



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Εφαρμογή Μηχανισμών Αυτόματης Προσαρμογής
Ασαφούς Συμπερασμού για Πράκτορες που
συμμετέχουν σε Εικονικές Αγορές Προϊόντων**

Δημήτρης Γ. Τριβιζάκης

Επιβλέποντες: Ευστάθιος Χατζηευθυμιάδης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΚΠΑ
Κωνσταντίνος Κολομβάτσος, Διδάκτωρ ΕΚΠΑ

ΑΘΗΝΑ

ΙΟΥΝΙΟΣ 2013

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εφαρμογή μηχανισμών αυτόματης προσαρμογής ασαφούς συμπερασμού για πράκτορες που συμμετέχουν σε εικονικές αγορές προϊόντων

Δημήτρης Γ. Τριβιζάκης

A.M.: 1115200700146

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ: Ευστάθιος Χατζηευθυμιάδης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΚΠΑ

Κωνσταντίνος Κολομβάτσος, Διδάκτωρ ΕΚΠΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι νοήμονες πράκτορες, που συμμετέχουν σε ηλεκτρονικές διαπραγματεύσεις-αγορές, αναπαριστώντας είτε πωλητές είτε αγοραστές, μπορούν να επιφέρουν σημαντικά οφέλη. Σε αυτήν την πτυχιακή εργασία αναπτύχθηκε ένα σύστημα για τις αποφάσεις που λαμβάνει ο αγοραστής κατά τη διάρκεια μιας διαπραγμάτευσης, το οποίο προσαρμόζεται σύμφωνα με το περιβάλλον που δραστηριοποιείται ο αγοραστής και τη συμπεριφορά του πωλητή. Το μοντέλο που παρουσιάζεται αφορά το πώς είναι σε θέση ο αγοραστής να προσαρμόσει και επεκτείνει τη γνώση του προς όφελός του, αξιοποιώντας τις συνθήκες της διαπραγμάτευσης με τον πωλητή.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Υπολογιστική Νοημοσύνη

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Ασαφής Λογική, ευφυείς πράκτορες λογισμικού, ηλεκτρονικές αγορές, αυτόματη προσαρμογή, βάση γνώσης, διαπραγμάτευση

ABSTRACT

Intelligent software agents that participate in electronic bargains either as buyers or sellers, can succeed noticeable profits for their users. In this research, we develop a fuzzy logic decision system for a buyer agent, with the ability to adapt according to the market environment and seller's behavior. The introduced model presents buyer agent's means of extending his knowledge, for his own interest, utilizing various bargaining conditions.

SUBJECT AREA: Computational intelligence

KEYWORDS: Fuzzy logic, intelligent agents, electronic market, adaptation, knowledge base

Στην οικογένειά μου

Ευχαριστώ τον αναπληρωτή καθηγητή Ευστάθιο Χατζηευθυμιάδη και τον διδάκτορα Κωνσταντίνο Κολομβάτσο για τη στήριξή και τη βοήθειά τους κατά τη διάρκεια αυτής της μελέτης.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	14
1.1 Εισαγωγή.....	14
1.2 Ευφυείς Πράκτορες	14
1.3 Προσαρμογή Πράκτορα Αγοραστή	15
1.4 Οργάνωση Εργασίας.....	15
2. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΑΓΟΡΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΕΙΣ.....	17
2.1 Γενική Περιγραφή.....	17
2.2 Ευφυείς Πράκτορες Λογισμικού	18
2.3 Αρχιτεκτονική Ηλεκτρονικών Αγορών	21
2.4 Ηλεκτρονική Διαπραγμάτευση	22
3. ΑΣΑΦΗΣ ΛΟΓΙΚΗ.....	25
3.1 Εισαγωγή.....	25
3.2 Ασαφή Σύνολα.....	25
3.3 Συναρτήσεις Συμμετοχής	26
3.4 Τελεστές Ασαφών Συνόλων	27
3.5 Ασαφής Λογική και Συμπερασμός	28
3.6 Περιγραφή Συστήματος Ασαφούς Συμπερασμού.....	29
3.7 Είδη Ελεγκτών.....	32
3.8 Πεδία Εφαρμογής.....	33
4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΑΚΤΟΡΑ ΑΓΟΡΑΣΤΗ	35
4.1 Αξιολόγηση.....	35
4.2 Πεποίθηση.....	36

4.3	Διαφορά Χρόνου	37
4.4	Διαφορά Τιμής.....	39
4.5	Παράγοντας Σχετικότητας.....	40
4.6	Βαθμός Αποδοχής.....	41
4.7	Βάση Κανόνων	41
5.	ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΒΑΣΗΣ ΓΝΩΣΗΣ	45
5.1	Στόχοι	45
5.2	Μοντέλο Αναφοράς Πράκτορα Αγοραστή	46
5.3	Αυτόματη Προσθήκη Κανόνων Takagi-Sugeno	48
5.4	Προσαρμογή Συναρτήσεων Συμμετοχής – Ασαφών Συνόλων	51
5.5	Επισκόπηση Πράκτορα Αγοραστή και Αλγόριθμοι	56
6.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	59
6.1	Παραδείγματα Διαπραγμάτευσης	59
6.2	Σενάρια Εκτελέσεων	63
6.3	Αποτελέσματα	66
6.4	Συμπεράσματα	74
6.5	Αξιολόγηση Συστήματος	75
6.6	Μελλοντικές Επεκτάσεις.....	75
	ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ	77

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Πράκτορας απλών ανακλαστικών	18
Σχήμα 2: Μοντελοποιημένος Πράκτορας ανακλαστικών	19
Σχήμα 3: Πράκτορας βασισμένος σε στόχους	19
Σχήμα 4: Πράκτορας βασισμένος στη χρησιμότητα.....	20
Σχήμα 5: Πράκτορας με ικανότητα μάθησης.....	20
Σχήμα 6: Διάκριση πρακτόρων (Nuana)	21
Σχήμα 7: Διαπραγμάτευση πωλητή - αγοραστή	24
Σχήμα 8: Παράδειγμα συνάρτησης συμμετοχής για δυαδικά σύνολα	26
Σχήμα 9: Παράδειγμα συνάρτησης συμμετοχής του ασαφές συνόλου "ψηλός"	26
Σχήμα 2: Συναρτήσεις συμμετοχής για "Ταχύτητα"	27
Σχήμα 3: Εφαρμογή τελεστών επί κανονικών και ασαφών συνόλων.....	28
Σχήμα 4: Defuzzification για βαθμός_ αποδοχής με χρήση μεθόδου κέντρου βάρους...	31
Σχήμα 5: Ασαφής Ελεγκτής-Διαχειριστής	32
Σχήμα 6: Διαχειριστές Ασαφούς Συμπερασμού Mamdani και Takagi-Sugeno	33
Σχήμα 7: Συναρτήσεις Συμμετοχής για Αξιολόγηση.....	35
Σχήμα 8: Συνάρτηση αξιολόγησης για $v_{\max} = 80$	36
Σχήμα 9: Συναρτήσεις Συμμετοχής για Πεποίθηση	37
Σχήμα 10: Συνάρτηση χρόνου για $T_{\text{total}} = 50$	38
Σχήμα 11: Συναρτήσεις Συμμετοχής για Διαφορά Χρόνου	39
Σχήμα 12: Συναρτήσεις Συμμετοχής για Διαφορά Τιμής.....	40
Σχήμα 13: Συναρτήσεις Συμμετοχής για Παράγοντας Σχετικότητας	40
Σχήμα 14: Συναρτήσεις Συμμετοχής για Βαθμός Αποδοχής	41
Σχήμα 15: Βάση κανόνων Takagi-Sugeno	48
Σχήμα 24: Συναρτήσεις συμμετοχής Μεταβλητής «Απόκλιση» Fuzzy Inverse Model ...	52
Σχήμα 25: Συναρτήσεις Συμμετοχής Μεταβλητής Αλλαγή_Απόκλισης Fuzzy Inverse Model.....	52

Σχήμα 26: Συναρτήσεις Συμμετοχής Μεταβλητής "Ολίσθηση " Fuzzy Inverse Model ...	53
Σχήμα 27: Μηχανισμός Μάθησης - Αλληλεπίδραση Πράκτορα με το περιβάλλον.....	55
Σχήμα 28: Επαναφορά Γνώσης σε Αρχική Κατάσταση	62
Σχήμα 29: Ολίσθηση συναρτήσεων προς τα δεξιά, για αντιστοίχιση με μοντέλο αναφοράς	63
Σχήμα 30: Οφέλη για Πείραμα 1	67
Σχήμα 31: Οφέλη για Πείραμα 2	68
Σχήμα 32: Οφέλη για Πείραμα 3	69
Σχήμα 33: Οφέλη για Πείραμα 4	71
Σχήμα 34: Οφέλη για Πείραμα 5	72
Σχήμα 35: Οφέλη για Πείραμα 6	73

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Βάση Ασαφών Κανόνων Inverse Model	σελ. 53
Πίνακας 2: Αποτελέσματα διαπραγμάτευσης με πωλητές που επιδιώκουν κέρδος στο [0, 100]	σελ.66
Πίνακας 3: Αποτελέσματα διαπραγμάτευσης με πωλητές που επιδιώκουν κέρδος στο [0.50]	σελ.67
Πίνακας 4: Αποτελέσματα διαπραγμάτευσης με πωλητές που επιδιώκουν κέρδος στο [0, 10]	σελ.69
Πίνακας 5: Αποτελέσματα διαπραγμάτευσης Πειράματος 1 με μεταφορά γνώσης. σελ.	70
Πίνακας 6: Αποτελέσματα διαπραγμάτευσης Πειράματος 1 με μεταφορά γνώσης (μόνο κανόνες)	σελ.71
Πίνακας 7: Αποτελέσματα διαπραγμάτευσης με μεταφορά γνώσης (μόνο κανόνες) εναντίον του ίδιου πωλητή	σελ.73

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή αποτελεί μία παρουσίαση της ερευνητικής μου δραστηριότητας και τα αποτελέσματά της, στο πλαίσιο εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας για την ολοκλήρωση των σπουδών μου στο Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Η πρόοδος που σημειώθηκε σε αυτήν την έρευνα δεν θα ήταν η ίδια χωρίς το ενδιαφέρον και την καθοδήγηση του επίκουρου καθηγητή Χατζηευθυμιάδη Ε. και του υποψήφιου διδάκτορα Κολομβάτσου Κ. Ευχαριστώ επίσης την Παναγίδα Κάκια, για την πολύτιμη βοήθεια της σε τεχνικά ζητήματα και φυσικά την οικογένειά μου που ήταν πάντα στο πλάι μου παρέχοντας στήριξη, στις δυσκολίες που προέκυπταν σε όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου στο Τμήμα.

Σας ευχαριστώ όλους από καρδιάς.

1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

1.1 Εισαγωγή

Στη σημερινή εποχή των υπολογιστών και του Διαδικτύου, οι ηλεκτρονικές συναλλαγές είναι συνήθεις ανάμεσα σε χρήστες. Πολύ μεγάλο ποσοστό των συναλλαγών που πραγματοποιούνται ετησίως γίνεται ηλεκτρονικά, γεγονός που είναι απόλυτα λογικό εάν αναλογιστεί κανείς τις δυνατότητες και τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζονται. Ο ενδιαφερόμενος μπορεί να αγοράσει ή να πουλήσει το προϊόν ή την υπηρεσία του οποιαδήποτε στιγμή θελήσει και μπορεί να διαπραγματευτεί με ένα ευρύ σύνολο χρηστών, καθότι το μόνο που απαιτείται για να καθίσταται αυτή η επικοινωνία δυνατή, είναι η ύπαρξη ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή και πρόσβαση στο Διαδίκτυο.

Συνεπώς, συμπεραίνουμε ότι για έναν χρήστη πωλητή πολλαπλασιάζεται κατά πολύ το αγοραστικό κοινό του και για έναν χρήστη αγοραστή πολλαπλασιάζονται οι επιλογές του αντίστοιχα. Ο πρώτος έχοντας τη δυνατότητα να απευθύνεται σε υποψήφιους αγοραστές παγκοσμίως, μπορεί να προσαρμόζει κατάλληλα τις τιμές του για να μεγιστοποιήσει το κέρδος του. Έτσι και ο δεύτερος έχοντας πληθώρα επιλογών για την αγορά ενός προϊόντος, είναι σε θέση να κάνει διάφορες αξιολογήσεις και συγκρίσεις από το σύνολο των προσφορών ώστε να επωφεληθεί το δυνατόν περισσότερο. Ένα δεύτερο πολύ ενδιαφέρον πλεονέκτημα είναι η επέκταση των δυνατοτήτων κάθε οντότητας στη διαπραγμάτευση για ένα προϊόν, δηλαδή στο «παζάρι» μεταξύ των δύο. Ο απώτερος στόχος είναι φυσικά, να βγούνε το δυνατόν κερδισμένοι μέσα από τη συναλλαγή, αλληλεπιδρώντας κατάλληλα και κάτω από προϋποθέσεις για κάθε διαπραγμάτευση.

Η παραπάνω δυνατότητα αποτελεί μία μεγάλη πρόκληση η οποία έγκειται στο κατά πόσο είναι σε θέση, μία υποψήφια οντότητα που θέλει να συμμετέχει σε μία ηλεκτρονική διαπραγμάτευση, να διαχειριστεί αυτές τις πληροφορίες. Ο αγοραστής για παράδειγμα, ο οποίος αποτελεί και το αντικείμενο της μελέτης, προκειμένου να μπορεί να εξάγει ένα ασφαλές συμπέρασμα σχετικά με την ενδεχόμενη αγορά ενός προϊόντος πρέπει να διαχειριστεί παραμέτρους όπως η αξιολόγηση για ένα προϊόν, ο βαθμός εμπιστοσύνης που έχει για τον πωλητή, η διαθέσιμη χρονική διάρκεια για την διαπραγμάτευση και πολλές άλλες. Επίσης ο αγοραστής έχει ελάχιστη γνώση για την πολιτική του πωλητή και τις επιδιώξεις του καθιστώντας έτσι δύσκολη, την οικοδόμηση γνώσης και την όποια προσαρμογή του αγοραστή μέσα σε ένα τέτοιο περιβάλλον. Η οντότητα δηλαδή του πωλητή είναι «μαύρο κουτί» για τον αγοραστή και αντίστροφα.

1.2 Ευφυείς Πράκτορες

Αντιλαμβανόμαστε λοιπόν, ότι υπάρχει μεγάλος όγκος πληροφορίας τον οποίο έχουν να επεξεργαστούν οι χρήστες. Το ρόλο αυτόν τον αναλαμβάνουν αυτόνομα και ανεξάρτητα τμήματα λογισμικού που ονομάζονται ευφυείς πράκτορες και αντιπροσωπεύουν τους χρήστες κατά τη διάρκεια των συναλλαγών. Ένας ευφυής πράκτορας είναι μια οντότητα που αντιλαμβάνεται το περιβάλλον στο οποίο δραστηριοποιείται και δρα πάνω στο περιβάλλον αυτό προκειμένου, να επιτύχει κάποιους στόχους, ανάλογα με το έργο που έχει να επιτελέσει εκ μέρους του χρήστη του.

Στο περιβάλλον αυτής της εργασίας, χρησιμοποιούνται δύο οντότητες, ένας αγοραστής και ένας πωλητής. Αμφότεροι ακολουθούν κάποια πολιτική, ορισμένη ενδεχομένως από το χρήστη σε αρχικό στάδιο, για τις αποφάσεις που λαμβάνουν κατά τη διάρκεια μιας διαπραγμάτευσης. Αυτοί είναι οι υπεύθυνοι για το πώς θα διαχειριστούν και αξιοποιήσουν τη σύνθετη αυτή πληροφορία, που προκύπτει από την αλληλεπίδραση τους, ώστε οι χρήστες τους να επωφεληθούν μέσω της διαπραγμάτευσης.

1.3 Προσαρμογή Πράκτορα Αγοραστή

Ο αγοραστής λοιπόν, ο οποίος αντιπροσωπεύεται πλέον από έναν ευφυή πράκτορα, έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να αξιολογεί κατάλληλα τα δεδομένα κάθε διαπραγμάτευσης εντός μιας συναλλαγής, προκειμένου να ξοδέψει λιγότερα ο χρήστης του. Ωστόσο, η αρχική γνώση με την οποία είναι εφοδιασμένος ο πράκτορας, δεν μπορεί να οριστεί εκ των προτέρων με πληρότητα για κάθε συναλλαγή και τις συνθήκες στις οποίες γίνεται. Μην ξεχνάμε ότι το σύνολο των πρακτόρων πωλητών, με το οποίο πρόκειται να διαπραγματευτεί ο πράκτοράς μας, είναι θεωρητικά άπειρο και συνεχώς μεταβαλλόμενο. Συνεπώς, οι εκάστοτε στρατηγικές των πωλητών και τα περιβάλλοντα που πρόκειται να αντιμετωπιστούν είναι αρχικά σχεδόν άγνωστα στον αγοραστή.

Η παραπάνω παρατήρηση, υποδεικνύει την δυσκολία κατασκευής μιας επαρκούς βάσης γνώσης για έναν πράκτορα αγοραστή, προκειμένου να είναι κερδοφόρος σε κάθε συναλλαγή του. Για το λόγο αυτό, προκύπτει η ανάγκη ο πράκτορας αγοραστής, να έχει την ικανότητα να προσαρμόζει τη συμπεριφορά του σύμφωνα με τις απαιτήσεις και τις συνθήκες της διαπραγμάτευσης.

Θα δούμε ποιες μέθοδοι μπορούν να επιτύχουν μία τέτοια συμπεριφορά αυτόματης προσαρμογής, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους. Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε ένα νέο μοντέλο για τον πράκτορα αγοραστή με την παραπάνω λειτουργικότητα. Τέλος, μέσα από τις προσομοιώσεις του πράκτορα σε ετερογενή περιβάλλοντα, αντιμετωπίζοντας διαφορετικούς πωλητές θα αναλύσουμε τα πειραματικά αποτελέσματα και την πρόοδο που σημειώθηκε σε σχέση με τις υπάρχουσες μεθόδους.

1.4 Οργάνωση Εργασίας

Η εργασία χωρίζεται σε 6 κεφάλαια:

- Το 2^ο κεφάλαιο εξηγεί τις έννοιες των ηλεκτρονικών αγορών και διαπραγματεύσεων. Τις οντότητες δηλαδή που συμμετέχουν και πως αλληλεπιδρούν. Επίσης, μία σύντομη αναφορά στη θεωρία παιγνίων και διαπραγματεύσεων (Bargaining Games). Μέσω αυτής θα μπορέσουμε να απεικονίσουμε και τυπικά, τις συνθήκες κάθε συναλλαγής. Τα δύο παραπάνω θα συγκροτήσουν το απαραίτητο υπόβαθρο, που θα μας βοηθήσει να αξιολογήσουμε την αλληλεπίδραση των οντοτήτων στα διαφορετικά περιβάλλοντα και την βελτιστοποίηση του αγοραστή, που αποτελεί και το στόχο της έρευνας.

- Στο 3^ο κεφάλαιο γίνεται μία πλήρης περιγραφή της θεωρίας ασαφούς λογικής. Πως λειτουργεί, πότε χρησιμοποιείται και γιατί επιλέχθηκε για τη σχεδίαση του

πράκτορα αγοραστή του μοντέλου. Πως μπορεί δηλαδή, να αξιοποιηθεί αυτή η θεωρία στα πλαίσια της λήψης αποφάσεων του αγοραστή.

- Στο 4^ο κεφάλαιο, θα γίνει ανάλυση των μεθόδων με τις οποίες μπορούμε να υλοποιήσουμε την αυτόματη προσαρμογή του πράκτορα και εκτενής παρουσίαση της δικής μας προσέγγισης.
- Στο 5^ο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της υλοποίησης, για διάφορες συνθήκες διαπραγματεύσεων και πληθώρα πωλητών, μέσα από προσομοιώσεις συναλλαγών.
- Τέλος, το 6^ο κεφάλαιο καταλήγει σε μία σειρά από συμπεράσματα που προκύπτουν με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα. Τι πρόοδος σημειώθηκε, τότε η χρήση ενός τέτοιου συστήματος έχει θετική συνεισφορά στο κέρδος του αγοραστή καθώς και άλλες παρατηρήσεις.

2. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΑΓΟΡΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΕΙΣ

2.1 Γενική Περιγραφή

Μερικά χρόνια πριν, οι συναλλαγές μεταξύ εμπόρων-αγοραστών γίνονταν με συμβατικά μέσα. Προκειμένου ένας καταναλωτής να προβεί σε μία αγορά ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας, έπρεπε καταρχήν να μεταβεί στο κατάλληλο σημείο διανομής. Έπειτα να αξιολογήσει την τιμή του σε σχέση με την ποιότητα και το κόστος, καθώς και να λάβει υπόψη άλλες παραμέτρους, ανάλογα το προϊόν που τον ενδιαφέρει. Είναι εύκολα αντιληπτό, ότι κάτι τέτοιο περιορίζει κατά πολύ και τον αγοραστή αλλά και τον πωλητή. Στην εποχή του ηλεκτρονικού υπολογιστή και του γρήγορου Διαδικτύου, οι δυνατότητες που έχουν οι χρήστες, για να πραγματοποιήσουν τις συναλλαγές τους, έχουν μεταβεί σε ένα εντελώς διαφορετικό στάδιο, το ηλεκτρονικό εμπόριο και τις ηλεκτρονικές αγορές. Ως ηλεκτρονικό εμπόριο ορίζεται το σύνολο των εμπορικών συναλλαγών και η διατήρηση εμπορικών σχέσεων που πραγματοποιούνται μέσω τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Εν γένει το ηλεκτρονικό εμπόριο περιλαμβάνει διάφορους τομείς της τεχνολογίας όπως: E-mail, διαχείριση εταιρικού περιεχομένου, συστήματα ανταλλαγής προσωπικών μηνυμάτων, ψηφιακές αγορές και παρακολούθηση παράδοσης προϊόντων, ηλεκτρονικές τραπεζικές συναλλαγές, διεθνή ή εθνικά ηλεκτρονικά συστήματα συναλλαγών, «ηλεκτρονικό καρότσι» και ηλεκτρονικά εισιτήρια. Επίσης, ένα σημαντικό ποσοστό online συναλλαγών γίνονται για απόκτηση πρόσβασης σε επιπλέον χαρακτηριστικά μιας υπηρεσίας ή ενός προϊόντος. Οι ηλεκτρονικές αγορές αποτελούν εικονικά περιβάλλοντα στα οποία οι οντότητες που αλληλεπιδρούν μπορούν να είναι γεωγραφικά απομακρυσμένες και άγνωστες αρχικά, αλλά είναι σε θέση να συνεργαστούν και να επιτύχουν τους σκοπούς που εξυπηρετούν συγκεκριμένους στόχους τους.

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας, θα εστιάσουμε στις ηλεκτρονικές αγορές. Πιο συγκεκριμένα, στη διαπραγμάτευση μεταξύ πωλητή και αγοραστή, για την αγορά ενός προϊόντος. Είναι προφανές ότι για να επιτευχθεί το δυνατόν καλύτερα ένα τέτοιο εγχείρημα, είναι επιτακτική η ανάγκη για αυτοματοποιημένη λήψη αποφάσεων εκατέρωθεν, με δεδομένο τον όγκο και την πολυπλοκότητα της μεταξύ τους επικοινωνίας αλλά και των χαρακτηριστικών κάθε συναλλαγής. Δηλαδή, δύο αντιπροσώπους, έναν για κάθε πλευρά, οι οποίοι να εκτελούν το δύσκολο αυτό έργο για χάριν των χρηστών τους. Η απαίτηση αυτή, βρίσκει την ιδανική λύση στους ευφυείς πράκτορες λογισμικού. Οι τελευταίοι είναι σε θέση να λειτουργούν αυτόνομα, με βάση τους στόχους που έχουν τεθεί από τους χρήστες τους. Ο πράκτορας αγοραστής λοιπόν, η οντότητα η οποία προσομοιώνεται στην έρευνα, αναλαμβάνει την ευθύνη της διαπραγμάτευσης σε μία συναλλαγή, να αξιολογήσει την έκβασή της και να λάβει αποφάσεις σχετικά με την αγορά ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας οι οποίες θα αποφέρουν το μεγαλύτερο δυνατό κέρδος. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, την αγορά σε συμφέρουσες τιμές με βάση φυσικά κάποια κριτήρια. Επίσης, είναι σε θέση να προσαρμόζονται γρήγορα και αποδοτικά στις απαιτήσεις κάθε ηλεκτρονικής αγοράς με αυτοματοποιημένο τρόπο. Αντίστοιχα και ο «αντίπαλος», ο πράκτορας πωλητής, έχει στόχο να πουλήσει με μεγαλύτερο κέρδος το προϊόν του. Έτσι και ο ίδιος λειτουργεί ακολουθώντας κάποια στρατηγική σχετικά με τη διακύμανση των τιμών που δέχεται ή προτείνει, προσδοκώντας να του αποφέρει ικανοποιητικά κέρδη μέσω των πωλήσεων.

Οι διαπραγματεύσεις που πραγματοποιούν οι πράκτορες σε μία ηλεκτρονική αγορά με τις παραπάνω προδιαγραφές, αναλογιζόμαστε ότι είναι αρκετά απαιτητικές.

Δύσκολα μπορεί κανείς να πει με σιγουριά πως πρέπει να σχεδιαστεί μία οντότητα αγοραστή για να αποφέρει τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα. Προκειμένου να καταφέρουμε κάτι τέτοιο, ο πράκτορας αγοραστής οφείλει, όπως προαναφέρθηκε, να έχει τη δυνατότητα μιας αυτόματης και γρήγορης προσαρμογής στα διάφορα περιβάλλοντα ηλεκτρονικών αγορών που θα συμμετέχει.

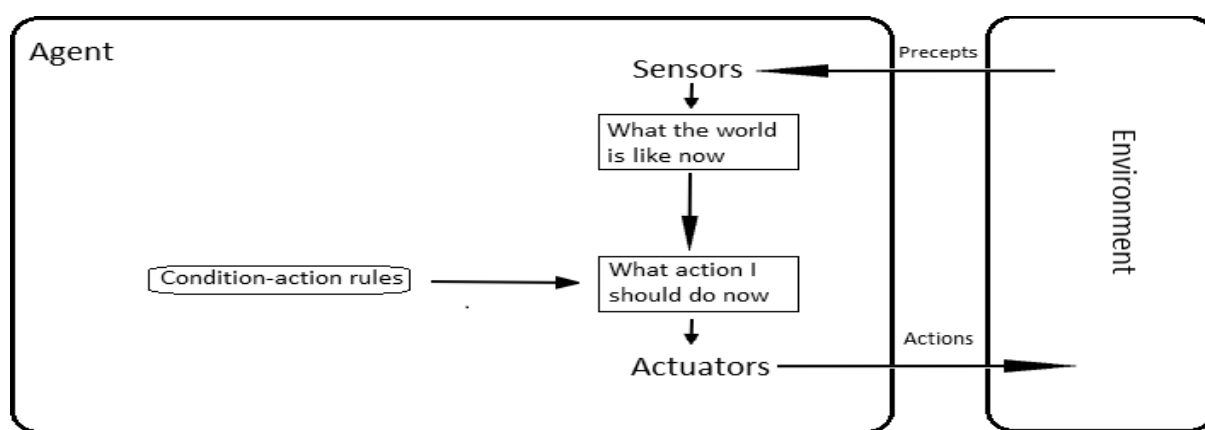
2.2 Ευφυείς Πράκτορες Λογισμικού

Ας δούμε στο σημείο αυτό λεπτομερέστερα, τους ευφυείς πράκτορες. Ο επικρατέστερος ορισμός για αυτά τα τμήματα λογισμικού είναι αυτός των Wooldridge και Jennings [1] ο οποίος δίνει έμφαση στο χαρακτηριστικό της αυτονομίας. «Ένας πράκτορας είναι ένα υπολογιστικό σύστημα εγκατεστημένο σε κάποιο περιβάλλον και έχει την ικανότητα αυτόματης δράσης στο περιβάλλον προκειμένου να ανταποκριθεί στους σκοπούς σχεδίασής του».

Ως αυτονομία, ορίζεται η ικανότητα του πράκτορα να λειτουργεί και να λαμβάνει αποφάσεις χωρίς την επέμβαση ανθρώπων ή άλλων συστημάτων. Εναλλακτικά ορίζεται ως η ικανότητα του πράκτορα να γνωρίζει και να ελέγχει τόσο την εσωτερική του κατάσταση όσο και τη συμπεριφορά του. Βέβαια, ο πράκτορας δεν επηρεάζει το περιβάλλον στο οποίο δρα, καθότι έχει μικρό έλεγχο πάνω σε αυτό. Για να κατανοήσουμε καλύτερα την τελευταία σημαντική παρατήρηση, φανταζόμαστε μία κίνηση του πράκτορα η οποία θα εκτελεστεί δεύτερη φορά σε όμοιες περιβαλλοντικές συνθήκες. Υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να έχει εντελώς διαφορετικό αποτέλεσμα το οποίο δεν είναι κατ' ανάγκη και το επιθυμητό. Αυτό συμβαίνει διότι, δεν υπάρχει ντετερμινισμός στα περιβάλλοντα που δραστηριοποιούνται οι πράκτορες. Είναι συνεπώς αδύνατο, να εγγυηθεί η επιτυχία σε κάθε αποστολή τους. Η παρατήρηση αυτή, αποτελεί και την θεμελιώδη δυσκολία στον σχεδιασμό τέτοιου είδους λογισμικού.

