

ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ: Π4.1

ΕΝΟΤΗΤΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ: 4

ΤΙΤΛΟΣ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟΥ:

“Πρωτόκολλα Λογικής Πρακτόρων”

ΕΡΓΟ “11ΣΥΝ_9_184”

**Επιχειρησιακό Εργαλείο Ελέγχου σε πραγματικό χρόνο
των υπερχειλίσεων παντοροϊκού συστήματος αποχέτευσης σε
παράκτιες πόλεις**



www.realtso.gr

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ

**«ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ & ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ»
ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΩΝ ΣΕ ΜΕΤΑΒΑΣΗ
ΕΣΠΑ 2007-2013**

**ΔΡΑΣΗ ΕΘΝΙΚΗΣ ΕΜΒΕΛΕΙΑΣ
ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ 2011**

**Συμπράξεις Παραγωγικών και Ερευνητικών Φορέων σε Εστιασμένους
Ερευνητικούς και Τεχνολογικούς Τομείς**

Συμμετέχοντες Φορείς

**Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Θεσσαλονίκης (ΕΥΑΘ ΑΕ)
karfECO - Σύμβουλοι Μηχανικοί Περιβάλλοντος και Ενέργειας
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης**

Θεσσαλονίκη 2014



**ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**



**Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων
ΓΓΕΤ – ΕΥΔΕ-ΕΤΑΚ**



**Ε. Π. Ανταγωνιστικότητα και Επιχειρηματικότητα (ΕΠΑΝ II), ΠΕΠ Μακεδονίας – Θράκης, ΠΕΠ Κρήτης και Νήσων Αιγαίου, ΠΕΠ
Θεσσαλίας – Στερεάς Ελλάδας – Ηπείρου, ΠΕΠ Αττικής**

Περιεχόμενα

1	<u>Εισαγωγή</u>	1
2	<u>Πολυπρακτορικά ευφυή συστήματα</u>	2
2.1	Ευφυείς πράκτορες	2
2.2	Επικοινωνία μεταξύ πρακτόρων	5
2.3	Γλώσσες προγραμματισμού και πρότυπα οντολογίας πρακτόρων	6
2.4	Πλατφόρμες ανάπτυξης συστημάτων	10
2.5	Java Agent Development framework (Jade)	12
3	<u>Ασαφής Άλγεβρα</u>	14
3.1	Εισαγωγή-Γενικά	14
3.1.1	Συνάρτηση 1: Τριγωνική συνάρτηση μέλους	15
3.1.2	Συνάρτηση 2: Τραπεζοειδής συνάρτηση μέλους	16
3.1.3	Συνάρτηση 3: Σιγμοειδής συνάρτηση μέλους	16
3.1.4	Συνάρτηση 4: Σιγμοειδής συνάρτηση μέλους	17
3.2	Μοντέλο ασαφούς λογικής Real-t-SO	17
3.2.1	Γενικά	17
3.2.2	Απεικόνιση Λεκτικών Low - High	18
3.2.3	1 ^ο σετ απεικόνισης με χρήση ημητραπεζοειδούς συνάρτησης μέλους	20
3.2.4	2 ^ο σετ απεικόνισης με χρήση σιγμοειδούς συναρτήσεων μέλους	23
3.2.5	Διαφοροποίηση των παραπάνω σετ στα αποτελέσματα του συστήματος	24
4	<u>Επιχειρησιακό υδραυλικό μοντέλο δικτύου για σύνδεση με το σύστημα πολυπρακτόρων</u>	27
5	<u>Πίνακας Λογικής Πρακτόρων</u>	31
5.1	Κανόνες λειτουργίας του συστήματος	31
6	<u>Βιβλιογραφία</u>	33
7	<u>Ακρωνύμια</u>	35

1 Εισαγωγή

Η λειτουργία του συστήματος ελέγχου των υπερχειλίσεων Real-t-SO βασίζεται στην συγκέντρωση ενός μεγάλου πλήθους υδραυλικών, μετεωρολογικών και περιβαλλοντικών δεδομένων τα οποία αναλύει, συνδυάζει και τελικά αξιοποιεί για την λήψη των βέλτιστων αποφάσεων, για τον αυτόματο χειρισμό ενός σύνθετου συστήματος μηχανισμών θυροφραγμάτων και γενικότερα για την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο του συστήματος των υπερχειλίσεων και την έγκαιρη ειδοποίηση του εντεταλμένου προσωπικού.

Προκειμένου να επιτευχθούν οι παραπάνω στόχοι με συνέχεια και αξιοπιστία, ακόμη και στην περίπτωση πολύπλοκων, απρόβλεπτων ή εξαιρετικά δυσμενών συνθηκών, χρησιμοποιείται ένα προχωρημένο σύστημα πληροφορικής που βασίζεται στην τεχνική των ευφύων πρακτόρων και στην λογική των ασαφών συνόλων. Ένα τέτοιο σύστημα παρουσιάζει χαρακτηριστικά εμπείρου συστήματος ή συστήματος με ευφυΐα, αφού μπορεί να καταλήγει σε πραγματικό χρόνο σε σαφείς αποφάσεις μέσα από ένα σύνολο μη απολύτως σαφών πληροφοριών. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να αυτοματοποιηθεί ο χειρισμός των θυροφραγμάτων με εξίσου καλά και ίσως καλύτερα αποτελέσματα από τους χειρισμούς ενός ειδικού έμπειρου τεχνικού, συνεχώς καθ' όλο το 24ωρο. Αυτό επιτρέπει στο εξειδικευμένο προσωπικό μια καλύτερη παρακολούθηση του δικτύου αποχετεύσεως και δίνει επιπλέον χρόνο για την έγκαιρη αντιμετώπιση δυσμενών καταστάσεων στο δίκτυο.

Όλες οι απαραίτητες υδραυλικές, μετεωρολογικές και περιβαλλοντικές παράμετροι κωδικοποιούνται σύμφωνα με την λογική των ευφύων πρακτόρων και εισάγονται στο σύστημα. Το «υδραυλικό μοντέλο» λειτουργίας του συστήματος έχει προσδιοριστεί στο αντίστοιχο πακέτο εργασίας (Παραδοτέο 4.2). Οι παράμετροι που το προσδιορίζουν επίσης έχουν οριστεί εκεί. Η μετατροπή τους σε δεδομένα εισόδου στο σύστημα ευφύων πρακτόρων προσδιορίζονται στην συνέχεια. Με δεδομένη την πρωτοτυπία του έργου και τις αρκετές αβεβαιότητες που παρουσιάζονται κατά την παρούσα φάση σχεδιασμού του όλου συστήματος, υπάρχει πρόνοια για βελτιώσεις και διορθώσεις, κυρίως στις τιμές χαρακτηριστικών παραμέτρων που θα προσδιοριστούν κατά τη ρύθμιση και πιλοτική λειτουργία του συστήματος.

2 Πολυπρακτορικά ευφυή συστήματα

Ένα πολυπρακτορικό σύστημα (Multi Agent System – MAS) είναι ένα σύστημα το οποίο αποτελείται από πολλούς ανεξάρτητους ευφυείς πράκτορες οι οποίοι αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με σκοπό την επίλυση ενός σύνθετου προβλήματος (Russell and Norvig, 2003).

Για να γίνει πλήρως αντιληπτή η δομή, η λειτουργία και η έννοια ενός πολυπρακτορικού συστήματος πρέπει πρώτα να εξεταστούν τα συστατικά και τα χαρακτηριστικά του.

2.1 Ευφυείς πράκτορες

Ο όρος πράκτορας (agent ή software agent) χρησιμοποιείται στην πληροφορική με μια αρκετά ευρεία έννοια. Τον συναντάμε με διαφορετικούς ορισμούς κάθε φορά στην επιστήμη των βάσεων δεδομένων, της τεχνητής νοημοσύνης και των λειτουργικών συστημάτων. Όλοι οι ορισμοί όμως συμφωνούν στο ότι ένας πράκτορας είναι ένα ιδιαίτερο αντικείμενο, αυτόνομο, με ατομική λογική και προσωπική αντίληψη του περιβάλλοντος του (Russell and Norvig, 2003). Οι ιδιότητες αυτές προσδίδουν στους πράκτορες χαρακτηριστικά «ατομικής» συμπεριφοράς η οποία έχει ως σκοπό την επίλυση ενός προβλήματος με βάση την ατομική οπτική του πράκτορα (Bellifemine et al, 2007). Ένας πολύ γενικός ορισμός, περισσότερο προσαρμοσμένος στα πολυπρακτορικά συστήματα, ορίζει ως πράκτορα οποιαδήποτε οντότητα η οποία μπορεί να αντιληφθεί το περιβάλλον της και να δράσει με σκοπό την αλλαγή του (Bellifemine et al. 2007, Wooldridge 2009).

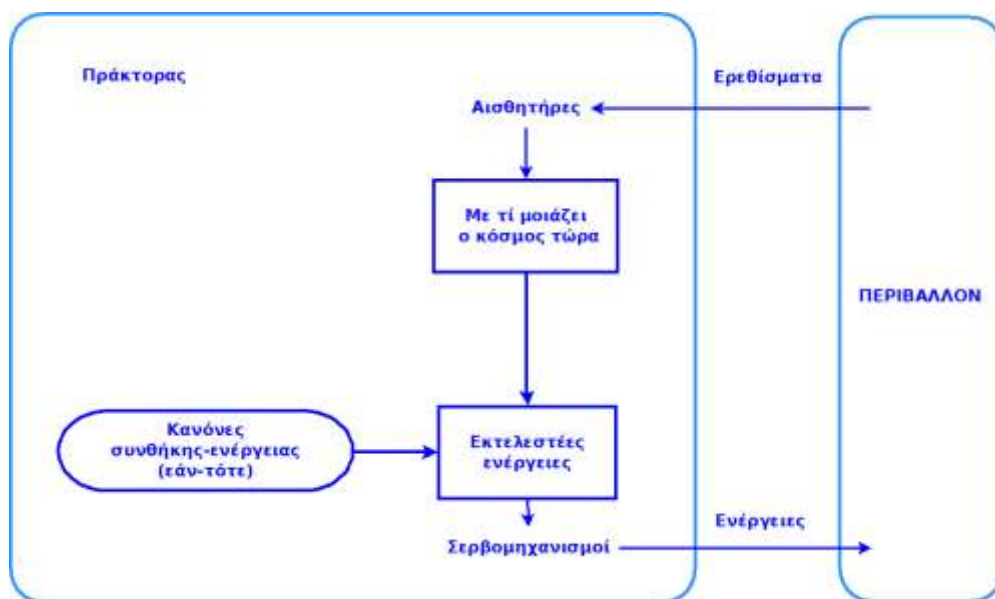
Πολύ συχνά γίνεται σύγχυση μεταξύ της έννοιας του πράκτορα και του αντικειμένου. Ένας εύκολος και ίσως πρόχειρος διαχωρισμός τους μπορεί να γίνει αν πούμε ότι ένας πράκτορας είναι ένα αντικείμενο ικανό για ανεξάρτητη δράση και λήψη αποφάσεων με σκοπό την υλοποίηση των στόχων για τους οποίους σχεδιάσθηκε, χωρίς να χρειάζεται ενδιάμεσες εντολές ανά πάσα στιγμή (Bellifemine et al, 2007). Πρέπει να αναφερθεί όμως ότι σε ένα πολυπρακτορικό σύστημα μπορεί να υπάρξουν και πράκτορες οι

οποίοι είναι περισσότερο διαχειριστικοί και δεν επεμβαίνουν οι ίδιοι άμεσα στο περιβάλλον αλλά διευκολύνουν άλλους πράκτορες να το κάνουν παρέχοντας τους πληροφορίες, αντίληψη του περιβάλλοντος και δεδομένα.

