρίσματος (2)

Class Attributes per type

Crisp Relation
Fuzzy Relation
Crisp Property

Title

Fuzzy Property
Fuzzy Valued Property

Attribute Details

Description
Attribute uri
Range
Cardinality

Attribute Similarit

Fuzzy Similarity Co
Many Values Mode
Weight
Value Cardinality In

Σχήμα 6.23: Προσθήκη Γνωρίσματος (3)

6.6.3 Ορισμός Νοηματικού Πλαισίου Ανάκτησης

Ο ορισμός του νοηματικού πλαισίου ανάκτησης γίνεται στη διαπροσωπεία του Context Manager όπου ορίζονται τα επιμέρους πλαίσια ομοιότητας για τα γνωρίσματα των περίπτωσεων και τις σχέσεις της οντολογίας πεδίου.

Ορισμός Πλαισίου Ανάκτησης Περίπτωσης

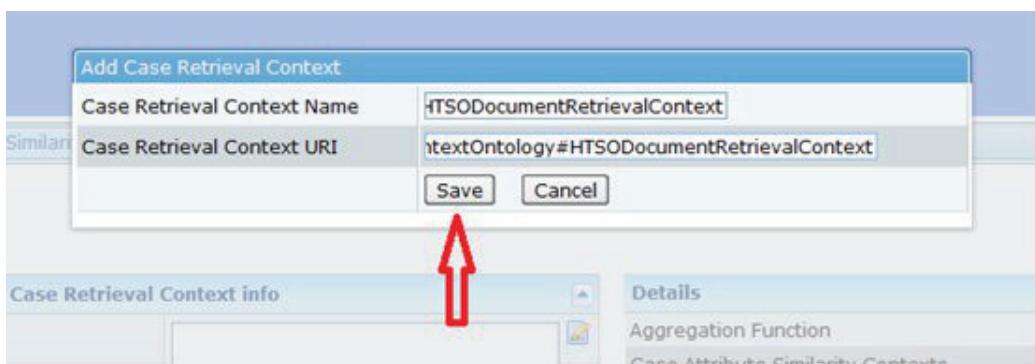
Για κάθε ξεχωριστό τύπο περίπτωσης πρέπει να ορίζεται τουλάχιστον ένα νοηματικό πλαισίο ανάκτησης. Αυτό γίνεται στην καρτέλα Case Retrieval Context του Context Manager όπου ο χρήστης ορίζει το uri του νέου πλαισίου και το συσχετίζει με τον αντίστοιχο τύπο περιπτώσης (σχήματα 6.24 και 6.25).

Ορισμός Πλαισίου Ομοιότητας Γνωρίσματος

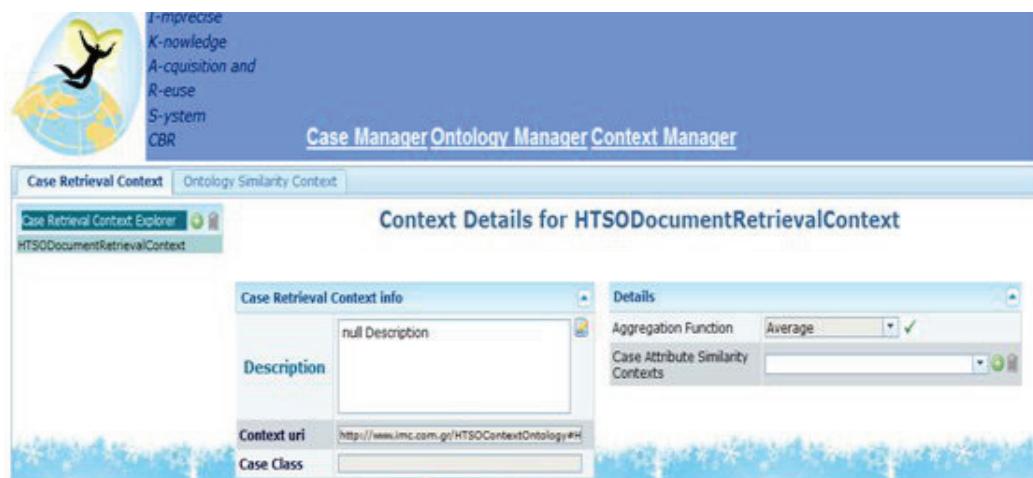
Για κάθε πλαισίο ανάκτησης πρέπει να οριστούν τα επιμέρους πλαίσια ομοιότητας των γνωρισμάτων του τύπου περιπτώσεων. Αυτό γίνεται ορίζοντας καταρχήν ένα uri για το κάθε πλαισίο (σχήματα 6.26 και 6.28), συμπληρώνοντας στη συνέχεια όλες τις απαραίτητες παραμέτρους αυτού (σχήμα 6.28) και συνδέοντας το τέλος με το αντίστοιχο γνώρισμα (σχήματα 6.29 και 6.30).

Ορισμός Πλαισίου Οντολογικής Ομοιότητας

Για κάθε πλαισίο ανάκτησης πρέπει να οριστεί επίσης τουλάχιστον ένα πλαισίο οντολογικής ομοιότητας για την οντολογία πεδίου. Αυτό γίνεται καταρχήν ορίζοντας ένα uri για το πλαισίο αυτό στην καρτέλα Ontology Similarity Context του Context Manager (σχήματα 6.31). Στη συνέχεια και ανάλογα με το είδος των σχέσεων της οντολογίας πεδίου ορίζονται επιμέρους πλαίσια ομοιότητας για συσχετιστικές και



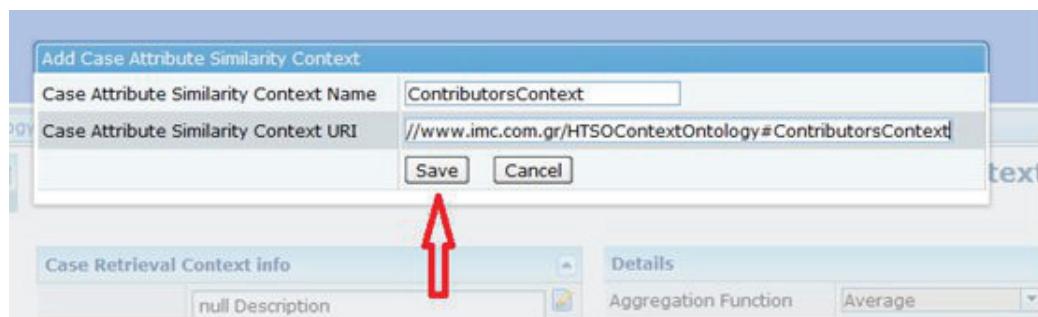
Σχήμα 6.24: Ορισμός Νοηματικού Πλαισίου Ανάκτησης (1)



Σχήμα 6.25: Ορισμός Νοηματικού Πλαισίου Ανάκτησης (2)



Σχήμα 6.26: Ορισμός Πλαισίου Ομοιότητας Γνωρίσματος (1)



Σχήμα 6.27: Ορισμός Πλαισίου Ομοιότητας Γνωρίσματος (2)

Details

Aggregation Function	Average	✓
Case Attribute Similarity Contexts	ContributorsContext	
Uri	null	
Weight	1	✓
Fuzzy Similarity Context	1	✓
Many Values Mode	1	✓
Value Cardinality Importance	0,1000000015	✓

Σχήμα 6.28: Παράμετροι Πλαισίου Ομοιότητας Γνωρίσματος

Details

Aggregation Function	Average	✓
Case Attribute Similarity Contexts	ContributorsContext	
Uri	null	
Weight	1	✓

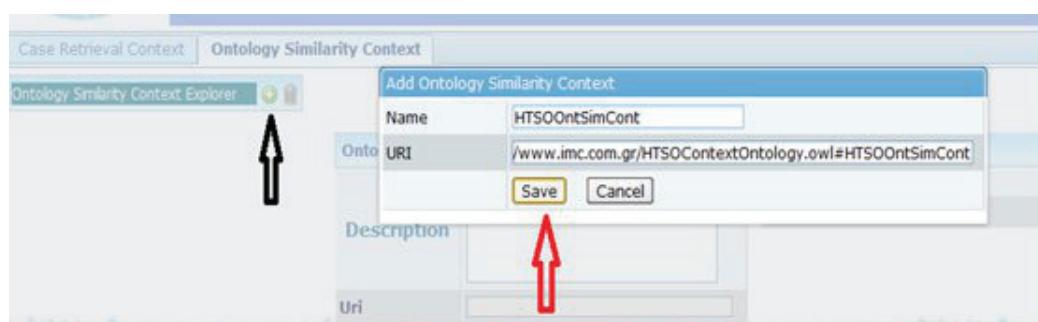
Σχήμα 6.29: Σύνδεση Πλαισίου Ομοιότητας Γνωρίσματος με Γνώρισμα (1)