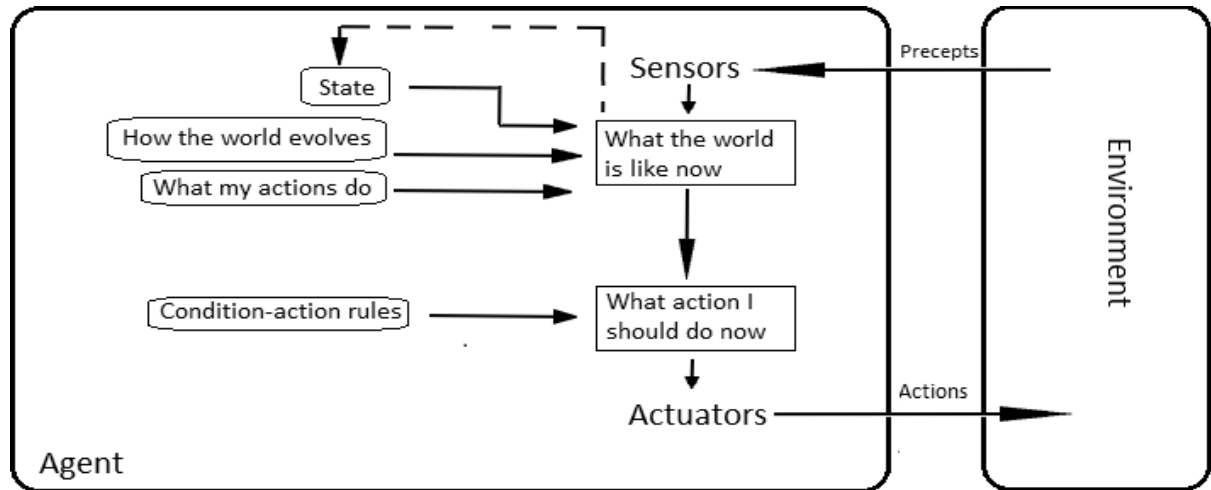
Σύμφωνα με τους Russel και Norvig [2] και τους S. Franklin A. Graesser [3] μπορούμε να διακρίνουμε τους ευφυείς πράκτορες σε πέντε κλάσεις, ανάλογα το βαθμό ευφυΐας και λειτουργικότητάς τους.

- Πράκτορες απλών ανακλαστικών: Ενεργούν με βάση την τρέχουσα αντίληψη που έχουν για το περιβάλλον, αγνοώντας το ιστορικό που έχει προηγηθεί με αυτό. Η λειτουργικότητα ενός τέτοιου πράκτορα βασίζεται σε εντολές επιλογής. Εάν συνθήκη τότε ενέργεια. Τέτοιου είδους πράκτορες επιτυγχάνουν μόνον όταν το περιβάλλον στο οποίο δραστηριοποιούνται είναι πλήρως αντιληπτό σε αυτούς.



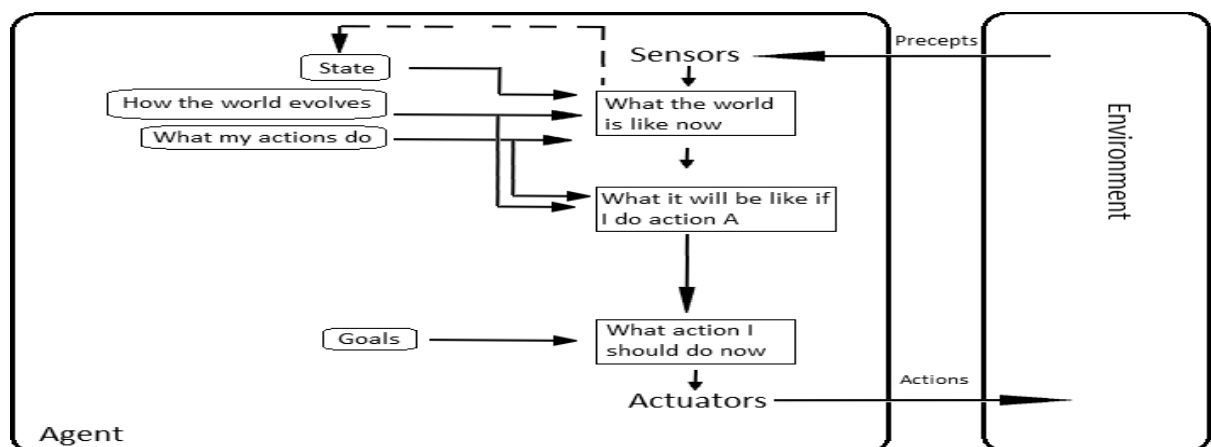
Σχήμα 16: Πράκτορας απλών ανακλαστικών

- Μοντελοποιημένοι πράκτορες ανακλαστικών: Μπορούν να δραστηριοποιηθούν σε ένα μερικώς αντιληπτό περιβάλλον. Η τρέχουσα κατάστασή του αποθηκεύεται στο εσωτερικό του πράκτορα, διατηρώντας κάποιου είδους δομή που περιγράφει το μη ορατό κομμάτι του κόσμου. Η γνώση αυτή για το «πώς λειτουργεί ο κόσμος» καλείται μοντέλο του κόσμου. Ένας τέτοιος πράκτορας οφείλει να διατηρεί κάποιου είδους εσωτερικό μοντέλο που εξαρτάται από την εμπειρική αντίληψη που έχει αποκτήσει, με αποτέλεσμα να διαθέτει έστω μία άποψη για τις μη ορατές πτυχές της τρέχουσας κατάστασης του περιβάλλοντος.



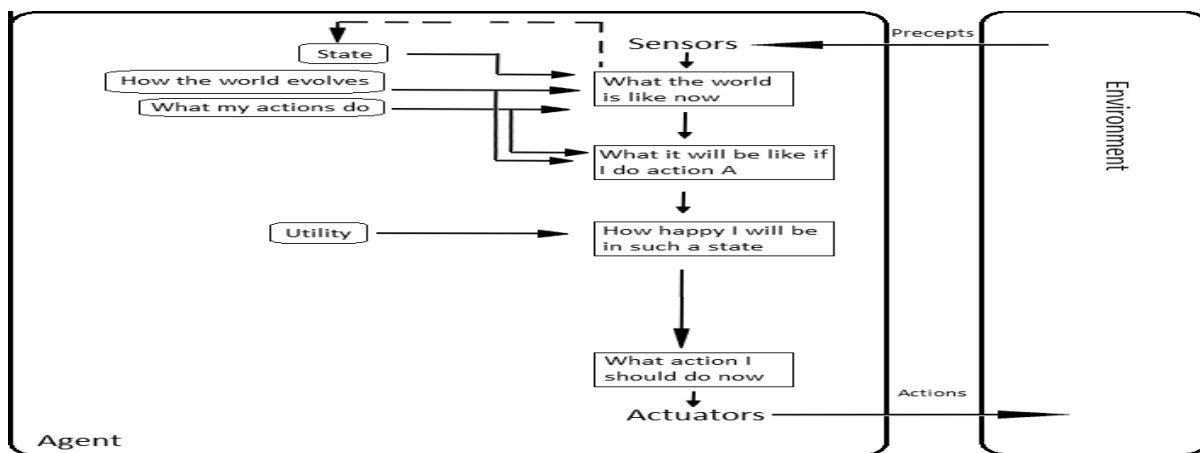
Σχήμα 17: Μοντελοποιημένος πράκτορας ανακλαστικών

- Πράκτορες βασισμένοι σε στόχους: Αυτή η κατηγορία πρακτόρων, επεκτείνει τις δυνατότητες των μοντελοποιημένων πρακτόρων ανακλαστικών, χρησιμοποιώντας πληροφορίες για στόχους. Οι τελευταίοι περιγράφουν επιθυμητές καταστάσεις. Με αυτόν τον τρόπο, επιτρέπεται στον πράκτορα να διαλέξει μεταξύ πολλαπλών περιπτώσεων, επιλέγοντας αυτήν που οδηγεί στην επιθυμητή κατάσταση. Σε ορισμένες περιπτώσεις βέβαια, αυτοί οι πράκτορες μπορεί να αποβούν λιγότερο αποδοτικοί. Είναι όμως πιο ευέλικτοι, επειδή η γνώση που οδηγεί στις αποφάσεις αναπαρίσταται ρητά και μπορεί να μεταβάλλεται.



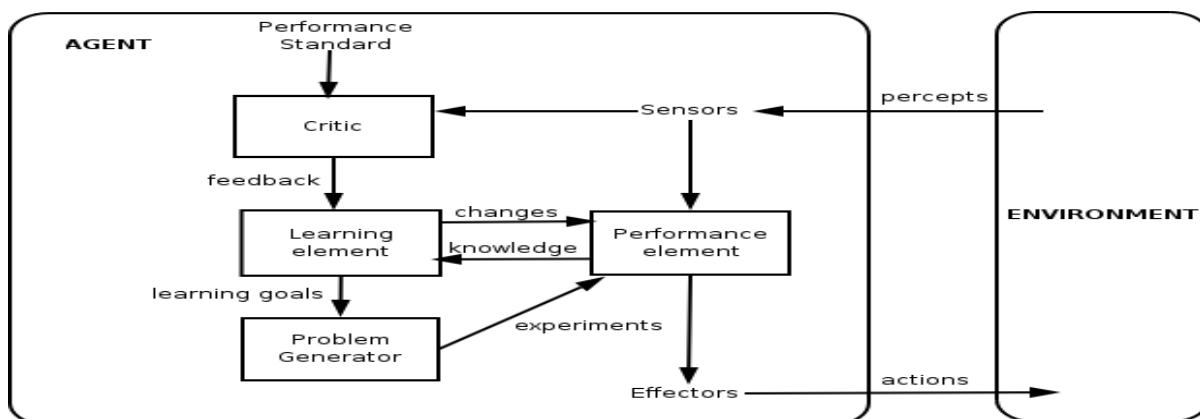
Σχήμα 18: Πράκτορας βασισμένος σε στόχους

- Πράκτορες βασισμένοι στη χρησιμότητα: Η παραπάνω κλάση πρακτόρων είναι απλά σε θέση να διαχωρίζει τις επιθυμητές από τις μη επιθυμητές καταστάσεις. Είναι δυνατό, να οριστεί ένα μέτρο για το πόσο επιθυμητή είναι μία συγκεκριμένη κατάσταση. Αυτό το μέτρο μπορεί να ληφθεί μέσω μιας συνάρτησης χρησιμότητας (utility function), η οποία χαρακτηρίζει μια κατάσταση με μία τιμή χρησιμότητας της κατάστασης. Ένα γενικότερο μέτρο απόδοσης καθιστά εφικτή τη σύγκριση διαφορετικών καταστάσεων του κόσμου, σύμφωνα με το πόσο «ικανοποιημένο» θα κάνουν τον πράκτορα [4].

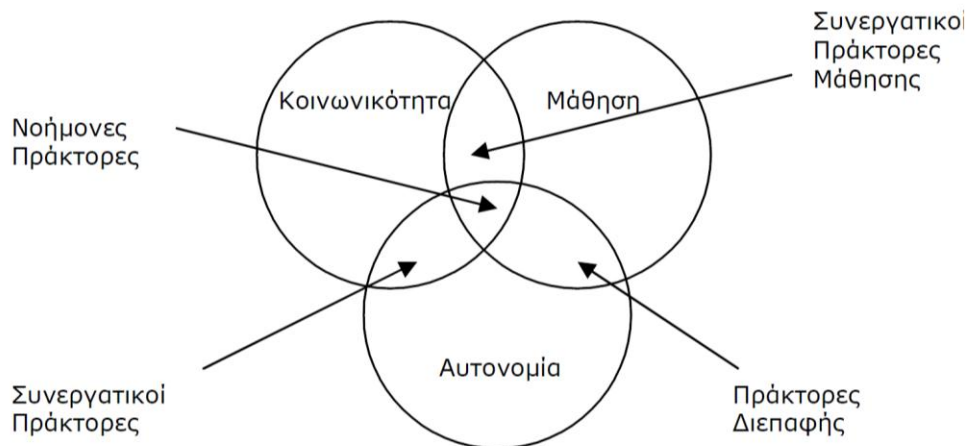


Σχήμα 19: Πράκτορας βασισμένος στη χρησιμότητα

- Πράκτορες με ικανότητα μάθησης: Η ικανότητα μάθησης έχει το πλεονέκτημα να επιτρέπει στον πράκτορα, αρχικά να λειτουργεί σε άγνωστα περιβάλλοντα και στη συνέχεια να γίνει περισσότερο ανταγωνιστικός από όσο θα του επέτρεπε η αρχική του γνώση. Η σημαντικότερη διάκριση είναι μεταξύ του στοιχείου «μάθησης», το οποίο είναι υπεύθυνο, για τη βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς ενός πράκτορα και του στοιχείου «απόδοσης», που είναι υπεύθυνο για την επιλογή των εξωτερικών ενεργειών. Το πρώτο, αξιολογώντας την ανατροφοδότηση σχετικά με την τρέχουσα απόδοση του πράκτορα, αποφασίζει το κατά πόσο πρέπει να μεταβληθεί το στοιχείο της απόδοσης, ώστε να λειτουργήσει καλύτερα στο μέλλον ο πράκτορας.



Σχήμα 20: Πράκτορας με ικανότητα μάθησης



Σχήμα 21: Διάκριση Πρακτόρων (Nwana)

Μία άλλη ενδιαφέρουσα διάκριση για τις κατηγορίες πρακτόρων λογισμικού είναι αυτή του Nwana [5].

2.3 Αρχιτεκτονική Ηλεκτρονικών Αγορών

Οι βασικές οντότητες που συμμετέχουν σε ηλεκτρονικές αγορές είναι τρεις. Οι αγοραστές, οι πωλητές και οι μεσολαβητές. Κάθε μία από αυτές, αντιπροσωπεύεται από έναν ή περισσότερους πράκτορες με τις παραπάνω προδιαγραφές.

Αγοραστές

Συμμετέχουν σε μία ηλεκτρονική αγορά με στόχο την απόκτηση ενός προϊόντος, σε συμφέρουσα για αυτούς τιμή. Εφαρμόζοντας λοιπόν κάποια στρατηγική διαπραγμάτευσης, επιδιώκουν να αγοράσουν το προϊόν της επιλογής τους, σε χαμηλότερη τιμή από αυτή που προτείνει ο πωλητής. Οι αποφάσεις που λαμβάνουν οι πράκτορες και το πόσο αποδοτικές είναι, εξαρτώνται, όπως προαναφέρθηκε, από το βαθμό ευφυΐας και λειτουργικότητας που έχει σχεδιάσει ο χρήστης για αυτούς. Επίσης, σημαντική παράμετρος αποτελεί και το ίδιο το περιβάλλον που δραστηριοποιούνται, για παράδειγμα οι συνθήκες κάτω από τις οποίες γίνεται μία διαπραγμάτευση. Μία από αυτές είναι το χρονικό περιθώριο, το οποίο παίζει καθοριστικό ρόλο, στις κινήσεις του πράκτορα αγοραστή. Στο δικό μας μοντέλο που παρουσιάζουμε στη συνέχεια, ο αγοραστής που προσομοιώνεται ανήκει στην κατηγορία των πρακτόρων με ικανότητα μάθησης, προκειμένου να είναι σε θέση να διαχειριστεί αποδοτικά, όλες τις αβεβαιότητες που προκύπτουν σε μία διαπραγμάτευση.

Πωλητές

Οι οντότητες αυτές προσπαθούν να πουλήσουν τα προϊόντα τους, στοχεύοντας φυσικά στη μεγιστοποίηση του κέρδους μέσω των συναλλαγών. Όπως και οι

αγοραστές, έτσι και οι πωλητές, λειτουργούν με βάση μία πολιτική στη διακύμανση των τιμών που προτείνουν. Έτσι, ένας πωλητής που ακολουθεί αυστηρή πολιτική θα κατεβάξει την τιμή πώλησης του προϊόντος πιο αργά, σε αντίθεση με έναν πωλητή με πιο χαλαρή στρατηγική. Σημαντική επίδραση στη λειτουργία των πωλητών, έχει αντίστοιχα με πριν, το περιβάλλον της ηλεκτρονικής αγοράς. Ένας πράκτορας για παράδειγμα, θα μπορούσε να αυξομειώνει τις τιμές πώλησης ενός προϊόντος ανάλογα με τη ζήτηση.

Μεσολαβητές

Ρόλος αυτών των οντοτήτων είναι η σύναψη της επικοινωνίας μεταξύ των δύο παραπάνω. Θα αναφέρουμε ενδεικτικά μερικές μορφές αυτών.

- **Blackboard agents:** Σε αυτούς δηλώνουν οι αγοραστές την παρουσία τους στην αγορά. Αντίστοιχα, τους συμβουλεύονται οι πωλητές για την κινητικότητα της αγοράς.
- **Brokers:** Σε αυτούς δηλώνεται το ενδιαφέρον και από τις δύο πλευρές. Αναλαμβάνουν το «ταίριασμα» μεταξύ των ενδιαφερόμενων για μία αγοραπωλησία, κρατώντας μυστική την ταυτότητα και των δύο.
- **Matchmakers:** Ενημερώνουν τους αγοραστές για τις διαθέσιμες προσφορές των πωλητών.

2.4 Ηλεκτρονική Διαπραγμάτευση

Στο σημείο αυτό, θα ορίσουμε με μεγαλύτερη σαφήνεια την έννοια της διαπραγμάτευσης μεταξύ πωλητή-αγοραστή. Διακρίνουμε καταρχήν, τα τρία διαφορετικά περιβάλλοντα αγορών για τις οντότητες .

1. Πολλοί αγοραστές – πολλοί πωλητές
→ «παραδοσιακή» αγορά
2. Πολλοί αγοραστές – ένας πωλητής
→ πλειστηριασμός (auction)
3. Ένας αγοραστής – ένας πωλητής
→ διαπραγμάτευση (bargain)

Σε μία διαπραγμάτευση λοιπόν, συμμετέχουν ένας αγοραστής και ένας πωλητής, καθένας εξ' αυτών με διαφορετικούς στόχους που είναι άγνωστοι για τον άλλον. Ο πωλητής θέλει να πουλήσει το προϊόν του, σε τιμή το δυνατόν μεγαλύτερη από το κόστος του και φυσικά όχι κάτω από αυτό. Αντίθετα, ο πωλητής θέλει να αγοράσει το

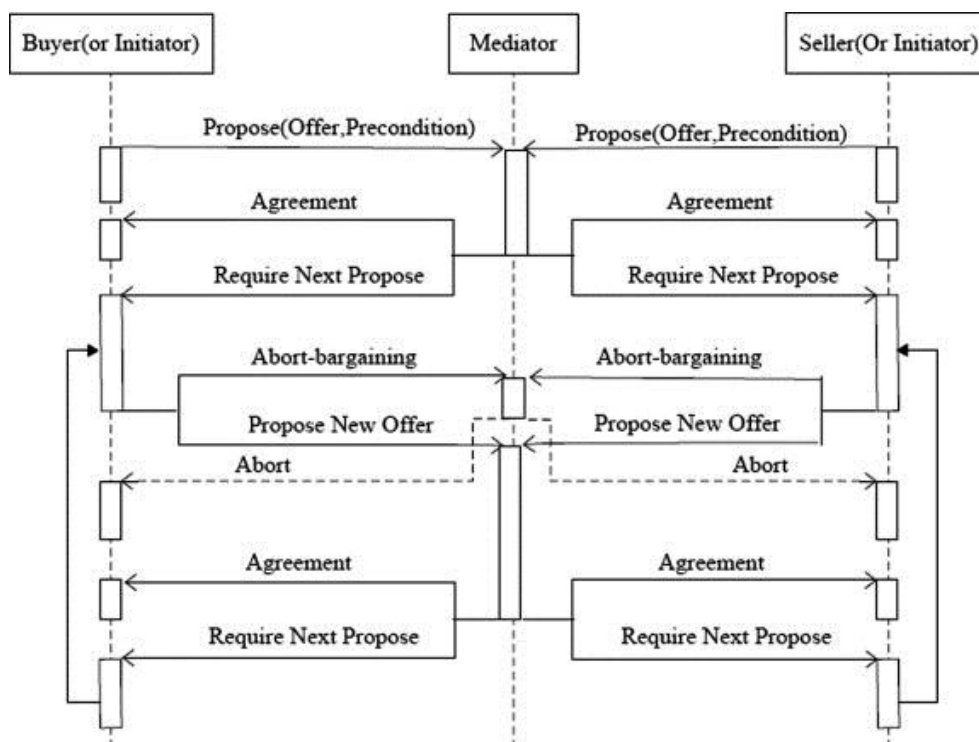
προϊόν σε τιμή όσο το δυνατόν μικρότερη από ένα όριο που έχει θέσει ο ίδιος. Αμέσως μπορούμε να ορίσουμε τις έννοιες:

- *Κόστος (cost)*: το κόστος ενός προϊόντος για τον πωλητή
- *Κέρδος (profit)*: το κέρδος που επιδιώκει ο πωλητής για την πώληση ενός προϊόντος
- *Αξιολόγηση (valuation)*: το όριο, που δεν διατίθεται να ξεπεράσει, ο αγοραστής για την τιμή αγοράς ενός προϊόντος
- *Συμφωνία (agreement)*: η τελική τιμή συμφωνίας της διαπραγμάτευσης

Αντιλαμβανόμαστε λοιπόν ότι για να προκύψει συμφωνία σε μία διαπραγμάτευση, πρέπει η αξιολόγηση του αγοραστή για ένα προϊόν να είναι μεγαλύτερη από την τιμή κόστους του προϊόντος για τον πωλητή. Σε διαφορετική περίπτωση κάτι τέτοιο είναι αδύνατο.

Το βασικό χαρακτηριστικό ενός παιχνιδιού διαπραγμάτευσης (bargaining game), είναι η λογική του «δέξου την τιμή ή κάνε αντιπρόταση» μέχρι να λήξει ο διαθέσιμος χρόνος ενός εκ των δύο. Επίσης δεχόμαστε ότι και οι δύο επιδιώκουν συμφωνία και όχι σύγκρουση (collision), και μάλιστα το δυνατόν νωρίτερα, σε σχέση με το χρονικό περιθώριο που έχουν. Αυτά τα τρία συνθέτουν ένα παιχνίδι διαπραγμάτευσης μεταξύ αγοραστή – πωλητή.

Κάθε βήμα της διαπραγμάτευσης καλείται γύρος (round). Σε κάθε γύρο και οι δύο προτείνουν μία τιμή. Εάν ένας εκ των δύο δεχτεί την πρόταση του άλλου, τότε καταλήγουν σε συμφωνία. Σε διαφορετική περίπτωση, συνεχίζουν στον επόμενο γύρο, καθένας με διαφορετική πρόταση. Είναι προφανές ότι η επόμενη πρόταση του αγοραστή θα είναι μεγαλύτερη από την προηγούμενη του. Αντίστοιχα η επόμενη πρόταση του πωλητή θα είναι μικρότερη. Εάν λήξει το χρονικό περιθώριο κάποιας οντότητας χωρίς να έρθουν σε συμφωνία, τότε το παιχνίδι τελειώνει με σύγκρουση.



Σχήμα 22: Διαπραγμάτευση Πωλητή - Αγοραστή

Σημαντικός παράγοντας στη διαπραγμάτευση, αποτελεί η πολιτική κάθε πλευράς στις τιμές που προτείνει αλλά και στους περιορισμούς που πρέπει να ικανοποιηθούν για καταφατική απάντηση σε μία πρόταση τιμή. Αυτά εξαρτώνται από τις επιδιώξεις του καθενός, όπως για παράδειγμα το ρίσκο που είναι διατεθειμένος να πάρει για την αγορά ενός προϊόντος ή σε πόσο δύσκολη θέση θέλει να φέρει τον άλλον. Αυτά αποτελούν παραμέτρους τις οποίες οι αντίπαλοι πράκτορες φυσικά δε γνωρίζουν και επηρεάζουν σημαντικά τη διαπραγμάτευση.

Μέχρι στιγμής, έχουμε περιγράψει τις έννοιες των πρακτόρων και την αυτονομία που είναι το κύριο χαρακτηριστικό τους. Επίσης, τι είναι ένα παιχνίδι διαπραγμάτευσης μεταξύ δύο οντοτήτων, αγοραστή και πωλητή. Μένει να δούμε τον τρόπο με τον οποίον οι πράκτορες λαμβάνουν αποφάσεις σχετικά με την αποδοχή ή απόρριψη μιας συγκεκριμένης πρότασης – τιμής. Πως μπορεί δηλαδή ένας πράκτορας αγοραστής, που είναι και το αντικείμενο της εργασίας, να διαχειριστεί το δυνατόν καλύτερα, παραμέτρους όπως η διαφορά τιμής σε σχέση με του πωλητή, ο διαθέσιμος χρόνος, η αξιολόγηση για το προϊόν, ο βαθμός σχετικότητας και φυσικά ο βαθμός εμπιστοσύνης για τον πωλητή.

3. ΑΣΑΦΗΣ ΛΟΓΙΚΗ

3.1 Εισαγωγή

Όπως είδαμε παραπάνω, τα δεδομένα που θα επεξεργαστεί ένας πωλητής για να λάβει αποφάσεις σε μία διαπραγμάτευση, παρουσιάζουν μία ασάφεια. Ασάφεια με την έννοια ότι δεν μπορούμε να αξιολογήσουμε, με συμβατικές μεθόδους, μεταβλητές όπως για παράδειγμα διαφορά τιμής ή βαθμός εμπιστοσύνης εάν είναι μεγάλες ή μικρές. Πότε είναι μεγάλη μία διαφορά τιμής και πότε είναι μικρή. Εάν είναι κάπου στη μέση τι γίνεται. Χρειαζόμαστε δηλαδή έναν τρόπο για να ορίσουμε τη σημαίνει μεγάλο ή μικρό, πολύ ή λίγο για την τιμή μιας μεταβλητής. Κατάλληλη λύση, στην αναπαράσταση τέτοιου είδους δεδομένων, αλλά και την εξαγωγή συμπερασμάτων από αυτά, φαίνεται να αποτελεί η θεωρία της ασαφούς λογικής (fuzzy logic).

Στη λογική (binary logic) μία πρόταση έχει δύο δυνατές τιμές. Είτε είναι «αληθής», είτε «ψευδής». Αντίθετα η ασαφής λογική, η οποία θεμελιώθηκε το 1965 από τον Lotfi Zadeh [6], επιτρέπει περισσότερες από μία τιμές αλήθειας. Για την ακρίβεια επιτρέπει μη πεπερασμένο αριθμό τιμών αλήθειας (infinite-valued logic). Εφαρμόζοντας λοιπόν αυτή τη θεωρία, μπορούμε να σχεδιάσουμε εφαρμογές που χρησιμοποιούν ασαφή συστήματα (fuzzy logic systems), προκειμένου να αντιμετωπίσουμε τις δυσκολίες που περιγράφηκαν στην πρώτη παράγραφο.

Στην ενότητα αυτή δίνεται μία σύντομη, αλλά ακριβής περιγραφή, της θεωρίας ασαφούς λογικής και της δομής που έχουν τα ασαφή συστήματα.

3.2 Ασαφή Σύνολα

Θεωρήστε ότι πρέπει να σχεδιάσετε ένα σύνολο όλων των ψηλών ανθρώπων και να εντάξετε σε αυτό όλους τους ψηλούς ανθρώπους που γνωρίζετε. Θεωρήστε επίσης την κλασική θεωρία συνόλων, όπου ένα στοιχείο είτε ανήκει σε ένα σύνολο είτε όχι. Υποθέτουμε ότι όλοι οι ψηλοί άνθρωποι είναι πάνω από 1.75μ. Έτσι κάποιος με ύψος 1.78μ θα αποτελεί στοιχείο του συνόλου, ενώ κάποιος με ύψος 1.5μ δεν θα ανήκει στο σύνολο. Το ίδιο όμως ισχύει για κάποιον που είναι 1.73, υπονοώντας ότι κάποιος που είναι μόνο 2εκ. κοντύτερος δεν θεωρείται ψηλός. Επίσης χρησιμοποιώντας δυαδική λογική δεν υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ των μελών του συνόλου των ψηλών ανθρώπων. Στο ίδιο σύνολο ανήκει κάποιος που είναι 1.78μ και κάποιος που είναι 2.10μ! Συνεπώς, δεν περιλαμβάνεται καμία σημασιολογία στην περιγραφή της συμμετοχής ενός στοιχείου στο σύνολο.

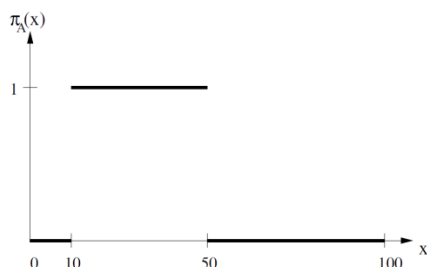
Με την ασαφή λογική και τα ασαφή σύνολα (fuzzy sets) ξεπερνιέται αυτό το πρόβλημα. Στο σύνολο των ψηλών ανθρώπων, όλοι οι άνθρωποι που γνωρίζετε ανήκουν σε αυτό, καθένας όμως, σε διαφορετικό βαθμό. Για παράδειγμα, κάποιος με ύψος 2.10μ μπορεί να αποτελεί στοιχείο του συνόλου με βαθμό 0.95, ενώ κάποιος με ύψος 1.70μ μπορεί να ανήκει στο σύνολο με βαθμό 0.4. Άρα λοιπόν ο βαθμός συμμετοχής σε ένα ασαφές σύνολο, χαρακτηρίζει το βαθμό βεβαιότητας (ή αβεβαιότητας) να ανήκει ή όχι το στοιχείο στο σύνολο. Για να δώσουμε τον τυπικό ορισμό, έστω X το πεδίο ορισμού ή το εν λόγω σύμπαν και $x \in X$ ένα στοιχείο του. Το ασαφές σύνολο A χαρακτηρίζεται από μία συνάρτηση συμμετοχής (membership function):

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

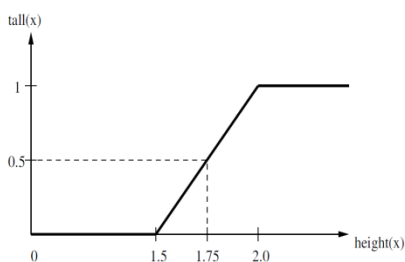
Συνεπώς, $\forall x \in X$, η $\mu_A(x)$ εκφράζει τη βεβαιότητα με την οποία ανήκει το x στο ασαφές σύνολο A . Στη (δυναδική) λογική, η $\mu_A(x)$ ισούται είτε με μηδέν είτε με ένα (αληθές - ψευδές).