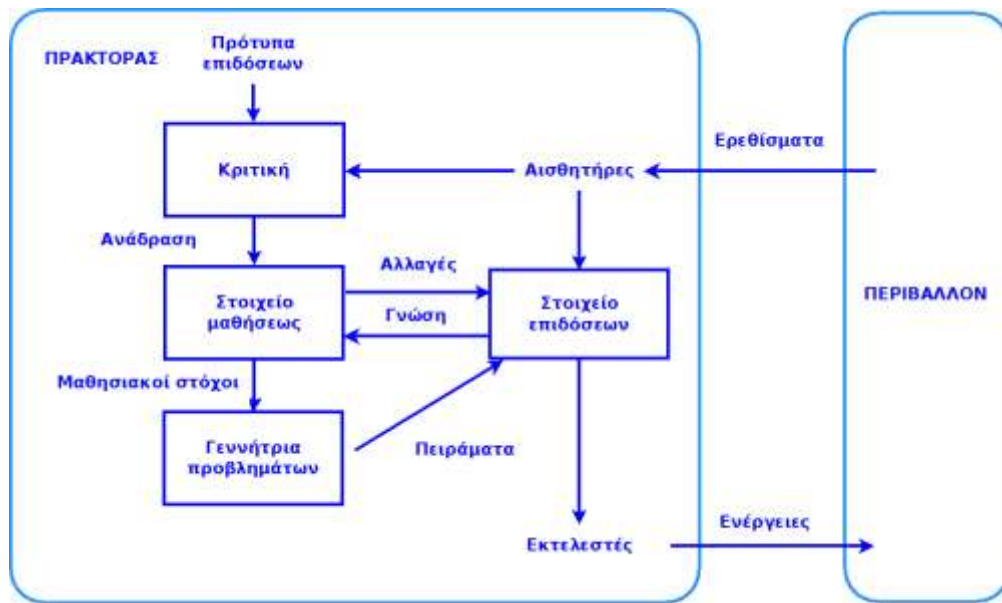
Ένας πράκτορας ονομάζεται ευφυής όταν ενσωματώνει χαρακτηριστικά ευφύων υπολογιστικών συστημάτων, δηλαδή συστημάτων που επιδεικνύουν χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την ανθρώπινη νοημοσύνη (Ηλιάδης 2007, Βλαχάβας και άλλοι 2005) ή μηχανισμούς έτσι ώστε να διαθέτει ικανότητες όπως (Ηλιάδης 2007, Turban & Arnson, 1998):

- Η εξαγωγή συμπερασμάτων μέσα από αντιφατικά ή ασαφή μηνύματα.
- Η επιτυχημένη ανταπόκριση σε νέες καταστάσεις.
- Η ικανότητα εφαρμογής της γνώσης για την αλλαγή του περιβάλλοντος.
- Η ικανότητα αναγνώρισης της σχετικής σημαντικότητας διαφόρων στοιχείων σε μια κατάσταση.

Ένας πράκτορας μπορεί να διαθέτει μια στατική βάση γνώσης και κανόνων και στηριζόμενος σε αυτή να λαμβάνει τις όποιες αποφάσεις (Πράκτορας απλού ανακλαστικού - simple reflex agent) (Εικόνα 2.1) ή να διαθέτει ενσωματωμένες τεχνικές μάθησης και να εμπλουτίζει τους μηχανισμούς λήψης αποφάσεων που διαθέτει (Πράκτορας αυτόματης μάθησης - Self Learning agent) (Russell and Norvig, 2003) (Εικόνα 2.2).



Εικόνα 2.1 Πράκτορας Απλού Ανακλαστικού



Εικόνα 2.2 Πράκτορας Αυτόματης Μάθησης

Τα τέσσερα βασικά χαρακτηριστικά που πρέπει να διαθέτει ένας πράκτορας είναι (Bellifemine et al, 2007):

- **Αυτονομία.** Ένας πράκτορας λειτουργεί χωρίς την άμεση καθοδήγηση κάποιου χειριστή ή χρήστη. Ο πράκτορας έχει τους δικούς του σκοπούς, τη δική του λογική και τη δική του αντίληψη. Σίγουρα τα χαρακτηριστικά αυτά προσδίδονται στον πράκτορα κατά τη δημιουργία – προγραμματισμό του, αλλά καθ' όλη την διάρκεια λειτουργίας του, αυτός λειτουργεί αυτόνομα και χωρίς να δέχεται εντολές.
- **Αλληλεπίδραση.** Βασική λειτουργία ενός πράκτορα είναι να αντιλαμβάνεται το περιβάλλον και να προσπαθεί να το αλλάξει έτσι ώστε το νέο περιβάλλον να συμφωνεί μ' αυτό που ο πράκτορας θεωρεί σωστό και ιδανικό. Σε κάθε κύκλο εκτέλεσης ο πράκτορας ελέγχει το περιβάλλον, αποφασίζει αν θα δράσει ή όχι και με ποιόν και εκτελεί την απόφασή του.
- **Κοινωνικότητα.** Ο κάθε πράκτορας πρέπει να είναι σε θέση να επικοινωνεί και να συνεργάζεται, αν χρειάζεται, και με ανθρώπους ή με άλλους πράκτορες που δρουν στο ίδιο μ' αυτόν περιβάλλον. Η επικοινωνία αυτή δεν έρχεται σε αντίθεση με την αυτονομία που διαθέτουν οι πράκτορες μιας και η ανταλλαγή μηνυμάτων δεν σημαίνει αυτόματα και αλλοίωση της απόφασης που θα πάρει ο πράκτορας.

- *Δομημένη δράση.* Οι δράσεις και οι παρεμβάσεις των πρακτόρων στο περιβάλλον δεν αποτελούν αποτέλεσμα απλών δομών επιλογής. Αντίθετα ο πράκτορας λειτουργεί οδηγούμενος από τους στόχους του και παίρνοντας πρωτοβουλίες για να τους επιτύχει.

Επιπλέον χαρακτηριστικά όπως φορητότητα, ικανότητα κατανεμημένης λειτουργίας, γραφικού περιβάλλοντος, επιλεκτικής λειτουργίας, συναντώνται συχνά σε ευφυείς πράκτορες αλλά η ύπαρξη και η υποστήριξη τους δεν είναι υποχρεωτική.

2.2 Επικοινωνία μεταξύ πρακτόρων

Ένα από τα βασικά και απαραίτητα χαρακτηριστικά που πρέπει να διαθέτει ένα πολυπρακτορικό σύστημα είναι ένα τυποποιημένο πρωτόκολλο επικοινωνίας.

Είδαμε ότι η κοινωνικότητα είναι απαραίτητο χαρακτηριστικό των πρακτόρων. Σε ένα πολυπρακτορικό σύστημα οι πράκτορες πρέπει να ανταλλάζουν μηνύματα έτσι ώστε αν κρίνεται απαραίτητο να μπορεί ο ένας να καταλάβει την κατάσταση, θέση ή λειτουργία του άλλου. Η επικοινωνία αυτή πρέπει να γίνεται με τυποποιημένο - συντονισμένο τρόπο και προκαθορισμένη γλώσσα. Οι γλώσσες επικοινωνίας πρακτόρων (Agent Communication Languages – ACL) δεν αναφέρονται στο περιεχόμενο του μηνύματος που ανταλλάσσεται μεταξύ τους, αλλά μόνο στους κανόνες ανταλλαγής μηνυμάτων. Ορίζουν δηλαδή την επικεφαλίδα του μηνύματος, τον τρόπο αποστολής και λήψης, το σύστημα στο οποίο απευθύνονται. Το περιεχόμενο του μηνύματος είναι καθαρά θέμα πρακτόρων και υλοποίησης και δεν αφορά την γλώσσα επικοινωνίας.

Κάθε πολυπρακτορικό σύστημα μπορεί να διαθέτει την δική του γλώσσα επικοινωνίας αρκεί αυτή να ορίζει ότι χρειάζεται για την σωστή ανταλλαγή μηνυμάτων. Προκειμένου όμως να είναι δυνατή η ανάπτυξη συστημάτων τα οποία θα είναι ανοικτά και στα οποία θα είναι δυνατή η ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ πρακτόρων που κατασκευάστηκαν σε διαφορετικές πλατφόρμες δημιουργήθηκαν κάποια πρωτόκολλα επικοινωνίας τα οποία ορίζουν επακριβώς την μορφή, τα πεδία και τη χρήση τους, τη δομή και όλα τα λειτουργικά χαρακτηριστικά ενός μηνύματος όπως επίσης και τους μηχανισμούς αποστολής και λήψης.

2.3 Γλώσσες προγραμματισμού και πρότυπα οντολογίας πρακτόρων

Η πρώτη γλώσσα ανταλλαγής μηνυμάτων μεταξύ πρακτόρων η οποία γνώρισε ευρεία αποδοχή και υιοθετήθηκε σε αρκετές πρώιμες υλοποιήσεις ήταν η KQML (Knowledge Query and Manipulation Language) (Mayfield και άλλοι, 1996). Η KQML αναπτύχθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 90 για λογαριασμό της αμερικάνικης κυβέρνησης στα πλαίσια του προγράμματος ARPA Knowledge Sharing Effort (Bellifemine et al. 2007, Wooldridge 2009).

Μετά την αποδοχή που γνώρισε η KQML και την ανάγκη για καθιέρωση διεθνών προτύπων όχι μόνο για τη γλώσσα επικοινωνίας μεταξύ των πρακτόρων αλλά για κάθε άλλη τυποποίηση στην νέα αυτή επιστήμη, ιδρύθηκε το μη κερδοσκοπικό ίδρυμα FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents). Το ίδρυμα αυτό παρουσίασε το 1991 την γλώσσα επικοινωνίας FIPA-ACL ή σε συντομογραφία ACL (Agent Communication Language). Η ACL συνδυάζει πολλές υπάρχουσες ιδιότητες της KQML (Labrou et al., 1999) με νέα χαρακτηριστικά. Η τυποποίηση αυτή δίνει την δυνατότητα σε κάθε πράκτορα που υιοθετεί την ACL να επικοινωνεί με άλλους πράκτορες και πλατφόρμες πολυπρακτορικών συστημάτων χωρίς να γνωρίζει επιπλέον χαρακτηριστικά για τους πράκτορες αυτούς.

Η FIPA-ACL προδιαγράφει μια σειρά από τύπους μηνυμάτων οι οποίοι καλύπτουν τις περισσότερες ανάγκες επικοινωνίας μεταξύ των πρακτόρων. Οι τύποι αυτοί παρουσιάζονται στον Πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 2.1).

Το ίδρυμα FIPA στα μέσα του 2005 απορροφήθηκε από τον διεθνή οργανισμό τυποποίησης προϊόντων τεχνολογίας IEEE και πλέον λειτουργεί σαν ομάδα εργασίας του.

Πίνακας 2.1 Τύποι ACL μηνυμάτων (FIPA, 2002)

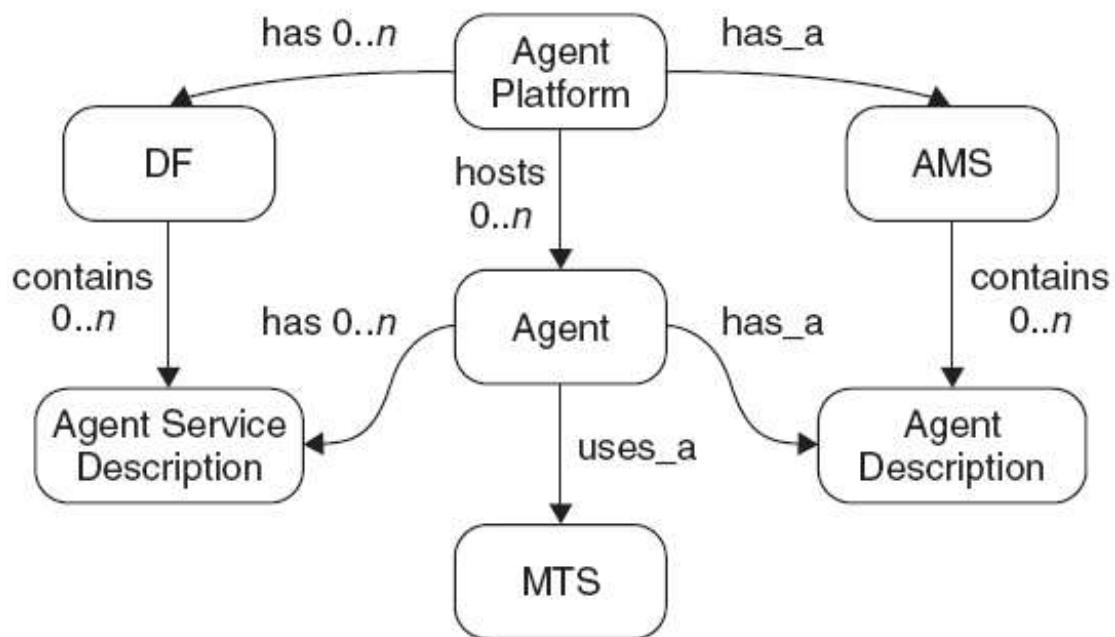
Accept Proposal	Αποδοχή πρότασης
Agree	Συμφωνίας
Cancel	Ακύρωσης
Call for Proposal	Αίτηση αποστολής πρότασης
Confirm	Επιβεβαίωση
Disconfirm	Μη Επιβεβαίωση
Failure	Αποτυχίας
Inform	Ενημέρωσης
Inform If	Ενημέρωσης μετά από προηγούμενη συνθήκη
Inform Ref	Ενημέρωση σχετικά με προηγούμενη αναφορά
Not Understood	Μη κατανόησης
Propagate	Διασποράς – Προώθησης.
Propose	Πρότασης
Proxy	Ενδιάμεσης επικοινωνίας
Query If	Ερωτήματος υπό συνθήκη
Query Ref	Ερωτήματος σχετικά με προηγούμενη αναφορά
Refuse	Άρνησης
Reject Proposal	Απόρριψης προηγούμενης πρότασης
Request	Απαίτηση δεδομένων ή πράξης
Request When	Απαίτηση σε συγκεκριμένο χρόνο ή συνθήκη
Request Whenever	Εσπευσμένη απαίτηση δεδομένων ή πράξης
Subscribe	Εγγραφής

