

**ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΙΕΡΑΡΧΙΚΟΣ
ΕΥΦΥΗΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ
ΑΣΑΦΗ ΓΝΩΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΧΡΥΣΟΣΤΟΜΟΥ Δ. ΣΤΥΛΙΟΥ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΥΧΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
& ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ 82
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 1999

ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Πιστοποιείται ότι η παρούσα διατριβή με θέμα:

"Μοντελοποίηση και Ιεραρχικός Ευφυής Έλεγχος Συστημάτων με Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα "

του Χρυσοστόμου Δ. Στύλιου, Διπλωματούχου Ηλεκτρολόγου Μηχανικού, παρουσιάστηκε δημοσίως στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πατρών στις 26 Νοεμβρίου 1999 και εξετάστηκε και εγκρίθηκε από την ακόλουθη Εξεταστική Επιτροπή:

Π. Γρουμπός, Καθηγητής, Πανεπιστημίου Πατρών, Επιβλέπων
Καθηγητής

Ν. Κούσουλας, Αναπληρωτής Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών,
Μέλος Συμβουλευτικής Επιτροπής

Σ. Μάνεσης, Επίκουρος Καθηγητής, Πανεπιστημίου Πατρών, Μέλος
Συμβουλευτικής Επιτροπής

Ρ. Κινγκ, Καθηγητής, Πανεπιστημίου Πατρών,

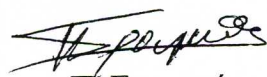
Κ. Γκούτης, Καθηγητής, Πανεπιστημίου Πατρών

Α. Τζές, Αναπληρωτής Καθηγητής, Πανεπιστημίου Πατρών

Β. Μέρτζιος, Καθηγητής Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης

Πάτρα, 26 Νοεμβρίου, 1999

Ο Επιβλέπων Καθηγητής


Π. Γρουμπός

Ο Πρόεδρος του Τμήματος


Π. Γρουμπός

Αφιερώνεται

**στο μικρό Δημοσθένη,
στη Σπυριδούλα,
στους γονείς μου**

Για την αγάπη τους,
τη συμπαράστασή τους
και την υπομονή τους

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις εγκάρδιες ευχαριστίες μου στον Καθηγητή κ. Πέτρο Γρουμπό, Επιβλέποντα της διδακτορικής μου διατριβής, για την επιστημονική καθοδήγηση, την πολύπλευρη υποστήριξη, την ενθάρρυνση και την αμέριστη συμπαράσταση που μου παρείχε σε όλη την περίοδο εκπόνησης της διδακτορικής διατριβής. Θέλω ακόμη να τον ευχαριστήσω για τη σημαντική του συμβολή, με τα ερεθίσματα και τις ευκαιρίες που μου έδωσε, ώστε να αποκτήσω μια ευρύτατη πολυδιάστατη θεώρηση της επιστήμης και της ζωής γενικότερα.

Ευχαριστώ θερμά τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Νικόλαο Κούσουλα για τις υποδείξεις του, τις χρήσιμες παρατηρήσεις του και εύστοχες επισημάνσεις του για τη διδακτορική μου διατριβή, καθώς επίσης και για την εποικοδομητική συνεργασία μαζί του ως μέλος του εργαστηρίου Αυτοματισμού και Ρομποτικής.

Ευχαριστώ θερμά τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Σταμάτη Μάνεση για τις συμβουλές του και τις παρατηρήσεις που έκανε για τη βελτίωση της διδακτορικής μου διατριβής.

Ευχαριστώ θερμά τον Καθηγητή κ. Ροβέρτο Κινγκ για τις εύστοχες παρατηρήσεις του, τις εποικοδομητικές συζητήσεις και τη συμβολή του στη διόρθωση της διατριβής, καθώς επίσης και για το χρόνο που διέθεσε ως μέλος της Επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής.

Ευχαριστώ θερμά τον Καθηγητή κ. Βασίλειο Μέρτζιο για τις εποικοδομητικές συζητήσεις που είχαμε καθώς επίσης και για το χρόνο που διέθεσε ως μέλος της Επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής.

Ευχαριστώ θερμά τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Αντώνη Τζέ για την σημαντική ενθάρρυνση που μου έδωσε καθώς και για το χρόνο που διέθεσε ως μέλος της Επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής.

Ευχαριστώ θερμά τον Καθηγητή κ. Κων/νο Γκούτη για το χρόνο που διέθεσε ως μέλος της Επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής.

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην καθηγήτρια κ. Σταυρούλα Γεωργοπούλου για την πολύπλευρη συμβολή της, για την παρότρυνσή της να κατευθυνθώ επιστημονικά προς τη συγκεκριμένη ερευνητική περιοχή, για την αποτελεσματική συνεργασία της, τις παραγωγικές συζητήσεις που είχαμε καθώς και για το συνεχές ενδιαφέρον που έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τη σύζυγό μου Σπυριδούλα για τη σημαντική της συμπαράσταση, την κατανόηση και την αγάπη της.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους γονείς μου και την οικογένειά μου για την αμέριστη υποστήριξή τους, την πολύπλευρη συμπαράστασή τους, την αφοσίωση και την αγάπη τους κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διδακτορικής μου διατριβής και των προπτυχιακών μου σπουδών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της διατριβής είναι η εξέταση και ανάπτυξη νέων Εύκαμπτων τεχνικών (Soft Computing) και η εφαρμογή τους στην ανάπτυξη ιεραρχικών δομών για τη μοντελοποίηση και τον έλεγχο τόσο απλών όσο και πολύπλοκων συστημάτων.

Συγκεκριμένα στη διατριβή προτείνεται η ανάπτυξη και εφαρμογή μιας νέας εύκαμπτης τεχνικής, των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων (Fuzzy Cognitive Maps) για την μοντελοποίηση συστημάτων. Στα πλαίσια της διατριβής αναπτύσσεται μια νέα μέθοδος μοντελοποίησης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων και προτείνεται μια μέθοδος υπολογισμού τους. Ερευνώνται σε βάθος και αναπτύσσονται νέες μεθοδολογίες δημιουργίας και ανάπτυξης Ασαφών Γνωστικών Δικτύων. Εξετάζονται τρόποι σύνθεσης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων και περιγράφεται μια μεθοδολογία συνδυασμού τους.

Στη συνέχεια προτείνεται η εφαρμογή των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων για τη μοντελοποίηση και έλεγχο ενός συστήματος, καθώς και μια νέα δομή του συστήματος ελέγχου και ελεγκτή. Στη συνέχεια προτείνεται και αναπτύσσεται μια ιεραρχική δομή ελέγχου, όπου τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση του συντονιστή (supervisor) ενός συστήματος. Αναλύονται οι δυνατότητες που παρέχουν τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα για την επαύξηση των χαρακτηριστικών του συντονιστή για παρακολούθηση των υποσυστημάτων, για σχεδιασμό ενεργειών, σε θέματα λήψης αποφάσεων και προσδιορισμού βλαβών. Ακόμη, παρουσιάζεται η μοντελοποίηση του συντονιστή με χρήση ενός Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου και η εφαρμογή του σε περιπτώσεις βλαβών ενός βιομηχανικού συστήματος.

Τέλος, εξετάζεται η εφαρμογή των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων για τη μοντελοποίηση πολύπλοκων συστημάτων, αναπτύσσεται ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο για τη μοντελοποίηση ενός βιομηχανικού συστήματος και προτείνεται μια γενική ιεραρχική διεπίπεδη δομή για τη μοντελοποίηση πολύπλοκων βιομηχανικών συστημάτων.

Η πιο σημαντική συνεισφορά της όλης ερευνητικής προσπάθειας έγκειται στο γεγονός ότι μια νέα εύκαμπτη τεχνική τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα, αναπτύσσεται σε βάθος, προτείνονται νέες ολοκληρωμένες μεθοδολογίες ανάπτυξης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων και στη συνέχεια εφαρμόζεται επιτυχώς σε προβλήματα μοντελοποίησης και ελέγχου τόσο απλών όσο και πολύπλοκων συστημάτων.

ABSTRACT

The main contribution of the present dissertation is the investigation and development of new Soft Computing methodologies and their use within hierarchical structures for modeling and controlling simple and complex systems.

In particular, the development and implementation of Fuzzy Cognitive Maps for modeling systems is proposed. A new mathematical model for Fuzzy Cognitive Maps is presented and its representation is examined. Four novel methods for developing and constructing Fuzzy Cognitive Maps are proposed and extensively examined. Moreover a methodology for combining Fuzzy Cognitive Maps is proposed.

Fuzzy Cognitive Maps are used for modeling and controlling a system and a new structure for the controller and the system is proposed. A hierarchical two-level structure for supervision control systems is proposed where a Fuzzy Cognitive Map models the supervisor of the system. Fuzzy Cognitive Maps abilities and qualities to increase the effectiveness and autonomy of supervisor for monitoring, planning, decision making and failure detection of the whole system are presented. Fuzzy Cognitive Maps implementation to modeling and controlling two chemical processes is examined.

Fuzzy Cognitive Maps are proposed to model complex systems and a Fuzzy Cognitive Map model for a manufacturing system is presented, where a hierarchical structure is suggested.

We have to mention that this research mainly contributed to bring Fuzzy Cognitive Maps in the area of modeling and controlling systems. New mathematical methodologies for Fuzzy Cognitive Maps have been developed and novel constructing methodologies are presented, which create the necessary background for the extended use of Fuzzy Cognitive Maps in modeling and controlling complex systems.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

1.1 Γενικά	1
1.2 Διάρθρωση της Διατριβής.....	3
1.3 Συνεισφορά της Διατριβής.....	5

Κεφάλαιο 2 Εύκαμπτες Τεχνικές Μοντελοποίησης και Ιεραρχικός Ευφυής Έλεγχος.

2.1 Γενική Περιγραφή.....	7
2.2 Ιεραρχικές δομές.....	9
2.2.1 Εποπτικός έλεγχος σε μια ιεραρχική δομή.....	10
2.3 Ευφυής Έλεγχος και ευφυή συστήματα.....	11
2.4 Εύκαμπτες τεχνικές ελέγχου.....	13
2.5 Η εύκαμπτη τεχνική των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων.....	14
2.6 Προτεινόμενο γενικό μοντέλο πολύπλοκων ιεραρχικών συστημάτων.....	16
2.7 Περίληψη κεφαλαίου.....	18

Κεφάλαιο 3 Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα (ΑΓΔ)

3.1 Γενικά	19
3.2 Γενική Περιγραφή των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων.....	20
3.2.1. Γραφική Απεικόνιση των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων-Υπάρχουσες μοντελοποιήσεις	20
3.2.2 Νέο μαθηματικό μοντέλο- προτεινόμενες νέες μοντελοποιήσεις.....	23
3.2.3. Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο με αυτοτροφοδότηση των κόμβων.....	25

3.3 Μέθοδοι δημιουργίας και ανάπτυξης.....	31
3.3.1 Μέθοδος ανάπτυξης με προσδιορισμό Αριθμητικών τιμών για τα βάρη των διασυνδέσεων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου.....	33
3.3.2 Προσδιορισμός των τιμών των βαρών των διασυνδέσεων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου με χρήση Λεκτικών μεταβλητών.....	41
3.3.3 Προσδιορισμός της τιμής του βάρους μιας διασύνδεσης από το συμπερασμό ενός λεκτικού κανόνα.....	44
3.3.4 Υπολογισμός μιας συνάρτησης για το βάρος μιας διασύνδεσης από την περιγραφή με λεκτικούς κανόνες της σχέσης μεταξύ των τιμών των μεταβλητών των κόμβων.....	49
3.3.5 Συνοπτική παρουσίαση και σύγκριση των προτεινόμενων νέων μεθοδολογιών ανάπτυξης Ασαφών Γνωστικών Δικτύων.....	54
3.4 Σύνθεση Ασαφών Γνωστικών Δικτύων.....	55
3.5 Αλγόριθμοι εκπαίδευσης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων.....	58
3.6 Περίληψη του κεφαλαίου.....	60

Κεφάλαιο 4 Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα και Έλεγχος Συστημάτων

4.1 Εισαγωγή.....	61
4.2 Μοντελοποίηση ενός συστήματος και άμεσος έλεγχος ενός συστήματος.....	62
4.2.1 Αναλυτική περιγραφή της προτεινόμενης δομής του συστήματος	63
4.2.2 Περιγραφή της λειτουργίας του προτεινόμενου μοντέλου ελέγχου μιας διαδικασίας.....	65
4.3 Εφαρμογή ενός Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου για τη μοντελοποίηση και έλεγχο ενός συστήματος.....	66
4.3.1 Περιγραφή του προβλήματος.....	66
4.3.2. Ανάπτυξη του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου για έλεγχο της διαδικασίας.....	67

4.3.3 Προσομοίωση λειτουργίας του συστήματος.....	70
4.4 Εφαρμογή ενός Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου για τη μοντελοποίηση και έλεγχο μιας διαδικασίας.....	73
4.4.1 Ανάπτυξη του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου για τον έλεγχο της διαδικασίας.....	74
4.4.2 Υπολογισμός των τιμών των κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου.....	77
4.4.3 Περιγραφή του τρόπου ελέγχου της διαδικασίας.....	80
4.5 Δυνατότητες περαιτέρω εφαρμογής των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων για έλεγχο συστημάτων.....	80
4.6 Περίληψη του κεφαλαίου.....	81

Κεφάλαιο 5 Εποπτικός Έλεγχος Συστημάτων με χρήση Ασαφών Γνωστικών Δικτύων.

5.1 Εισαγωγή.....	83
5.2 Εποπτικός Έλεγχος.....	84
5.3 Αξιοποίηση των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων για τη μοντελοποίηση του συντονιστή ενός συστήματος.....	85
5.4 Προτεινόμενη διεπίπεδη δομή συνολικού ελεγκτή.....	89
5.5 Κατασκευή και ανάπτυξη ενός τμήματος του συντονιστή.....	90
5.6 Παράδειγμα διεπίπεδου συστήματος ελέγχου με ανάπτυξη με συντονιστή για περιπτώσεις βλαβών.....	93
5.7 Περίληψη κεφαλαίου.....	96

Κεφάλαιο 6 Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα και Πολύπλοκα Συστήματα.

6.1 Εισαγωγή	97
6.2 Ανάπτυξη ενός Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου για μια παραγωγική διαδικασία	98
6.3 Γενική δομή ελεγκτή για πολύπλοκα συστήματα.....	102

6.4 Περίληψη κεφαλαίου.....	105
-----------------------------	-----

Κεφάλαιο 7 Συμπεράσματα -Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

7.1 Συμπεράσματα.....	107
-----------------------	-----

7.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	109
---	-----

Βιβλιογραφία	111
---------------------------	------------

Δημοσιεύσεις	117
---------------------------	------------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Αντικείμενο της παρούσας διατριβής είναι η εξέταση και ανάπτυξη νέων Εύκαμπτων τεχνικών (Soft Computing) και η συστηματική μελέτη και εφαρμογή τους για τη μοντελοποίηση και τον έλεγχο τόσο απλών όσο και πολύπλοκων συστημάτων.

Συγκεκριμένα ερευνάται και αναπτύσσεται η εύκαμπτη τεχνική των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων με την οποία υλοποιούνται οι Ασαφείς Γνωστικοί Χάρτες ή Ασαφείς Γνωστικές Απεικονίσεις (Fuzzy Cognitive Maps-FCM), ένας επιστημονικός όρος που έχει χρησιμοποιηθεί στη διεθνή βιβλιογραφία [34].

Η εύκαμπτη τεχνική των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων εξετάζεται και ερευνάται στα πλαίσια της διατριβής με κύριο στόχο τον προσδιορισμό των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων με νέες μεθόδους υπολογισμού και νέες μεθοδολογίες ανάπτυξης έτσι ώστε να μπορούν εύκολα να εφαρμοσθούν για τη μοντελοποίηση και έλεγχο απλών και πολύπλοκων βιομηχανικών συστημάτων. Τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα ανήκουν στη γενικότερη κατηγορία της Εύκαμπτης Πληροφορικής και συνδυάζουν χαρακτηριστικά από τη θεωρία των Ασαφών Συνόλων και των Νευρωνικών Δικτύων και δημιουργούν ένα νέο μοντέλο για Ευφυή Έλεγχο με χρήση Εύκαμπτων Τεχνικών.

Τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα δημιουργούν στην πραγματικότητα ένα εννοιολογικό μοντέλο του συστήματος αποτελούμενο από ένα πλέγμα αλληλοσυνδεόμενων και αλληλοεξαρτώμενων κόμβων. Κάθε κόμβος εκφράζει μια έννοια, ένα βασικό και συνοπτικό χαρακτηριστικό του συστήματος. Κάθε διασύνδεση μεταξύ των κόμβων αντιπροσωπεύει τη σχέση αιτίας-αποτελέσματος που υφίσταται μεταξύ των εννοιών και η οποία καθορίζει τον τρόπο και τον βαθμό, με τον οποίο η μια έννοια επιδρά στη διαμόρφωση της τιμής της διασυνδεδεμένης έννοιας. Κάθε κόμβος του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου αποτελεί ένα 'σημαινόμενο' δηλαδή εκφράζει μια ιδέα, μια κατάσταση, μια μεταβλητή, μια τάση, μια επιθυμητή έξοδο. Μεταξύ όλων των 'σημαινόμενων' υφίστανται σχέσεις αιτιότητας.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της τεχνικής των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων είναι το γεγονός ότι αποτελούν ένα εννοιολογικό μοντέλο ενός συστήματος, κατά απόλυτη αναλογία με το νοητικό μοντέλο που δημιουργεί στο μυαλό του ένας εμπειρογνώμονας για τη λειτουργία και συμπεριφορά ενός συστήματος. Η συνοπτικότητα και η αναλογικότητά του μοντέλου και η αντιστοιχία του με τη μεθοδολογία με την οποία ένας άνθρωπος επιβλέπει και ελέγχει ένα σύστημα, ανεξάρτητα από το πόσο απλό ή πολύπλοκο είναι, κάνει τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα κατάλληλα για εφαρμογή σε προβλήματα εποπτικού ελέγχου και για τη μοντελοποίηση απλών και πολύπλοκων συστημάτων.

Πιο συγκεκριμένα στα πλαίσια της διατριβής αναπτύσσονται νέες μέθοδοι μοντελοποίησης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων και νέες μέθοδοι υπολογισμού τους. Οι προτεινόμενες μεθοδολογίες συγκρίνονται με τις υπάρχουσες στη διεθνή βιβλιογραφία και παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματά τους. Ερευνώνται σε βάθος και αναπτύσσονται τέσσερις νέες μέθοδοι δημιουργίας και ανάπτυξης Ασαφών Γνωστικών Δικτύων και εξετάζονται τρόποι σύνθεσης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων.

Η τεχνική των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων και ο συνδυασμός τους με ιεραρχικές δομές, όπως προτείνονται στα πλαίσια της διατριβής, μπορεί να συνεισφέρει στην επίλυση πολλών προβλημάτων μοντελοποίησης και ελέγχου συστημάτων, και ιδιαίτερα σε προβλήματα που συναντώνται στα σύγχρονα πολύπλοκα συστήματα (complex systems). Τα πολύπλοκα συστήματα διαθέτουν συνήθως ένα πλήθος μεταβλητών και καταστάσεων, χαρακτηρίζονται συνήθως από άγνωστη και απροσδιόριστη δυναμική και γενικά μπορεί να συνυπάρχουν συνεχούς και διακριτού χρόνου μεταβλητές, συγχρόνως με την ύπαρξη γεγονότων καθώς και με την ενεργό συμμετοχή του ανθρώπινου παράγοντα. Η εφαρμογή των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων σε απλά και πολύπλοκα συστήματα σύμφωνα με τα προηγούμενα περιγραφόμενα πλαίσια μπορεί να συνεισφέρει και να οδηγήσει στην ανάπτυξη ευφυών συστημάτων.

1.2 Διάρθρωση Διατριβής

Το αντικείμενο της διατριβής είναι η μελέτη και ανάπτυξη νέων μοντέλων εύκαμπτων μεθοδολογιών που μπορούν να εφαρμοσθούν για την μοντελοποίηση και δημιουργία ιεραρχικού ευφυούς ελέγχου σε απλά και πολύπλοκα συστήματα. Η ανάπτυξη εύκαμπτων μεθοδολογιών μοντελοποίησης και ελέγχου αποτελεί ένα ελπιδοφόρο πεδίο έρευνας, το οποίο μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στην προσπάθεια για την ανάπτυξη προηγμένων μοντέλων και ευφυών συστημάτων ελέγχου.

Η διατριβή διαρθρώνεται σε κεφάλαια ως εξής :

Το Κεφάλαιο 2 αποτελεί μια συνοπτική παρουσίαση εύκαμπτων τεχνικών και διαπραγματεύεται την αναγκαιότητα ανάπτυξης ιεραρχικών δομών για την μοντελοποίηση πολύπλοκων συστημάτων. Αναλύεται η έννοια του ευφυούς ελέγχου και παρουσιάζονται οι δυνατότητες χρήσης εύκαμπτων μεθοδολογιών ελέγχου για την ανάπτυξη ευφυούς ελέγχου στα πλαίσια μιας ιεραρχικής δομής. Παρουσιάζονται τα γενικά χαρακτηριστικά των εύκαμπτων τεχνικών και ιδιαίτερα η τεχνική των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων, για την οποία γίνεται μια σύντομη ανασκόπηση της βιβλιογραφίας και μια γενική περιγραφή της συγκεκριμένης μεθοδολογίας. Στο κεφάλαιο αυτό προτείνεται ένα γενικευμένο ιεραρχικό μοντέλο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει πολύπλοκα συστήματα, στα οποία εφαρμόζεται υβριδικός έλεγχος ο οποίος συνίσταται τόσο από συμβατικές τεχνικές ελέγχου όσο και από τεχνικές εύκαμπτου ελέγχου.

Στο κεφάλαιο 3 αναλύεται σε βάθος η προτεινόμενη και εξεταζόμενη στα πλαίσια της διατριβής, εύκαμπτη τεχνική, των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων. Στο κεφάλαιο αυτό προτείνονται νέες μοντελοποιήσεις των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων και αναλύονται νέες μέθοδοι υπολογισμού τους. Ερευνώνται σε βάθος και αναπτύσσονται 4 νέες μέθοδοι δημιουργίας και ανάπτυξης Ασαφών Γνωστικών Δικτύων. Εξετάζονται τρόποι σύνθεσης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων και περιγράφεται μια μεθοδολογία συνδυασμού τους. Τέλος, παρουσιάζονται αλγόριθμοι εκμάθησης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκπαίδευση των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων και την κατάλληλη επιλογή των βαρών των διασυνδέσεών τους.

Στο κεφάλαιο 4 τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα εφαρμόζονται για τη μοντελοποίηση και άμεσο έλεγχο ενός συστήματος. Προτείνεται μια νέα δομή που περιλαμβάνει το υπό έλεγχο

σύστημα και τον ελεγκτή, που είναι ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο και περιγράφεται η λειτουργία της προτεινόμενης δομής. Παρουσιάζονται ακόμη δύο παραδείγματα για τον έλεγχο χημικών διαδικασιών, αναπτύσσονται τα αντίστοιχα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα και εφαρμόζονται στον έλεγχο των διαδικασιών. Ακόμη στο κεφάλαιο αυτό, αναλύονται οι δυνατότητες επέκτασης της εφαρμογής και χρήσης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων για τη μοντελοποίηση και άμεσο έλεγχο συστημάτων και προτείνονται νέες προσεγγίσεις και γενικευμένες δομές.

Στο κεφάλαιο 5 προτείνεται μια ιεραρχική διεπίπεδη δομή ελέγχου, όπου τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση του συντονιστή (supervisor) ενός συστήματος. Αναλύονται οι δυνατότητες που παρέχουν τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα για την επαύξηση των χαρακτηριστικών του συντονιστή ιδιαίτερα για θέματα λήψης αποφάσεων και προσδιορισμού βλαβών. Για τα παραδείγματα που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 4 αναπτύσσεται το μοντέλο του συντονιστή με χρήση ενός Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου, για εφαρμογή σε περιπτώσεις εμφάνισης βλαβών στο σύστημα.

Στο κεφάλαιο 6 εξετάζονται οι δυνατότητες εφαρμογής των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων για τη μοντελοποίηση πολύπλοκων συστημάτων, όπως είναι τα βιομηχανικά συστήματα. Αναπτύσσεται ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο που μοντελοποιεί και προσομοιώνει τη λειτουργία μιας παραγωγικής διαδικασίας. Τα πολύπλοκα συστήματα έχουν κύριο χαρακτηριστικό την ύπαρξη πολλών δυσκολιών και αδυναμιών για τη μοντελοποίησή τους, οπότε προτείνεται ως λύση μια γενική ιεραρχική διεπίπεδη δομή σε συνδυασμό με τη χρήση Ασαφών Γνωστικών Δικτύων.

Τέλος στο κεφάλαιο 7 γίνεται μια συνολική αποτίμηση της διατριβής, συνοψίζονται τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει στα πλαίσια της διατριβής και προτείνονται νέες κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα στη συγκεκριμένη ερευνητική περιοχή της μοντελοποίησης και ελέγχου συστημάτων.

1.3 Συνεισφορά της διατριβής

Τα νέα στοιχεία, οι νέες μεθοδολογίες και τα αποτελέσματα που συμβάλλουν και συνεισφέρουν στη διεύρυνση και επέκταση της εξεταζόμενης επιστημονικής περιοχής παρουσιάζονται παρακάτω συνοπτικά, ταξινομημένα κατά κεφάλαιο.

Κεφάλαιο 2 :

- Προτείνεται ένα γενικό μοντέλο για την εφαρμογή του Ιεραρχικού Ευφυούς Ελέγχου σε πολύπλοκα συστήματα. Τα προτεινόμενο μοντέλο λαμβάνει υπ' όψη τη φύση των ελεγκτών, εάν είναι συμβατικοί ελεγκτές ή ευφυείς ελεγκτές και ακόμη εάν εφαρμόζονται σε κάποιο υποσύστημα ή στο συνολικό σύστημα.

Κεφάλαιο 3 :

- Αναπτύσσονται νέα μαθηματικά μοντέλα για τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα.
- Προτείνονται νέες μέθοδοι υπολογισμού των παραμέτρων των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων.
- Αναπτύσσονται σε βάθος 4 νέες μεθοδολογίες δημιουργίας και ανάπτυξης Ασαφών Γνωστικών Δικτύων, με πολύ σημαντικά χαρακτηριστικά :
 - Μέθοδος ανάπτυξης και αντίστοιχος αλγόριθμος, με καθορισμό των Αριθμητικών τιμών των βαρών των διασυνδέσεων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου, σε συνδυασμό με μεθοδολογία αξιολόγησης των εμπειρογνομώνων.
 - Προσδιορισμός των τιμών των βαρών των διασυνδέσεων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου με χρήση Λεκτικών μεταβλητών
 - Περιγραφή των αιτιατών σχέσεων μεταξύ των κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου με χρήση λεκτικών κανόνων και εξαγωγή των τιμών των βαρών των διασυνδέσεων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου από την εφαρμογή μεθοδολογίας λεκτικού συμπερασμού
 - Συμπερασμός μιας συνάρτησης για την περιγραφή του βάρους κάθε διασύνδεσης του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου με χρήση λεκτικών κανόνων που περιγράφουν τη σχέση μεταξύ των τιμών των μεταβλητών των κόμβων

- Προτείνεται μια μεθοδολογία σύνθεσης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων
- Ερευνώνται οι δυνατότητες εκμάθησης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων και προτείνονται αντίστοιχοι αλγόριθμοι εκπαίδευσης.

Κεφάλαιο 4 :

- Εξετάζεται η εφαρμογή των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων για τη μοντελοποίηση και τον άμεσο έλεγχο μιας διαδικασίας και εκτίθενται παραδείγματα ελέγχου μιας διαδικασίας με χρήση των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων.
- Προτείνεται μια νέα ολοκληρωμένη δομή του ελεγχόμενου συστήματος και του ελεγκτή, για την εφαρμογή των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων.

Κεφάλαιο 5 :

- Προτείνεται και αναπτύσσεται μια νέα ιεραρχική διεπίπεδη δομή για τη μοντελοποίηση συστημάτων. Όπου το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση του συντονιστή του συνολικού συστήματος
- Προτείνεται και αναλύεται η εφαρμογή Ασαφών Γνωστικών Δικτύων για την ανάπτυξη συντονιστή με βελτιωμένα χαρακτηριστικά, όπως είναι η ανίχνευση βλαβών, ο σχεδιασμός και η λήψη αποφάσεων.

Κεφάλαιο 6 :

- Εφαρμόζονται τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα για τη μοντελοποίηση πολύπλοκων βιομηχανικών συστημάτων σε συνδυασμό με ιεραρχικές δομές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΥΚΑΜΠΤΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΙΕΡΑΡΧΙΚΟΣ ΕΥΦΥΗΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

2.1 Γενική Περιγραφή

Στη σύγχρονη τεχνολογική εποχή το βασικό χαρακτηριστικό των συστημάτων, που ο άνθρωπος έχει κατασκευάσει και τα οποία συναντώνται στη σύγχρονη βιομηχανία, όπως στις αυτοκινητοβιομηχανίες, στις βιομηχανίες χημικών διεργασιών, στην αεροδιαστημική βιομηχανία κ.α., είναι η πολυπλοκότητά τους. Τα πολύπλοκα συστήματα αποτελούνται από διάφορα υποσυστήματα, συνήθως ανομοιογενή, ως προς τη φύση τους, που χαρακτηρίζονται ως συνεχούς ή διακριτού χρόνου ή από το συνδυασμό και των δύο. Τα κύρια χαρακτηριστικά των σύγχρονων συστημάτων είναι η διάστασή τους, το πλήθος των μεταβλητών και καταστάσεων, η απαίτηση για ικανοποίηση συχνά αντικρουόμενων αντικειμενικών στόχων και η δυναμική τους συμπεριφορά. Η πολυπλοκότητα των συστημάτων αυξάνει εάν ληφθεί υπόψη ότι ενεργούν και αλληλεπιδρούν συνεχώς μέσα σε ένα δυναμικά μεταβαλλόμενο περιβάλλον, όπου ο άνθρωπος επεμβαίνει συχνά θέτοντας συνεχώς νέους στόχους και νέους περιορισμούς

και μεταβάλλοντας τη λειτουργία του συστήματος. Η προσπάθεια για την εύρεση νέων μεθοδολογιών μοντελοποίησης και στη συνέχεια δημιουργίας στρατηγικών ελέγχου για πολύπλοκα συστήματα έχει προσελκύσει το ερευνητικό ενδιαφέρον πολλών επιστημόνων και πολλές προσπάθειες έχουν γίνει μέχρι σήμερα [14] [20][61][83].

Ένα μεγάλο μέρος της σύγχρονης ερευνητικής προσπάθειας περιελάμβανε την χρησιμοποίηση συμβατικών μεθόδων για την μοντελοποίηση και τον έλεγχο συστημάτων με χρήση μαθηματικών εργαλείων, όπως οι διαφορικές εξισώσεις, με ακριβή περιγραφή των φυσικών νόμων που διέπουν κάθε σύστημα και ακολούθως τη σχεδίαση και ανάπτυξη συμβατικών τεχνικών ελέγχου και ελεγκτών όπως οι ελεγκτές δύο και τριών όρων, PI, PD και PID. Οι συμβατικές τεχνικές εξελίχθηκαν και προτάθηκαν νέες προηγμένες τεχνικές και προσεγγίσεις για την επίλυση πιο σύνθετων προβλημάτων οι οποίες οδήγησαν στη μεγάλη ανάπτυξη της περιοχής του αυτόματου ελέγχου τις τελευταίες δεκαετίες. Βέβαια, αρκετά προβλήματα ιδιαίτερα στις βιομηχανικές διαδικασίες παρέμειναν άλυτα και αποτέλεσαν το έναυσμα για την εξεύρεση νέων μεθόδων ελέγχου που είναι καλύτερα προσαρμοσμένες στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των φυσικών και τεχνητών συστημάτων. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αυτά είναι η ασάφεια, η αβεβαιότητα, η έντονη μη γραμμικότητα, η εξάρτηση από πολλές παραμέτρους, που είτε είναι άγνωστες, είτε είναι αδύνατον να καθορισθούν επακριβώς.

Λαμβάνοντας υπ' όψη τα χαρακτηριστικά των σύγχρονων πολύπλοκων συστημάτων ανακύπτει η ανάγκη ανάπτυξης νέων μεθοδολογιών μοντελοποίησης και ελέγχου που θα συνεισφέρουν στην ανάπτυξη ευφυών συστημάτων ελέγχου [82]. Οι νέες εύκαμπτες και ευφυείς μεθοδολογίες θα χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη μοντέλων επιβλέποντος ελέγχου, όπου ο συντονιστής θα επιβλέπει, συντονίζει και ελέγχει ένα σύνολο πράξεων και ενεργειών σε όλο το πολύπλοκο σύστημα, όπως είναι η διαχείριση δεδομένων και πληροφοριών, ο προγραμματισμός και κατανομή εργασιών, η διάγνωση βλαβών και έκρυθμων καταστάσεων, η επιλογή μεταξύ διαφόρων καταστάσεων, η καθοδήγηση των υποσυστημάτων και η βελτιστοποίηση των διαφορών χαρακτηριστικών και μεταβλητών με απώτερο σκοπό την ικανοποίηση και επίτευξη ενός συνολικού στόχου. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονισθεί ότι τα χαρακτηριστικά των εποπτικών συστημάτων είναι κυρίως εννοιολογικά και ο άνθρωπος έχει έναν κεντρικό ρόλο, με επακόλουθο συμπέρασμα η χρήση και εφαρμογή εύκαμπτων τεχνικών μοντελοποίησης να παρέχει τα εχέγγυα για την ανάπτυξη προηγμένου εποπτικού ελέγχου που θα λαμβάνει υπόψη και την ανθρώπινη διάσταση στην επίβλεψη του πολύπλοκου συστήματος.

Μερικές από τις απαιτήσεις που τίθενται για την ανάπτυξη αυτόνομων ευφυών συστημάτων είναι [3]:

- η ικανότητα να προσαρμόζονται σε μη προκαθορισμένες αλλαγές του περιβάλλοντος και να μαθαίνουν από την αλληλεπίδραση μαζί του
- να έχουν μια σχετική αυτονομία, που θα τους επιτρέπει να ενεργούν και να υλοποιούν στόχους
- η αρχιτεκτονική και η δομή των ευφυών συστημάτων να είναι τέτοια που θα τους επιτρέπει να αντεπεξέλθουν στις απαιτήσεις και την πολυπλοκότητα των σύγχρονων φυσικών και τεχνητών συστημάτων.

Ιεραρχικές δομές μοντελοποίησης συστημάτων σε πλήρη αρμονία με εύκαμπτες τεχνικές έχουν προταθεί για ένα πλήθος διαφορετικών συστημάτων με αντικειμενικό σκοπό την επίτευξη ενός γενικότερου στόχου για τον οποίο απαιτείται να συνεργασθούν όλα τα μέλη του συστήματος [21]. Σε μια ιεραρχική δομή στο ανώτερο επίπεδο της πυραμιδοειδούς μορφής βρίσκεται ο συντονιστής του συστήματος που μοντελοποιείται με μια εύκαμπτη τεχνική και έχει βασική αποστολή τον εποπτικό έλεγχο όλου του συστήματος.

Ο ιεραρχικός ευφυής έλεγχος μπορεί να αποτελέσει λύση στα προβλήματα μοντελοποίησης και γενικότερα σε προβλήματα που ανακύπτουν κατά τον έλεγχο πολύπλοκων συστημάτων. Οι ιεραρχικές αρχιτεκτονικές ελέγχου αφ' ενός δημιουργούν μια δομή που αξιοποιεί τις πληροφορίες από το ελεγχόμενο σύστημα, με τις μονάδες ελέγχου και επεξεργασίας πληροφοριών και αφ' ετέρου με τις χρησιμοποιούμενες εύκαμπτες τεχνικές μπορούν να αποτελέσουν τη βάση για την ανάπτυξη αυτόνομων και ευφυών συστημάτων.

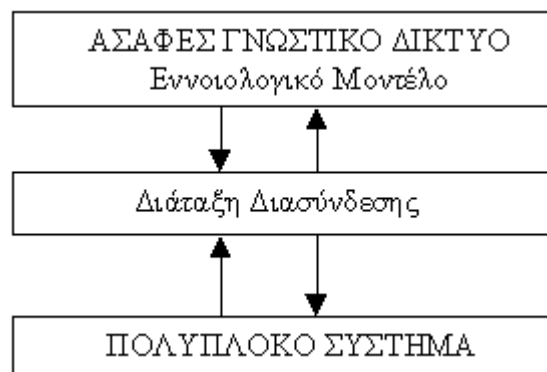
2.2 Ιεραρχικές δομές

Μια ιεραρχική δομή έχει τη μορφή πυραμίδας, στην κορυφή της οποίας βρίσκεται ο συντονιστής του συστήματος που είναι υπεύθυνος για την παρακολούθηση ολόκληρου του συστήματος και τη λήψη αποφάσεων με στόχο την επίτευξη του ολικού αντικειμενικού στόχου. Στα κατώτερα επίπεδα της ιεραρχίας υπάρχουν μονάδες που ενεργούν τοπικά και παράλληλα, και συνεργάζονται για την ικανοποίηση των προδιαγραφών που τίθενται από τον συντονιστή. Μεταξύ των διαφόρων επιπέδων υπάρχει ανταλλαγή πληροφοριών και τα υποσυστήματα των κατωτέρων επιπέδων υπακούουν στις εντολές που έρχονται από τα

ανώτερα επίπεδα της πυραμίδας. Σε ότι αφορά το είδος των πληροφοριών, όσο πιο ψηλά στην πυραμίδα βρίσκεται κανείς, τόσο οι πληροφορίες είναι πιο ουσιώδεις, ποιοτικές, γενικές και περιληπτικές, ενώ στα κατώτερα επίπεδα είναι περισσότερο λεπτομερείς, ακριβείς και ποσοτικές. Αντίστοιχη είναι και η διάκριση του χρονικού ορίζοντα, αφού τα ανώτερα επίπεδα έχουν πιο μακροχρόνιο ορίζοντα σε σχέση με τα κατώτερα ιεραρχικά επίπεδα. Πολυεπίπεδες ιεραρχικές δομές έχουν προταθεί για τη μοντελοποίηση και έλεγχο πολύπλοκων συστημάτων [21][23] [60].