3.3 Συναρτήσεις Συμμετοχής

Οι συναρτήσεις συμμετοχής και τα ασαφή σύνολα αποτελούν έννοιες αλληλένδετες. Η συνάρτηση συμμετοχής ή αλλιώς χαρακτηριστική, ορίζει το ασαφές σύνολο. Χρησιμοποιείται για να συνδέσει το βαθμό συμμετοχής κάθε στοιχείου του σύμπαντος με το συγκεκριμένο ασαφές σύνολο.



Σχήμα 23: Παράδειγμα συνάρτησης συμμετοχής για σύνολα που ένα στοιχείο είτε ανήκει είτε δεν ανήκει σε αυτό

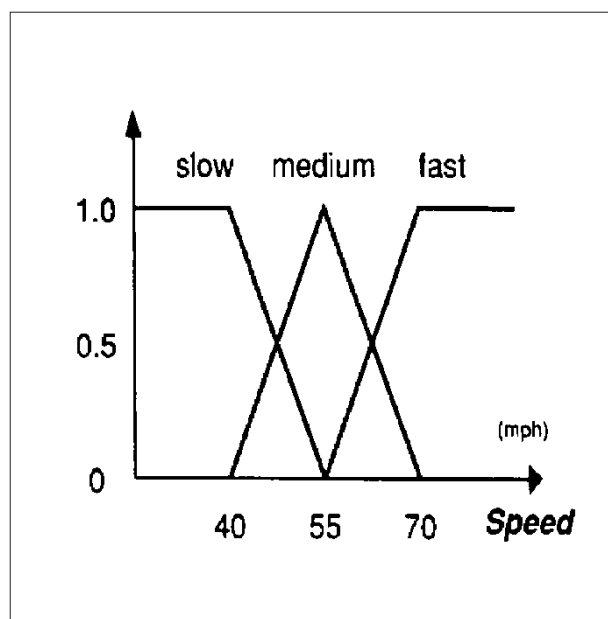


Σχήμα 24: Παράδειγμα συνάρτησης συμμετοχής του ασαφές συνόλου "ψηλός"

Μπορούν να είναι οποιοδήποτε σχήματος ή τύπου, όπως αποφασιστούν από τους ειδικούς του πεδίου ορισμού των συνόλων. Οι σχεδιαστές των ασαφών συνόλων έχουν αρκετή ελευθερία στην επιλογή των κατάλληλων συναρτήσεων συμμετοχής, οι οποίες ωστόσο πρέπει να ακολουθούν κάποιους περιορισμούς:

- $\mu_A(x) \in [0,1]$, $\forall x \in X$. Το σύνολο τιμών είναι το κλειστό διάστημα $[0,1]$.
- $\forall x \in X$ το $\mu_A(x)$ είναι μοναδικό. Αξίωμα συνάρτησης.

Επίσης μπορούν να είναι είτε συνεχείς είτε διακριτές με τύπους αρκετά πολύπλοκους.



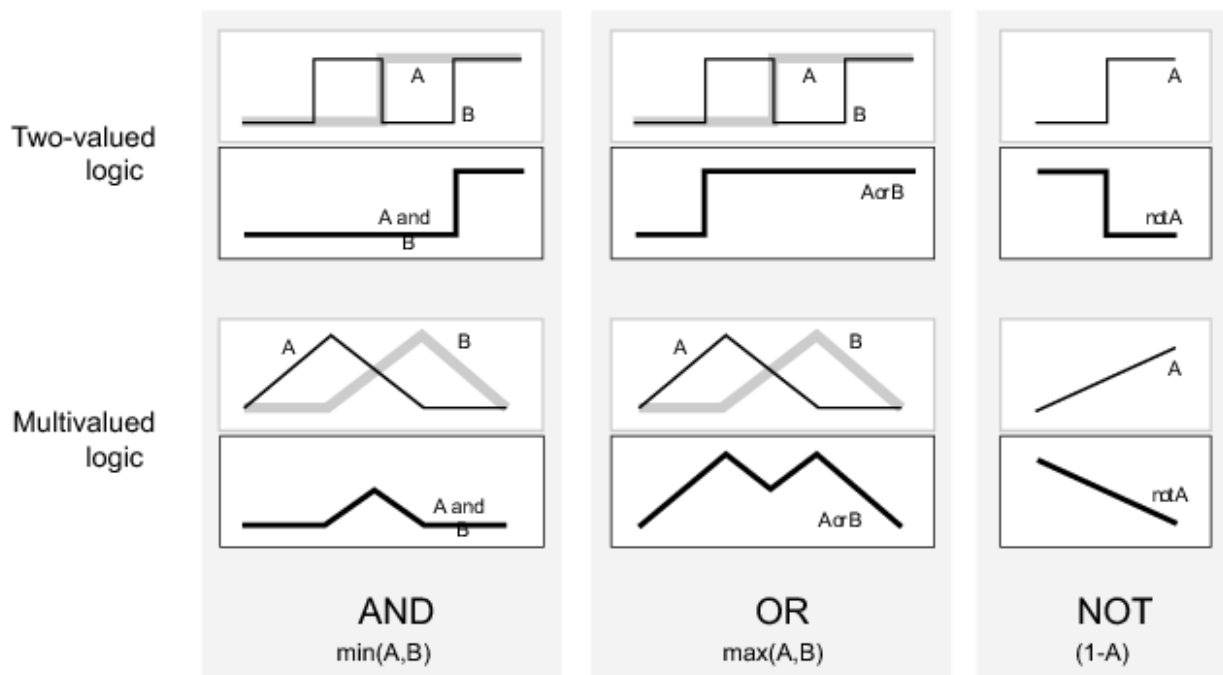
Σχήμα 25: Συναρτήσεις συμμετοχής για Ταχύτητα

3.4 Τελεστές Ασαφών Συνόλων

Ας δούμε τώρα τις πράξεις επί των συνόλων αυτών και τις τεχνικές με τις οποίες εφαρμόζονται οι αντίστοιχοι τελεστές. Έστω X το πεδίο ορισμού ή το σύμπαν, και A, B ασαφή σύνολα επί του X .

- Ισότητα: Αντίθετα με τα κλασσικά σύνολα, δεν αρκεί να έχουν τα ίδια στοιχεία, αλλά και τον ίδιο βαθμό συμμετοχής. Άρα, οι συναρτήσεις συμμετοχής των δύο συνόλων πρέπει να ταυτίζονται. Συνεπώς, τα σύνολα A, B είναι ίσα αν και μόνο αν έχουν το ίδιο πεδίο ορισμού και $\mu_A(x) = \mu_B(x)$, $\forall x \in X$.
- Συμπλήρωμα (ΛΟΓΙΚΟ ΟΧΙ): Έστω \bar{A} το συμπλήρωμα του A . Τότε $\forall x \in X$, $\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$. Επίσης αντίθετα με τα κλασσικά σύνολα, για τα ασαφή ισχύει: $A \cap \bar{A} \neq \emptyset$ και $A \cup \bar{A} \neq X$.

- Τομή (ΛΟΓΙΚΟ ΚΑΙ): Οι τελεστές που υλοποιούν αυτή την πράξη αναφέρονται ως t-νόρμες. Υπάρχει πληθώρα αυτών που χρησιμοποιούνται, ωστόσο οι πιο καθιερωμένες είναι οι τελεστές ελαχίστου (min-operator) και γινομένου (prod-operator).
 - Τελεστής ελαχίστου: $\mu_{A \cap B}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$, $\forall x \in X$.
 - Τελεστής Γινομένου: $\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$, $\forall x \in X$.
- Ένωση (ΛΟΓΙΚΟ Η): Η ένωση περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία των δύο συνόλων, αλλά με βαθμούς συμμετοχής που εξαρτώνται από τον τελεστή ένωσης που χρησιμοποιείται. Αυτοί οι τελεστές ονομάζονται s-νόρμες. Οι πιο συνήθεις είναι ο τελεστής μεγίστου (max-operator) και ο τελεστής άθροισης (summation operator).
 - Τελεστής μεγίστου: $\mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$, $\forall x \in X$.
 - Τελεστής αθροίσματος: $\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$, $\forall x \in X$.



Σχήμα 26: Εφαρμογή τελεστών επί κανονικών και ασαφών συνόλων

3.5 Ασαφής Λογική και Συμπερασμός

Μέχρι στιγμής έχουμε καλύψει ένα βασικό θεωρητικό κομμάτι της ασαφούς λογικής. Τώρα θα δούμε πως εφαρμόζοντας τους τελεστές που περιγράψαμε επί των ασαφών συνόλων μπορούμε να έχουμε ένα στοιχειώδη συμπερασμό για κάποια γεγονότα. Θεωρούμε τα τρία ασαφή σύνολα *ψηλός*, *καλός_αθλητής* και *καλός_καλαθοσφαιριστής*. Έστω ότι

$$\mu_{\text{ψηλός}}(\text{Πέτρος}) = 0.9 \text{ και } \mu_{\text{καλός_αθλητής}}(\text{Πέτρος}) = 0.8$$

$$\mu_{\psi\eta\lambda\acute{o}\varsigma}(\Gamma\acute{\iota}\omega\rho\gamma\omicron\varsigma) = 0.9 \text{ και } \mu_{\text{καλός_αθλητής}}(\Gamma\acute{\iota}\omega\rho\gamma\omicron\varsigma) = 0.5$$

Εάν γνωρίζουμε ότι ένας καλός καλαθοσφαιριστής είναι ψηλός και καλός αθλητής τότε ποιος από τους δύο, ο Γιώργος ή ο Πέτρος, είναι καλύτερος καλαθοσφαιριστής; Εφαρμόζοντας τον κατάλληλο τελεστή, τομή στη συγκεκριμένη περίπτωση:

$$\mu_{\text{καλός_καλαθοσφαιριστής}}(\text{Πέτρος}) = \min\{0.9, 0.8\} = 0.8$$

$$\mu_{\text{καλός_καλαθοσφαιριστής}}(\Gamma\acute{\iota}\omega\rho\gamma\omicron\varsigma) = \min\{0.9, 0.5\} = 0.5$$

Αυτό το παράδειγμα είναι για μία απλή περίπτωση. Οι ασαφείς κανόνες (fuzzy rules) περιγράφουν καταστάσεις που μπορούν να προκύψουν και την αντίστοιχη ενέργεια που πρέπει να εκτελεστεί (αν Γιώργος είναι ψηλός και Γιώργος είναι καλός αθλητής τότε Γιώργος είναι καλός καλαθοσφαιριστής). Συνήθως ωστόσο, περισσότερες από μία καταστάσεις είναι ταυτόχρονα ενεργοποιημένες, δημιουργώντας έτσι το πρόβλημα της επιλογής της καλύτερης ενέργειας. Θα επανέλθουμε σε αυτό στη συνέχεια. Οι *ψηλός*, *καλός_αθλητής* και *καλός_καλαθοσφαιριστής* ονομάζονται γλωσσικές μεταβλητές (linguistic variables). Οι γλωσσικές μεταβλητές έχουν τιμές που είναι λέξεις ή προτάσεις της φυσικής γλώσσας. Αντιστοιχούν συνήθως σε ουσιαστικά. Αντίστοιχα τα επίθετα όπως *λίγο*, *μέτρια*, *πολύ* ή *κακός*, *μέτριος*, *καλός* ονομάζονται σταθμά (hedges).

Στα ασαφή συστήματα, η δυναμική συμπεριφορά χαρακτηρίζεται από ένα σύνολο ασαφών κανόνων. Αυτοί οι κανόνες βασίζονται στη γνώση και την εμπειρία του σχεδιαστή του συστήματος για το σύμπαν (πχ άνθρωποι, πιθανότητες, αποφάσεις) το πεδίο ορισμού δηλαδή των ασαφών συνόλων. Γενική μορφή ασαφών κανόνων:

$$\begin{aligned} \rightarrow \text{Αν αίτιο (antecedent) τότε συνέπεια (consequent)} \\ \text{ή} \\ \rightarrow \text{Αν } A \text{ είναι } a \text{ και } B \text{ είναι } b \text{ τότε } C \text{ είναι } c \end{aligned}$$

Όπου A και B ασαφή σύνολα στο πεδίο ορισμού X_1 και C ασαφές σύνολο στο X_2 . Προκύπτει λοιπόν ότι το αίτιο ενός κανόνα δημιουργεί ένα συνδυασμό ασαφών συνόλων, μέσω της εφαρμογής ενός λογικού τελεστή. Η συνέπεια του κανόνα είναι συνήθως ένα ασαφές σύνολο, με την αντίστοιχη συνάρτηση συμμετοχής. Μαζί, οι ασαφείς κανόνες και τα ασαφή σύνολα αποτελούν τη βάση γνώσης (knowledge base) ενός συστήματος ασαφούς συμπερασμού.

3.6 Περιγραφή Συστήματος Ασαφούς Συμπερασμού

Το 1^ο στάδιο της διαδικασίας, αναλαμβάνει την προεπεξεργασία των δεδομένων για το σύστημα. Να δώσει δηλαδή, μία ασαφή αναπαράσταση στις τιμές των μεταβλητών (fuzzification). Αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή των συναρτήσεων συμμετοχής στα δεδομένα της εισόδου, εντάσσοντας δηλαδή κάθε στοιχείο σε ένα ασαφές σύνολο.

Το 2^ο στάδιο είναι η διαδικασία αντιστοίχισης των ασαφών τιμών των γλωσσικών μεταβλητών, στην βάση κανόνων και να παράγει την έξοδο για κάθε κανόνα. Για τη

συνέπεια δηλαδή κάθε κανόνα, ένα βαθμό συμμετοχής στα σύνολα της εξόδου ο οποίος παράγεται ανάλογα το βαθμό συμμετοχής στα σύνολα εισόδου και τις σχέσεις μεταξύ τους. Αναλυτικότερα ο συμπερασμός για έναν κανόνα με ασαφή σύνολα εισόδου $A, B \in X_1$ και ασαφές σύνολο εξόδου $C \in X_2$, έστω

Αν A είναι a **και** B είναι b **τότε** C είναι c

Από το προηγούμενο στάδιο είναι γνωστά τα $\mu_A(a)$ και $\mu_B(b)$. Συνεπώς με εφαρμογή του τελεστή ΚΑΙ, επιλέγοντας την t-νόρμα ελαχίστου, μπορούμε να υπολογίσουμε την ισχύ (firing strength) του κανόνα. Αντίστοιχα εάν ο κανόνας είχε ή, αντί για και θα επιλέγαμε την f-νόρμα, έστω μεγίστου για τον υπολογισμό της ισχύς. Η διαδικασία αυτή, επαναλαμβάνεται για το σύνολο των κανόνων στη βάση γνώσης. Όπως παρατηρήσαμε σε προηγούμενη ενότητα, συνήθως θα υπάρχουν κανόνες που θα ενεργοποιηθούν με ίδιο το κομμάτι της συνέπειας (τότε). Σε αυτή την περίπτωση, προκειμένου να συσσωρευτούν (accumulate) όλα τα ενεργά ενδεχόμενα σε ένα βέλτιστο, εφαρμόζουμε συνήθως τον τελεστή-μεγίστου. Για παράδειγμα έστω ένας πράκτορας αγοραστής που λαμβάνει αποφάσεις με ασαφή συμπερασμό και η βάση κανόνων του περιέχει, μεταξύ άλλων, τους εξής κανόνες:

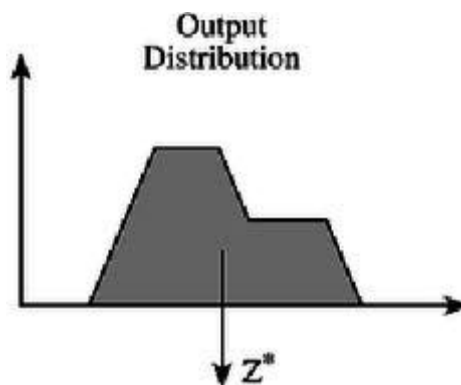
- i. **Αν** η αξιολόγηση είναι μεγάλη και η διαφορά_τιμής είναι μεγάλη **τότε** ο βαθμός_αποδοχής είναι μεγάλος.
- ii. **Αν** η αξιολόγηση είναι μέτρια και (η διαφορά_τιμής είναι μεγάλη η η διαφορά_τιμής είναι μέτρια) **και** ο βαθμός_εμπιστοσύνης είναι μεγάλος **τότε** ο βαθμός_αποδοχής είναι μεγάλος.

Για κάποιον συνδυασμό των δεδομένων εισόδου, θα ενεργοποιηθούν και οι δύο κανόνες. Εφαρμόζουμε λοιπόν την πράξη accumulate, με τον αντίστοιχο τελεστή, προκειμένου να λάβουμε την καλύτερη δυνατή επιλογή στην έξοδο από τους 2 αυτούς κανόνες. Το αποτέλεσμα λοιπόν αυτής της διαδικασίας, είναι μία σειρά από fuzzified τιμές εξόδου. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, στοιχεία του συνόλου *βαθμός_εμπιστοσύνης*. Αναφέρουμε απλά ότι ενδεχομένως, κάθε κανόνας μιας βάσης γνώσης, να περιέχει διαφορετικό βάρος από κάποιον άλλον, ανάλογα τη βαρύτητα που θέλουμε να του δώσουμε. Αυτά ορίζονται a priori από το σχεδιαστή του συστήματος.

Η ισχύς των κανόνων αναπαριστούν το βαθμό συμμετοχής στα σύνολα του κομματιού συνέπειας των κανόνων (πχ σύνολο *βαθμός_αποδοχής*). Με δεδομένα λοιπόν ένα σύνολο από ενεργοποιημένους κανόνες και την αντίστοιχη ισχύ τους, στο 3^ο στάδιο (defuzzification), γίνεται η μετατροπή της εξόδου των ασαφών κανόνων σε μία κανονική (μη ασαφή) κλίμακα. Εν προκειμένω, για την *βαθμός_αποδοχής* που είναι μία γλωσσική μεταβλητή, θέλουμε να πάρουμε την τιμή της σε κλίμακα έστω από το μηδέν μέχρι το ένα, ώστε να δούμε αν πρέπει να προβεί ο αγοραστής στην αγορά του προϊόντος ή όχι. Έστω λοιπόν, ότι η *βαθμός_αποδοχής* περιλαμβάνει 3 σταθμά τα *μικρός, μέτριος, μεγάλος*, με τις αντίστοιχες συναρτήσεις συμμετοχής. Έστω ακόμα ότι, από το σύνολο κανόνων έχει ενεργοποιηθεί ένα υποσύνολο αυτών που οι συνέπειες του αντιστοιχούν στην *μέτριος* και *μεγάλος* (έπειτα και από τη συσσώρευση).

Προκειμένου να πάρουμε την τιμή της *βαθμός_αποδοχής* σε κανονική κλίμακα υπάρχουν αρκετοί τρόποι, με πιο σύνηθες αυτόν του κέντρου βαρύτητας (clipped center of gravity). Σε αυτόν, κάθε συνάρτηση συμμετοχής που είναι ενεργοποιημένη στην έξοδο, «κόβεται» στο σημείο που αντιστοιχεί η ισχύς του κανόνα (διαλέγουμε μέγιστο για πάνω από έναν κανόνες). Υπολογίζεται το κέντρο βάρους αυτής της περιοχής και η τεμνημένη αυτού του σημείου, αποτελεί την έξοδο του συστήματος. Συνεχίζοντας το παραπάνω παράδειγμα, έστω ότι η ισχύς των κανόνων που ενεργοποιήθηκαν για την

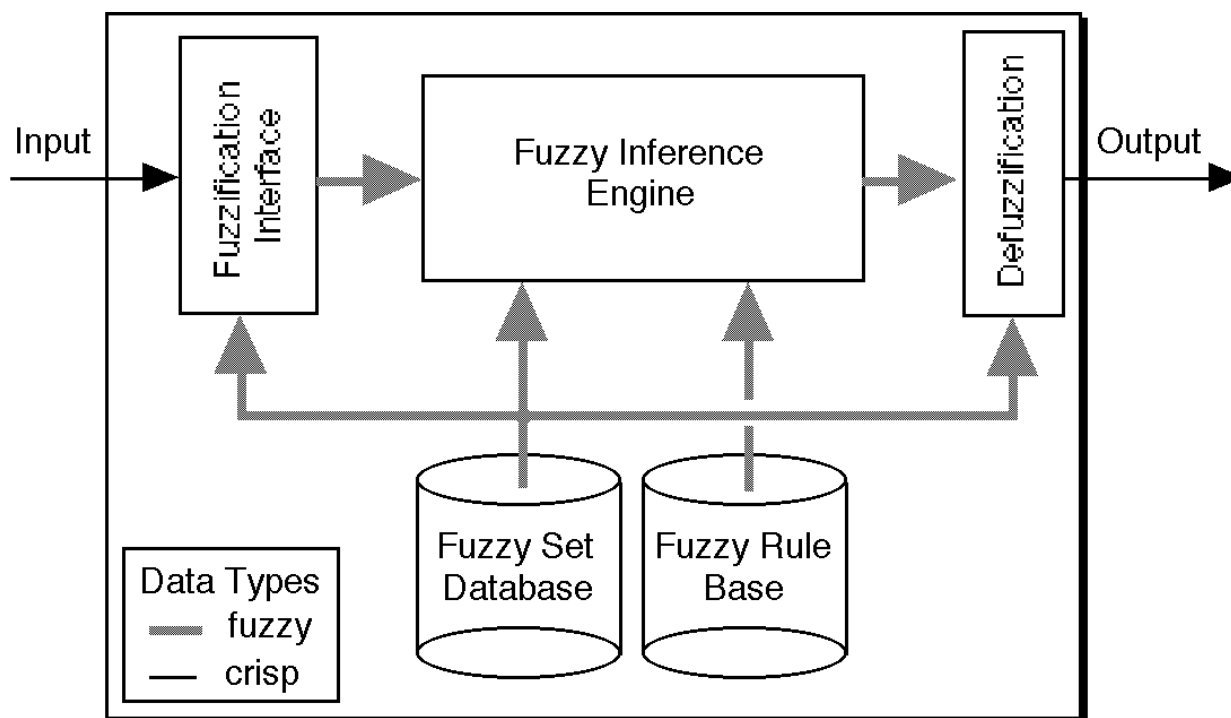
μέτριος ισούται με 0.70, για την *μεγάλος* με 0.40 και οι συναρτήσεις συμμετοχής τους είναι ισοσκελή τρίγωνα. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται πως προκύπτει μέσω της παραπάνω μεθόδου, η έξοδος, η τιμή δηλαδή για τη *βαθμός_αποδοχής* που είναι και το αποτέλεσμα τελικά του συμπερασμού.



Σχήμα 27: Defuzzification για *βαθμός_αποδοχής* με χρήση μεθόδου κέντρου βάρους

Ανακεφαλαιώνοντας, όταν θέλουμε να έχουμε συμπερασμό κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας, όπως αυτές ενός πράκτορα αγοραστή, η θεωρία ασαφούς λογικής αποτελεί μία καλή λύση. Προκειμένου να αναπτυχθεί ένας τέτοιος ελεγκτής ή διαχειριστής (fuzzy controller), αρχικά ο σχεδιαστής του συστήματος ορίζει τα ασαφή σύνολα δηλαδή τις συναρτήσεις συμμετοχής για κάθε μεταβλητή. Στη συνέχεια, με βάση τη γνώση που διαθέτει και την εμπειρία του στο συγκεκριμένο πεδίο ορισμού των συνόλων, ορίζει τους ασαφείς κανόνες. Με βάση αυτούς αλλά και την υλοποίηση της λογικής συμπερασμού (πχ τι νόρμες θα εφαρμόσει στους τελεστές ή στη διαδικασία συσσώρευσης) προκύπτει η έξοδος του ελεγκτή. Τέλος, μένει η μετατροπή της fuzzified εξόδου σε κανονική κλίμακα η οποία γίνεται με μία από τις μεθόδους που περιγράφηκαν, ανάλογα την εφαρμογή [7].

Η Σχήμα που ακολουθεί, δίνει ένα σχήμα για τα στοιχεία (components) που απαρτίζουν έναν ασαφή ελεγκτή και της διαδικασίας μέσω της οποίας προκύπτει τελικά ο συμπερασμός.



Σχήμα 28: Ασαφής Ελεγκτής-Διαχειριστής

3.7 Είδη Ελεγκτών

Ένας διαχειριστής ή μοντέλο ασαφούς συμπερασμού, χρησιμοποιεί ασαφείς κανόνες οι οποίοι είναι συνθήκες *αν-τότε* για γλωσσικές μεταβλητές, που αφορούν ασαφή σύνολα, συναρτήσεις και συμπερασμό. Συνεπώς, οι ασαφείς κανόνες παίζουν καθοριστικό ρόλο, στην αναπαράσταση της γνώσης και εμπειρίας του ειδικού (σχεδιαστή), αλλά και στο συσχετισμό των μεταβλητών εισόδου του διαχειριστή στις μεταβλητές εξόδου. Υπάρχουν δύο ευρεία είδη ασαφών κανόνων που έχουν αναπτυχθεί. Οι ασαφείς κανόνες Mamdani και οι ασαφείς κανόνες Takagi-Sugeno.

Ο Διαχειριστής Mamdani [8] λίγο πολύ υλοποιεί τη λειτουργικότητα που περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα. Δηλαδή, με βάση τους ασαφείς κανόνες που είδαμε, τις γλωσσικές μεταβλητές και τις συναρτήσεις συμμετοχής, καταλήγει σε συμπερασμό. Το κομμάτι της συνέπειας του συνόλου κανόνων αξιολογείται, ενεργοποιώντας κάποιες συναρτήσεις συμμετοχής των γλωσσικών μεταβλητών εξόδου. Τελικά από αυτές, ανάλογα με τη μέθοδο defuzzification που χρησιμοποιείται, προκύπτει η έξοδος του διαχειριστή.

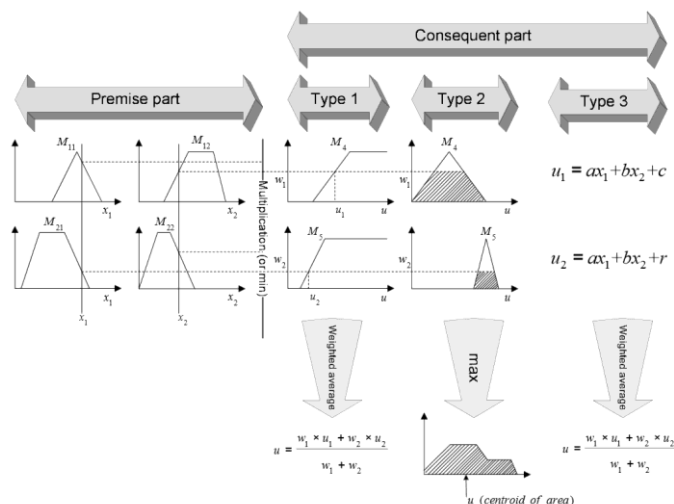
Στον Διαχειριστή Takagi-Sugeno [9], η δομή των κανόνων για την ασαφή μοντελοποίηση είναι περίπου η ίδια. Οι μεταβλητές που εμπλέκονται ωστόσο, είναι διαφορετικές. Αντίθετα με τους Mamdani κανόνες οι Takagi-Sugeno, χρησιμοποιούν στο κομμάτι συνέπειας του κανόνα συναρτήσεις των μεταβλητών εισόδου. Για έναν Mamdani κανόνα έστω,

ΑΝ x_1 είναι M_1 **και** x_2 είναι M_2 **και** x_3 είναι M_3 **TOTE** u_1 είναι M_4 , u_2 είναι M_5

, όπου x_1, x_2, x_3 μεταβλητές εισόδου, u_1, u_2 μεταβλητές εξόδου και M_1, M_2, M_3, M_4, M_5 ασαφή σύνολα, ο αντίστοιχος TS είναι ο

ΑΝ x_1 είναι M_1 και x_2 είναι M_2 και x_3 είναι M_3 **ΤΟΤΕ** $u_1 = f(x_1, x_2, x_3), u_2 = g(x_1, x_2, x_3)$

, όπου $f()$ και $g()$ κανονικές, όχι συμμετοχής, συναρτήσεις οποιουδήποτε τύπου. Στην Σχήμα που ακολουθεί χρησιμοποιείται ένα σύστημα ασαφούς συμπερασμού, με δύο κανόνες δύο εισόδων, με υλοποίηση τριών διαχειριστών.



Σχήμα 29: Διαχειριστές Ασαφούς Συμπερασμού Mamdani και Takagi-Sugeno

Ο τύπος δύο που υλοποιεί το μοντέλο Mamdani παράγει μία έξοδο από τα ασαφή σύνολα-συναρτήσεις συμμετοχής, με βάση τη μέθοδο defuzzification. Στον τύπο 3, Takagi-Sugeno, χρησιμοποιούνται συναρτήσεις οι οποίες οδηγούν στον τελικό συμπερασμό.