Add Attribute Uri for a Case Attribute Similarity Context

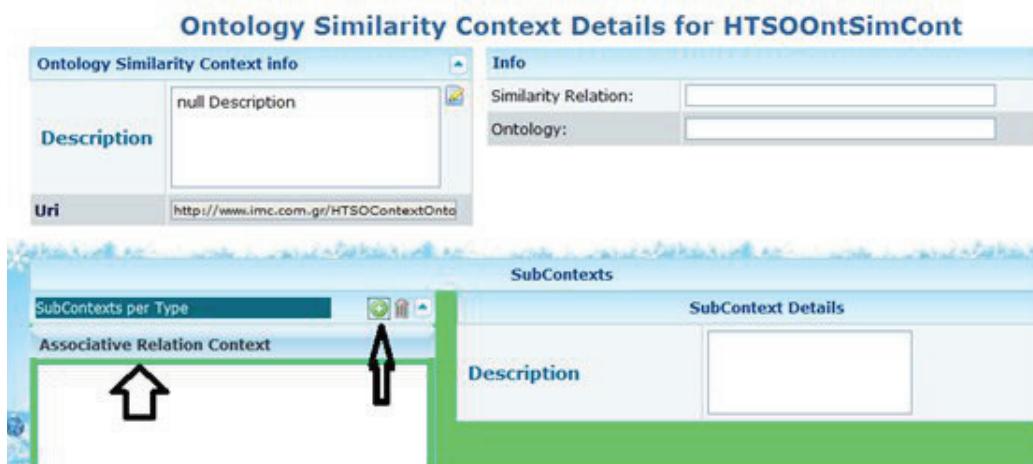
Attributes	<input type="text"/>
Attribute URI	<input type="text"/> Title PublicationDate Contributors RelevantExternalResources

Σχήμα 6.30: Σύνδεση Πλαισίου Ομοιότητας Γνωρίσματος με Γνώρισμα (2)

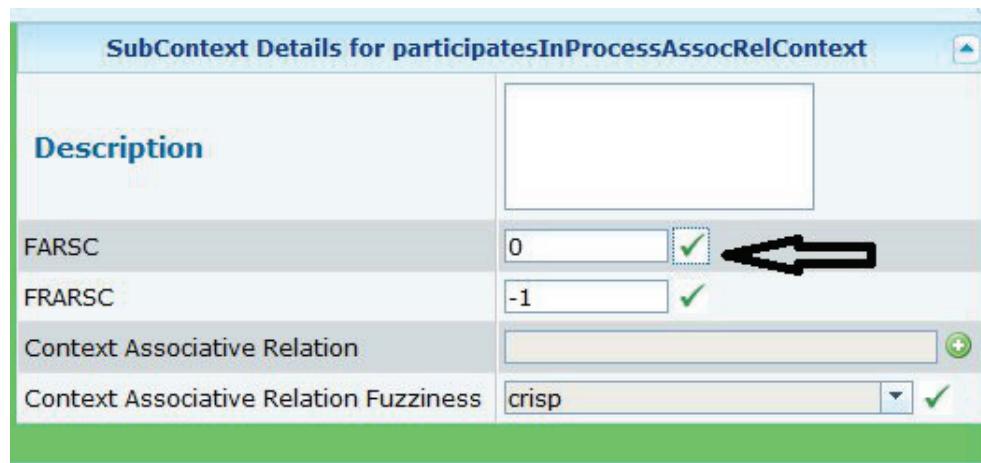
ιεραρχικές σχέσεις (σχήματα 6.32-6.36) καθώς και για σύνθετες (σχήματα 6.37-6.39).



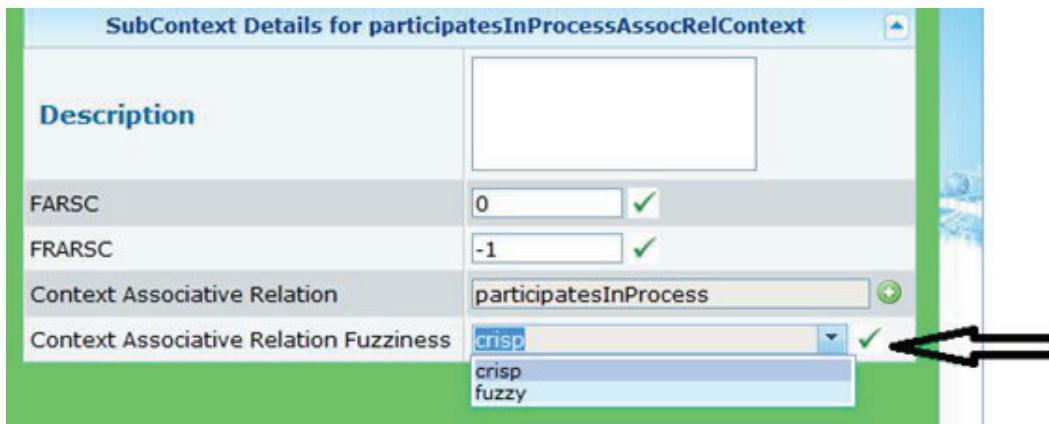
Σχήμα 6.31: Ορισμός Πλαισίου Οντολογικής Ομοιότητας



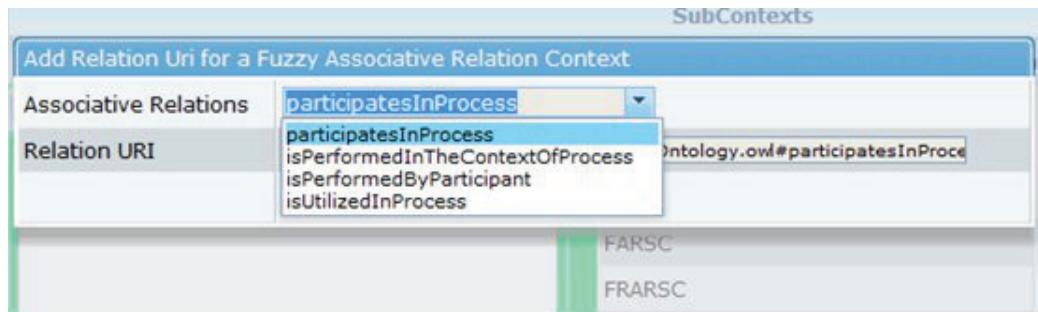
Σχήμα 6.32: Ορισμός Πλαισίου Ομοιότητας Συσχετιστικής Οντολογικής Σχέσης (1)



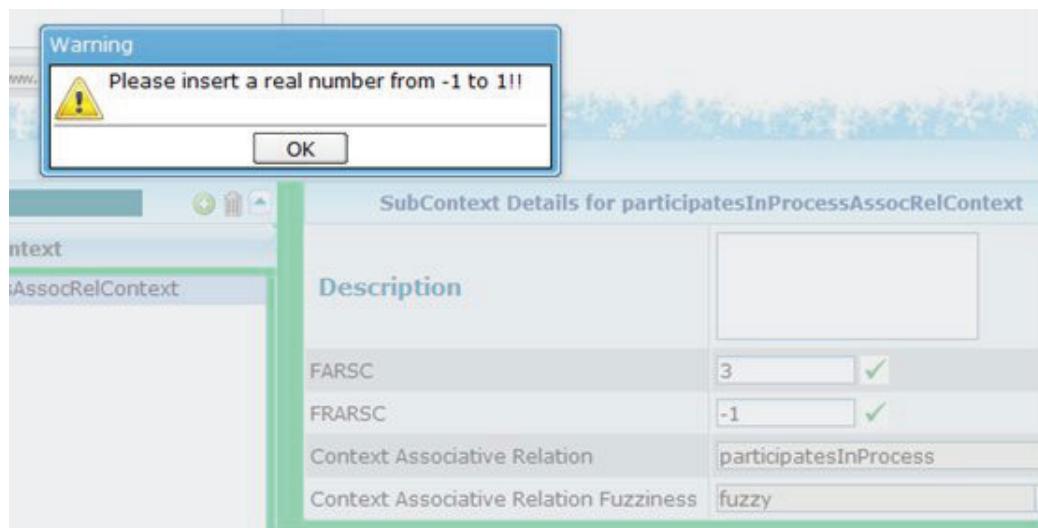
Σχήμα 6.33: Ορισμός Πλαισίου Ομοιότητας Συσχετιστικής Οντολογικής Σχέσης (2)



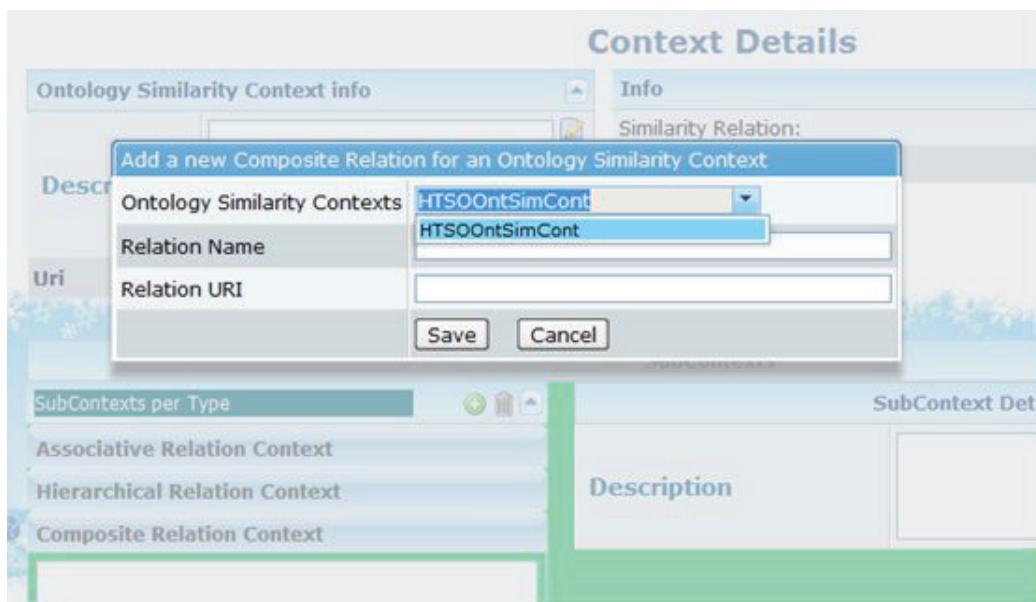
Σχήμα 6.34: Ορισμός Πλαισίου Ομοιότητας Συσχετιστικής Οντολογικής Σχέσης (3)