2.2.1 Εποπτικός έλεγχος σε μια ιεραρχική δομή

Ο συντονιστής ενός συστήματος αλληλεπιδρά συνεχώς με τους τοπικούς ελεγκτές μέσα στο δυναμικά μεταβαλλόμενο περιβάλλον του ολικού συστήματος, δέχεται επιδράσεις από το φυσικό σύστημα και αντιδρά στέλνοντας κατάλληλες εντολές. Ο συντονιστής μπορεί να έχει πρόσβαση σε όλες τις πληροφορίες του κατώτερου συστήματος (σε μέρος ή και σε όλες). Ενημερώνεται για καταστάσεις και μεταβλητές που αφορούν το κατώτερο ιεραρχικό επίπεδο, οι οποίες είναι πάρα πολλές και απαιτείται να ταξινομηθούν και οι οποίες αφού μετασχηματιστούν κατάλληλα μπορεί ο συντονιστής να τις επεξεργασθεί και να αντιδράσει κατάλληλα [15], [61]. Έτσι προκύπτει η ανάγκη ανάπτυξης μιας διάταξης που θα παρεμβάλλεται μεταξύ του συστήματος ελέγχου στο κατώτερο επίπεδο και του συντονιστή, η οποία θα μετασχηματίζει κατάλληλα τις πληροφορίες και θα τις μεταδίδει και προς το ανώτερο και προς το κατώτερο επίπεδο. Μια γενική ιεραρχική δομή ενός πολύπλοκου συστήματος απεικονίζεται στο σχήμα 2.1. Το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο δημιουργεί ένα εννοιολογικό μοντέλο του συνολικού συστήματος και χρησιμοποιείται για εποπτικό έλεγχο.



Σχήμα 2.1 Γενική ιεραρχική δομή για ένα πολύπλοκο σύστημα

Γενικά ο συντονιστής θα πρέπει:

- να ολοκληρώνει και να αξιοποιεί τις πληροφορίες και τη γνώση που λαμβάνει από το σύστημα στο κατώτερο επίπεδο,
- να συνθέτει και να αφομοιώνει τις πληροφορίες που λαμβάνει,
- να διαπιστώνει την ύπαρξη ανωμαλιών, να αναγνωρίζει τις αιτίες τους και να τις προλαβαίνει ,
- να μπορεί να αξιολογεί και να ιεραρχεί τα διάφορα σήματα κινδύνου που παράγονται κατά τη λειτουργία του συστήματος και να αντιδρά κατάλληλα, γενικά να διαπιστώνει την ύπαρξη βλαβών και να προβαίνει σε κατάλληλες ενέργειες,
- να λαμβάνει υπ' όψη τα τοπικά κριτήρια ελέγχου για κάθε υποσύστημα σε συνάρτηση με την ικανοποίηση των συνολικών κριτηρίων ελέγχου για ολόκληρο το σύστημα,
- να ικανοποιεί τις αντικειμενικές συναρτήσεις για κάθε υποσύστημα σε σχέση με τη βέλτιστη απόδοση της ολικής αντικειμενικής συνάρτησης.

2.3 Ευφυής Έλεγχος και Ευφυή Συστήματα

Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που ανακύπτουν κατά την μοντελοποίηση απλών και πολύπλοκων συστημάτων και την ανάπτυξη κατάλληλων εύκαμπτων τεχνικών που χρησιμοποιούν τεχνικές της ανθρώπινης ευφυίας, έχουν προταθεί νέες τεχνικές και θεωρίες, πολλές από τις οποίες βασίζονται στις αρχές της υπολογιστικής νοημοσύνης που σε συνδυασμό με στοιχεία της θεωρίας ελέγχου οδήγησαν στην ανάπτυξη του Ευφυούς Ελέγχου (Intelligent control) [1][2][3][46].

Ο ευφυής έλεγχος επιδιώκει να βελτιώσει και να επαυξήσει τις συμβατικές μεθοδολογίες ελέγχου προκειμένου να επιλύσει πιο εξεζητημένα προβλήματα ελέγχου και με πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα. Είναι μια απαίτηση που ανακύπτει για να αντιμετωπισθούν τα προβλήματα ελέγχου που συναντώνται στα σύγχρονα πολύπλοκα συστήματα και δεν μπορούν να μελετηθούν και να λυθούν στα πλαίσια εφαρμογής των κλασσικών μαθηματικών μέσων, με χρήση διαφορικών και διαφορίσιμων τεχνικών ελέγχου. Στον ευφυή έλεγχο συνήθως δεν υπάρχει μια σαφής διάκριση μεταξύ του ελεγχόμενου συστήματος και του ελεγκτή. Ο ευφυής ελεγκτής και οι αντίστοιχες μέθοδοι ελέγχου αποτελούν τμήμα του ελεγχόμενου συστήματος. Λαμβάνοντας υπ' όψη αυτό το χαρακτηριστικό του ευφυούς

ελέγχου μεταβάλλονται σημαντικά οι μεθοδολογίες σχεδιασμού του ελεγκτή σε σχέση με τις κλασικές συμβατικές τακτικές [76].

Ο ορισμός του ευφυούς συστήματος αναφέρεται στις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά που θα πρέπει να διαθέτει το σύστημα [1][2]. Ένα σύστημα χαρακτηρίζεται ευφύς όταν οι αντίστοιχοι ελεγκτές που το καθοδηγούν διαθέτουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- έχουν την ικανότητα να αναγνωρίζουν γεγονότα και καταστάσεις και να παρουσιάζουν τη γνώση με ένα ολοκληρωμένο μοντέλο, μπορούν να χρησιμοποιούν την υπάρχουσα γνώση και εμπειρία για να παίρνουν αποφάσεις, να σχεδιάζουν και να υλοποιούν μελλοντικές πράξεις,
- μπορούν να αξιολογούν, να αναγνωρίζουν το περιβάλλον και να ενεργούν κατάλληλα και ακόμη να μπορούν να αντεπεξέλθουν σε αβέβαιες καταστάσεις και σε ένα άγνωστο περιβάλλον,
- έχουν την ικανότητα να προσαρμόζονται στο περιβάλλον και να μαθαίνουν, ακόμη μπορούν να αξιοποιούν τη γνώση από την παρατήρηση της δυναμικής τους συμπεριφοράς και μπορούν να οργανώνουν τη γνώση αυτή.

Η ανάγκη για την ανάπτυξη προηγμένων συστημάτων ελέγχου που θα μπορούν να χαρακτηρισθούν ευφυή και θα έχουν σε σημαντικό βαθμό χαρακτηριστικά που θα υποκαθιστούν κάποιες από τις ενέργειες του ανθρώπου χειριστή είναι διαχρονική. Επιπλέον τα συστήματα αυτά θα πρέπει να βοηθούν τον άνθρωπο συντονιστή, που βρίσκεται στο ανώτατο επίπεδο, στη λήψη αποφάσεων, να έχουν δυνατότητες επέμβασης σε κρίσιμες καταστάσεις που ίσως διαφεύγουν της προσοχής του απλού συστήματος του κατωτέρου επιπέδου, να μπορούν να λειτουργούν σε ένα δυναμικά μεταβαλλόμενο, αβέβαιο περιβάλλον απαιτώντας την ελάχιστη δυνατή αλληλεπίδραση και καθοδήγηση από τον άνθρωπο. Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό πρέπει να είναι η ικανότητά τους να αποθηκεύουν πληροφορίες για τη συμπεριφορά του συστήματος σε διάφορες καταστάσεις και να μαθαίνουν από τη δυναμική συμπεριφορά των συστημάτων αποκωδικοποιώντας τη, έτσι ώστε να εξελίσσεται το ίδιο το σύστημα ελέγχου όπως και το ελεγχόμενο σύστημα [77][78].

2.4 Εύκαμπτες τεχνικές ελέγχου

Ασαφής Λογική-Ασαφή Συστήματα

Η Ασαφής Λογική είναι βασισμένη στη μεθοδολογία που χρησιμοποιεί ο άνθρωπος προκειμένου να περιγράψει, να αντιστοιχίσει και να χαρακτηρίσει κάθε είδους πληροφορία που επεξεργάζεται και ιδιαίτερα την μη επακριβώς κατηγοριοποιημένη πληροφορία, η οποία χαρακτηρίζει κάθε φυσικό και τεχνητό σύστημα. Ο ανθρώπινος κόσμος χαρακτηρίζεται κύρια από μια ασάφεια και μια σχετική λογική που δεν διακρίνει τα πάντα ως μαύρα ή λευκά, αλλά αποδέχεται και ενδιάμεσες καταστάσεις που είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα και βέβαια περισσότερο υποκειμενικές [67][83][84].

Μεθοδολογίες βασισμένες σε Ασαφή Λογική έχουν συνεισφέρει στη μοντελοποίηση και έλεγχο πολύπλοκων, μη γραμμικών πολυμεταβλητών και χρονικώς μεταβαλλόμενων συστημάτων, των οποίων τα μαθηματικά πρότυπα δεν μπορούν να προσδιορισθούν επακριβώς. Οι ελεγκτές που βασίζονται στην Ασαφή Λογική δεν προϋποθέτουν την ακριβή μαθηματική περιγραφή των υπό έλεγχο συστημάτων και της δυναμικής τους συμπεριφοράς [45]. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των ασαφών ελεγκτών είναι ότι αναπτύσσονται με λεκτικούς κανόνες, με βάση τους οποίους οι σχεδιαστές τους, περιγράφουν τη συμπεριφορά τους χρησιμοποιώντας τη γνώση, εμπειρία και την αντίληψη τους για το σύστημα [4][13][79].

Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ)

Τα νευρωνικά δίκτυα χαρακτηρίζονται από την ικανότητά τους να μαθαίνουν χρησιμοποιώντας τα δεδομένα από σχέσεις εισόδου- εξόδου και παρέχουν πολύ απλές λύσεις σε σύνθετα προβλήματα ελέγχου. Αποτελούνται από νευρώνες που είναι μη γραμμικά στοιχεία καθώς και από συνάψεις μεταξύ των νευρώνων. Πρόκειται για μη γραμμικά συστήματα τα οποία χρησιμοποιούνται επιτυχώς για τη μοντελοποίηση και τον έλεγχο συστημάτων με γραμμική ή/ και μη γραμμική δυναμική. Τα νευρωνικά δίκτυα χαρακτηρίζονται από την ικανότητά τους να μαθαίνουν τη λειτουργία του συστήματος και να προσαρμόζονται στα χαρακτηριστικά του συστήματος ανεξαρτήτως της πολυπλοκότητάς του [44]. Τα Νευρωνικά δίκτυα έχουν συνεισφέρει στην επίλυση πολλών μη γραμμικών προβλημάτων ελέγχου και ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που είναι γνωστή μόνο η συνάρτηση εισόδου εξόδου και άγνωστη η δυναμική του συστήματος [19][48][49].

Εύκαμπτες τεχνικές

Μια από τις κύριες κατευθύνσεις του Ευφυούς Ελέγχου που έχει αναπτυχθεί και συνεχίζει να εξελίσσεται είναι ένα σύνολο μεθοδολογιών γνωστών ως Εύκαμπτη Πληροφορική (Soft computing) που περιλαμβάνουν τη θεωρία της Ασαφούς Λογικής (Fuzzy Logic), τα Νευρωνικά Δίκτυα (Neural Networks), τους Γενετικούς Αλγορίθμους (Genetic Algorithms) και τον Εξελικτικό Προγραμματισμό (Evolutionary Programming) και βάσει αυτών των μεθοδολογιών αναπτύσσονται νέες τεχνικές Εύκαμπτου Ελέγχου (Soft control) [31][32][72].

Ιδιότητες και χαρακτηριστικά τόσο των Νευρωνικών Δικτύων όσο και της Ασαφούς Λογικής είναι επιθυμητό να διαθέτουν τα εύκαμπτα συστήματα ελέγχου. Πρόκειται για αλληλοσυμπληρούμενες μεθοδολογίες και θεωρίες που έχουν οδηγήσει τους ερευνητές να τις συντήξουν και να προτείνουν νευρο-ασαφή και άλλα υβριδικά συστήματα τα οποία απαρτίζουν τη γενική κατηγορία της υπολογιστικής νοημοσύνης και της εύκαμπτης πληροφορικής [40] [50]. Τέτοια συστήματα έχουν την ικανότητα να αξιοποιούν την ανθρώπινη γνώση και να προσαρμόζονται στις συνθήκες λειτουργίας των συστημάτων. Τα υβριδικά μοντέλα έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για τη μοντελοποίηση και τον έλεγχο πολύπλοκων πραγματικών συστημάτων με πολύ καλά αποτελέσματα [22] [30][52] [54].

2.5 Η Εύκαμπτη τεχνική των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων

Μια νέα εύκαμπτη τεχνική με πολλές δυνατότητες είναι τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα τα οποία αποτελούν ένα συνδυασμό ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών των Νευρωνικών Δικτύων και της Ασαφούς Λογικής. Αρχικά προτάθηκαν τα Γνωστικά Δίκτυα από τον Axelrod [5] προκειμένου να παρουσιάσει την σχέση αιτίας και αποτελέσματος, η οποία ενυπάρχει ανάμεσα στα στοιχεία που αποτελούν ένα δυναμικά μεταβαλλόμενο σύστημα. Αυτή η πρώτη προσέγγιση ήταν περισσότερο μια γραφική απεικόνιση των σχέσεων που υφίστανται ανάμεσα στους κύριους παράγοντες που καθορίζουν την συμπεριφορά κάθε συστήματος.

Στη συνέχεια τα Γνωστικά Δίκτυα εξελίχθηκαν και προτάθηκαν τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα [34], τα οποία χαρακτηρίζονται από ασαφείς μεταβλητές και τα οποία μοντελοποιούν κάθε σύστημα, ως ένα σύνολο από αλληλοεξαρτώμενες έννοιες (concepts). Κάθε έννοια εκφράζει ένα νοητικό ή φυσικό χαρακτηριστικό του συστήματος και αποτελεί έναν κόμβο του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου. Οι κόμβοι του δικτύου αλληλοσυνδέονται και οι συνδέσεις

αυτές απεικονίζουν τις σχέσεις αιτίας και αποτελέσματος που υφίστανται μεταξύ των κόμβων. Τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα δημιουργούνται, για να περιγράψουν και να προσομοιώσουν την αλληλεπίδραση και αλληλεξάρτηση που υφίσταται μεταξύ των κύριων παραμέτρων κάθε συστήματος, και οι οποίες θεωρούνται και είναι ικανές να περιγράψουν τη λειτουργία του συστήματος.

Μετά την πρώτη εμφάνιση των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων, στην επιστημονική κοινότητα, υπήρξε ένα ευρύτατο ενδιαφέρον για την ανάπτυξή τους και εφαρμογή τους σε πάρα πολλά διαφορετικά επιστημονικά πεδία. Τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα χρησιμοποιήθηκαν σε μοντέλα κοινωνικών συστημάτων για την επεξεργασία της υπάρχουσας γνώσης [68]-[71], για την μοντελοποίηση των δυναμικών κοινωνικών και ψυχολογικών διαδικασιών [8] [24][25] καθώς και για τη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς πολύπλοκων επιχειρηματικών οργανισμών, εξετάζοντας τη συμπεριφορά του ανθρώπου σε σχέση με εξωγενείς παράγοντες που επιδρούν στην συμπεριφορά του, ως μέλους του οργανισμού [9]. Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα έχουν εφαρμοσθεί για την ανάλυση χρηματιστηριακών επενδύσεων και την ανάπτυξη αλγορίθμων βασισμένων στις γνώσεις ειδικών [37]-[39], για την ανάπτυξη ευφυών συστημάτων επεξεργασίας δεδομένων [62] και την εκμάθηση από τα συμφραζόμενα [63]. Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα χρησιμοποιήθηκαν για την ποιοτική ανάλυση κυκλωμάτων, ως μια μέθοδος συγκρίσιμη με εκείνη των γραφημάτων ροής [66]. Τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα έχουν ακόμη χρησιμοποιηθεί για την απεικόνιση της ασαφούς συμπεριφοράς ζωντανών όντων σε πραγματικό φυσικό περιβάλλον [10]-[12]. Στην περιοχή του ελέγχου μια πρώτη χρησιμοποίηση των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων αφορούσε την εφαρμογή τους, για την υποστήριξη του ελέγχου ενός σταθμού άντλησης συμπεριλαμβάνοντας και πιθανοτικούς παράγοντες, όπως είναι η ένταση της βροχής και η περίοδος των βροχοπτώσεων [16][17]. Μια άλλη σημαντική εφαρμογή των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων αφορά την παρουσίαση και μοντελοποίηση των σφαλμάτων και των αιτίων τους, που παρουσιάζονται σε διάφορα βιομηχανικά συστήματα [55]-[57]. Τέλος μια σημαντική εφαρμογή των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων αποτελεί η χρήση τους για ανάλυση και υποστήριξη αποφάσεων [41][85]-[87], για την ανάλυση των παραγόντων που επηρεάζουν μια διαδικασία [6] και για το στρατηγικό σχεδιασμό μιας επιχείρησης [26][73][74].

Οι προαναφερθείσες εφαρμογές των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων ώθησαν τους ερευνητές να εξετάσουν τρόπους απεικόνισης, κατασκευής και ανάπτυξης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων [53][64]. Επιπλέον τους ώθησαν να προτείνουν νέες μοντελοποιήσεις Ασαφών Γνωστικών Δικτύων [18][29][51] και να εξετάσουν τις ασαφείς σχέσεις που

υπάρχουν μεταξύ των κόμβων του Ασαφών Γνωστικών Δικτύων καθώς και τις μεθόδους παρουσιάσής τους [28].

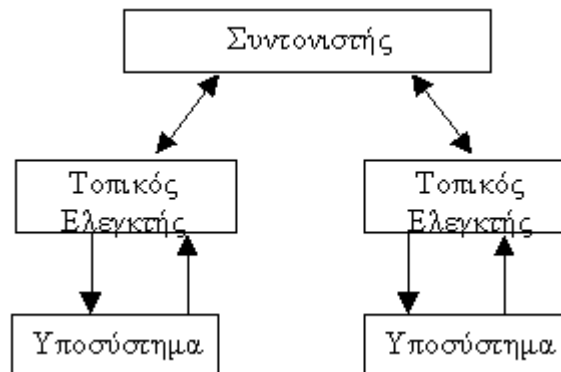
2.6 Προτεινόμενο γενικό μοντέλο πολύπλοκων ιεραρχικών συστημάτων.

Μέχρι τώρα εκτέθηκαν τα κυριότερα χαρακτηριστικά των σύγχρονων πολύπλοκων συστημάτων, που έχουν οδηγήσει τους ερευνητές να επικεντρώσουν την έρευνά τους στην ανάπτυξη ιεραρχικών δομών ελέγχου σε συνδυασμό με εύκαμπτες τεχνικές για την μοντελοποίηση και τον έλεγχο τέτοιων συστημάτων. Ακόμη, παρουσιάστηκαν οι τάσεις ανάπτυξης νέων ευέλικτων μεθοδολογιών ελέγχου με χρήση τεχνικών υπολογιστικής νοημοσύνης και γενικά ευφυών τεχνικών ελέγχου. Βέβαια μέσα σε αυτά τα πλαίσια δεν θα πρέπει να παραγνωρισθεί η χρησιμότητα και οι δυνατότητες των συμβατικών τεχνικών ελέγχου. Οι συμβατικές τεχνικές ελέγχου που βασίζονται σε αναλυτικά μοντέλα, διαφορικές εξισώσεις και εξισώσεις διαφορών μπορούν να αποτελέσουν τη βάση ενός συστήματος ελέγχου, όπου μπορούν να εφαρμοσθούν και νέες προηγμένες τεχνικές ώστε να αναπτυχθούν ολοκληρωμένα ευφυή συστήματα [80].

Προκειμένου να αναπτυχθούν τα ευφυή συστήματα έχει προταθεί η χρήση και ο συνδυασμός μεθοδολογιών με διαφορετικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες έτσι ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη αξιοποίηση των υπαρχόντων τεχνικών, που οδηγεί στην υιοθέτηση μιας συνολικής υβριδικής μεθοδολογίας. Στα απλά αλλά και στα πολύπλοκα συστήματα που αποτελούν το αντικείμενο της παρούσας μελέτης, υπάρχει ένας συνολικός αντικειμενικός στόχος που θα πρέπει να υλοποιηθεί από το συνολικό σύστημα. Ο στόχος αυτός μπορεί να διακριθεί σε μικρότερα έργα που είναι ευκολότερα υλοποιήσιμα από καθένα από τα υποσυστήματα του συνολικού συστήματος. Επιπλέον, σε κάποια υποσυστήματα μπορεί η χρήση συμβατικών τεχνικών να δίνει καλύτερα αποτελέσματα και σε κάποια άλλα η εφαρμογή εύκαμπτων τεχνικών ελέγχου (soft control) να είναι η καταλληλότερη, οπότε συνίσταται και επιβάλλεται η συνύπαρξη και των δύο τεχνικών.

Λαμβάνοντας όλα αυτά υπ' όψιν προτείνεται η χρήση μιας γενικής περιγραφής του συνολικού συστήματος. Εφαρμόζεται μια ιεραρχική δομή και πιο συγκεκριμένα μια διεπίπεδη δομή με τον συντονιστή στην κορυφή της δομής, ο οποίος παρακολουθεί το συνολικό σύστημα, εποπτεύει την επίτευξη του συνολικού αντικειμενικού στόχου και την ικανοποίηση των κριτηρίων που έχουν τεθεί. Το σχεδιάγραμμα της προτεινόμενης ιεραρχικής δομής

απεικονίζεται στο σχήμα 2.2 με τον συντονιστή (supervisor) στο ανώτερο επίπεδο, ο οποίος έχει το ρόλο του συντονιστή όλων των τοπικών ελεγκτών. Στην προτεινόμενη δομή περιλαμβάνεται και απεικονίζεται η συνύπαρξη τόσο συμβατικών όσο και μη συμβατικών ελεγκτών, οι οποίοι συνεργάζονται αρμονικά για την επίτευξη του συνολικού αντικειμενικού στόχου [C10].



Σχήμα 2.2. Η ιεραρχική δομή του ολικού συστήματος ελέγχου

Για το συνολικό σύστημα υποτίθεται, ότι υπάρχει το συνολικό άνυσμα ελέγχου $\mathbf{u}^{overall}$, το οποίο περιλαμβάνει όλα τα σήματα ελέγχου που εφαρμόζονται σε ολόκληρο το σύστημα. Το συνολικό άνυσμα ελέγχου μπορεί να διακριθεί σε δύο τμήματα ανάλογα με τη θέση εφαρμογής του ελέγχου, εάν αφορά τους τοπικούς ελεγκτές ή το συνολικό εποπτικό έλεγχο :

$$\mathbf{u}^{overall} = \mathbf{u}^{local} + \mathbf{u}^{global} \quad (2.1)$$

Συνεχίζοντας την ανάλυση του ανύσματος ελέγχου, προτείνεται να γίνει διάκριση για το είδος του νόμου ελέγχου που εφαρμόζεται σε κάθε υποσύστημα, ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του. Έτσι οι ελεγκτές χωρίζονται σε συμβατικούς, όταν στηρίζονται στην εφαρμογή παραδοσιακών συμβατικών τεχνικών ελέγχου και σε μη συμβατικούς, όταν χρησιμοποιούνται εύκαμπτες τεχνικές όπως η Ασαφής Λογική, τα Νευρωνικά Δίκτυα και άλλες. Οπότε το συνολικό άνυσμα ελέγχου θα είναι :

$$\mathbf{u}^{overall} = \mathbf{u}_{conv}^{local} + \mathbf{u}_{nonconv}^{local} + \mathbf{u}_{conv}^{global} + \mathbf{u}_{nonconv}^{global} \quad (2.2)$$

Γενικά σε κάθε είδους συστήματα αλλά ιδιαίτερα στα πολύπλοκα συστήματα η χρήση ιεραρχικών δομών ελέγχου μπορεί να διευκολύνει τη μοντελοποίησή τους. Ακόμη η συνύπαρξη τόσο συμβατικών όσο και μη συμβατικών τεχνικών μπορεί να βοηθήσει στην ανάπτυξη υβριδικών ευφυών συστημάτων επιβλέποντος ελέγχου, τα οποία μπορούν να περιγραφούν από το γενικευμένο μοντέλο που προτείνεται εδώ.

2.7 Περίληψη κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται τα γενικά χαρακτηριστικά των πολύπλοκων συστημάτων και αναδεικνύεται η αναγκαιότητα ανάπτυξης ιεραρχικών μεθοδολογιών ελέγχου που μπορούν να οδηγήσουν στο σχεδιασμό ευφυών συστημάτων. Παρουσιάστηκαν τα κύρια χαρακτηριστικά που θα πρέπει να διαθέτει ο συντονιστής ενός ιεραρχικού συστήματος καθώς και οι ιδιότητες ενός ευφυούς συστήματος. Η ανάγκη για ανάπτυξη νέων μεθοδολογιών ευφυούς ελέγχου οδήγησε στην εξέταση των εύκαμπτων τεχνικών ελέγχου, τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες των οποίων αναλύθηκαν. Στα πλαίσια αυτά περιγράφηκαν τα γενικά χαρακτηριστικά της εύκαμπτης τεχνικής των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων και η ευρύτατη χρήση τους σε διαφορετικά επιστημονικά πεδία.

Τέλος ένα γενικό μοντέλο για ιεραρχικά πολύπλοκα συστήματα παρουσιάστηκε, στο οποίο πέρα από την κλασσική διάκριση σε τοπικούς και γενικούς ελεγκτές, συγχρόνως εισήχθηκε και η διάκριση σε συμβατικούς και μη συμβατικούς ελεγκτές. Αυτό το γενικό μοντέλο μπορεί να αποτελέσει τη βάση για την ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης υβριδικής ιεραρχικής δομής ευφυούς ελέγχου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΣΑΦΗ ΓΝΩΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

3.1 Γενικά

Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής εξετάζονται περιληπτικά οι υπάρχουσες μοντελοποιήσεις των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων, προτείνονται νέες μοντελοποιήσεις δίνοντας έμφαση στην Ασαφή φύση των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων, ερευνώνται και προτείνονται νέοι υπολογιστικοί κανόνες για τον υπολογισμό των τιμών των μεταβλητών των κόμβων των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων. Αναλύονται και προτείνονται νέες ολοκληρωμένες μέθοδοι κατασκευής και ανάπτυξης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων. Όλα αυτά γίνονται με βασική επιδίωξη την ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης νέας τεχνικής εύκαμπτου ελέγχου, των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων, με στόχο τη χρήση και εφαρμογή τους στην περιοχή της μοντελοποίησης και ελέγχου συστημάτων και ιδιαίτερα σε προβλήματα εποπτικού ελέγχου.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονισθεί ότι στα πλαίσια της παρούσης διατριβής αναπτύχθηκαν νέες μοντελοποιήσεις και νέες μεθοδολογίες σχεδιασμού και ανάπτυξης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων. Με τις μεθόδους ανάπτυξης που προτείνονται στα πλαίσια της διατριβής δημιουργείται το κατάλληλο θεωρητικό υπόβαθρο και αναπτύσσονται 4 νέες ολοκληρωμένες μεθοδολογίες ανάπτυξης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων, έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για τη μοντελοποίηση και επιβλέποντα έλεγχο απλών και πολύπλοκων συστημάτων.

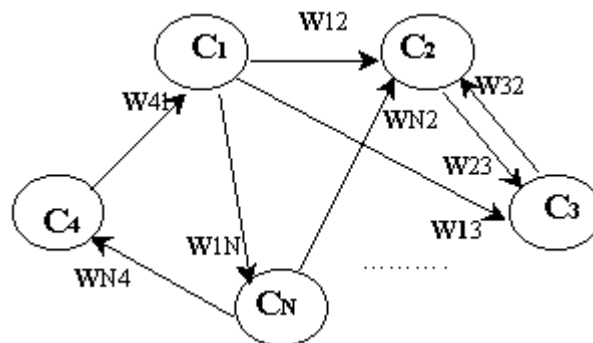
3.2 Γενική Περιγραφή των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων

Η σχηματική αναπαράσταση ενός Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου είναι ένα πλέγμα αλληλοσυνδεόμενων κόμβων. Κάθε κόμβος αποτελεί ένα 'σημαινόμενο' του συστήματος και εκφράζει μια έννοια, μια ιδιότητα, ένα χαρακτηριστικό του συστήματος. Κάθε διασύνδεση μεταξύ των κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου αντιπροσωπεύει τη σχέση αιτίας-αποτελέσματος που υφίσταται μεταξύ των εννοιών και η οποία περιγράφει τον τρόπο και τον βαθμό, με τον οποίο το ένα 'σημαινόμενο' επιδρά στη διαμόρφωση της τιμής του συνδεδεμένου 'σημαινόμενου'.

3.2.1. Σχηματική απεικόνιση των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων-Υπάρχουσες μοντελοποιήσεις.

Η σχηματική απεικόνιση των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων είναι ένα δίκτυο αποτελούμενο από κόμβους, οι οποίοι είναι διασυνδεδεμένοι μεταξύ τους με προσημασμένες συνδέσεις, κάθε μια από τις οποίες φέρει ένα βάρος διασύνδεσης. Οι διασυνδέσεις μπορεί να υπάρχουν μεταξύ και όλων των κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου, επιτρέποντας και την έμμεση ανατροφοδότηση μεταξύ των κόμβων, καθώς και τη δημιουργία κύκλων αλληλεπίδρασης.

Στο σχήμα 3.1 φαίνεται η σχηματική απεικόνιση ενός Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου. Το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο αποτελείται από N κόμβους, οι οποίοι διασυνδέονται μεταξύ τους. Κάθε διασύνδεση φέρει ένα αντίστοιχο βάρος συσχέτισης του ενός κόμβου με τον άλλο κόμβο.



Σχήμα 3.1. Η σχηματική απεικόνιση ενός Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Κάθε κόμβος του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου αντιπροσωπεύει μια έννοια ή ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του συστήματος το οποίο μοντελοποιείται με το προτεινόμενο μοντέλο. Οι διασυνδέσεις μεταξύ των κόμβων απεικονίζουν την σχέση αιτίας και αποτελέσματος που υφίσταται μεταξύ δύο κόμβων, δηλαδή το αποτέλεσμα που έχει η μεταβολή της τιμής της μεταβλητής του ενός κόμβου στη διαμόρφωση της τιμής της μεταβλητής του διασυνδεδεμένου κόμβου. Αυτή η σχέση αιτιότητας μεταξύ δύο κόμβων χαρακτηρίζεται, ως ασαφής σχέση λόγω της φύσης της και του τρόπου περιγραφής της με χρήση λεκτικών μεταβλητών, οι οποίες στη συνέχεια μετατρέπονται σε αριθμητικές μεταβλητές παίρνοντας τιμές στο πραγματικό διάστημα $[-1,1]$.

Ορισμός 3.1. Συσχέτιση μεταξύ δύο κόμβων.

Μεταξύ δύο κόμβων ενός Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου υπάρχουν οι ακόλουθοι τύποι αιτιατών διασυνδέσεων, είτε ο κόμβος C_i επηρεάζει τον κόμβο C_j και υπάρχει μια διασύνδεση μεταξύ $i \longrightarrow j$, τότε $\delta_{i,j} = 1$. Είτε η διασύνδεση είναι κατά την αντίθετη φορά $j \longrightarrow i$ όταν κόμβος C_j επηρεάζει τον κόμβο C_i τότε $\delta_{j,i} = 1$, είτε δεν υπάρχει διασύνδεση.

$$i, j = \begin{cases} \delta_{i,j} = 1 \\ \delta_{j,i} = 1 \end{cases} \quad (3.1)$$



Ορισμός 3.2. Είδος συσχέτισης μεταξύ δύο κόμβων.

Κάθε διασύνδεση μεταξύ δύο κόμβων χαρακτηρίζεται από το είδος της συσχέτισης, εάν είναι θετική ή αρνητική ή δεν υφίσταται. Η συσχέτιση από τον ένα κόμβο στον άλλο μπορεί να είναι :

- i) $W_{ij} > 0$ που σημαίνει, ότι, όταν αυξάνεται η τιμή του κόμβου C_i , αυξάνεται και η τιμή του κόμβου C_j , και όταν μειώνεται η τιμή του κόμβου C_i μειώνεται αντίστοιχα και η τιμή του κόμβου C_j .

- ii) $W_{ij} < 0$ που σημαίνει, ότι, όταν αυξάνεται η τιμή του κόμβου C_i μειώνεται η τιμή του κόμβου C_j , και όταν μειώνεται η τιμή του κόμβου C_i αυξάνεται αντίστοιχα η τιμή του κόμβου C_j .
- iii) $W_{ij} = 0$ όταν δεν υπάρχει κάποια επίδραση μεταξύ των κόμβων C_i και C_j . $\square$

Ορισμός 3.3. Βαθμός συσχέτισης μεταξύ δύο κόμβων.

Η αριθμητική τιμή του βάρους κάθε διασύνδεσης W_{ij} μεταξύ δύο κόμβων δείχνει το βαθμό συσχέτισης της τιμής της μεταβλητής του ενός κόμβου στον υπολογισμό της τιμής της μεταβλητής του άλλου αλληλοσυνδεόμενου κόμβου. Η αριθμητική τιμή κάθε βάρους διασύνδεσης W_{ij} ανήκει στο πραγματικό διάστημα $[-1,1]$. $\square$

Παρατήρηση

Αφού η συσχέτιση μεταξύ δύο κόμβων δηλώνει τη σχέση αιτίας και αποτελέσματος που υπάρχει μεταξύ των κόμβων, θεωρείται ότι δεν μπορεί να υπάρχει αιτιατή σχέση μεταξύ ενός κόμβου και του εαυτού του και επομένως δεν υφίσταται διασύνδεση μεταξύ ενός κόμβου και του εαυτού του, οπότε η αντίστοιχη τιμή του βάρους θα είναι $W_{ii} = 0$

Κατά την ανάπτυξη και κατασκευή των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων πραγματοποιείται ο καθορισμός του τύπου της συσχέτισης μεταξύ δύο κόμβων (ορισμός 3.1), καθώς επίσης του είδους της συσχέτισης (ορισμός 3.2) και του βαθμού συσχέτισης (ορισμός 3.3). Η σχεδίαση και ανάπτυξη του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου υλοποιείται από ειδικούς και έμπειρους γνώστες του εξεταζόμενου συστήματος και της λειτουργίας του.

Όταν το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο έχει αναπτυχθεί, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την περιγραφή και προσομοίωση του συστήματος, του οποίου τη συμπεριφορά μοντελοποιεί. Κάθε κόμβος αντιπροσωπεύει ένα φυσικό ή όχι στοιχείο της περιγραφόμενης συμπεριφοράς του συστήματος και η τιμή της μεταβλητής του κόμβου καθορίζεται σε σχέση με τους διασυνδεδεμένους με αυτόν υπόλοιπους κόμβους του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου. Στην υπάρχουσα βιβλιογραφία χρησιμοποιείται η ακόλουθη μέθοδος υπολογισμού της τιμής της μεταβλητής κάθε κόμβου για κάθε βήμα προσομοίωσης. Η μέθοδος αυτή λαμβάνει υπό όψιν

μόνο τις επιδράσεις από τους διασυνδεδεμένους κόμβους προκειμένου να υπολογίσει τη νέα τιμή της μεταβλητής κάθε κόμβου [8]:

$$A_i^t = f\left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N A_j^{t-1} W_{ji}\right) \quad (3.2)$$

Έτσι η τιμή της μεταβλητής του κόμβου C_i τη χρονική στιγμή t θα είναι A_i^t και εξαρτάται από τις τιμές των μεταβλητών των διασυνδεδεμένων κόμβων τη στιγμή $t-1$ πολλαπλασιασμένες με το αντίστοιχο βάρος W_{ji} , το αποτέλεσμα του πολλαπλασιασμού αθροίζεται και μια συνάρτηση συμπίεσης f το επεξεργάζεται και το μετατρέπει σε μια τιμή που ανήκει στο διάστημα $[0,1]$ στο οποίο οι μεταβλητές των N κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου παίρνουν τιμές.