Εκτός από την ACL η FIPA έχει τυποποιήσει πολλές ακόμα λειτουργίες και απαιτήσεις σχετικά με τους πράκτορες και τα πολυπρακτορικά συστήματα. Μία από αυτές είναι η διαχείριση πρακτόρων (agent management). Με την έννοια «διαχείριση πρακτόρων» αναφερόμαστε στην μεθοδολογία και στους κανόνες που πρέπει να πληροί και να υποστηρίζει ένας πράκτορας και ένα πολυπρακτορικό σύστημα προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη συμβατότητα μεταξύ συστημάτων. Η σχηματική μορφή όπως αναφέρεται στις προδιαγραφές της FIPA φαίνεται στην Εικόνα 2.3.

Οι λειτουργίες, η χρησιμότητα και η συσχέτιση μεταξύ των παραπάνω οντοτήτων είναι οι εξής:

- **Πλατφόρμα πρακτόρων, Agent Platform (AP):** Αποτελεί την λεγόμενη ραχοκοκαλιά κάθε πολυπρακτορικού συστήματος. Παρέχει το φυσικό – προγραμματιστικό περιβάλλον πάνω στο οποίο υλοποιούνται οι πράκτορες. Αποτελείται από το προγραμματιστικό περιβάλλον, το λειτουργικό σύστημα, το υλικό, τους ίδιους τους πράκτορες και κάθε άλλο υλικό και λογισμικό παίρνει μέρος στην οποιαδήποτε επεξεργασία επιτελεί το κάθε πολυπρακτορικό σύστημα. Ο τρόπος υλοποίησης ενός AP δεν περιγράφεται στις προδιαγραφές της FIPA οπότε οι κατασκευαστές συστημάτων είναι ελεύθεροι να

ακολουθήσουν τις δικές τους επιλογές, με την προϋπόθεση όμως το οποίο AP να επικοινωνεί με όλα τα υπόλοιπα μέρη με χρήση της ACL και να διαθέτει ένα Διεκπεραιωτή Καταλόγου (Directory Facilitator - DF) και ένα Σύστημα Διαχείρισης Πρακτόρων (Agent Management system - AMS). Η χρήση των DF και AMS αναλύονται στην συνέχεια.

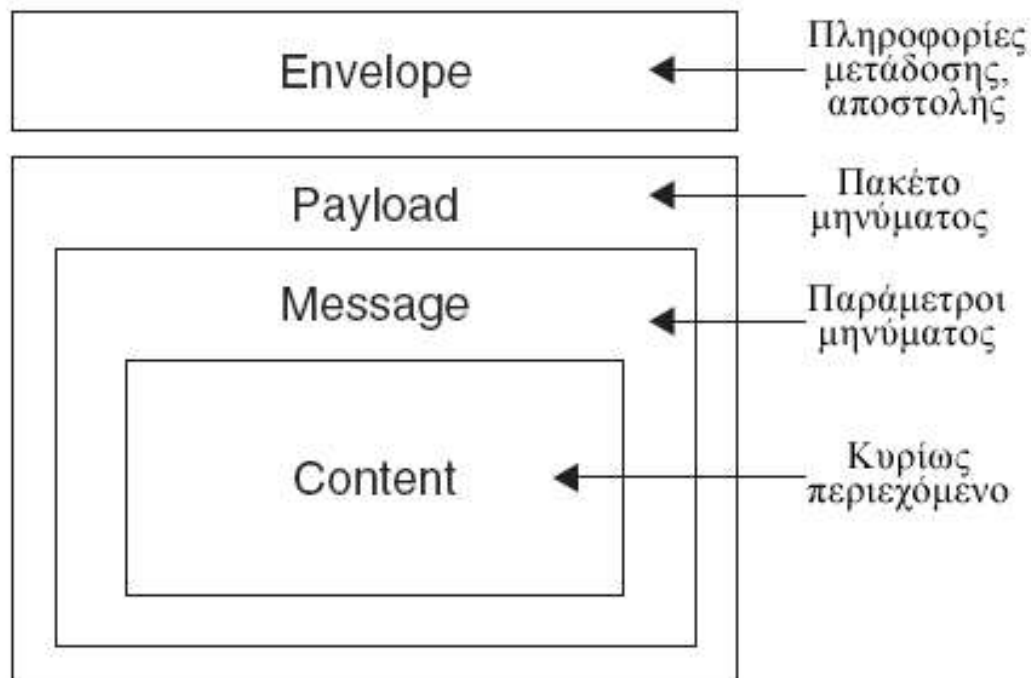


Εικόνα 2.3 Οντολογία διαχείρισης πρακτόρων

- Πράκτορας, Agent:** Όπως αναφέρθηκε παραπάνω ένας πράκτορας είναι ένα αυτόνομο αντικείμενο το οποίο εκτελεί λειτουργίες με σκοπό να ικανοποιήσει τους σκοπούς του. Είναι το κύριο συστατικό ενός πολυπρακτορικού συστήματος ενώ η υλοποίησή του, οι σκοποί του και οι μέθοδοι που ακολουθεί για να τους επιτύχει όπως είναι φυσικό δεν αποτελούν μέρος της τυποποίησης της FIPA. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές της FIPA ένας πράκτορας πρέπει να ανήκει σε μία πλατφόρμα (agent platform), να έχει μία δημόσια περιγραφή (agent description), τουλάχιστον μία περιγραφή για τις λειτουργίες που επιτελεί (agent service description) και να χρησιμοποιεί τουλάχιστον μία υπηρεσία ανταλλαγής μηνυμάτων (message transport service).
- Διεκπεραιωτής Καταλόγου, Directory Facilitator (DF):** Ο διευκολυντής καταλόγου (DF) ανήκει σε μία πλατφόρμα AP και προσφέρει στο σύστημα υπηρεσίες ευρετηρίου. Κάθε πράκτορας ο οποίος θέλει να δημοσιοποιήσει την ύπαρξη του, τις λειτουργίες και τις υπηρεσίες που εκτελεί καθώς και την

περιγραφή του, δηλώνει τα στοιχεία αυτά σε κάποιον κατάλογο DF. Όταν κάποιος άλλος πράκτορας χρειάζεται να επικοινωνήσει μ' αυτόν τον πράκτορα, θα ρωτήσει την πλατφόρμα (AP) για την ύπαρξη υπηρεσίας ευρετηρίου και στην συνέχεια θα ρωτήσει το DF για την ύπαρξη του πράκτορα, το όνομα με βάση το οποίο μπορεί να επικοινωνήσει μαζί του, καθώς και τις εργασίες που εκτελεί. Η δήλωση των πρακτόρων σε κάποιον DF δεν είναι υποχρεωτική και η υπηρεσία παρέχεται για λόγους διευκόλυνσης. Επιπλέον ούτε η ίδια η υπηρεσία είναι υποχρεωτικό συστατικό μιας πλατφόρμας (AP), παρ' όλα αυτά όλα τα ανοικτά πολυπρακτορικά συστήματα και κάθε περιβάλλον ανάπτυξης συστημάτων διαθέτουν υπηρεσίες ευρετηρίου.

- **Σύστημα διαχείρισης πρακτόρων, Agent Management System (AMS):** Το σύστημα διαχείρισης πρακτόρων (AMS) είναι ένα από τα υποχρεωτικά συστατικά που έχει κάθε πλατφόρμα AP και φροντίζει για την διαχείριση και λειτουργία των πρακτόρων. Ελέγχει και κρατάει δεδομένα για τη δημιουργία, τη διαγραφή, τη διακοπή λειτουργίας και τον έλεγχο πρόσβασης και επικοινωνίας μεταξύ των πρακτόρων. Προκειμένου ένας πράκτορας, να επικοινωνήσει ή να εκτελέσει οποιαδήποτε λειτουργία μέσα σε ένα πολυπρακτορικό σύστημα πρέπει πρώτα να φροντίσει για την εγγραφή του στο AMS της πλατφόρμας. Με την εγγραφή του στο AMS κάθε πράκτορας καταχωρεί το μοναδικό AID (Agent ID – Αναγνωριστικό πράκτορα) το οποίο είναι και η μοναδική διεύθυνση επικοινωνίας με τους υπόλοιπους πράκτορες ή το σύστημα. Με τη διαγραφή ενός πράκτορα από το AMS αυτός παύει να υπάρχει για τη πλατφόρμα ακόμα και αν σαν εφαρμογή συνεχίζει να εκτελείται.
- **Υπηρεσία μετάδοσης μηνυμάτων, Message Transport Service (MTS):** Η υπηρεσία μετάδοσης μηνυμάτων (MTS) παρέχεται από την πλατφόρμα (AP) και είναι υπεύθυνη για την μετάδοση των ACL μηνυμάτων από πράκτορα σε πράκτορα μεταξύ του ίδιου ή διαφορετικών AP. Η δομή των μηνυμάτων είναι τυποποιημένη και κάθε πλατφόρμα ή σύστημα θέλει να είναι συμβατό με τις οδηγίες της FIPA πρέπει να ακολουθεί την παρακάτω σχεδίαση (Εικόνα 2.4) στη δομή του μηνύματος.



Εικόνα 2.4 Δομή ACL μηνύματος

Η δημόσια περιγραφή (*agent description*) και η περιγραφή για τις λειτουργίες που επιτελεί (*agent service description*) ένας πράκτορας, είναι πληροφοριακές εγγραφές στα DF και AMS τις οποίες κάνουν οι πράκτορες προκειμένου να είναι ευκολότερη η αναζήτηση κάποιου πράκτορα με βάση τις ιδιότητες του.

Πριν προχωρήσουμε στις πλατφόρμες ανάπτυξης πολυπρακτορικών συστημάτων πρέπει να αναφερθεί ότι τα περισσότερα από τα παραπάνω χαρακτηριστικά που ορίζει η FIPA, ως συνήθως υλοποιούνται από απλούς πράκτορες οι οποίοι κάνουν τις δουλειές που προαναφέρθηκαν. Δεν προσπαθούν να ανιχνεύσουν και να τροποποιήσουν το περιβάλλον όπως κάνουν οι περισσότεροι πράκτορες, αλλά προσπαθούν να προσφέρουν υπηρεσίες διευκόλυνσης στο σύστημα.