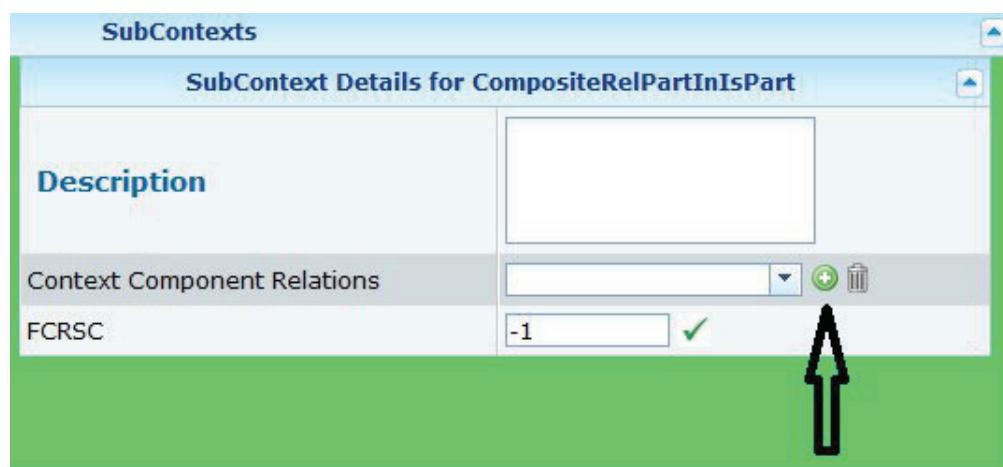
Σχήμα 6.35: Ορισμός Πλαισίου Ομοιότητας Συσχετιστικής Οντολογικής Σχέσης (4)



Σχήμα 6.36: Ορισμός Πλαισίου Οντολογικής Ομοιότητας



Σχήμα 6.37: Ορισμός Πλαισίου Οντολογικής Ομοιότητας



Σχήμα 6.38: Ορισμός Πλαισίου Οντολογικής Ομοιότητας

SubContext Details for CompositeRelPartInIsPart

Description	
Context Component Relations	partInProcessContext ▾ + trash
FCRSC	-1 ✓
Fuzziness	crisp ✓
Order	1 ✓
Uri	+
Mode	0 ✓
Type	1 ✓

Σχήμα 6.39: Ορισμός Πλαισίου Οντολογικής Ομοιότητας

Συμπεράσματα & Μελλοντική Έρευνα

Είναι σημαντικό να μη σταματάς να εξετάζεις.

Η περιέργεια έχει λόγο που υπάρχει.

—Albert Einstein

Hπαρούσα διδακτορική διατριβή είχε σαν στόχο την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου μεθοδολογικού και τεχνολογικού πλαισίου μέσω του οποίου οργανισμοί και επιχειρήσεις θα μπορούν να διαχειριστούν αποτελεσματικά και αποδοτικά εκείνη τη γνώση τους που είναι ασαφής. Λαμβάνοντας υπόψη τις βασικές διαδικασίες διαχείρισης γνώσης (συλλογή, οργάνωση, χρήση, συντήρηση), οι επιμέρους στόχοι που τέθηκαν για το συγκεκριμένο πλαίσιο αφορούσαν τη υλοποίηση μεθόδων και τεχνικών για:

- Τον εντοπισμό και τον προσδιορισμό της φύσης και το νόημα της ασάφειας που ενυπάρχει στη γνώση μιας επιχείρησης.
- Την εννοιολογική μοντελοποίηση της ασάφειας αυτής και την κωδικοποίηση και αποθήκευσή της σε υπολογιστικά επεξεργάσιμη και ερμηνεύσιμη μορφή.
- Την εκμετάλλευση της ασάφειας της γνώσης της επιχείρησης προκειμένου η τελευταία να βελτιώνει την αποτελεσματικότητα και αποδοτικότητα των βασισμένων στη γνώση λειτουργιών της.

Από την επισκόπηση της βιβλιογραφίας προέκυψε ότι τα υπάρχοντα πλαίσια διαχείρισης γνώσης και ασάφειας δεν καλύπτουν επαρκώς τις παραπάνω απαιτήσεις. Έτσι, η παρούσα διατριβή ήρθε να προτείνει το πλαίσιο **IKARUS** (**I**mprecise **K**nowledge **A**cquisition **R**epresentation and **U**se), ένα καινοτόμο υβριδικό πλαίσιο διαχείρισης ασαφούς γνώσης το οποίο καλύπτει την ανάγκη διαχείρισης ασαφούς γνώσης τόσο σε τεχνολογικό όσο και σε μεθοδολογικό επίπεδο.

Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε για την ανάπτυξη του πλαισίου IKARUS βασίστηκε στο συνδυασμό τεχνικών και μεθόδων από τις περιοχές της Συλλογιστικής Βασισμένης σε Περιπτώσεις, της Οντολογικής Μηχανικής και της Ασαφούς Λογικής. Οι λόγοι που ευνόησαν μια τέτοια προσέγγιση είναι μεταξύ άλλων οι εξής:

- Η ασαφής λογική αποτελεί καθιερωμένη προσέγγιση αναπαράστασης πληροφορίας που είναι ασαφής, αιτελής ή αβέβαιη και παρέχει σημαντικές δυνατότητες χειρισμού αυτής. Αυτό καθιστά την ενσωμάτωσή της στον υπάρχοντα συνδυασμό CBR και οντολογιών ευκολότερη και με σημαντικά αυξημένες πιθανότητες επιτυχίας.
- Τόσο η CBR τεχνική όσο και οι οντολογίες αποτελούν καθιερωμένες, εφαρμοσμένες και αποδεδειγμένα αποτελεσματικές προσεγγίσεις στο χώρο της διαχείρισης γνώσης. Η επιλογή διαφορετικών και λιγότερο διαδεδομένων προσεγγίσεων ως βάση του προτεινόμενου πλαισίου θα μείωνε σημαντικά τη δυναμική και την εφαρμοσιμότητα του τελευταίου.
- Το γεγονός ότι η ασαφής λογική είναι επέκταση της κλασσικής λογικής επιτρέπει την ενσωμάτωσή της στις οντολογίες με τέτοιο τρόπο ώστε οι ήδη υπάρχουσες μέθοδοι και τεχνικές μοντελοποίησης και ανάκτησης γνώσης να παραμένουν εφαρμόσιμες. Αυτό γραπτικά σημαίνει ότι το προτεινόμενο πλαίσιο θα μπορεί να χρησιμοποιείται ακόμα και σε περιπτώσεις όπου η διαθέσιμη γνώση είναι μερικώς ή και καθόλου ασαφής.

Έτσι, βάσει του παραπάνω συνδυασμού, τα συστατικά στοιχεία του πλαισίου IKARUS που αναπτύχθηκαν και προτάθηκαν στο πλαίσιο της διατριβής είναι τα εξής:

1. Η μεθοδολογία ανάπτυξης ασαφών οντολογιών **IKARUS-OnTo** η οποία επιτρέπει τη μοντελοποίηση ασαφούς γνώσης με τη μορφή οντολογιών.
2. Το πλαίσιο διαχείρισης ασαφούς επιχειρηματικής γνώσης **IKARUS-CBR** το οποίο επιτρέπει τη διαχείριση του κύκλου ζωής ασαφών γνωσιακών πόρων (knowledge assets) στο πλαίσιο της λειτουργίας ενός οργανισμού ή μιας επιχείρησης.
3. Η πλατφόρμα διαχείρισης ασαφούς γνώσης **IKARUS-Platform** η οποία επιτρέπει την πρακτική χρήση των παραπάνω θεωρητικών εργαλείων σε πραγματικά σενάρια εφαρμογής.