3.2.2 Νέο μαθηματικό μοντέλο- προτεινόμενες νέες μοντελοποιήσεις

Στην προτεινόμενη νέα μέθοδο υπολογισμού των τιμών των μεταβλητών των κόμβων προτείνεται η χρησιμοποίηση και ενός άλλου όρου στο άθροισμα, ο οποίος θα περιλαμβάνει την προηγούμενη τιμή της μεταβλητής του υπολογιζόμενου κόμβου, ώστε να συμμετέχει άμεσα και η προηγούμενη τιμή στον καθορισμό της νέας. Η εφαρμογή της προηγούμενης τιμής της μεταβλητής κάθε κόμβου στον υπολογισμό της νέας τιμής επιδρά στη σύγκλιση του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου. Το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο οδηγείται πιο ομαλά στο επιθυμητό σημείο ισορροπίας. Ακόμη με αυτόν τον τρόπο υπολογισμού επιτυγχάνεται πιο ομαλή μετάβαση από τη μια τιμή στην άλλη, καθώς κάθε κόμβος χαρακτηρίζεται από μνήμη ενός βήματος.

$$A_i^t = f\left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N A_j^{t-1} W_{ji} + A_i^{t-1}\right) \quad (3.3)$$

Όπου A_i^{t-1} είναι η τιμή της μεταβλητής του κόμβου C_i τη χρονική στιγμή $t-1$.

Γενικευμένη μέθοδος υπολογισμού

Γενικεύοντας τη μέθοδο υπολογισμού προτείνεται η εφαρμογή ενός συντελεστή συμμετοχής στην επίδραση της προηγούμενης τιμής της μεταβλητής του κόμβου κατά τον καθορισμό της τελικής τιμής των μεταβλητών των κόμβων του συστήματος. Με τον τρόπο αυτό υπεισέρχεται ένας νέος συντελεστής δίνοντας μεγαλύτερη ευελιξία στην εξέταση προβλημάτων ευστάθειας και ελεξιμότητας του συστήματος. Οπότε ο προτεινόμενος κανόνας υπολογισμού προκύπτει από την σχέση (3.3) και θα είναι :

$$A_i^t = f\left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N A_j^{t-1} W_{ji} + \gamma A_i^{t-1}\right) \quad (3.4)$$

Ο συντελεστής γ αντιπροσωπεύει το ποσοστό συμμετοχής της προηγούμενης τιμής της μεταβλητής κάθε κόμβου στο υπολογισμό της νέας τιμής. Ο συντελεστής γ μπορεί να παίρνει τιμές στο διάστημα $0 \leq \gamma \leq 1$, ανάλογα με τον επιθυμητό βαθμό συμμετοχής στον υπολογισμό της νέας τιμής της μεταβλητής του κόμβου. Η τιμή του συντελεστή δεν είναι σταθερή και μπορεί να μεταβάλλεται μέσα στο χρόνο, δηλαδή $\gamma = \gamma(t)$. Προτείνεται κατά τη διάρκεια εκπαίδευσης του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου η συμμετοχή της προηγούμενης τιμής της μεταβλητής κάθε κόμβου να είναι μεγαλύτερη και ο συντελεστής γ να είναι κοντά στη μονάδα και με τη μετάβαση στο στάδιο μόνιμης λειτουργίας του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου ο συντελεστής γ να παίρνει τιμές κοντά στο 0.1

Συνολικός κανόνας υπολογισμού των τιμών του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Γενικεύοντας τους κανόνες υπολογισμού των τιμών των μεταβλητών των κόμβων θα χρησιμοποιηθούν πίνακες για να περιγραφεί το συνολικό μαθηματικό μοντέλο. Εάν υποθεθεί ότι το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο αποτελείται από N κόμβους τότε ο πίνακας καταστάσεων $\mathbf{A}$ θα έχει διαστάσεις $1 \times n$, ο οποίος θα περιλαμβάνει τις τιμές των N κόμβων και θα υπάρχει και ο πίνακας βαρών $\mathbf{W}$ διάστασης $n \times n$, όπου κάθε στοιχείο e_{ij} του πίνακα βαρών θα δίνει το βάρος W_{ij} της διασύνδεσης μεταξύ των κόμβων C_i και C_j .

Έτσι λοιπόν η εξίσωση (3.3) προτείνεται να γραφτεί σε μια πιο πλήρη μορφή, που περιλαμβάνει τον υπολογισμό των τιμών των μεταβλητών όλων των κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου:

$$\mathbf{A}^t = f(\mathbf{A}^{t-1}\mathbf{W} + \mathbf{A}^{t-1}) \quad (3.5)$$

Και αντίστοιχα η εξίσωση (3.4) σε μια πιο ολοκληρωμένη μορφή θα είναι

$$\mathbf{A}^t = f(\mathbf{A}^{t-1}\mathbf{W} + \gamma \mathbf{A}^{t-1}) \quad (3.6)$$

Συναρτήσεις συμπίεσης

Η συνάρτηση συμπίεσης f που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία είναι η σιγμοειδής συνάρτηση, η οποία απεικονίζει το όρισμά της στο διάστημα $[0,1]$:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda x}} \quad (3.7)$$

Όπου η παράμετρος $\lambda > 0$ καθορίζει την κύρτωση της συνεχούς σιγμοειδούς συνάρτησης f . Στη συγκεκριμένη διατριβή χρησιμοποιείται η σιγμοειδής συνάρτηση με $\lambda = 1$, η οποία δίνει πολύ καλά αποτελέσματα όπως θα φανεί από τα παραδείγματα που θα παρουσιαστούν στη συνέχεια.

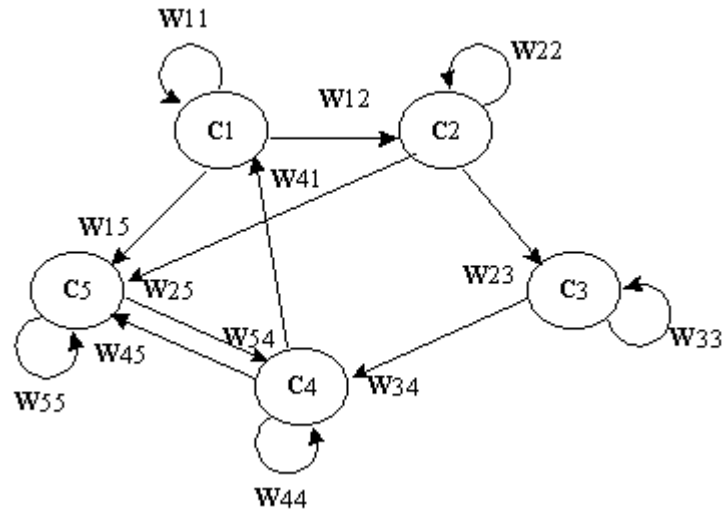
Συναρτήσεις συμπίεσης που χρησιμοποιούνται στα Νευρωνικά Δίκτυα μπορούν να εφαρμοσθούν και στην περίπτωση των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων. Η επιλογή κάθε συνάρτησης συμπίεσης εξαρτάται από την εφαρμογή, η οποία καθορίζει και το διάστημα, στο οποίο η μεταβλητή κάθε κόμβου μπορεί να παίρνει τιμές. Η ακόλουθη συνάρτηση που μετασχηματίζει το περιεχόμενό της στο διάστημα $[-1,1]$ μπορεί ακόμη να χρησιμοποιηθεί σε κάποιες συγκεκριμένες εφαρμογές:

$$f(x) = \tanh(x) \quad (3.8)$$

3.2.3. Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο με αυτοτροφοδότηση των κόμβων.

Μια βασική παραδοχή στην αρχική θεώρηση των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων είναι ότι κανένας κόμβος του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου δεν μπορεί να έχει σχέση αιτίας και αποτελέσματος με τον εαυτό του, δηλαδή η τιμή της μεταβλητής ενός κόμβου δεν επηρεάζει

την τιμή της μεταβλητής του ίδιου κόμβου και επομένως το βάρος w_{ii} θα είναι μηδέν [34]. Επομένως στον πίνακα βαρών $\mathbf{W}$ όλα τα διαγώνια στοιχεία θα είναι μηδενικά. Στην μέχρι τώρα θεώρηση, τα μαθηματικά μοντέλα των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων που έχουν αναπτυχθεί στηρίζονται στη βασική αυτή παραδοχή.



Σχήμα 3.2. Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο με αυτοτροφοδότηση

Ο πίνακας βαρών για το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο του σχήματος 3.2, χωρίς αυτοτροφοδότηση είναι :

$$\mathbf{W} = \begin{pmatrix} 0 & w_{12} & 0 & 0 & w_{15} \\ 0 & 0 & w_{23} & 0 & w_{25} \\ 0 & 0 & 0 & w_{34} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & w_{45} \\ 0 & 0 & w_{54} & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Με την προτεινόμενη χρησιμοποίηση της προηγούμενης τιμής κάθε κόμβου, στην μέθοδο υπολογισμού 3.3, ουσιαστικά υπεισέρχεται απευθείας ανατροφοδότηση στον υπολογισμό της τιμής κάθε κόμβου. Οπότε χρησιμοποιώντας τη γενικευμένη εξίσωση (3.6) με απλή παραγοντοποίηση προκύπτει:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{A}^t &= f[(\mathbf{A}^{t-1}\mathbf{W} + \gamma\mathbf{A}^{t-1})] \quad \text{ή} \\
 \mathbf{A}^t &= f[\mathbf{A}^{t-1}(\mathbf{W} + \gamma\mathbf{I})] \quad \text{ή} \\
 \mathbf{A}^t &= f(\mathbf{A}^{t-1}\mathbf{W}^{new})
 \end{aligned} \tag{3.9}$$

Όπου ο πίνακας βαρών, $\mathbf{W}^{new}$ έχει μη μηδενικά διαγώνια στοιχεία, τα οποία θα είναι γ , ενώ όλα τα υπόλοιπα στοιχεία του είναι τα ίδια με του πίνακα βαρών $\mathbf{W}$. Ο πίνακας βαρών $\mathbf{W}^{new}$ στη θα είναι :

$$\mathbf{W} = \begin{pmatrix} W_{11} & W_{12} & 0 & 0 & W_{15} \\ W_{22} & W_{23} & 0 & W_{25} \\ 0 & W_{33} & W_{34} & 0 \\ 0 & 0 & W_{44} & W_{45} \\ 0 & 0 & W_{54} & W_{55} \end{pmatrix}$$

Στη σχέση (3.9) η διαγώνιος του πίνακα βαρών του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου δεν είναι μηδέν, και το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο θα έχει τη γραφική απεικόνιση του σχήματος 3.2 και θα ισχύει $W_{ii} = \gamma$.

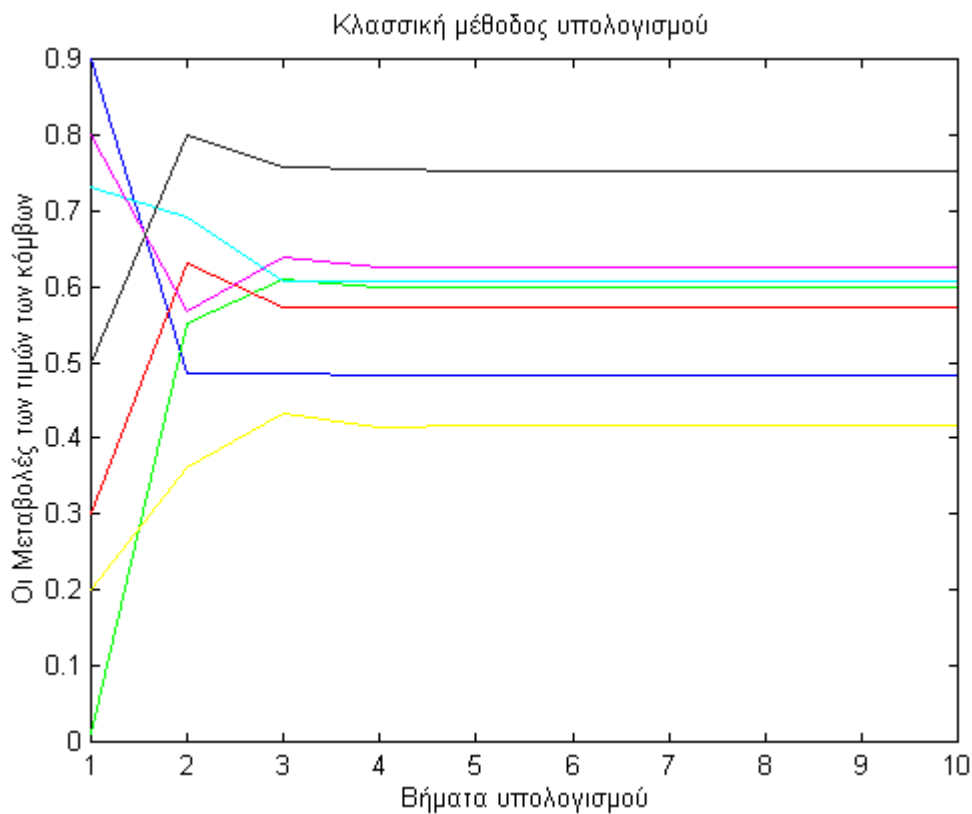
Σύγκριση της προτεινόμενης μοντελοποίησης με τις υπάρχουσες στη βιβλιογραφία

Η προτεινόμενη μοντελοποίηση των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων με αυτοτροφοδότηση των κόμβων διαθέτει πλεονεκτήματα που βελτιώνουν τα μοντέλα των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων. Προτείνεται η χρησιμοποίηση ενός βάρους αυτοτροφοδότησης σε κάθε κόμβο και με αυτό τον τρόπο σε κάθε βήμα υπολογισμού των τιμών των μεταβλητών των κόμβων λαμβάνεται υπόψη η προηγούμενη τιμή της μεταβλητής κάθε κόμβου, έτσι ώστε το σύστημα να διαθέτει μνήμη ενός βήματος. Θα συγκριθούν τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθόδου υπολογισμού με αυτοτροφοδότηση και με τη συμβατική θεώρηση των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων. Θα χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα του παραδείγματος που έχει παρουσιασθεί στην εργασία [18], όπου ο πίνακας βαρών είναι :

$$W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.6 & 0.9 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0.9 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0.9 & 0.9 & 0 \\ 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Εφαρμόζοντας την πρώτη μεθοδολογία υπολογισμού των τιμών των μεταβλητών των κόμβων, με χρήση της σχέσης 3.2 και για το ακόλουθο αρχικό διάνυσμα των τιμών των μεταβλητών των κόμβων προκύπτουν οι τιμές των μεταβλητών των κόμβων που παρουσιάζονται στον πίνακα 3.1:

$$A_0 = [0.90 \ 0.01 \ 0.30 \ 0.73 \ 0.80 \ 0.20 \ 0.50]$$



Σχήμα 3.3 Οι μεταβολές των τιμών των μεταβλητών των κόμβων με χρήση της κλασσικής μεθοδολογίας υπολογισμού.

Πίνακας 3.1 Οι τιμές των μεταβλητών των κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου υπολογισμένες με την κλασσική μεθοδολογία για 10 βήματα υπολογισμού

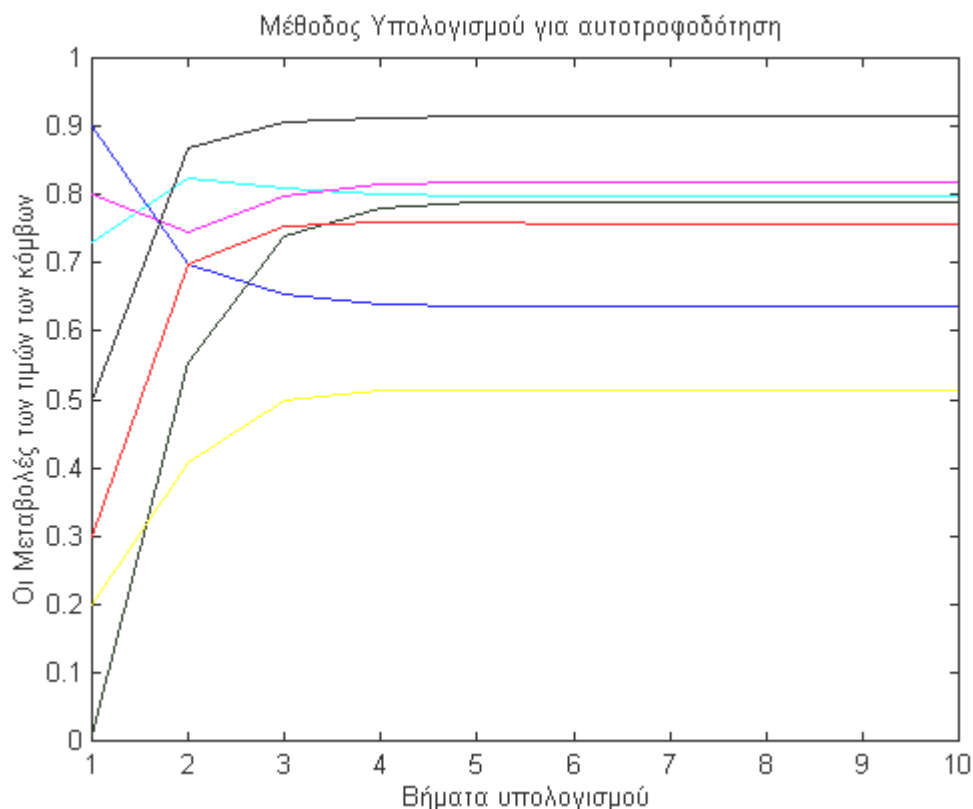
Βήμα	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
1	0.900	0.010	0.3	0.73	0.8	0.2	0.5
2	0.4853	0.5523	0.6318	0.6921	0.5671	0.3612	0.7985
3	0.4867	0.6088	0.5723	0.6075	0.6384	0.4327	0.7564
4	0.4828	0.5988	0.5725	0.6078	0.6260	0.4139	0.7542
5	0.4839	0.5989	0.5719	0.6069	0.6260	0.4165	0.7522
6	0.4837	0.5988	0.5721	0.6072	0.6259	0.4164	0.7521
7	0.4837	0.5988	0.5721	0.6072	0.6259	0.4164	0.7521
8	0.4837	0.5988	0.5721	0.6072	0.6259	0.4164	0.7521
9	0.4837	0.5988	0.5721	0.6072	0.6259	0.4164	0.7521
10	0.4837	0.5988	0.5721	0.6072	0.6259	0.4164	0.7521

Στο αυτοτροφοδοτούμενο μοντέλο χρησιμοποιείται η εξίσωση (3.9) για τον υπολογισμό των τιμών των μεταβλητών των κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου σε κάθε βήμα. Ο πίνακας βαρών του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου έχει μη μηδενική διαγώνιο. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα τέθηκε το βάρος αυτοτροφοδότησης ίσο με τη μονάδα για όλους τους κόμβους του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου:

$$W = \begin{matrix} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \\ 10 \end{matrix} & \begin{matrix} 0 & 0.6 & 0.9 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 1 & 0 & 0.9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0.9 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -0.9 & 0.9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 1 \end{matrix} \end{matrix}$$

Πίνακας 3.2 Οι τιμές των μεταβλητών των κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου υπολογισμένες για την περίπτωση αυτοτροφοδότησης για 10 βήματα υπολογισμού

Βήμα	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
1	0.900	0.010	0.3	0.73	0.8	0.2	0.5
2	0.6987	0.5548	0.6985	0.8235	0.7446	0.4085	0.8673
3	0.6529	0.7396	0.7536	0.8103	0.7979	0.4996	0.9071
4	0.6404	0.7802	0.7586	0.8019	0.8140	0.5134	0.9133
5	0.6375	0.7877	0.7582	0.7987	0.8171	0.5137	0.9143
6	0.6369	0.7889	0.7578	0.7978	0.8175	0.5132	0.9144
7	0.6369	0.7891	0.7577	0.7975	0.8175	0.5129	0.9144
8	0.6369	0.7891	0.7576	0.7975	0.8175	0.5129	0.9143
9	0.6369	0.7891	0.7576	0.7975	0.8175	0.5129	0.9143
10	0.6369	0.7891	0.7576	0.7975	0.8175	0.5129	0.9143



Σχήμα 3.4 Οι μεταβολές των τιμών των μεταβλητών των κόμβων για 10 βήματα υπολογισμού για την περίπτωση της αυτοτροφοδότησης και $\gamma = 1$.

Συγκρίνοντας τα αριθμητικά αποτελέσματα και τα αντίστοιχα διαγράμματα για τις δύο μεθόδους υπολογισμού παρατηρείται ότι στην κλασική μέθοδο και στην περίπτωση αυτοτροφοδότησης οι τιμές των μεταβλητών των κόμβων φθάνουν στις αντίστοιχες τελικές περιοχές σύγκλισης μετά από 6 και 8 βήματα προσομοίωσης.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της μεθοδολογίας με ανατροφοδότηση είναι ότι το σύστημα πλησιάζει την επιθυμητή περιοχή ισορροπίας (π.χ. τιμές για το C1 μεγαλύτερες από το 0.6) από τη δεύτερη επανάληψη, που αντιστοιχεί στο 40% του συνολικού αριθμού των βημάτων) ενώ με την πρώτη μεθοδολογία πλησιάζει απλά χωρίς να φτάνει την επιθυμητή περιοχή ισορροπίας.

Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτοτροφοδότησης είναι η επιλογή των βαρών αυτοτροφοδότησης. Παρέχεται στο χρήστη η δυνατότητα χρήσης διαφορετικών βαρών αυτοτροφοδότησης από κόμβο σε κόμβο ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του καθενός κόμβου αυξάνοντας έτσι την ευκαμψία του μοντέλου.

Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι το γεγονός ότι η επιλογή των βαρών αυτοτροφοδότησης μπορεί να γίνει κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος, μετά την περίοδο εκπαίδευσης του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου. Η επιλογή των βαρών αυτοτροφοδότησης είναι απλή και παρέχει τη δυνατότητα καθορισμού της περιοχής ισορροπίας στην οποία συγκλίνει το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο με την επιλογή κατάλληλων βαρών αυτοτροφοδότησης. Ενώ στην περίπτωση των βαρών των διασυνδέσεων, οι τιμές τους καθορίζονται κατά τη περίοδο ανάπτυξης και εκπαίδευσης του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου και στη συνέχεια δεν αλλάζουν.

3.3 Μέθοδοι δημιουργίας και ανάπτυξης.

Η δημιουργία και ανάπτυξη ενός Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου, που μοντελοποιεί ένα σύστημα βασίζεται πρωταρχικά σε ανθρώπους ειδικούς, που είναι γνώστες της λειτουργίας και συμπεριφοράς του κάθε συστήματος. Οι έμπειροι ειδικοί περιγράφουν τη συμπεριφορά ενός συστήματος περιγράφοντάς το, ως ένα σύνολο εννοιών και χαρακτηριστικών, στα μέλη του οποίου θα αντιστοιχίσουν τους κόμβους του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου. Ακόμη θα περιγράψουν τις σχέσεις, που υφίστανται μεταξύ των στοιχείων του συνόλου, ως σχέσεις αιτίας και αποτελέσματος μεταξύ των κόμβων του Δικτύου. Με αυτό τον τρόπο η υπάρχουσα ανθρώπινη γνώση και εμπειρία για το μοντέλο και τη δυναμική συμπεριφορά του συστήματος μετασχηματίζεται σε ένα πλέγμα από αλληλοσυνδεόμενους κόμβους, που αποτελούν το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο. Οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν τα χαρακτηριστικά του συστήματος, τις καταστάσεις, τις μεταβλητές, τις εξόδους, εισόδους, τα γεγονότα, τις ενέργειες, τους στόχους και τις τάσεις του συστήματος.

Η διαδικασία ανάπτυξης ενός Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου από τους ειδικούς εμπειρογνώμονες, έχει κωδικοποιηθεί και προτείνεται να εφαρμόζεται ένας αλγόριθμος επιλογής που υλοποιείται σε τέσσερα στάδια:

Αλγόριθμος επιλογής και δημιουργίας Ασαφών Γνωστικών Δικτύων

- **Στάδιο 1**

Αρχικά, κάθε ειδικός, καθορίζει το πλήθος και το είδος των κόμβων που θα αποτελέσουν το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο και μπορούν να περιγράψουν τα κύρια χαρακτηριστικά του συστήματος.

- **Στάδιο 2**

Στο στάδιο αυτό ο κάθε ειδικός καθορίζει την σχέση αιτίας και αποτελέσματος, που υπάρχει μεταξύ των κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου. Πρώτα από όλα θα εξετάσει όλους τους κόμβους και θα περιγράψει μεταξύ ποιών κόμβων υπάρχει συσχέτιση, ποιος κόμβος επηρεάζει ποιόν, δηλαδή από ποιόν κόμβο ξεκινά και σε ποιόν καταλήγει το βέλος διασύνδεσης, σύμφωνα με τον ορισμό 3.1.

- **Στάδιο 3**

Στο τρίτο στάδιο, ο κάθε ειδικός, καθορίζει το είδος της συσχέτισης μεταξύ δύο κόμβων σύμφωνα με τον ορισμό 3.2. Έτσι λοιπόν ο κάθε ειδικός καθορίζει μεταξύ δύο κόμβων C_i και C_j σχέση θετικής αιτιότητας $W_{ij} > 0$, όταν η αύξηση στην τιμή της μεταβλητής του κόμβου C_i προκαλεί αύξηση στην τιμή της μεταβλητής του κόμβου C_j και αντίστοιχα η μείωση της τιμής της μεταβλητής του πρώτου κόμβου οδηγεί σε μείωση της τιμής της μεταβλητής του δεύτερου. Μεταξύ δύο κόμβων μπορεί να υπάρχει αρνητική αιτιότητα $W_{ij} < 0$ όταν η αύξηση στην τιμή της μεταβλητής του κόμβου C_i οδηγεί σε μείωση της τιμής της μεταβλητής του κόμβου C_j και αντίστοιχα η μείωση της τιμής της μεταβλητής του κόμβου C_i προκαλεί αύξηση στην τιμή της μεταβλητής του κόμβου C_j . Είτε δεν υπάρχει επίδραση του κόμβου C_i προς τον κόμβο C_j οπότε $W_{ij} = 0$.

- **Στάδιο 4**

Το επόμενο βήμα είναι ο καθορισμός του βαθμού συσχέτισης μεταξύ δύο κόμβων δηλαδή της τιμής του βάρους W_{ij} σύμφωνα με τον ορισμό 3.3.

Στη συνέχεια εξετάζονται και αναπτύσσονται νέες μέθοδοι ανάπτυξης που βελτιώνουν τη μεθοδολογία σχεδίασης και ανάπτυξης ενός Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου και επιτρέπουν την εφαρμογή τους στην περιοχή της μοντελοποίησης και ελέγχου συστημάτων και ιδιαίτερα σε περιπτώσεις επιβλέποντος ελέγχου. Συνοπτικά, ερευνήθηκαν και προτείνονται τέσσερις νέες ολοκληρωμένες μεθοδολογίες κατασκευής και ανάπτυξης Ασαφών Γνωστικών Δικτύων.

3.3.1 Μέθοδος ανάπτυξης με προσδιορισμό Αριθμητικών τιμών για τα βάρη των διασυνδέσεων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου [J6]

Η πρώτη περίπτωση που έχει εξετασθεί ακολουθεί την κλασσική μεθοδολογία ανάπτυξης Ασαφών Γνωστικών Δικτύων [64] με νέες σημαντικές βελτιώσεις και έναν νέο ολοκληρωμένο αλγόριθμο ανάπτυξης. Κατά τη συγκεκριμένη μεθοδολογία ακολουθούνται τα στάδια ανάπτυξης του αλγορίθμου επιλογής και κατά το 4^ο στάδιο ανάπτυξης, κάθε ειδικός προτείνει συγκεκριμένες αριθμητικές τιμές για βάρος κάθε διασύνδεσης.

Με αυτή τη μέθοδο ανάπτυξης απαιτείται η ύπαρξη μιας ομάδας εμπειρογνομόνων για να κατασκευάσει το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο. Συγκεντρώνονται όλοι οι ειδικοί μαζί και τους ζητείται να περιγράψουν τους κύριους παράγοντες που θα αντιπροσωπευθούν στο Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο. Με αυτό τον τρόπο όλοι μαζί οι M ειδικοί καθορίζουν το πλήθος N των κόμβων, το είδος, καθώς και το τι αντιπροσωπεύει ο καθένας (στάδιο 1).

Στη συνέχεια κάθε ειδικός ξεχωριστά περιγράφει τις διασυνδέσεις μεταξύ των κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου σύμφωνα με τον ορισμό 3.1, καθορίζει το είδος της κάθε διασύνδεσης σύμφωνα με τον ορισμό 3.2 και τέλος δίνει μια αριθμητική τιμή σε κάθε βάρος σύμφωνα με τον ορισμό 3.3 [C1].

Με την προτεινόμενη διαδικασία η ομάδα των ειδικών δημιουργεί ένα σύνολο από Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα. Όλα τα δίκτυα έχουν τους ίδιους κόμβους, αλλά διαφορετικά είδη διασυνδέσεων και διαφορετικές τιμές βαρών. Οπότε απαιτείται η χρήση μιας μεθόδου που θα ενοποιήσει όλα αυτά τα ανεξάρτητα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα σε ένα επαυξημένο Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο. Ουσιαστικά απαιτείται ο υπολογισμός του συνολικού πίνακα βαρών $\mathbf{W}$, ο οποίος περιλαμβάνει τις τιμές των βαρών όλων των διασυνδέσεων μεταξύ των N κόμβων και χρησιμοποιείται για την εφαρμογή των μεθόδων υπολογισμού (εξισώσεις 3.5 και 3.6). Μια πρώτη πρόταση είναι η άθροιση των αντιστοίχων βαρών των διασυνδέσεων κάθε κόμβου [C2] και ο υπολογισμός του συνολικού πίνακα βαρών :

$$\mathbf{W} = f\left(\sum_{k=1}^M \mathbf{W}_k\right) \quad (3.10)$$

Όπου $\mathbf{W}$ είναι ο συνολικός πίνακας των βαρών των διασυνδέσεων του νέου επαυξημένου Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου, που θα προκύψει από τον συνδυασμό όλων των επιμέρους Ασαφών Γνωστικών Δικτύων, $\mathbf{W}_k$ είναι ο πίνακας βαρών των διασυνδέσεων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου που ο κάθε k από τους M ειδικούς σχεδίασε, και f είναι μια συνάρτηση κατωφλίου, όπως η σιγμοειδής, η οποία εφαρμόζεται, ώστε το άθροισμα των

βαρών των διασυνδέσεων να απεικονισθεί στη συνέχεια στο διάστημα $[-1,1]$, όπου τα βάρη των διασυνδέσεων παίρνουν τιμές.

Στα πλαίσια της διατριβής χρησιμοποιείται η μέθοδος του μέσου όρου για τον υπολογισμό του βάρους μιας διασύνδεσης του επαυξημένου Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου, χρησιμοποιώντας τα προτεινόμενα βάρη για κάθε διασύνδεση. Με την χρήση του μέσου όρου εξασφαλίζεται ισότιμη συμμετοχή όλων των βαρών για κάθε διασύνδεση για όλους τους ειδικούς και ο υπολογισμός του συνολικού πίνακα βαρών είναι:

$$\mathbf{W} = \frac{\sum_{k=1}^M \mathbf{w}_k}{M} \quad (3.11)$$

Βαθμός Αξιοπιστίας των ειδικών

Σε αυτό το σημείο εισάγεται στη μεθοδολογία ανάπτυξης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων και μια μέθοδος καθορισμού της αξιοπιστίας των ειδικών. Δεν είναι απαραίτητο όλοι οι ειδικοί να έχουν την ίδια βαρύτητα και αξιοπιστία στον υπολογισμό του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου. Ενδεχομένως κάποιοι ειδικοί να έχουν περισσότερη εμπειρία και θα πρέπει οι προτάσεις τους να ληφθούν σε μεγαλύτερο βαθμό υπ' όψιν, είτε μπορεί κάποιοι άλλοι να μην θέλουν να σχεδιάσουν ένα αντικειμενικό Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο και να παραπλανούν κατά την κατασκευή του, οπότε θα πρέπει οι προτάσεις τους να θεωρηθούν λανθασμένες. Για αυτούς τους λόγους εισάγεται η έννοια του βάρους αξιοπιστίας που χαρακτηρίζει καθέναν ειδικό. Έτσι το προτεινόμενο Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο από κάθε ειδικό πολλαπλασιάζεται με ένα μη αρνητικό βάρος αξιοπιστίας b_k που χαρακτηρίζει τον κάθε ειδικό. Το βάρος αξιοπιστίας παίρνει τιμές στο διάστημα $0 < b_k \leq 1$, όπου η μέγιστη αξιοπιστία είναι ίση με τη μονάδα. Οπότε οι εξισώσεις 3.10 και 3.11 γράφονται αντίστοιχα:

$$\mathbf{W} = f\left(\sum_{k=1}^M b_k \mathbf{w}_k\right) \quad (3.12)$$

$$\text{και} \quad \mathbf{W} = \frac{\sum_{k=1}^M b_k \mathbf{w}_k}{M} \quad (3.13)$$

Το βάρος αξιοπιστίας b_k είναι το βάρος του k ου ειδικού από τους συνολικά M ειδικούς που συμμετέχουν στην ανάπτυξη του επαυξημένου Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου. Σε αυτή την περίπτωση ένας άλλος μηχανισμός θα πρέπει να δημιουργηθεί, για να καθορίζει τον τρόπο με

το οποίο θα αντιστοιχίζονται τα βάρη αξιοπιστίας σε καθένα ειδικό και το πώς θα μειώνεται η αξιοπιστία όσων προτείνουν λανθασμένες τιμές για τα βάρη των διασυνδέσεων.

Ολοκληρωμένη μεθοδολογία ανάπτυξης

Συνδυάζοντας τα όσα περιγράφηκαν μέχρι τώρα θα αναπτυχθεί και θα παρουσιασθεί μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία ανάπτυξης Ασαφών Γνωστικών Δικτύων, η οποία δίνει λύσεις στα τεθέντα προβλήματα. Η ολοκληρωμένη μεθοδολογία ανάπτυξης παρουσιάζεται με τη μορφή ενός αλγορίθμου που συνθέτει τα ανεξάρτητα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα και συγχρόνως αξιολογεί τους ειδικούς που συμμετέχουν στη διαδικασία μεταβάλλοντας τα βάρη αξιοπιστίας τους.

Παραδοχή 1

Ο αλγόριθμος ανάπτυξης ξεκινά από τη βασική παραδοχή ότι όλοι οι ειδικοί συναποφασίζουν και καθορίζουν μαζί τους κόμβους του συνολικού Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου κατά το στάδιο 1. Οπότε το πλήθος και είδος των κόμβων είναι το ίδιο για όλους τους ειδικούς.

Παραδοχή 2

Όλοι οι ειδικοί θεωρούνται ότι αρχικά έχουν το ίδιο βάρος αξιοπιστίας ίσο με τη μονάδα.

Προτεινόμενος Αλγόριθμος Ανάπτυξης

Βήμα 1: Για όλους τους M ειδικούς τίθεται βάρος αξιοπιστίας $b_k = 1$

Βήμα 2: Οι M ειδικοί ακολουθούν το στάδιο 1 του αλγορίθμου επιλογής και σχεδιάζουν ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο που αποτελείται από N κόμβους.

Βήμα 3: Κάθε ένας ειδικός ξεχωριστά ακολουθεί τους ορισμούς 3.1, 3.2 και 3.3 και σχεδιάζει τις αντίστοιχες διασυνδέσεις προτείνοντας αριθμητικές τιμές για τα βάρη τους. Έτσι για κάθε διασύνδεση προτείνονται M βάρη ένα από κάθε ειδικό.

Βήμα 4: Για κάθε διασύνδεση (από C_i εις C_j) εξετάζονται τα M βάρη w_{ij}^k τα οποία κάθε k_{th} από τους M ειδικούς έχει προτείνει και υπολογίζεται το πλήθος των βαρών της διασύνδεσης με το ίδιο πρόσημο.

Βήμα 5: EAN

υπάρχουν βάρη w_{ij}^k με διαφορετικό πρόσημο και ο αριθμός των βαρών με το ίδιο πρόσημο είναι μικρότερος από $\pi * M$

TOTE

ζήτησε από τους ειδικούς να προτείνουν νέα βάρη για αυτή τη διασύνδεση και πήγαινε στην αρχή του βήματος 4.

ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ

λαμβάνονται υπ' όψιν μόνο τα βάρη της διασύνδεσης με το ίδιο πρόσημο (τα οποία ανήκουν στη μεγαλύτερη ομάδα), θεωρώντας ότι δεν υπάρχουν άλλα βάρη ενώ συγχρόνως τιμωρούνται οι ειδικοί που διάλεξαν βάρος με λάθος πρόσημο και μειώνεται η αξιοπιστία των αντίστοιχων ειδικών $b_k = \mu_1 * b_k$

Βήμα 6 : Για όλα τα βάρη της διασύνδεσης με το ίδιο πρόσημο, υπολογίζεται η μέση τιμή

$$w_{ij}^{ave} = \frac{\sum_{k=1}^M b_k w_{ij}^k}{M}$$

Βήμα 7: Για κάθε βάρος w_{ij}^k της διασύνδεσης εξετάζεται η απόστασή του από το μέσο όρο των βαρών της διασύνδεσης

EAN

$$|w_{ij}^{ave} - w_{ij}^k| > \omega_1$$

TOTE

το βάρος w_{ij}^k της διασύνδεσης απέχει αρκετά από τη μέση τιμή των βαρών, οπότε ξαναγύρνα στο Βήμα 6 και υπολόγισε τη μέση τιμή των βαρών χωρίς το βάρος w_{ij}^k . Ακόμη μείωσε την αξιοπιστία του k_{th} ειδικού που το πρότεινε κατά μ_2 έτσι ώστε $b_k = \mu_2 * b_k$

Βήμα 8: EAN

έχουν δεν έχουν εξετασθεί όλες οι διασυνδέσεις και υπολογισθεί οι νέες τιμές των βαρών των διασυνδέσεων πήγαινε στο βήμα 4.

ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ

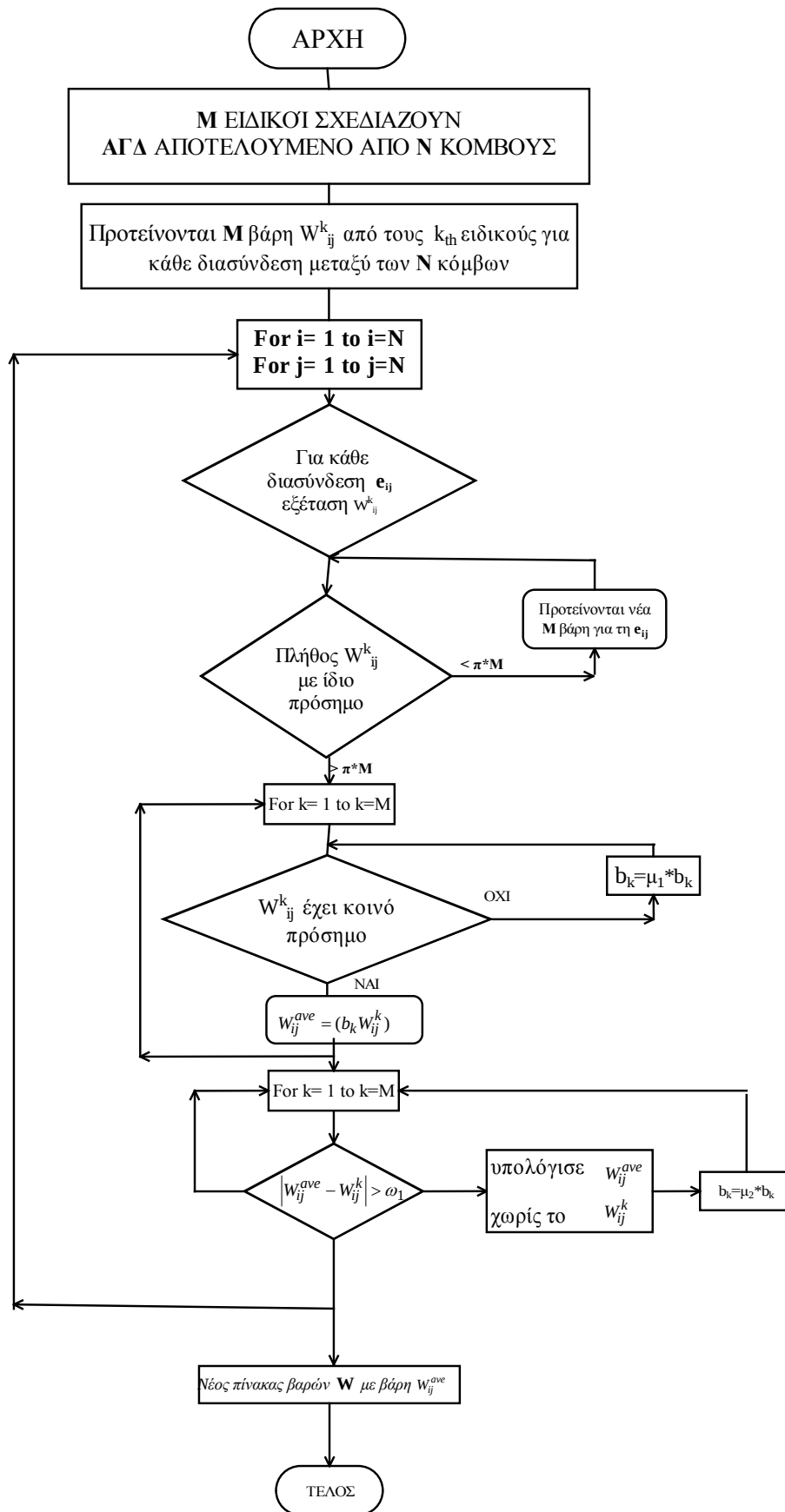
κατασκευάζεται ο νέος πίνακας βαρών $\mathbf{W}$ με στοιχεία e_{ij} τα βάρη w_{ij}^{ave}

ΤΕΛΟΣ

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος για κάθε διασύνδεση του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου συγκεντρώνει όλα τα βάρη που έχουν προταθεί, υπολογίζει τη μέση τιμή και δίνει το τελικό βάρος της διασύνδεσης. Πρώτα από όλα σε κάθε διασύνδεση ελέγχεται το πρόσημο του βάρους σύμφωνα με τον ορισμό 3.2. Εάν για μια διασύνδεση το πλήθος των προτεινόμενων βαρών με το ίδιο πρόσημο είναι μικρότερο ενός ποσοστού λ_1 , αυτό σημαίνει ότι δεν είναι ξεκάθαρη η ύπαρξη θετικής ή αρνητικής αιτιότητας μεταξύ των δύο κόμβων. Οπότε ο αλγόριθμος δεν μπορεί να βγάλει ασφαλές συμπέρασμα και ζητείται από τους ειδικούς να προτείνουν ξανά το πρόσημο των βαρών της συγκεκριμένης διασύνδεσης σύμφωνα με τον ορισμό 3.2. Σε αυτό το βήμα γίνεται ένας πρώτος έλεγχος της αξιοπιστίας των ειδικών, για τους ειδικούς, που προτείνουν βάρη με διαφορετικό πρόσημο από την πλειοψηφία, μειώνεται η αξιοπιστία τους κατά ένα ποσοστό μ_1 και το αντίστοιχο βάρος διασύνδεσης που προτείνουν δεν χρησιμοποιείται στον υπολογισμό.

Στη συνέχεια, για τη συγκεκριμένη διασύνδεση εξετάζονται οι αριθμητικές τιμές των βαρών με το ίδιο πρόσημο. Υπολογίζεται ο μέσος όρος των βαρών και συγκρίνεται με το βάρος, που κάθε ειδικός πρότείνει. Όταν η τιμή ενός προτεινόμενου βάρους διαφέρει από την υπολογιζόμενη μέση τιμή κατά μια καθορισμένη ποσότητα ω_1 , υπολογίζεται ξανά η μέση τιμή των βαρών χωρίς να ληφθεί η υπ' όψιν το συγκεκριμένο βάρος και για τον αντίστοιχο ειδικό που το πρότείνει μειώνεται η αξιοπιστία του κατά ένα ποσοστό μ_2 .

Η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιείται για όλες τις διασυνδέσεις μεταξύ των N κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου.



Σχήμα 3.5. Το διάγραμμα ροής του προτεινόμενου αλγορίθμου ανάπτυξης

Στη συνέχεια θα εξετασθεί ένα παράδειγμα για παρουσιάσει την εφαρμογή του αλγορίθμου σε μια γενική περίπτωση επιλογής του βάρους μιας διασύνδεσης.

Παράδειγμα 3.1

Ο αλγόριθμος αρχίζει από το βήμα 1, ολοκληρώνονται τα 3 πρώτα βήματα του αλγορίθμου και φτάνει στο βήμα 4, όπου γίνεται η επιλογή του βάρους για κάθε διασύνδεση. Η ομάδα των ειδικών αποτελείται από 6 άτομα και για τη διασύνδεση από τον κόμβο C_i προς τον κόμβο C_j προτείνουν τα ακόλουθα βάρη:

$$w_{ij} = [-0.5, 0.6, 0.7, 0.66, 0.65, 0.25]$$

Για το συγκεκριμένο παράδειγμα οι ζητούμενες απαιτήσεις για το πλήθος των βαρών με το ίδιο πρόσημο είναι $\pi = 80\%$. και ακόμη ζητείται η απόσταση κάθε προτεινόμενου βάρους διασύνδεσης από την υπολογιζόμενη μέση τιμή των βαρών να είναι μικρότερη του $\omega_1 = 0.2$. Ακόμη κάθε φορά που κάποιος ειδικός αποτυγχάνει να προτείνει το βάρος μιας διασύνδεσης να έχει το ίδιο πρόσημο με τα υπόλοιπα και με μία προκαθορισμένη ανοχή μειώνεται το βάρος αξιοπιστίας του ειδικού κατά $\mu_1 = \mu_2 = 0.9$ σε σχέση με την προηγούμενη τιμή του.

Σύμφωνα με το βήμα 4 του αλγορίθμου υπολογίζεται το πλήθος των βαρών της διασύνδεσης με το ίδιο πρόσημο. Υπάρχει ένα αρνητικό βάρος και 5 θετικά βάρη. Στο βήμα 5 συγκρίνονται το πλήθος των βαρών με το ίδιο πρόσημο. Η πλειονότητα των ειδικών έχει προτείνει βάρη με θετικό πρόσημο και ικανοποιείται η απαίτηση για να υπάρχουν τουλάχιστον $\pi * M = 0.8 * 6 = 4.8$ βάρη με το ίδιο πρόσημο.

Σύμφωνα με το δεύτερο σκέλος του βήματος 4 θα πρέπει να μειωθεί η αξιοπιστία του ειδικού, που πρότείνει το βάρος $W_{ij}^1 = -0.5$ με το λάθος πρόσημο, που είναι ο πρώτος ειδικός για τον οποίο τίθεται νέο βάρος αξιοπιστίας $b_1 = \mu_1 * b_1 = 0.9b_1 = 0.9$. Και το αντίστοιχο βάρος W_{ij}^1 δεν συμμετέχει πλέον στον υπολογισμό της μέσης τιμής.

Στο βήμα 6 του αλγορίθμου υπολογίζεται η μέση τιμή των βαρών της διασύνδεσης $W_{ij}^{ave} = 0.572$ από τα υπόλοιπα πέντε βάρη της διασύνδεσης. Η μέση τιμή των βαρών συγκρίνεται με καθένα από τα εναπομένοντα 5 βάρη και εξετάζεται εάν η απόστασή τους είναι μεγαλύτερη του $\omega_1 = 0.2$. Κατά τη σύγκριση προκύπτει ότι το προτεινόμενο από τον έκτο ειδικό βάρος της διασύνδεσης με τιμή $W_{ij}^6 = 0.25$ απέχει περισσότερο από την

προκαθορισμένη απόσταση από τη μέση τιμή των βαρών της διασύνδεσης. Οπότε το βάρος W_{ij}^6 της διασύνδεσης δεν συμπεριλαμβάνεται στον υπολογισμό και μειώνεται η αξιοπιστία του αντίστοιχου ειδικού $b_6 = \mu_2 * b_6 = 0.9b_6 = 0.9$.

Τέλος, υπολογίζεται ξανά η μέση τιμή του βάρους της διασύνδεσης από τα εναπομείναντα τέσσερα βάρη και τελικά προκύπτει $W_{ij}^{ave} = 0.652$ για τη συγκεκριμένη διασύνδεση.

Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για τα βάρη όλων των διασυνδέσεων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου. Υπολογίζονται οι τιμές των βαρών για όλες τις διασυνδέσεις του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου και κατασκευάζεται ο πίνακας βαρών $\mathbf{W}$ για τους N κόμβους του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου.

Συμπεράσματα

Η συγκεκριμένη μεθοδολογία δημιουργίας ενός Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου έχει το σημαντικό μειονέκτημα, ότι ζητείται από τους ειδικούς να δώσουν μια αριθμητική τιμή για το βάρος κάθε διασύνδεσης. Δηλαδή, οι ειδικοί περιγράφουν μια σχέση αιτιότητας μεταξύ δύο στοιχείων ποσοτικά, ενώ με την εμπειρία τους, έχουν καταγράψει ποιοτικά τη διασύνδεση μεταξύ δύο κόμβων. Οι ειδικοί έχουν μια ποιοτική αίσθηση της επίδρασης της μεταβολής της τιμής της μεταβλητής του ενός κόμβου στον καθορισμό της τιμής της μεταβλητής του άλλου κόμβου.

Στην ενότητα αυτή προτάθηκε η εφαρμογή μιας καινούργιας μεθοδολογίας συνδυασμού των βαρών των διασυνδέσεων που προτείνει μια ομάδα ειδικών, η οποία στηρίζεται στον υπολογισμό της μέσης τιμής των προτεινόμενων των βαρών για κάθε διασύνδεση και στη συνέχεια προκύπτει ο νέος πίνακας βαρών για να χρησιμοποιηθεί στις μεθόδους υπολογισμού 3.6 και 3.9.

Ακόμη χρησιμοποιήθηκαν βάρη αξιοπιστίας για τον καθένα ειδικό που συμμετέχει στη διαδικασία και εισήχθηκε μια μεθοδολογία αποτίμησης της αξιοπιστίας κάθε ειδικού αυξάνοντας αντίστοιχα την αξιοπιστία της μεθόδου.

Τέλος περιγράφηκε ένας γενικευμένος αλγόριθμος ανάπτυξης Ασαφών Γνωστικών Δικτύων, ο οποίος μπορεί να εφαρμοσθεί άμεσα. Με τον προτεινόμενο αλγόριθμο, επιτυγχάνεται αντιπροσωπευτικότητα στην τελική τιμή του βάρους, καθώς επιλέγεται ο μέσος

όρος των βαρών της διασύνδεσης και ακόμη λαμβάνεται υπ' όψιν η αξιοπιστία των ειδικών. Είναι ίσως η πρώτη φορά που γίνεται μια τόσο ολοκληρωμένη και αναλυτική περιγραφή των βημάτων που θα πρέπει να ακολουθήσουν οι ειδικοί για να αναπτύξουν ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο.

3.3.2 Προσδιορισμός των τιμών των βαρών των διασυνδέσεων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου με χρήση Λεκτικών μεταβλητών [J6]

Μια νέα μέθοδος ανάπτυξης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων προτείνεται και περιγράφεται σε αυτή την ενότητα. Όπως επισημάνθηκε προηγουμένως ένα σημαντικό μειονέκτημα κατά την ανάπτυξη του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου είναι η εφαρμογή του ορισμού 3.3 και η επιλογή από τους ειδικούς μιας αριθμητικής τιμής για το βάρος κάθε διασύνδεσης του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου.

Η νέα μεθοδολογία, που προτείνεται εδώ, προέρχεται από ιδέες που έχουν εφαρμοσθεί στα πλαίσια της θεωρίας της Ασαφούς Λογικής. Οι ειδικοί δεν περιγράφουν με μια αριθμητική τιμή το βάρος μιας διασύνδεσης, αλλά χρησιμοποιούν μια λεκτική μεταβλητή για να περιγράψουν τη σχέση μεταξύ δύο κόμβων και επομένως το βάρος της κάθε διασύνδεσης. Με αυτή τη μέθοδο είναι πιο εύκολο για τους ειδικούς να εκφράζουν την σχέση αιτιότητας μεταξύ δύο κόμβων, χαρακτηρίζοντας το βαθμό της σχέσης και όχι δίνοντας μια συγκεκριμένη αριθμητική τιμή.

Καταρχήν οι ειδικοί περιγράφουν την συσχέτιση μεταξύ δύο κόμβων σύμφωνα με τον ορισμό 3.1. Στη συνέχεια καθορίζουν το είδος της συσχέτισης, όπως περιγράφεται από τον ορισμό 3.2, είτε ως θετική είτε ως αρνητική.

Στη συνέχεια ακολουθώντας τον ορισμό 3.3, προκειμένου να περιγράψουν το βάρος κάθε διασύνδεσης, περιγράφουν την επίδραση από τον έναν κόμβο στον άλλο χρησιμοποιώντας λεκτικές μεταβλητές του τύπου "ισχυρή επίδραση", "μικρή επίδραση", "μέση επίδραση" κ.α. Δημιουργείται λοιπόν η λεκτική μεταβλητή *Επίδραση*, που αντιπροσωπεύει τη συσχέτιση μεταξύ των τιμών των μεταβλητών των κόμβων και η οποία παίρνει τιμές στο υπερσύνολο αναφοράς [-1,1].

Οι τιμές της μεταβλητής *Επίδραση* ανήκουν σε ένα σύνολο τιμών, το οποίο προτείνεται να αποτελείται από 9 μέλη, τα οποία περιγράφουν σχετικά λεπτομερώς την σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών και είναι σε αντιστοιχία με τον γενικό τρόπο, με τον οποίο οι άνθρωποι

περιγράφουν τη σχέση δύο στοιχείων. Βέβαια το σύνολο τιμών της μεταβλητής *Επίδραση* θα μπορούσε να περιλαμβάνει πολύ περισσότερα μέλη, αλλά σε αυτή την περίπτωση θα ήταν τόσο λεπτομερής η περιγραφή που θα ήταν προβληματική. Δηλαδή ένας άνθρωπος είναι σχεδόν αδύνατο να περιγράψει μια σχέση αιτιότητας, ως "υπερβολικά πάρα μα πάρα πολύ υψηλή επίδραση". Και βέβαια το σύνολο τιμών θα μπορούσε να αποτελείται από λιγότερα μέλη 3 ή 5, αλλά σε αυτή την περίπτωση η περιγραφή θα ήταν πάρα πολύ γενική. Από τη μελέτη που έχει γίνει στα πλαίσια της διατριβής έχει πιστοποιηθεί, ότι ένα σύνολο που αποτελείται από 9 στοιχεία παρουσιάζει πολύ καλά χαρακτηριστικά. Η χρησιμοποίηση μιας ενιαίας κλίμακας από όλους τους ειδικούς αποσκοπεί να τους οδηγήσει να την κατανοούν και να την χρησιμοποιούν κατά τον ίδιο τρόπο. Για τις τιμές της λεκτικής μεταβλητής *Επίδραση* χρησιμοποιούνται τριγωνικές συναρτήσεις συμμετοχής, οι οποίες εκφράζουν καλύτερα την έννοια της αυξημένης επίδρασης γύρω από κάποια περιοχή τιμών και καλύπτουν όλο το διάστημα $[-1,1]$, στο οποίο η μεταβλητή του βάρους παίρνει τιμές.

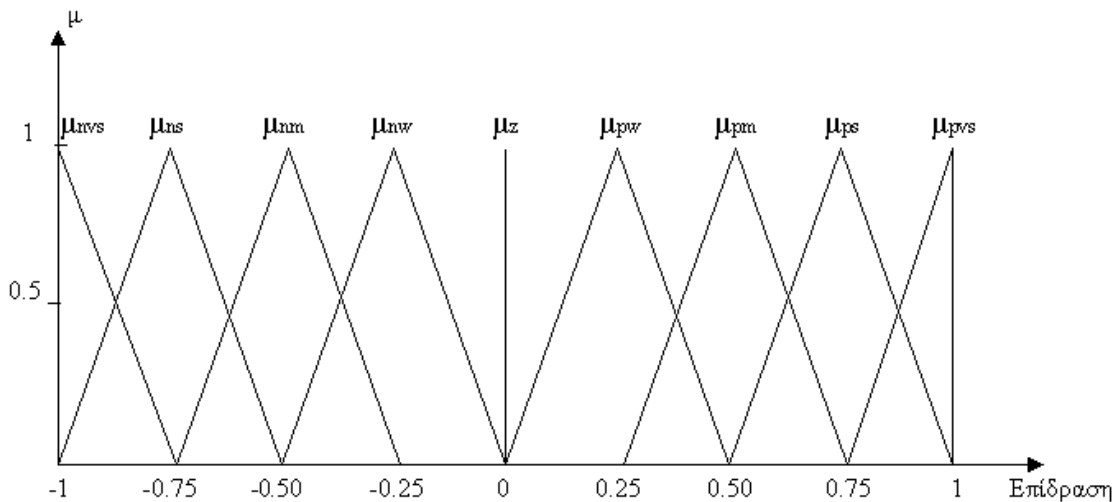
Προτείνεται λοιπόν, οι λεκτικές τιμές της μεταβλητής *Επίδραση* να ανήκουν στο ακόλουθο σύνολο:

$T(\text{Επίδραση}) = \{\text{αρνητικά πολύ ισχυρή, αρνητικά ισχυρή, αρνητικά μέση, αρνητικά αδύνατη, μηδενική, θετικά αδύνατη, θετικά μέση, θετικά ισχυρή, θετικά πολύ ισχυρή}\}$

Για κάθε μία από τις λεκτικές τιμές ορίζεται ένα ασαφές σύνολο, όπου οι συναρτήσεις συμμετοχής απεικονίζονται στο σχήμα 3.6 και έχουν τις εξής σημασιολογικές σχέσεις :

- ♦ $M(\text{αρνητικά πολύ ισχυρή}) = \text{το ασαφές σύνολο για 'επίδραση μικρότερη από -75\%' με συνάρτηση συμμετοχής } \mu_{nvs}$
- ♦ $M(\text{αρνητικά ισχυρή}) = \text{το ασαφές σύνολο για 'επίδραση κοντά στο -75\%' με συνάρτηση συμμετοχής } \mu_{ns}$
- ♦ $M(\text{αρνητικά μέση}) = \text{το ασαφές σύνολο για 'επίδραση κοντά στο -50\%' με συνάρτηση συμμετοχής } \mu_{nm}$
- ♦ $M(\text{αρνητικά αδύνατη}) = \text{το ασαφές σύνολο για 'επίδραση κοντά στο -25\%' με συνάρτηση συμμετοχής } \mu_{nw}$
- ♦ $M(\text{μηδενική}) = \text{το ασαφές σύνολο για 'επίδραση κοντά στο 0\%' με συνάρτηση συμμετοχής } \mu_z$
- ♦ $M(\text{θετικά αδύνατη}) = \text{το ασαφές σύνολο για 'επίδραση κοντά στο 25\%' με συνάρτηση συμμετοχής } \mu_{pw}$

- ♦ $M(\text{θετικά μέση}) = \text{το ασαφές σύνολο για 'επίδραση κοντά στο 50\%' με συνάρτηση συμμετοχής } \mu_{pm}$
- ♦ $M(\text{θετικά ισχυρή}) = \text{το ασαφές σύνολο για 'επίδραση κοντά στο 75\%' με συνάρτηση συμμετοχής } \mu_{ps}$
- ♦ $M(\text{θετικά πολύ ισχυρή}) = \text{το ασαφές σύνολο για 'επίδραση μεγαλύτερη από 75\%' με συνάρτηση συμμετοχής } \mu_{pvs}$



Σχήμα 3.6. Οι συναρτήσεις συμμετοχής των λεκτικών τιμών των βαρών.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η ανάπτυξη του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου υλοποιείται από μια ομάδα ανθρώπων ειδικών. Για κάθε μια διασύνδεση ο κάθε ειδικός περιγράφει την επίδραση από τον ένα κόμβο στον άλλο με μια λεκτική μεταβλητή, η οποία χαρακτηρίζει τη διασύνδεση και από την οποία συμπεραίνεται η αριθμητική τιμή του βάρους της διασύνδεσης. Οπότε για κάθε μια διασύνδεση δημιουργείται ένα σύνολο λεκτικών μεταβλητών που αποτελείται από M μέλη, όσο και το πλήθος των ειδικών που αναπτύσσουν το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο. Οι M μεταβλητές συνδυάζονται με χρήση των αντίστοιχων συναρτήσεων συμμετοχής τους (σχήμα 3.6).

Πιο συγκεκριμένα οι συναρτήσεις συμμετοχής όλων των λεκτικών μεταβλητών για κάθε διασύνδεση συνδυάζονται με χρήση των λογικών τελεστών min-max, προκύπτει ένα νέο ασαφές σύνολο που εκφράζει το βάρος της κάθε διασύνδεσης και το οποίο μετασχηματίζεται, με τη διαδικασία της αποασαφοποίησης και εξάγεται μια αριθμητική τιμή στο διάστημα $[-1,1]$, η οποία αποτελεί την αριθμητική τιμή του βάρους της κάθε διασύνδεσης. Για την αποασαφοποίηση εφαρμόζεται η γνωστή από την θεωρία της ασαφούς λογικής μέθοδος του

Κέντρου Περιοχής (Center of Area, CoA) [43]. Η ίδια διαδικασία εφαρμόζεται για όλες τις διασυνδέσεις μεταξύ των N κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου.

Συμπεράσματα

Η προτεινόμενη νέα μεθοδολογία έχει το πλεονέκτημα, ότι ζητά από τους ειδικούς να χρησιμοποιήσουν λεκτικές μεταβλητές για να περιγράψουν το βαθμό της αιτιατότητας μεταξύ δύο κόμβων. Μια προσέγγιση, που είναι ποιοτική, πιο οικεία στην ανθρώπινη φύση, ασαφής και ανάλογη με τον τρόπο που ο κάθε άνθρωπος καταχωρίζει στο μυαλό του πληροφορίες για τη σχέση και αλληλεπίδραση των καταστάσεων και των γεγονότων που παρατηρεί τόσο στον πραγματικό φυσικό κόσμο όσο και στα τεχνητά συστήματα. Επιπλέον περιορίζεται το ποσοστό ανθρώπινου λάθους, το οποίο είναι αυξημένο, όταν οι ειδικοί χαρακτηρίζουν την αιτιατότητα μεταξύ δύο κόμβων με συγκεκριμένη αριθμητική τιμή.

3.3.3 Προσδιορισμός της τιμής του βάρους μιας διασύνδεσης από το συμπέρασμα ενός λεκτικού κανόνα [J5]

Σε αυτή την ενότητα μια νέα μέθοδος ανάπτυξης αναλύεται. Προκειμένου να βελτιωθεί η μεθοδολογίας ανάπτυξης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων ερευνήθηκε μια διαφορετική προσέγγιση για τον προσδιορισμό των βαρών του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου. Αυτή οδήγησε στην ανάπτυξη μιας νέας μεθοδολογίας με βελτιωμένα χαρακτηριστικά. Με τη νέα μεθοδολογία, οι ειδικοί περιγράφουν την υφιστάμενη σχέση αιτίας και αποτελέσματος μεταξύ δύο κόμβων, χρησιμοποιώντας λεκτικούς κανόνες από τους οποίους συμπεραίνουν μια λεκτική μεταβλητή για την επίδραση του ενός κόμβου στον άλλο. Οπότε στη συνέχεια συνδυάζονται οι λεκτικές μεταβλητές που έχουν προταθεί για κάθε διασύνδεση και με χρήση ενός μηχανισμού αποασαφοποίησης προκύπτει μια αριθμητική τιμή για το βάρος της κάθε διασύνδεσης.

Οι λεκτικοί κανόνες περιγράφουν τη σχέση, που υπάρχει μεταξύ των τιμών των μεταβλητών των κόμβων, και δια αυτής συμπεραίνουν το βαθμό της σχέσης αιτιότητας οπότε συμπεραίνουν και μια λεκτική τιμή για το βάρος της διασύνδεσης μεταξύ των δύο κόμβων. Οι λεκτικοί κανόνες είναι της μορφής:

ΕΑΝ μια μεταβολή A συμβεί στην τιμή της μεταβλητής του κόμβου C_i ΤΟΤΕ μια μεταβολή B προκαλείται στην τιμή της μεταβλητής του κόμβου C_j και επομένως η επίδραση του κόμβου C_i στον κόμβο C_j θα είναι F

Προκειμένου να αναπτυχθεί ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο οι ειδικοί ακολουθούν το στάδιο 1 του αλγορίθμου επιλογής, όπου καθορίζουν το είδος και πλήθος των κόμβων. Στη συνέχεια ζητείται από τους ειδικούς να περιγράψουν τη σχέση μεταξύ των κόμβων χρησιμοποιώντας τον προαναφερόμενο λεκτικό κανόνα όπου τα A , B και F είναι οι λεκτικές μεταβλητές. Όταν περιγραφεί η επίδραση από τον έναν κόμβο στον άλλο συμπεραίνεται η λεκτική μεταβλητή F που περιγράφει τη μεταβλητή του βάρους της διασύνδεση μεταξύ των δύο κόμβων.

Οι λεκτικές μεταβλητές για το βάρος μιας διασύνδεσης παίρνουν τις ακόλουθες τιμές 'πολύ μικρό, μικρό, μικρότερο από μέσο, μέσο, μεγαλύτερο από μέσο, μεγάλο, πολύ μεγάλο' με τριγωνικές συναρτήσεις συμμετοχής που παίρνουν τιμές στο διάστημα $[0,1]$.

Με την προτεινόμενη μέθοδο μια ομάδα από ειδικούς προτείνει για κάθε διασύνδεση ένα σύνολο λεκτικών κανόνων από τους οποίους συμπεραίνουν λεκτικές τιμές για το βάρος της διασύνδεσης και έτσι το βάρος κάθε διασύνδεσης περιγράφεται από ένα σύνολο λεκτικών μεταβλητών. Οι λεκτικές μεταβλητές για το βάρος μιας διασύνδεσης συνδυάζονται με χρήση της μεθόδου min-max από τη θεωρία της Ασαφούς Λογικής οπότε στη συνέχεια χρησιμοποιείται η μέθοδος του Κέντρου Περιοχής για την αποασαφοποίηση και προκύπτει μια αριθμητική τιμή για το βάρος κάθε διασύνδεσης [43].

Στη συνέχεια θα περιγραφεί ένα παράδειγμα εφαρμογής της συγκεκριμένης μεθόδου καθορισμού των βαρών των διασυνδέσεων.

Παράδειγμα 3.2

Υποτίθεται ότι έχουν επιλεγεί οι κόμβοι του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου σύμφωνα με το πρώτο στάδιο του αλγορίθμου επιλογής Ασαφών Γνωστικών δικτύων. Το επόμενο στάδιο είναι ο καθορισμός του τύπου και είδους των διασυνδέσεων μεταξύ των κόμβων. Υπάρχει μια ομάδα τεσσάρων ειδικών, οι οποίοι περιγράφουν την σχέση μεταξύ του κόμβου C_i και του κόμβου C_j ως εξής :

▪ *Ειδικός 1*

*ΕΑΝ μια **μικρή** αλλαγή συμβεί στην τιμή της μεταβλητής του κόμβου C_i ΤΟΤΕ μια **μεγάλη αλλαγή** συμβαίνει στην τιμή της μεταβλητής του κόμβου C_j*

Συμπέρασμα Σ2:

Η επίδραση του C_i στο C_j είναι θετική και μεγάλη και άρα το w_{ij} είναι θετικό και μεγάλο

▪ *Ειδικός 2*

*ΕΑΝ μια **μικρή** αλλαγή συμβεί στην τιμή της μεταβλητής του κόμβου C_i ΤΟΤΕ μια **πάρα πολύ μεγάλη αλλαγή** συμβαίνει στην τιμή της μεταβλητής του κόμβου C_j*

Συμπέρασμα Σ4:

Η επίδραση του C_i στο C_j είναι θετική και πολύ μεγάλη και άρα το w_{ij} είναι θετικό και πολύ μεγάλο

▪ *Ειδικός 3*

*ΕΑΝ μια **Πολύ μικρή** αλλαγή συμβεί στην τιμή της μεταβλητής του κόμβου C_i ΤΟΤΕ μια **μεγάλη αλλαγή** συμβαίνει στην τιμή της μεταβλητής του κόμβου C_j*

Συμπέρασμα Σ1:

Η επίδραση του C_i στο C_j είναι θετική και πολύ μεγάλη και άρα το w_{ij} είναι θετικό και πολύ μεγάλο

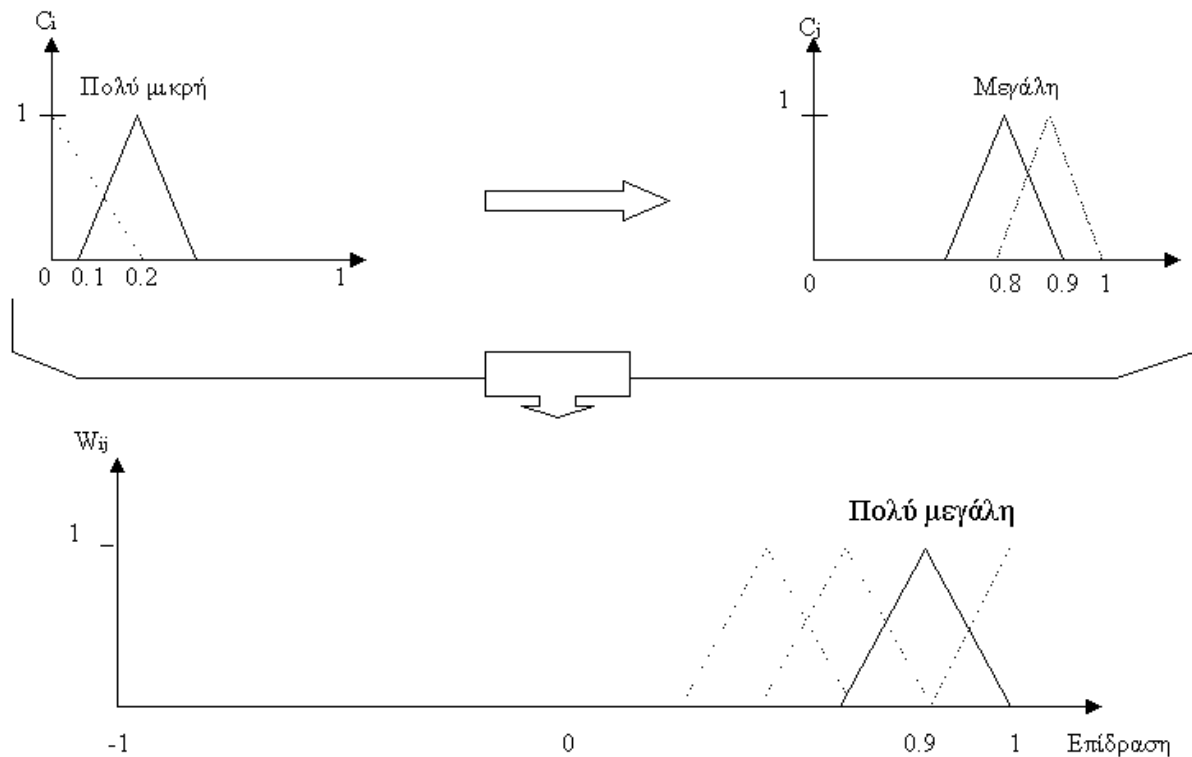
▪ *Ειδικός 4*

*ΕΑΝ μια **Πολύ μικρή** αλλαγή συμβεί στην τιμή της μεταβλητής του κόμβου C_i ΤΟΤΕ μια **πολύ μεγάλη αλλαγή** συμβαίνει στην τιμή της μεταβλητής του κόμβου C_j*

Συμπέρασμα Σ3:

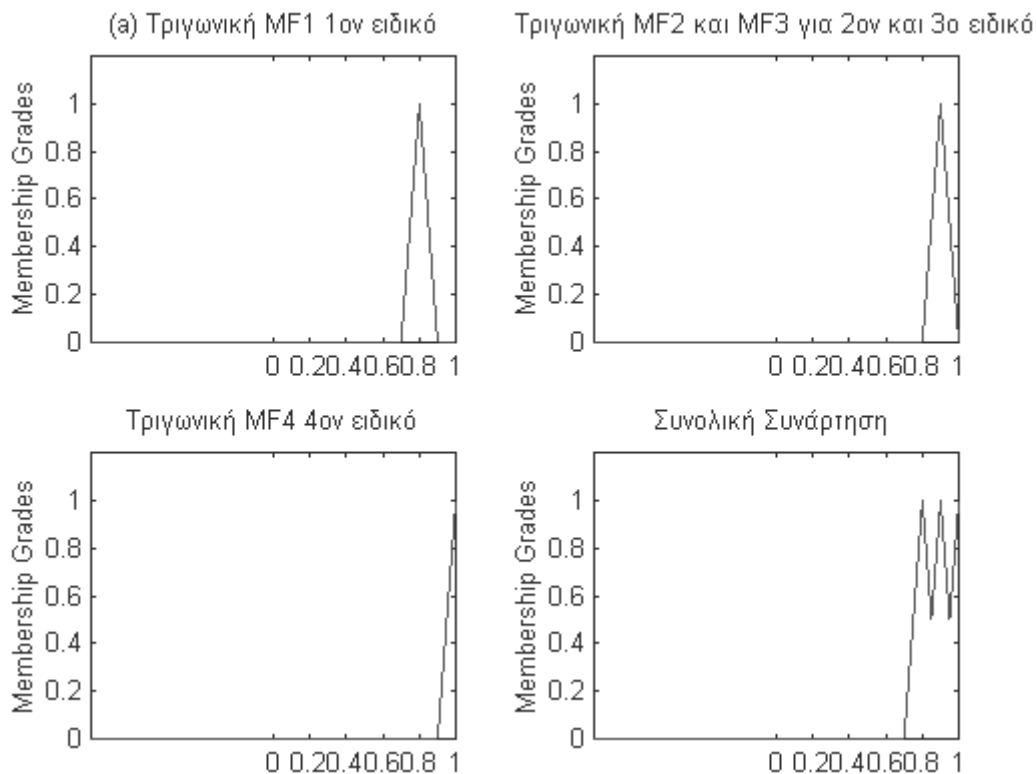
Η επίδραση του C_i στο C_j είναι θετική και πάρα πολύ μεγάλη και άρα το w_{ij} είναι θετικό και πάρα πολύ μεγάλο

Στο σχήμα 3.7 απεικονίζεται η διαδικασία συμπερασμού με την οποία ο δεύτερος ειδικός περιγράφει τη σχέση μεταξύ δύο κόμβων.