2.4 Πλατφόρμες ανάπτυξης συστημάτων

Πέρα από τη δημιουργία και τον προγραμματισμό των πρακτόρων, η ανάπτυξη ενός πολυπρακτορικού συστήματος απαιτεί και τη δημιουργία των ελάχιστων συστατικών που θα φροντίζουν για την μεταξύ τους επικοινωνία, το συγχρονισμό και τη δημοσίευση υπηρεσιών. Τα συστατικά αυτά μπορούν να υλοποιηθούν και να κατασκευαστούν με σχεδόν κάθε σύγχρονη γλώσσα προγραμματισμού,

φροντίζοντας να κατασκευαστούν προγράμματα, διαδικασίες ή αντικείμενα για κάθε απαραίτητο τμήμα της πλατφόρμας. Αυτό βέβαια μπορεί να χαρακτηριστεί χρονοβόρο και καθιστά σχετικά δύσκολη την συμβατότητα του οποίου συστήματος με προδιαγραφές όπως αυτές της FIPA ή την δημιουργία ενός συστήματος στο οποίο μπορούν να συνδεθούν και να ανταλλάξουν μηνύματα πράκτορες που κατασκευάστηκαν με διαφορετικό τρόπο.

Για την επίλυση του παραπάνω προβλήματος και την ευκολότερη ανάπτυξη πολυπρακτορικών συστημάτων έχουν αναπτυχθεί ένας αριθμός από agent oriented γλώσσες προγραμματισμού και αρκετές πλατφόρμες (frameworks) οι οποίες προσφέρουν έτοιμα αρκετά από τα απαραίτητα εργαλεία ανάπτυξης.

Οι περισσότερες από τις πρακτορό-στραφείς γλώσσες προγραμματισμού που έχουν αναπτυχθεί προσφέρουν μια συλλογή από βιβλιοθήκες και ευκολίες προκειμένου ο προγραμματιστής να αναπτύξει το σύνολο των απαραίτητων συστατικών του συστήματος (Thielscher 2005, Winkoff 2005).

Οι πλατφόρμες ανάπτυξης πολυπρακτορικών συστημάτων από την άλλη, εκτός από πλούσιες συλλογές από βιβλιοθήκες συναρτήσεων, προσφέρουν έτοιμες αρκετές από τις απαραίτητες υποδομές για την ανάπτυξη ενός συστήματος. Διαθέτουν έτοιμους μηχανισμούς ευρετηρίου, ανταλλαγής μηνυμάτων και διαχείρισης πρακτόρων καθώς και τις απαραίτητες συναρτήσεις για πλήρη αξιοποίηση τους (Bellifemine et al, 2007).

Για την ανάπτυξη του συστήματος παρακολούθησης και ελέγχου σε πραγματικό χρόνο των υπερχειλίσεων παντοροϊκού συστήματος αποχέτευσης προκρίνονται, μετά από καταγραφή των αναγκών, δύο εναλλακτικές προσεγγίσεις.

Χρήση της πλατφόρμας πολυπρακτορικών συστημάτων JADE (Java Agent Development framework) η οποία προσφέρει πλήρη συμβατότητα με τις προδιαγραφές της FIPA και επιπλέον προσφέρει έτοιμες υλοποιήσεις για τα υποσυστήματα ενός πολυπρακτορικού συστήματος όπως αυτά ανατήχθηκαν παραπάνω. Τα χαρακτηριστικά της πλατφόρμας Jade αναπτύσσονται στην επόμενη παράγραφο.

Ανάπτυξη από το μηδέν των απαραίτητων στοιχείων τα οποία θα καλύπτουν το 100% των αναγκών του συστήματος έτσι ώστε αυτά να είναι πλήρως προσαρμοσμένα στις ανάγκες που θα προδιαγραφούν από τις υδραυλικές και επιχειρησιακές μελέτες που υλοποιήθηκαν στα πλαίσια του έργου.

Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κάθε προσέγγισης καθώς και η τελική επιλογή πλατφόρμας αποτελούν τμήμα του παραδοτέου «Ανάπτυξη ευφυούς πολυπρακτορικού Συστήματος» και θα αναπτυχθούν στην τελική έκθεση του παραδοτέου.

2.5 Java Agent Development framework (Jade)

Η JADE παρουσιάστηκε το 1998 από την Telecom Italia με σκοπό τον έλεγχο και τη δοκιμή των πρώτων προδιαγραφών της FIPA για τα πολυπρακτορικά συστήματα. Μετά από την επιλογή της από την ευρωπαϊκή επιτροπή για χρηματοδότηση στα πλαίσια του προγράμματος FACTS project, ACTS AC317 μετατράπηκε το 2000 σε πλατφόρμα ανοικτού κώδικα κάτω από LGPL άδεια χρήσης ενώ το 2003 η Telecom Italia σε συνεργασία με εταιρίες όπως η Motorola, η France Telecom κ.α. ίδρυσαν μη κερδοσκοπικό ίδρυμα το οποίο έχει σαν σκοπό την καθοδήγηση και την προώθηση της ανάπτυξης της πλατφόρμας JADE (Ευρωπαϊκή επιτροπή 1998), (Bellifemine et al, 2007).

Είναι πλήρως συμβατή με όλες τις προδιαγραφές της FIPA και μπορεί να συνυπάρξει και να λειτουργήσει μαζί με άλλα συστήματα που αναπτύχθηκαν με οποιονδήποτε συμβατό με FIPA τρόπο.

Διαθέτει έτοιμες προηγμένες λειτουργίες ευρετηρίου (DF), διαχείρισης πρακτόρων (AMS), μετάδοσης μηνυμάτων (MTS) όπως και υποστήριξη δημόσιας περιγραφής πράκτορα, και περιγραφής λειτουργιών που επιτελεί ένας πράκτορας.

Η JADE μπορεί να εκτελεστεί σε πολλές διαφορετικές υπολογιστικές πλατφόρμες αφού έχει υλοποιηθεί σε γλώσσα προγραμματισμού Java και υποστηρίζει όλες τις γνωστές εκδόσεις Java runtime. Λόγω της «πηγαίας – ενδογενούς» υποστήριξης εκδόσεων της Java όπως οι “Java 2 Micro Edition”, “PersonalJava” και “MIDP -Mobile Information Device Profile- Java”, πέραν της J2SE, οι επιμέρους πράκτορες, μπορούν να εκτελούνται και σε συσκευές όπως, κινητά τηλέφωνα, προσωπικοί ψηφιακοί βοηθοί (PDA) και palmtops (Caire and Pieri, 2006).

Διαθέτει επίσης γραφικό εποπτικό περιβάλλον το οποίο επιτρέπει στον χρήστη του συστήματος τον έλεγχο των συνδεδεμένων πρακτόρων, των εγγραφών στις υπηρεσίες καταλόγου και πληροφοριών κ.α. Επιτρέπει την ανάπτυξη πρακτόρων οι οποίοι θα ενσωματώνουν όλες τις δυνατότητες και τα χαρακτηριστικά της γλώσσας

προγραμματισμού να χωρίς να περιορίζει τις λειτουργίες τους σε κάποιο υποσύνολο εντολών αυτής. Τέλος διαθέτει την δυνατότητα ενοποίησης και διασύνδεσης πολλών πολυπρακτορικών συστημάτων (Integration) με αποτέλεσμα την δημιουργία ενός συστήματος το οποίο θα συνδυάζει τα χαρακτηριστικά όλων των επιμέρους συστημάτων.

3 Ασαφής Άλγεβρα

3.1 Εισαγωγή-Γενικά

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα συστήματα λήψης αποφάσεων ή υποστήριξης και εκτίμησης κινδύνου είναι ο ακριβής καθορισμός των ορίων με βάση τα οποία θα διαχωρίσουν καταστάσεις. Η Ευρωπαϊκή ένωση π.χ., έχει θεσπίσει όριο επιφυλακής σχετικά με την συγκέντρωση διοξειδίου του αζώτου στην ατμόσφαιρα τα $200\mu\text{g}/\text{m}^3$. Το άμεσο ερώτημα που τίθεται βλέποντας αυτή τη τιμή είναι ο χαρακτηρισμός της συγκέντρωσης των $199\mu\text{g}/\text{m}^3$. Είναι δυνατόν μια τόσο μικρή διαφοροποίηση στη συγκέντρωση να οδηγεί μονοσήμαντα σε διαφορετικό χαρακτηρισμό της κατάταξης;

Το παραπάνω πρόβλημα μπορεί να επιλυθεί μέσω της αναπαράστασης των εννοιών του πραγματικού κόσμου με χρήση εννοιών ασαφούς άλγεβρας. Έτσι κάθε οντότητα του πραγματικού κόσμου μπορεί να ανήκει σε κάθε υπάρχον ασαφές σύνολο με διαφορετικούς βαθμούς μέλους. Ένα πρότυπο ανάλυσης ορίων πρέπει να δέχεται την αναπαράσταση των επιμέρους καταστάσεων και των εμπλεκόμενων παραμέτρων με την χρήση ασαφών συνόλων. Μια χαρακτηριστική περίπτωση υιοθέτησης της θεωρίας των ασαφών συνόλων για διάκριση ορίων σε περιπτώσεις επικίνδυνων φαινομένων είναι η ασαφής ομαδοποίηση με ασαφή όρια με την χρήση των λεκτικών συνόλων όπως «πολύ», «λίγο», «μέτρια» (Ηλιάδης Λ., 2007).

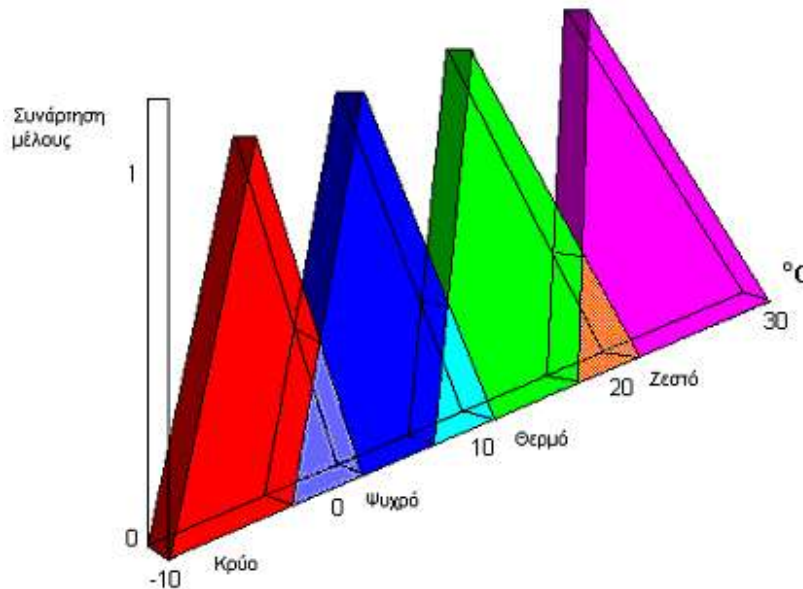
Η ασαφής λογική προτάθηκε από τον Zadeh το 1969 για να ξεπεραστεί πλέον η άποψη πως οτιδήποτε λέγεται σχετικά με κάτι είναι απόλυτα αληθές ή απόλυτα ψευδές (Kandel, 1992). Ο Zadeh για πρώτη φορά ισχυρίστηκε ότι είναι εφικτό να αντιληφθούμε μια δήλωση σαν 0.70 αληθή. Η χρήση των ασαφών αριθμών και των ασαφών συνόλων έχει προσφέρει στους επιστήμονες πολύ ισχυρά και ευέλικτα εργαλεία. Η ασαφής λογική είναι μία παραστατική και συλλογική διαδικασία ελέγχου. Δεν μπορεί να λύσει όλα τα προβλήματα, αλλά μας βοηθάει να μοντελοποιήσουμε ακόμα και δυσεπίλυτα προβλήματα (Σαρρή Μ., 2006).

Ο βαθμός συμμετοχής κάθε οντότητας του πραγματικού κόσμου σε κάθε ασαφές σύνολο (βαθμός μέλους, BM) προκύπτει με χρήση των συναρτήσεων βαθμών μέλους. Οι συναρτήσεις αυτές απεικονίζονται στο κλειστό διάστημα $[0,1]$ και κάθε

περίπτωση υπό εξέταση, ανήκει σε κάθε ασαφές σύνολο με διαφορετικό βαθμό μέλους. Σύμφωνα λοιπόν με την ασαφή άλγεβρα κάθε στοιχείο του πραγματικού κόσμου μπορεί να ανήκει ταυτόχρονα σε ένα ασαφές σύνολο A αλλά και στο συμπλήρωμά του με συμπληρωματικό ως προς το 1 βαθμό μέλους.