Αναλυτικότερα, η μεθοδολογία IKARUS-Onto που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 4 αποτελεί μια καινοτόμο μεθοδολογία μοντελοποίησης ασαφών οντολογιών η οποία συνεισφέρει στην αποτελεσματική ανάπτυξη επαναχρησιμοποιήσιμων και διαμοιράσιμων ασαφών οντολογιών παρέχοντας συγκεκριμένα βήματα και οδηγίες για:

- Την αποτελεσματική και σωστή αναγνώριση της ασαφούς γνώσης σε ένα πεδίο γνώσης (π.χ. μέσω της διαφοροποίησης της έννοιας της ασάφειας από άλλες έννοιες όπως είναι η αβεβαιότητα ή η αμφισημία).
- Τη μοντελοποίηση της γνώσης αυτής μέσω ασαφών οντολογικών στοιχείων με τρόπο ρητό και όσο το δυνατόν ακριβή.

Με αυτό τον τρόπο, η IKARUS-Onto επιτυγχάνει τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της διαδικασίας ανάπτυξης και της ποιότητας του τελικού προϊόντος, δηλαδή της ασαφούς οντολογίας. Οι κυριότεροι λόγοι για τους οποίους επιτυγχάνεται η βελτίωση αυτή σχετίζονται με το γεγονός ότι η μεθοδολογία :

- Εστιάζει περισσότερο στο ποια γνώση πρέπει να αναπαρασταθεί ως ασαφής στην οντολογία παρά στον ακριβή τρόπο που θα πρέπει να αναπαρασταθεί. Έτσι, ο μηχανικός μπορεί να εστιάσει περισσότερο στο περιεχόμενο της οντολογίας ανησυχώντας λιγότερο για τον φορμαλισμό που θα πρέπει να ακολουθήσει.
- Αντιμετωπίζει την ασάφεια ως "πολίτη πρώτης κατηγορίας" περιγράφοντας τη φύση της και τον τρόπο με τον οποίο συνήθως εμφανιζεται σε ένα πεδίο γνώσης. Εξασφαλίζει έτσι ότι όλοι οι εμπλεκόμενοι στη διαδικασία ανάπτυξης της οντολογίας θα μπορούν να αναγνωρίζουν την ασαφή γνώση του πεδίου ευκολότερα, πληρέστερα και με μεγαλύτερη ακρίβεια.
- Απαιτεί από το μηχανικό να δηλώσει (και να καταγράψει) ρητά το ακριβές νόημα των ασαφών οντολογικών στοιχείων που ορίζει. Αυτό έχει δύο σημαντικά πλεονεκτήματα: αφενός η επικοινωνία μεταξύ όλων των εμπλεκομένων στη διαδικασία ανάπτυξης γίνεται πιο αποτελεσματική και αφετέρου η οντολογία γίνεται περισσότερο διαμοιράσιμη και επαναχρησιμοποιήσιμη καθώς άτομα τα οποία δεν έχουν εμπλακεί στην ανάπτυξή της μπορούν εύκολα να καταλάβουν, μέσα από την τεκμηρίωση της οντολογίας, το νοήμα των ασαφών στοιχείων.
- Δεν αναιρεί τις πρακτικές και τις μεθόδους της κλασικής οντολογικής μηχανικής αλλά χτίζει πάνω από αυτές καλύπτοντας και αντιμετωπίζοντας τα ζητήματα που προκύπτουν από την ύπαρξη της ασάφειας. Αυτό επιτρέπει σε ανθρώπους που είναι ήδη εξοικειωμένοι με τις κλασικές οντολογίες να μεταθούν στην ανάπτυξη ασαφών οντολογιών γρηγορότερα και ομαλότερα.

- Χρησιμοποιεί ως αφετηρία ήδη κατασκευασμένες μη-ασαφείς οντολογίες. Αυτό επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση γνώσης (καθώς σε πολλά πεδία υπάρχουν ήδη διαθέσιμες οντολογίες) και κάνει πιο αποτελεσματική τη διαδικασία μοντελοποίησης (καθώς είναι ευκολότερο να δουλεύει κανείς σε ήδη δομημένη γνώση παρά σε αδόμητη).

Η σημασία και η αποτελεσματικότητα των παραπάνω χαρακτηριστικών επιβεβαιώθηκε μέσω ενός πειράματος στο οποίο έγινε προσπάθεια να μετρηθεί ο βαθμός βελτίωσης που επιτυγχάνει η μεθοδολογία στην αποτελεσματικότητα της διαδικασίας ανάπτυξης ασαφών οντολογιών. Η αξιολόγηση αυτή ήταν δύσκολη για δύο λόγους: Πρώτον γιατί δεν υπάρχει προηγούμενη ερευνητική δουλειά με την οποία θα μπορούσε να συγκριθεί άμεσα η IKARUS-Onto και δεύτερον, όπως φαίνεται από την έλλειψη σχετικών πειραμάτων αξιολόγησης, οι μεθοδολογίες ανάπτυξης οντολογιών δεν μπορούν να αξιολογηθούν αντικειμενικά λόγω της υποκειμενικής φύσης του πεδίου. Παρόλ' αυτά, στη συγκεκριμένη διατριβή, η IKARUS-Onto αξιολογήθηκε από ανθρώπους σχετικούς με τη διαδικασία ανάπτυξης οντολογιών οι οποίοι εκτίμησαν το εάν και κατά πόσο η εφαρμογή της μεθοδολογίας βελτίωσε την αποτελεσματικότητα και την αποδοτικότητα της όλης διαδικασίας. Τα αποτελέσματα του πειράματος ήταν θετικά για την IKARUS-Onto.

Γενικότερα, η ύπαρξη μιας λεπτομερούς και συγκεκριμένης μεθοδολογίας η οποία διευκολύνει και προτυποποιεί την ανάπτυξη ασαφών οντολογιών είναι αρκετά σημαντική για το σχετικό πεδίο έρευνας. Πρώτα απ' όλα, η δομή της μεθοδολογίας είναι τέτοια που επιτρέπει την εκμετάλλευση υπαρχουσών κλασσικών οντολογιών για την κατασκευή των αντίστοιχων ασαφών. Δεύτερον, η προτυποποίηση της διαδικασίας καθιστά τις παραγόμενες οντολογίες εύκολα επαναχρησιμοποίησιμες το οποίο με τη σειρά του επιτρέπει τη σταδιακή ανάπτυξη ολοένα και μεγαλύτερων ασαφών οντολογιών οι οποίες μπορούν να χρησιμεύσουν ως γενικές οντολογίες αναφοράς. Τέλος, η ανεξαρτησία της μεθοδολογίας από τις γλώσσες κωδικοποίησης των ασαφών οντολογιών επιτρέπει στους ειδικούς πεδίου να επικεντρώνονται στο περιεχόμενο και τη δομή της οντολογίας χωρίς να χρειάζονται πολύ μεγάλη βοήθεια από τους μηχανικούς γνώσης.

Το δεύτερο συστατικό στοιχείο του πλαισίου IKARUS που προτάθηκε στη συγκεκριμένη διατριβή είναι το πλαίσιο διαχείρισης ασαφούς επιχειρηματικής γνώσης IKARUS-CBR το οποίο μπορεί να διαχειριστεί και να εκμεταλλευτεί ασαφή γνώση μέσω της αποτελεσματικής ενσωμάτωσης ασαφών οντολογιών στη CBR τεχνική.

Η ενσωμάτωση αυτή πραγματοποιείται σε δύο επίπεδα, στο επίπεδο της αναπαράστασης ασαφούς γνώσης και στο επίπεδο της εκμετάλλευσης της τελευταίας για την αποτελεσματική ανάκτηση πειριπτώσεων. Για το πρώτο επίπεδο, το πλαίσιο ορίζει

ένα περιεκτικό μοντέλο αναπαράστασης ασαφών οντολογιών το οποίο και χρησιμοποιεί για να αναπαραστήσει την ασάφεια που χαρακτηρίζει τόσο τα χαρακτηριστικά των περιπτώσεων όσο και τις τιμές αυτών. Για το δεύτερο επίπεδο, το IKARUS-CBR ορίζει ένα πλαίσιο ασαφούς σημασιολογικής ομοιότητας το οποίο και χρησιμοποιεί για την ανάκτηση των ασαφώς ορισμένων περιπτώσεων.

Ειδικά στο κομμάτι της ανάκτησης, το πλαίσιο IKARUS-CBR ορίζει ένα μέτρο ομοιότητας το οποίο έχει δύο πολύ σημαντικά χαρακτηριστικά:

1. Συνδυάζει τις δυνατότητες συμπερασμού (reasoning) των οντολογιών με αυτές των ασαφών συστημάτων προκειμένου να υπολογίσει την ομοιότητα μεταξύ ασαφώς ορισμένων περιπτώσεων. Από τη βιβλιογραφία προκύπτει ότι καμία άλλη CBR προσέγγιση δεν κάνει κάτι τέτοιο.
2. Θεωρεί τον υπολογισμό της ομοιότητας ως μια διαδικασία αρκετά υποκειμενική και εξαρτώμενη από το εκάστοτε σενάριο εφαρμογής που προκειμένου να εκτελεστεί αποτελεσματικά χρειάζεται κάποιου είδους πληροφορία νοηματικού πλαισίου (contextual information). Για το σκοπό αυτό ορίζει ένα περιεκτικό τέτοιο μοντέλο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσαρμογή της διαδικασίας υπολογισμού της ομοιότητας στις ιδιαίτερες απαιτήσεις του οποιουδήποτε σεναρίου εφαρμογής.