3.8 Πεδία Εφαρμογής

Τέλος, πριν προχωρήσουμε στην περιγραφή του ελεγκτή για τον πράκτορα αγοραστή, αξίζει να τονίσουμε ότι με βάση τη θεωρία της ασαφούς λογικής και συμπερασμού έχουν αναπτυχθεί αρκετές εφαρμογές σε διαφορετικούς κλάδους, σημειώνοντας ικανοποιητικές επιδόσεις και αποτελέσματα. Αναφέρουμε ενδεικτικά κάποιους τομείς, εκτός των πρακτόρων λογισμικού, στους οποίους βρίσκει εφαρμογή η ασαφής λογική:

- Αεροσκάφη: έλεγχος πτήσης, μηχανής, διάγνωση βλαβών, πλοήγηση
- Αυτοκινούμενα οχήματα: σύστημα πέδησης, μετάδοση, κρατήματα,
- Συστήματα παραγωγής: οργάνωση διαδικασίας ελέγχου
- Έλεγχος ροής: θερμοκρασία, πίεση, διάγνωση βλαβών
- Ρομποτική: έλεγχος θέσης, προσδιορισμός μονοπατιών

Η λίστα αυτή αντιπροσωπεύει ένα μικρό υποσύνολο εφαρμογών που λειτουργούν με ασαφή συμπερασμό. Εφαρμογή υπάρχει ή/και μελετάται ήδη σε μεγάλο πλήθος άλλων συστημάτων, ενώ σε άλλα ενδεχομένως να μην έχει ανακαλυφθεί ακόμα η χρησιμότητά του. Επίσης, με τον ορισμό ασαφών σχέσεων μεταξύ των δεδομένων μπορούν να αναπτυχθούν σχεσιακές βάσεις δεδομένων. Η πρώτη Ασαφής Σχεσιακή Βάση Δεδομένων (Fuzzy Relational DataBase), αναπτύχθηκε στη διατριβή της Maria Zevankova [10], ακολουθούμενη στη συνέχεια από πλήθος άλλων μοντέλων. Τέλος, έχουν σχεδιαστεί νευρωνικά δίκτυα βασισμένα στα συστήματα συμπερασμού Takagi-Sugeno.

4. Εφαρμογή Πράκτορα Αγοραστή

Είμαστε πλέον σε θέση, να δούμε τη σχεδίαση του συστήματος για έναν πράκτορα αγοραστή και τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να αξιοποιεί την πληροφορία ώστε να οδηγείται σε συμπερασμό, για την αγορά ή όχι του προϊόντος σε μία τιμή. Η περιγραφή ξεκινάει με τις γλωσσικές μεταβλητές, πέντε στην είσοδο και μία στην έξοδο, θα συνεχίσει με τους ασαφείς κανόνες της βάσης γνώσης και θα ολοκληρωθεί με την επιλογή των τελεστών και της μεθόδου defuzzification.

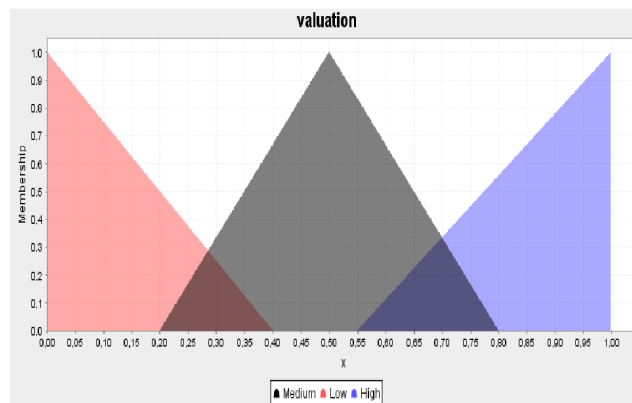
4.1 Αξιολόγηση

Η αξιολόγηση ενός προϊόντος, όπως προαναφέρθηκε στο 2ο κεφάλαιο, είναι η τιμή την οποία δεν διατίθεται να ξεπεράσει ο αγοραστής για την αγορά ενός προϊόντος. Όλες οι τιμές που πρόκειται να προτείνει ένας αγοραστής ή αυτή που θα δεχθεί για συμφωνία, θα είναι μικρότερες από αυτή της αξιολόγησης. Για παράδειγμα, η αξιολόγηση ενός αγοραστή για μία online αγορά ενός συγκεκριμένου μοντέλου κινητού μπορεί να είναι 200€. Την έχει ορίσει ο χρήστης, ενδεχομένως κατόπιν κάποιας έρευνας αγοράς ή κατόπιν εφαρμογής ενός άλλου πράκτορα σε μία ηλεκτρονική αγορά και δεν πρόκειται να ξεπεράσει αυτό το όριο. Στόχος του αντίθετα είναι, αγοράσει το δυνατόν πιο κάτω από αυτή την τιμή, ώστε να έχει μεγάλο όφελος από την συναλλαγή. Για την αναπαράσταση αυτής της μεταβλητής εισόδου, θα χρησιμοποιήσουμε το διάστημα $[0,1]$ για κάθε προϊόν. Αντί δηλαδή να μετράμε την αξιολόγηση σε χρηματικές μονάδες, δηλαδή €, θα έχουμε μία τιμή που όσο τείνει στο 1 τόσο μεγαλύτερη είναι η αξιολόγηση για το προϊόν. Αυτό το επιτυγχάνουμε με τη συνάρτηση

$$v_{[0,1]} = \frac{1}{1 + e^{\frac{v_{\max} - v}{2}}} \quad (2)$$

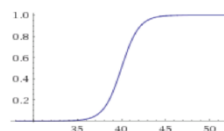
, όπου v η αξιολόγηση (πχ σε €) και v_{\max} η μέγιστη αξιολόγηση για το προϊόν. Η v_{\max} για ένα προϊόν αναπαριστά τη μέγιστη δυνατή τιμή που μπορεί να έχει η αξιολόγηση για ένα προϊόν στο περιβάλλον μιας ηλεκτρονικής συναλλαγής. Οπότε με βάση αυτή τη μέγιστη τιμή, ο παραπάνω τύπος μας δίνει την τρέχουσα αξιολόγηση για ένα προϊόν στην κλίμακα $[0,1]$.

Οι συναρτήσεις συμμετοχής για τη γλωσσική μεταβλητή *Αξιολόγηση* είναι τρεις. *Χαμηλή, Μέτρια, Μεγάλη*. Μέσω αυτών γίνεται η αντιστοίχιση των τιμών της αξιολόγησης στα ασαφή σύνολα (fuzzification).



Σχήμα 30: Συναρτήσεις Συμμετοχής για Αξιολόγηση

Θα μπορούσαν οι συναρτήσεις συμμετοχής, όπως αναφέρεται στο 3ο κεφάλαιο, να έχουν οποιοδήποτε σχήμα ή τύπο. Επιλέχθηκαν τα τρίγωνα, για μια πιο «ρεαλιστική» απεικόνιση των τιμών της μεταβλητής. Έτσι για παράδειγμα, σε ένα περιβάλλον που η μέγιστη αξιολόγηση για ένα προϊόν είναι $v_{\max} = 80$ (βλ. Σχήμα 14) και έστω η τρέχουσα αξιολόγηση του χρήστη $v = 38$, τότε $v_{[0,1]} \approx 0.12$ θα έχει μεγάλη τιμή συμμετοχής στη συνάρτηση *Μικρή*, πράγμα που πρέπει να ισχύει με δεδομένο ότι απέχει πολύ από τη μέγιστη. Με αυτόν τον τρόπο λοιπόν, θα απεικονίσουμε τις τιμές της μεταβλητής *Αξιολόγηση*.



Σχήμα 31: Συνάρτηση αξιολόγησης για $v_{\max} = 80$

4.2 Πεποίθηση

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας σε μία συναλλαγή είναι η πεποίθηση (belief) που έχει κάθε οντότητα για την άλλη στη διάρκεια της διαπραγμάτευσης. Αυτή για παράδειγμα μπορεί να είναι η πεποίθηση χρόνου (time belief) [11] και εκφράζει την πιθανότητα ο πράκτορας της διαπραγμάτευσης να θεωρεί ότι ο άλλος πράκτορας

αποδέχεται την πρότασή του. Επίσης μπορεί να είναι η πεποίθηση για τιμή (price belief) που είναι η πιθανότητα που ο πράκτορας θεωρεί ότι η τιμή συνδιαλλαγής ανήκει στο εύρος των αποδεκτών τιμών (μικρότερη για παράδειγμα από την αξιολόγηση για τον αγοραστή ή μεγαλύτερη από το κόστος για τον πωλητή).

Στα πλαίσια του ασαφούς διαχειριστή αυτής της υλοποίησης θεωρούμε ότι η γλωσσική μεταβλητή *Πεποίθηση* εκφράζει ένα συνδυασμό όλων των παραπάνω, θα λέγαμε, «επιμέρους πεποιθήσεων» άρα μία πιθανότητα πάλι με τιμές φυσικά στο $[0,1]$. Η διακύμανση αυτής της μεταβλητής, κατά τη διάρκεια μιας ηλεκτρονικής διαπραγμάτευσης, εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους, όπως για παράδειγμα το περιβάλλον μιας διαπραγμάτευσης, το είδος της ηλεκτρονικής αγοράς, τι πράκτορες χρησιμοποιούνται τι επιδιώξεις έχουν κ.ο.κ. Έχει αναπτυχθεί πληθώρα από τεχνικές για τον υπολογισμό αυτής της παραμέτρου με στόχο το μεγαλύτερο όφελος κάθε πράκτορα, με χρήση διάφορων μεθόδων όπως Bayesian Learning, Q-Learning νευρωνικά δίκτυα και άλλες, δεν αποτελούν όμως αντικείμενο αυτής της μελέτης. Ωστόσο, δε μπορούμε, παρά να συμπεριλάβουμε τη μεταβλητή αυτή στον συνολικό συμπερασμό του διαχειριστή, για τη λήψη αποφάσεων στη διάρκεια μιας διαπραγμάτευσης, καθότι παίζει σημαντικό ρόλο.

Ακολουθώντας το μοτίβο της προηγούμενης μεταβλητής και σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν τρεις συναρτήσεις συμμετοχής *Χαμηλή, Μέτρια, Μεγάλη*, για να εκφραστεί το μέγεθος της πιθανότητας σε ασαφείς τιμές. Έτσι από 0 έως 0.40, θεωρούμε την πεποίθηση του αγοραστή μικρή, από 0.20 έως 0.80 μέτρια και από 0.55 έως 1.0 μεγάλη.



Σχήμα 32: Συναρτήσεις Συμμετοχής για Πεποίθηση

Άρα λοιπόν η απόφαση του αγοραστή για κάθε πρόταση του πωλητή είναι ανάλογη της πειστικότητας που έχει ο ένας πράκτορας για τον άλλον. Αυτό βέβαια, θα φανεί αναλυτικότερα στη διάρκεια σχεδίασης της βάσης κανόνων, αφού ορίσουμε και τη μεταβλητή εξόδου του διαχειριστή.

Πριν περάσουμε στην επόμενη γλωσσική μεταβλητή εισόδου, σημειώνουμε ότι η πειστικότητα η οποία αλλάζει τιμή σε κάθε γύρο διαπραγμάτευσης σύμφωνα με την τεχνική που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της, στα πλαίσια του δικού μας διαχειριστή η τιμή που λαμβάνει είναι τυχαία και ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή στο $[0,1]$.

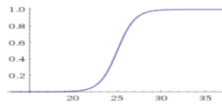
4.3 Διαφορά Χρόνου

Νωρίτερα, στο κεφάλαιο της ηλεκτρονικής διαπραγμάτευσης, αναφερθήκαμε στο χρόνο που πρόκειται να αφιερώσει ένας πράκτορας για μία συναλλαγή. Ένα πεπερασμένο δηλαδή χρονικό διάστημα, που έχει στη διάθεση του για να έρθει ή όχι σε συμφωνία με τον άλλον πράκτορα. Όσο η διαπραγμάτευση είναι σε εξέλιξη και

μειώνεται ο διαθέσιμος χρόνος, ο αγοραστής γίνεται πιο «ελαστικός». Υπενθυμίζουμε ότι και οι δύο επιδιώκουν συμφωνία και όχι σύγκρουση. Αντίστοιχα με την αξιολόγηση λοιπόν χρειαζόμαστε την τιμή της τρέχουσας διαφοράς χρόνου, σε κάθε γύρο διαπραγμάτευσης σε μία κλίμακα $[0,1]$, η οποία θα προκύπτει συναρτήσει του αρχικού διαθέσιμου χρόνου στην αρχή της αλληλεπίδρασης των δύο πρακτόρων αλλά και του τρέχοντος γύρου. Έτσι ο τύπος που μας δίνει τη διαφορά χρόνου είναι ο

$$T_{D[0,1]} = \frac{1}{1 + e^{\frac{T_{total} - T_{current}}{2}}} \quad (3)$$

, όπου T_{total} ο συνολικός χρόνος από την αρχή της διαπραγμάτευσης και $T_{current}$ η τρέχουσα χρονική στιγμή στη διάρκεια της διαπραγμάτευσης. Δεν είναι απαραίτητο οι χρόνοι αυτοί να είναι σε δευτερόλεπτα. Μπορεί για παράδειγμα ο διαθέσιμος χρόνος για μία διαπραγμάτευση, να εκφράζεται από τον αριθμό των γύρων. Έτσι για έναν πράκτορα αγοραστή που έχει στη διάθεση του 50 γύρους για να ολοκληρώσει μία συναλλαγή και έστω ότι βρίσκεται στον 26^ο γύρο, $T_{D[0,1]} = 0.73$.



Σχήμα 33: Συνάρτηση χρόνου για $T_{total} = 50$

Αυτό πρακτικά, όπως θα δούμε και στη βάση κανόνων στη συνέχεια, σημαίνει ότι εφόσον έχει δαπανηθεί ο μισός διαθέσιμος χρόνος ο πράκτορας θα δεχθεί πλέον πιο εύκολα κάποια πρόταση του πωλητή στο μέλλον. Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε αυτή η συνάρτηση για τη μετατροπή, είναι η απότομη άνοδος από το σημείο $\frac{T_{total}}{2}$. Θέλουμε να αρχίσει ο πράκτορας μας να γίνεται λιγότερο «απαιτητικός» στο θέμα απόφασης ώστε να οδηγηθεί σε συμφωνία πριν λήξει το περιθώριο του. Μην ξεχνάμε επίσης, ότι αντίστοιχα έχει χρονικό όριο και ο πράκτορας πωλητής το οποίο ο αγοραστής δε γνωρίζει. Συνεπώς μόλις δαπανηθεί ο μισός διαθέσιμος χρόνος του, από εκεί και πέρα ακολουθεί λιγότερο αυστηρή πολιτική για την αποδοχή μιας πρότασης – τιμής, ώστε να αποφύγει τη σύγκρουση σε περίπτωση λήξης του χρόνου του πωλητή.

Οι συναρτήσεις συμμετοχής για τη διαφορά χρόνου είναι οι *Χαμηλή, Μέτρια, Μεγάλη*.



Σχήμα 34: Συναρτήσεις Συμμετοχής για Διαφορά Χρόνου

4.4 Διαφορά Τιμής

Αν όχι η σημαντικότερη, τότε σίγουρα μία από αυτές, είναι η μεταβλητή για τη διαφορά τιμής. Η μεταβλητή αυτή, αποτελεί στην ουσία την εξέλιξη της διαπραγμάτευσης μεταξύ των δύο πρακτόρων. Συγκεκριμένα, εκφράζει την πτώση της διαφοράς των τιμών μεταξύ αγοραστή και πωλητή σε κάποιο γύρο, σε σχέση με αυτήν του αρχικού. Όσο μικραίνει η διαφορά τιμής, τόσο περισσότερο πιθανό, είναι να δεχτεί μία πρόταση για αγορά. Αυτό είναι λογικό, με την έννοια ότι αν η τρέχουσα διαφορά είναι αρκετά μικρότερη σε σχέση με την αρχική, σημαίνει σίγουρα ότι ο πράκτορας πωλητής έχει κατεβάσει τις τιμές του – αντίστοιχα τις έχει ανεβάσει ο αγοραστής- άρα μία ενδεχόμενη αγορά είναι πιο καλή σε σχέση με πριν.

Η συνάρτηση απεικόνισης όλων των παραπάνω σε κλίμακα $[0,1]$ είναι η ακόλουθη:

$$P_{D[0,1]} = \frac{1}{1 + e^{\frac{P_{D_{\max}} - P_{D_i}}{2}}} \quad (4)$$

όπου

$$P_{D_{\max}} = |P_{0_{\text{buyer}}} - P_{0_{\text{seller}}}|, \text{ η αρχική διαφορά τιμών}$$

$$\text{και } P_{D_i} = |P_{\text{buyer}_i} - P_{\text{seller}_i}|, \text{ του γύρου } i.$$

Ο βαθμός αποδοχής, που θα είναι και η μεταβλητή εξόδου του ασαφούς διαχειριστή, είναι «αντιστρόφως ανάλογος» της διαφοράς τιμής. Αυτό θα αποτυπωθεί χαρακτηριστικά στη βάση γνώσης.

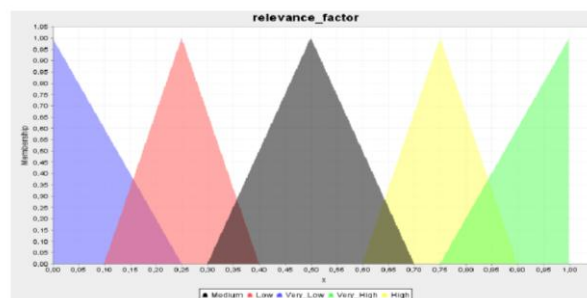


Σχήμα 35: Συναρτήσεις Συμμετοχής για Διαφορά Τιμής

Οι συναρτήσεις συμμετοχής είναι περίπου όπως πριν, με ελαφρώς διαφορετικές τις κορυφές των τριγώνων. Συνεπώς τα στοιχεία - τιμές που ανήκουν στο σύνολο *Μικρή*, έχουν περισσότερες πιθανότητες να οδηγήσουν σε αποδοχή πρότασης τον διαχειριστή, από αυτά που ανήκουν στο σύνολο *Μεγάλη*.

4.5 Παράγοντας Σχετικότητας

Η τελευταία μεταβλητή εισόδου για τον διαχειριστή, είναι ο παράγοντας σχετικότητας (relevance factor). Αυτή υποδηλώνει το κατά πόσο το αντικείμενο που διατίθεται προς πώληση από τον άλλον πράκτορα, είναι σχετικό με αυτό που επιδιώκει να αγοράσει. Για παράδειγμα, έστω ότι ένας χρήστης επιθυμεί να αγοράσει έναν υπολογιστή με συγκεκριμένο υλικό. Οι πωλητές θα διαθέτουν προς πώληση υπολογιστές με διαφορετικούς συνδυασμούς που είναι παρόμοιοι με αυτό το υλικό και ενδεχομένως κάποιος να διαθέτει ακριβώς αυτά που ζητάει ο αγοραστής. Συνεπώς, ο χαρακτηρισμός αυτός, δηλαδή το πόσο «κοντά» είναι το διαθέσιμο προς πώληση προϊόν σε σχέση με τις απαιτήσεις του αγοραστή, είναι ο παράγοντας σχετικότητας. Έτσι για έναν πανομοιότυπο με τις απαιτήσεις υπολογιστή αυτός θα προσεγγίζει το ένα, για έναν που διαφέρει στη μνήμη το 0.80 και για έναν με διαφορετική μνήμη και διαφορετικό επεξεργαστή το 0.55. Εδώ χρησιμοποιήθηκαν πέντε τριγωνικές συναρτήσεις συμμετοχής.



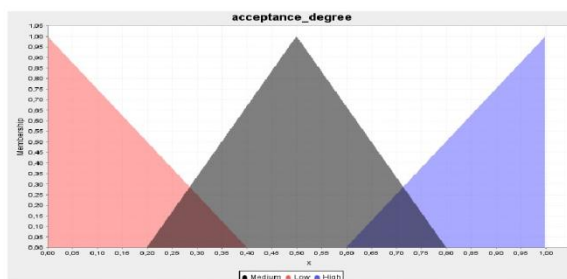
Σχήμα 36: Συναρτήσεις Συμμετοχής για Παράγοντας Σχετικότητας

4.6 Βαθμός Αποδοχής

Η έξοδος του συστήματος του αγοραστή, είναι το κατά πόσο πρέπει να δεχτούμε μία πρόταση ή να την απορρίψουμε. Μία τιμή δηλαδή μεταξύ 0 και 1, που εκφράζει αν η απάντησή του αγοραστή πρέπει να είναι θετική ή αρνητική. Όσο πλησιάζει το 0 σημαίνει ότι ο συμπερασμός του διαχειριστή, απορρίπτει την πρόταση. Σε αντίθετη περίπτωση σημαίνει, ότι οι κανόνες που ορίστηκαν οδηγούν στην αποδοχή της πρότασης. Γενικά στην υλοποίηση ισχύει

$$acceptance_degree \geq 0.70 \text{ και } v > p_{seller} \Rightarrow \text{αγοραστής αποδέχεται την πρόταση}$$

Συνολικά δηλαδή, όλες οι μεταβλητές εισόδου στον διαχειριστή αξιολογούνται και προκύπτει ο βαθμός αποδοχής μιας πρότασης. Το 0.70 χρησιμοποιείται σαν όριο για την περίπτωση συμφωνίας. Εάν θέλαμε να κάνουμε πιο ελαστικό τον αγοραστή, θα μπορούσε αυτό το όριο να μειωθεί κατά μία τιμή. Αντίστοιχα, για να γίνει πιο απαιτητικός, να αυξηθεί. Το ακόλουθο σχήμα περιλαμβάνει τις συναρτήσεις συμμετοχής για την *Βαθμός_Αποδοχής*.



Σχήμα 37: Συναρτήσεις Συμμετοχής για Βαθμός Αποδοχής

4.7 Βάση Κανόνων

Έχει ολοκληρωθεί πλέον, το 1^ο κομμάτι κατασκευής της βάσης γνώσης για τον αγοραστή. Η δημιουργία δηλαδή των συνόλων, βάση των οποίων προκύπτει ο ασαφής συμπερασμός. Το 2^ο κομμάτι, είναι οι ασαφείς κανόνες. Μέσω αυτών θα οριστούν οι προδιαγραφές για την εξαγωγή συμπερασμού σε μία διαπραγμάτευση του πράκτορα αγοραστή. Σύμφωνα με τις μεταβλητές και τις τιμές που παίρνουν, θα προσπαθήσουμε να δώσουμε ένα νόημα για το συμπέρασμα - αποδοχή πρότασης ή απόρριψη – μέσω των κανόνων. Πως δηλαδή θα απεικονιστούν στην έξοδο του διαχειριστή, οι πολύπλοκοι συνδυασμοί των δεδομένων εισόδου, σαν μία τιμή μεταξύ μηδέν και ένα.

Καταρχήν, όπως προαναφέρθηκε, οι γλωσσικές μεταβλητές εισόδου *Αξιολόγηση*, *Πεποίθηση*, *Διαφορά Χρόνου* και *Παράγοντας Σχετικότητα* είναι ανάλογες με τη μεταβλητή εξόδου *Βαθμός Αποδοχής*, αντίθετα με τη μεταβλητή η *Διαφορά Τιμής* που είναι αντιστρόφως ανάλογη.

Ας ξεκινήσουμε ορίζοντας τον 1^ο κανόνα που είναι αρκετά απλός και έχει να κάνει με το κατά πόσο το προϊόν του πωλητή σε μία συναλλαγή ταιριάζει με τις απαιτήσεις του αγοραστή. Δηλαδή τον παράγοντα σχετικότητας. Είναι προφανές, ότι στην περίπτωση που ο τελευταίος είναι πολύ μικρός, η αγορά του προϊόντος δεν είναι και η καλύτερη επιλογή, ανεξάρτητα των τιμών των υπόλοιπων μεταβλητών. Πρέπει λοιπόν κατά κάποιον τρόπο να «απομονώσουμε» την περίπτωση αυτή, ώστε να είμαστε

σίγουροι ότι ο συμπερασμός δεν θα οδηγήσει σε βαθμό αποδοχής τόσο υψηλό ώστε να προβεί σε αγορά ο αγοραστής. Έτσι, ο 1^{ος} κανόνας της βάσης γνώσης θα είναι:

- 1) **AN** Παράγοντας_Σχετικότητας είναι Πολύ_Μικρός **TOTE** Βαθμός_Αποδοχής είναι Μικρός

Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται ότι για ένα ελάχιστο σχετικό προϊόν με αυτό της επιθυμίας του αγοραστή, ο συμπερασμός δεν θα οδηγήσει σε αποδοχή πρότασης. Βέβαια σε αυτή την υλοποίηση του πράκτορα αγοραστή, η έννοια του παράγοντα σχετικότητας δεν θα παίξει πολύ μεγάλο ρόλο. Θεωρούμε ότι σε κάθε συναλλαγή το διαθέσιμο προς πώληση προϊόν είναι ακριβώς αυτό που επιθυμεί ο αγοραστής. Άρα ο παράγοντας θα ισούται με ένα, ή με Πολύ_Μεγάλο στον ασαφή διαχειριστή. Ωστόσο, για να κρατήσουμε τη βάση γνώσης κάπως «τυπική», τουλάχιστον πριν την αυτόματη προσαρμογή, δε μπορούμε παρά να τον συμπεριλάβουμε στους κανόνες.

Συνεχίζουμε με τους κανόνες οι οποίοι στο κομμάτι της συνέπειας έχουν Μικρό βαθμό αποδοχής, αλλά συνδυάζονται όλες οι μεταβλητές εισόδου.

- 2) **AN** Παράγοντας_Σχετικότητας είναι Μικρός **KAI** (Διαφορά_Τιμής είναι Μεγάλη **H** Διαφορά_Τιμής είναι Μέτρια) **KAI** (Πεποίθηση είναι Μέτρια **H** Πεποίθηση είναι Μικρή) **KAI** (Διαφορά_Χρόνου είναι Μεγάλη **H** Διαφορά_Χρόνου είναι Μέτρια) **KAI** (Αξιολόγηση είναι Μικρή **H** Αξιολόγηση είναι Μέτρια) **TOTE** Βαθμός_Αποδοχής είναι Μικρός.
- 3) **AN** Παράγοντας_Σχετικότητας είναι Μέτριος **KAI** (Διαφορά_Τιμής είναι Μεγάλη **H** Διαφορά_Τιμής είναι Μέτρια) **KAI** Πεποίθηση είναι Μικρή **KAI** Διαφορά_Χρόνου είναι Μεγάλη **KAI** (Αξιολόγηση είναι Μικρή **H** Αξιολόγηση είναι Μέτρια) **TOTE** Βαθμός_Αποδοχής είναι Μικρός.
- 4) **AN** Παράγοντας_Σχετικότητας είναι Μεγάλος **KAI** Διαφορά_Τιμής είναι Μεγάλη **KAI** Πεποίθηση είναι Μικρή **KAI** Διαφορά_Χρόνου είναι Μεγάλη **KAI** Αξιολόγηση είναι Μικρή **TOTE** Βαθμός_Αποδοχής είναι Μικρός.

Αυτές οι περιπτώσεις για τις μεταβλητές εισόδου θέλαμε να μας δίνουν μικρό βαθμό αποδοχής. Συνεχίζουμε με τέσσερις κανόνες για μέτριο βαθμό αποδοχής στην έξοδο του διαχειριστή,

- 5) **AN** Παράγοντας_Σχετικότητας είναι Μικρός **KAI** Διαφορά_Τιμής είναι Μικρή **KAI** Πεποίθηση είναι Μεγάλη **KAI** Διαφορά_Χρόνου είναι Μικρή **KAI** Αξιολόγηση είναι Μεγάλη **TOTE** Βαθμός_Αποδοχής είναι Μέτριος.
- 6) **AN** Παράγοντας_Σχετικότητας είναι Μέτριος **KAI** Διαφορά_Τιμής είναι Μικρή **KAI** (Πεποίθηση είναι Μεγάλη **H** Πεποίθηση είναι Μέτρια) **KAI** (Διαφορά_Χρόνου είναι Μικρή **H** Διαφορά_Χρόνου είναι Μέτρια) **KAI** Αξιολόγηση είναι Μεγάλη **TOTE** Βαθμός_Αποδοχής είναι Μέτριος.
- 7) **AN** Παράγοντας_Σχετικότητας είναι Μεγάλος **KAI** Διαφορά_Τιμής είναι Μέτρια **KAI** Πεποίθηση είναι Μέτρια **KAI** Διαφορά_Χρόνου είναι Μέτρια **KAI** Αξιολόγηση είναι Μέτρια **TOTE** Βαθμός_Αποδοχής είναι Μέτριος.
- 8) **AN** Παράγοντας_Σχετικότητας είναι Πολύ_Μεγάλος **KAI** Διαφορά_Τιμής είναι Μεγάλη **KAI** Πεποίθηση είναι Μικρή **KAI** Διαφορά_Χρόνου είναι Μεγάλη **KAI** Αξιολόγηση είναι Μικρή **TOTE** Βαθμός_Αποδοχής είναι Μέτριος.

και δύο για μεγάλο

- 9) **ΑΝ** Παράγοντας_Σχετικότητας είναι Μεγάλος **ΚΑΙ** (Διαφορά_Τιμής είναι Μικρή **Η** Διαφορά_Τιμής είναι Μέτρια) **ΚΑΙ** (Πεποίθηση είναι Μεγάλη **Η** Πεποίθηση είναι Μέτρια) **ΚΑΙ** Διαφορά_Χρόνου είναι Μικρή **ΚΑΙ** Αξιολόγηση είναι Μεγάλη **ΤΟΤΕ** Βαθμός_Αποδοχής είναι Μεγάλος.
- 10) **ΑΝ** Παράγοντας_Σχετικότητας είναι Πολύ_Μεγάλος **ΚΑΙ** (Διαφορά_Τιμής είναι Μικρή **Η** Διαφορά_Τιμής είναι Μέτρια) **ΚΑΙ** (Πεποίθηση είναι Μεγάλη **Η** Πεποίθηση είναι Μέτρια) **ΚΑΙ** (Διαφορά_Χρόνου είναι Μικρή **Η** Διαφορά_Χρόνου είναι Μέτρια) **ΚΑΙ** (Αξιολόγηση είναι Μεγάλη **Η** Αξιολόγηση είναι Μέτρια) **ΤΟΤΕ** Βαθμός_Αποδοχής είναι Μεγάλος.