Σχήμα 3.7. Η πρόταση του τρίτου ειδικού για τη αιτιατή σχέση μεταξύ των δύο κόμβων και το συμπέρασμα για τη λεκτική μεταβλητή του βάρους της διασύνδεσης.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, χρησιμοποιήθηκαν οι τριγωνικές συναρτήσεις συμμετοχής για να περιγράψουν τις τιμές των βαρών των διασυνδέσεων. Στο σχήμα 3.8 απεικονίζονται οι συναρτήσεις συμμετοχής που χρησιμοποίησαν οι 4 ειδικοί για να περιγράψουν την αιτιατή σχέση από τον κόμβο C_i στο C_j και στο τέταρτο παράθυρο απεικονίζεται η συνολική λεκτική μεταβλητή που περιγράφει το βάρος της διασύνδεσης $i \rightarrow j$. Στη συνέχεια με χρήση της μεθόδου Κέντρου περιοχής εξάγεται μια αριθμητική τιμή για το βάρος της διασύνδεσης $W_{ij} = 0.867$.



Σχήμα 3.8. Συνδυασμός των συναρτήσεων συμμετοχής των λεκτικών μεταβλητών τους βάρους της διασύνδεσης $i \rightarrow j$

Συμπεράσματα

Η προτεινόμενη μέθοδος είναι κατανοητή στους εμπειρογνώμονες που περιγράφουν τη λειτουργία του συστήματος. Απαιτεί να περιγράψουν τη σχέση μεταξύ των κόμβων με ένα λεκτικό κανόνα και έτσι τους καθοδηγεί να βγάλουν αντικειμενικά συμπεράσματα για την αιτιατή σχέση και να την περιγράψουν με μια λεκτική μεταβλητή. Είναι μια αντικειμενική μέθοδος δημιουργίας των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων πάρα πολύ χρήσιμη για την ανάπτυξη ενός Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου που θα μοντελοποιεί ένα σύνθετο σύστημα, όπου οι ειδικοί γνωρίζουν τη συμπεριφορά του συστήματος, αλλά δεν έχουν ερευνήσει τις σχέσεις αιτίας και αποτελέσματος μεταξύ των κύριων χαρακτηριστικών του συστήματος.

3.3.4 Υπολογισμός μιας συνάρτησης για το βάρος μιας διασύνδεσης από την περιγραφή με λεκτικούς κανόνες της σχέσης μεταξύ των τιμών των μεταβλητών των κόμβων [J4]

Μια εντελώς νέα μεθοδολογία για την ανάπτυξη του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου και τον προσδιορισμό των βαρών των διασυνδέσεων έχει αναπτυχθεί και θα παρουσιασθεί στη συνέχεια. Οι ειδικοί με εμπειρία στη λειτουργία του συστήματος περιγράφουν τη σχέση μεταξύ δύο κόμβων χρησιμοποιώντας λεκτικούς κανόνες της μορφής *EAN .. TOTE.....* και στη συνέχεια με χρήση ενός μηχανισμού εξαγωγής συμπεράσματος συμπεραίνεται μια συνάρτηση που περιγράφει το βάρος κάθε διασύνδεσης.

Οι λεκτικοί κανόνες περιγράφουν τη αιτιατή σχέση που υπάρχει μεταξύ των τιμών των μεταβλητών δύο κόμβων, και η οποία αντικατοπτρίζεται στο βάρος της διασύνδεσης μεταξύ των δύο κόμβων. Ο λεκτικός κανόνας είναι της μορφής:

*EAN η τιμή της μεταβλητής του κόμβου C_i είναι **A** TOTE η τιμή της μεταβλητής του κόμβου C_j είναι **B***

Ζητείται λοιπόν από τους ειδικούς να περιγράψουν τη σχέση μεταξύ όλων των κόμβων χρησιμοποιώντας τον προαναφερθέντα λεκτικό κανόνα όπου τα **A** και **B** είναι λεκτικές μεταβλητές.

Λεκτικές μεταβλητές

Όπως εξηγήθηκε στην παράγραφο 3.3.2 ένα ικανοποιητικό σύνολο λεκτικών μεταβλητών που περιγράφει τις τιμές του συνόλου με αρκετή ακρίβεια αποτελείται από 9 μεταβλητές. Το σύνολο των λεκτικών μεταβλητών για κάθε κόμβο αποτελείται από τις ακόλουθες τιμές με τις αντίστοιχες συναρτήσεις συμμετοχής.

Η τιμή της μεταβλητής του C_i είναι πάρα πολύ χαμηλή με συνάρτηση συμμετοχής μ_{vvl}

Η τιμή της μεταβλητής του C_i είναι πολύ χαμηλή με συνάρτηση συμμετοχής μ_{vl}

Η τιμή της μεταβλητής του C_i είναι χαμηλή με συνάρτηση συμμετοχής μ_l

Η τιμή της μεταβλητής του C_i είναι μικρότερη από μέση με συνάρτηση συμμετοχής μ_{lm}

Η τιμή της μεταβλητής του C_i είναι μέση με συνάρτηση συμμετοχής μ_m

Η τιμή της μεταβλητής του C_i είναι μεγαλύτερη από μέση με συνάρτηση συμμετοχής μ_{gm}

Η τιμή της μεταβλητής του C_i είναι υψηλή με συνάρτηση συμμετοχής μ_h

Η τιμή της μεταβλητής του C_i είναι πολύ υψηλή με συνάρτηση συμμετοχής μ_{vh}

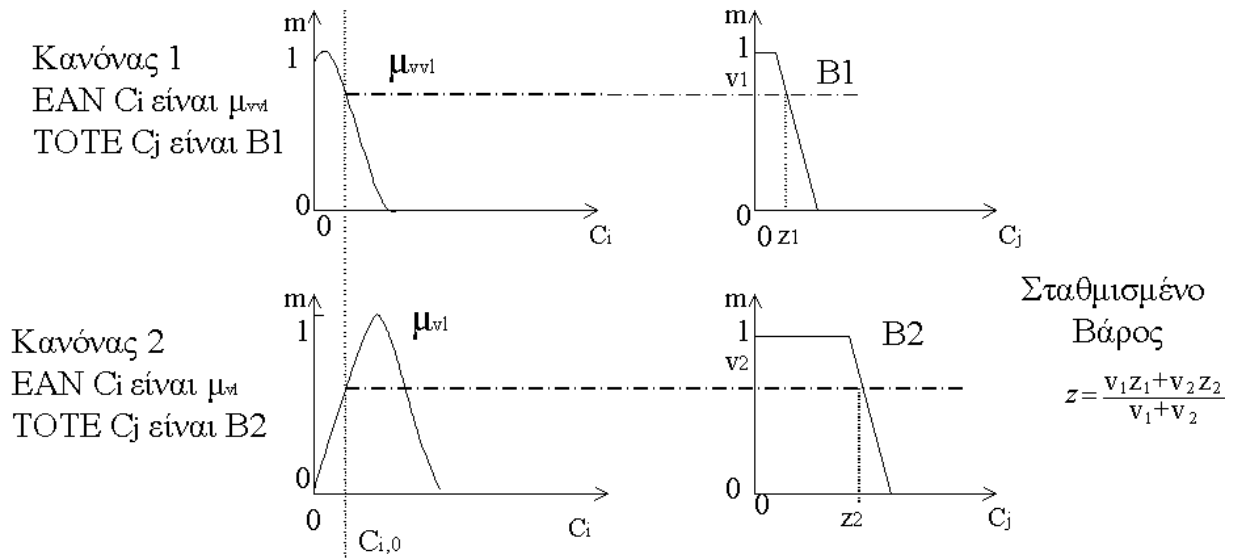
Η τιμή της μεταβλητής του C_i είναι πάρα πολύ υψηλή με συνάρτηση συμμετοχής μ_{vvh}

Διαδικασία ανάπτυξης του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Συγκεντρώνονται οι M ειδικοί οι οποίοι γνωρίζουν τη λειτουργία του συστήματος, και τους ζητείται να αναπτύξουν ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο που θα περιγράφει το σύστημα. Οι ειδικοί ακολουθούν τον αλγόριθμο επιλογής της παραγράφου 3.3 εφαρμόζοντας τα βήματα που περιέχονται στο πρώτο στάδιο ανάπτυξης του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου και καθορίζουν το πλήθος και είδος των κόμβων που θα αποτελούν το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο. Τα επόμενα 3 στάδια ανάπτυξης έχουν ουσιαστικά ενσωματωθεί στη προτεινόμενη μεθοδολογία περιγραφής της αιτιατής σχέσης μεταξύ των κόμβων με ένα λεκτικό κανόνα.

Καθένας ειδικός ανάλογα με την εμπειρία του προτείνει ένα λεκτικό κανόνα για κάθε διασύνδεση και έτσι δημιουργείται ένα σύνολο λεκτικών κανόνων για κάθε διασύνδεση του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου. Για καθεμία διασύνδεση το σύνολο αυτό αξιολογείται και με χρήση λογικών εκφράσεων και συλλογισμών βασισμένων σε Ασαφή Λογική συνδυάζεται και μετασχηματίζεται σε έναν συνολικό λεκτικό κανόνα, ο οποίος περιγράφει τη σχέση μεταξύ των δύο κόμβων. Ο συνολικός λεκτικός κανόνας περιγράφει την υφιστάμενη αιτιατή σχέση μεταξύ των δύο κόμβων, καθορίζοντας το βαθμό αιτιότητας μεταξύ των δύο κόμβων και κατά συνέπεια το αντίστοιχο βάρος της διασύνδεσης.

Για το συνδυασμό όλων των προτεινόμενων λεκτικών κανόνων που περιγράφουν τη συσχέτιση μεταξύ δύο κόμβων και τη δημιουργία ενός συνολικού κανόνα, χρησιμοποιήθηκε μια παραλλαγή της μεθοδολογίας που έχει προταθεί από τον Tsukamoto για την ανάπτυξη ενός συστήματος συμπερασμού για Ασαφή Συστήματα [76]. Για την εύρεση του συνολικού κανόνα χρησιμοποιείται η μέθοδος των σταθμισμένων βαρών, η οποία απεικονίζεται σχηματικά στο σχήμα 3.9.



Σχήμα 3.9 Η μέθοδος συμπερασμού για δύο κανόνες

Με την προτεινόμενη μεθοδολογία, συνδυάζονται λεκτικοί κανόνες της γενικής μορφής:

ΕΑΝ X είναι A ΤΟΤΕ το Y είναι B,

και η συνολική έξοδος προκύπτει, ως το αποτέλεσμα της συνάθροισης της εξόδου κάθε κανόνα με τη χρήση του σταθμισμένου μέσου όρου. Το τελικό αποτέλεσμα θα είναι μια συνολική συνάρτηση εισόδου-εξόδου για το βάρος κάθε διασύνδεσης. Η συνάρτηση περιγράφει τη σχέση μεταξύ δύο κόμβων, θα παίρνει σαν είσοδο την τιμή της μεταβλητής του ενός κόμβου του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου και δίνει σαν έξοδο την τιμή της μεταβλητής του συνδεδεμένου κόμβου. Με την προτεινόμενη μέθοδο η αιτιατή σχέση μεταξύ δύο κόμβων περιγράφεται από μια συνάρτηση εισόδου-εξόδου και δεν απαιτείται πλέον η εύρεση μιας αριθμητικής τιμής για το βάρος της κάθε διασύνδεσης. Έτσι το βάρος της διασύνδεσης μεταξύ δύο κόμβων δεν είναι πλέον μια σταθερή αριθμητική τιμή, αλλά είναι μια συνάρτηση της τιμής της μεταβλητής του διασυνδεδεμένου κόμβου C_j :

$$W_{ji} = g_{ji}(A_j) \quad (3.14)$$

Οπότε μεταβάλλεται ο τρόπος υπολογισμού των τιμών των μεταβλητών των κόμβων μετά από κάθε βήμα. Εισάγεται η σχέση 3.14 στην εξίσωση 3.3 που περιγράφει τον υπολογισμό των τιμών των κόμβων μετά από κάθε βήμα και προκύπτει η εξής εξίσωση 3.15.

$$A_i^t = f\left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N (g_{ji}(A_j^{t-1})) + A_i^{t-1}\right) \quad (3.15)$$

Έτσι η τιμή της μεταβλητής του κόμβου C_i στο βήμα t θα είναι A_i^t και εξαρτάται από τις τιμές A_j^{t-1} των μεταβλητών των διασυνδεδεμένων κόμβων τη στιγμή $t-1$. Κάθε διασυνδεδεμένος κόμβος C_j με τιμή μεταβλητής A_j^{t-1} διαμέσου της αντίστοιχης συνάρτησης εισόδου εξόδου g_{ji} επηρεάζει την τιμή της μεταβλητής του κόμβου C_i , αθροίζονται οι τιμές από τους $N-1$ κόμβους που επηρεάζουν τον i -κόμβο και το αποτέλεσμα περνά μέσα από μια συνάρτηση συμπίεσης f , η οποία μετατρέπει το αποτέλεσμα στο διάστημα $[0,1]$, στο οποίο ανήκουν οι τιμές των μεταβλητών των κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου.

Παράδειγμα 3.3

Στο παράδειγμα αυτό θα εξετασθεί η περίπτωση, όπου χρησιμοποιούνται $M=3$ ειδικοί. Οι τρεις ειδικοί περιγράφουν τη σχέση μεταξύ δύο κόμβων με τους ακόλουθους λεκτικούς κανόνες, για τους οποίους εφαρμόζεται η προτεινόμενη μεθοδολογία και προκύπτει η συνολική αιτιατή συνάρτηση από τον έναν κόμβο στον άλλο, η οποία απεικονίζεται στο σχήμα 3.10 .

❖ 1^{ος} ειδικός

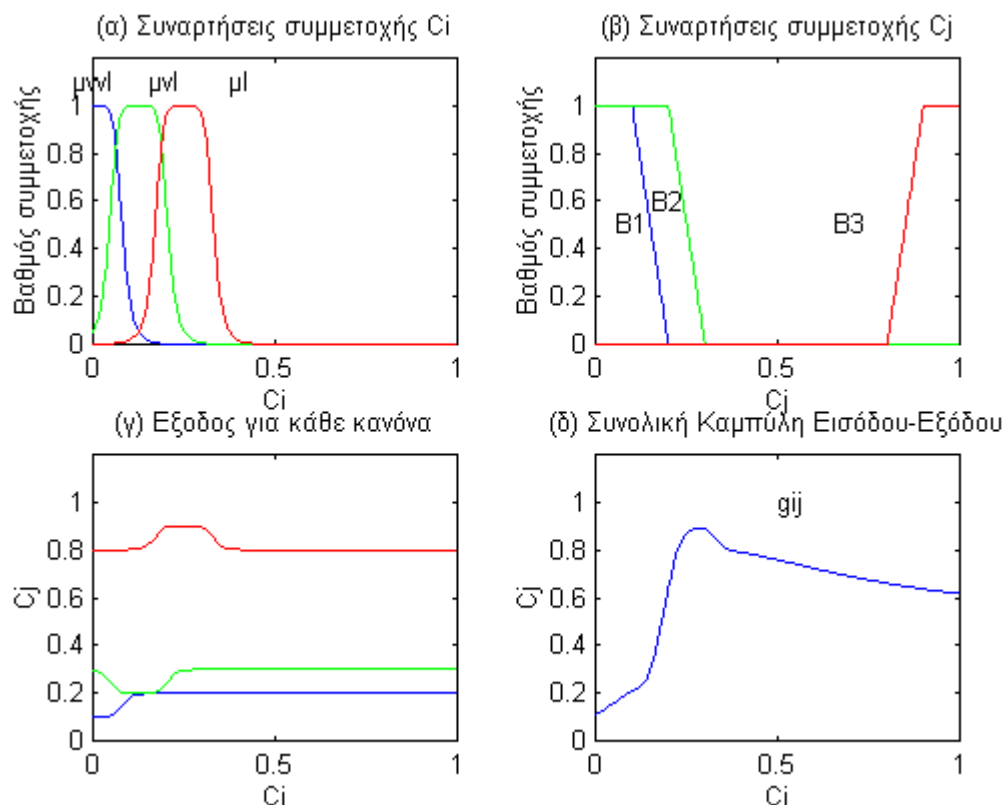
*ΕΑΝ η τιμή της μεταβλητής του κόμβου C_i είναι **Πάρα πολύ Χαμηλή** (μ_{vl}) ΤΟΤΕ η τιμή της μεταβλητής του κόμβου C_j είναι **Πάρα πολύ Χαμηλή** (B1)*

❖ 2^{ος} ειδικός

*ΕΑΝ η τιμή της μεταβλητής του κόμβου C_i είναι **Πολύ Χαμηλή**(μ_{vl}) ΤΟΤΕ η τιμή της μεταβλητής του κόμβου C_j είναι **Χαμηλή** (B2)*

❖ 3^{ος} ειδικός

*ΕΑΝ η τιμή της μεταβλητής του κόμβου C_i είναι **Χαμηλή**(μ_l) ΤΟΤΕ η τιμή της μεταβλητής του κόμβου C_j είναι **Πολύ Υψηλή** (B3)*



Σχήμα 3.10. (α) Οι συναρτήσεις συμμετοχής για την μεταβλητή του κόμβου C_i (β) Οι συναρτήσεις συμμετοχής για τη μεταβλητή του κόμβου C_j (γ) Η καμπύλη εξόδου για κάθε κανόνα (δ) Η συνολική συνάρτηση εισόδου-εξόδου που περιγράφει τη αιτιατή διασύνδεση από τον κόμβο C_i προς τον κόμβο C_j .

Συμπεράσματα

Μια σημαντική διαφορά της μεθόδου που μόλις περιγράφηκε σε σχέση με τη μέθοδο της παραγράφου 3.3.3 είναι, ότι ζητείται από τον κάθε ειδικό απλά να περιγράψει την σχέση των τιμών των μεταβλητών των κόμβων χρησιμοποιώντας έναν λεκτικό κανόνα και χωρίς να εξάγει κάποιο συμπέρασμα για την λεκτική ή αριθμητική τιμή της μεταβλητής που περιγράφει τη αιτιατή σχέση μεταξύ των δύο κόμβων.

Δημιουργείται μια συνάρτηση που περιγράφει την αιτιατή σχέση μεταξύ των κόμβων, η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των τιμών των μεταβλητών των κόμβων. Δηλαδή η αιτιότητα μεταξύ δύο κόμβων περιγράφεται από μια συνάρτηση εισόδου-εξόδου διευκολύνοντας την εφαρμογή μαθηματικών μεθόδων και πράξεων, όπως η διαφορίση της συνάρτησης. Γενικά, η συγκεκριμένη μεθοδολογία δίνει ακόμα περισσότερες δυνατότητες στους ειδικούς να περιγράψουν αντικειμενικά τη σχέση μεταξύ δύο κόμβων, χρησιμοποιώντας λεκτικούς κανόνες που βρίσκονται πολύ κοντά στην ανθρώπινη σκέψη.

3.3.5 Συνοπτική παρουσίαση και σύγκριση των προτεινόμενων νέων μεθοδολογιών ανάπτυξης Ασαφών Γνωστικών Δικτύων

Στην πρώτη μεθοδολογία ακολουθούνται τα τρία στάδια ανάπτυξης του αλγορίθμου επιλογής και κατά το τέταρτο στάδιο κάθε ειδικός προτείνει μια αριθμητική τιμή για το βάρος κάθε διασύνδεσης που αντιπροσωπεύει τη συσχέτιση μεταξύ δύο κόμβων. Η μέθοδος αυτή έχει το σημαντικό μειονέκτημα, ότι ζητείται από τους ειδικούς να περιγράψουν την αιτιατή σχέση μεταξύ δύο στοιχείων με μια αριθμητική τιμή. Εξετάστηκε η βελτίωση της συγκεκριμένης μεθοδολογίας και αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος επιλογής των βαρών των διασυνδέσεων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου και παράλληλα αξιολόγησης των ειδικών που αναπτύσσουν το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο.

Στη δεύτερη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε, προτείνεται κατά το 4^ο στάδιο του αλγορίθμου επιλογής, η περιγραφή του βάρους κάθε διασύνδεσης με μια λεκτική μεταβλητή. Οι προτεινόμενες λεκτικές μεταβλητές συνδυάζονται και στη συνέχεια μετασχηματίζονται στο διάστημα $[-1,1]$. Η μεθοδολογία αναπτύχθηκε στην παράγραφο 3.3.2.

Στην τρίτη μεθοδολογία ζητείται από τους ειδικούς να περιγράψουν το σχέση μεταξύ δυο κόμβων με έναν λεκτικό κανόνα. Από κάθε λεκτικό κανόνα συμπεραίνεται μια λεκτική μεταβλητή για την βάρος κάθε διασύνδεσης. Οι λεκτικές μεταβλητές που περιγράφουν το βάρος μιας διασύνδεσης συνθέτονται και με χρήση αποασαφοποίησης προκύπτει μια αριθμητική τιμή για το βάρος της κάθε διασύνδεσης. Η μεθοδολογία αυτή περιγράφηκε στην παράγραφο 3.3.3.

Η τέταρτη μέθοδος περιγράφεται στην παράγραφο 3.3.4 και προτείνει τη χρήση λεκτικών κανόνων για την περιγραφή της σχέσης μεταξύ δύο κόμβων. Οι εμπειρογνώμονες μετά την περιγραφή των λεκτικών κανόνων δεν συμμετέχουν στη διαδικασία. Στη συνέχεια οι λεκτικοί κανόνες συνδυάζονται και η αιτιατή σχέση μεταξύ δύο κόμβων περιγράφεται από μια συνάρτηση εισόδου-εξόδου. Η περιγραφή της αιτιότητας με συνάρτηση είναι πρωτοποριακή διευκολύνοντας την εφαρμογή αλγορίθμων εκπαίδευσης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων.

Οι τέσσερις προτεινόμενες μέθοδοι δημιουργίας και ανάπτυξης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια της διατριβής αποτελούν μια ολοκληρωμένη απάντηση στο πρόβλημα εύρεσης αντικειμενικών μεθόδων και τρόπων ανάπτυξης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων. Καθεμία από τις 4 μεθόδους ανάπτυξης έχει τα πλεονεκτήματά της και τα σημεία που υπερτερεί σε σχέση με τις υπόλοιπες ακόμη δίνεται μια ευελιξία στους εμπειρογνώμονες να επιλέξουν την μέθοδο ανάπτυξης που ταιριάζει καλύτερα σε κάθε περίπτωση εφαρμογής.

3.4 Σύνθεση Ασαφών Γνωστικών Δικτύων

Στην προηγούμενη ενότητα προτάθηκαν και αναλύθηκαν σε βάθος νέες μέθοδοι δημιουργίας και σχεδιασμού των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων. Η κεντρική φιλοσοφία των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων είναι, ότι ειδικοί γνώστες καλούνται να καθορίσουν τους κόμβους, τις αιτιατές διασυνδέσεις και γενικά να περιγράψουν το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο. Θα είναι επομένως πιο εύκολο για έναν άνθρωπο-ειδικό να σχεδιάσει ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο για ένα μόνο τμήμα ενός σύνθετου συστήματος, για το οποίο έχει καλύτερη γνώση και εποπτεία. Άλλωστε όταν χρησιμοποιείται μια ομάδα ειδικών είναι αποδεκτό, ότι ο καθένας από αυτούς έχει έναν συγκεκριμένο τομέα, τον οποίο γνωρίζει καλύτερα από τους υπόλοιπους και στον οποίο είναι περισσότερο έμπειρος.

Προτείνεται λοιπόν να εφαρμοσθεί μια τεχνική κατακερματισμού του πολύπλοκου συστήματος. Ειδικότερα το συνολικό σύστημα χωρίζεται σε επιμέρους τμήματα για καθένα από τα οποία αναπτύσσεται ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο και στη συνέχεια συνδυάζονται όλα τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα και δημιουργείται ένα επαυξημένο πλήρες Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο για ολόκληρο το πολύπλοκο σύστημα. Αντίστοιχη προσέγγιση προτείνεται να εφαρμοσθεί στην περίπτωση ενός κατανεμημένου συστήματος, οπότε για κάθε υποσύστημα αναπτύσσεται ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο και τελικά συνθέτονται και αναπτύσσεται ένα πλήρες ολοκληρωμένο Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο [C3]. Θα εξετασθεί στη συνέχεια η μεθοδολογία που προτείνεται για την σύνθεση των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων των διαφόρων υποσυστημάτων.

Παραδοχή

Υπάρχουν K υποσυστήματα και για καθένα υποσύστημα αναπτύσσεται ένα ξεχωριστό Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο F_i με πίνακα βαρών w_i .

Υπόθεση

Στην πρώτη περίπτωση που θα εξετασθεί υποτίθεται ότι δεν υπάρχουν κοινοί κόμβοι μεταξύ των K Ασαφών Γνωστικών Δικτύων. Δηλαδή τα υποσυστήματα είναι πλήρως ανεξάρτητα και δεν υπάρχουν επικαλύψεις μεταξύ τους.

Συμπέρασμα

Το συνολικό Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο θα έχει πίνακα βαρών που προκύπτει από τη σχέση (3.16), όπου υπάρχουν K διαφορετικά Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα και ο συνολικός πίνακας βαρών $\mathbf{W}$ θα είναι διαστάσεων $N \times N$ όπου N είναι ο συνολικός αριθμός των κόμβων όλων των K Ασαφών Γνωστικών Δικτύων

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} \mathbf{W}_1 & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{W}_2 & \dots & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{W}_K \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

Γενική περίπτωση

Υπάρχουν κοινοί κόμβοι μεταξύ των K Ασαφών Γνωστικών Δικτύων. Πιο συγκεκριμένα επιτρέπεται η ύπαρξη κοινών κόμβων ανά δύο Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα. Πρώτα από όλα υπολογίζεται ο αριθμός των κόμβων του επαυξημένου Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου, ως το άθροισμα των διαφορετικών κόμβων των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων. Σε αυτή την περίπτωση θα υπάρχει επικάλυψη μεταξύ των υποπινάκων που είναι στοιχεία της διαγωνίου της σχέσης (3.16). Οι επικαλύψεις αντιπροσωπεύουν τα βάρη διασυνδέσεων μεταξύ κόμβων που ανήκουν συγχρόνως σε διαφορετικά Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα. Οπότε μπορεί να προτείνονται δύο ή περισσότερα βάρη για την ίδια διασύνδεση, σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των βαρών για να υπολογισθεί η νέα τιμή του βάρους και στη συνέχεια εφαρμόζεται η εξίσωση (3.16).

Θα χρησιμοποιηθούν δύο παραδείγματα για να δείξουν την προτεινόμενη μέθοδο για την σύνθεση των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων.

Παράδειγμα 3.4

Έστω ότι το συνολικό σύστημα αποτελείται από δύο υποσυστήματα, οπότε θα υπάρχουν $K = 2$ Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα, ένα για κάθε υποσύστημα. Το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο F_1 με τρεις κόμβους C_1, C_2, C_3 για το πρώτο υποσύστημα και το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο F_2 με κόμβους C_4, C_5, C_6 για το δεύτερο υποσύστημα και αντίστοιχα τους πίνακες βαρών :

$$W_1 = \begin{pmatrix} 0 & w_{13} \\ w_{31} & 0 \\ 0 & w_{32} \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \text{ και } W_2 = \begin{pmatrix} w_{45} & w_{46} \\ 0 & w_{56} \\ w_{65} & 0 \end{pmatrix}$$

Οπότε εφαρμόζοντας τη σχέση (3.16) προκύπτει ο επανυξημένος πίνακας βαρών για το συνολικό Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο, το οποίο θα αποτελείται από $N = 6$ κόμβους και θα έχει πίνακα βαρών:

$$W = \begin{pmatrix} 0 & w_{13} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ w_{31} & w_{32} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & w_{45} & w_{46} & 0 \\ 0 & 0 & w_{54} & 0 & w_{56} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & w_{65} & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Παράδειγμα 3.5

Έστω ότι το συνολικό σύστημα αποτελείται από δύο υποσυστήματα, οπότε θα υπάρχουν $K = 2$ Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα. Έστω, ότι υπάρχουν δύο κοινοί κόμβοι μεταξύ των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων. Το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο F_1 αποτελείται από τρεις κόμβους C_1, C_2, C_3 και το δίκτυο F_2 έχει τέσσερις κόμβους C_2, C_3, C_4, C_5 , από τους οποίους οι δύο είναι κοινοί με το δίκτυο F_1 . Έστω, ότι οι αντίστοιχοι πίνακες βαρών για τα δύο Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα είναι:

$$W_1 = \begin{pmatrix} 0 & w_{13} \\ w_{31} & 0 \\ 0 & w_{32} \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \text{ και } W_2 = \begin{pmatrix} w_{23} & w_{24} & 0 \\ w_{32} & 0 & w_{34} & w_{35} \\ w_{42} & w_{43} & 0 & 0 \\ w_{52} & w_{53} & w_{54} & 0 \end{pmatrix}$$

Πρώτα από όλα υπολογίζεται ο αριθμός των κόμβων του επανυξημένου Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου, ως το άθροισμα των διαφορετικών κόμβων των δύο Ασαφών Γνωστικών Δικτύων. Επομένως, το συνολικό Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο θα αποτελείται από $N = 5$.

Ο επανυξημένος πίνακας βαρών θα είναι διαστάσεων $N \times N = 5 \times 5$ και προκύπτει από συνδυασμό των δύο πινάκων βαρών W_1 και W_2 . Στην περίπτωση που για κάποια διασύνδεση υπάρχουν δύο βάρη ένα στον πίνακα W_1 και ένα στον W_2 , θα υπολογίζεται ο μέσος όρος των

βαρών. Έτσι στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα είναι $w_{32}^{ave} = [(w_{32}^1 + w_{32}^2) / 2]$. Ο επαυξημένος πίνακας βαρών που προκύπτει θα είναι:

$$W = \begin{pmatrix} 0 & 0 & w_{13} & 0 & 0 \\ w_{21} & 0 & w_{23} & w_{24} & 0 \\ w_{31} & w_{32}^{ave} & 0 & w_{34} & w_{35} \\ 0 & w_{42} & w_{43} & 0 & 0 \\ 0 & w_{52} & w_{53} & w_{54} & 0 \end{pmatrix}$$

3.5 Αλγόριθμοι εκπαίδευσης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων

Μέχρι τώρα περιγράφηκαν οι προτεινόμενες νέες μεθοδολογίες ανάπτυξης και δημιουργίας των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων. Οι μέθοδοι αυτές εκμεταλλεύονται την εμπειρία και τη γνώση των ειδικών στη λειτουργία και συμπεριφορά κάθε συστήματος. Ανακύπτει όμως, η ανάγκη βελτίωσης της μεθόδου ανάπτυξης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων, έτσι ώστε να είναι περισσότερο ανεξάρτητη από τους ειδικούς ανθρώπους. Έτσι έχει προταθεί η χρησιμοποίηση μεθόδων εκπαίδευσης των βαρών των διασυνδέσεων των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων [35][36].

Πιο συγκεκριμένα, τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα μπορούν να θεωρηθούν, ως μια ειδική κατηγορία Νευρωνικών Δικτύων, οπότε οι αλγόριθμοι εκπαίδευσης που χρησιμοποιούνται στα Νευρωνικά Δίκτυα μπορούν να εφαρμοσθούν για την εκπαίδευση των βαρών των διασυνδέσεων μεταξύ των κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου.

Οι αλγόριθμοι εκπαίδευσης που χρησιμοποιούνται στα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα ανήκουν στην κατηγορία των αλγορίθμων εκπαίδευσης χωρίς επιβλέποντα. Έχει προταθεί η χρήση του Διαφορίσιμου Hebbian αλγορίθμου εκπαίδευσης [35] για την εκπαίδευση των βαρών των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος προσαρμόζει το βάρος μιας διασύνδεσης μεταξύ δύο κόμβων ανάλογα με τις μεταβολές των τιμών των κόμβων. Υπολογίζεται θετική αύξηση του βάρους της διασύνδεσης μεταξύ δύο κόμβων, όταν οι τιμές των μεταβλητών και των δύο κόμβων αυξάνουν ή μειώνονται συγχρόνως. Αντίστοιχα θα υπάρχει μια φθίνουσα μεταβολή του βάρους μιας διασύνδεσης, όταν οι τιμές των μεταβλητών των κόμβων κινούνται προς αντίθετες κατευθύνσεις, δηλαδή η μεταβολή των τιμών των μεταβλητών τους είναι αντίθετη.

Ο προτεινόμενος πρώτης τάξης κανόνας εκπαίδευσης των βαρών των διασυνδέσεων μεταξύ των κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου βασίζεται στη συσχέτιση ή διαφορίσιμο Hebbian αλγόριθμο εκμάθησης. Προτείνεται η εφαρμογή του ακόλουθου κανόνα για υπολογισμό της μεταβολής της τιμής του βάρους κάθε διασύνδεσης:

$$\dot{w}_{ij} = -w_{ij} + \dot{A}_i \dot{A}_j \quad (3.17)$$

Όπου, όταν οι τιμές των μεταβλητών των κόμβων C_i και C_j κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση, θα είναι $\dot{A}_i \dot{A}_j > 0$ και όταν οι τιμές των μεταβλητών των κόμβων C_i και C_j κινούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση θα είναι $\dot{A}_i \dot{A}_j < 0$. Έτσι λοιπόν για τους κόμβους εκείνους που τείνουν να αυξάνουν ή να μειώνουν συγχρόνως τις τιμές των μεταβλητών τους θα αυξάνει το βέρος της μεταξύ τους διασύνδεσης. Ενώ όταν οι τιμές των μεταβλητών δύο κόμβων κινούνται προς αντίθετες κατευθύνσεις, το βάρος της αντίστοιχης διασύνδεσης θα μειώνεται [C9].

Προσαρμόζοντας λοιπόν τον διαφορίσιμο Hebbian αλγόριθμο εκπαίδευσης στο πλαίσιο των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων [J5] προτείνεται ο ακόλουθος κανόνας εκπαίδευσης, ο οποίος υπολογίζει τη μεταβολή της τιμής του βάρους μιας διασύνδεσης μεταξύ δύο κόμβων σε σχέση με τη μεταβολή των τιμών των μεταβλητών των κόμβων :

$$\dot{w}_{ji} = -w_{ji} + s(A_j^t)s(A_i^t) + \dot{s}(A_j^{t-1})\dot{s}(A_i^{t-1}) \quad (3.18)$$

Όπου $s(x) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda x}}$ και $\dot{w}_{ji}$ είναι η μεταβολή του βάρους της διασύνδεσης από τον κόμβο C_j προς τον κόμβο C_i , το οποίο εξαρτάται από την προηγούμενη τιμή A_i^{t-1} της μεταβλητής του κόμβου C_i και την νέα τιμή A_j^{t-1} της μεταβλητής του κόμβου C_j .

Εάν χρησιμοποιηθεί η μέθοδος ανάπτυξης που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 3.4.4, η οποία χρησιμοποιεί μια συνάρτηση για να περιγράψει την αιτιατή σχέση μεταξύ δύο κόμβων και επομένως το βάρος της διασύνδεσης, τότε ο απλός Hebbian αλγόριθμος εκπαίδευσης θα είναι :

$$\dot{g}_{ij} = \eta \dot{A}_i \dot{A}_j \quad (3.19)$$

Η μεταβολή της τιμής του βάρους μιας διασύνδεσης που συνδέει δύο κόμβους είναι συνάρτηση της μεταβολής των τιμών των μεταβλητών των κόμβων σε κάθε βήμα εκπαίδευσης και εξαρτάται από έναν παράγοντα η που εκφράζει το βαθμό μάθησης και ο οποίος μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια εκπαίδευσης του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου.

Η εφαρμογή αλγορίθμων εκπαίδευσης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων βελτιώνει τα χαρακτηριστικά τους και τους εφοδιάζει με χρήσιμα χαρακτηριστικά των Νευρωνικών Δικτύων, όπως η ικανότητα να μαθαίνουν οποιοσδήποτε μη γραμμική σχέση, να γενικεύουν σε καταστάσεις που διαφέρουν από τα δεδομένα εκπαίδευσης, η ικανότητα να προσαρμόζονται και να δείχνουν ανεκτικότητα στα λάθη.

Είναι φανερό ότι οι αλγόριθμοι εκπαίδευσης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων χρειάζονται περισσότερη έρευνα και θα είναι μια από τις κατευθύνσεις συνέχισης της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

3.6 Περίληψη του κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό έγινε μια αναλυτική περιγραφή των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων. Παρουσιάστηκε ένα νέο μαθηματικό μοντέλο τους και προτάθηκαν νέες μοντελοποιήσεις των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων. Πραγματοποιήθηκε μια ολοκληρωμένη περιγραφή της μεθοδολογίας σχεδιασμού των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων και αναπτύχθηκαν σε βάθος τέσσερις νέες μεθοδολογίες δημιουργίας και σχεδίασης Ασαφών Γνωστικών Δικτύων με αντίστοιχους αλγόριθμους και παραδείγματα. Δόθηκε έτσι η δυνατότητα για πρώτη φορά να γίνει μια συνολική αντιμετώπιση του προβλήματος της σχεδίασης ενός Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου. Η οποία οδήγησε σε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση του θέματος σχεδίασης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων και προτάθηκε μια τεχνική σύνθεσης Ασαφών Γνωστικών Δικτύων. Τέλος εξετάστηκαν οι δυνατότητες εκπαίδευσης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων και παρουσιάστηκαν αλγόριθμοι εκπαίδευσης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΣΑΦΗ ΓΝΩΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

4.1 Εισαγωγή

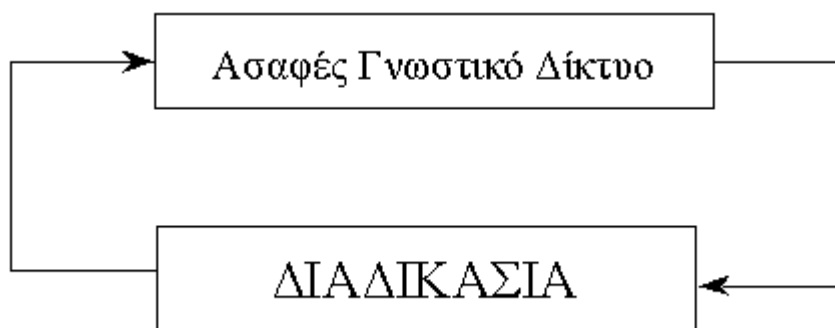
Τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα έχουν χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρύτατο σύνολο επιστημονικών πεδίων, με μικρή όμως συνεισφορά και εφαρμογή στην περιοχή της μοντελοποίησης και ελέγχου συστημάτων. Μια πρώτη προσέγγιση για την εφαρμογή των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων στην μοντελοποίηση μιας εγκατάστασης διαδικασιών πραγματοποιήθηκε από τους Goto et al. [16][17], οι οποίοι χρησιμοποίησαν Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα για να μοντελοποιήσουν και ελέγξουν έναν σταθμό αντλιών όμβριων υδάτων, ένα σύστημα που χαρακτηρίζεται από έντονη μη γραμμικότητα, εξαρτώμενο από φυσικά φαινόμενα, όπως η βροχόπτωση και η πρόβλεψή της.

Τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα έχουν αυξημένες δυνατότητες να περιγράψουν τη συμπεριφορά ενός δυναμικού συστήματος, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις εκείνες που είναι δύσκολο ή αδύνατο να εξαχθεί ένα ακριβές μαθηματικό μοντέλο του συστήματος με χρήση διαφορικών εξισώσεων ή άλλων μαθηματικών εργαλείων. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων είναι το γεγονός ότι δημιουργούν ένα εννοιολογικό μοντέλο του συστήματος στο οποίο περιλαμβάνονται έννοιες που αφορούν τα γενικά χαρακτηριστικά του

συστήματος όπως τα έχει κατανοήσει ο εμπειρογνώμονας που αναπτύσσει το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο. Σε ένα τέτοιο μοντέλο της συμπεριφοράς του συστήματος εμπεριέχεται η γνώση και εμπειρία του ειδικού και είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιπτώσεις που αλλάζει ο χειριστής του συστήματος ή μεταβάλλονται οι εξωτερικές συνθήκες λειτουργίας. Γενικά τα Ασαφής Γνωστικά Δίκτυα ανήκουν στην οικογένεια των εύκαμπτων μεθόδων υπολογισμού, οι οποίες χαρακτηρίζονται από την ικανότητά τους να μοντελοποιούν και να ελέγχουν συστήματα, τα οποία ο άνθρωπος χειριστής μπορεί και ελέγχει ικανοποιητικά.

4.2 Μοντελοποίηση ενός συστήματος και άμεσος έλεγχος [J2]

Μια νέα προσέγγιση στη χρήση των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων για τη μοντελοποίηση και έλεγχο συστημάτων προτείνεται και αναλύεται στην ενότητα αυτή. Θεωρείται ότι υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ του ελεγχόμενου συστήματος και του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου, η οποία σχηματικά απεικονίζεται στο σχήμα 4.1.



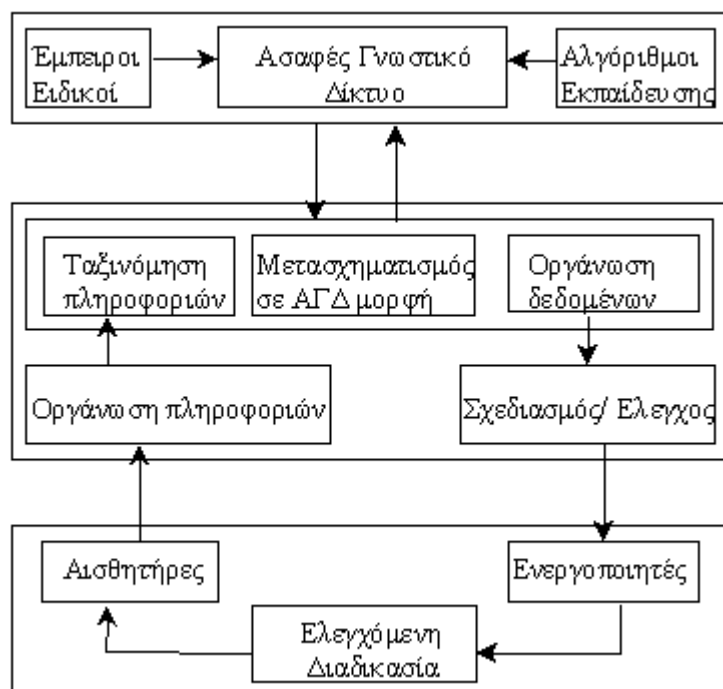
Σχήμα 4.1 Το σύστημα ελεγχόμενης διαδικασίας και Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Σε αυτή την περίπτωση ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο μοντελοποιεί τη διαδικασία και χρησιμοποιείται για να οδηγήσει τη διαδικασία σε μια επιλεγμένη περιοχή σύγκλισης. Όπως φαίνεται από το σχήμα υπάρχει μια άμεση αλληλεπίδραση μεταξύ της ελεγχόμενης διαδικασίας και του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου καθώς και μια διαρκής ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των δύο.

4.2.1 Αναλυτική περιγραφή της προτεινόμενης δομής του συστήματος

Προτείνεται εδώ μια πιο ολοκληρωμένη απεικόνιση που θα περιλαμβάνει και το σχηματισμό της διάταξης διασύνδεσης που πρέπει να αναπτυχθεί και να παρεμβληθεί μεταξύ της διαδικασίας και του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου. Η ανάπτυξη ενός μηχανισμού διασύνδεσης μεταξύ της διαδικασίας και του ελεγκτή είναι απαραίτητη, γιατί οι κόμβοι του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου αντιπροσωπεύουν ειδικά χαρακτηριστικά της διαδικασίας και δεν μπορούν να πάρουν άμεσα τιμές από τη διαδικασία διαμέσου ενός απλού μετασχηματισμού τιμών. Και κατά την αντίστροφη διαδικασία μετάδοσης πληροφοριών από το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο προς την ελεγχόμενη διαδικασία τα σήματα ελέγχου θα πρέπει να μετασχηματιστούν σε κατάλληλη μορφή και να οργανωθούν αρμοδίως.

Η πολυεπίπεδη δομή που περιγράφει το συνολικό σύστημα απεικονίζεται στο σχήμα 4.2. Η πολυεπίπεδη δομή του συστήματος περιλαμβάνει τρία επίπεδα, το επίπεδο που περιλαμβάνει την ελεγχόμενη διαδικασία, το επίπεδο της διασύνδεσης και το ανώτερο ιεραρχικά επίπεδο με το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο [C1] .



Σχήμα 4.2. Αναλυτική περιγραφή της δομής του συστήματος

Στο ανώτερο επίπεδο βρίσκεται το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο, το οποίο κατασκευάζεται με χρήση μιας από τις μεθόδους που περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 3 από ειδικούς που έχουν γνώση και εμπειρία στον έλεγχο και λειτουργία του συστήματος. Στο σχήμα η συνεισφορά των ανθρώπων ειδικών στην ανάπτυξη του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου καθώς και η εκπαίδευση του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου με χρήση αλγορίθμων εκπαίδευσης ανάλογων με τους εφαρμοζόμενους στα Νευρωνικά Δίκτυα απεικονίζεται, ως συνεισφορά και είσοδος στο Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο από δύο ξεχωριστά τμήματα.

Στο κατώτερο επίπεδο βρίσκεται η ελεγχόμενη διαδικασία, στην οποία είναι διασυνδεδεμένοι αισθητήρες που μετρούν μεταβλητές και άλλα μεγέθη της διαδικασίας. Αυτές οι μετρήσεις θα πρέπει να μετασχηματιστούν και μεταδοθούν στο Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο. Υπάρχουν ακόμη ενεργοποιητές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, ως είσοδοι στη διαδικασία, να επηρεάσουν κάποια τμήματα αυτής, να την ελέγχουν και να την οδηγούν σε επιθυμητές περιοχές λειτουργίας.

Το ενδιάμεσο επίπεδο αποτελεί τη διάταξη διασύνδεσης μεταξύ του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου και της ελεγχόμενης διαδικασίας. Στη διάταξη διασύνδεσης οι μετρήσεις και άλλες πληροφορίες από το κατώτερο επίπεδο, οργανώνονται σε ομάδες, κατηγοριοποιούνται και τελικά μετασχηματίζονται σε κατάλληλη μορφή για μετάδοση στο Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο, ανάλογα με την δομή και κατασκευή του, ούτως ώστε να αποτελούν κατευθείαν εισόδους σε κάποιους κόμβους του Δικτύου. Σημειώνεται ότι είναι δυνατόν μια ή περισσότερες μετρήσεις να επηρεάζουν την τιμή της μεταβλητής ενός ή παραπάνω κόμβων στο Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο.

Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθείται κατά τη μετάδοση και μετασχηματισμό πληροφοριών από το επίπεδο του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου προς το επίπεδο της διαδικασίας. Οι τιμές των μεταβλητών κάποιων κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου που θα επιδράσουν στοιχεία της ελεγχόμενης διαδικασίας, αρχικά μετασχηματίζονται από την ασαφή μορφή τους σε πραγματικές τιμές μεταβλητών και οργανώνονται ανάλογα με τα στοιχεία της διαδικασίας που επηρεάζουν. Στη συνέχεια καθορίζονται τα στοιχεία ελέγχου και σχεδιασμού τα οποία δίνουν τα κατάλληλα σήματα εισόδου και μεταδίδονται στους ενεργοποιητές, οι οποίοι αποτελούν άμεσες εισόδους προς στοιχεία της ελεγχόμενης διαδικασίας.

4.2.2. Περιγραφή της λειτουργίας του προτεινόμενου μοντέλου ελέγχου μιας διαδικασίας

Ακολούθως θα περιγραφεί γενικά η λειτουργία του προτεινόμενου γενικευμένου μοντέλου για άμεσο έλεγχο μιας διαδικασίας. Καταρχήν θα πρέπει πρώτα να δημιουργηθεί και αναπτυχθεί από τους ειδικούς το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο και να χρησιμοποιηθούν αλγόριθμοι εκπαίδευσης, όπως έχει περιγραφεί στο κεφάλαιο 3, έτσι ώστε τα κατάλληλα βάρη να έχουν δοθεί στις διασυνδέσεις μεταξύ των κόμβων. Στη συνέχεια, δίνονται αρχικές τιμές στις μεταβλητές των κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου κάποιες από τις οποίες προέρχονται από την ελεγχόμενη διαδικασία, ενώ οι υπόλοιπες μπορεί να αντιπροσωπεύουν επιθυμητές τιμές κάποιων κόμβων. Οι μετρούμενες τιμές από την διαδικασία μετασχηματίζονται και μεταδίδονται διαμέσου της διασύνδεσης στο Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο οι κόμβοι του οποίου αφήνονται ελεύθεροι να αλληλεπιδράσουν και η μεταβλητή κάθε κόμβου παίρνει νέες τιμές, ως αποτέλεσμα της υφιστάμενης σχέσης του με τους υπόλοιπους κόμβους με εφαρμογή των μεθόδων υπολογισμού (3.3) και (3.4).

Οι τιμές των μεταβλητών των κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου αλλάζουν μέχρι το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο να φθάσει σε ένα σημείο ισορροπίας, οπότε οι τιμές των μεταβλητών των κόμβων θα πρέπει να μεταδοθούν προς το κατώτερο επίπεδο, να μετασχηματισθούν σε φυσικές τιμές μεταβλητών και να επηρεάσουν τη διαδικασία. Έτσι οι τιμές των μεταβλητών των κόμβων που είναι είσοδοι στη διαδικασία, όπως η τιμή που πρέπει να έχει ένα στοιχείο ελέγχου, π.χ. μια βαλβίδα, μεταδίδονται διαμέσου της διασύνδεσης προς τη διαδικασία και μετασχηματιζόμενες και παίρνουν πραγματικές τιμές. Η μετατροπή από τις ασαφείς τιμές των μεταβλητών των κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου σε πραγματικές τιμές γίνεται με μέθοδο αντιστοίχισης τιμών.

Οι πληροφορίες που έρχονται από το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο, κατηγοριοποιούνται, οργανώνονται και περνούν στο τμήμα για το σχεδιασμό και έλεγχο, από όπου καθορίζονται και στέλνονται τα κατάλληλα σήματα ελέγχου που θα εφαρμοσθούν στη διαδικασία και τα οποία οδηγούνται προς τους αντίστοιχους ενεργοποιητές. Με αυτό τον τρόπο επηρεάζεται η διαδικασία, ελέγχονται κάποιες μεταβλητές της διαδικασίας και επομένως αλλάζουν τα μετρούμενα μεγέθη, οι νέες τιμές των οποίων θα πρέπει να μεταδοθούν στο Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο .

Παρατηρήσεις

Βέβαια είναι πιθανόν το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο να μην έχει σχεδιαστεί και αναπτυχθεί κατάλληλα και να μην έχουν επιλεγεί τα κατάλληλα βάρη από τον αλγόριθμο εκπαίδευσης, με αποτέλεσμα να οδηγείται σε μία περιοχή ισορροπίας, στην οποία οι τιμές των κόμβων μεταβάλλονται πολύ αργά και σε μικρό βαθμό. Σε αυτή την περίπτωση απαιτείται μια εξωτερική παρέμβαση, η οποία θα αναγκάσει το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο να σταματήσει να αλληλεπιδρά και θα αποστείλει κανονικά σήματα ελέγχου στη διαδικασία. Αυτό βέβαια μπορεί να πραγματοποιηθεί και με την ύπαρξη κατάλληλων συνθηκών στο λογισμικό που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των τιμών του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου που ελέγχει τη διαδικασία και υπολογίζει το αποτέλεσμα των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου.

4.3 Εφαρμογή ενός Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου για τη μοντελοποίηση και έλεγχο ενός συστήματος

Μια πρώτη εφαρμογή της μεθόδου των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων για την μοντελοποίηση και έλεγχο μιας απλής χημικής διαδικασίας θα αναλυθεί στη συνέχεια και θα αναδείξει τον τρόπο επιλογής των κόμβων και γενικά της ανάπτυξης ενός Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου για ένα φυσικό σύστημα από τους ειδικούς, οι οποίοι γνωρίζουν την λειτουργία και δυναμική συμπεριφορά του συστήματος [J3].

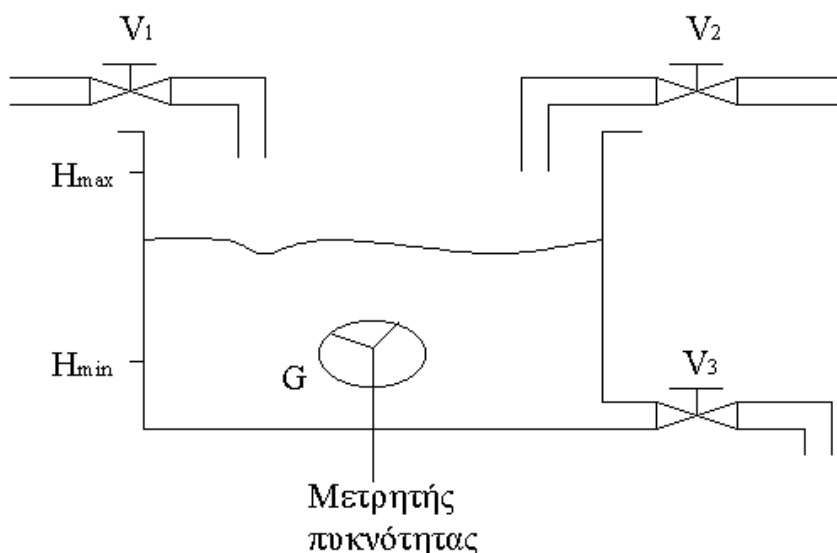
4.3.1 Περιγραφή του προβλήματος

Εξετάζεται το σύστημα μιας δεξαμενής που χρησιμοποιείται σε μια χημική διαδικασία, το οποίο αποτελείται από μια δεξαμενή D1 και τρεις βαλβίδες που επηρεάζουν και μεταβάλλουν τη στάθμη του υγρού μέσα στη δεξαμενή. Οι δύο σωλήνες ρίχνουν στη δεξαμενή δύο διαφορετικά υγρά και η ροή των υγρών από τους σωλήνες καθορίζεται από την κατάσταση των βαλβίδων V1 και V2. Η ανάμιξη των δύο υγρών μέσα στη δεξαμενή προκαλεί την έναρξη μιας χημικής αντίδρασης και την παραγωγή ενός νέου υγρού το οποίο οδηγείται

στην έξοδο της διαδικασίας και η ροή του καθορίζεται από τη βαλβίδα V3. Η περιγραφείσα διάταξη απεικονίζεται στο σχήμα 4.3.

Μέσα στη δεξαμενή υπάρχει ένας αισθητήρας που μετρά το ειδικό βάρος του παραγόμενου υγρού. Όταν έχει παραχθεί το επιθυμητό υγρό θα έχει ειδική πυκνότητα που θα κυμαίνεται μεταξύ των ορίων $G_{\min}$ και $G_{\max}$. Και βέβαια η στάθμη του υγρού μέσα στη δεξαμενή θα κυμαίνεται μεταξύ ενός κατώτατου ορίου $H_{\min}$ και ενός ανώτερου ορίου $H_{\max}$. Ο αντικειμενικός στόχος λοιπόν του συστήματος ελέγχου είναι πρώτα από όλα η παραγωγή του κατάλληλου υγρού, ως αποτέλεσμα της χημικής αντίδρασης και η διακύμανση της στάθμης του υγρού μεταξύ των επιτρεπομένων ορίων. Οπότε θα πρέπει για τις αντίστοιχες μεταβλητές να ισχύουν οι περιορισμοί :

$$\begin{aligned} G_{\min} &\leq G \leq G_{\max} \\ H_{\min} &\leq H \leq H_{\max} \end{aligned} \quad (4.1)$$



Σχήμα 4.3. Το σύστημα της διαδικασίας αποτελούμενο από δεξαμενή, βαλβίδες και μετρητή.

4.3.2. Ανάπτυξη του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου για έλεγχο της διαδικασίας

Καταρχήν θα πρέπει να αναπτυχθεί από τους ειδικούς - γνώστες του συστήματος - το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο που περιγράφει το σύστημα σύμφωνα με τις μεθόδους που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 3, και επομένως πρέπει να καθορισθούν οι κόμβοι στους οποίους θα αντιστοιχίσουν τις μεταβλητές και καταστάσεις της διαδικασίας, όπως είναι οι καταστάσεις των βαλβίδων, οι τιμές της ειδικής πυκνότητας του υγρού και η στάθμη του υγρού μέσα στη

δεξαμενή. Αναπτύσσεται, λοιπόν ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο που αποτελείται από πέντε κόμβους:

Κόμβος 1: Η στάθμη του υγρού H στη δεξαμενή, η οποία εξαρτάται από τις καταστάσεις των βαλβίδων $V1$, $V2$, $V3$.

Κόμβος 2: Η κατάσταση της βαλβίδας $V1$, μπορεί να είναι ανοιχτή, κλειστή ή μερικώς ανοιχτή.

Κόμβος 3: Η κατάσταση της βαλβίδας $V2$, μπορεί να είναι ανοιχτή, κλειστή ή μερικώς ανοιχτή.

Κόμβος 4: Η κατάσταση της βαλβίδας $V3$, μπορεί να είναι ανοιχτή, κλειστή ή μερικώς ανοιχτή.

Κόμβος 5: Η τιμή της ειδικής πυκνότητας του υγρού μέσα στη δεξαμενή όπως μετριέται από τον αισθητήρα.

Στη συνέχεια καθορίζονται οι υπάρχουσες σχέσεις αιτίας και αποτελέσματος μεταξύ των κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου, όπως έχουν αποκωδικοποιηθεί και καταγραφεί από τους εμπειρογνώμονες μέσα από την παρατήρηση της συμπεριφοράς και λειτουργίας του συστήματος κάτω από την επίβλεψη και έλεγχο από τον ανθρώπινο παράγοντα. Θα πρέπει σε αυτό το σημείο να τονισθεί ότι οι διασυνδέσεις εμπεριέχουν και τις ενέργειες του ανθρώπου χειριστή της διαδικασίας ή άλλα εξωτερικά γεγονότα και δεν αντιπροσωπεύουν απλά την άμεση σχέση μεταξύ των φυσικών στοιχείων της διαδικασίας.

Σύμφωνα με τον αλγόριθμο επιλογής και ανάπτυξης της παραγράφου 3.3, αρχικά καθορίζεται ποιος κόμβος θα συνδεθεί με ποιόν και με ποια φορά, και έτσι οι ειδικοί σχεδιάζουν τις ακόλουθες οκτώ διασυνδέσεις:

Διασύνδεση 1: Συνδέει τον κόμβο 2, (περιγράφει την κατάσταση της βαλβίδας $V1$), με τον κόμβο 1 (αντιπροσωπεύει την στάθμη του υγρού στη δεξαμενή). Η κατάσταση της βαλβίδας $V1$ επηρεάζει είτε θετικά είτε καθόλου τη στάθμη του υγρού.

Διασύνδεση 2: Συσχετίζει τον κόμβο 3 (κατάσταση της βαλβίδας $V2$) με τον κόμβο 1 (στάθμη υγρού στη δεξαμενή), ανάλογα με την κατάσταση της βαλβίδας $V2$ αυξάνει ή όχι η τιμή της στάθμης του υγρού.

Διασύνδεση 3: Συνδέει τον κόμβο 4 (κατάσταση βαλβίδας V3) με τον κόμβο 1 (στάθμη υγρού στη δεξαμενή), η βαλβίδα V3 προκαλεί μείωση ή όχι της στάθμης του υγρού.

Διασύνδεση 4: Συσχετίζει τον κόμβο 1 (στάθμη υγρού) με τον κόμβο 2 (βαλβίδα V1). Όταν η στάθμη του υγρού είναι υψηλή η βαλβίδα V1 (κόμβος 2) το κλείσιμο της βαλβίδας μειώνει το εισερχόμενο υγρό.

Διασύνδεση 5: Συσχετίζει τον κόμβο 1 (στάθμη υγρού) με τον κόμβο 3 (βαλβίδα V2). Όταν η στάθμη του υγρού είναι υψηλή η βαλβίδα V2 (κόμβος 3) χρειάζεται κλείσιμο ώστε να μειωθεί το εισερχόμενο υγρό.

Διασύνδεση 6: Συνδέει τον κόμβο 5 (ειδική πυκνότητα παραγόμενου υγρού) με τον κόμβο 4 (βαλβίδα V3), ανάλογα με τη τιμή της ειδικής πυκνότητας του υγρού ανοίγει ή όχι η βαλβίδα V3.

Διασύνδεση 7: Δείχνει την επίδραση του κόμβου 1 (στάθμη υγρού) στον καθορισμό της ειδικής πυκνότητας του υγρού (κόμβος 5), καθώς η ποσότητα του υγρού μεταβάλλεται μέσα στη δεξαμενή επηρεάζεται η ειδική πυκνότητα του υγρού.

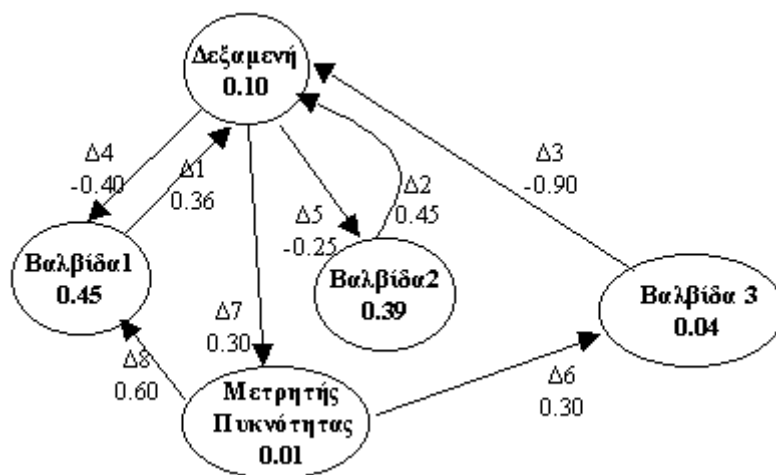
Διασύνδεση 8: Συσχετίζει τον κόμβο 5 (ειδική πυκνότητα υγρού) με την τιμή του κόμβου 2 (βαλβίδα V1), όταν η ειδική πυκνότητα του υγρού είναι χαμηλή ανοίγει η βαλβίδα V1 και εισέρχεται περισσότερο υγρό τύπου Α στην δεξαμενή.

Στο σχήμα 4.4 απεικονίζεται το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο, που μόλις κατασκευάστηκε και στο οποίο φαίνονται και οι τιμές των βαρών των διασυνδέσεων μεταξύ των κόμβων του Δικτύου. Η μεταβλητή κάθε κόμβου έχει μια τιμή που ανήκει στο διάστημα $[0,1]$ και προέρχεται από μετασχηματισμό στο συγκεκριμένο διάστημα της πραγματικής τιμής του φυσικού μεγέθους που αντιπροσωπεύει ο κάθε κόμβος ή άλλες επιθυμητές τιμές. Έτσι οι αρχικές τιμές των κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου, περιλαμβάνονται στο άνωσμα:

$$A_0=[0.1 \ 0.45 \ 0.39 \ 0.04 \ 0.01] \quad (4.2)$$

Για τον υπολογισμό των βαρών των διασυνδέσεων χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος της παραγράφου 3.4.1 και ο πίνακας βαρών του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου θα είναι :

$$W = \begin{bmatrix} 0 & -0.4 & -0.25 & 0 & 0.3 \\ 0.36 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.45 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.39 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.6 & 0 & 0.3 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.3)$$



Σχήμα 4.4. Το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο με τις αρχικές τιμές των μεταβλητών των κόμβων

4.3.3 Προσομοίωση λειτουργίας του συστήματος

Το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο με τις αρχικές τιμές των μεταβλητών των κόμβων, ξεκινά την προσομοίωση της συμπεριφοράς του συστήματος, χρησιμοποιώντας την εξίσωση (4.4) μαζί με τη σιγμοειδή συνάρτηση της σχέσης (4.5), για τον υπολογισμό των νέων τιμών των κόμβων μετά από κάθε αλληλεπίδραση, ως αποτέλεσμα των αιτιατών διασυνδέσεων μεταξύ των κόμβων.

$$A^t = f(A^{t-1}W) \quad (4.4)$$

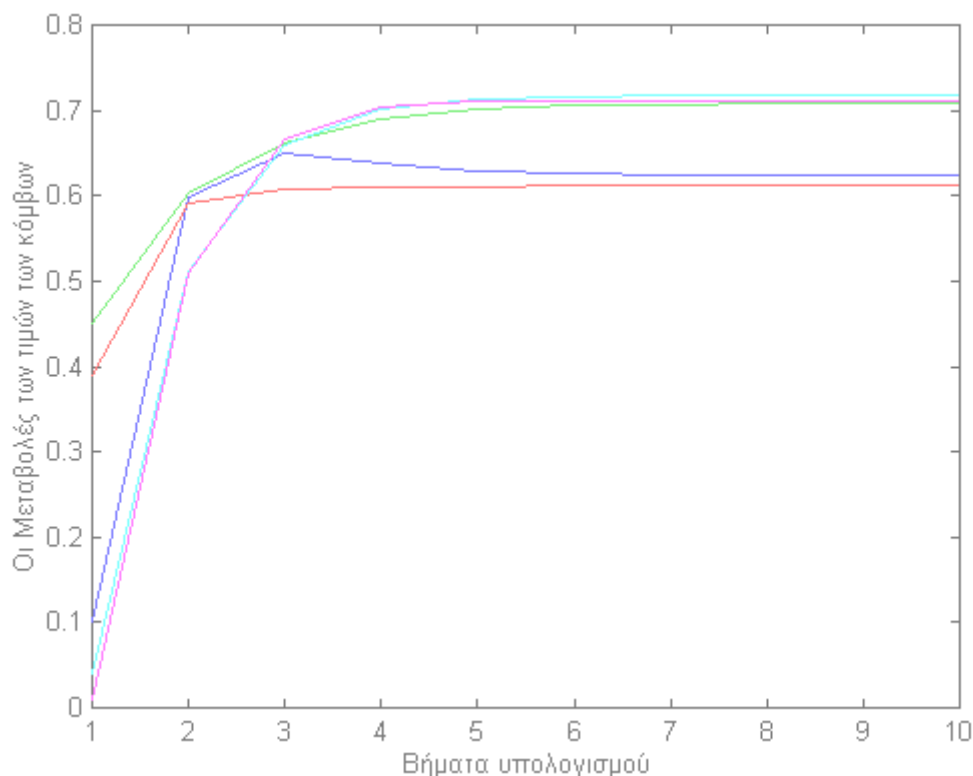
$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (4.5)$$

Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τα δέκα πρώτα βήματα και η γραφική απεικόνιση των τιμών των μεταβλητών των κόμβων απεικονίζεται στο σχήμα 4.5. Από την επεξεργασία των τιμών των μεταβλητών των κόμβων προκύπτει ότι το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο μετά την έβδομη επανάληψη φτάνει σε μια περιοχή σύγκλισης.

Πίνακας 4.1 Οι τιμές των κόμβων για τα δέκα πρώτα βήματα

Βήμα	Δεξαμενή D1	Βαλβίδα V1	Βαλβίδα V2	Βαλβίδα V3	Ειδική πυκνότητα G
1	0.1000	0.4500	0.3900	0.0400	0.0100
2	0.5990	0.6025	0.5903	0.5107	0.5100
3	0.6506	0.6613	0.6084	0.6601	0.6659
4	0.6384	0.6901	0.6096	0.7026	0.7029
5	0.6292	0.7019	0.6106	0.7137	0.7098
6	0.6258	0.7060	0.6114	0.7164	0.7107
7	0.6249	0.7073	0.6118	0.7170	0.7106
8	0.6247	0.7076	0.6120	0.7171	0.7106
9	0.6247	0.7077	0.6120	0.7171	0.7105
10	0.6247	0.7077	0.6120	0.7171	0.7105

Όταν το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο έχει φθάσει σε μια περιοχή ισορροπίας, στη συνέχεια με τη μεθοδολογία που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 4.2.2, οι νέες τιμές των μεταβλητών των κόμβων μεταδίδονται στο πραγματικό σύστημα, το οποίο επηρεάζουν. Έτσι μεταδίδονται οι τιμές των κόμβων K2, K3, K4 που αντιστοιχούν στις βαλβίδες V1, V2 και V3, στις οποίες προκαλούν άνοιγμα κατά 70,7% για τη βαλβίδα V1, 61,2% για τη βαλβίδα V2, 71,1% για τη βαλβίδα V3.

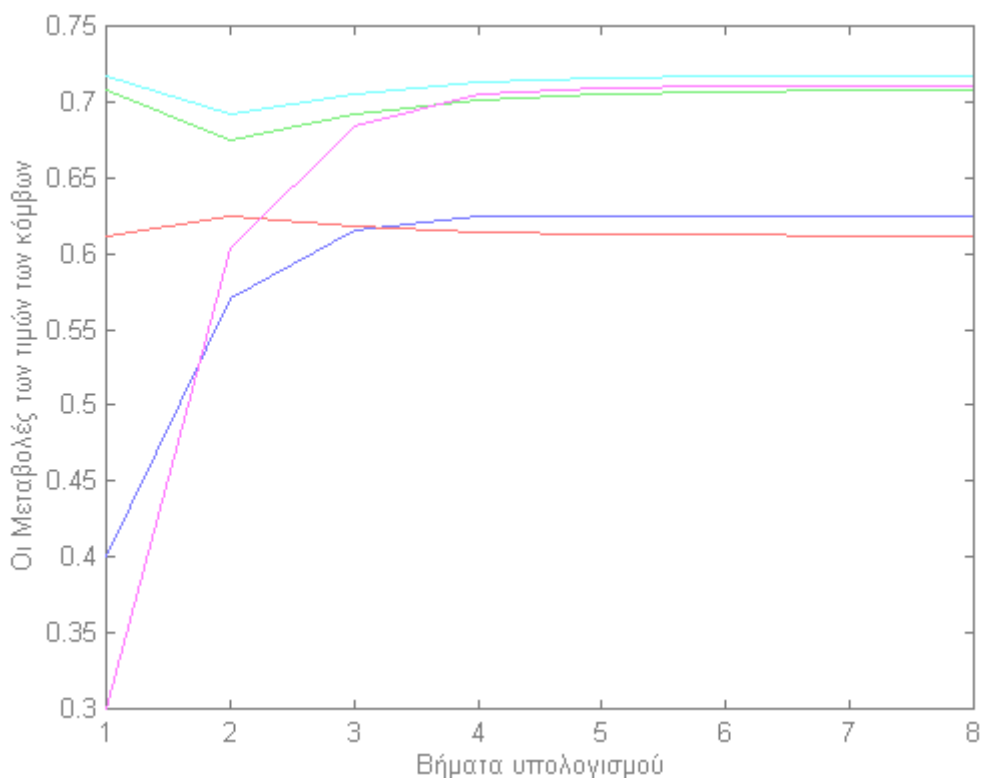


Σχήμα 4.5 Οι μεταβολές των τιμών των μεταβλητών των κόμβων για τα πρώτα δέκα βήματα

Στη συνέχεια οι τιμές των μετρήσεων της στάθμης του υγρού στη δεξαμενή και η τιμή της ειδικής πυκνότητας του υγρού μεταδίδονται προς τον Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο, για το συγκεκριμένο παράδειγμα οι νέες τιμές θα είναι για τον κόμβο $K1=0,4$ και $K2=0,3$. Οπότε το νέο διάνυσμα με τις τιμές των κόμβων θα είναι :

$$A_1 = [0.4 \ 0.7077 \ 0.6120 \ 0.7171 \ 0.3]$$

Με τις νέες τιμές των μεταβλητών των κόμβων το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο αλληλεπιδρά, οι τιμές των μεταβλητών των κόμβων μετά από κάθε βήμα παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2 και η μεταβολή των τιμών των μεταβλητών των κόμβων απεικονίζεται στο σχήμα 4.6. Από το σχήμα συμπεραίνεται, ότι μετά από το 6 βήμα προσομοίωσης το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο φτάνει σε ένα νέο σημείο ισορροπίας. Στη συνέχεια επαναλαμβάνεται η προηγούμενη διαδικασία ελέγχου του συστήματος με την εφαρμογή των νέων τιμών στο πραγματικό σύστημα και ούτω καθεξής.



Σχήμα 4.6 Οι μεταβολές των τιμών των μεταβλητών των πέντε κόμβων για οκτώ επαναλήψεις.

Πίνακας 4.2 Οι νέες τιμές των μεταβλητών κόμβων μετά την μετάδοση τιμών από το πραγματικό σύστημα

Βήμα	Δεξαμενή D1	Βαλβίδα V1	Βαλβίδα V2	Βαλβίδα V3	Ειδική πυκνότητα G
1	0.4000	0.7077	0.6120	0.7171	0.3000
2	0.5707	0.6743	0.6253	0.6915	0.6035
3	0.6160	0.6917	0.6184	0.7053	0.6845
4	0.6245	0.7018	0.6140	0.7131	0.7046
5	0.6252	0.7057	0.6125	0.7160	0.7093
6	0.6249	0.7071	0.6121	0.7168	0.7103
7	0.6248	0.7075	0.6120	0.7171	0.7105
8	0.6247	0.7076	0.6120	0.7171	0.7105

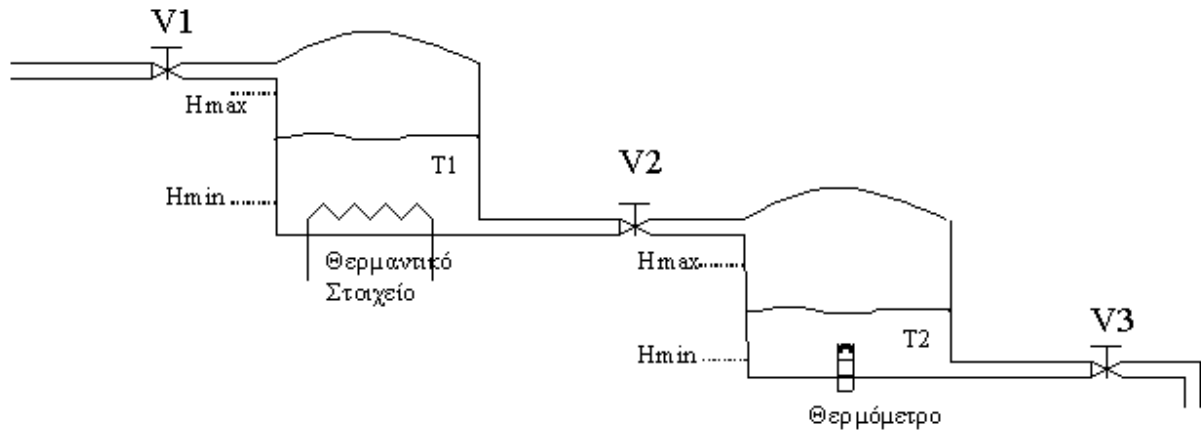
4.4 Εφαρμογή ενός Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου για τη μοντελοποίηση και έλεγχο μιας διαδικασίας

Θα εξετασθεί στη συνέχεια η κατασκευή ενός Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου για την μοντελοποίηση και έλεγχο μιας περισσότερο πολύπλοκης χημικής διαδικασίας [J5].