Η σημασία και η αποτελεσματικότητα των παραπάνω χαρακτηριστικών επιβεβαιώθηκε μέσω της πρακτικής εφαρμογής και αξιολόγησης του πλαισίου σε ένα πραγματικό σενάριο εφαρμογής (ενότητες 5.4 και 5.5) όπου έγινε προσπάθεια να μετρηθεί ο βαθμός βελτίωσης που επιτυγχάνει η μοντελοποίηση και εκμετάλλευση της ασάφειας στη γνώση του οργανισμού. Τα πειραματικά αποτελέσματα της αξιολόγησης, όπως παρουσιάστηκαν στην ενότητα 5.5, έδειξαν ότι η προσέγγιση του πλαισίου IKARUS-CBR είναι πιο αποτελεσματική από εκείνη που δε λαμβάνει υπόψη ούτε την ασάφεια της γνώσης αλλά ούτε και το νοηματικό πλαίσιο της εφαρμογής.

Τέλος, το πλαίσιο IKARUS συμπληρώνεται από την πλατφόρμα διαχείρισης ασαφούς γνώσης IKARUS-Platform, ένα σύστημα λογισμικού το οποίο υλοποιεί τη μεθοδολογία IKARUS-Onto και το πλαίσιο IKARUS-CBR σε επίπεδο συστήματος, επιτρέποντας έτσι τη μοντελοποίηση και εκμετάλλευση ασαφούς γνώσης σε πρακτικά σενάρια εφαρμογής. Μαζί με την πλατφόρμα προδιαγράφηκε και μια γενική μεθοδολογία χρήσης αυτής η οποία ορίζει τα βήματα που απαιτούνται για τη σχεδίαση και τη χρήση μιας τυπικής εφαρμογής διαχείρισης ασαφούς γνώσης.

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της πλατφόρμας IKARUS μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- Ο μηχανισμός ανάκτησης γνώσης της πλατφόρμας είναι σε μεγάλο βαθμό παραμετροποιήσιμος χάρη στο νοηματικό πλαίσιο ανάκτησης του πλαισίου IKARUS-CBR. Με αυτό τον τρόπο οι χρήστες του συστήματος μπορούν να προσαρμόσουν την ανάκτηση με τέτοιο τρόπο ώστε να ανταποκρίνεται στις 1-διαίτερες απαιτήσεις του εκάστοτε σεναρίου εφαρμογής.
- Η αναπαράσταση όλων των οντολογικών σχημάτων της πλατφόρμας γίνεται με βάση τη γλώσσα OWL επιτρέποντας έτσι τη διαλειτουργικότητα της πλατφόρμας με οποιοδήποτε εξωτερικό σύστημα περιέχει γνώση εκφρασμένη με βάση τον ίδιο φορμαλισμό.
- Η πλατφόρμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε σενάρια και πεδία όπου υπάρχει μερική ή και καθόλου ανάγκη για αντιμετώπιση της ασάφειας καθώς, δεδομένου ότι μια μη ασαφής οντολογία αποτελεί ειδική περίπτωση μιας ασαφούς, όλη η σχετική λειτουργικότητα της πλατφόρμας είναι εφαρμόσιμη και σε μη ασαφή γνώση.

Συνολικά, το πλαίσιο IKARUS αποτελεί μια προσπάθεια ανάδειξης της ασάφειας της γνώσης ως κάτι διαχειρίσιμο και ωφέλιμο για μια επιχείρηση παρέχοντας τις τεχνολογικές και μεθοδολογικές βάσεις για κάτι τέτοιο. Στο πνεύμα αυτό, πιθανές κατευθύνσεις μελλοντικής έρευνας και εξέλιξης των προτάσεων της διατριβής αποτελούν οι εξής:

- Η ανάπτυξη ενός μηχανισμού αυτόματης μάθησης του νοηματικού πλαισίου οντολογικής ομοιότητας του IKARUS-CBR ο οποίος θα υπολογίζει, με βάση τη συμπεριφορά των χρηστών, τις βέλτιστες τιμές των παραμέτρων του πλαισίου.
- Η ανάπτυξη ενός μηχανισμού σημασιολογικού χαρακτηρισμού κειμένων ο οποίος θα βασίζεται (και) σε ασαφείς οντολογίες και θα χρησιμεύει για την ημιαυτόματη ανάθεση τιμών στα μεταδεδομένα των ασαφών περιπτώσεων στο πλαίσιο IKARUS-CBR.
- Η ανάπτυξη μηχανισμών αυτόματου υπολογισμού των ασαφών βαθμών μιας ασαφούς οντολογίας μέσω της εκμετάλλευσης ποικιλίας θεωριών και μεθόδων από χώρους όπως η Υπολογιστική Επιχειρηματολογία (Computational Argumentation), τα Κοινωνικά Δίκτυα, τα Διασυνδεδεμένα Δεδομένα (Linked Data) και η Μηχανική Μάθηση.
- Η περαιτέρω οντολογική ανάλυση των ειδών της ασάφειας στην επιχειρηματική γνώση και η διερεύνηση μεθόδων και τεχνικών μοντελοποίησης και εκμετάλλευσης αυτών.

Βιβλιογραφία

- [1] Maedche A. and Zacharias V., “Clustering ontology-based metadata in the semantic web”, In the proceedings of the *PKDD '02: Proceedings of the 6th European Conference on Principles of Data Mining and Knowledge Discovery*, Springer-Verlag, London, UK, 348–360, 2002.
- [2] Aamodt A. and Plaza E., “Case-based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations and Systems Approaches”, *AI-Communications*, vol. 7(1), 35 – 59, 1998.
- [3] Bernaras A., Laresgoiti I., and Corera J., “Building an reusing ontologies for electrical network applications”, *European Conference on Artificial Intelligence*, 298–302, 1996.
- [4] Farquhar A., Fikes R., and Rice J., “The Ontolingua Server: A Tool for Collaborative Ontology Construction”, *International Journal of Human Computer Studies*, vol. 46(6), 1997.
- [5] Gomez Perez A., Corcho O., and Fernandez Lopez M., *Ontological Engineering*, Springer-Verlang London Limited, 2004.
- [6] Napoli A., Lieber J., and Courien R., “Classification-Based Problem Solving in CBR”, In the proceedings of the *Proceedings of the Third European Workshop on Advances in Case-Based Reasoning (EWCBR '96)*, volume 1168 of *LNCS*, Springer-Verlag, 295–308, 1996.
- [7] Recio Garcia A.J., *jCOLIBRI: A multi-level platform for building and generating CBR systems*, PhD Thesis, Department of Software Engineering and Artificial Intelligence, Complutense University of Madrid., 2008.
- [8] Recio Garcia A.J., Diaz Agudo B., Gonzalez Calero P., and Sanchez A., “Ontology based CBR with jCOLIBRI”, *Applications and Innovations in Intelligent Systems XIV. Proceedings of AI-2006, the Twenty-sixth SGAI International Conference on Innovative Techniques and Applications of Artificial Intelligence*, 149–162, 2006.

- [9] Diaz Agudo B. and Gonzalez Calero P.A., “An architecture for knowledge intensive cbr systems”, In the proceedings of the *E. Blanzieri and L. Portinale, editors, Proceedings of the 5th European Workshop on Advances in Case-Based Reasoning (EWCBR '00), volume 1898 of LNCS*, 37–48, 2000.
- [10] Diaz Agudo B. and Gonzalez Calero P.A., “Knowledge intensive cbr through ontologies”, In the proceedings of the *B. Lees, editor, Proceedings of the 6th UK CBR Workshop*, 2001.
- [11] Diaz Agudo B. and Gonzalez Calero P.A., “An ontological approach to develop Knowledge Intensive CBR systems”, *Ontologies in the Context of Information Systems*, 2006.
- [12] Lopez B. and Plaza E., “Case-based learning of strategic knowledge”, *Machine Learning EWSL-91, Lecture Notes in Artificial Intelligence, ed Kodratoff*, 398–411, 1993.
- [13] Motik B., “On the properties of metamodeling in owl”, In the proceedings of the *Yolanda Gil, Enrico Motta, Richard V. Benjamins, and Mark Musen, editors, Proceedings of the 4th International Semantic Web Conference (ISWC 2005), volume 3729 of LNCS*, 548–562, 2005.
- [14] Carlsson C. and Fuller R., “Fuzzy multiple criteria decision making: recent developments”, *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 78(2), 139–153, 1996.
- [15] Kahraman C., “Fuzzy decision-making applications (Special issue)”, *Journal of Approximate Reasoning*, vol. 44(2), 2007.
- [16] Lutz C., “Reasoning with concrete domains”, 16th International Joint Conference on Artificial Intelligence, 90–95, 1999.
- [17] Lutz C., “Nexp time-complete description logics with concrete domains”, *ACM Transactions in Computational Logic*, vol. 5(4), 669–705, 2004.
- [18] Shapiro C. and Varian H., *Information rules*, Harvard Business School Press, 1999.
- [19] Lee C.S., Jian Z.W., and Huang L.K., “A fuzzy ontology and its application to news summarization”, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics (Part B)*, vol. 35, No. 5, 859–880, 2005.
- [20] Aha D. and Breslow L., “Refining conversational case libraries”, *Case-Based Reasoning Research and Development (ICCBR'97), Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer*.