Στην ασαφή άλγεβρα υπάρχουν πολλά είδη συναρτήσεων εύρεσης βαθμού μέλους στο αντίστοιχο ασαφές σύνολο. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι οι τριγωνικές και οι τραπεζοειδείς συναρτήσεις.

Αν προσπαθήσουμε να μοντελοποιήσουμε και να απεικονίσουμε την κλίμακα θερμοκρασίας από -10°C έως 30°C στα τέσσερα ασαφή σύνολα «κρύο», «ψυχρό», «θερμό» και «ζεστό» με χρήση της τριγωνικής συνάρτησης, η γραφική παράσταση των συνόλων θα είναι αυτή που απεικονίζεται στην Εικόνα 3.1.



Εικόνα 3.1 Αναπαράσταση ασαφών συνόλων

3.1.1 Συνάρτηση 1: Τριγωνική συνάρτηση μέλους

Η τριγωνική συνάρτηση μέλους με βάση την οποία υπολογίζουμε τον βαθμό μέλους κάθε ασαφούς συνόλου περιγράφεται παρακάτω:

$$\mu_s(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } X < a \\ (X-a) / (c-a) & \text{if } X \in [a,c] \\ (b-X) / (b-c) & \text{if } X \in [c,b] \\ 0 & \text{if } X \geq b \end{cases} \quad (1)$$

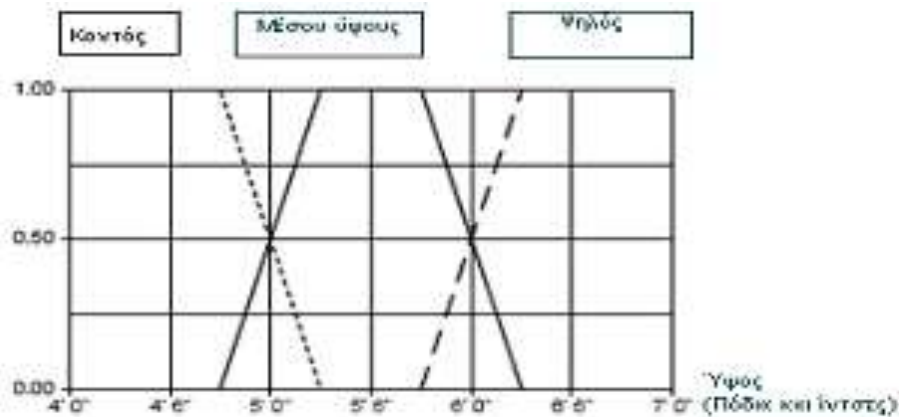
Στην παραπάνω τριγωνική συνάρτηση μέλους ο ΒΜ είναι ίσος με 1 μόνο σε ένα σημείο ($X=b$). Άλλες συναρτήσεις υπολογισμού βαθμού μέλους που συναντώνται συχνά είναι η Τραπεζοειδής και η Σιγμοειδής.

3.1.2 Συνάρτηση 2: Τραπεζοειδής συνάρτηση μέλους

Η τραπεζοειδής συνάρτηση μπορεί να οριστεί ως εξής:

$$\mu_s(X) = \begin{cases} 0, & \text{if } X \leq a \\ (X-a) / (m-a), & \text{if } X \in (a,m) \\ 1, & \text{if } X \in [m,n] \\ (b-X) / (b-n), & \text{if } X \in (n,b) \\ 0, & \text{if } X \geq b \end{cases} \quad (2)$$

Στην τραπεζοειδή συνάρτηση υπάρχει ένα διάστημα ανοχής $[b,c]$ έτσι ώστε ο βαθμός μέλους για κάθε X που ανήκει στο διάστημα αυτό να είναι ίσος με τη μονάδα. Στην Εικόνα 3.2 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα γραφικής παράστασης μιας τραπεζοειδούς συνάρτησης.



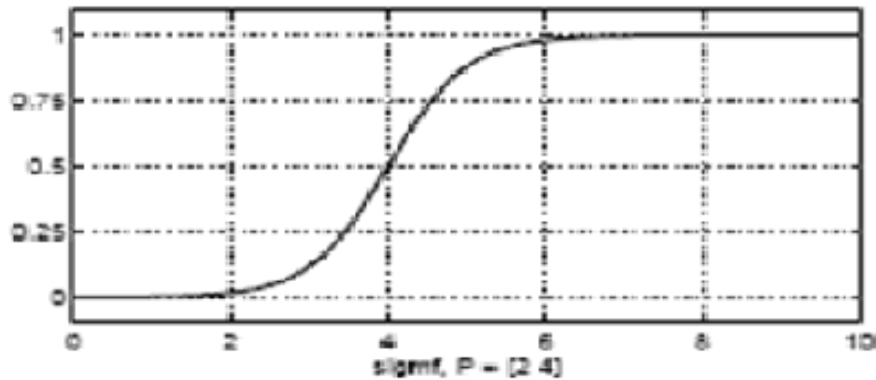
Εικόνα 3.2 Γραφική παράσταση τραπεζοειδούς συνάρτησης

3.1.3 Συνάρτηση 3: Σιγμοειδής συνάρτηση μέλους

Η σιγμοειδής συνάρτηση αποτελεί μια εναλλακτική λύση για την εκτίμηση του βαθμού μέλους και παρουσιάζεται παρακάτω.

$$f(x;a,c) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-c)}} \quad (3)$$

Οι παράμετροι a, c καθορίζουν το σχήμα και την θέση της καμπύλης που παριστάνεται από την σιγμοειδή συνάρτηση μέλους (Tzionas et al. 2004). Η Εικόνα 3.3 απεικονίζει μια σιγμοειδή συνάρτηση μέλους.



Εικόνα 3.3 Γραφική παράσταση σιγμοειδούς συνάρτησης

3.1.4 Συνάρτηση 4: Σιγμοειδής συνάρτηση μέλους

Τέλος παρουσιάζεται μια άλλη μορφή της σιγμοειδούς συνάρτησης BM η οποία αξιολογεί και την τυπική απόκλιση σ και δίνεται από την παρακάτω συνάρτηση.

$$f(x, \sigma, c) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

Η επιλογή της συνάρτησης η οποία θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε περίπτωση εξαρτάται από τα δεδομένα και τις ανάγκες του προβλήματος.

3.2 Μοντέλο ασαφούς λογικής Real-t-SO

3.2.1 Γενικά

Το Real-t-SO υιοθετεί τεχνικές Ασαφούς Λογικής για να απεικονίσει και να αξιολογήσει τις μετρήσεις των αισθητήρων που έχουν εγκατασταθεί στα σημεία ενδιαφέροντος, έτσι ώστε αυτές να οδηγήσουν με τη σειρά τους στη λήψη των απαραίτητων αποφάσεων για τον χειρισμό των θυροφραγμάτων. Παράλληλα θα πρέπει να γίνεται ενημέρωση και προειδοποίηση των αρμόδιων φορέων – υπαλλήλων της εταιρείας αποχέτευσης καθώς και τροποποίηση και προσαρμογή του τρόπου λειτουργίας του ίδιου του Συστήματος ώστε αυτό να μπορεί να απεικονίσει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο την τρέχουσα κατάσταση και την εξέλιξη κάθε κρίσιμου φαινομένου.

Για να καλυφθεί η ανάγκη εύκολης τροποποίησης και ρύθμισης του συστήματος κατά τη διάρκεια λειτουργίας του, ειδικά κατά την επιχειρησιακή περίοδο λειτουργίας μετά την ολοκλήρωση του συγκεκριμένου έργου, αποφασίστηκε η μη χρήση συγκεκριμένων ασαφών συνόλων και συναρτήσεων μέλους για την αξιολόγηση των παραγόντων του συστήματος, αλλά η ενσωμάτωση σε αυτό της δυνατότητας δυναμικής τροποποίησης του μοντέλου αναπαράστασης του κάθε παράγοντα.

Η απαίτηση αυτή προκύπτει όπως αναφέρεται και στο Παραδοτέο 4.1 από:

- Ανάγκη προσαρμογής του συστήματος στις συνεχείς δομικές μεταβολές του αποχετευτικού συστήματος ενός μεγάλου αστικού κέντρου.
- Βελτιστοποίηση της λειτουργίας του συστήματος με αξιολόγηση των αποφάσεων του και τροποποίηση των συναρτήσεων και των ορίων όταν οι αποφάσεις δεν είναι οι βέλτιστες.
- Την μη ύπαρξη σαφών ορίων και μοντέλων λειτουργίας ενός συστήματος διαχείρισης λυμάτων και την αξιόπιστη εμπειρικής γνώσης από τις εταιρείες αποχέτευσης.

Με την έννοια της δυναμικής τροποποίησης του μοντέλου αναπαράστασης του κάθε παράγοντα, εννοούμε την δυνατότητα του διαχειριστή να αλλάξει τη συνάρτηση ή και τα όρια αναπαράστασης του κάθε ασαφούς συνόλου χωρίς να χρειαστεί τροποποίηση του κώδικα του συστήματος. Το μοντέλο αναπαράστασης του Λεκτικού του κάθε παράγοντα, (οι συναρτήσεις βαθμού μέλους και τα όριά τους) , δεν αποτελεί εσωτερικό χαρακτηριστικό του αντίστοιχου πράκτορα αλλά ιδιότητα του παράγοντα και είναι αποθηκευμένη στην βάση δεδομένων του συστήματος. Με τον τρόπο αυτό ο κάθε πράκτορας με την εκκίνηση του διαβάζει από την βάση δεδομένων τον τρόπο με τον οποίο θα αξιολογεί τις μετρήσεις και αρχικοποιεί την λογική του. Τροποποίηση των ορίων ή της συνάρτησης υπολογισμού βαθμού μέλους κάποιου πράκτορα θα προκαλεί διαφορετικό αποτέλεσμα και κατάταξη της κάθε μέτρησης σε ασαφή σύνολα με διαφορετικό βαθμό μέλους και κατά συνέπεια οι αποφάσεις των υπολοίπων πρακτόρων που εξαρτώνται από αυτή την κατάταξη να τροποποιούνται.

3.2.2 Απεικόνιση Λεκτικών Low - High

Κατά την μελέτη των παραμέτρων και των δεδομένων του έργου αποφασίστηκε το σύνολο των παραμέτρων (πρωτογενών και δευτερογενών) να απεικονιστεί με χρήση

δύο ασαφών συνόλων (Λεκτικών) Low και High με αθροιστικό βαθμό μέλους και των δύο την μονάδα.

Η επιλογή αυτή βασίστηκε στις παρακάτω ανάγκες και ιδιαιτερότητες του έργου:

- Ο μεγάλος αριθμός από παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο σε συνδυασμό με πιθανή χρήση περισσότερων ασαφών συνόλων θα δημιουργούσε συνδυαστική έκρηξη κανόνων, η οποία δεν θα μπορούσε να μοντελοποιηθεί.
- Μεγάλο μέρος της πληροφορίας σχετικά με την απεικόνιση του δικτύου αποχέτευσης και των κανόνων λειτουργίας των θυροφραγμάτων προέρχεται από εμπειρική γνώση των τεχνικών αποχέτευσης της εταιρείας και ως εκ τούτου η απεικόνιση σε περισσότερα από δύο ασαφή σύνολα θα δυσχέραινε το έργο της αξιολόγησης των αποτελεσμάτων του συστήματος.
- Με δεδομένη την ανάπτυξη στα πλαίσια του έργου εφαρμογής για κινητά τηλέφωνα, στα οποία εκ των πραγμάτων υπάρχει περιορισμένη δυνατότητα απεικόνισης πληροφορίας και λαμβάνοντας υπόψη την ανάγκη για άμεση παρουσίαση των κρίσιμων καταστάσεων, επιλέξαμε την εμφάνιση του κρίσιμου συνόλου (High) σε μορφή μπάρας σήματος με βάση τον βαθμό μέλους. Η χρήση των δύο ασαφών συνόλων επιτρέπει αυτόν τον τρόπο παρουσίασης.
- Ύπαρξη παραγόντων που παίρνουν δύο μόνο διακριτές τιμές, πχ διαθέσιμο ή όχι αντλιοστάσιο. Οι παράγοντες αυτοί υλοποιούνται αυτόματα με χρήση δύο ασαφών συνόλων ταυτίζοντας την μία κατάσταση στο Low και την άλλη στο High.