Το εξεταζόμενο σύστημα αποτελείται από δύο διασυνδεδεμένες δεξαμενές. Στην πρώτη δεξαμενή D1 χύνεται υγρό διαμέσου της βαλβίδας V1, το οποίο στη συνέχεια διαμέσου της βαλβίδας V2 περνά στη δεξαμενή D2 από όπου διαμέσου της βαλβίδας V3 συνεχίζει στην υπόλοιπη διαδικασία μέσα στο εργοστάσιο. Στη δεξαμενή D1 υπάρχει ένα θερμαντικό στοιχείο το οποίο θερμαίνει το υγρό, έτσι ώστε όταν φτάσει στην επιθυμητή θερμοκρασία ανοίγει η βαλβίδα V2 και το υγρό χύνεται στη δεξαμενή D2, στην οποία λαμβάνει χώρα μια χημική αντίδραση και στη συνέχεια το παραγόμενο υγρό οδηγείται στην επόμενη διαδικασία.

Είναι λοιπόν επιθυμητό το υγρό στη δεξαμενή D1 να έχει μια θερμοκρασία που κυμαίνεται μεταξύ ενός κατώτατου $T_{\min}^1$ και ανώτερου $T_{\max}^1$ ορίου, κάτι που καθορίζεται με τη λειτουργία της θερμαντικής συσκευής. Υπάρχουν φυσικοί περιορισμοί για το ανώτερο $H_{\max}$ και κατώτερο $H_{\min}$ ύψος της στάθμης του υγρού μέσα στην κάθε δεξαμενή, που επηρεάζεται από τη λειτουργία των βαλβίδων V1 και V2. Στη δεξαμενή D2 υπάρχουν περιορισμοί για τη στάθμη του υγρού, που μπορούν να ικανοποιηθούν από τη λειτουργία των βαλβίδων V2 και V3. Η θερμοκρασία του υγρού στη δεξαμενή D2 μετριέται με ένα θερμόμετρο και ζητείται να κυμαίνεται μεταξύ δύο συγκεκριμένων ορίων $T_{\min}^2$ και $T_{\max}^2$, κάτι που επιτυγχάνεται με έμμεσο

τρόπο διαμέσου του ελέγχου της βαλβίδας V2, η οποία ρίχνει θερμό υγρό μέσα στη δεξαμενή D2.



Σχήμα 4.7 Σχηματική αναπαράσταση της ελεγχόμενης διαδικασίας

Το ελεγχόμενο σύστημα θα πρέπει να ικανοποιεί συνθήκες για τη στάθμη του υγρού και για τη θερμοκρασία του υγρού και στις δύο δεξαμενές, δηλαδή θα πρέπει να ισχύουν οι ακόλουθες ανισότητες:

$$\begin{aligned}
 H_{\min}^1 &\leq H^1 \leq H_{\max}^1 \\
 H_{\min}^2 &\leq H^2 \leq H_{\max}^2 \\
 T_{\min}^1 &\leq T^1 \leq T_{\max}^1 \\
 T_{\min}^2 &\leq T^2 \leq T_{\max}^2
 \end{aligned}
 \tag{4.6}$$

4.4.1. Ανάπτυξη του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου για τον έλεγχο της διαδικασίας

Για το συγκεκριμένο σύστημα, ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο αναπτύσσεται ακολουθώντας τις μεθόδους που έχουν περιγραφεί στο κεφάλαιο 3. Οι μεταβλητές, οι καταστάσεις, οι έξοδοι και οι είσοδοι του συστήματος θα αποτελέσουν τους κύριους κόμβους, από τους οποίους θα αποτελείται το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο. Οι οκτώ κόμβοι που απαρτίζουν το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο είναι :

Κόμβος 1: Το ύψος του υγρού H^1 στη δεξαμενή D1. Η στάθμη του υγρού εξαρτάται από την κατάσταση της βαλβίδας V1 και της βαλβίδας V2.

- Κόμβος 2: Το ύψος του υγρού H^2 στη δεξαμενή D2. Το οποίο εξαρτάται από την κατάσταση της βαλβίδας V2 και της βαλβίδας V3.
- Κόμβος 3: Η κατάσταση της βαλβίδας V1. Η βαλβίδα μπορεί να είναι ανοιχτή, κλειστή ή μερικώς ανοιχτή.
- Κόμβος 4: Η κατάσταση της βαλβίδας V2. Η βαλβίδα μπορεί να είναι ανοιχτή, κλειστή ή μερικώς ανοιχτή.
- Κόμβος 5: Η κατάσταση της βαλβίδας V3. Η βαλβίδα μπορεί να είναι ανοιχτή, κλειστή ή μερικώς ανοιχτή.
- Κόμβος 6: Η θερμοκρασία του υγρού T^1 στην δεξαμενή D1.
- Κόμβος 7: Η θερμοκρασία του υγρού T^2 στην δεξαμενή D2.
- Κόμβος 8: Περιγράφει την κατάσταση λειτουργίας του θερμαντικού στοιχείου, το οποίο έχει διάφορα επίπεδα λειτουργίας και αυξάνει τη θερμοκρασία του υγρού στη δεξαμενή D1.

Αφού έχουν καθορισθεί από τους ειδικούς οι κόμβοι που θα περιγράψουν το σύστημα και θα αποτελέσουν το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο. Στη συνέχεια θα πρέπει να τοποθετούν οι διασυνδέσεις μεταξύ των κόμβων. Ακολουθώντας τον αλγόριθμο επιλογής και ανάπτυξης που περιγράφηκε στην παράγραφο 3.3, αρχικά καθορίζονται ποιοι κόμβοι συνδέονται με ποιους, ποια η διεύθυνση αιτιότητας, με ποιο πρόσημο και στη συνέχεια μπαίνουν τα αντίστοιχα βάρη με εφαρμογή του αλγορίθμου 3.3.1. Προτείνονται με αυτό τον τρόπο, οι ακόλουθες δεκατρείς διασυνδέσεις :

- Διασύνδεση 1: Συνδέει τον κόμβο 1 με τον κόμβο 3. Συσχετίζει την ποσότητα του υγρού στη δεξαμενή D1 με την κατάσταση της βαλβίδας V1. Όταν η στάθμη του υγρού στη δεξαμενή είναι χαμηλή, απαιτείται άνοιγμα της βαλβίδας V1.
- Διασύνδεση 2: Συσχετίζει τον κόμβο 1 με τον κόμβο 4. Όταν το ύψος του υγρού στη δεξαμενή D1 πλησιάζει το ανώτατο όριο, απαιτείται το άνοιγμα της βαλβίδα V2 (κόμβος 4), ώστε να μειωθεί η ποσότητα του υγρού στη δεξαμενή.
- Διασύνδεση 3: Συνδέει τον κόμβο 2 με τον κόμβο 4. Όταν η στάθμη του υγρού στη δεξαμενή D2 είναι χαμηλή, απαιτείται το άνοιγμα της βαλβίδας V2 (κόμβος 4), ώστε να αυξηθεί η ποσότητα του εισερχόμενου υγρού.

- Διασύνδεση 4: Συσχετίζει τον κόμβο 2 (στάθμη υγρού στη δεξαμενή D2) με τον κόμβο5 (κατάσταση της βαλβίδας V3). Όταν η στάθμη του υγρού στη δεξαμενή D2 είναι υψηλή απαιτείται άνοιγμα της βαλβίδας V3.
- Διασύνδεση 5: Συνδέει τον κόμβο 3 (κατάσταση βαλβίδας V1) με τον κόμβο1 (στάθμη υγρού στη δεξαμενή D1). Η βαλβίδα V1 αυξάνει την ποσότητα του υγρού μέσα στη δεξαμενή D1.
- Διασύνδεση 6: Συνδέει τον κόμβο 4 (βαλβίδα V2) με τον κόμβο1 (στάθμη υγρού στη δεξαμενή D1). Η βαλβίδα V2 προκαλεί μείωση της ποσότητας του υγρού στη δεξαμενή D1.
- Διασύνδεση 7: Συνδέει τον κόμβο4 με τον κόμβο 2 (στάθμη υγρού στη δεξαμενή D2). Η κατάσταση της βαλβίδας V2 καθορίζει την εισερχόμενη ποσότητα υγρού στη δεξαμενή D2 αυξάνοντας ή όχι την ποσότητα του υγρού.
- Διασύνδεση 8: Συσχετίζει τον κόμβο 5 (βαλβίδα V3) με τον κόμβο2 (στάθμη υγρού στη δεξαμενή D2). Η κατάσταση της βαλβίδας V3 καθορίζει το ρυθμό με τον οποίο μειώνεται η στάθμη του υγρού στη δεξαμενή D2
- Διασύνδεση 9: Συνδέει τον κόμβο6 (θερμοκρασία στη δεξαμενή D1) με τον κόμβο8 (λειτουργία του θερμαντικού στοιχείου). Όταν η θερμοκρασία στη δεξαμενή είναι χαμηλή ζητείται να αυξηθεί η λειτουργία του θερμαντικού στοιχείου.
- Διασύνδεση 10: Συνδέει τον κόμβο 8 (λειτουργία του θερμαντικού στοιχείου) με τον κόμβο6. Η λειτουργία του θερμαντικού στοιχείου αυξάνει τη θερμοκρασία του υγρού στη δεξαμενή D1.
- Διασύνδεση 11: Συνδέει τον κόμβο6 (θερμοκρασία στη δεξαμενή D1) με τον κόμβο 3 (βαλβίδα V1). Όταν η θερμοκρασία στη δεξαμενή είναι υψηλή, με το άνοιγμα της βαλβίδας V1 εισέρχεται υγρό χαμηλότερης θερμοκρασίας στη δεξαμενή.
- Διασύνδεση 12: Συσχετίζει τον κόμβο 7 (θερμοκρασία στη δεξαμενή D2) με τον κόμβο 4 (βαλβίδα V2). Όταν η θερμοκρασία στη δεξαμενή D2 είναι χαμηλή με το άνοιγμα της βαλβίδας V2 εισέρχεται θερμό υγρό στη δεξαμενή.

Διασύνδεση 13: Περιγράφει την επίδραση που έχει η λειτουργία της βαλβίδας V2 (κόμβος 4) στη θερμοκρασία της δεξαμενής D2 (κόμβος 7). Όταν είναι ανοιχτή η βαλβίδα εισέρχεται στη δεξαμενή υγρό υψηλής θερμοκρασίας, αυξάνοντας τη θερμοκρασία του υγρού στη δεξαμενή.

Έτσι λοιπόν σχηματίζεται ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο, το οποίο αποτελείται από οκτώ κόμβους και δεκατρείς διασυνδέσεις. Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων είναι το γεγονός, ότι εύκολα μπορούν να προστεθούν και να αφαιρεθούν κόμβοι, εάν αυτό βοηθά στην καλύτερη περιγραφή του συστήματος, και μάλιστα χωρίς ιδιαίτερο κόστος αφού στη μαθηματική περιγραφή του συστήματος ουσιαστικά προστίθεται ή αφαιρείται στον πίνακα βαρών μια νέα γραμμή και μια νέα στήλη. Αντίστοιχα η πρόσθεση ή αφαίρεση μιας διασύνδεσης στο Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο δεν μεταβάλλει καθόλου τη δομή του, αλλά απλά προσθέτει ή αφαιρεί ένα στοιχείο στον πίνακα βαρών του Δικτύου.

4.4.2 Υπολογισμός των τιμών των μεταβλητών των κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου

Μετά την κατασκευή του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου δίνονται στους κόμβους οι αρχικές τιμές, οι οποίες ανήκουν στο διάστημα $[0,1]$ και προέρχονται από μετατροπή των μετρήσιμων τιμών των φυσικών μεγεθών ή άλλων επιθυμητών τιμών. Έτσι λοιπόν, όταν ξεκινά η διαδικασία, μόνο το 20% της δεξαμενής D1 περιέχει υγρό, οπότε κατά αντιστοιχία η μεταβλητή του κόμβου 1 παίρνει την τιμή 0.2 και με ανάλογο τρόπο οι μεταβλητές των υπόλοιπων κόμβων παίρνουν τιμές. Στο σχήμα 4.4 απεικονίζεται το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο, που έχει αναπτυχθεί για τη συγκεκριμένη διαδικασία, με τις τιμές των μεταβλητών των κόμβων και τα βάρη των διασυνδέσεων μεταξύ των κόμβων. Το διάλυμα καταστάσεων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου και ο πίνακας βαρών δίνονται από τις σχέσεις 4.7 και 4.8 αντίστοιχα.

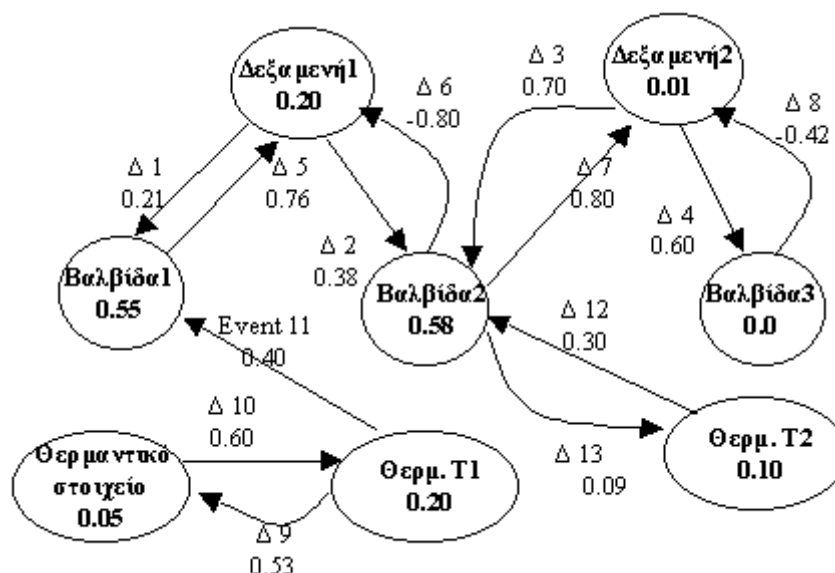
$$\mathbf{A} = [0.20 \ 0.01 \ 0.55 \ 0.58 \ 0.00 \ 0.2 \ 0.1 \ 0.05] \quad (4.7)$$

$$W = \begin{bmatrix} 0 & 0.21 & 0.38 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7 & 0.6 & 0 & 0 & 0 \\ 0.76 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.6 & 0.8 & 0 & 0 & 0 & 0.09 & 0 \\ -0.42 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.53 \\ 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.6 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

Όταν δοθούν οι αρχικές τιμές στις μεταβλητές των κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου, το δίκτυο αρχίζει να προσομοιώνει τη λειτουργία του συστήματος. Σε κάθε βήμα υπολογισμού χρησιμοποιείται η σχέση (4.9), για να υπολογισθούν οι νέες τιμές των μεταβλητών όλων των κόμβων, που προκύπτουν από την αιτιατής επίδρασης από τους υπόλοιπους κόμβους. Ο χρόνος υπολογισμού των τιμών των μεταβλητών των κόμβων διαρκεί μια μονάδα χρόνου και ονομάζεται βήμα υπολογισμού.

$$A^t = f(A^{t-1}W + A^{t-1}) \quad (4.9)$$

Στον πίνακα 4.3 παρουσιάζονται οι τιμές των μεταβλητών των κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου, μετά από κάθε βήμα υπολογισμού. Όπως συμπεραίνεται από τον πίνακα το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο μετά από πέντε βήματα υπολογισμού φτάνει σε ένα σημείο ισορροπίας.

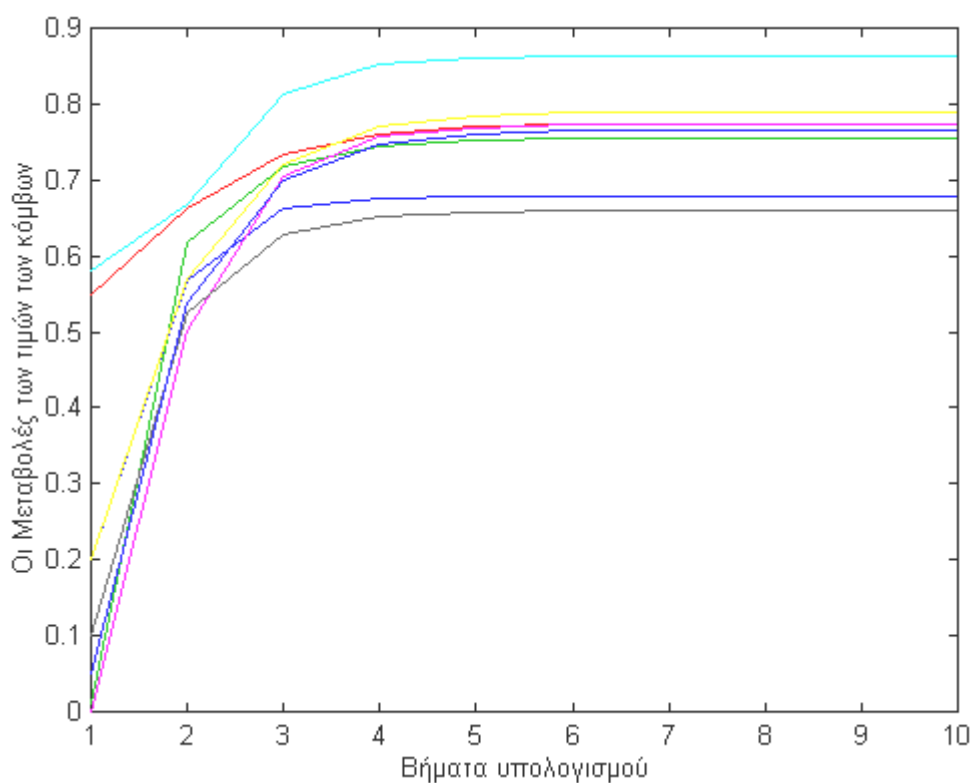


Σχήμα 4.8. Το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο με τις αρχικές τιμές των μεταβλητών των κόμβων και τα βάρη των διασυνδέσεων.

Πίνακας 4.3 Οι τιμές των κόμβων για τους δεκατρείς πρώτους κύκλους υπολογισμού.

Βήμα	Δεξ D1	Δεξ D2	Βαλβ V1	Βαλβ V2	Βαλβ V3	Θερμαντήρας Th	Θερμ T1	Θερμ T2
1	0.2000	0.0100	0.5500	0.5800	0	0.2000	0.1000	0.0500
2	0.5671	0.6163	0.6620	0.6666	0.5015	0.5701	0.5250	0.5389
3	0.6615	0.7189	0.7328	0.8132	0.7050	0.7218	0.6283	0.6987
4	0.6615	0.7189	0.7328	0.8132	0.7050	0.7218	0.6283	0.7467
5	0.6749	0.7452	0.7614	0.8527	0.7570	0.7710	0.6521	0.7605
6	0.6774	0.7520	0.7706	0.8613	0.7693	0.7851	0.6575	0.7643
7	0.6784	0.7536	0.7733	0.8632	0.7721	0.7890	0.6587	0.7654
8	0.6788	0.7540	0.7741	0.8637	0.7728	0.7901	0.6590	0.7657
9	0.6789	0.7540	0.7743	0.8638	0.7730	0.7903	0.6590	0.7658
10	0.6790	0.7541	0.7743	0.8638	0.7730	0.7904	0.6590	0.7658
11	0.6790	0.7541	0.7744	0.8638	0.7730	0.7904	0.6590	0.7658
12	0.6790	0.7541	0.7744	0.8638	0.7730	0.7905	0.6590	0.7658
13	0.6790	0.7541	0.7744	0.8638	0.7730	0.7905	0.6590	0.7658

Στο σχήμα 4.9 απεικονίζονται οι μεταβολές των τιμών των μεταβλητών των οκτώ κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου για τα πέντε πρώτα βήματα υπολογισμού.



Σχήμα 4.9 Απεικόνιση της μεταβολής των τιμών των μεταβλητών των κόμβων για δέκα βήματα υπολογισμού.

4.4.3 Περιγραφή του τρόπου ελέγχου της διαδικασίας

Όταν το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο φτάσει σε κάποια περιοχή σύγκλισης, τότε οι τιμές των κόμβων μεταδίδονται προς την διαδικασία, την οποία και επηρεάζουν. Εδώ εφαρμόζεται η μεθοδολογία που περιγράφηκε στην ενότητα 4.2.2.

Έτσι στο συγκεκριμένο παράδειγμα οι τιμές των βαλβίδων V1, V2, V3 και του θερμαντικού στοιχείου μεταδίδονται προς τη διαδικασία, μετασχηματίζονται σε πραγματικές τιμές (που αντιστοιχούν στο άνοιγμα των βαλβίδων και στο βαθμό λειτουργίας του θερμαντικού στοιχείου) και τίθενται στις αντίστοιχες διατάξεις.

Στη συνέχεια μετρήσεις από τη διαδικασία μεταδίδονται προς το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο. Έτσι μεταδίδονται οι τιμές της στάθμης του υγρού στις δυο δεξαμενές και οι αντίστοιχες θερμοκρασίες και οι πραγματικές τιμές των μεγεθών μετασχηματίζονται στο διάστημα [-1.1].

Οι μεταδιδόμενες τιμές μπορεί να είναι διαφορετικές από τις τιμές των μεταβλητών των κόμβων στο σημείο ισορροπίας. Έτσι με νέες τιμές των μεταβλητών κάποιων κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου λειτουργεί ξανά και μετά από έναν περιορισμένο αριθμό βημάτων υπολογισμού φτάνει στην περιοχή σύγκλισης.

4.5 Δυνατότητες περαιτέρω εφαρμογής των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων για έλεγχο συστημάτων.

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιασθούν μερικές δυνατότητες των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων που επιτρέπουν την περαιτέρω εφαρμογή τους σε προβλήματα ελέγχου συστημάτων. Στα παραδείγματα που παρουσιάστηκαν μέχρι τώρα θεωρήθηκε, ότι οι τιμές των μεταβλητών όλων των κόμβων αλλάζουν συγχρόνως, στην ίδια μονάδα του χρόνου. Σε μια διαφορετική προσέγγιση θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι δεν συμβαίνουν οι αλλαγές σε όλους τους κόμβους κατά την ίδια χρονική στιγμή, όπως ακριβώς συμβαίνει σε ένα πραγματικό σύστημα, αλλά υπάρχει χρονική υστέρηση στον υπολογισμό κάθε κόμβου ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του. Έτσι, στο Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο του σχήματος 4.8, αλλαγή στην τιμή της μεταβλητής του κόμβου6 (θερμοκρασία του υγρού στη δεξαμενή D1) θα έχει άμεση επίδραση στην τιμή της μεταβλητής του κόμβου8 (κατάσταση του θερμαντικού στοιχείου). Βέβαια αλλαγή στην τιμή της μεταβλητής του κόμβου3 (βαλβίδα V1) απαιτεί την παρέλευση

κάποιου χρόνου, ώστε να έχει επίδραση στην τιμή της μεταβλητής του κόμβου¹ (στάθμη του υγρού στη δεξαμενή D1). Λαμβάνοντας τα προαναφερόμενα υπ' όψιν, θα μπορούσε να εισαχθούν και οι χρόνοι που απαιτούνται για να επιδράσει ένας κόμβος σε κάποιον άλλο. Δηλαδή κάθε διασύνδεση πέρα από το βάρος θα έχει και έναν χρονικό προσδιορισμό, όπως έχει προταθεί από τους Park και Kim [43].

Μια άλλη προτεινόμενη προσέγγιση [J2] είναι η διάκριση των κόμβων σε ελέγξιμους, και μη ελέγξιμους. Προτείνεται μερικές μεταβάσεις των καταστάσεων να θεωρούνται ελέγξιμες, όταν είναι δυνατόν να απενεργοποιηθούν με εξωτερική παρέμβαση και μη ελέγξιμες, όταν είναι αδύνατο να αποφευχθεί να συμβούν. Κάποιοι κόμβοι θα χαρακτηρίζονται ως ελέγξιμοι, όταν αλλαγές στις τιμές των μεταβλητών τους μπορούν να μετασχηματισθούν σε αλλαγές φυσικών μεγεθών της διαδικασίας, όταν δηλαδή μπορούν να την επηρεάσουν και να οδηγήσουν το φυσικό μέγεθος σε μια επιθυμητή τιμή. Αντίστοιχα, κάποιοι κόμβοι θα χαρακτηρίζονται, ως μη ελέγξιμοι, όταν οι τιμές των μεταβλητών τους δεν μπορούν να μετασχηματισθούν σε φυσικά μεγέθη που μπορούν να επηρεάσουν τη διαδικασία. Έτσι ο κόμβος⁸ (θερμοκρασία της δεξαμενής D2) μπορεί να χαρακτηριστεί, ως μη ελέγξιμος, γιατί η τιμή της μεταβλητής του είναι μια μέτρηση και δεν μπορεί να μεταβληθεί άμεσα με ένα σήμα ελέγχου. Ενώ οι κόμβοι που αντιπροσωπεύουν τις βαλβίδες μπορούν να θεωρηθούν ελέγξιμοι, αφού μπορεί να δημιουργεί σήμα ελέγχου που να τις ανοίξει ή κλείσει σύμφωνα με την αντίστοιχη τιμή της μεταβλητής του κόμβου στο Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο.

4.6 Περίληψη του κεφαλαίου

Σε αυτό το κεφάλαιο για πρώτη φορά χρησιμοποιούνται Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα για τον έλεγχο ενός συστήματος. Προτάθηκε μια δομή για το σύστημα ελέγχου και ελεγκτή που αποτελείται από ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο για άμεσο έλεγχο τους συστήματος. Αναλύθηκε ο τρόπος μετάδοσης πληροφοριών από το ελεγχόμενο σύστημα προς το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο. Για την καλύτερη κατανόηση της χρήσης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων για άμεσο έλεγχο παρουσιάστηκαν πλήρως δύο εφαρμογές ελέγχου δυο χημικών διαδικασιών. Για κάθε εφαρμογή περιγράφηκε αρχικώς η μεθοδολογία σχεδιασμού του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου, στη συνέχεια εφαρμόστηκε το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο για έλεγχο και παρουσιάστηκαν και εξηγήθηκαν τα αντίστοιχα αποτελέσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΠΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΣΑΦΩΝ ΓΝΩΣΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ .

5.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο εισάγεται η χρησιμοποίηση και εφαρμογή των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων για την μοντελοποίηση του συντονιστή (supervisor) ενός ιεραρχικού συστήματος. Η δυνατότητα χρήσης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων για την μοντελοποίηση του συντονιστή σε ένα ιεραρχικό σύστημα είναι από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά τους.

Η πολυπλοκότητα των σύγχρονων συστημάτων, ή/ και η ύπαρξη υποσυστημάτων σε περιπτώσεις αποκεντρωμένου ελέγχου, έχει οδηγήσει πολλούς ερευνητές να υιοθετήσουν ιεραρχικές δομές για τη μοντελοποίηση και έλεγχο του συνολικού συστήματος. Σε μια ιεραρχική δομή κυρίαρχη θέση κατέχει ο συντονιστής του συστήματος. Η ανάπτυξη του συντονιστή και η εύρεση του κατάλληλου μοντέλου αποτελεί μια ερευνητική περιοχή, όπου επικεντρώνονται πολλές ερευνητικές προσπάθειες, γιατί μπορεί να οδηγήσουν στην ανάπτυξη προηγμένων και ευφυών συστημάτων [3][61].

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζονται τα χαρακτηριστικά του συντονιστή καθώς και η προοπτική εφαρμογής των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων, για τη μοντελοποίηση του συντονιστή. Προτείνεται ακόμη μια διεπίπεδη ιεραρχική δομή, για τη μοντελοποίηση και έλεγχο ενός απλού και πολύπλοκου συστήματος. Κατά την οποία στο ανώτερο επίπεδο

βρίσκεται ο συντονιστής που μοντελοποιείται, ως ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο και στο κατώτερο επίπεδο ένα άλλο Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του συστήματος. Ακόμη θα αναπτυχθεί ένας συντονιστής που μοντελοποιείται, ως ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο, για την εφαρμογή της χημικής διαδικασίας, που παρουσιάστηκε στην παράγραφο 4.3

5.2 Εποπτικός Έλεγχος

Τα σύγχρονα πολύπλοκα συστήματα χαρακτηρίζονται τόσο από το μέγεθός τους όσο και την ύπαρξη διαφόρων υποσυστημάτων, όσο και από το μεγάλο πλήθος των μεταβλητών, των καταστάσεων και την πληθώρα πληροφοριών, που αφορούν το σύστημα. Οι προτεινόμενες ερευνητικές προσεγγίσεις για τη μοντελοποίηση αυτού του μεγέθους και τύπου συστημάτων, περιλαμβάνουν την απλοποίηση του πολύπλοκου συστήματος με τη διαίρεσή του σε μικρότερα, απλούστερα υποσυστήματα και εφαρμογή μιας ιεραρχικής ή αποκεντρωμένης δομής. Σε μια τέτοια περίπτωση η συνολική δομή είναι ιεραρχική με έναν συντονιστή στην κορυφή της ιεραρχίας, ο οποίος, σε ένα συμβατικό μη αυτοματοποιημένο σύστημα, είναι ο άνθρωπος χειριστής του συνολικού πολύπλοκου συστήματος [14].

Ο συντονιστής χειριστής του συστήματος είναι υπεύθυνος αρχικά για την έναρξη λειτουργίας της διαδικασίας, την παρακολούθηση της λειτουργίας και της συμπεριφοράς της, που πρέπει να βρίσκεται μέσα στα τεθέντα όρια. Ακόμη παρακολουθεί τη μεταβολή μεγεθών και την εμφάνιση βλαβών, οπότε ενεργεί ανάλογα. Βέβαια παρακολουθεί την εξέλιξη και μεταβολή διαφόρων μεγεθών του συστήματος και μετατρέπει τις αριθμητικές τιμές σε ποιοτικά χαρακτηριστικά του συστήματος με λεκτικούς χαρακτηρισμούς, όπως 'το σφάλμα είναι αποδεκτό'. Ο άνθρωπος χειριστής που επιβλέπει το σύστημα δεν το κάνει λύνοντας μαθηματικές διαφορικές εξισώσεις, αλλά απλά συγκεντρώνει πληροφορίες για τη λειτουργία του συστήματος, τις αξιολογεί και με βάση τη συσσωρευμένη υπάρχουσα γνώση και εμπειρία του, αντιδρά ανάλογα όταν ανακύπτουν προβλήματα φροντίζοντας τη βέλτιστη λειτουργία του συστήματος σύμφωνα με τις απαιτήσεις, οι οποίες έχουν τεθεί.

Ο κεντρικός στόχος είναι η ανάπτυξη και κατασκευή ενός συντονιστή, ο οποίος θα μπορεί να προσομοιώνει κάποιες από τις προαναφερθείσες ενέργειες του ανθρώπου χειριστή, να αποκωδικοποιεί κατά κάποιο τρόπο τη λογική του, ώστε να μπορεί να λειτουργεί και να ελέγχει το όλο σύστημα με τρόπο παρόμοιο με αυτόν του ανθρώπου. Η δημιουργία ενός

συντονιστή με αυτά τα χαρακτηριστικά μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη ενός αυτόνομου και ευφυούς συστήματος [69].

Ο συντονιστής ενός συστήματος είναι επιθυμητό να περιλαμβάνει τους διάφορους τρόπους συλλογισμού, δικαιολόγησης και συσχέτισης μεταξύ των σημαντικότερων εννοιών του υπό μοντελοποίηση και έλεγχο σύστημα. Ένα πλήρες και ολοκληρωμένο μοντέλο για τον συντονιστή είναι γενικό και αναπτύσσεται ανεξάρτητα από συγκεκριμένους στόχους των τοπικών ελεγκτών. Επιπλέον μπορεί να συμπεριλαμβάνει την υπάρχουσα γνώση και εμπειρία, καθώς επίσης και να επεξεργάζεται τόσο ποιοτικά, όσο και ποσοτικά τις διαθέσιμες πληροφορίες από το σύστημα. Τέλος έχει τη δυνατότητα να αντεπεξέλθει κάτω από άγνωστες καταστάσεις που δεν μπορούν να προκαθορισθούν.

5.3 Αξιοποίηση των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων για τη μοντελοποίηση του συντονιστή ενός συστήματος

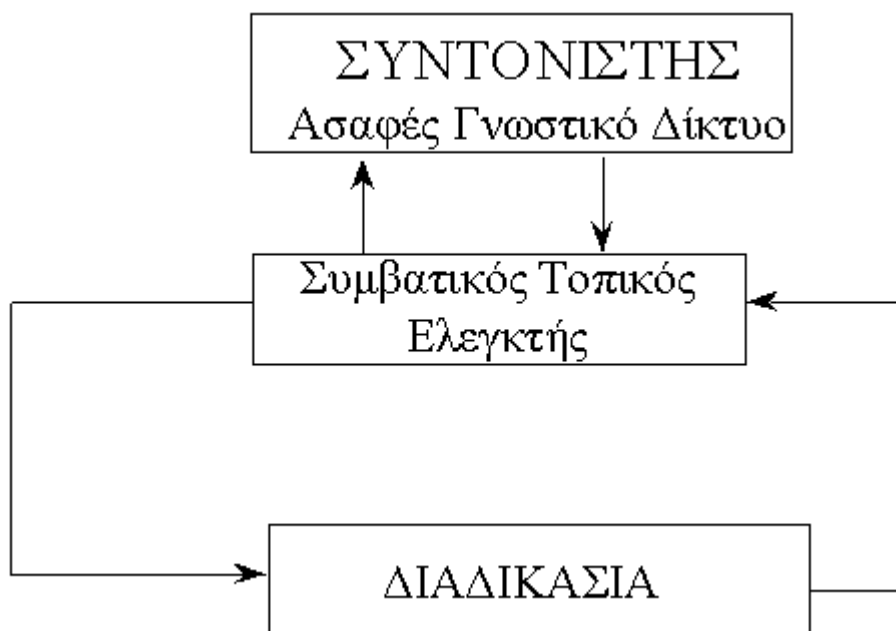
Από τη γενική παρουσίαση του χαρακτηριστικών ενός συντονιστή, είναι φανερό, ότι η κατασκευή του στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στην υπάρχουσα γνώση για τη λειτουργία του συστήματος και επομένως στην εμπειρία και τις μεθόδους που χρησιμοποιούν οι χειριστές του συστήματος. Αυτό άλλωστε αντικατοπτρίζεται και στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων, όπως περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 3, με τις οποίες αποκωδικοποιείται η γνώση και εμπειρία των ειδικών για να αναπτυχθεί ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο.

Ο εποπτικός έλεγχος περιλαμβάνει και κάποια φυσικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες του συνολικού συστήματος, τα οποία είναι δύσκολο ή αδύνατο να εκφραστούν και μοντελοποιηθούν στα πλαίσια του αναλυτικού μαθηματικού μοντέλου ενός συμβατικού ελεγκτή. Αυτό οφείλεται, είτε στην πολυπλοκότητα του συστήματος, είτε στο μεγάλο μέγεθος και την αδυναμία απεικόνισης ποιοτικών και εννοιολογικών χαρακτηριστικών του συστήματος. Βέβαια αυτά τα χαρακτηριστικά του συνολικού συστήματος έχουν κατανοηθεί από τους έμπειρους χειριστές του συστήματος, οι οποίοι τα έχουν καταγράψει με την μορφή εμπειρικών ευρεστικών κανόνων ελέγχου, τους οποίους ανακαλούν στη μνήμη τους και έτσι επιβλέπουν και ελέγχουν το πλήρες σύστημα σε ικανοποιητικό βαθμό. Το ζητούμενο είναι να αξιοποιηθούν οι κανόνες, τους οποίους χρησιμοποιούν οι έμπειροι χειριστές του συστήματος

και με βάση αυτούς να αναπτυχθεί το κατάλληλο Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο, που θα αποτελέσει τον συντονιστή του συνολικού πολύπλοκου συστήματος [J6].

Η μεθοδολογία ανάπτυξης του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου, που χρησιμοποιείται από τους ειδικούς, τους παρέχει τη δυνατότητα με αμεσότητα και σαφήνεια να περιγράψουν και να εξηγήσουν τη γνώση και εμπειρία τους, να δημιουργήσουν και να αναπτύξουν ένα συμβολικό μοντέλο του συστήματος, που βασίζεται στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του συστήματος, που εντέλει έχει σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη ενός ευέλικτου εποπτικού συστήματος [J2]. Η χρήση και εφαρμογή των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων για εποπτικό έλεγχο αποσκοπεί κυρίως στη συμπλήρωση των υπάρχοντων τοπικών συμβατικών ελεγκτών με έναν ευφυή συντονιστή.

Στο σχήμα 5.1 απεικονίζεται μια απλοποιημένη δομή του συνολικού ελεγκτή, όπου στο ανώτερο επίπεδο βρίσκεται ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο, το οποίο χρησιμοποιείται, ως συντονιστής του συστήματος. Το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο χρησιμοποιείται για να επεκτείνει τις δυνατότητες του συμβατικού ελεγκτή. Εμπεριέχει τη γενική γνώση για το συνολικό σύστημα, διάφορους εμπειρικούς ευρεστικούς κανόνες, μοντέλα αιτίας και αποτελέσματος και κανόνες παραγωγής, με στόχο να βελτιώσει την απόδοση του συνολικού συστήματος.