- [21] Aha D., Breslow L., and Munoz Avila H., “Conversational case-based reasoning”, *Applied Intelligence*.
- [22] Brickley D. and Guha R.V., *RDF Vocabulary Description Language 1.0: RDF Schema*. W3C Working Draft, W3C Working Draft, <http://www.w3.org/TR/PR-rdf-schema>, 2003.
- [23] Hyde D., *Vagueness, Logic and Ontology*, Ashgate New Critical Thinking in Philosophy, 2008.
- [24] Leake D. and Wilson D., *Case Based Reasoning: Experiences, Lessons & Future Directions*, AAAI-Press., 1996.
- [25] Parry D., “A fuzzy ontology for medical document retrieval”, In the proceedings of the *Proceedings of the Second Workshop on Australasian information Security, Data Mining and Web intelligence, and Software internationalisation - Volume 32 (Dunedin, New Zealand)*. J. Hogan, P. Montague, M. Purvis, and C. Steketee, Eds. ACM International Conference Proceeding Series, vol. 54. Australian Computer Society, Darlinghurst, Australia, 121-126, 2004.
- [26] Vrandecic D., Pinto H.S., Sure Y., and Tempich C., “The DILIGENT knowledge processes”, *Journal of Knowledge Management*, vol. 9(5), 2005.
- [27] Walker D., *Similarity Determination and Case Retrieval in an Intelligent Decision Support System for Diabetes Management*, Master of Science Thesis, Ohio University, 2007.
- [28] Lenat D.B. and Guha R.V., *Building Large Knowledge-based Systems: Representation and Inference in the Cyc Project*, Addison-Wesley, Boston, Massachusetts, 1992.
- [29] Lenat D.B. and Guha R.V., *Reusable Components for Knowledge Modelling: Principles and Case Studies in Parametric Design*, IOS Press, Amsterdam, The Netherlands, 1999.
- [30] Teece D.J., “Capturing Value from Knowledge Assets: The New Economy, Markets for Know-How, and Intangible Assets”, *CALIFORNIA MANAGEMENT REVIEW*, vol. 40, No. 3, 55-79, 1998.
- [31] Plaza E. and Lopezde Mantaras R., “A case-based apprentice that learns from fuzzy examples”, *Methodologies for Intelligent Systems 5, ed Ras, Zemankova and Emrich*, 420-427, 1990.
- [32] Escobar E.L.G., Yaguinima C.A., and Bajic M., “Using fuzzy ontologies to extend semantically similar data mining”, XXI Simposio Brasileiro de Banco de Dados (SBBD), 2006, Florianopolis (SC). p. 16-30., 2006.

- [33] Baader F., McGuinness D., Nardi D., and Patel Schneider P.F., *The Description Logic Handbook: Theory, implementation and applications*, Cambridge University Press, 2002, 2002.
- [34] Bobillo F., Delgado M., and Gomez Romero J., “DeLorean: A Reasoner for Fuzzy OWL 1.1”, I4th International Workshop on Uncertainty Reasoning for the Semantic Web (URSW 2008)., 2008.
- [35] Baader F. and Hanschke P., “A schema for integrating concrete domains into concept languages”, 12th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-91), 425–457, 1991.
- [36] Bobillo F. and Straccia U., “fuzzydl: An expressive fuzzy description logic reasoner”, 2008 International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-08), 2008.
- [37] Huber G., “A theory of the effects of advanced information technologies on organisational design, intelligence, and decision-making”, *Academy of Management Review*, vol. 15:1, 47–71, 1990.
- [38] Klir G. and Yuan B., *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic, Theory and Applications*, Prentice Hall, 1995.
- [39] Stoilos G., Stamou G., Pan J.Z., Simou N., and Tzouvaras V., *Reasoning with the Fuzzy Description Logic f-SHIN: Theory, Practice and Applications*, In Paulo CG Costa, Claudia d'Amato et al. (eds) Uncertainty Reasoning for the Semantic Web I, 2008.
- [40] Stoilos G., Stamou G., Tzouvaras V., Pan J.Z., and Horrocks I., “The Fuzzy Description Logic f-SHIN”, International Workshop on Uncertainty Reasoning For the Semantic Web (2005)., 2005.
- [41] Schreiber G., Akkermans H., Anjewierden A., Hoog R., Shadbolt N., Velde W., and Wielinga B.J., *Knowledge Engineering and Management: The CommonKADS Methodology*, MIT Press, 2vδ εδ., 2002.
- [42] Stoilos G., Straccia U., Stamou G., and Pan J.Z., “General concept inclusions in fuzzy description logics”, 17th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI 06), Riva del Garda, Italy, 2006, 2006.
- [43] Mentzas G.N., Apostolou D., Abecker A., and Young R., *Knowledge Asset Management: Beyond the Process-centric and Product-centric Approaches to Knowledge Management*, Springer-Verlag, London, 2002.
- [44] Doukas H., Botsikas A., and Psarras J., “Multi criteria decision aid for the formulation of sustainable technological energy priorities using linguistic

- variables”, *European Journal of Operational Research*, vol. 182, No. 2, 844 – 855, 2007.
- [45] Doukas H., Karakosta C., and Psarras J., “A linguistic topsis model to evaluate the sustainability of renewable energy options”, *International Journal of Global Energy Issues, Special Issue on Energy Efficiency, Environmental Performance and Sustainability*, vol. 32, No. 1/2, 102 – 118, 2009.
- [46] Doukas H., Karakosta C., and Psarras J., “Computing with words to assess the sustainability of renewable energy options”, *Expert Systems with Applications*, vol. 37, No. 7, 5491 – 5497, 2010.
- [47] De Meyer H., Naessens H., and De Baets B., “Algorithms for computing the mintransitive closure and associated partition tree of a symmetric fuzzy relation”, *European Journal of Operational Research*, vol. 155, 226–238, 2004.
- [48] Gu H., Lv H., Gao J., and Shi J., “Towards a general fuzzy ontology and its construction”, International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering (ISKE 2007), 2007.
- [49] Shimazu H., “A textual case-based reasoning system using XML on the world-wide web”, *Advances in Case Based Reasoning (EWCBR'98), Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer*.
- [50] Lee H.S., “An optimal algorithm for computing the maxmin transitive closure of a fuzzy similarity matrix”, *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 123, 129–136, 2001.
- [51] Horrocks I., Patel Schneider P.F., and van Harmelen F., “From SHIQ and RDF to OWL: The making of a web ontology language”, *Journal of Web Semantics*, vol. 1(1), 2003.
- [52] Horrocks I., Sattler U., and Tobies S., “Reasoning with Individuals for the Description Logic SHIQ”, In David MacAllester, editor, CADE-2000, number 1831 in LNAI, 482–496, 2000.
- [53] Nonaka I., “The knowledge-creating company”, *Harvard Business Review*, vol. 69, 96–104, 1991.
- [54] Nonaka I., “A dynamic theory of organisational knowledge creation”, *Organisation Science*, vol. 5(1), 1994.
- [55] Nonaka I. and Ray T., “Knowledge Creation In Japanese Organizations: Building The Dimensions Of Competitive Advantage”, *First Theory-Oriented*

- Research Group, National Institute of Science and Technology Policy Science and Technology Agency*, 1993.
- [56] Watson I., "Report on Expert Systems 99 Workshop: Using AI to Enable Knowledge Management", *Expert Update*, vol. 3(2), 36 – 38, 2000.
 - [57] Watson I., "Case-Based Reasoning and Knowledge Management: a Perfect Match?" In the proceedings of the *14th Int. FLAIRS Conference, Key West Florida May 21-23 2001*, AAAI Press, 118 – 123, 2001.
 - [58] Watson I., *Applying Knowledge Management: Techniques for Building Corporate Memories*, Morgan Kaufmann Publishers Inc, San Francisco CA, 2003.
 - [59] Arcos J. and Plaza E., "Reflection in NOOS: An object-oriented representation language for knowledge modelling", *IJCAI-95 Workshop on reflection and meta-level architecture and their applications in AI*.
 - [60] Hope J. and Hope T., *Competing in the third wave*, Harvard Business School Press, 1997.
 - [61] Koehler J., "An Application of Terminological Logics to CBR", In *J. Doyle, E. Sandewall, and P. Torasso, editors, KR'94: Principles of Knowledge Representation and Reasoning*, 351–362, 1994.
 - [62] Zhai J., Liang Y., Jiang J., and Yu Y., "Fuzzy ontology models based on fuzzy linguistic variable for knowledge management and information retrieval", *Intelligent Information Processing IV*, 58–67, 2008.
 - [63] Dietz J.L.G., *Enterprise Ontology: Theory and Methodology*, Springer, 2006.
 - [64] Anagnostopoulos K., Doukas H., and Psarras J., "A linguistic multicriteria analysis system combining fuzzy sets theory, ideal and anti-ideal points for location site selection", *Expert Systems With Applications*, vol. 35, 2041 – 2048, 2007.
 - [65] Kotis K. and Vouros A., "Human-centered ontology engineering: The H-COME methodology", *Knowledge and Information Systems*, vol. 10, No. 1, 109–131, 2006.
 - [66] Ashley K.D. and Aleven V., "A Logical Representation for Relevance Criteria", In the proceedings of the *EWCBR '93: Selected papers from the First European Workshop on Topics in CBR*, volume 837 of *LNCS*, Springer-Verlag, 338–352, 1994.
 - [67] Zadeh L.A., "Fuzzy Sets", *Information and Control*, vol. 8, 228–353, 1965.