Στις παραπάνω ανάγκες, η επιλογή των ασαφών συνόλων Low και High με αθροιστικό βαθμό μέλους τη μονάδα συνεκτιμήθηκε ότι παρουσιάζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα – χαρακτηριστικά:

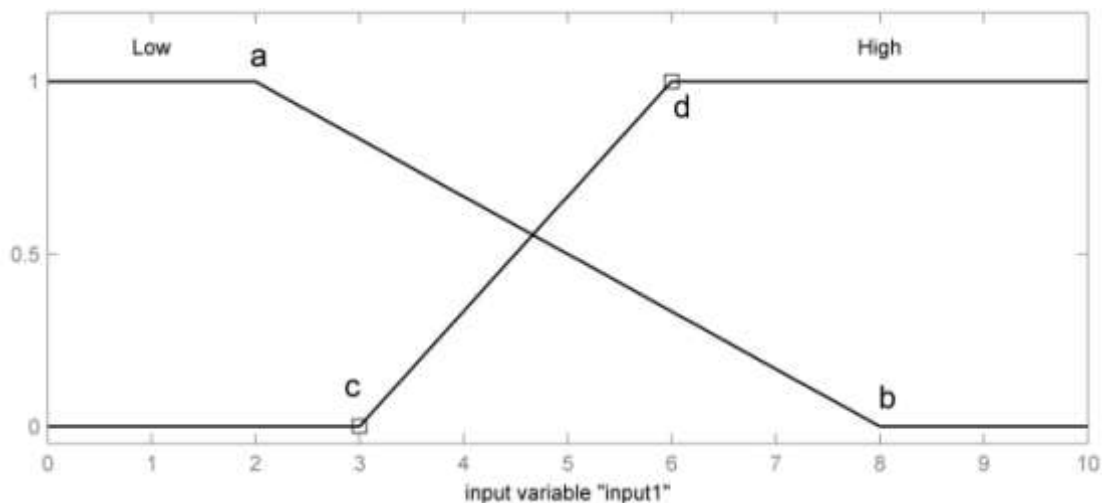
- Γνώση και των δύο ασαφών συνόλων και των βαθμών μέλους με απλή αποθήκευση και χρήση μόνο του ενός, μιας και το άθροισμα τους θα δίνει πάντα μονάδα.
- Ακόμα μεγαλύτερη απλοποίηση των κανόνων λειτουργίας και λήψης αποφάσεων, το οποίο θα επιτρέψει στις ομάδες σχεδιασμού της υδραυλικής λογικής τον καλύτερο σχεδιασμό των αντίστοιχων μοντέλων.

- Πλήρη συμβατότητα με την ανάγκη δυναμικής αποθήκευσης του μοντέλου της ασαφούς λογικής και των ορίων των συναρτήσεων όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο.

Το σύστημα αρχικά θα διαθέτει δύο σεντ απεικόνισης και για κάθε παράγοντα θα γίνεται επιλογή του σεντ το οποίο αντιπροσωπεύει καλύτερα τα χαρακτηριστικά του. Σε περίπτωση που κατά την ανάπτυξη του συστήματος ή την πιλοτική εφαρμογή του κριθεί απαραίτητο θα προστεθούν και επιπλέον σεντ απεικόνισης.

3.2.3 1^ο σεντ απεικόνισης με χρήση ημιτραπεζοειδούς συνάρτησης μέλους

Το πρώτο σεντ μετατροπής των μετρήσεων των παραγόντων σε ασαφή σύνολα θα χρησιμοποιεί, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.4, δύο ημι-τραπεζοειδείς συναρτήσεις για την απεικόνιση των συνόλων Low και High.



Εικόνα 3.4 1^ο σεντ απεικόνισης με χρήση ημιτραπεζοειδούς συνάρτησης μέλους

Ο βαθμός μέλους του κάθε συνόλου θα προκύπτει από τις αντίστοιχες συναρτήσεις βαθμού μέλους οι οποίες για κάθε λεκτικό είναι οι εξής:

$$Low(x, a, b) = \begin{cases} 1, & x < a \\ \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 0, & x > b \end{cases}$$

$$High(x, c, d) = \begin{cases} 0, & x < c \\ \frac{x-c}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 1, & x > d \end{cases}$$

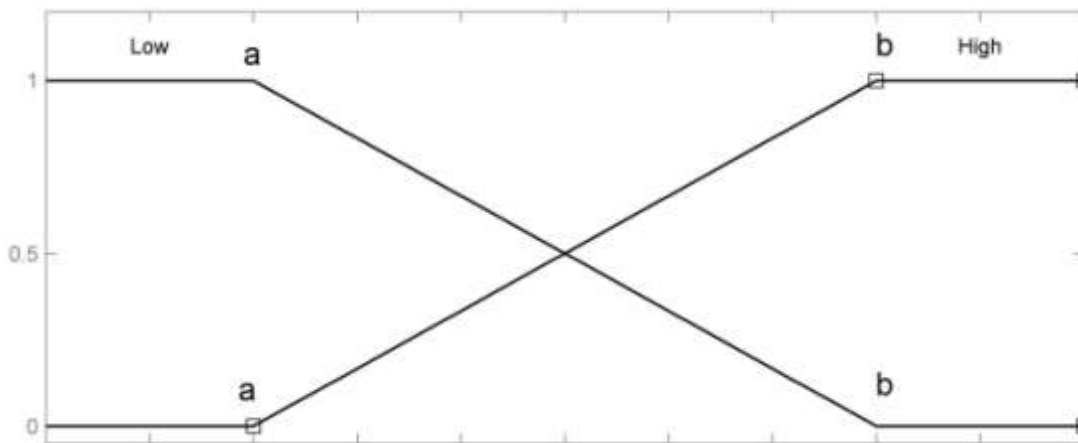
Τα αρχικά όρια a, b, c και d των συναρτήσεων θα οριστούν εμπειρικά κατά την σύνταξη των κανόνων λειτουργίας του συστήματος και θα προσαρμοστούν κατά τη λειτουργία του.

Με δεδομένη την ανάγκη για απλοποίηση του μοντέλου ασαφούς λογικής και λαμβάνοντας υπόψη:

- Την κατασκευή των κανόνων με συνδυασμό υδραυλικής μοντελοποίησης και εμπειρικής γνώσης και,
- τη δυνατότητα τροποποίησης της λογικής του συστήματος ώστε η κατάταξη των μετρήσεων σε ασαφή σύνολα να ταιριάζει με την επιθυμητή συμπεριφορά του συστήματος

μπορούμε να απλοποιήσουμε το παραπάνω μοντέλο ταυτίζοντας τα όρια a, c και b, d δημιουργώντας συμμετρικά ασαφή σύνολα τα οποία θα εξασφαλίζουν και την ανάγκη για σταθερό άθροισμα των βαθμών μέλους των δύο συνόλων.

Μετά την ταύτιση αυτή η τελική μορφή των συνόλων και των συναρτήσεων υπολογισμού βαθμού μέλους φαίνονται παρακάτω στην Εικόνα 3.5.



Εικόνα 3.5 1^ο σετ απεικόνισης με χρήση ημητραπεζοειδούς συνάρτησης μέλους ταυτίζοντας τα όρια a, c και b, d δημιουργώντας συμμετρικά ασαφή σύνολα

$$Low(x, a, b) = \begin{cases} 1, & x < a \\ \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 0, & x > b \end{cases}$$

$$High(x, a, b) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & x > b \end{cases}$$

Το άθροισμα των βαθμών μέλους των δύο παραπάνω συναρτήσεων θα είναι πάντα ίσο με τη μονάδα και προκύπτει ως εξής:

$$Low(x, a, b) + High(x, a, b) = \begin{cases} 1 + 0, & x < a \\ \frac{b-x}{b-a} + \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 0 + 1, & x > b \end{cases} = \begin{cases} 1, & x < a \\ 1, & a \leq x \leq b \\ 1, & x > b \end{cases}$$

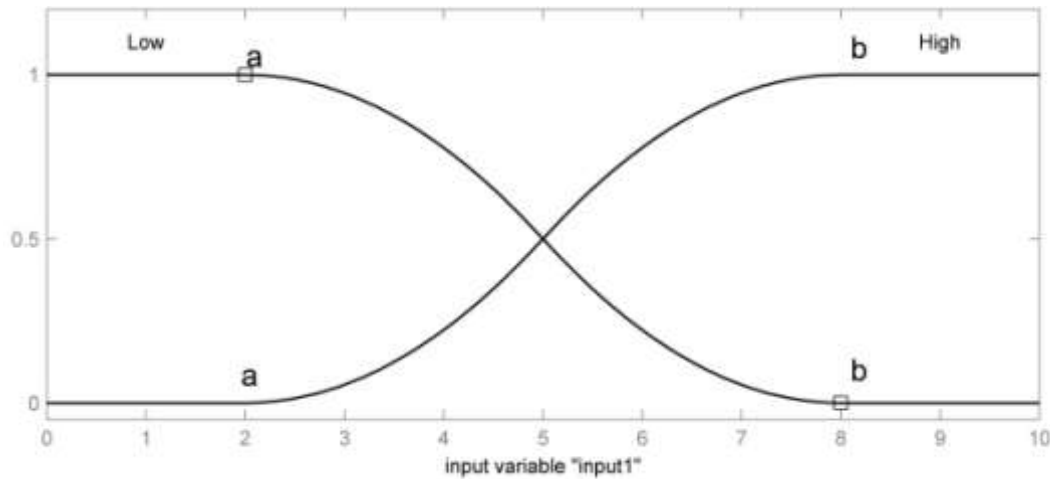
Σε ένα θεωρητικό παράδειγμα εφαρμογής του παραπάνω σετ απεικόνισης, και προσπαθώντας να απεικονίσουμε τη στάθμη της παροχής σε έναν αγωγό διαμέτρου 150cm και με όρια συναρτήσεων a και b τα 40 και 120cm αντίστοιχα, θα είχαμε τα παρακάτω λεκτικά και βαθμούς μέλους για τις αντίστοιχες μετρήσεις του αισθητήρα (Πίνακας 3.1).

Πίνακας 3.1 Λεκτικά και βαθμοί μέλους απεικονίζοντας τη στάθμη της παροχής σε έναν αγωγό διαμέτρου 150cm και με όρια συναρτήσεων a και b τα 40 και 120cm

Μέτρηση αισθητήρα (cm)	Κατάσταση	Βαθμός μέλους
7	Low	1,0000
14	Low	1,0000
21	Low	1,0000
28	Low	1,0000
35	Low	1,0000
42	Low	0,9750
49	Low	0,8875
56	Low	0,8000
63	Low	0,7125
70	Low	0,6250
77	Low	0,5375
84	High	0,5500
91	High	0,6375
98	High	0,7250
105	High	0,8125
112	High	0,9000
119	High	0,9875
126	High	1,0000
133	High	1,0000
140	High	1,0000
147	High	1,0000

3.2.4 2^ο σεν απεικόνισης με χρήση σιγμοειδούς συναρτήσεων μέλους

Το δεύτερο διαθέσιμο σεν μετατροπής θα χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό από μία Z-shaped membership function (zmf) και μία S-shaped membership function (smf) για την απεικόνιση των συνόλων Low και High (Εικόνα 3.6).



Εικόνα 3.6 2^ο σεν απεικόνισης με χρήση σιγμοειδούς συναρτήσεων μέλους

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.6 και στην απεικόνιση αυτή υιοθετούμε την ταύτιση των ορίων των συναρτήσεων υπολογισμού ΒΜ με αποτέλεσμα αυτές να προκύπτουν ως εξής:

$$Low(x, a, b) = \begin{cases} 1, & x \leq a \\ 1 - 2 \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^2, & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 2 \left(\frac{x-b}{b-a} \right)^2, & \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 0, & x \geq b \end{cases}$$

$$High(x, a, b) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ 2 \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^2, & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1 - 2 \left(\frac{x-b}{b-a} \right)^2, & \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 1, & x \geq b \end{cases}$$

Είναι και σε αυτή την περίπτωση προφανές ότι το άθροισμα των βαθμών μέλους κάθε μέτρησης θα ισούται με την μονάδα.