Για να γίνει πιο σαφής η σημασία και το νόημα των κανόνων, αρκεί να σκεφτεί κανείς τη συμπεριφορά που θα είχε ο ίδιος σαν αγοραστής σε μία διαπραγμάτευση. Κάθε φορά θα αξιολογούσε τέτοιου είδους μεταβλητές, όπως ο διαχειριστής ασαφούς συμπερασμού του πράκτορα, κάνοντας συνειρμούς όπως οι παραπάνω κανόνες. Για παράδειγμα ο 8^{ος} κανόνας λέει ότι εάν το προϊόν είναι ακριβώς αυτό που θέλει ο χρήστης τότε, παρότι η διαφορά τιμής είναι μεγάλη, μπορεί να υπάρχει διαθέσιμος χρόνος και δεν υπάρχει μεγάλη πειστικότητα, η συνέπειά του θα είναι μέτριος βαθμός αποδοχής. Έτσι ο κανόνας αυτός, δίνει προτεραιότητα στο παράγοντα σχετικότητας και δείχνει τη θέληση για την αγορά του προϊόντος. Αντίστοιχα ο 6^{ος} κανόνας, παρότι υπάρχει μικρή διαφορά τιμής, δηλαδή έχει κατεβάσει κατά πολύ την τιμή ο πωλητής και μεγάλη αξιολόγηση, το αποτέλεσμα του κανόνα δείχνει ότι εφόσον μπορεί να υπάρχει διαθέσιμος χρόνος, θα «ρισκάρει» για ακόμα καλύτερη τιμή.

Μία σημαντική παρατήρηση που μπορεί να κάνει κανείς στο σημείο αυτό, είναι ότι η βάση κανόνων δεν καλύπτει όλους τους δυνατούς συνδυασμούς για τις μεταβλητές εισόδου. Έχουμε 5 μεταβλητές εισόδου εκ των οποίων οι τέσσερις έχουν τρεις συναρτήσεις συμμετοχής και η μία πέντε. Έτσι ο αναμενόμενος αριθμός κανόνων που συνδυάζουν και τις πέντε μεταβλητές στην είσοδο μόνο με λογικά 'ΚΑΙ' είναι $3^4 \cdot 5 = 405$.

Βέβαια στους παραπάνω κανόνες περιλαμβάνονται και 'Η' για την τιμή των μεταβλητών, με αποτέλεσμα τελικά κάθε κανόνας να κρύβει μέσα του δύο ή περισσότερους κανόνες που αποτελούνται μόνο από 'ΚΑΙ' για τις πέντε μεταβλητές. Ακόμα και έτσι, πάλι οι συγκεκριμένοι κανόνες δεν είναι αρκετοί για όλους τους συνδυασμούς με αποτέλεσμα οι συνδυασμοί αυτοί – που δεν προβλέπονται από τη βάση – να οδηγούν σε αποτέλεσμα συμπερασμού για την Βαθμός_Αποδοχής ίσο με μηδέν! Υπό κανονικές συνθήκες, για έναν διαχειριστή ασαφούς συμπερασμού κάτι τέτοιο είναι λάθος, διότι για κάθε δυνατό συνδυασμό δεδομένων εισόδου πρέπει να ενεργοποιείται τουλάχιστον ένας κανόνας, ώστε να παραχθεί κάποια έξοδος με νόημα. Ωστόσο, η υλοποίηση αυτή όπως θα δούμε στη συνέχεια, προσαρμόζεται αυτόματα σύμφωνα με κάποιο μοντέλο. Ένα μέρος αυτής της προσαρμογής επιτυγχάνεται με την προσθήκη κανόνων, κάνοντας έτσι πλήρες το πεδίο ορισμού του διαχειριστή. Περισσότερα για αυτό στο επόμενο κεφάλαιο που θα γίνει αναλυτική περιγραφή της αυτόματης προσθήκης κανόνων Takagi-Sugeno.

Ορίσαμε την ασαφή βάση δεδομένων (μεταβλητές, συναρτήσεις συμμετοχής) και την βάση κανόνων. Τέλος, για να ολοκληρωθεί ο διαχειριστής του αγοραστή πρέπει να ορίσουμε τους τελεστές που θα εφαρμοστούν στις πράξεις επί των ασαφών συνόλων και τη μέθοδο μετατροπής των fuzzified τιμών εξόδου (βλ. ενότητα 3.3).

- AND: τελεστής ελαχίστου
- OR: τελεστής μεγίστου
- ACCU: τελεστής μεγίστου
- Defuzzification: κέντρο βαρύτητας

Καταλαβαίνει λοιπόν κανείς, πως ο ορισμός μιας βάσης γνώσης για έναν πράκτορα αγοραστή είναι ένα μία αρκετά δύσκολη και πολύπλοκη διαδικασία. Η ποιότητα του μπορεί να φέρει σημαντικά οφέλη στις διαπραγματεύσεις, άρα αγορές με λιγότερο κόστος για τον χρήστη. Είναι όμως δυνατό, να σχεδιαστεί ένας ασαφής διαχειριστής που θα έχει καλό αποτέλεσμα με κάθε συναλλασσόμενο;

5. ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΒΑΣΗΣ ΓΝΩΣΗΣ

5.1 Στόχοι

Έχουμε καταλήξει μέχρι στιγμής, στον τρόπο με τον οποίο θα λαμβάνει τις αποφάσεις ο αγοραστής για να κάνει το δυνατόν καλύτερες συναλλαγές, με δεδομένη τη «δομή» της πληροφορίας. Ωστόσο, υπάρχουν δύο μεγάλα ζητήματα τα οποία δεν έχουν ξεκαθαριστεί ακόμα από τον διαχειριστή. Το πρώτο όπως είδαμε, είναι η αρχικά μη πλήρης βάση κανόνων, με την οποία θα υπάρχουν περιπτώσεις στη διαπραγμάτευση όπου ο διαχειριστής δεν θα παίρνει απόφαση διότι δεν ξέρει τι να κάνει για μία δεδομένη είσοδο. Αυτό είναι δυνατό να αντιμετωπιστεί δυναμικά από τον πράκτορα κατά τη διάρκεια της συναλλαγής. Βέβαια, οι κανόνες αυτοί που θα προστίθενται πρέπει να είναι τέτοιοι, ώστε σε έναν επόμενο γύρο με ίδιες ή παραπλήσιες εισόδους να παράγουν ένα αποτέλεσμα επιθυμητό για τον αγοραστή και όχι απλά να καλύψουν ολόκληρο το πεδίο ορισμού των συναρτήσεων των μεταβλητών.

Το δεύτερο, έχει να κάνει με τη βελτίωση της «ποιότητας» της απόφασης του αγοραστή, για μία τιμή του πωλητή. Πως μπορεί δηλαδή ο πράκτορας, δυναμικά, να παίρνει διαφορετική έξοδο για ίδιες τιμές εισόδου, βασιζόμενος τώρα στους υπάρχοντες κανόνες. Ποια στοιχεία-δεδομένα μέσα από τη διαπραγμάτευση, μπορεί να αξιοποιήσει για να το επιτύχει αυτό, αποδοτικά.

Όπως προαναφέρθηκε στο 2^ο κεφάλαιο ο αγοραστής δεν ξέρει και πολλά για τον πωλητή και αντίστροφα. Συγκεκριμένα η μόνη πληροφορία που έχει ο ένας για τον άλλον είναι η ακολουθία των προτάσεων τιμών που λαμβάνουν. Συνεπώς, κατά τη διάρκεια της συναλλαγής, ο αγοραστής που έχει σαν στόχο τη βελτίωση των αποφάσεων του για μεγαλύτερο κέρδος, με βάση ποια πληροφορία θα κάνει τις όποιες αλλαγές στη βάση γνώσης του; Ποιο μοντέλο δηλαδή θα ακολουθήσει, στη διάρκεια λειτουργίας του ο πράκτορας, για να του επιφέρει βελτίωση στην απόδοση, σε σχέση με την αρχική σχεδίαση του, που βασίζεται στις μεταβλητές του προηγούμενου κεφαλαίου.

Άρα λοιπόν, για να συνοψίσουμε όλα τα παραπάνω, στο κεφάλαιο αυτό θα ξεκινήσουμε ορίζοντας το μοντέλο αναφοράς (reference model) και εξηγώντας το λόγο που επιλέχτηκε. Στη συνέχεια θα δούμε πως θα προστεθούν κανόνες Takagi-Sugeno ώστε να γίνει πλήρης η βάση γνώσης, σύμφωνα με το μοντέλο στο οποίο θα προσαρμόζεται ο πράκτορας. Οι κανόνες αυτοί, που το κομμάτι της συνέπειας αποτελεί συνάρτηση των μεταβλητών στο κομμάτι της αιτίας, θα σχεδιαστούν ώστε μελλοντικά με ίδια είσοδο ο διαχειριστής, να εξάγει αποτελέσματα πιο «κοντά» στο μοντέλο αναφοράς. Τέλος, θα δούμε πως μπορούμε να προσαρμόσουμε τη βάση γνώσης του αγοραστή και συγκεκριμένα τις συναρτήσεις συμμετοχής ώστε να προσεγγίζουν το δυνατόν ταχύτερα το παραπάνω μοντέλο. Η ανάγκη για ταχεία προσαρμογή σε σχέση με το μοντέλο είναι προφανής απαίτηση της σχεδίασης για τον πράκτορα. Δεν θα είχε νόημα να μιλάγαμε για προσαρμογή βάσης γνώσης, εάν οι αλλαγές που προέκυπταν σε μία διαπραγμάτευση επρόκειτο να φέρουν τα επιθυμητά αποτελέσματα μετά το πέρας μεγάλου αριθμού γύρων. Θέλει δηλαδή ο πράκτορας, να είναι σε θέση να ακολουθεί πιστά το μοντέλο, αντιδρώντας γρήγορα στις «υποδείξεις» του δρομολογώντας τις σωστές αλλαγές. Μόνο έτσι, τα συμπεράσματα-αποφάσεις του διαχειριστή θα γίνουν την κατάλληλη στιγμή της διαπραγμάτευσης.

5.2 Μοντέλο Αναφοράς Πράκτορα Αγοραστή

Όντας μαύρο κουτί, ο ένας πράκτορας για τον άλλον, οι τιμές που προτείνει ο πωλητής είναι η πληροφορία που θα αξιοποιηθεί από το μοντέλο αναφοράς. Οι τιμές αυτές δηλαδή, η διακύμανσή τους, θα αποτελέσουν την είσοδο του μοντέλου, πέρα από το διαχειριστή, το οποίο θα υποδείξει στον τελευταίο τί αλλαγές πρέπει να κάνει στη βάση γνώσης του για να το προσεγγίσει. Επιλέξαμε λοιπόν, το μοντέλο αυτό να εκφράζει την πεποίθηση του αγοραστή για την στρατηγική του πωλητή. Το μοντέλο αναφοράς προσπαθεί να επιτύχει την καλύτερη δυνατή ενέργεια του αγοραστή σαν απάντηση στις προτάσεις του πωλητή. Βασίζεται σε 5 παράμετρους (rel_factor , val , bel , Td , Pd) του FL συστήματος και έχει σαν αποτέλεσμα την κατάλληλη τιμή του βαθμού αποδοχής μίας πρότασης. Η μεταβλητή Td (διαφορά τιμής) εξαρτάται από την άγνωστη στρατηγική του πωλητή. Η πρότασή μας είναι να χρησιμοποιήσουμε στο μοντέλο τον γνωστό Πυρήνα Εκτίμησης Πιθανότητας (Kernel Density Estimator) για την εκτίμηση της κατανομής τιμών του πωλητή, που είναι παράγωγο της στρατηγικής του. Ο KDE αποτελεί μία μεθοδολογία για την εκτίμηση της Συνάρτησης Πυκνότητας Πιθανότητας (Probability Density Function) μίας άγνωστης κατανομής. Η επικείμενη τεχνική χρησιμοποιείται ευρέως σε προβλήματα συμπερασμού Machine Learning, Data Mining κλπ. Έστω (x_1, x_2, \dots, x_n) ένα δείγμα της άγνωστης κατανομής. Στην περίπτωση μας το x_i συμβολίζει τις τιμές του πωλητή. Ο αγοραστής διατηρεί τη λίστα προτάσεων τιμών του πωλητή, ώστε να μπορεί να προβλέψει την κατανομή της πολιτικής τιμών του πωλητή βασιζόμενος στον KDE. Στην ουσία, ο αγοραστής υπολογίζει την αναμενόμενη τιμή των προτάσεων του πωλητή αυξητικά. Αυτό σημαίνει ότι η αναμενόμενη τιμή υπολογίζεται σε κάθε γύρο διαπραγμάτευσης. Ο KDE αυτής της κατανομής ορίζεται από την ακόλουθη:

$$\hat{f}_h = \frac{1}{N \cdot h} \sum_{i=1}^N K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (5)$$

Όπου x η επικείμενη μεταβλητή, N το μέγεθος του δείγματος, h η συχνότητα (bandwidth) του Πυρήνα και $K(\square)$ η KDE. Η KDE είναι μία συμμετρική συνάρτηση που τείνει στο 1. Σαν συνάρτηση πυρήνα χρησιμοποιούμε την Gaussian. Συνεπώς, η κατανομή πιθανότητας της στρατηγικής του πωλητή δίνεται από την:

$$f(x) = \frac{1}{N \cdot h} \sum_{i=1}^N K\left(\frac{x-p_i}{h}\right) \quad (6)$$

Όπου p_i είναι η πρόταση του πωλητή στο γύρο i . Ύστερα από υπολογισμούς καταλήγουμε στην:

$$f(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} e^{-\frac{(x-p_i)^2}{2}} \quad (7)$$

Υιοθετώντας την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της εξίσωσης (8), μπορούμε να υπολογίσουμε την αναμενόμενη τιμή όπως προκύπτει από την στρατηγική του πωλητή. Ύστερα από υπολογισμούς:

$$f(x) = \frac{1}{N\sqrt{2\pi}} \sum_{i=1}^N Z \quad (8)$$

Με

$$\begin{aligned} Z &= e^{-\frac{p_i^2}{2}} \\ &+ \frac{1}{2} p_i \sqrt{2 \cdot \pi} \cdot \operatorname{erf} \left(\frac{p_i \cdot \sqrt{2}}{2} \right) \\ &- e^{-\frac{a}{V} + aV p_i - \frac{p_i^2}{2}} \\ &- \frac{p_i \sqrt{2 \cdot \pi}}{2} \cdot \operatorname{erf} \left(-\frac{aV \sqrt{2}}{2} + \frac{p_i \sqrt{2}}{2} \right) \end{aligned} \quad (9)$$

, όπου $\operatorname{erf}()$ η συνάρτηση απόκλισης της Γκαουσιανής κατανομής. Στην παραπάνω εξίσωση θεωρούμε ότι ο αγοραστής υιοθετεί μία μέγιστη τιμή για τις προτάσεις του πωλητή που ισούται με $aV, a > 1$. Η παράμετρος a αναπαριστά τη στρατηγική του αγοραστή. Αν $a \rightarrow 1$ σημαίνει ότι ακολουθεί αυστηρή (strict) πολιτική, αποδέχεται δηλαδή προτάσεις τιμές μικρότερες της αξιολόγησης V . Το αντίθετο ισχύει (χαλαρή πολιτική) για $a \rightarrow \infty$. Στηριζόμενοι στα παραπάνω θεωρούμε ότι η τιμή της T_d (διαφορά τιμής) προκύπτει αφαιρώντας την ανερχόμενη τιμή του αγοραστή από την αναμενόμενη του πωλητή.

Στη διάρκεια μιας διαπραγμάτευσης οι παράμετροι r και V είναι σταθερές ενώ οι υπόλοιπες 3 μεταβάλλονται σε κάθε γύρο. Στη μελέτη μας προτείνουμε δύο προσεγγίσεις σε σχέση με το μοντέλο αναφοράς: α) τη «σκληρή» (hard) και β) τη «μαλακή» (soft). Ακολουθώντας την πρώτη, η τιμή της βαθμός αποδοχής (AD) όπως προκύπτει από το μοντέλο είναι:

$$AD_r(t) = r \cdot b \cdot t_d \cdot p_d \cdot V \quad (10)$$

Όλες οι τιμές της (10) κανονικοποιούνται στο 1. Αυτή η στρατηγική δείχνει έναν αγοραστή ο οποίος ακολουθεί αυστηρή πολιτική και αποδέχεται πρόταση μόνο όταν το σύνολο των παραμέτρων έχουν τιμές κοντά στο 1. Η δεύτερη προσέγγιση καταλήγει σε τιμές για την AD με βάση την επόμενη εξίσωση:

$$AD_r(t) = w_1 \cdot r + w_2 \cdot b + w_3 \cdot t_d + w_4 \cdot p_d + w_5 \cdot V \quad (11)$$

με

$$\sum_{w=1}^5 w_i = 1 \quad (12)$$

Συνεπώς $AD_r(t) \in [0,1]$. Με τη δεύτερη προσέγγιση για το RM στοχεύουμε στο να παρέχουμε μία μέθοδο που δίνει ιδιαίτερη σημασία (βάρος) σε συγκεκριμένες παραμέτρους εισόδου του FL συστήματος. Για παράδειγμα εάν θέσουμε $w_4 = 1$ λαμβάνουμε υπ' όψιν μόνο την τιμή του προϊόντος.

Ζητούμενο λοιπόν είναι η βάση γνώσης του διαχειριστή να διαμορφώνεται δυναμικά, έτσι ώστε η έξοδος του $y(r)$ να προσεγγίζει το δυνατόν περισσότερο την έξοδο $y_m(r)$ του μοντέλου σε κάθε γύρο r της διαπραγμάτευσης. Η ελαχιστοποίηση δηλαδή της διαφοράς $y_m(r) - y(r)$.

Πως μπορεί να γίνει κάτι τέτοιο; Εξετάζουμε πρώτα την περίπτωση, στην οποία η έξοδος $y(r)$ ισούται με 0. Όταν δηλαδή δεν υπάρχει κανένας κανόνας στη βάση γνώσης, που να ανταποκρίνεται σε κάποιο συγκεκριμένο συνδυασμό των δεδομένων εισόδου.

5.3 Αυτόματη Προσθήκη Κανόνων Takagi-Sugeno

Το κομμάτι συνέπειας των κανόνων αυτών αποτελείται από συναρτήσεις των μεταβλητών εισόδου. Στο διαχειριστή του πράκτορα αγοραστή η δομή ενός κανόνα TS είναι η εξής:

AN V είναι v και P_d είναι p_d και T_d είναι t_d και B είναι b και R είναι r TOTE

$$u = V \cdot w_V + P_d \cdot w_{P_d} + T_d \cdot w_{T_d} + B \cdot w_B + R \cdot w_R$$

, όπου w είναι τα βάρη κάθε κανόνα. Οι κανόνες λοιπόν που θα προστεθούν είναι της παραπάνω μορφής. Επαναλαμβάνουμε πως στόχος μας είναι, όταν θα ενεργοποιηθεί ένας κανόνας που έχει εισαχθεί αυτόματα, η έξοδος του να αποκλίνει το δυνατόν λιγότερο από το μοντέλο. Δηλαδή $y(r) \rightarrow y_m(r)$. Για παράδειγμα, έστω ότι ο συμπερασμός για ένα στιγμιότυπο εισόδου σε ένα γύρο διαπραγμάτευσης απέτυχε (λόγω έλλειψης κανόνα) και άρα $y(r) = 0$. Επίσης έστω ότι το μοντέλο στο γύρο αυτό υπέδειξε ότι η έξοδος του διαχειριστή πρέπει να ήταν $y_m(r) = 0.55$. Τότε πρέπει να εισαχθεί ένας TS κανόνας, ο οποίος σε επόμενο γύρο, για ίδια ή παρεμφερή είσοδο θα οδηγήσει τον διαχειριστή σε έξοδο $y(r)$ που θα προσεγγίζει το δυνατόν περισσότερο την τιμή 0.55 του μοντέλου εκείνη τη στιγμή.

IF (x_1 is $A_{1,1}$)AND(x_2 is $A_{2,1}$)AND...AND(x_K is $A_{K,1}$) THEN $y = f_1(x_1, x_2, \dots, x_K)$

IF (x_1 is $A_{1,2}$)AND(x_2 is $A_{2,2}$)AND...AND(x_K is $A_{K,2}$) THEN $y = f_2(x_1, x_2, \dots, x_K)$

⋮

IF (x_1 is $A_{1,m}$)AND(x_2 is $A_{2,m}$)AND...AND(x_K is $A_{K,m}$) THEN $y = f_m(x_1, x_2, \dots, x_K)$

⋮

IF (x_1 is $A_{1,M}$)AND(x_2 is $A_{2,M}$)AND...AND(x_K is $A_{K,M}$) THEN $y = f_M(x_1, x_2, \dots, x_K)$

Σχήμα 38: Βάση κανόνων Takagi-Sugeno

Συνεπώς, θέλουμε να μεγιστοποιήσουμε την συνέπεια u του κανόνα, ώστε να ελαχιστοποιήσουμε το λάθος $y_m(r) - y(r)$. Θα εφαρμόσουμε λοιπόν μία μέθοδο Simplex στην

$$\text{Maximize } u = V \cdot w_V + P_d \cdot w_{P_d} + T_d \cdot w_{T_d} + B \cdot w_B + R \cdot w_R \quad (63)$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^5 w_i = 1 \quad (14)$$

$$w_i \geq 0, \forall i \in [1,5] \quad (15)$$

$$w_i \leq 1, \forall i \in [1,5] \quad (76)$$

$$\sum_{i=1}^5 w_i \cdot x_i \geq 0 \quad (17)$$

$$\sum_{i=1}^5 w_i \cdot x_i \leq y_m(r) \quad (18)$$

Η u λοιπόν θα μεγιστοποιηθεί σε σχέση με το $y_m(r)$ άρα μειώνεται η διαφορά $y_m(r) - y(r)$. Συνεπώς, μετά την είσοδο του κανόνα, με είσοδο αντίστοιχη, το αποτέλεσμα του διαχειριστή θα προσεγγίσει το επιθυμητό που ορίζεται από το μοντέλο αναφοράς. Ιδανικά στην προσαρμογή του αγοραστή, θέλουμε

$$|y_m(r_i) - y(r_{i+j})| \rightarrow 0, \text{ με } j \text{ μικρό.}$$

Να ελαχιστοποιηθεί δηλαδή η απόκλιση, μετά το πέρασμα μικρού αριθμού γύρων.

Την τιμή αυτή, που θα παράγει η Simplex θα την εντάξουμε σε ένα ασαφές σύνολο (με τη συνάρτηση συμμετοχής εξόδου). Αντίστοιχα θα κάνουμε και στις μεταβλητές εισόδου.

Για παράδειγμα, έστω ότι σε ένα γύρο διαπραγμάτευσης η είσοδος στον ασαφή διαχειριστή είναι $v = 0.96, r = 1.0, p_d = 0.9, t_d = 0.04, b = 0.89$ και δεν ενεργοποιεί κανέναν κανόνα στη βάση γνώσης (Για να επαληθευτεί αυτό, αρκεί να κοιτάξει κανείς τη βάση

κανόνων του ασαφούς διαχειριστή). Το πρώτο πράγμα, είναι το fuzzification της εισόδου. Οι τιμές, δηλαδή αυτές να εισαχθούν στα ασαφή σύνολα. Μετά, ανάλογα την έξοδο των συναρτήσεων συμμετοχής, γίνεται αντιστοίχιση με τον κανόνα που θα εισαχθεί. Άρα το κομμάτι με τις συνθήκες θα γίνει:

ΑΝ Παράγοντας_Σχετικότητας είναι Πολύ_Μεγάλος **ΚΑΙ** Διαφορά_Τιμής είναι Μεγάλη **ΚΑΙ** Πεποίθηση είναι Μεγάλη **ΚΑΙ** Διαφορά_Χρόνου είναι Μικρή **ΚΑΙ** Αξιολόγηση είναι Μεγάλη

Αντίστοιχα θα λειτουργήσει και για τη u , μετά την εφαρμογή της Simplex. Στη συγκεκριμένη περίπτωση θα γίνει Μεγάλη σχηματίζοντας τελικά έναν Mamdani κανόνα που κρύβει μέσα του έναν Takagi-Sugeno:

ΑΝ Παράγοντας_Σχετικότητας είναι Πολύ_Μεγάλος **ΚΑΙ** Διαφορά_Τιμής είναι Μεγάλη **ΚΑΙ** Πεποίθηση είναι Μεγάλη **ΚΑΙ** Διαφορά_Χρόνου είναι Μικρή **ΚΑΙ** Αξιολόγηση είναι Μεγάλη **ΤΟΤΕ** Βαθμός_Αποδοχής είναι Μεγάλος

Υπάρχει η περίπτωση μία μεταβλητή (εισόδου ή/και εξόδου) να αντιστοιχεί σε περισσότερα από ένα σύνολα. Τότε, εφαρμόζοντας τον τελεστή Η μεταξύ των δύο συναρτήσεων, καλύπτονται και οι δύο περιπτώσεις εντός του κανόνα.

ΑΝ Παράγοντας_Σχετικότητας είναι Πολύ_Μεγάλος **ΚΑΙ** (Διαφορά_Τιμής είναι Μεγάλη **Η** Διαφορά_Τιμής είναι Μέτρια) **ΚΑΙ** Πεποίθηση είναι Μεγάλη **ΚΑΙ** (Διαφορά_Χρόνου είναι Μικρή **Η** Διαφορά_Χρόνου είναι Μεσσαία) **ΚΑΙ** Αξιολόγηση είναι Μεγάλη **ΤΟΤΕ** Βαθμός_Αποδοχής είναι Μεγάλος

Με αυτόν τον τρόπο, μετά από κάποιο μικρό αριθμό βημάτων η βάση γνώσης είναι πλήρης. Έτσι, ο ασαφής διαχειριστής είναι σε θέση να οδηγηθεί σε συμπέρασμα, για κάθε δυνατή είσοδο. Μάλιστα όχι μόνο την κάνει πλήρη, αλλά και σύμφωνη, σε κάποιο βαθμό, με το μοντέλο αναφοράς το οποίο είναι η πληροφορία που έχει ο διαχειριστής για το πώς λειτουργεί ο πωλητής. Στα επόμενα 2 κεφάλαια, θα δούμε ότι η επεκταμένη βάση γνώσης είναι δυνατόν, όχι μόνο να λειτουργήσει σε μία διαπραγμάτευση, αλλά να μεταβιβαστεί σε επόμενες και να είναι επικερδής. Βέβαια, κάτι τέτοιο δεν αποτελεί εγγύηση. Οι επόμενοι πράκτορες πωλητές δεν θα είναι ταυτόσημοι με αυτούς στη διάρκεια οικοδόμησης γνώσης. Συνεπώς, σίγουρα θα υπάρχουν και περιπτώσεις στις οποίες κάποιοι κανόνες δεν θα οδηγούν τελικά τον διαχειριστή σε σωστό συμπέρασμα. Συνολικά ωστόσο, θα δούμε ότι η μετάδοση της γνώσης είναι επικερδής.

Μία πρώτη προσαρμογή λοιπόν, είναι η οικοδόμηση της βάσης κανόνων. Ο διαχειριστής, ξεκινώντας από ένα σύνολο ασαφών κανόνων, συμμετέχοντας σε διαπραγμάτευση με έναν πωλητή, εμπλουτίζει αυτή τη βάση σύμφωνα με το μοντέλο αναφοράς. Το αποτέλεσμα είναι, ότι σε επόμενους γύρους, οι αποφάσεις του διαχειριστή θα ακολουθούν περισσότερο αυτές του μοντέλου οδηγώντας έτσι σε καλύτερα αποτελέσματα. Το μοντέλο εδώ είναι μία πιθανότητα, συνεπώς ούτε αυτό εγγυάται ότι η τιμή που ορίζει είναι πάντα αποτελεσματική για την απάντηση του αγοραστή. Ωστόσο, θεωρούμε ότι η έξοδος του είναι αυτή η οποία θα κατευθύνει τον διαχειριστή, άρα προσαρμόζεται με βάση αυτήν.

Σε τι βαθμό όμως, μπορεί να προσεγγίσει ο διαχειριστής το μοντέλο προσθέτοντας απλά κανόνες; Για ακόμα καλύτερες επιδόσεις και ταχύτερη προσαρμογή, είναι δυνατόν να γίνονται και αλλαγές στη βάση κανόνων δυναμικά, στην περίπτωση του πράκτορα αγοραστή στη διάρκεια της διαπραγμάτευσης. Αυτό μπορεί να γίνει είτε μεταβάλλοντας τους κανόνες, είτε τις συναρτήσεις συμμετοχής. Ωστόσο το πρώτο, δεν αποτελεί πολύ καλή λύση. Το δεύτερο, όπως θα δούμε στη συνέχεια, είναι μία μέθοδος η οποία κάνει τις αλλαγές στις συναρτήσεις, με τέτοιο τρόπο ώστε να παρακολουθείται (tracking) το μοντέλο, οι αλλαγές του και αντίστοιχα να λειτουργεί και ο διαχειριστής. Στην επόμενη παράγραφο, εστιάζουμε την προσοχή στη μέθοδο αυτή και την υλοποίησή της για τον πράκτορα αγοραστή. Πόσο συνεισφέρει και πόσο γρήγορη είναι σε συνδυασμό με την προσθήκη κανόνων.

5.4 Προσαρμογή Συναρτήσεων Συμμετοχής – Ασαφών Συνόλων

Η έξοδος του διαχειριστή προκύπτει με βάση τις συναρτήσεις συμμετοχής. Σύμφωνα με τους κανόνες που ενεργοποιούνται, προκύπτουν κάποιες τιμές στις συναρτήσεις βάση των οποίων, στο τελικό στάδιο του διαχειριστή defuzzification, προκύπτει η τελική έξοδος. Στον αγοραστή αυτή είναι ο βαθμός αποδοχής μίας πρότασης. Οι συναρτήσεις δηλαδή, εκφράζουν το νόημα των κανόνων και το αποτυπώνουν στην έξοδο. Συνεπώς, για τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα στην προσαρμογή, ώστε να προσεγγίζεται με μεγαλύτερη ακρίβεια το μοντέλο αναφοράς, θα πρέπει να μεταβάλλονται και αυτές.