- [68] Zadeh L.A., “From search engines to question-answering systems the need for new tools”, In the proceedings of the *12th IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, vol. 2, 1107 – 1109, 2003.
- [69] Kuncheva L.I., Bezdek J.C., and Duin R.P.W., “Decision templates for multiple classifier fusion”, *Pattern Recognition*, vol. 34(2), 299–314, 2001.
- [70] Fernandez Lopez M., Gomez Perez A., Sierra J.P., and Sierra A. P., “Building a Chemical Ontology Using Methontology and the Ontology Design Environment”, *IEEE Intelligent Systems*, vol. 14, No. 1, 37–46, 1999.
- [71] Fernandez Lopez M., Gomez Perez A., and Juristo N., “METHONTOLOGY: From Ontological Art Towards Ontological Engineering”, *Spring Symposium on Ontological Engineering of AAAI*, 33–40, 1997.
- [72] Gruninger M. and Fox M.S., “Methodology for the Design and Evaluation of Ontologies”, *IJCAI-95 Workshop Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing*, 1995.
- [73] Hefke M., “A Framework for the Successful Introduction of KM Using CBR and Semantic Web Technologies”, *Journal of Universal Computer Science*, vol. 10, No. 6, 731–739, 2004.
- [74] Jaczynski M. and Trousse B., “Fuzzy Logic for the retrieval step of a case-based reasoner”, *Proceedings Second European Workshop on Case-Based Reasoning*, 313–322, 1994.
- [75] Jarrar M. and Meersman R., “Ontology Engineering - The DOGMA Approach”, *Advances in Web Semantics, Volume I, LNCS 4891*, 2004.
- [76] Kifer M., Lausen G.G., and Wu J., “Logical Foundations of Object-Oriented and Frame-Based Languages”, *Journal of the ACM*, vol. 42(4), 1995.
- [77] Lenz M. and Ashley K., *Proceedings of the AAAI98 Workshop on Textual Case-Based Reasoning*, AAAI Press, 1998.
- [78] Minski M., *A Framework for Representing Knowledge*, Behavioral Science, 1981.
- [79] Manago M., Bergmann R., Wess S., and Traphfner R., *CASUEL: A Common Case Representation Language - Version 2.0*, ESPRIT-Project INRECA Deliverale D1, 1994.
- [80] Uschold M. and Gruninger M., “Ontologies: Principles, Methods and Applications”, *Knowledge Engineering Review*, vol. 11(2), 93–155, 1996.

- [81] Uschold M. and King M., "Towards a Methodology for Building Ontologies", *IJCAI-95 Workshop Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing*, 6.1-6.10, 1995.
- [82] Wallace M., Mylonas Ph., Akrivas G., Avrithis Y., and Kollias S., "Automatic thematic categorization of multimedia documents using ontological information and fuzzy algebra", *Studies in Fuzziness and Soft Computing, Soft Computing in Ontologies and Semantic Web*, vol. 204, 2006.
- [83] Wallace M., Avrithis Y., and Kollias S., "Computationally efficient sup-t transitive closure for sparse fuzzy binary relations", *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 157, No. 3, 341 – 372, 2006.
- [84] Genesereth M.R. and Fikes R.E., *Knowledge Interchange Format. Version 3.0. Reference Manual*, Computer Science Department, Stanford University, California, 1992.
- [85] Simou N. and Kollias S., "Fire : A fuzzy reasoning engine for imprecise knowledge", K-Space PhD Students Workshop, Berlin, Germany, 14 September 2007, 2007.
- [86] Lassila O. and Swick R., *Resource Description Framework (RDF) model and Syntax Specification W3C Recommendation*, W3C Recommendation, <http://www.w3.org/TR/REC-rdf-syntax>, 1999.
- [87] Alexopoulos P., Wallace M., Kafentzis K., and Thomopoulos A., "A fuzzy knowledge-based decision support system for tender call evaluation", In the proceedings of the *Proceedings of the 5th IFIP Conference on Artificial Intelligence Applications & Innovations (AIAI 2009)*, 2009.
- [88] Bonissone P. and de Mantaras R.L., "Case-based reasoning", *Handbook of Fuzzy Computing*, 1998.
- [89] Bonissone P. and Ayub S., "Similarity measures for case-based reasoning systems", *Proceedings of the International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems (IPMU-92), (Mallorca, Spain)*, 483–487, 1992.
- [90] Bonissone P. and Ayub S., "Representing cases and rules in plausible reasoning systems", *Proceeding of the 1994 ARPA/RL Planning Initiative, (Tucson, AZ)*, 305–316, 1994.
- [91] Drucker P., *Post-capitalist society*, New York: Harper Collins, 1993.
- [92] Drucker P., "The future that has already happened", *Harvard Business Review*, 1997.

- [93] Drucker P., “Beyond the information revolution”, *The Atlantic Monthly*, 47–57, 1999.
- [94] Dawyndt P., De Meyer H., and De Baets B., “The complete linkage clustering algorithm revisited”, *Soft Computing - A Fusion of Foundations, Methodologies and Applications*, vol. 9(5), 385–392, 2005.
- [95] Karp P., Chaudri V., and Thomere J., *XOL: An XML-Based Ontology Exchange Language. Version 0.3. Technical Report*, <http://www.ai.sri.com/pkarp/xol/xol.html>, 1999.
- [96] Gonzalez Calero P.A., Gomez Albaran M., and Diaz Agudo B., “A substitution-based adaptation model”, In the proceedings of the *Challenges for Case-Based Reasoning - Proceedings of the ICCBR'99 Workshops*, University of Kaiserslautern, 1999.
- [97] Patel Schneider P.F., Hayes P., and Horrocks I., *OWL Web Ontology Language Semantics and Abstract Syntax*, Technical report, W3C Recommendation, 2004.
- [98] Tho Q.T., Hui S.C., Fong A.C.M., and Cao T.H., “Automatic fuzzy ontology generation for semantic web”, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 18, No. 6, 824–856, 2006.
- [99] Bergmann R., Althoff K.D., Breen S., Gfker M., Manago M., Traphfner R., and Wess S., *Developing Industrial Case-Based Reasoning Applications, LNAI 1612*, Springer, 1999.
- [100] MacGregor R., “Inside the LOOM classifier”, *SIGART bulletin*, vol. 2(3), 1991.
- [101] Neches R., Fikes R., Finin T., Gruber T., Patil R., Senator T., and Swartout W.R., “Enabling technology for knowledge sharing”, *AI Mag.*, vol. 12, No. 3, 36–56, 1991.
- [102] Quillian R., *A Framework for Representing Knowledge*, Behavioral Science, 1967.
- [103] Studer R., Benjamins V.R., and Fensel D., “Knowledge Engineering: Principles and Methods”, *IEEE Transactions on Data and Knowledge Engineering*, vol. 25(1-2), 161 – 197, 1998.
- [104] Schank R.C., *Dynamic Memory: A Theory of Reminding and Learning in Computers and People*, Cambridge University Press, 1982.

- [105] Yager R.R., “On ordered weighted averaging aggregation operators in multi-criteria decision making”, *IEEE Transactions on Systems*, vol. 18, 183–190, 1988.
- [106] Agarwal S. and Lamparter S., “A semantic matchmaking portal for electronic markets”, In the proceedings of the *Proceedings of the Seventh IEEE international Conference on E-Commerce Technology (July 19 - 22)*, 2005.
- [107] Bechhofer S., van Harmelen F., Hendler J., Horrocks I., McGuinness D., Patel Schneider P., and Stein L.A., *OWL Web Ontology Language Reference*, W3C Recommendation 10 February 2004. Latest version: <http://www.w3.org/TR/owl-ref/>, 2004.
- [108] Calegari S. and Sanchez E., “A Fuzzy Ontology-Approach to improve Semantic Information Retrieval”, 2007.
- [109] Luke S. and Heflin J.D., *SHOE 1.01. Proposed Specification. Technical Report*, Parallel Understanding Systems Group. Department of Computer Science. University of Maryland, 2000.
- [110] Pinto S. and Martins J., “Ontologies: How can they be built?” *Knowledge and Information Systems*, 2004.
- [111] Pinto S., Staab S., and Tempich C., “Diligent: Towards a fine-grained methodology for distributed, loosely-controlled and evolving engineering of ontologies”, *ECAI 2004*: 393-397, 2004.
- [112] Salotti S., *Filtrage ou et representation centree objet pour raisonner par analogie : le systeme FLORAN*, PhD thesis, University of Paris VI, 1992.
- [113] Shapiro S., *Vagueness in Context*, Oxford University Press, 2006.
- [114] Staab S., Schnurr H.P., Studer R., and Sure Y., “Knowledge Processes and Ontologies”, *IEEE Intelligent Systems*, vol. 16(1), 2001.
- [115] Salotti S. and Ventos V., “Study and Formalization of a CBR System using a Description Logic”, *In Advances in Case-Based Reasoning (EWCBR'98)*, , volume 1488 of LNCS, 286–301, 1998.
- [116] Chen S.J. and Hwang C.L, *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making, Methods and Applications*, Springer Verlag, 1992.
- [117] G. Stoiros, G. Stamou, and S. Kollias, “A string metric for ontology alignment”, 4th International Semantic Web Conference (ISWC 2005), Galway, 2005, 2005.