Εφαρμόζοντας στο προηγούμενο παράδειγμα το τρέχον σετ απεικόνισης θα προκύψουν τα παρακάτω λεκτικά και βαθμούς μέλους για τις αντίστοιχες μετρήσεις του αισθητήρα (Πίνακας 3.2).

Πίνακας 3.2 2^ο σετ απεικόνισης με χρήση σιγμοειδούς συναρτήσεων μέλους απεικονίζοντας τη στάθμη της παροχής σε έναν αγωγό διαμέτρου 150cm και με όρια συναρτήσεων α και β τα 40 και 120cm

Μέτρηση αισθητήρα (cm)	Κατάσταση	Βαθμός μέλους
7	Low	1,0000
14	Low	1,0000
21	Low	1,0000
28	Low	1,0000
35	Low	1,0000
42	Low	0,9988
49	Low	0,9747
56	Low	0,9200
63	Low	0,8347
70	Low	0,7188
77	Low	0,5722
84	High	0,5950
91	High	0,7372
98	High	0,8488
105	High	0,9297
112	High	0,9800
119	High	0,9997
126	High	1,0000
133	High	1,0000
140	High	1,0000
147	High	1,0000

3.2.5 Διαφοροποίηση των παραπάνω σετ στα αποτελέσματα του συστήματος

Συνδυάζοντας τα αποτελέσματα των δύο παραδειγμάτων σε ένα πίνακα προκύπτει η ακόλουθη κατάταξη σε λεκτικά και βαθμούς μέλους ανά περίπτωση (Πίνακας 3.3).

Πίνακας 3.3 Λεκτικά και βαθμοί μέλους απεικονίζοντας τη στάθμη της παροχής σε έναν αγωγό διαμέτρου 150cm και με όρια συναρτήσεων α και β τα 40 και 120cm συνδυάζοντας το 1^ο και 2^ο σετ απεικόνισης

Μέτρηση αισθητήρα (cm)	1 ^ο Σετ απεικόνισης		2 ^ο Σετ απεικόνισης	
	Κατάσταση	Βαθμός μέλους	Κατάσταση	Βαθμός μέλους
7	Low	1,0000	Low	1,0000
14	Low	1,0000	Low	1,0000
21	Low	1,0000	Low	1,0000
28	Low	1,0000	Low	1,0000
35	Low	1,0000	Low	1,0000
42	Low	0,9750	Low	0,9988
49	Low	0,8875	Low	0,9747
56	Low	0,8000	Low	0,9200
63	Low	0,7125	Low	0,8347
70	Low	0,6250	Low	0,7188
77	Low	0,5375	Low	0,5722
84	High	0,5500	High	0,5950
91	High	0,6375	High	0,7372
98	High	0,7250	High	0,8488
105	High	0,8125	High	0,9297
112	High	0,9000	High	0,9800
119	High	0,9875	High	0,9997
126	High	1,0000	High	1,0000
133	High	1,0000	High	1,0000
140	High	1,0000	High	1,0000
147	High	1,0000	High	1,0000

Συγκρίνοντας τα παραγόμενα λεκτικά και τους βαθμούς μέλους των δύο σετ ασαφών συνόλων, παρατηρούμε ότι σε καμία περίπτωση δεν μεταβάλλεται το λεκτικό της κατάστασης καθώς και την πλήρη ταύτιση των βαθμών μέλους των μετρήσεων που είναι εκτός των ορίων των συναρτήσεων (ιδιαίτερα χαμηλές ή υψηλές μετρήσεις). Παρατηρούμε όμως ότι στις ενδιάμεσες μετρήσεις (από 42 μέχρι 119cm) οι βαθμοί μέλους του κάθε σετ παρουσιάζουν μεγάλες διαφοροποιήσεις οι οποίες ανά περίπτωση είναι ικανές να μεταβάλουν τις αποφάσεις του συστήματος.

Παραδείγματος χάριν ένας πιθανός κανόνας ο οποίος θα λάμβανε υπόψη του τη στάθμη στον αγωγό και θα έπαιρνε απόφαση όταν αυτή ήταν High με βαθμό μέλους

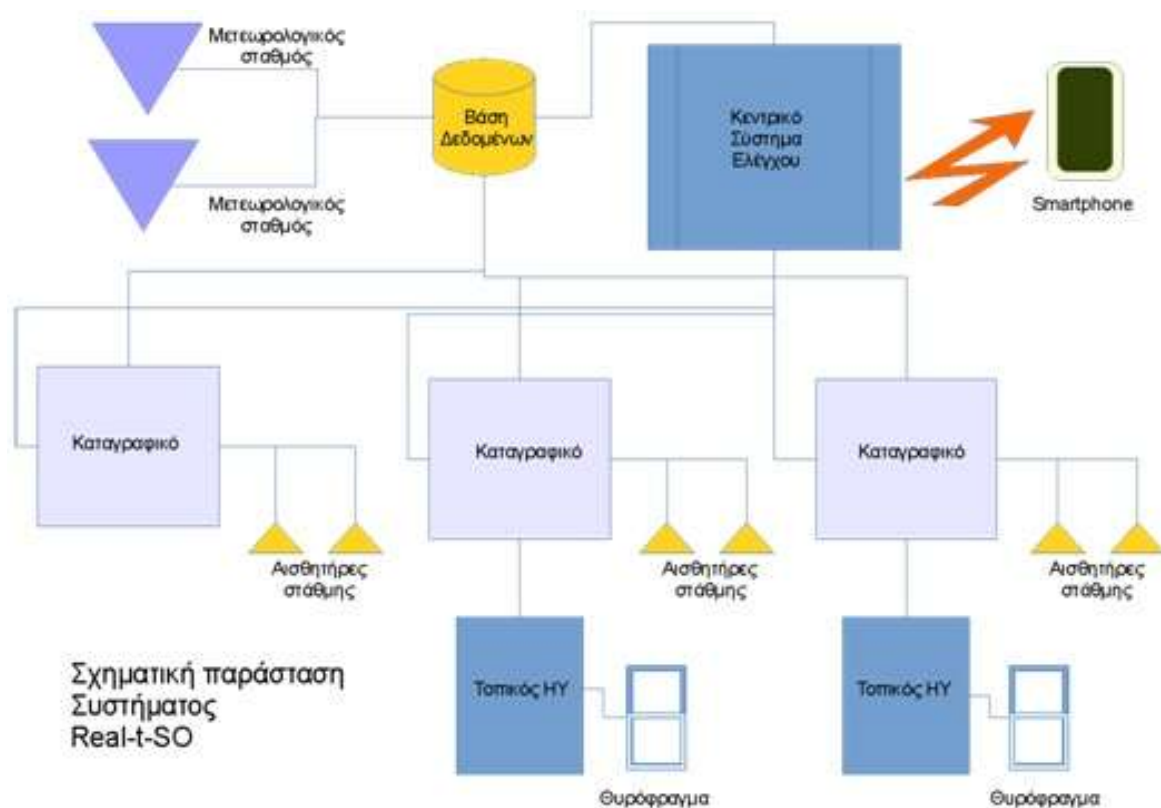
μεγαλύτερο από 0,9 (πιθανό πλημμυρικό φαινόμενο) θα ενεργοποιούνταν σε περίπτωση χρήσης του 2^{ου} σετ με μία μέτρηση της τάξης των 105cm, ενώ σε περίπτωση χρήσης του 1^{ου} σετ θα έπρεπε η στάθμη να υπερβεί τα 112cm για να ενεργοποιηθεί.

Από τον παραπάνω πίνακα και το παράδειγμα κανόνα που ακολούθησε μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα δύο διαθέσιμα σετ απεικόνισης σε συνδυασμό με την δυνατότητα μεταβολής των ορίων των συναρτήσεων τους για κάθε παράγοντα μπορούν να οδηγήσουν στην απαραίτητη «μικρορύθμιση» του συστήματος ώστε αυτό να μπορεί να συμπεριλάβει όλους τους απαιτούμενους κανόνες καθώς και να μεταβάλει τη λογική του κατά τη διάρκεια λειτουργίας του.

Στα επόμενα κεφάλαια θα ακολουθήσει πίνακας με τις παραμέτρους που μελετούνται, το αρχικό σετ που θα χρησιμοποιηθεί καθώς και τα όρια των αντίστοιχων συναρτήσεων.

4 Επιχειρησιακό υδραυλικό μοντέλο δικτύου για σύνδεση με το σύστημα πολυπρακτόρων

Το επιχειρησιακό υδραυλικό μοντέλο δικτύου επεξεργάζεται τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και αλληλεπιδρά με το σύστημα πολυπρακτόρων το οποίο θα αξιολογεί τις ποικίλες πληροφορίες και θα λαμβάνει τις αποφάσεις για αποστολή μηνυμάτων προς το προσωπικό ή τον αυτόματο χειρισμό των θυροφραγμάτων. Μια ενδεικτική γενική διάταξη του πιλοτικού συστήματος Real-t-SO φαίνεται στην Εικόνα 4.1



Εικόνα 4.1 Ενδεικτική γενική διάταξη του πιλοτικού συστήματος Real-t-SO

Τα τελικώς παραγόμενα αποτελέσματα, που αποτελούν δεδομένα για το σύστημα πολυπρακτόρων παρουσιάζονται (ενδεικτικά) στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.1).

Πίνακας 4.1 Παράμετροι συστήματος πολυπρακτόρων

Είδος πληροφορίας	Κατάσταση	Κεντρική τιμή	Διάστημα τιμών	
			-	+
Στάθμη αγωγού	Χαμηλή, λύματα	0,2	0	0,3
	Μέση, λύματα-όμβρια	0,4	0,3	0,5
	Υψηλή, λύματα-όμβρια	0,6	0,4	0,7
	Μέγιστη, λύματα-όμβρια	0,8	0,7	0,8
	Υψηλή, λύματα-απόφραξη	0,6	0,4	0,7
	Μέγιστη, λύματα-απόφραξη	0,8	0,7	0,8
Στάθμη Θάλασσας	Κανονική	0	-1	1
	Χαμηλή	-1	-1,5	0,5
	Υψηλή	1	0,5	1,5
Θέση θυροφράγματος 1	Ανοικτό	1		
	Κλειστό	0		
Κατάσταση θυροφράγματος 2	Ενεργό	1		
	Ανενεργό	0		
Θέση θυροφράγματος 2	Ανοικτό	1		
	Κλειστό	0		
Κατάσταση θυροφράγματος 2	Ενεργό	1		
	Ανενεργό	0		
Κατάσταση Αντλιοστασίου	Ενεργό	1		
	Ανενεργό	0		
Κατάσταση αγωγού	Ανοικτός	1		
	Φραγμένος	0		
Βροχή	Απουσία	0	0	2
	Χαμηλή ένταση	5	2	7
	Υψηλή ένταση	10	7	15
	Εξαιρετική ένταση	20	15	100
Άνεμος	Απουσία	0		
	Νότιος ισχυρός	10	5	100
	Δυτικός ισχυρός	10	5	100

Οι παράμετροι προφανώς είναι πολλαπλές, αφού υπάρχουν πολλά σημεία ελέγχου και πολλοί αισθητήρες. Το δεύτερο θυρόφραγμα αφορά τα φρεάτια για τα οποία υπάρχει. Όπου δεν υπάρχει θεωρείται αδιάφορο και μονίμως ανοικτό. Στην συνέχεια ορίζεται ένας πίνακας της επιρροής κάθε παραμέτρου στις αποφάσεις του συστήματος όπως ο παρακάτω Πίνακας 4.2.