Για να καταλάβουμε λίγο καλύτερα τη λογική με την οποία εφαρμόζουμε αυτές τις ρυθμίσεις στη βάση γνώσης, έστω ότι σε κάποιο βήμα της προσομοίωσης, στον ελεγκτή του πράκτορα αγοραστή ενεργοποιούνται οι εξής κανόνες:

- 1) **ΑΝ** Παράγοντας_Σχετικότητας είναι Μεγάλος **ΚΑΙ** Διαφορά_Τιμής είναι Μεγάλη **ΚΑΙ** Πεποίθηση είναι Μικρή **ΚΑΙ** Διαφορά_Χρόνου είναι Μεγάλη **ΚΑΙ** Αξιολόγηση είναι Μικρή **ΤΟΤΕ** Βαθμός_Αποδοχής είναι Μικρός.
- 2) **ΑΝ** Παράγοντας_Σχετικότητας είναι Μεγάλος **ΚΑΙ** (Διαφορά_Τιμής είναι Μεγάλη **Η** Διαφορά_Τιμής είναι Μεσσαία) **ΚΑΙ** Πεποίθηση είναι Μεσσαία **ΚΑΙ** Διαφορά_Χρόνου είναι Μεγάλη **ΚΑΙ** Αξιολόγηση είναι Μεσσαία **ΤΟΤΕ** Βαθμός_Αποδοχής είναι Μεσσαίος.

Από τους οποίους ο 1^{ος} ανήκει στην αρχική βάση γνώσης, και ο 2^{ος} προστέθηκε δυναμικά σε κάποιο σημείο που η βάση δεν ήταν επαρκής για συμπερασμό. Οι συναρτήσεις συμμετοχής στην έξοδο θα δώσουν μία τιμή βαθμού αποδοχής για την πρόταση του πωλητή, η οποία μπορεί να αποκλίνει αρκετά από την τιμή του μοντέλου. Στο σημείο αυτό, ο ελεγκτής προκειμένου να ενημερώσει τη βάση γνώσης του, για καλύτερο συμπερασμό, πρέπει να προχωρήσει σε διάφορες αλλαγές στις συναρτήσεις συμμετοχής των *Μεσσαίος* και *Μικρός*. Εάν για παράδειγμα η τιμή του μοντέλου ήταν μεγαλύτερη από του αυτή του ελεγκτή, τότε πρέπει να αλλάξει το «νόημα» των συναρτήσεων συμμετοχής της εξόδου, των κανόνων που ενεργοποιούνται. Η συνάρτηση *Μεσσαία* θα πρέπει πλέον, να οδηγήσει σε υψηλότερη έξοδο το συμπερασμό για να είναι καλύτερη η προσαρμογή συνολικά.

Η παραπάνω τεχνική θα επιτευχθεί ολισθαίνοντας τις συναρτήσεις συμμετοχής εξόδου των κανόνων που ενεργοποιούνται, κατά μήκος του οριζόντιου άξονα. Έτσι μετά από μικρό αριθμό γύρων όπως θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο η έξοδος του ελεγκτή ταυτίζεται στην ουσία αυτήν του μοντέλου.

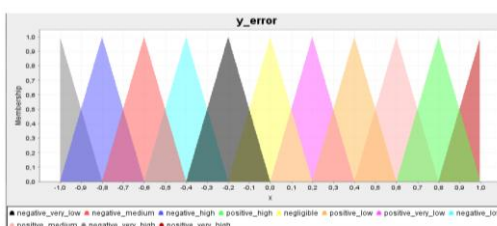
Σε κάθε γύρο της διαπραγματεύσεως, πρέπει να παρακολουθείται (track) η απόκλιση $e(r_i) = y_m(r_i) - y(r_i)$ αλλά και η αλλαγή της μεταξύ δύο γύρων $c(r_i) = e(r_i) - e(r_{i-1})$. Ο ελεγκτής εκτός από την απόκλιση μοντέλου-συμπερασμού, αξιοποιεί και την πληροφορία για την αλλαγή στην απόκλιση μεταξύ αυτού του γύρου και του προηγούμενου. Με αυτόν τον τρόπο η ποιότητα της προσαρμογής είναι σαφώς καλύτερη καθότι συνυπολογίζεται, εκτός από την απόκλιση και η πρόοδος της προσαρμογής. Αν δηλαδή οι αποφάσεις για αλλαγές μέχρι εκείνη τη στιγμή οδήγησαν σε μικρότερες αποκλίσεις, ή όχι, οπότε να ληφθεί και αυτό υπόψη από τον ελεγκτή ώστε να ρυθμίσει καλύτερα τη βάση γνώσης του.

Fuzzy Inverse Model

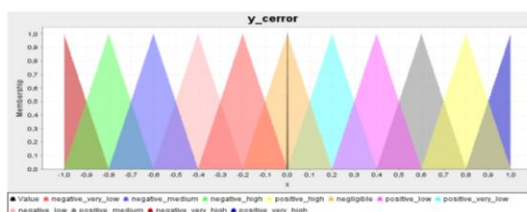
Ας ξεκινήσουμε με το 1^ο στοιχείο (component) που θα προσθέσουμε στον πράκτορα αγοραστή. Ο μηχανισμός αυτός, αναλαμβάνει να κάνει τις υποδείξεις για τις αλλαγές στον ελεγκτή ασαφούς συμπερασμού. Να διαχειριστεί δηλαδή με κάποιον τρόπο τις παραπάνω πληροφορίες για απόκλιση και αλλαγή στην απόκλιση, και να οδηγηθεί σε έναν συμπερασμό, σχετικά με το τι αλλαγές πρέπει να γίνουν στη βάση γνώσης του ελεγκτή του πράκτορα. Συνεπώς, το «αντίστροφο μοντέλο» όπως και ο άλλος ελεγκτής ασαφούς συμπερασμού, θα περιέχει μια βάση γνώσης (ασαφείς κανόνες – συναρτήσεις συμμετοχής) βάση των οποίων θα συμπεραίνει σε τι αλλαγές πρέπει να προχωρήσει ο πρώτος ελεγκτής, ώστε οι τιμές τις *Βαθμός_Αποδοχής* να ταυτίζονται με το μοντέλο [13].

Ξεκινάμε με την περιγραφή των συναρτήσεων συμμετοχής. Η πληροφορία που έχει το inverse model είναι η *Απόκλιση* $e(r_i) = y_m(r_i) - y(r_i)$ και *Αλλαγή_Απόκλισης* $c(r_i) = e(r_i) - e(r_{i-1})$ και σαν έξοδο τη μεταβλητή *Ολίσθηση* $p(r_i)$ η οποία συμβολίζει το πόσο πρέπει να ολισθήσουν κατά μήκος του άξονα x οι συναρτήσεις της *Βαθμός_Αποδοχής*.

Οι συναρτήσεις των δύο μεταβλητών είναι πανομοιότυπες. 11 τρίγωνα (*Αρνητική_Πολύ_Μικρή* – *Θετική_πολύ_Μεγάλη*) με βάση τα οποία θα χαρακτηρίζεται η απόκλιση μεταξύ μοντέλου και ελεγκτή του πράκτορα και η αλλαγή της μεταξύ δύο γύρων.



Σχήμα 24: Συναρτήσεις συμμετοχής Μεταβλητής «Απόκλιση» Fuzzy Inverse Model



Σχήμα 25: Συναρτήσεις Συμμετοχής Μεταβλητής "Αλλαγή_Απόκλισης" Fuzzy Inverse Model



Σχήμα 26: Συναρτήσεις Συμμετοχής Μεταβλητής "Ολίσθηση " Fuzzy Inverse Model

Στη συνάρτηση εξόδου, οι συναρτήσεις συμμετοχής, επιλέχθηκε έτσι ώστε η μέγιστη τιμή ολίσθησης σε ένα βήμα να μην ξεπερνάει στην ακραία περίπτωση το 0.50. Η επιλογή αυτή έγινε μετά από αρκετό πειραματισμό, διότι παρατηρήθηκε το εξής φαινόμενο: Στις περιπτώσεις στις οποίες το μοντέλο είχε τεράστια απόκλιση από τον ελεγκτή, συνήθως στα 8-15 πρώτα βήματα, οι απότομες αλλαγές στις συναρτήσεις, δεν βοηθούσαν το inverse model να κάνει καλό track μακροπρόθεσμα, με αποτέλεσμα να καθυστερεί η προσαρμογή. Γι' αυτό το λόγο έπρεπε να περιοριστεί η μέγιστη τιμή ολίσθησης κατά το ήμισι. Έτσι οι λιγότερο «ανατρεπτικές» αλλαγές, ανά βήμα, οδήγησαν τελικά σε καλύτερη συμπεριφορά ολόκληρο το «μηχανισμό μάθησης».

Οι ασαφείς κανόνες της βάσης γνώσης του μοντέλου, οδηγούν σε συμπερασμό για κατάλληλη τιμή ολίσθησης των συναρτήσεων. Συνεπώς το inverse model πρέπει να είναι ρυθμισμένο με τέτοιο τρόπο, ώστε να ανταποκρίνεται με μία τιμή ολίσθησης για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς απόκλισης και αλλαγής στην απόκλιση. Άρα για δύο μεταβλητές εισόδου και μία εξόδου, όλες από 11 συναρτήσεις συμμετοχής, η βάση θα περιέχει $11^2 = 121$ κανόνες. Η συνθήκη κάθε κανόνα θα είναι μία σύζευξη για την απόκλιση και την αλλαγή στην απόκλιση. Το σύνολο κανόνων αποτυπώνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 1: Βάση Ασαφών Κανόνων Inverse Model

$c_{i,j}$		ψ_c^j										
		-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
ψ_e^i	-5	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0
	-4	-1	-1	-1	-1	-1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2
	-3	-1	-1	-1	-1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4
	-2	-1	-1	-1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6
	-1	-1	-1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6	0.8
	0	-1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
	1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1
	2	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1	1
	3	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1	1	1
	4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1	1	1	1
	5	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1	1	1	1	1

Όπου ψ_e^i η i -οστή συνάρτηση συμμετοχής της μεταβλητής εισόδου Απόκλιση και ψ_c^j η j -οστή συνάρτηση συμμετοχής της μεταβλητής εισόδου Αλλαγή_Απόκλισης. Ομοίως $c_{i,j}$ είναι η συνάρτηση της μεταβλητής εξόδου Ολίσθηση η οποία μπαίνει σαν συνέπεια στον κανόνα που το κομμάτι της αιτίας του είναι η σύζευξη των συναρτήσεων συμμετοχής ψ_e^i, ψ_c^j .

Ο 1ος δηλαδή ($i = -5, j = -5$) είναι ο:

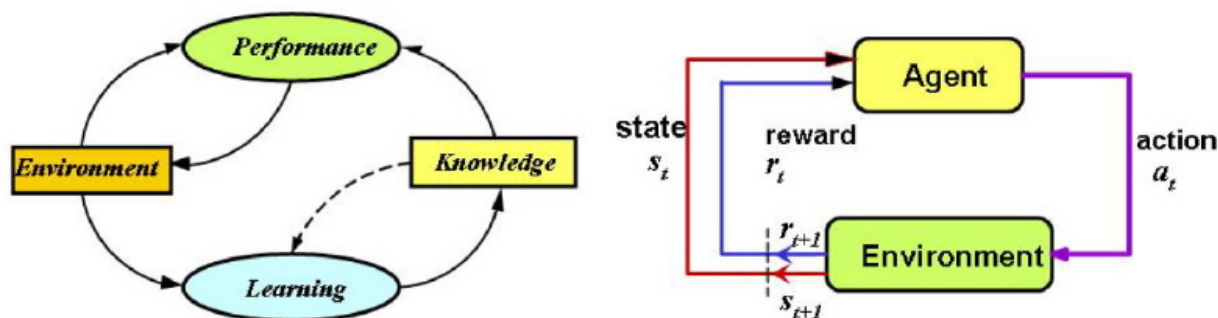
AN Απόκλιση είναι *Αρνητική_Πολύ_Μικρή* **KAI** Αλλαγή_Απόκλισης είναι *Αρνητική_Πολύ_Μικρή* **TOTE** Ολίσθηση είναι *Αρνητική_Πολύ_Μικρή*

Και ο 92^{ος} ($i = 2, j = -1$) είναι ο:

AN Απόκλιση είναι *Θετική_Μικρή* **KAI** Αλλαγή_Απόκλισης είναι *Αρνητική_Πολύ_Μικρή* **TOTE** Ολίσθηση είναι *Θετική_Πολύ_Μικρή*

Μηχανισμός Μάθησης

Όπως είπαμε και νωρίτερα, η βάση αυτή, είναι σε θέση να αξιολογήσει την πληροφορία που έχει το μοντέλο για την απόκλιση και τη διακύμανσή της. Από το συμπέρασμα του μοντέλου, προκύπτει η ολίσθηση των συναρτήσεων συμμετοχής εξόδου. Υπενθυμίζουμε στο σημείο αυτό το εξής: οι αλλαγές που επεισέρχονται στη βάση γνώσης του ελεγκτή αποφάσεων, είναι κατά μία έννοια *τοπικές*. Σε κάθε βήμα οι αλλαγές που θα γίνουν αφορούν τις συναρτήσεις συμμετοχής εξόδου των κανόνων που ενεργοποιήθηκαν δηλαδή του ενεργού συνόλου κανόνων. Άρα, οι αλλαγές που γίνονται τοπικά στη βάση γνώσης έχουν ως αποτέλεσμα σε επόμενο βήμα, με ίδιο συνδυασμό εισόδου, ο διαχειριστής να συμπεράνει μία τιμή για τον βαθμό αποδοχής πλησιέστερη στο μοντέλο αναφοράς. Αυτή η συμπεριφορά της τοπικής ρύθμισης και μάθησης είναι πολύ σημαντική διότι επιτρέπει στον ελεγκτή του πράκτορα αγοραστή να θυμάται τις αλλαγές που έγιναν στο παρελθόν. Στη διάρκεια της διαπραγματεύσεως διαφορετικά μέρη της βάσης γνώσης συμπληρώνονται, σύμφωνα με τις διαφορετικές παραμέτρους λειτουργίας, με αποτέλεσμα ένα κομμάτι της βάσης γνώσης να ενημερώνεται και άλλα να μην επηρεάζονται. Συνεπώς, εάν η μορφή και η ποιότητα της εισόδου στον διαχειριστή είναι τέτοια που ο τελευταίος μπορεί να διακρίνει τις περιπτώσεις στις οποίες πρέπει να συμπεριφερθεί διαφορετικά, τότε προσαρμόζεται σε νέες καταστάσεις και επίσης θυμάται πως είχε προσαρμοστεί σε περασμένες καταστάσεις.



Σχήμα 27: Μηχανισμός Μάθησης - Αλληλεπίδραση Πράκτορα με το περιβάλλον

Διαδικασία Ολίσθησης

Ας δούμε τώρα λίγο αναλυτικά, τη μέθοδο ολίσθησης των συναρτήσεων συμμετοχής. Το αντίστροφο μοντέλο, ανάλογα την απόκλιση μοντέλου-ελεγκτή και τη διακύμανσή της, βγάζει μία τιμή $p(r_i)$ που είναι το πόσο πρέπει να ολισθήσει κάθε συνάρτηση συμμετοχής εξόδου, του ενεργού συνόλου κανόνων που είχε σαν αποτέλεσμα το συμπερασμό στο γύρο r_i - όπως φαίνεται και στο παράδειγμα παραπάνω. Το πρώτο που πρέπει να επισημάνουμε στο σημείο αυτό, είναι ότι η μέθοδος αυτή της ολίσθησης, είναι εύστοχη και έχει σημασία, εφόσον οι συναρτήσεις συμμετοχής είναι τριγωνικές και η μέθοδος defuzzification στον ελεγκτή του πράκτορα αγοραστή είναι η *Clipped Center of Gravity* (βλ. 3.6). Η χρήση αυτής της μεθόδου μας εγγυάται ότι οι αλλαγές που θα γίνουν, 1^{ov} θα αποτυπωθούν άμεσα έπειτα την εξαγωγή συμπεράσματος σε κάθε επόμενο γύρο και 2^{ov} δεν θα προκαλέσουν «ζημιά» στη βάση γνώσης - δεν θα χαλάσει το νόημα των αρχικών συναρτήσεων συμμετοχής άρα και ο συμπερασμός. Δηλαδή ότι αυτή η ενημέρωση των συναρτήσεων εξασφαλίζει ότι η προηγούμενη είσοδος θα ήταν $u(r_{i-1}) + p(r_i)$ για τα ίδια $e(r_{i-1})$ και $c(r_{i-1})$ (εύκολα προκύπτει αν αναλύσει κανείς τον τύπο της COG, όπου προσθέτοντας το $p(r_i)$ στο κέντρα κάθε τριγώνου των ενεργοποιημένων συναρτήσεων, τότε και η συνολική έξοδος του διαχειριστή θα μετατοπιστεί κατά $p(r_i)$). Βέβαια, πρακτικά πρέπει να αναλογιστεί κανείς και την ακραία περίπτωση όταν πάει να προβεί σε τέτοιες αλλαγές στη βάση γνώσης.

Οι περιπτώσεις λοιπόν που θέλουν προσοχή είναι όταν ένα τρίγωνο πρέπει να ολισθήσει, σύμφωνα με το αντίστροφο μοντέλο, πέρα από το σύνολο τιμών της *Βαθμός_Αποδοχής*. Για παράδειγμα η συνάρτηση *Μικρός* αρχικά έχει σύνολο τιμών το $[0.0, 0.40]$. Όσο αυτή ολισθαίνει προς τα αριστερά, τμήμα της αρχίζει να χάνεται - προσωρινά - από το πεδίο της συνάρτησης. Κάτι τέτοιο είναι επιθυμητό διότι η συνολική έξοδος μέσω της COG επίσης μικραίνει. Ωστόσο μπορεί μία υπόδειξη για αριστερή ολίσθηση να έχει σαν αποτέλεσμα το τρίγωνο να εξαφανιστεί εντελώς και ο συμπερασμός να μη λάβει καν υπόψη τη συνάρτηση αυτή παρότι ενεργοποιήθηκε στην έξοδο. Γι' αυτό το λόγο εφαρμόζονται όρια, με αποτέλεσμα οι συναρτήσεις να μην ξεφεύγουν εντελώς από τα πεδία τιμών. Τα όρια αυτά είναι το 0.01 για αριστερά και το 0.99 για δεξιά. Έτσι η συνάρτηση *Μικρός* μπορεί να ολισθήσει το μέγιστο κατά 0.39

προς τα αριστερά και 0.99 προς τα δεξιά. Η *Μέτριος* 0.84 προς τις δύο κατευθύνσεις και η *Μεγάλος* 0.99 και 0.39 αντίστοιχα. Έτσι η επιθυμητή συμπεριφορά προσεγγίζεται καλύτερα, διότι το τρίγωνο μπορεί να μικραίνει, όσο όμως υπάρχει έστω μικρό τμήμα του εντός του πεδίου τιμών στην έξοδο τότε συνυπολογίζεται κατάλληλα στον συμπερασμό με τη μέθοδο COG.

5.5 Επισκόπηση Πράκτορα Αγοραστή και Αλγόριθμοι

Σε κάθε βήμα διαπραγμάτευσης λοιπόν, ο αγοραστής πρέπει να πάρει μία απόφαση για το αν θα δεχτεί την τρέχουσα πρόταση του πωλητή ή όχι. Στο συμπέρασμα αυτό, θα οδηγηθεί από τη βάση γνώσης που διαθέτει ο ελεγκτής ασαφούς συμπερασμού που διαθέτει ο πράκτορας, ο οποίος περιέχει ένα σύνολο κανόνων. Οι κανόνες αυτοί, αποτελούν λογικές προτάσεις-συλλογισμούς τους οποίους θα έκανε ένα φυσικό πρόσωπο εάν είχε να επιτελέσει ο ίδιος τη δουλειά του πράκτορα. Ωστόσο, ο πράκτορας θέλει να έχει τη δυνατότητα να αλλάζει τη γνώση αυτή δυναμικά, ανάλογα την κάθε διαπραγμάτευση και ενδεχομένως να την διατηρεί και για επόμενες διαπραγματεύσεις. Αυτό επιτυγχάνεται: α) με την αυτόματη προσθήκη κανόνων, όπου η αρχική βάση γνώσης εμπλουτίζεται και β) με την ολίσθηση των συναρτήσεων συμμετοχής εξόδου του ελεγκτή, στα σημεία που παρουσίασαν απόκλιση σε σχέση με την τιμή του μοντέλου, δηλαδή τοπικά.

Ο αλγόριθμος στον πράκτορα αγοραστή συνοπτικά:

ΑΓΟΡΑΣΤΗΣ

```
TIMES_ΠΩΛΗΤΗ = []
ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ_ΑΠΟΚΛΙΣΗ = 0
ΟΣΟ (ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ ΣΥΜΦΩΝΙΚΑ ΚΑΙ
ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΛΗΞΕΙ Ο ΧΡΟΝΟΣ ΚΑΝΕΝΟΣ)
ΕΠΑΝΕΛΑΒΕ:
ΠΡΟΤΑΣΗ_ΠΩΛΗΤΗ = ΛΑΒΕ_ΠΡΟΤΑΣΗ
ΕΙΣΑΓΩΓΗ(TIMES_ΠΩΛΗΤΗ, ΠΡΟΤΑΣΗ_ΤΙΜΗ_ΠΩΛΗΤΗ)
ΟΡΙΣΕ_ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ_ΕΙΣΟΔΟΥ_FL_ΑΓΟΡΑΣΤΗ
ΒΑΘΜΟΣ_ΑΠΟΔΟΧΗΣ = ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ_FL

ΤΙΜΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΝΑΦΟΡΑΣ = ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ(TIMES_ΠΩΛΗΤΗ,
ΠΡΟΤΑΣΗ ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΤΗ)

ΑΝ (ΒΑΘΜΟΣ_ΑΠΟΔΟΧΗΣ == 0)
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΚΑΝΟΝΑ(ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ FL)
ΑΛΛΙΩΣ
```



```
ΑΠΟΚΛΙΣΗ = ΤΙΜΗ_ΜΟΝΤΕΛΟΥ_ΑΝΑΦΟΡΑΣ - ΒΑΘΜΟΣ_ΑΠΟΔΟΧΗΣ  
ΑΛΛΑΓΗ_ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ = ΑΠΟΚΛΙΣΗ - ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ_ΑΠΟΚΛΙΣΗ  
ΟΡΙΣΕ_ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ_ΕΙΣΟΔΟΥ_FL_ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΟΥ_ΜΟΝΤΕΛΟΥ  
ΟΛΙΣΘΗΣΗ = ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ_ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΟΥ_ΜΟΝΤΕΛΟΥ_FL  
ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ_ΑΠΟΚΛΙΣΗ = ΑΠΟΚΛΙΣΗ  
ΟΛΙΣΘΗΣΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ FL ΑΓΟΡΑΣΤΗ (ΟΛΙΣΘΗΣΗ)
```

```
ΑΝ (ΒΑΘΜΟΣ_ΑΠΟΔΟΧΗΣ > 0.70 ΚΑΙ  
ΠΡΟΤΑΣΗ_ΠΩΛΗΤΗ < ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ_ΑΓΟΡΑΣΤΗ)  
ΑΠΟΔΟΧΗ_ΠΡΟΤΑΣΗΣ  
ΑΛΛΙΩΣ  
ΚΑΝΕ_ΑΝΤΙΠΡΟΤΑΣΗ
```

Ακολουθούν οι αλγόριθμοι των διαδικασιών προσθήκης κανόνα και ολίσθησης συναρτήσεων συμμετοχής.

ΟΛΙΣΘΗΣΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ(ΤΙΜΗ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ)

```
ΑΝ(ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ_ΧΑΜΗΛΗ_ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΘΗΚΕ)  
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ_ΟΛΙΣΘΗΣΗ(ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣΗ_ΧΑΜΗΛΗ_1, ΤΙΜΗ_ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ)  
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ_ΟΛΙΣΘΗΣΗ(ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣΗ_ΧΑΜΗΛΗ_2, ΤΙΜΗ_ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ)  
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ_ΟΛΙΣΘΗΣΗ(ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣΗ_ΧΑΜΗΛΗ_3, ΤΙΜΗ_ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ)  
  
ΑΝ(ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ_ΜΕΤΡΙΑ_ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΘΗΚΕ)  
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ_ΟΛΙΣΘΗΣΗ(ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣΗ_ΜΕΤΡΙΑ_1, ΤΙΜΗ_ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ)  
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ_ΟΛΙΣΘΗΣΗ(ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣΗ_ΜΕΤΡΙΑ_2, ΤΙΜΗ_ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ)  
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ_ΟΛΙΣΘΗΣΗ(ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣΗ_ΜΕΤΡΙΑ_3, ΤΙΜΗ_ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ)  
  
ΑΝ(ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ_ΜΕΓΑΛΗ_ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΘΗΚΕ)  
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ_ΟΛΙΣΘΗΣΗ(ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣΗ_ΜΕΓΑΛΗ_1, ΤΙΜΗ_ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ)  
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ_ΟΛΙΣΘΗΣΗ(ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣΗ_ΜΕΓΑΛΗ_2, ΤΙΜΗ_ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ)  
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ_ΟΛΙΣΘΗΣΗ(ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣΗ_ΜΕΓΑΛΗ_3, ΤΙΜΗ_ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ)
```

Ο αλγόριθμος για την προσθήκη κανόνα είναι στην ουσία η εφαρμογή της Simplex (βλ. 5.3

Στο επόμενο κεφάλαιο θα δούμε αναλυτικά, κάποια παραδείγματα εκτελέσεων ώστε να φανούν ακριβώς οι τεχνικές της προσαρμογής, πόσο γρήγορα ο ελεγκτής «μαθαίνει» από τις υποδείξεις του μοντέλου, καθώς επίσης και τι επίδραση έχουν τα παραπάνω τελικά, στο κέρδος του πράκτορα αγοραστή από τις διαπραγματεύσεις. Επίσης, θα δούμε κατά πόσο η βάση γνώσης που οικοδομεί ένας πράκτορας τι οφέλη θα έχει εφόσον την διατηρήσει σε επόμενες διαπραγματεύσεις με άλλους πωλητές της αγοράς.

6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο σημείο αυτό, πριν περάσουμε στην περιγραφή των σεναρίων διαπραγματεύσεων, μετρικές κλπ, αξίζει να θυμηθούμε αρχικά και να περιγράψουμε με περισσότερη σαφήνεια στη συνέχεια τον τρόπο αλληλεπίδρασης των δύο πρακτόρων. Σε κάθε γύρο λοιπόν μέχρι τη λήξη του «χρόνου» ή συμφωνία-αγορά(ο μέγιστος αριθμός γύρων για τον καθένα είναι διαφορετικός), κάνει μία πρόταση ο πωλητής στον αγοραστή. Σε αυτήν την πρόταση, ο αγοραστής είτε θα δεχθεί ή θα απαντήσει με αντιπρόταση, μία χαμηλότερη τιμή. Τέλος, ο πωλητής είτε θα αποδεχθεί, είτε θα τελειώσει ο γύρος και θα επαναληφθεί και στους επόμενους το ίδιο, μέχρι τη λήξη του χρονικού περιθωρίου ενός από τους δύο.

Όλη η εφαρμογή αναπτύχθηκε σε *Java* στο περιβάλλον *Eclipse*. Τα μηνύματα που ακολουθούν στις επόμενες διαπραγματεύσεις που περιγράψαμε, προέρχονται από το *IDE* και δείχνουν όλη ή κομμάτι της πορείας μιας διαπραγμάτευσης από την πλευρά του αγοραστή. Υπενθυμίζουμε ότι, η πληροφορία του ενός πράκτορα για τον άλλον είναι μόνο οι τιμές - προτάσεις. Κάτω από τον αριθμό του γύρου είναι η τιμή πρόταση του καθενός. Στη συνέχεια ακολουθούν οι λεπτομέρειες της προσαρμογής (τιμή μοντέλου, τιμή ελεγκτή, απόκλιση κλπ).

6.1 Παραδείγματα Διαπραγμάτευσης

Ξεκινάμε λοιπόν με κάποια παραδείγματα διαπραγματεύσεων, προκειμένου να δούμε πως ολισθαίνουν οι συναρτήσεις. Έστω ότι μία διαπραγμάτευση εξελίσσεται όπως η κάτωθι στην επικοινωνία αγοραστή-πωλητή. Τα μηνύματα που ακολουθούν προέρχονται από την ηλεκτρονική αγορά που δραστηριοποιούνται οι δύο πράκτορες.