- [118] Davenport T. and Prusak L., *Working Knowledge: How Organisations Manage What They Know*, Harvard Business School Press, 1998.
- [119] Davenport T. and Grover V., “Knowledge management”, *Journal of Management Information Systems*, vol. 18:1, 3–4, 2001.
- [120] Gruber T.R., “A Translation Approach to Portable Ontology Specification”, *Knowledge Acquisition*, vol. 5(2), 199 – 220, 1993.
- [121] Straccia U., “Reasoning within Fuzzy Description Logics”, *Journal of Artificial Intelligence Research*, vol. 14, 137–166, 2001.
- [122] Straccia U., “Towards a Fuzzy Description Logic for the Semantic Web, Preliminary Report”, In the proceedings of the *2nd European Semantic Web Conference (ESWC-05)*, 2005.
- [123] McGee V. and McLaughlin B., “Distinctions Without a Difference”, *Southern Journal of Philosophy*, vol. 33, 1994.
- [124] Sure Y. and Studer R., *On-To-Knowledge Methodology*, On-To-Knowledge Project Deliverable 18, Institute AIFB, University of Karlsruhe. Available at <http://www.aifb.uni-karlsruhe.de/WBS/ysu/publications/> OTK-D18_v1-0.pdf., 2002.
- [125] Quanming Z., Lingling L., Zhigang L., Jiannan W., and Fengguo L., “Fuzzy CBR based on Pattern Recognition and Its Application”, 2nd IEEE International Conferences on Cybernetics & Intelligent Systems and Robotics, Automation & Mechatronics, Bangkok, Thailand, June 7-9, 2006.

Κατάλογος Δημοσιεύσεων

A. Περιοδικά

1. **Alexopoulos P.**, M. Wallace, K. Kafentzis, D. Askounis (2011), "IKARUS-Onto: A Methodology to Develop Fuzzy Ontologies from Crisp Ones", Accepted for publication in Knowledge and Information Systems.
2. **Alexopoulos P.**, M. Wallace, K. Kafentzis, D. Askounis (2010), "Utilizing Imprecise Knowledge in Ontology-based CBR Systems through Fuzzy Algebra", International Journal of Fuzzy Systems, Vol. 12, No. 1, March 2010.
3. **Alexopoulos P.**, M. Wallace (2008), "A negotiation strategy for the Temporal Resource Reallocation Problem in multi-agent systems", International Journal of Internet Protocol Technology (IJIPT), InderScience Publishers, Special Issue on "Intelligent Internet-based Systems: Emerging Technologies and Programming Techniques", Vol. 3, No. 3, pp. 194-202, 2008.

B. Συνέδρια

4. Wallace M., **P. Alexopoulos**, I. Papafragkos, C. Vassilakis (2011), "Supporting User Roles in Ontology Fuzzification", Proceedings of the 6th International Workshop on Semantic Media Adaptation and Personalization (SMAP), Vigo, Spain, 2011
5. **Alexopoulos P.**, J. Pavlopoulos, M. Wallace, K. Kafentzis (2011), "Exploiting Ontological Relations for Automatic Semantic Tag Recommendation", 7th International Conference on Semantic Systems (I-SEMANTICS), Graz, Austria, September 7-9, 2011
6. Anadiotis G., **P. Alexopoulos**, K. Kafentzis, E. Konstantinou, M. Stankovic, M. Waeckerle (2011), "Semantics-powered Virtual Communities and Open Innovation for a Structured Deliberation Process", Workshop on "Semantics in Governance and Policy Modelling" in conjunction with the 8th Extended

Semantic Web Conference (ESWC) 2011, May 29 - June 2, 2011, Heraclion, Greece.

7. **Alexopoulos P.**, M. Wallace, K. Kafentzis, D. Askounis (2010), "A Semantic Architecture for Knowledge Intensive CBR through Fuzzy Ontologies", Proceedings of the 15th UK Workshop on Case-Based Reasoning, 2010.
8. Kotis K., **P. Alexopoulos**, A. Papasalouros (2010), "Towards a Framework for Trusting the Automated Learning of Social ontologies", Knowledge Science, Engineering and Management (KSEM) 2010, Belfast, Northern Ireland, September 1-3.
9. **Alexopoulos P.**, M. Wallace, K. Kafentzis, D. Askounis (2010) "Towards a Methodology for the Engineering of Fuzzy Ontologies", Poster presentation at the 7th Extended Semantic Web Conference, Heraklion, Greece, May 30th - June 3rd, 2010.
10. Anadiotis G., **P. Alexopoulos**, K. Mpaslis, A. Zosakis, K. Kafentzis, K. Kotis (2010), "Facilitating Dialogue - Using Semantic Web Technology for eParticipation", 7th Extended Semantic Web Conference, Heraklion, Greece, May 30th - June 3rd 2010.
11. **Alexopoulos P.**, M. Wallace, K. Kafentzis, D. Askounis (2009) "Towards Effective Knowledge Management Through Fuzzy Semantics", The Third International Multi-Conference on Computing in the Global Information Technology 2009, Cannes, France, August 23-29.
12. **Alexopoulos P.**, K. Kafentzis, C. Zoumas (2009) "ELMO: "An Interoperability Ontology for the Electricity Market", International Conference on e-Business 2009, Milan, Italy July 7-10.
13. **Alexopoulos P.**, M. Wallace, K. Kafentzis, A. Thomopoulos (2009), "A Fuzzy Knowledge-based Decision Support System for Tender Call Evaluation", 5th IFIP Conference on Artificial Intelligence Applications & Innovations (AIAI) 2009, Thessaloniki, Greece, April 23-25.
14. **Alexopoulos P.**, M. Wallace, K. Kafentzis (2008), "A Fuzzy Ontology Framework for Customized Assessment of Semantic Similarity", 3rd International Workshop on Semantic Media and Adaptation (SMAP 2008), Prague, Czech Republic, December 15-16.

15. Dimakopoulos T., K. Kassis, S. Nikoloutsos, **P. Alexopoulos**, P. Georgolios, K. Kafentzis, X. Benetou, T. Tagaris (2007) "iWebCare: an Integrated Web Services Platform for the Facilitation of Fraud Detection in Health Care e-Government Services", presented in eGovINTEROP'07 "eGovernment Interoperability Conference 2007", Paris, October 9-12.
16. **Alexopoulos P.** (2007) "Resource Sharing in Multi-Agent Systems through Multi-Stage Negotiation", 4th IFIP Conference on Artificial Intelligence Applications & Innovations (AIAI) 2007, Athens, September 19-21.
17. **Alexopoulos P.**, K. Kafentzis, X.Benetou, T. Tagaris, P. Georgolios (2007) "Towards a generic fraud ontology in e-government", International Conference on e-Business 2007, Barcelona, July 28-31.
18. **Alexopoulos P.**, X.Benetou, T. Tagaris, P. Georgolios, K. Kafentzis (2007) "iWebCare: an Ontological Approach for Fraud Detection in the Healthcare Domain", International Conference on Information Technologies 2007, Bulgaria, September 21-23.
19. Kafentzis K., **P. Alexopoulos**, C. Korakas, V. Goulandris, I. Baseas, P. Georgolios (2007), "Enabling Citizen Participation in Local Governance using ICT", 3rd National Conference of the Hellenic Society for Systemic Studies 2007, Piraeus, May 26-28.

Γ. Άρθρα και Κεφάλαια σε Βιβλία

20. **Alexopoulos P.**, M. Wallace, K. Kafentzis, C. Zoumas, D. Askounis (2010) "Semantic-Enabled Information Access: An Application in the Electricity Market Domain", M. Wallace, I. Anagnostopoulos, P. Mylonas, M. Bielikova (eds) Semantics in Adaptive and Personalised Services: Methods, Tools and Applications, Springer Series on Studies in Computational Intelligence, Springer 2010.
21. **Alexopoulos P.**, K. Kafentzis, N. Athanassiadis, X. Benetou, T. Tagaris, C. Jollie, P. Georgolios (2008) "An Adaptive Knowledge-Based Approach for Detecting Fraud across Different e-Government Domains", J. Filipe and M.S. Obaidat (eds) ICETE 2007, CCIS 23, pp. 110-121, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008.

22. Kafentzis K., Wallace M., Georgolios P., **Alexopoulos P.**, Mentzas G. (2007) "Semantics Enabled Problem Based Brokering of Organizational Knowledge", I. Maglogiannis K. Karpouzis, J. Soldatos, M. Wallace (eds) Emerging Artificial Intelligence Applications in Computer Engineering, IOS Press, 2007.