Πίνακας 4.2 Τυπικός πίνακας επιρροής παραμέτρων

	Απουσία Βροχής	Στάθμη Θάλασσας κανονική	Θέση θυροφράγματος
Στάθμη αγωγού χαμηλή	1	1	1 (κλειστό)
Στάθμη αγωγού αυξανόμενη	1	1	1 (κλειστό)
Στάθμη αγωγού υψηλή	1	1	0 (ανοικτό)

Έχουν γίνει προκαταρκτικές επιλογές για:

- Το σύνολο των παραμέτρων
- Την επιθυμητή αρίθμηση-κωδικοποίησή τους.
- Τις χαρακτηριστικές τιμές, τα όρια και τα διαστήματα τιμών.
- Τον ρόλο (κανόνες εμπλοκής/συμμετοχής) κάθε παραμέτρου για την λήψη αποφάσεων ώστε:
 - Να σταλεί κάποιο σήμα
 - Να εκτελεστεί κάποια ενέργεια.

Επιπλέον:

- Η εγρήγορση του συστήματος αλλάζει όταν καταγραφεί συνολική βροχόπτωση πάνω από 2mm ή άνεμος εντάσεως μεγαλύτερης των 6Bf για διάστημα μεγαλύτερο από 6 ώρες.
- Σε περιπτώσεις απώλειας πληροφορίας τα θυροφράγματα ελέγχονται άμεσα από τα τοπικά συστήματα και ανοίγουν όταν αυξηθεί η στάθμη ή απλά ανοίγουν.
- Το δεδομένο μοντέλο λειτουργίας θα ρυθμιστεί κατά την πιλοτική φάση δοκιμών (όρια, κεντρικές τιμές, βαθμοί μέλους κλπ). Υπάρχει πρόβλεψη για

προσθαφαίρεση παραμέτρων (παράγοντες) και μικρών αλλαγών στους κανόνες ενεργειών.

Κεντρικό σημείο του παραπάνω συστήματος πληροφορικής, όπως θα αναλυθεί και στα αντίστοιχα παραδοτέα, είναι η Βάση Δεδομένων του συστήματος η οποία για να ανταποκριθεί στις ανάγκες του έργου θα περιέχει ένα σύνθετο σύνολο πινάκων και σχέσεων.

Ενδεικτικά στη βάση δεδομένων μεταξύ άλλων θα αποθηκεύονται:

- Η δομή των παραμέτρων (μετεωρολογικών, στάθμης, καταστάσεως, ενεργειών) με τις απαραίτητες χαρακτηριστικές τιμές τους, τα όρια τους και την μεθοδολογία μετρήσεων. Τα παραπάνω δεδομένα θα δύναται να τροποποιηθούν με σκοπό την αλλαγή της συμπεριφοράς του συστήματος.
- Οι μετρήσεις των παραπάνω παραμέτρων σε πολλαπλές μορφές (πραγματικές μετρήσεις σε ακατέργαστη μορφή, μέσες τιμές 5 λεπτών, μετασχηματισμένες μετρήσεις σε ασαφή σύνολα) που θα ενημερώνεται σε πραγματικό χρόνο και online.
- Οι αποφάσεις που θα λαμβάνονται με βάση τους πίνακες λογικής – αποφάσεών του.
- Η μεταβολή της εγρήγορσης του συστήματος και τα ενημερωτικά μηνύματα προς το προσωπικό της εταιρείας αποχέτευσης.

Όλα τα παραπάνω στοιχεία, μαζί με αυτά που θα προκύψουν στην πορεία ολοκλήρωσης των αντίστοιχων παραδοτέων, θα αποθηκεύονται με χρονοσήμανση ώστε να είναι δυνατός ο μεταγενέστερος έλεγχος και η προσομοίωση του συστήματος

5 Πίνακας Λογικής Πρακτόρων

Ο επισυναπτόμενος Πίνακας 5.1 αποτελεί μεταφορά του πίνακα της λογικής των υδραυλικών καταστάσεων και ενεργειών σε πίνακα λογικής για το πολυπρακτορικό σύστημα.

5.1 Κανόνες λειτουργίας του συστήματος

Ο κανόνας ένα, περιγράφει την κανονική λειτουργία του συστήματος. Στάθμη λυμάτων χαμηλή με βαθμό μέλους μεγαλύτερο του 0,5, αρνητικό (έστω και ελάχιστο) ή μηδενικό ρυθμό μεταβολής στάθμης, απουσία ή πολύ χαμηλή κατακρήμνιση, κλειστό θυρόφραγμα και διαθέσιμο αντλιοστάσιο.

Ο κανόνας τρία περιγράφει την κατάσταση κατά την οποία ο αγωγός είναι σχεδόν πλήρης και η στάθμη έχει καθαρά αυξητική τάση χωρίς παρουσία έντονης βροχόπτωσης. Ο τέσσερα είναι επέκταση του τρία όπου η στάθμη έχει ανέβει ακόμα περισσότερο οπότε ακόμα και με μικρότερο ρυθμό αύξησης της στάθμης το σύστημα αποφασίζει να ανοίξει το θυρόφραγμα. Ο πέντε αποτελεί μετατροπή του 7-8 του πίνακα της υδραυλικής λογικής. Αναφέρουμε δύο κανόνες μιας και στον αρχικό πίνακα η διαφορά των δύο κανόνων έχουν να κάνουν με την τρέχουσα κατάσταση του θυροφράγματος. Στον κανόνα 7 αναφέρεται ως κατάσταση το «Αποτυχία ανοίγματος θυροφράγματος». Αυτό θεωρούμε ότι δεν είναι 100% σωστή αποτύπωση μιας και την στιγμή που το σύστημα θα μετρήσει αραίωση ικανή ώστε να δικαιολογηθεί άνοιγμα του θυροφράγματος, αυτό είναι λογικό να είναι κλειστό από τις προηγούμενες μετρήσεις. Με το που δοθεί η εντολή τότε στην επόμενη μέτρηση, αν παραμένει να είναι κλειστό τότε όντως θα υπάρχει ειδοποίηση για αστοχία λειτουργίας του θυροφράγματος.

Σε γενικές γραμμές η επιτυχία ή μη της εκτέλεσης των εντολών που δίνονται στο σύστημα καθώς και ο περιοδικός έλεγχος λειτουργίας του συνόλου των τμημάτων του συστήματος θα αποτελούν ξεχωριστό τμήμα ελέγχου του συστήματος το οποίο θα ενημερώνει ανάλογα και δεν υπάρχει λόγος να συμπεριληφθούν στον πίνακα του 4.2.

Ο κανόνας 7 κλείνει το θυρόφραγμα μετά από επιστροφή του συστήματος σε αποδεκτές τιμές και συγχωνεύει τους 12 και 13.

Πίνακας 5.1 Λογική Πρακτόρων Real-t-SO

	Στάθμη στο φρεάτιο		Μεταβολή στάθμης		Αραιώση λυμάτων		Στάθμη θάλασσας		Βροχή		Τρέχουσα Κατάσταση Θυροφράγματος	Τρέχουσα Κατάσταση Θυροφράγματος	Διαθεσιμότητα αντλιοστασίου					
Id κανόνα	Παράγοντας 1		Παράγοντας 2		Παράγοντας 3		Παράγοντας 4		Παράγοντας 5		Παράγοντας 6	Παράγοντας 7	Παράγοντας 8	Ενέργεια Θυροφράγματος	Ενέργεια	Σήμα	Κατάσταση	Μήνυμα προς αποστολή
	Κατάσταση	BM	Κατάσταση	BM	Κατάσταση	BM	Κατάσταση	BM	Κατάσταση	BM	Κατάσταση	Κατάσταση	Κατάσταση					
1	Low	>0,5	Low	>0,45	Αδιάφορη		Αδιάφορη		Low	>0,4	Low	High	Low	Καμία	Καμία		Κανονική λειτουργία, λύματα	Κανένα
2	Low	>0,5	Low	>0,45	Αδιάφορη		Αδιάφορη		Low	>0,4	Low	High	High	Καμία	Καμία		Κανονική λειτουργία, λύματα, εγρήγορση συστήματος	Κανένα
3	High	>0,85	High	>0,65	Αδιάφορη		Αδιάφορη		Low	Αδιάφορη	Low	High	Low	Καμία	Συναγερμός		Κίνδυνος ανεξέλεγκτων υπερχειλίσεων	επικίνδυνη πληρότητα αγωγού
4	High	>0,9	High	>0,6	Αδιάφορη		Αδιάφορη		Low	Αδιάφορη	Low	High	Low	Άνοιγμα Θυροφράγματος	Συναγερμός		Κίνδυνος ανεξέλεγκτων υπερχειλίσεων	επικίνδυνη πληρότητα αγωγού / Αναγκαστικό Άνοιγμα Θυροφράγματος
5	Αδιάφορη		Αδιάφορη		High	>0,5	Αδιάφορη		Αδιάφορη		Low	High	Αδιάφορη	Άνοιγμα Θυροφράγματος	Ειδοποίηση		Αύξηση λυμάτων ή απόφραξη	κάποιο μήνυμα
6	High	>0,5	High	>0,55	Αδιάφορη		Αδιάφορη		Low	>0,5	Low	High	Low	Καμία	Συναγερμός		Απόφραξη	Πιθανή έμφραξη αγωγού
7	High	<0,85	Low	>0,5	Low	>0,5	Αδιάφορη		Low	>0,5	High	High	Low	Κλείσιμο Θυροφράγματος	Ειδοποίηση		Πιθανή λήξη φαινομένου	Κλείσιμο Θυροφράγματος μετά από λήψη μετρήσεων εντός ορίων

6 Βιβλιογραφία

1. Bellifemine F., Caire G., Greenwood D., 2007. Developing Multi-Agent Systems with JADE, Wiley.
2. Caire G., Pieri F., 2006. LEAP user Guide, TILAB.
3. Kandel A., 1992. Fuzzy Expert Systems. CRC Press. London.
4. Labrou Y., Finin T., Peng, Y., 1999. Agent Communication Languages: the Current Landscape. IEEE Intelligent Systems, 14(2): pp. 45–52.
5. Mayfield, J., Labrou, Y., Finin, T, 1996. Evaluating KQML as an Agent Communication Language. In Wooldridge, M., Müller, J.P. and Tambe, M. (eds), Intelligent Agents II (LNAI 1037), pp. 347–360. Springer- Verlag, Heidelberg.
6. Russell and Norvig, 2003. Artificial Intelligence: a Modern Approach, 2nd Edition, Prentice Hall.
7. Thielscher M., 2005. FLUX: a Logic Programming Method for Reasoning Agents. Theory and Practice of Logic Programming, 5(4–5): pp. 533–565.
8. Turban E, Arnsion J., 1998. Decision Support Systems and Intelligent Systems. 5th Edition. Prentice Hall, USA.
9. Winkoff M., 2005. JACK Intelligent Agents: an Industrial Strength Platform. In Bordini, R., Dastani, M., Dix, J. and Seghrouchni, A. (eds), Multi-Agent Programming, pp. 175–193, Kluwer.
10. Wooldridge M., 2009. An Introduction to MultiAgent Systems, 2nd Edition, John Wiley & Sons.
11. Βλαχάβας Ι., Κεφαλός Π., Βασιλειάδης Ν., Κόκορας Φ., Σακελλαρίου Η., 2005. Τεχνητή Νοημοσύνη. Β' Έκδοση, Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη.
12. Ηλιάδης Λ., 2007. Ευφυή Πληροφορικά Συστήματα και Εφαρμογές στην Εκτίμηση Κινδύνου. Σταμούλης.
13. Σαρρή Μ., 2006. Αξιοποίηση Ασαφούς Λογικής στην Διαμόρφωση Πλάνου Παραγωγής. Διπλωματική εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή

Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικών
Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων.

7 Ακρωνύμια

ACL	Agent Communication Languages
AID	Agent ID
AMS	Agent Management system
AP	Agent Platform
DF	Directory Facilitator
FIPA	Foundation for Intelligent Physical Agents
JADE	Java Agent Development framework
KQML	Knowledge Query and Manipulation Language
MAS	Multi Agent System
MTS	Message Transport Service
PDA	Προσωπικοί ψηφιακοί βοηθοί
Real-t-SO	Real time Sewerage Overflow - Επιχειρησιακό Εργαλείο Ελέγχου σε πραγματικό χρόνο των υπερχειλίσεων παντορροϊκού συστήματος αποχέτευσης σε παράκτιες πόλεις
smf	S-shaped membership function
zmf	Z-shaped membership function
BM	Βαθμό μέλους