Στους δύο πρώτους γύρους, βλέπουμε ότι δεν αντιστοιχεί κάποιος κανόνας στον συνδυασμό εισόδου στον ελεγκτή, άρα πρέπει να δημιουργηθεί ένας και να προστεθεί. Ομοίως και στο δεύτερο γύρο.

```
+-+-+--+--+--+--+--+--+ Round 0+-+-+--+--+--+--+--+--+--+
|||||
Seller message=30.326805701706718
Buyer Price=0.14544737676570502
|||||
Fuzzy Result (y)=0.0
Price Sequence: [30.3]
Reference Model Result (y_m)=0.0
-----
-----> Knowledge Base updated - Rules <-----
-----> Number of Rules: 11 <-----
-----
```

Στους επόμενους γύρους, παρατηρούμε ότι οι τιμές αγοραστή πωλητή απέχουν κατά πολύ με αποτέλεσμα το μοντέλο αναφοράς να δίνει συνέχεια 0. Αντίστοιχα και η τιμή του ελεγκτή ξεκινάει από 0.16 και 6-7 γύρους μετά καταλήγει και αυτή να τείνει το 0 σε απόλυτη συμφωνία με το μοντέλο.

```
+-+-+--+--+--+--+--+ Round 2+-+-+--+--+--+--+--+--+--+
|||||
Seller message=28.2
Buyer Price=0.1455029075548661
```

|||||

Fuzzy Result (y)=0.16851493568752315
Price Sequence: [30.3, 29.6, 28.2]
Reference Model Result (y_m)=0.0
Error (y_e)=-0.16851493568752315
Change in Error (y_c)=-0.16851493568752315
Shifting Value=-0.15311034438069623

---> Knowledge Base updated - Membership Functions <---

+--+ Round 6+--+

|||||
Seller message=26.171275623711836
Buyer Price=0.15428243465055738
Fuzzy Result (y)=0.05907970663441341
Price Sequence: [30.3, 29.6, 28.1, 27.5, 26.8, 26.8, 26.2]
Reference Model Result (y_m)=3.092764140027222E-15
Error (y_e)=-0.05907970663441032
Change in Error (y_c)=0.008729352691664478
Shifting Value=-0.026758256237324682

---> Knowledge Base updated - Membership Functions <---

+--+ Round 10+--+

|||||
Seller message=22.949923969629573
Buyer Price=0.2387578158329923
Fuzzy Result (y)=0.030192435883799634
Price Sequence: [30.326805701706718, 29.612823837587634, 28.210338927396442, 27.52196302870967, 26.842252550465453, 26.842252550465453, 26.171275623711836, 25.50910236770816, 24.855804992174427, 24.21145790717469, 22.949923969629573]
Reference Model Result (y_m)=6.322340093426168E-7

Error (y_e)=-0.03019180364979029
Change in Error (y_c)=0.005759901688687955
Shifting Value=-0.014889055913881557

---> Knowledge Base updated - Membership Functions <---

+--+ Round 13+--+

|||||
Seller message=21.725144575588523
Buyer Price=0.4585752429601984
Fuzzy Result (y)=0.017424837035099654
Price Sequence: [30.3, 29.6, 28.2, 27.5, 26.8, 26.8, 26.2, 25.5, 24.86, 24.2, 22.9, 22.86, 21.7, 21.68]
Reference Model Result (y_m)=1.3126550294458226E-4
Error (y_e)=-0.01729357153215507
Change in Error (y_c)=0.0036242379352697945
Shifting Value=-0.00901859427880245

---> Knowledge Base updated - Membership Functions <---

Βλέπουμε λοιπόν ότι από το γύρο 2 και μετά (αφού προστέθηκαν αυτόματα 2 κανόνες στην αρχική βάση γνώσης του ελεγκτή – βλ. 5.3), το ενεργό σύνολο κανόνων περιλαμβάνει αποκλειστικά τη συνάρτηση συμμετοχής Μικρή της Βαθμος_Αποδοχής. Συνεπώς το defuzzification γίνεται με βάση αυτή τη συνάρτηση, που είναι και αυτή που το inverse model θα υποδείξει πόσο πρέπει να ολισθήσει. Στο παράδειγμα, η ακολουθία τιμών του πωλητή, δεν εγγυάται ότι θα ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις του αγοραστή (Αξιολόγηση 15 άρα αγορά κάτω από 15), συνεπώς το μοντέλο αναφοράς δίνει τιμή που τείνει στο 0. Άρα η προσαρμογή εστιάζει στη συνάρτηση συμμετοχής Μικρή και πρέπει να την «υποβαθμίσει», ολίσηση δηλαδή προς την αρχή των αξόνων. Αυτό γίνεται σταδιακά σε κάθε βήμα, μέχρι να ελαχιστοποιηθεί η απόκλιση από το μοντέλο αναφοράς. Πλέον στα επόμενα βήματα, εάν η είσοδος στον διαχειριστή είναι αντίστοιχη με αυτή στη διάρκεια της αλλαγής, ο μηχανισμός μάθησης «θυμάται» και αυτό φαίνεται άμεσα στην έξοδο του διαχειριστή διότι η νέα απόκλιση θα είναι σαφώς μικρότερη. Και θυμάται διότι οι αλλαγές στις οποίες είχε προβεί, γίνανε τοπικά, μόνο στις συναρτήσεις συμμετοχής εξόδου του ενεργού συνόλου κανόνων.

Μία δεύτερη σημαντική παρατήρηση που αφορά στην αυτόματη προσθήκη κανόνων, είναι η εξής: Στους δύο πρώτους γύρους οι κανόνες που έπρεπε να προστεθούν, έχουν σαν συνέπεια την συνάρτηση συμμετοχής *Μικρός*. Λογικό, γιατί είναι άλλωστε και η τιμή 0.0 που υπέδειξε το μοντέλο στους 2 πρώτους γύρους. Συνεπώς η προσαρμογή αναγνώρισε την επιταγή του μοντέλου και προχώρησε στην προσθήκη ενός κανόνα για να εκφράσει στο μέλλον την απάντηση του ελεγκτή σε αντίστοιχη «ερώτηση» στη βάση γνώσης του. Με την προσθήκη λοιπόν του κανόνα, ακολουθεί μία σταδιακή προσαρμογή της συνάρτησης *Μικρός* που είναι και η μόνη η οποία ενεργοποιείται, από τον ελεγκτή ασαφούς λογικής στον αγοραστή, μέχρις ότου ικανοποιηθούν πλήρως οι απαιτήσεις του μοντέλου. Στην ουσία από το βήμα 5 και μετά το inverse model κάνει track τέλεια το μοντέλο αναφοράς με αποτέλεσμα να ολισθαίνει ελάχιστα κάθε φορά τη συνάρτηση που πρέπει.

Προσθέτουμε ακόμα ένα παράδειγμα για να δούμε καλύτερα το μηχανισμό μάθησης και τις τοπικές αλλαγές, σε μία διαφορετική από την παραπάνω εξέλιξη. Παρακολουθούμε τις τιμές του fuzzy ελεγκτή, τις υποδείξεις του μοντέλου αναφοράς και τις ολισθημένες συναρτήσεις συμμετοχής. Η αξιολόγηση του αγοραστή για το προϊόν είναι 68.6 (δεν πρόκειται να δαπανήσει περισσότερα).

valuation=68.6

```
|||||
Fuzzy Result (y)=0.62
Price Sequence: [87.54]
Reference Model Result (y_m)=0.0
Error (y_e)=-0.6235328189631755
Change in Error (y_c)=-0.6235328189631755
Shifting Value=-0.46595169328492386
-----
---> Knowledge Base updated - Membership Functions <---
-----
```

```
|||||
Fuzzy Result (y)=0.266
Price Sequence: [87.54, 79.09]
Reference Model Result (y_m)=0.0
```

Εφαρμογή μηχανισμών αυτόματης προσαρμογής ασαφούς συμπερασμού για πράκτορες που συμμετέχουν σε εικονικές αγορές προϊόντων

Error (y_e)=-0.2669999999999976
Change in Error (y_c)=0.3565328189631779
Shifting Value=0.03291458934026798

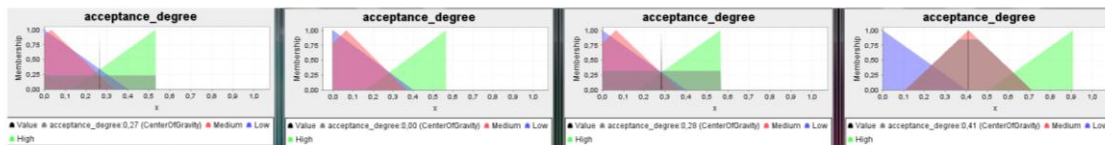
-----> Knowledge Base updated - Membership Functions <-----

|||||
Fuzzy Result (y)=0.283
Price Sequence: [87.54, 79.09, 64.06, 57.41]
Reference Model Result (y_m)=0.4999993208194896
Error (y_e)=0.21699809863518166
Change in Error (y_c)=0.48399809863517923
Shifting Value=0.3439595158018126

-----> Knowledge Base updated - Membership Functions <-----

|||||
Fuzzy Result (y)=0.410
Price Sequence: [87.545, 79.097, 64.06, 57.41, 51.31]
Reference Model Result (y_m)=0.5999994566555917
Error (y_e)=0.18907703910488483
Change in Error (y_c)=-0.027921059530296832
Shifting Value=0.07150874017908503

-----> Knowledge Base updated - Membership Functions <-----



Σχήμα 28: Επαναφορά Γνώσης σε Αρχική Κατάσταση

Fuzzy Result (y)=0.576
Price Sequence: [87.545, 79.09, 64.060, 57.416, 51.317, 45.737]
Reference Model Result (y_m)=0.6666662138796597
Error (y_e)=0.08976222954423407
Change in Error (y_c)=-0.09931480956065075
Shifting Value=-0.0028880282947834754

-----> Knowledge Base updated - Membership Functions <-----

|||||
Fuzzy Result (y)=0.585
Price Sequence: [87.545, 79.09, 64.060, 57.416, 51.31, 45.73, 40.64]
Reference Model Result (y_m)=0.7142853261825655
Error (y_e)=0.12879304838817296
Change in Error (y_c)=0.039030818843938886
Shifting Value=0.08617079979062539

Εφαρμογή μηχανισμών αυτόματης προσαρμογής ασαφούς συμπερασμού για πράκτορες που συμμετέχουν σε εικονικές αγορές προϊόντων

---> Knowledge Base updated - Membership Functions <---

|||||

Fuzzy Result (y)=0.855

Price Sequence: [87.54, 79.09, 64.06, 57.41, 51.317, 45., 40.648, 31.83, 28.06]

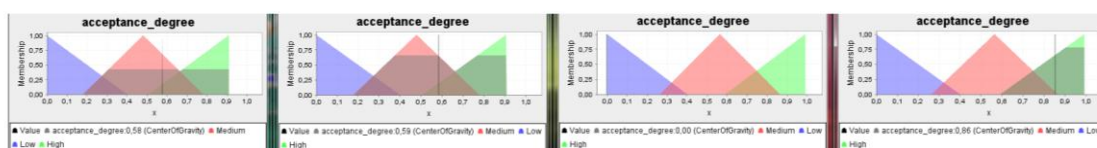
Reference Model Result (y_m)=0.7777774759197731

Error (y_e)=-0.07775223283195343

Change in Error (y_c)=-0.2065452812201264

Shifting Value=-0.14635283513874314

---> Knowledge Base updated - Membership Functions <---



Σχήμα 29: Ολίσθηση συναρτήσεων προς τα δεξιά, για αντιστοίχιση με μοντέλο αναφοράς

Βλέπουμε λοιπόν τον τρόπο με τον οποίο ολισθαίνουν οι συναρτήσεις της *Βαθμός_Αποδοχής*. Το αντίστροφο μοντέλο λαμβάνοντας υπόψη την διαφορά στην απόκλιση, αντιδράει άμεσα στην εκτόξευση της τιμής του μοντέλου, όταν άρχισε ο πωλητής να κατεβάζει τις τιμές του. Έτσι μόλις σε 3 γύρους, επαναφέρει τις τοπικές αλλαγές στην αρχική τους σχεδόν κατάσταση, με αποτέλεσμα τελικά η έξοδος του διαχειριστή να είναι > 0.70 και να προβεί σε αγορά. Αντίθετα στους πρώτους γύρους, έπρεπε να «αναθεωρήσει» τη σημασιολογία της *Μέτριος* και *Μεγάλος* και για αυτό το λόγο τις ολίσθαινε σταδιακά προς τα αριστερά.

Αντίστοιχα λοιπόν με αυτά τα δύο είναι και τα περισσότερα παραδείγματα όσον αφορά τις τεχνικές προσαρμογής και το μηχανισμό μάθησης. Η εφαρμογή δείχνει ότι ο πράκτορας προσαρμόζεται γρήγορα στην πιθανότητα που ορίζει το μοντέλο αναφοράς με βάση τις τιμές, είτε προσθέτοντας κανόνες, είτε αλλάζοντας τις συναρτήσεις συμμετοχής. Παρακάτω θα δούμε αναλυτικά τη *Μέση Τετραγωνική Απόκλιση* στις τιμές ελεγκτή – μοντέλου αναφοράς, για μία σειρά διαπραγματεύσεων σε διαφορετικούς πράκτορες.

6.2 Σενάρια Εκτελέσεων

Προκειμένου να δούμε τη συμπεριφορά και την απόδοση του πράκτορα αγοραστή, ώστε να μπορέσουμε να καταλήξουμε σε συμπεράσματα σχετικά με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων πειραματιστήκαμε σε μία σειρά από σενάρια. Η διάκριση τους γίνεται ανάλογα με το τι στόχους έχει κάθε πράκτορας (πχ αξιολόγηση, επιδιωκόμενο κέρδος κλπ).

Στρατηγική

Η έννοια αυτή είναι ο τρόπος με τον οποίο επιλέγει τιμές ο κάθε πράκτορας. Μία αυστηρή πολιτική σημαίνει αργή μεταβολή τιμής ανά γύρο, αντίθετα μία ελαστική

πολιτική συνεπάγεται πιο «απότομες» αυξήσεις (αγοραστής) – μειώσεις (πωλητής) τιμών.

Για τον αγοραστή λοιπόν, η συνάρτηση επιλογής τιμής:

$$p_i = p_0 + (v - p_0) \cdot \left(\frac{i}{R}\right)^k \quad (19)$$

Όπου i ο αριθμός γύρου, p_i η τιμή στον τρέχον γύρο, v η αξιολόγηση, R ο μέγιστος αριθμός γύρων (για τον αγοραστή) και $k \in [0,6]$ η στρατηγική του (ρυθμός αύξησης τιμής-πρότασης). Μικρό k συνεπάγεται ελαστική πολιτική, μεγάλο αυστηρή.

Τέλος η πρώτη τιμή:

$$p_0 = l \cdot \frac{v}{5} \quad (20)$$

Όπου $l \in [0,1]$ και επίσης αποτελεί παράμετρο της στρατηγικής.

Για τον πωλητή αντίστοιχα έχουμε:

$$p_i = c \cdot \varepsilon \cdot \left(1 - \frac{i}{R}\right)^s \quad (21)$$

Όπου c το κόστος, ε το μέγιστο κέρδος που θα επιδιώξει ο πωλητής, i ο αριθμός γύρου, R ο μέγιστος αριθμός γύρων (για τον πωλητή) και $s \in [0,10]$ η στρατηγική του πωλητή.

Τέλος ο πωλητής δέχεται μία πρόταση σε κάποιο γύρο αν και μόνο αν

$$p_{b_i} > s_{b_{i+1}} \wedge p_b \geq c \quad (8)$$

, δηλαδή η τιμή του αγοραστή γίνει μεγαλύτερη από την τιμή που θα προτείνει ο πωλητής στον επόμενο γύρο και είναι φυσικά μεγαλύτερη από το κόστος του προϊόντος.

Ο αγοραστής δέχεται μία τιμή αν και μόνο αν:

$$p_{s_i} < v \vee AD > 0.70 \quad (9)$$

Όπου AD η έξοδος του ελεγκτή ασαφούς λογικής για τη γλωσσική μεταβλητή *Βαθμός_Αποδοχής*.

Παράμετροι

Σε κάθε σενάριο γίνεται καταγραφή 100 διαπραγματεύσεων μεταξύ 1 πράκτορα αγοραστή και 100 πρακτόρων πωλητών. Στον πράκτορα αγοραστή ο μέγιστος αριθμός γύρων R είναι από 30-60 γύροι. Ένας αγοραστής δηλαδή θα έχει όριο για τη διαπραγμάτευση πχ 35 γύρους ή 58 γύρους. Ομοίως και ο πωλητής. Σημειώνουμε ότι εάν σε μία διαπραγμάτευση το όριο του ενός είναι 34 και του άλλου 45, η

διαπραγμάτευση οδηγείται σε σύγκρουση στον 34 γύρο, όπου υποχωρεί, εφόσον δεν υπήρξε συμφωνία. Στο μικρότερο δηλαδή όριο από τους δύο. Κατά την αρχικοποίηση λοιπόν κάθε πράκτορας αγοραστής παίρνει μία τυχαία τιμή για τη στρατηγική, το μέγιστο αριθμό γύρων, την αξιολόγηση και την I για τον ορισμό της πρώτης τιμής. Ομοίως ο πωλητής παίρνει για το κόστος στο $[0,10]$ στο κέρδος, στο χρόνο και την στρατηγική, όπως ορίστηκαν.

Αξιολόγηση Παιχνιδιού Διαπραγμάτευσης

Προκειμένου να έχουμε μία αντικειμενική εικόνα για την ποιότητα μιας διαπραγμάτευσης, χρησιμοποιούμε την κανονικοποιημένη συνάρτηση κοινής ωφέλειας (normalized Joint Utility) [14] σαν μέτρο της συγκεκριμένης διαδικασίας συναλλαγής, που ορίζεται ως εξής:

$$JU = \frac{(P^* - C) \cdot (V - P^*)}{(V - C)^2} \quad (24)$$

Όπου P^* η τιμή συμφωνίας, C το κόστος του πωλητή και V η αξιολόγηση του αγοραστή.

Βασισμένοι στην παραπάνω εξίσωση, δεχόμαστε ότι το θεωρητικό μέγιστο JU είναι ίσο με 0.25 [15].

Αντίστοιχα για να αξιολογήσουμε τα μεμονωμένα οφέλη των οντοτήτων από μία συναλλαγή χρησιμοποιούμε, για τον αγοραστή [16]

$$IU = \min \left(1, \left(\frac{V - P^*}{V - P_0} \right)^{\frac{1}{\beta}} \right) \quad (105)$$

Όπου P_0 η πρώτη τιμή που προτείνει ο αγοραστής και β μία σταθερά που ισούται με ένα.

Για τον πωλητή:

$$IU = \min \left(1, \left(\frac{P^* - C}{E} \right)^{\frac{1}{\beta}} \right) \quad (116)$$

Όπου E το κέρδος που κατάφερε ο πωλητής από την συναλλαγή και β ισούται επίσης με ένα.

6.3 Αποτελέσματα

Στη συνέχεια θα δούμε τους πίνακες αποτελεσμάτων για τα διαφορετικά πειράματα του πράκτορα. Στην πρώτη γραμμή του πίνακα οι τίτλοι των τεσσάρων τελευταίων πεδίων αντικαταστάθηκαν από χαρακτήρες του αλφαβήτου για λόγους εμφάνισης.

- A. Μέση τιμή συμφωνίας
- B. Μέση πρώτη τιμή πωλητή
- C. Μέση διαφορά αξιολόγησης-συμφωνίας (αγοραστή)
- D. Μέσο κέρδος πωλητή

Επίσης, κάθε πίνακας αποτελεσμάτων συνοδεύεται από ένα ραβδόγραμμα για τις τιμές των IU(B), IU(S), JU για κάθε περίπτωση μέγιστης αξιολόγησης του αγοραστή.

Οι μονάδες με τις οποίες αναπαρίστανται τα χρήματα (πχ στα πεδία αξιολόγηση, μέση τιμή συμφωνίας, κέρδος κλπ) ονομάζονται MU. Θα μπορούσαν να είναι δολάρια ή ευρώ κοκ.

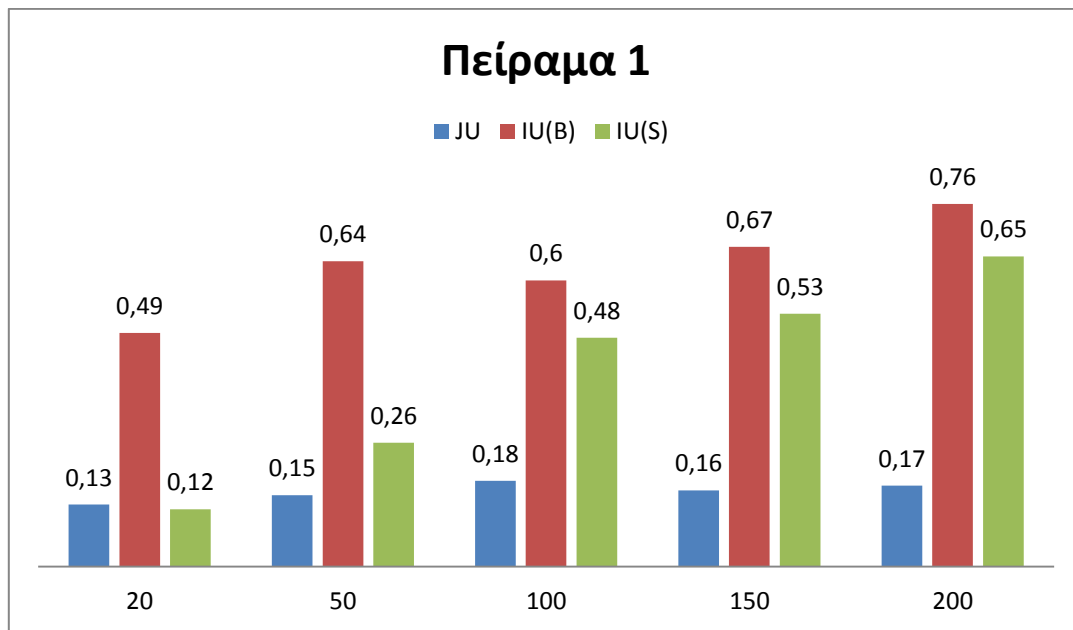
Πείραμα 1

Μέγιστο επιδιωκόμενο κέρδος κάθε πωλητή $\in [0,100]$.

1. Αξιολόγηση αγοραστή $\in [0,20]$
2. Αξιολόγηση αγοραστή $\in [0,50]$
3. Αξιολόγηση αγοραστή $\in [0,100]$
4. Αξιολόγηση αγοραστή $\in [0,150]$
5. Αξιολόγηση αγοραστή $\in [0,200]$

Πίνακας 2: Αποτελέσματα διαπραγμάτευσης με πωλητές που επιδιώκουν κέρδος στο [0, 100]

V	AGREEMENTS	MSE	JU	IU(B)	IU(S)	ROUNDS	A	B	C	D	
1	20	57	0.028	0.13	0.49	0.12	30	7.20	42.37	6.18	2.75
2	50	86	0.042	0.15	0.64	0.26	20	13.05	46.86	19.18	8.56
3	100	88	0.048	0.18	0.60	0.48	13	24.93	50.34	29.40	20.20
4	150	98	0.051	0.16	0.67	0.53	8	29.65	53.09	48.55	24.92
5	200	95	0.052	0.17	0.76	0.65	7	30.32	44.33	80.56	25.62



Σχήμα 30: Οφέλη για Πείραμα 1

Πείραμα 2

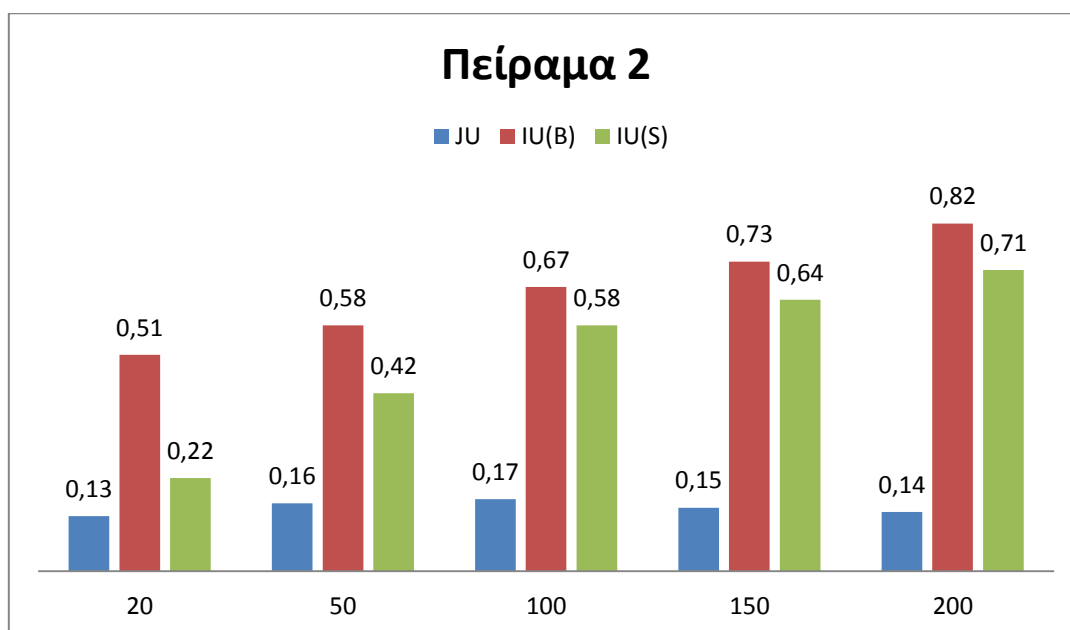
Μέγιστο επιδιωκόμενο κέρδος κάθε πωλητή $\in [0,50]$.

1. Αξιολόγηση αγοραστή $\in [0,20]$
2. Αξιολόγηση αγοραστή $\in [0,50]$
3. Αξιολόγηση αγοραστή $\in [0,100]$
4. Αξιολόγηση αγοραστή $\in [0,150]$
5. Αξιολόγηση αγοραστή $\in [0,200]$

Πίνακας 3: Αποτελέσματα διαπραγμάτευσης με πωλητές που επιδιώκουν κέρδος στο $[0,50]$

V	AGREEMENTS	MSE	JU	IU(B)	IU(S)	ROUNDS	A	B	C	D	
1	20	62	0.028	0.13	0.51	0.22	29	7.20	42.37	6.18	2.75
2	50	83	0.041	0.16	0.58	0.42	16	14.47	27.92	13.76	9.77
3	100	93	0.046	0.17	0.67	0.58	8	20.0	27.39	32.34	12.86

4	150	94	0.049	0.15	0.73	0.64	8	19.75	26.54	59.83	15.00
5	200	96	0.050	0.14	0.82	0.71	5	24.58	26.45	79.51	17.5



Σχήμα 31: Οφέλη για Πείραμα 2

Πείραμα 3

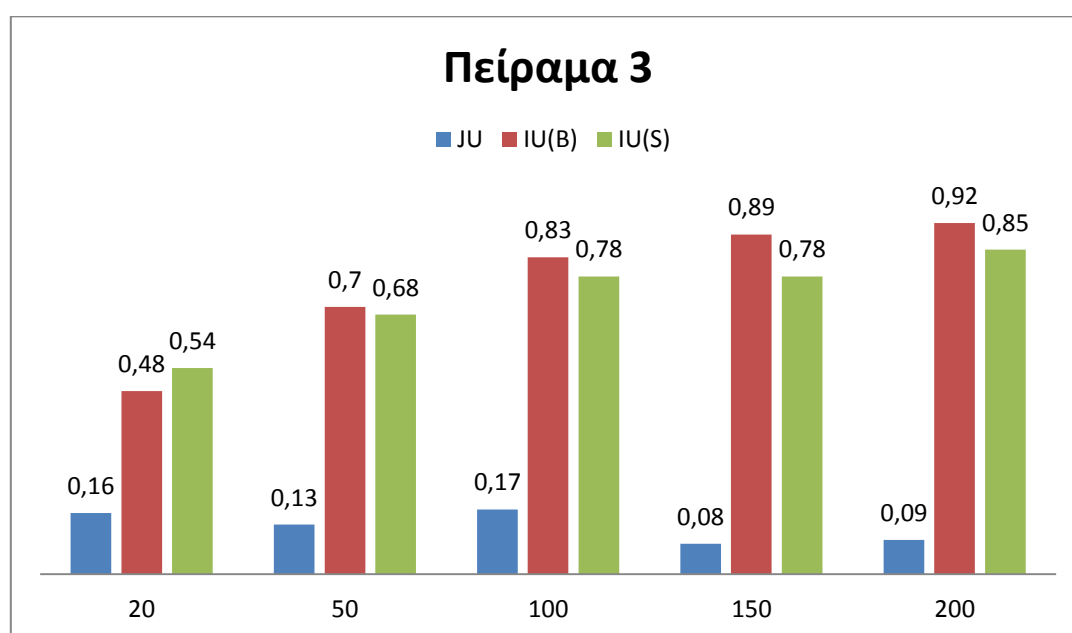
Μέγιστο επιδιωκόμενο κέρδος κάθε πωλητή $\in [0,10]$.

1. Αξιολόγηση αγοραστή $\in [0,20]$
2. Αξιολόγηση αγοραστή $\in [0,50]$
3. Αξιολόγηση αγοραστή $\in [0,100]$
4. Αξιολόγηση αγοραστή $\in [0,150]$
5. Αξιολόγηση αγοραστή $\in [0,200]$

Πίνακας 4: Αποτελέσματα διαπραγμάτευσης με πωλητές που επιδιώκουν κέρδος στο $[0,10]$

V	AGREEMENTS	MSE	JU	IU(B)	IU(S)	ROUNDS	A	B	C	D	
1	20	75	0.045	0.16	0.48	0.54	14	6.60	8.97	6.45	2.54

2	50	90	0053	0.13	0.70	0.68	8	8.75	9.63	21.07	3.84
3	100	96	0.051	0.10	0.83	0.78	4	11.53	9.52	45.45	6.85
4	150	97	0.046	0.08	0.89	0.78	4	11.93	9.84	61.06	6.66
5	200	100	0.057	0.09	0.92	0.85	2	12.34	8.23	86.98	8.21



Σχήμα 32: Οφέλη για Πείραμα 3

Στα 3 πρώτα πειράματα, εξετάζουμε καταρχήν την ποιότητα της προσαρμογής. Ο τρόπος με τον οποίο το κάνουμε αυτό είναι υπολογίζοντας τη Μέση Τετραγωνική Απόκλιση (Mean Squared Error) [17] μεταξύ τιμής μοντέλου αναφοράς και ελεγκτή σε κάθε διαπραγμάτευση. Δηλαδή

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{r_i} - y_i)^2 \quad (12)$$

Όπου n ο αριθμός των γύρων, y_{r_i} η έξοδος του μοντέλου αναφοράς, y_i η έξοδος του ελεγκτή στο γύρο i .

Τέλος παίρνουμε τη μέση τιμή για όλες τις διαπραγματεύσεις (πεδίο MSE στους πίνακες). Βλέπουμε ότι οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0.20 – 0.60 που σημαίνει ότι ο ελεγκτής προσαρμόζεται επιτυχώς και γρήγορα στις υποδείξεις του μοντέλου αναφοράς, έχοντας έτσι σαν αποτέλεσμα μετά από ένα μικρό αριθμό γύρων να ταυτίζεται σχεδόν με αυτό. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της προσαρμογής της βάσης γνώσης (κανόνες - συναρτήσεις).

Το 2^ο που εξετάζουμε στα πρώτα πειράματα είναι τα αποτελέσματα των διαπραγματεύσεων, συνολικά αλλά και μεμονωμένα για πωλητή – αγοραστή. Συνολικά το μεμονωμένο όφελος IU του αγοραστή είναι μεγαλύτερο από αυτό του αγοραστή εξετάζοντας τα Σχ. 30, 31, 32.

Έτσι αποκτάμε μία πρώτη εικόνα για τις δυνατότητες του συστήματος απέναντι σε μία πληθώρα πρακτόρων πωλητών.

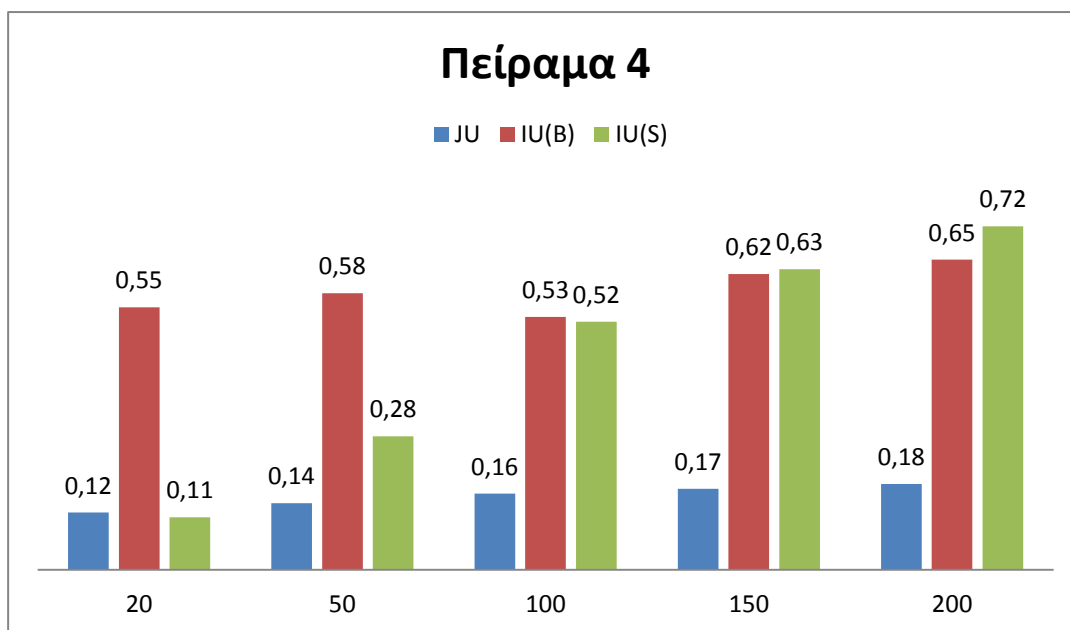
Στα επόμενα πειράματα η γνώση του πράκτορα αγοραστή, η οποία διαμορφώνεται σε κάθε διαπραγμάτευση δυναμικά, χρησιμοποιείται και στην επόμενη διαπραγμάτευση και αυτή στην επόμενη διαπραγμάτευση κοκ. Αυτό μπορεί να αφορά είτε μόνο τους κανόνες είτε κανόνες και συναρτήσεις. Θα δούμε λοιπόν τα αποτελέσματα που έχει μία τέτοια προσέγγιση, απέναντι σε διαφορετικούς πράκτορες αλλά και απέναντι στον ίδιο πράκτορα πωλητή συγκρίνοντας την απώλεια στην περίπτωση διαφορετικού με το κέρδος στην περίπτωση του ίδιου.

Πείραμα 4

Ταυτόσημο με Πείραμα 1, με μόνη η διαφορά ότι ο αγοραστής χρησιμοποιεί τη γνώση που διαμορφώνει δυναμικά σε κάθε επόμενη διαπραγμάτευση.

Πίνακας 5: Αποτελέσματα διαπραγμάτευσης Πειράματος 1 με μεταφορά γνώσης

	V	AGREEMENTS	MSE	JU	IU(B)	IU(S)	ROUNDS
1	20	63	0.033	0.12	0.55	0.11	30
2	50	87	0.080	0.14	0.58	0.28	20
3	100	91	0.066	0.16	0.53	0.52	13
4	150	93	0.138	0.17	0.62	0.63	10
5	200	96	0.080	0.18	0.65	0.72	6



Σχήμα 33: Οφέλη για Πείραμα 4

Στο πείραμα αυτό η γνώση που συσσωρεύει ο αγοραστής από μία διαπραγμάτευση επαναχρησιμοποιείται στην επόμενη κοκ. Λογικά, τα ατομικά οφέλη του αγοραστή παρουσιάζουν πτώση σε σχέση με του πωλητή διότι η γνώση που μεταβιβάζεται σε επόμενη διαπραγμάτευση δεν είναι απαραίτητα και η κατάλληλη για τον επόμενο πράκτορα πωλητή. Το μοντέλο του πράκτορα δηλαδή διαμόρφωσε μία γνώση διαπραγματευόμενο με έναν πωλητή για ένα συγκεκριμένο προϊόν. Σε επόμενη διαπραγμάτευση που οι συνθήκες αλλάζουν (άλλο προϊόν, επιδιωκόμενο κέρδος πωλητή, αξιολόγηση κλπ.) η γνώση του ελεγκτή συμπερασμού μπορεί να μην ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του πωλητή με αποτέλεσμα τελικά να μην λαμβάνει τη καλύτερη δυνατή απόφαση για αγορά.

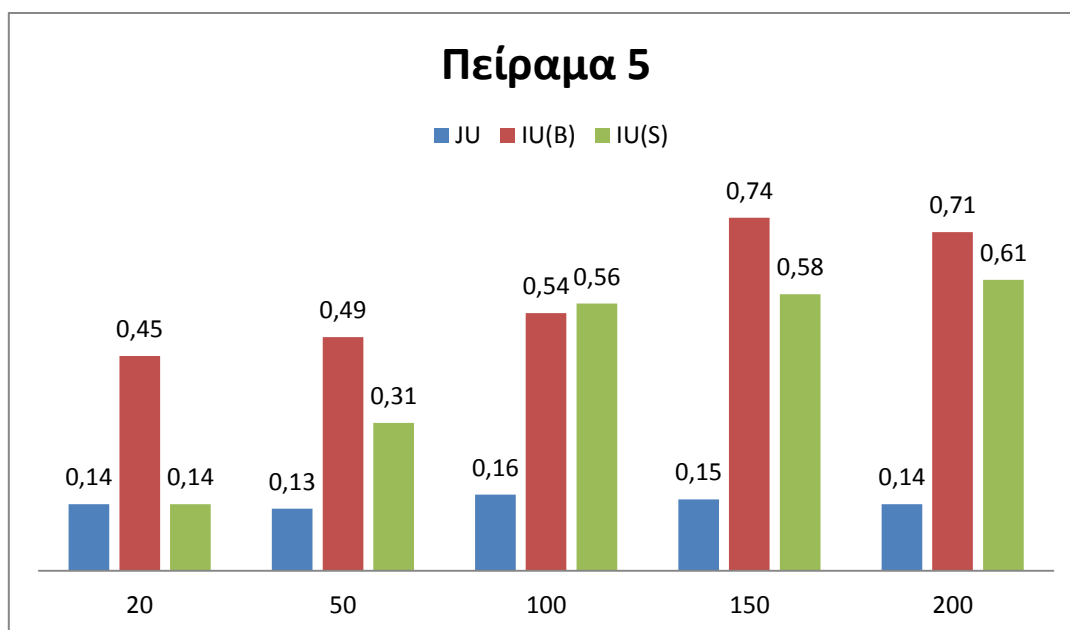
Για το λόγο αυτό επαναλαμβάνουμε το ίδιο πείραμα, πλέον όμως απενεργοποιούμε τη το ένα μέρος της προσαρμογής αυτό της ολίσθησης των συναρτήσεων. Έτσι προστίθενται μόνο κανόνες στη βάση γνώσης, οι οποίοι μεταβιβάζονται και στις επόμενες διαπραγματεύσεις, ενώ οι συναρτήσεις συμμετοχής παραμένουν ίδιες στο σύνολο των διαπραγματεύσεων. Η προσέγγιση αυτή έχει σαν αποτέλεσμα ένα σύστημα το οποίο προσαρμόζεται πιο ήπια σε σχέση με τις επιταγές του μοντέλου αναφοράς. Στο πείραμα 5 λοιπόν εφαρμόζουμε τα παραπάνω.

Πείραμα 5

Πίνακας 6: Αποτελέσματα διαπραγμάτευσης Πειράματος 1 με μεταφορά γνώσης (μόνο κανόνες)

V	AGREEMENTS	MSE	JU	IU(B)	IU(S)	ROUNDS	
1	20	61	0.140	0.14	0.45	0.14	28

2	50	93	0.230	0.13	0.49	0.31	17
3	100	89	0.160	0.16	0.54	0.56	14
4	150	95	0.210	0.15	0.74	0.54	10
5	200	91	0.180	0.14	0.71	0.61	9



Σχήμα 34: Οφέλη για Πείραμα 5

Παρατηρούμε λοιπόν ότι απενεργοποιώντας την ολίσθηση των συναρτήσεων συμμετοχής και μεταβιβάζοντας τη γνώση (νέους κανόνες) στις επόμενες διαπραγματεύσεις, καταρχήν η *Μέση Τετραγωνική Απόκλιση* είναι αρκετά μεγαλύτερη από πριν. Όπως ήταν αναμενόμενο εφόσον δεν προσαρμόζεται η έξοδος από το αντίστροφο μοντέλο στον ελεγκτή του αγοραστή. Παρόλα αυτά τα μεμονωμένα οφέλη του αγοραστή για τις 5 διαφορετικές κλίμακες αξιολόγησής του, είναι αυξημένα και στην πληθώρα των περιπτώσεων μεγαλύτερα από αυτά του πωλητή. Υπενθυμίζουμε ότι το μοντέλο αναφοράς δίνει μία τιμή που εκφράζει πιθανότητα. Στο Πείραμα 4 ακολουθώντας κατά γράμμα το μοντέλο αναφοράς η οικοδομηθείσα γνώση του αγοραστή δεν ήταν ιδανική για κάθε επόμενη διαπραγμάτευση με αποτέλεσμα η θεώρηση του πράκτορα για τον αντίπαλο να είναι σε αρκετές περιπτώσεις εσφαλμένη οδηγώντας τον έτσι σε όχι και τόσο καλές αποφάσεις. Οι τελευταίες βελτιώθηκαν όμως απενεργοποιώντας μέρος του μηχανισμού.

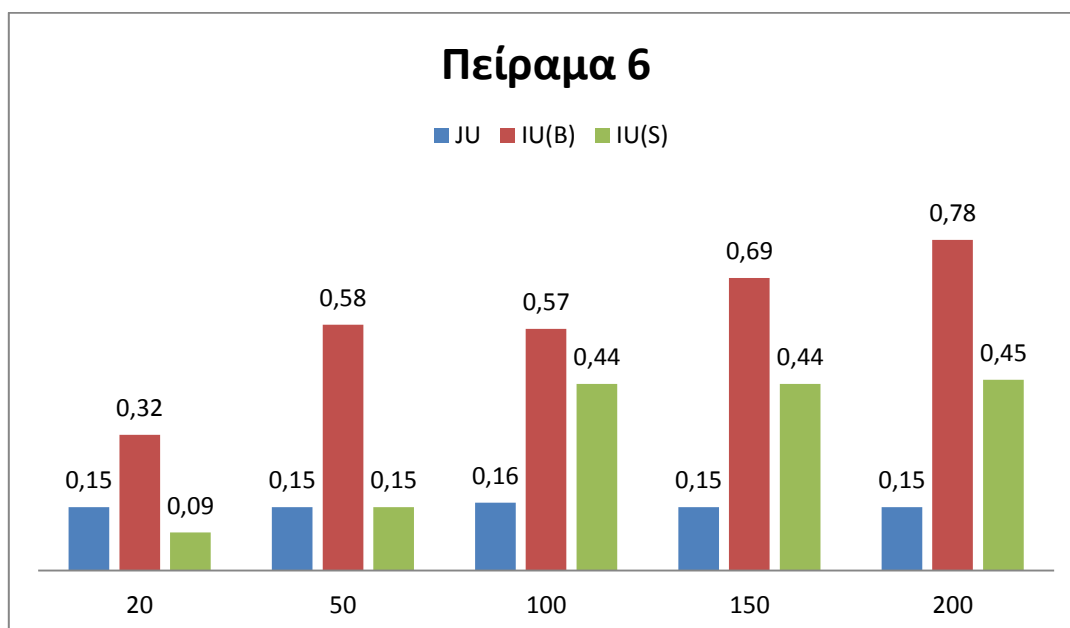
Πείραμα 6

Στα μέχρι τώρα πειράματα, ο πράκτορας αγοραστής είχε να αντιμετωπίσει ένα σύνολο πωλητών για ένα σύνολο προϊόντων. Στο επόμενο πείραμα, ο πράκτορας πωλητής είναι ο ίδιος. Κατά συνέπεια σε κάθε μία από τις 100 διαπραγματεύσεις έχει το ίδιο κόστος το προϊόν του, επιδιώκει το ίδιο κέρδος με την ίδια στρατηγική και χρονικό περιθώριο. Περιμένουμε λοιπόν τα μεμονωμένα οφέλη του αγοραστή να είναι αρκετά μεγαλύτερα από του πωλητή με δεδομένο ότι πλέον η γνώση που οικοδομείται σε κάθε διαπραγμάτευση και χρησιμοποιείται σε επόμενες είναι «εύστοχη» με δεδομένο ότι ο πράκτορας θα αντιμετωπίζει συνέχεια τον ίδιο πράκτορα.

Πίνακας 7: Αποτελέσματα διαπραγμάτευσης με μεταφορά γνώσης (μόνο κανόνες) εναντίον του ίδιου πωλητή

	V	AGREEMENTS	MSE	JU	IU(B)	IU(S)	ROUNDS
1	20	69	0.153	0.15	0.32	0.09	28
2	50	86	0.085	0.15	0.58	0.15	23
3	100	91	0.105	0.16	0.57	0.44	15
4	150	97	0.159	0.15	0.69	0.44	13
5	200	94	0.258	0.15	0.78	0.45	13

Σχήμα 35: Οφέλη για Πείραμα 6



Πράγματι οι προσδοκίες μας επιβεβαιώνονται κοιτώντας τα μεμονωμένα οφέλη των δύο πρακτόρων. Η γνώση που οικοδομεί ο πράκτορας με την προσθήκη κανόνων και επαναχρησιμοποιεί έχει αποτέλεσμα στα κέρδη του απέναντι σε ίδιες συνθήκες διαπραγμάτευσης. Ξεκινώντας δηλαδή από μία ελλιπή γνώση και άγνοια για τον πράκτορα που αντιμετωπίζει, από τα πειράματα 5, 6 προκύπτει ότι πράγματι εάν πρόκειται να αντιμετωπίσει ξανά τον ίδιο πωλητή ο πράκτορας (χωρίς να το ξέρει) η βάση γνώσης του θα μπορούσαμε να πούμε ότι εγγυάται ότι θα είναι επικερδής στην επόμενη διαπραγμάτευση.

6.4 Συμπεράσματα

Πλέον μετά από μία σειρά πειραμάτων για διαφορετικούς συνδυασμούς τιμών, πληθώρα πρακτόρων πωλητών και μεταφορά ή μη ενός υποσυνόλου της γνώσης είτε ολόκληρης έχουμε μία εικόνα σχετικά με τις δυνατότητες του συστήματος ώστε να μπορέσουμε να κάνουμε μία αξιολόγηση για τα συμπεράσματα στα οποία οδηγείται ο αγοραστής στις διαπραγματεύσεις.

Όσον αφορά την προσαρμογή, όπως είδαμε, με την προσθήκη κανόνων και την ολίσθηση συναρτήσεων συμμετοχής στην έξοδο η απόκριση του συστήματος σε σχέση με το μοντέλο αναφοράς είναι αρκετά ικανοποιητική. Πρώτον μέσω της προσθήκης κανόνων με τη μέθοδο *simplex* η βάση γνώσης γίνεται πλήρης φέρνοντας έτσι τον πράκτορα σε θέση να λάβει απόφαση για κάθε δυνατό συνδυασμό δεδομένων, όπως προκύπτουν από τον εκάστοτε πωλητή. Δεύτερον, ο μηχανισμός μάθησης σε συνδυασμό με το αντίστροφο μοντέλο επιτυγχάνουν ταχεία προσαρμογή στις τιμές του ελεγκτή ασαφούς συμπερασμού σε σχέση με αυτές του μοντέλου αναφοράς. Συγκεκριμένα στους πρώτους 5-6 γύρους της διαπραγμάτευσης ο ελεγκτής καταφέρει να κάνει *track* το μοντέλο αναφοράς με αποτέλεσμα έτσι όταν το δεύτερο πυροδοτήσει απότομη αλλαγή στην έξοδο ο ελεγκτής να μπορεί να το ακολουθήσει γρήγορα χωρίς να καθυστερήσει και να οδηγηθεί σε λάθος συμπέρασμα που θα στοιχίσει στον πράκτορα, τουλάχιστον στην πλειοψηφία των περιπτώσεων. Επίσης, είδαμε τη συμπεριφορά του συστήματος όταν επαναχρησιμοποιείται υποσύνολο της γνώσης (κανόνες) που οικοδομείται μέσω της διαπραγμάτευσης.

Για τα οφέλη των πρακτόρων και την ποιότητα των διαπραγματεύσεων που επιτεύχθηκε στα πειράματα, είμαστε σε θέση να πούμε ότι καταρχήν στις περιπτώσεις που δε μεταφέρεται η γνώση ο αγοραστής γρήγορα με τις υποδείξεις του μοντέλου αναφοράς μπορεί να εξάγει συμπεράσματα για προτάσεις κάθε είδους απέναντι σε κάθε είδους πωλητή και μάλιστα στην πλειοψηφία των περιπτώσεων τα μεμονωμένα οφέλη του πρώτου είναι μεγαλύτερα από του δεύτερου. Αυτό το αποτέλεσμα είναι αρκετά ενθαρρυντικό διότι μας δείχνει την ικανότητα του αγοραστή όχι μόνο να είναι σε θέση να διαπραγματευτεί με έναν πωλητή για τον οποίο δε γνωρίζει τίποτα αλλά και όταν επιτυγχάνεται συμφωνία μεταξύ των δύο να είναι επικερδής.

Όταν μεταφέρεται η γνώση σε επόμενες διαπραγματεύσεις (βλ. Πείραμα 4) είδαμε ότι τα αποτελέσματα των διαπραγματεύσεων δεν ήταν το ίδιο καλά με πριν κάτι που εξηγείται εάν αναλογιστούμε ότι η γνώση που οικοδομείται για έναν πωλητή σε μία διαπραγμάτευση δεν είναι σίγουρα και η κατάλληλη για κάθε επόμενη. Ωστόσο απενεργοποιώντας την ολίσθηση των συναρτήσεων συμμετοχής (βλ. Πείραμα 5) και κάνοντας έτσι το σύστημα λιγότερο σύμφωνο με το μοντέλο αναφοράς, καταφέραμε να περιορίσουμε αρκετά την απώλεια κέρδους του αγοραστή.

Το τελευταίο πείραμα παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον διότι μας δείχνει στην ουσία –και σε σύγκριση με το προηγούμενο- το αποτέλεσμα που έχει η συμφωνία σε μία διαπραγμάτευση για έναν πωλητή με τον οποίο έχει συνδιαλλαγή ξανά ο

πράκτορας. Μας δίνει δηλαδή μία εικόνα για το κατά πόσο η γνώση που οικοδομείται θα είναι επικερδής όχι μόνο στην τρέχουσα διαπραγμάτευση αλλά και σε άλλες με τους ίδιους πωλητές. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν δείχνουν ότι το σύστημα επαναχρησιμοποιώντας τη γνώση που έχει συλλέξει θα έχει καλύτερο όφελος όσο επαναλαμβάνει διαπραγματεύσεις με τον ίδιο πράκτορα, δηλαδή η γνώση που οικοδομεί είναι αποδοτική.

6.5 Αξιολόγηση Συστήματος

Κάνοντας μία τελική αποτίμηση, με βάση τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτά, θα λέγαμε ότι η προσέγγιση για τη σχεδίαση του πράκτορα που παρουσιάστηκε είναι ένα καλό μοντέλο. Τα κριτήρια για την αποτίμηση αυτή είναι:

- *Προσαρμογή*
Το σύστημα ανταποκρίνεται γρήγορα στις τιμές του μοντέλου αναφοράς και το παρακολουθεί επιτυχώς μετά από μικρό αριθμό βημάτων. Αντιδράει άμεσα στις αλλαγές των τιμών του μοντέλου με αποτέλεσμα να ταυτίζεται σχεδόν με αυτό. Σε όλα τα πειράματα η *Μέση Τετραγωνική Απόσταση* μοντέλου αναφοράς είναι χαρακτηριστικά μικρή.
- *Αριθμός Συμφωνιών*
Υπενθυμίζουμε ότι στόχος και των δύο πρακτόρων στην διαπραγμάτευση είναι η επίτευξη συμφωνίας. Ο πωλητής θέλει να πουλήσει ένα προϊόν και ο αγοραστής θέλει να το αγοράσει. Φαίνεται από τους πίνακες ότι ο αριθμός συμφωνιών που προκύπτει για κάθε σειρά πειραμάτων είναι παραπάνω από ικανοποιητικός. Ακόμα και στις περιπτώσεις που τα όρια των δύο διαφέρουν κατά πολύ, είναι αρκετά μεγάλος ο αριθμός των συμφωνιών.
- *Μεμονωμένα Οφέλη*
Το πλέον σημαντικό κριτήριο για να δούμε εάν το σύστημα που σχεδιάστηκε έχει νόημα και λόγο ύπαρξης είναι τα κέρδη που επιφέρει στους χρήστες του πράκτορα. Τα μεμονωμένα οφέλη (*IU*) είναι ο τρόπος με τον οποίο μπορούμε να κάνουμε αυτή την αποτίμηση και βλέπουμε ότι πράγματι το σύστημα οδηγεί σε επικερδείς αποφάσεις. Επίσης ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει να δούμε συγκριτικά τα μεμονωμένα οφέλη των δύο στις περιπτώσεις που επιτυγχάνεται υψηλή τιμή *JU*, έχουμε δηλαδή καλή ποιότητα διαπραγμάτευσης (δεν απέχουν κατά πολύ οι προσδοκίες του ενός από του άλλου).

Το σύστημα λοιπόν έχει αρκετά θετικά αποτελέσματα από τα οποία μπορεί να οδηγηθεί κανείς σε πολύ ενδιαφέρουσες επεκτάσεις με στόχο να βελτιωθεί περαιτέρω η απόδοση του πράκτορα.

6.6 Μελλοντικές Επεκτάσεις

- Α. Προσαρμογή συναρτήσεων συμμετοχής στην είσοδο.
Στο μοντέλο μας οι συναρτήσεις που ολισθαίνουν είναι της *Βαθμός_αποδοχής* η οποία είναι η συνάρτηση συμμετοχής εξόδου του αγοραστή. Η προσαρμογή εστιάζει σε αυτές προκειμένου να προσεγγίσει τις τιμές του μοντέλου αναφοράς. Θα είχε μεγάλο ενδιαφέρον να δούμε τα αποτελέσματα που θα είχε στην προσαρμογή η ολίσθηση συναρτήσεων συμμετοχής εισόδου (πχ *Διαφορά_Τιμής*,

Διαφορά_Χρόνου). Να αλλάζει δυναμικά δηλαδή η θεώρηση του πράκτορα για το πότε πχ. μία τιμή είναι μεγάλη ή μικρή και το πότε ο διαθέσιμος χρόνος είναι αρκετός ή όχι μέχρι το τέλος τη διαπραγμάτευσης. Να προσαρμόζει δηλαδή ανάλογα με τον κάθε πωλητή αυτές τις τιμές και τι αποτέλεσμα θα είχε κάτι τέτοιο στην ποιότητα της προσαρμογής, αλλά και στο όφελος.

B. Εναλλακτική παρακολούθηση αντίστροφου μοντέλου

Για την ολίσθηση αυτών των συναρτήσεων συμμετοχής, υπάρχει στο σύστημα του ελεγκτή το αντίστροφο μοντέλο (βλ. Κεφ. 5.4). το οποίο ανάλογα με την απόκλιση και τη μεταβολή της προβαίνει στις κατάλληλες αλλαγές στα άκρα των τριγωνικών συναρτήσεων. Ενδεχομένως, μία άλλη προσέγγιση η οποία θα λάμβανε υπόψη μία ακολουθία τιμών για την απόκλιση και όχι απλά τις 2 τελευταίες, να μπορούσε να εξάγει μία αρκετά ασφαλέστερη πρόβλεψη, άρα και καλύτερη υπόδειξη στην προσαρμογή για την ολίσθηση των συναρτήσεων. Αυτό θα είχε σαν αποτέλεσμα την ακόμα καλύτερη προσαρμογή του ελεγκτή με το μοντέλο αναφοράς.

C. Μεταφορά υποσυνόλου της γνώσης – Αναγνώριση όμοιων πρακτόρων

Μία άλλη επέκταση θα μπορούσε να είναι η επιλογή ενός υποσυνόλου (κάποιοι κανόνες κάποιες συναρτήσεις) για μεταφορά γνώσης και επαναχρησιμοποίηση να καθορίζεται από το κατά πόσο ο πράκτορας μπορεί να διαχωρίσει τους πράκτορες πωλητές. Αν μπορεί δηλαδή να «θυμάται» εάν έχει συνδιαλλαγή στο παρελθόν με τέτοιου είδους πωλητή και ποιο υποσύνολο γνώσης είχε οικοδομήσει για αυτήν την περίπτωση. Στο δικό μας σύστημα αυτό γίνεται σε επίπεδο αποφάσεων μέσω του μηχανισμού μάθησης, αλλά μεμονωμένα για κάθε διαπραγμάτευση. Το να γίνει κάτι τέτοιο σε επίπεδο συνόλου πωλητών θα είχε πολύ θετικά οφέλη για το χρήστη αγοραστή.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ

Ξενόγλωσσος όρος	Ελληνικός Όρος
Bargaining game	Παιχνίδι διαπραγμάτευσης
Utility function	Συνάρτηση χρησιμότητας
Auction	Πλειστηριασμός
Bargain	Διαπραγμάτευση
Profit	Κέρδος
Valuation	Αξιολόγηση
Agreement	Συμφωνία
Colission	Σύγκρουση
Fuzzy logic	Ασαφής λογική
Binary Logic	Διαδική λογική
Fuzzy sets	Ασαφή σύνολα
Membership function	Συνάρτηση συμμετοχής
Linguistic variable	Γλωσσική μεταβλητή
Hedges	Σταθμά
Antecedent	Αίτιο
Consequent	Συνέπεια
Firing strength	Ισχύς κανόνα
Accumulate	Συσσωρεύω
Clipped center of gravity	Τετμημένο κέντρο βαρύτητας
Fuzzy controller	Ασαφής ελεγκτής
Reference Model	Μοντέλο αναφοράς
Kernel density estimator	Πυρήνας εκτίμησης πιθανότητας
Propability density function	Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] J. N. Wooldridge M., «Intelligent agents: theory and practice,» *Knowledge Engineering Review*, pp. 115-152, 1995.
- [2] S. R. a. P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach* 2nd Edition, Prentice Hall, 2003.
- [3] S. F. a. A. Graesser, «Is it an Agent, or just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents,» *Proceedings of the Third International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages*, Springer-Verlag, 1996.
- [4] N. Kasabov, «Introduction: Hybrid intelligent adaptive systems,» *International Journal of Intelligent Systems*, p. 453–454, 1998.
- [5] N. H.S., «Software Agents: An Overview,» *KnowledgeEngineering Review vol.11(3)*, pp. p. 1-40, September 1996.
- [6] L. Zadeh, «Fuzzy sets,» *Information and Control vol. 8(3)*, p. 338–353, 1965.
- [7] A. P. Engelbrecht, *Computational Intelligence: An Introduction* 2nd Edition, John Wiley & Sons, 2007.
- [8] E. H. Mamdani, «Applications of Fuzzy Set Theory to Control Systems: A Survey in Fuzzy Automata and Decision Processes,» pp. 1-13, 1977.
- [9] S. Takagi, «Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control,» 1985.
- [10] A. K. M. Zemankova-Leech, *Fuzzy relational data bases: a key to expert systems*, Verlag TÜV Rheinland.
- [11] Q. Z. Y. X. F. C. Tianhao S., «A Bilateral Price Negotiation Strategy Based on Bayesian Classification and Q-learning,» *Journal of Information & Computational Science 8(13)*, p. 2773–2780, 2011.
- [12] M. P. a. J. M. C. Wand, *Kernel Smoothing*, Chapman and Hall, 1995.
- [13] J. L. & K. M. Passino, «Fuzzy Model Reference Learning Control,» σε *Conf. on Control Applications*, Dayton, OH, 1992.
- [14] P. S. C. a. J. N. R. Faratin, «Negotiation Decision Function for Autonomous

Agents,» *International Journal of Robotics and Autonomous Systems* vol. 24 (3-4), pp. 159-182, 1998.

[15] O. M., «[3] An Adaptive Negotiation Model for Agent-Based Electronic Commerce,» *Studies in Informatics and Control*, vol. 11 (3), pp. 271-279, 2002.

[16] D. & S. K. Zeng, «Bayesian Learning in Negotiation,» *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 48(1), pp. 125-141, 1998.

[17] E. L. Lehmann και G. Casella, *Theory of Point Estimation* (2nd ed.), New York: Springer, 1998.