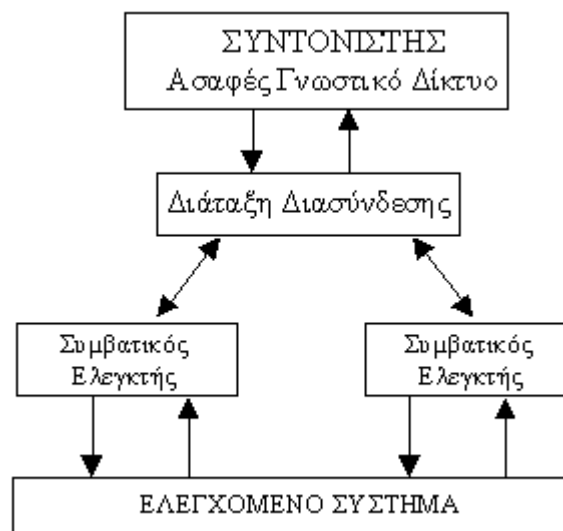
Σχήμα 5.1 Απλοποιημένη ιεραρχική ελεγχόμενη διαδικασία, ελεγκτή και συντονιστή.

Οι συμβατικοί τοπικοί ελεγκτές υλοποιούν τις συνήθεις απλές διαδικασίες ελέγχου, διαχειρίζονται τοπικές πληροφορίες και είναι υπεύθυνοι για τη λειτουργία ενός τμήματος του

συνολικού συστήματος. Συνεπώς μπορεί να υπάρχουν περισσότεροι του ενός τοπικοί ελεγκτές. Ο συντονιστής λαμβάνει και επεξεργάζεται μόνο ουσιαστικές πληροφορίες από τους ελεγκτές. Επεμβαίνει, όταν συμβαίνουν γεγονότα που αφορούν το συνολικό σύστημα, και τα οποία δεν μπορούν να αντιληφθούν και αξιολογήσουν οι τοπικοί συμβατικοί ελεγκτές. Επιπλέον κατανέμει πληροφορίες και εντολές στους τοπικούς ελεγκτές με βάση την λειτουργία και τους αντικειμενικούς σκοπούς ελέγχου του συνολικού συστήματος. Σημαντική είναι η λειτουργία του συντονιστή σε περιπτώσεις που το σύστημα οδεύει προς ανεπιθύμητες καταστάσεις ή μη επιτρεπόμενες λειτουργίες, οπότε θα πρέπει να οδηγήσει το σύστημα σε ασφαλή λειτουργία και ενδεχομένως να επανακαθορίσει κάποιους στόχους των τοπικών ελεγκτών.

Γενικά ο συντονιστής πρέπει να μπορεί να υλοποιήσει όλες ή ένα τμήμα των ενεργειών που πραγματοποιεί ο άνθρωπος-χειριστής του συνολικού συστήματος. Για παράδειγμα πρέπει να μπορεί να διαγνώσει ανωμαλίες στη λειτουργία, να προβλέπει βλάβες και να μπορεί να παίρνει κάποιες αποφάσεις, να κατευθύνει και σχεδιάζει κάποια έργα και βέβαια να παρεμβαίνει και να προλαμβάνει επικίνδυνες καταστάσεις. Έχοντας αναπτύξει την ιεραρχική δομή του συστήματος και λαμβάνοντας υπ' όψιν τη φύση του συντονιστή, το μοντέλο του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου για τον συντονιστή θα περιλαμβάνει κόμβους και διασυνδέσεις μεταξύ τους έτσι, ώστε να επιτελούνται τα γενικά καθήκοντά του, όπως η παρακολούθηση του όλου συστήματος, η διάγνωση και ανίχνευση μη κανονικών καταστάσεων και βλαβών, ο σχεδιασμός και η οδήγηση του συστήματος σε επιθυμητές καταστάσεις.

Εξετάζοντας τη προτεινόμενη δομή του συστήματος ελέγχου, ανακύπτει η ανάγκη περιγραφής του είδους της πληροφορίας, που μεταδίδεται από τον συντονιστή προς το υπό έλεγχο σύστημα και αντίστροφα. Θα υπάρχουν πληροφορίες και μετρήσεις που μεταδίδονται από τους τοπικούς συμβατικούς ελεγκτές προς τον συντονιστή, οι οποίες θα πρέπει να περάσουν μέσα από μια διάταξη διασύνδεσης, η οποία επεξεργάζεται τις μεταδιδόμενες πληροφορίες, τις μετασχηματίζει και θα τις μετατρέψει σε κατάλληλη μορφή, ώστε να τις κατανοεί το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο. Παράλληλα πληροφορίες θα μεταδίδονται από το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο προς τους τοπικούς ελεγκτές, και επομένως η διάταξη διασύνδεσης θα πρέπει να λειτουργεί και προς την αντίθετη κατεύθυνση παίρνοντας τις τιμές των μεταβλητών των κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου και μετασχηματίζοντας τις τιμές τους σε κατάλληλα σήματα εισόδου των ελεγκτών. Η προτεινόμενη ιεραρχική δομή με τη διάταξη διασύνδεσης μεταξύ συντονιστή και τοπικών συμβατικών ελεγκτών απεικονίζεται στο σχήμα 5.2.



Σχήμα 5.2 Ιεραρχική δομή του συστήματος ελέγχου.

Το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο θα περιλαμβάνει κόμβους, που θα χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν καταστάσεις σφαλμάτων των υποσυστημάτων, τις αιτίες που τις προκαλούν, τα αποτελέσματα και συνέπειες που έχουν, την κανονική λειτουργία ενός υποσυστήματος και την εσφαλμένη. Έτσι στο Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο θα απεικονίζονται οι σχέσεις που υπάρχουν μεταξύ των διαφόρων καταστάσεων των υποσυστημάτων, μεταξύ των χαρακτηριστικών τους με απώτερο στόχο ο συντονιστής να διαθέτει ιδιότητες διάγνωσης βλαβών και ανάλυσης των αιτιών και συνεπειών. Μερικοί από τους κόμβους του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου θα παρουσιάζουν τη μη κανονική λειτουργία των σημαντικότερων στοιχείων του συστήματος, τις καταστάσεις σφαλμάτων κάποιων μεταβλητών, αιτίες σφαλμάτων των μεταβλητών και τη σοβαρότητα της επίδρασής των σφαλμάτων. Στο Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο θα πραγματοποιείται ανάλυση και επεξεργασία των πληροφοριών που έρχονται από το κατώτερο επίπεδο και αντιστοιχούν σε καθοριστικές ενδείξεις για την ανίχνευση βλαβών και τη λειτουργία του συστήματος.

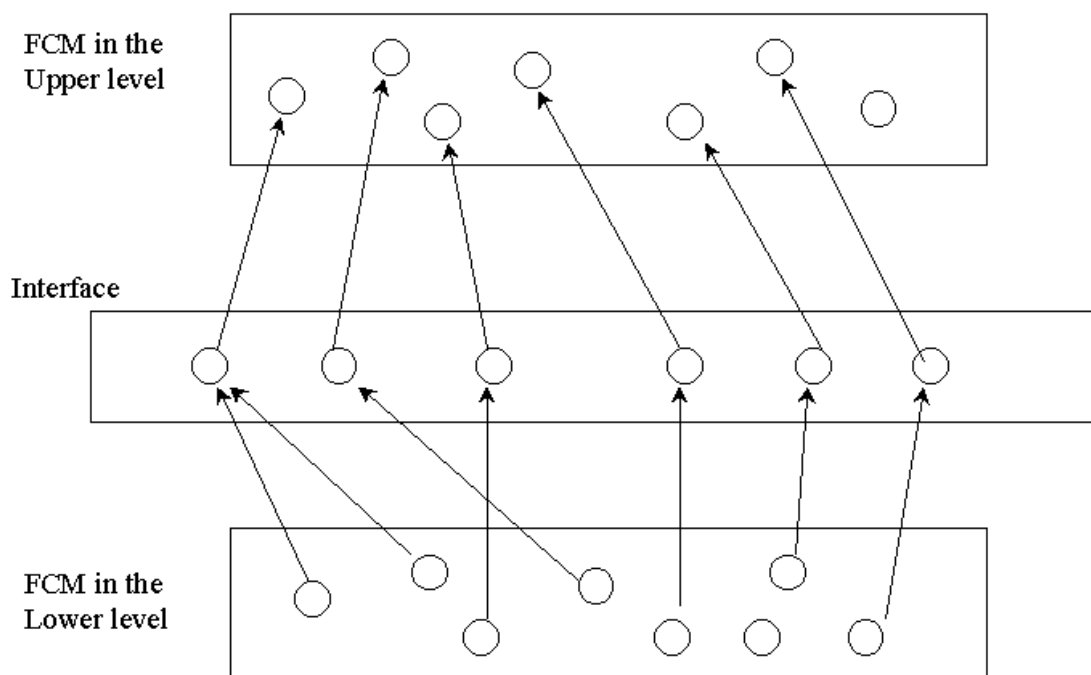
Ακόμη θα πρέπει το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο να αναπτυχθεί κατάλληλα, ώστε να αξιοποιηθούν οι ιδιότητες που έχει για επανασχεδιασμό της όλης διαδικασίας και πρόβλεψης του τι αποτελέσματα μπορεί να έχει η αλλαγή κάποιων παραμέτρων ή υποσυστημάτων, βοηθώντας με αυτό τον τρόπο τον σχεδιαστή του συστήματος. Ακόμη το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο κάποιων σεναρίων, δηλαδή να παρατηρηθεί και εξετασθεί η επίδραση κάποιων καταστάσεων και μεταβλητών στο συνολικό σύστημα ή να εξετασθεί η επίδραση που θα έχει στο σύστημα η πρόσθεση ή αφαίρεση ενός υποσυστήματος.

5.4 Προτεινόμενη διεπίπεδη δομή συνολικού ελεγκτή

Έχουν παρουσιασθεί μέχρι τώρα τα γενικά χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες, που θα πρέπει να έχει ο συντονιστής του συνολικού συστήματος. Ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο χρησιμοποιείται για να περιγράψει το συντονιστή του συστήματος. Λαμβάνοντας υπ' όψη τη χρήση και εφαρμογή των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων για άμεσο έλεγχο ενός συστήματος, όπως παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 4, προτείνεται μια νέα ιεραρχική διεπίπεδη δομή ελεγκτή, όπου στο κατώτερο επίπεδο θα βρίσκεται το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο για τον άμεσο έλεγχο και το ανώτερο επίπεδο θα περιλαμβάνει ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο που θα χρησιμοποιείται, ως συντονιστής του όλου συστήματος [J2][C2].

Μεταξύ των δύο επιπέδων του ελεγκτή θα υπάρχει ανταλλαγή πληροφοριών και προς τις δύο κατευθύνσεις. Οπότε απαιτείται μια διάταξη διασύνδεσης μεταξύ των δύο Ασαφών Γνωστικών Δικτύων, η οποία θα παίρνει τις τιμές κάποιων κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου από το κατώτερο επίπεδο, θα τις συνδυάζει, θα τις επεξεργάζεται και θα επηρεάζει έναν ή περισσότερους κόμβους στο Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο στο ανώτερο επίπεδο. Μια αντίστοιχη διαδικασία θα πραγματοποιείται, όταν το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο θα μεταδίδει πληροφορίες προς το κατώτερο επίπεδο. Η διάταξη διασύνδεσης υλοποιείται σε λογισμικό και είναι ένα σύνολο λογικών κανόνων συμπερασμού που περιγράφουν την επίδραση που έχει ένας ή περισσότεροι κόμβοι από το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο του ενός επιπέδου στο Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο του άλλου επιπέδου. Η ανάπτυξη της διάταξης διασύνδεσης εξαρτάται από τη συγκεκριμένη κάθε φορά εφαρμογή και τη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη των δύο Ασαφών Γνωστικών Δικτύων των δύο επιπέδων. Στην παράγραφο 5.6 θα σχηματισθεί η διάταξη διασύνδεσης για το περιγραφόμενο παράδειγμα. Στο σχήμα 5.3 παρουσιάζεται η διαδρομή από το κατώτερο επίπεδο προς το ανώτερο.

Η προτεινόμενη δομή του συνολικού ελεγκτή, που αποτελείται από τον συντονιστή και έναν τοπικό ελεγκτή, οι οποίοι μοντελοποιούνται από δύο Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα φαίνεται να έχει ενδιαφέρουσες ιδιότητες και σημαντική ευκολία στην κατασκευή της διάταξης διασύνδεσης, αφού θα μεταδίδει πληροφορίες μεταξύ δύο όμοιων μορφών. Στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου θα γίνει εφαρμογή της προτεινόμενης διεπίπεδης δομής ελεγκτή για τα παραδείγματα της παραγράφου 4.3 και της 4.4 και θα αναπτυχθούν τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα για το ανώτερο επίπεδο.



Σχήμα 5.3 Η διαδρομή από το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο στο κατώτερο επίπεδο του ελεγκτή προς το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο στο επίπεδο του συντονιστή.

Αποτελεί αντικείμενο μελλοντικής έρευνας να εξετασθεί η περίπτωση όπου στο κατώτερο επίπεδο θα υπάρχει μια παρεμφερής μορφή ελεγκτή, όπως ένα κατάλληλο Νευρωνικό Δίκτυο, δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο έναν υβριδικό ελεγκτή.

5.5. Κατασκευή και ανάπτυξη ενός τμήματος του συντονιστή

Έχοντας παρουσιάσει τα γενικά χαρακτηριστικά του συντονιστή και με λαμβάνοντας ως δεδομένο την διεπίπεδη δομή που προτάθηκε στην παράγραφο 5.4 θα αναπτυχθεί ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο για την μοντελοποίηση του συντονιστή μιας απλής χημικής διαδικασίας. Στην παράγραφο 4.3 κατασκευάστηκε ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο για την μοντελοποίηση και έλεγχο μιας χημικής διαδικασίας, για το ίδιο σύστημα θα αναπτυχθεί μια προτεινόμενη διεπίπεδη δομή και θα κατασκευασθεί ο συντονιστής, ως ένα Ασαφές Γνωστικού Δίκτυο, που θα χρησιμοποιείται για την περιγραφή των βλαβών στο σύστημα [C10].

Κατά τη μεθοδολογία κατασκευής του συντονιστή θα πρέπει να καθορισθούν οι σχετικές μεταβλητές και ενδείξεις, που θα αποτελέσουν κόμβους του Ασαφούς Γνωστικού

Δικτύου [55][56]. Για το σκοπό αυτό θα πρέπει οι ειδικοί να περιγράψουν τις διάφορες καταστάσεις σφαλμάτων των στοιχείων του συστήματος, τις αιτίες που τις δημιουργούν, τα υπάρχοντα ιστορικά στοιχεία για τις εμφανιζόμενες βλάβες και τις πιθανότητες να συμβούν. Με βάση αυτό το υλικό οι ειδικοί θα καθορίσουν τους κόμβους του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου και τις διασυνδέσεις μεταξύ τους.

Για το συγκεκριμένο εξεταζόμενο σύστημα της χημικής διαδικασίας, που αποτελείται από μια δεξαμενή, τους σωλήνες εισαγωγής και εξαγωγής υγρού και το όργανο μέτρησης της ειδικής πυκνότητας του υγρού θα αναπτυχθεί ο συντονιστής, όπου στο Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο θα περιλαμβάνονται οι διάφορες καταστάσεις βλαβών των βαλβίδων, προβλήματα του συστήματος ελέγχου ανοίγματος και κλεισίματος των βαλβίδων, διαφορές στη ροή του υγρού, κακή λειτουργία του οργάνου ειδικής πυκνότητας, διαρροές στη δεξαμενή, καθώς και άλλες γενικές αιτίες συναγερμών. Καταρχήν θα πρέπει να καθορισθούν οι σημαντικότερες από αυτές τις αιτίες, που θα αποτελέσουν τους κόμβους του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου και θα αντιπροσωπεύουν τα συχνότερα παρατηρήσιμα σφάλματα και σχετιζόμενες μεταβλητές και καταστάσεις.

Οι κόμβοι του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου είναι :

Κόμβος C1: Συνολική βλάβη στη διαδικασία

Κόμβος C2: Υπερχείλιση στη δεξαμενή

Κόμβος C3: Βλάβη στη βαλβίδα V1

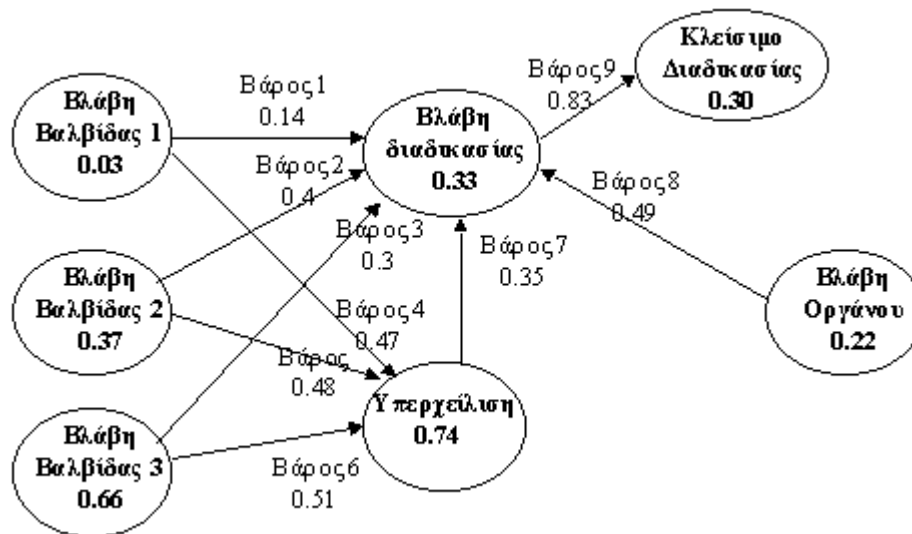
Κόμβος C4: Βλάβη στη βαλβίδα V2

Κόμβος C5: Βλάβη στη βαλβίδα V3

Κόμβος C6: Βλάβη στο όργανο μέτρησης ειδικής πυκνότητας

Κόμβος C7: Κλείσιμο της διαδικασίας

Οι αλληλοσυνδέσεις μεταξύ των κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου θα δείχνουν τις υπάρχουσες άμεσες ή έμμεσες αλληλεξαρτήσεις και συσχετίσεις, που υπάρχουν μεταξύ αυτών των μεγεθών. Στην προκειμένη περίπτωση οι βλάβες της διαδικασίας θα καθορίζονται από κόμβους, όπως το σφάλμα του οργάνου μέτρησης, τα σφάλματα των βαλβίδων και οι συνθήκες υπερχειλίσης, ενώ για τον καθορισμό των αλληλεπιδράσεων και των βαρών τους χρησιμοποιήθηκαν λεκτικές μεταβλητές σύμφωνα με την μεθοδολογία της παραγράφου 3.3.2.



Σχήμα 5.4 Το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο για καταστάσεις σφαλμάτων

Στο σχήμα 5.4 απεικονίζεται το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο που θα χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό των καταστάσεων βλαβών του συστήματος. Ο πίνακας βαρών του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου θα είναι :

$$W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.83 \\ 0.35 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0.47 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0.48 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.52 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.49 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Βέβαια θα μπορούσε να περιλαμβάνει και κόμβους για άλλα σήματα κινδύνου, συνθήκες κακής λειτουργίας των ενεργοποιητών που υπάρχουν στο σύστημα, σφάλματα στους μετρητές της στάθμης του υγρού ή σύνθετες συνθήκες βλάβης τόσο της ροής στους σωλήνες όσο και στη στάθμη του υγρού στη δεξαμενή, όμως οι συγκεκριμένοι ειδικοί θεώρησαν, ότι η προτεινόμενη σύνθεση του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου είναι ικανοποιητική για τη συγκεκριμένη εφαρμογή.

Ο συντονιστής θα περιλαμβάνει και άλλα τμήματα, όπως το τμήμα για λήψη αποφάσεων που θα αξιολογεί τις καταστάσεις σφαλμάτων και άλλες εισόδους και θα στέλνει

σήματα ελέγχου στον ελεγκτή που μοντελοποιείται, ως ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο, στο κατώτερο επίπεδο και το οποίο θα επιδρά στη συνέχεια στην ελεγχόμενη διαδικασία.

5.6. Παράδειγμα διεπίπεδου συστήματος ελέγχου με συντονιστή για περιπτώσεις βλαβών

Για το σύστημα της χημικής διαδικασίας που εξετάστηκε στην παράγραφο 4.4 θα παρουσιασθεί το διεπίπεδο σύστημα ελέγχου και θα αναπτυχθεί το τμήμα του συντονιστή για καταστάσεις σφαλμάτων. Το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο που μοντελοποιεί τον συντονιστή και βρίσκεται στο ανώτερο επίπεδο θα περιλαμβάνει κόμβους για την μη ομαλή λειτουργία κάποιων στοιχείων του συστήματος, τις καταστάσεις σφαλμάτων των μεταβλητών του συστήματος, αιτίες και αποτελέσματα των σφαλμάτων.

Για το συγκεκριμένο παράδειγμα οι απλές καταστάσεις βλαβών θα περιλαμβάνουν τις καταστάσεις βλαβών των βαλβίδων, κακή λειτουργία του θερμαντικού στοιχείου, διαρροές από τις δεξαμενές και άλλες περιπτώσεις βλαβών. Στο σχήμα 5.5 παρουσιάζεται η γραφική απεικόνιση του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου που περιλαμβάνει κόμβους για βλάβη στο θερμαντικό στοιχείο, βλάβες στις βαλβίδες, συνθήκες υπερχείλισης και σήμα κινδύνου για υπέρβαση στη θερμοκρασία, στοιχεία με βάση τα οποία καθορίζεται η συνολική κατάσταση βλάβης της διαδικασίας.

Οι κόμβοι του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου είναι :

Κόμβος C1: Συνολικό σήμα κινδύνου

Κόμβος C2: Βλάβη στη διαδικασία

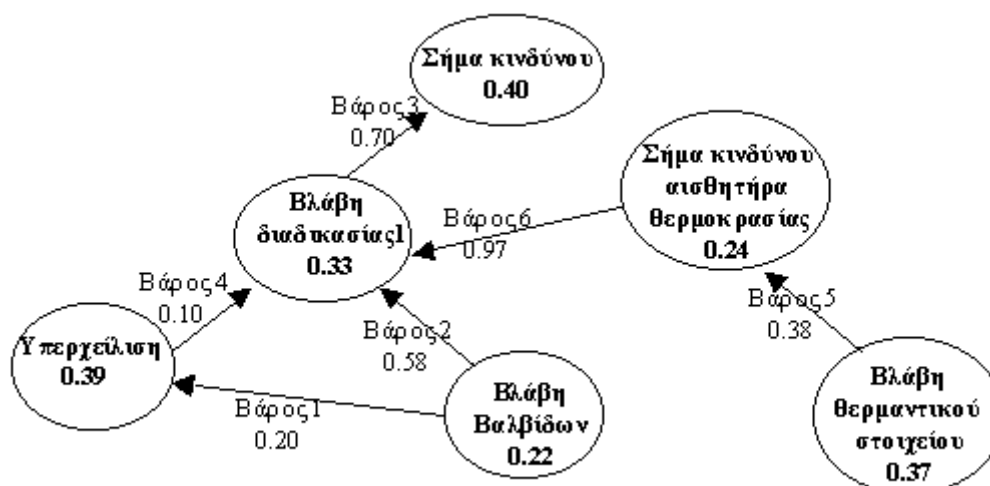
Κόμβος C3: Υπερχείλιση

Κόμβος C4: Βλάβη στις βαλβίδες των δεξαμενών

Κόμβος C5 : Βλάβη στον αισθητήρα θερμοκρασίας

Κόμβος C6 : Βλάβη στο θερμαντικό στοιχείο

Η έξοδος του τμήματος του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου για παρακολούθηση των βλαβών, θα είναι ένα σήμα κινδύνου, το οποίο θα δίνει κατάλληλα σήματα ελέγχου στο Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο του κατωτέρου επιπέδου.



Σχήμα 5.5 Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο για καταστάσεις βλαβών

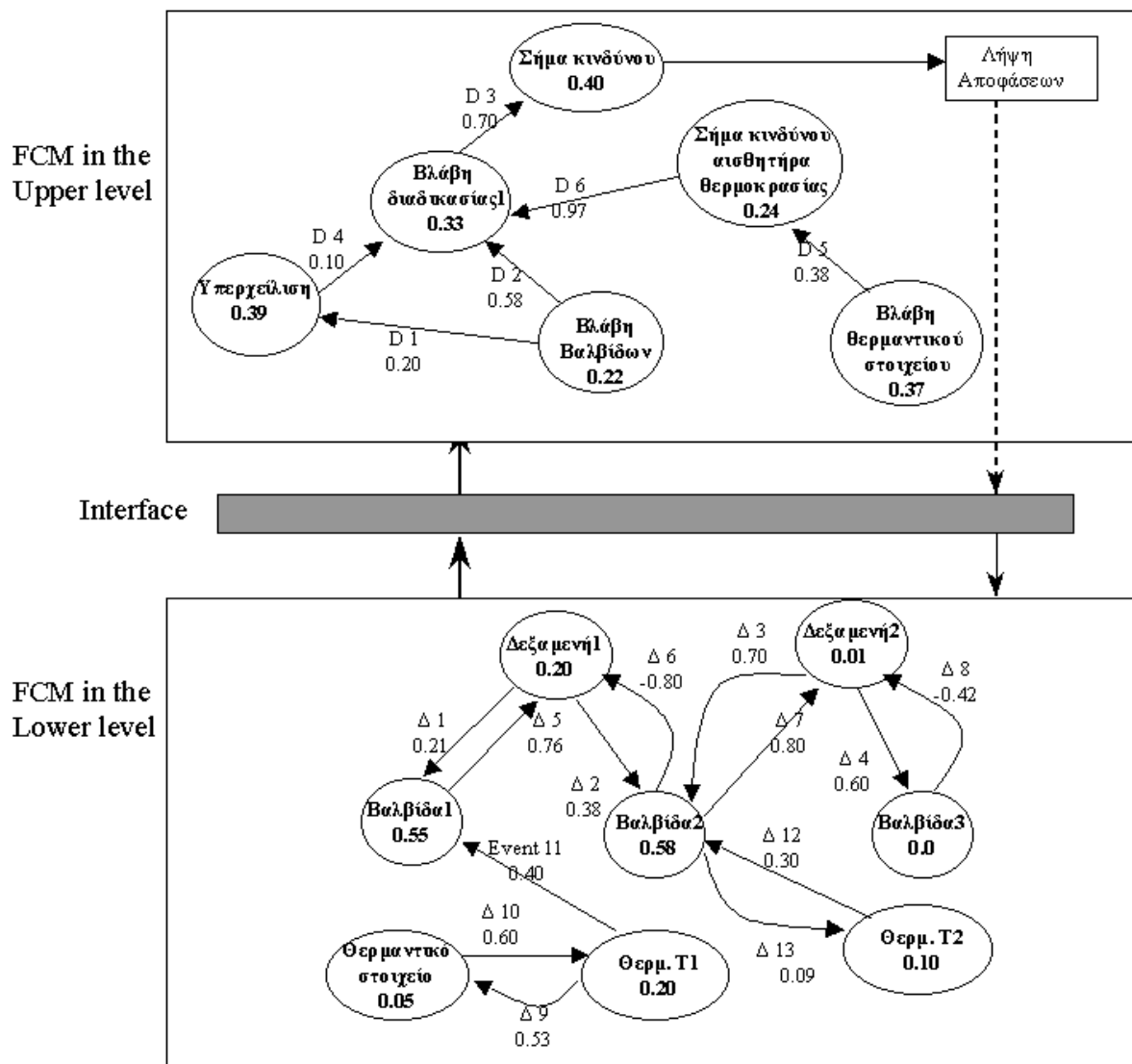
Και ο πίνακας βαρών του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου θα είναι :

$$W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.58 & 0.20 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.97 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.38 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Έχοντας αναπτύξει το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο που μοντελοποιεί τον συντονιστή για περιπτώσεις βλαβών, μπορεί πλέον να κατασκευασθεί η συνολική διεπίπεδη δομή ελέγχου με τα δύο Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα, από ένα σε κάθε επίπεδο. Στο κατώτερο επίπεδο θα βρίσκεται το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο που αναπτύχθηκε στην παράγραφο 4.4, το οποίο περιγράφει και ελέγχει τη λειτουργία της χημικής διαδικασίας κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Στο ανώτερο επίπεδο θα υπάρχει το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο που θα χρησιμοποιείται για έλεγχο καταστάσεων βλαβών, το οποίο απεικονίζεται στο σχήμα 5.5, συμπληρούμενο βέβαια με ένα άλλο τμήμα του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου που χρησιμοποιείται για λήψη αποφάσεων. Το τμήμα για λήψη αποφάσεων θα περιλαμβάνει κόμβους που θα αξιολογούν το σήμα κινδύνου που παράγει το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο καθώς και άλλες εισόδους και θα στέλνει σήματα ελέγχου στο Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο, στο κατώτερο επίπεδο που στη συνέχεια θα επηρεάζει τη χημική διαδικασία. Μεταξύ των δύο επιπέδων υπάρχει ανταλλαγή πληροφοριών και σημάτων και βέβαια, όπως έχει ήδη τονισθεί

απαιτείται η κατασκευή μιας διάταξης διασύνδεσης που αναλαμβάνει να πάρει πληροφορίες από το ένα επίπεδο να τις μετατρέψει κατάλληλα και να τις μεταδώσει στο άλλο επίπεδο [J5].

Στο σχήμα 5.6 παρουσιάζεται η συνολική διεπίπεδη μορφή του ελεγκτή με τα δύο Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα που αναπτύχθηκαν (ένα για κάθε επίπεδο), για τον πλήρη εποπτικό έλεγχο του συστήματος της χημικής διαδικασίας.



Σχήμα 5.6 Η διεπίπεδη μορφή ελεγκτή με ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο σε κάθε επίπεδο

Περιγραφή της διάταξης διασύνδεσης μεταξύ των δύο Ασαφών Γνωστικών Δικτύων

Για το συγκεκριμένο παράδειγμα θα αναπτυχθούν οι λογικοί κανόνες που χρησιμοποιεί η διάταξη διασύνδεσης για να μεταδώσει πληροφορίες από το ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο

στο άλλο. Πιο συγκεκριμένα, θα περιγραφεί ο τρόπος με τον οποίο οι τιμές των μεταβλητών των κόμβων 'Δεξαμενή D1' και 'Δεξαμενή D2' από το κατώτερο επίπεδο επηρεάζουν την τιμή της μεταβλητής του κόμβου 'υπερχείλιση' στο ανώτερο επίπεδο. Για αυτή την μετατροπή χρησιμοποιούνται οι εξής λεκτικοί κανόνες :

EAN η στάθμη στη D1 είναι *χαμηλή* ($<30\%$) **Ή** η στάθμη στην D2 είναι *χαμηλή* ($<30\%$)
TOTE η υπερχειλίση είναι *χαμηλή*.

EAN η στάθμη στη D1 είναι *μέση* ($30\% < ή <60\%$) **Ή** η στάθμη στην D2 είναι *μέση* ($30\% < ή <60\%$) **TOTE** η υπερχειλίση είναι *χαμηλή*.

EAN η στάθμη στη D1 είναι *υψηλή* ($>60\%$) **Ή** η στάθμη στην D2 είναι *υψηλή* ($>60\%$)
TOTE η υπερχειλίση είναι *υψηλή*.

Ενώ η τιμή της μεταβλητής του κόμβου "βλάβη βαλβίδων" στο Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο του δευτέρου επιπέδου, δεν χρειάζεται ιδιαίτερη επεξεργασία αφού εξαρτάται από τις μετρήσεις ειδικών αισθητήρων στο επίπεδο της διαδικασίας οι οποίες μεταδίδονται άμεσα.

5.7 Περίληψη κεφαλαίου

Σε αυτό το κεφάλαιο εισήχθηκε η χρήση και εφαρμογή των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων για τη μοντελοποίηση του συντονιστή σε ένα ιεραρχικά δομημένο σύστημα. Παρουσιάστηκαν οι απαιτήσεις του εποπτικού ελέγχου και οι δυνατότητες που παρέχουν τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα για τη μοντελοποίηση του συντονιστή ενός συστήματος. Αναλύθηκαν τα χαρακτηριστικά των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων που τα κάνουν κατάλληλα για μοντελοποίηση του συντονιστή. Ακόμη προτάθηκε μια διεπίπεδη δομή ελεγκτή ενός συστήματος με Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα σε κάθε επίπεδο. Ως εφαρμογή αναπτύχθηκε το μοντέλο του συντονιστή για τις περιπτώσεις βλαβών για χημικές διαδικασίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΑΣΑΦΗ ΓΝΩΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΠΟΛΥΠΛΟΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

6.1 Εισαγωγή

Στην ευρύτερη κατηγορία των πολύπλοκων συστημάτων και ιδιαίτερα των βιομηχανικών συστημάτων τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι μηχανικοί είναι η πολυπλοκότητά τους, το πλήθος των καταστάσεων και μεταβλητών τους, η μη γραμμική δυναμική συμπεριφορά τους και η δυσκολία εύρεσης ενός ακριβούς μαθηματικού μοντέλου. Από την άλλη μεριά οι απαιτήσεις που τίθενται αφορούν στη συνεχή ικανοποιητική λειτουργία των συστημάτων, καθώς και στην όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αυτοματοποίησή τους. Μέσα σε αυτά τα πλαίσια ανακύπτει η ανάγκη για την ανάπτυξη και εφαρμογή προηγμένων μεθόδων που θα οδηγήσουν στη δημιουργία ευφύων συστημάτων.

Το γενικό μοντέλο ενός πολύπλοκου συστήματος περιγράφεται από μια πυραμιδοειδή ιεραρχική δομή. Το κατώτερο επίπεδο χαρακτηρίζεται, ως το επίπεδο μετρήσεων και ελέγχου παραγωγής (shop floor control). Το επόμενο επίπεδο είναι το επίπεδο εποπτικού ελέγχου. Ανώτερο ιεραρχικά είναι το επίπεδο ελέγχου και σχεδιασμού και τέλος στην κορυφή της πυραμίδας βρίσκεται το επίπεδο διοίκησης της επιχείρησης. Μέσα σε αυτή την ιεραρχική δομή οι πληροφορίες και τα μοντέλα που χαρακτηρίζουν κάθε ένα επίπεδο κατηγοριοποιούνται ως εξής: στο κατώτερο επίπεδο, οι πληροφορίες και μετρήσεις είναι συνεχείς, ενώ όσο αυξάνει το επίπεδο ιεραρχίας γίνονται πιο ποιοτικές και περισσότερο περιληπτικές περιγράφοντας

ιδιότητες και χαρακτηριστικά του συστήματος. Στα ανώτερα ιεραρχικά επίπεδα επιβάλλεται η χρήση μεθόδων που αξιοποιούν και αξιολογούν ποιοτικά τις πληροφορίες και μετρήσεις από τα κατώτερα επίπεδα, με απώτερο στόχο την ανάπτυξη προηγμένων έξυπνων συστημάτων που αντικαθιστούν εν μέρει και βοηθούν τον ανθρώπινο παράγοντα, ο οποίος είναι απαραίτητος σε ένα μη αυτοματοποιημένο περιβάλλον.

Η χρησιμοποίηση μεθοδολογιών υπολογιστικής νοημοσύνης, όπως είναι η Ασαφής Λογική, τα Νευρωνικά Δίκτυα, οι συνδυασμοί αυτών, όπως επίσης και άλλες μέθοδοι που ανήκουν στην γενικότερη κατηγορία των εύκαμπτων τεχνικών στο πεδίο των βιομηχανικών συστημάτων μπορεί να συνεισφέρει στην ανάπτυξη προηγμένων βιομηχανικών συστημάτων. Στα πλαίσια αυτά εντάσσεται και η εφαρμογή ενός Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου για τη μοντελοποίηση τόσο της λειτουργίας πολύπλοκων συστημάτων, αλλά ιδιαίτερα του συντονιστή ενός ιεραρχικού συστήματος, όπως θα δειχθεί στη συνέχεια του κεφαλαίου.

6.2 Ανάπτυξη ενός Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου για μια παραγωγική διαδικασία

Σε ένα βιομηχανικό σύστημα στο επίπεδο παραγωγής, μια μεγάλη ποσότητα τεχνικών και ποιοτικών πληροφοριών ανταλλάσσεται μεταξύ των συστημάτων ελέγχου της παραγωγής και των ανώτερων επιπέδων επίβλεψης της παραγωγικής διαδικασίας [42]. Οι πληροφορίες που δέχονται τα ανώτερα ιεραρχικά επίπεδα αφορούν τα γενικά χαρακτηριστικά της παραγωγικής διαδικασίας. Πρόκειται για επεξεργασμένες πληροφορίες, οι οποίες δημιουργούν ένα εννοιολογικό λειτουργικό μοντέλο του συστήματος. Οι πληροφορίες αυτές και οι γνώσεις στα βιομηχανικά συστήματα αφορούν το γενικό πλάνο και σχεδιασμό της παραγωγικής διαδικασίας, τη συμπεριφορά διαφόρων τμημάτων της παραγωγής και γενικά ένα σύνολο από ιδιότητες, ποιοτικά χαρακτηριστικά και μεταβλητές που επηρεάζουν τη συμπεριφορά και λειτουργία του συνολικού συστήματος. Αυτού του είδους οι πληροφορίες και το αντίστοιχο μοντέλο μπορούν να απεικονισθούν και μοντελοποιηθούν με χρήση Ασαφών Γνωστικών Δικτύων, όπου οι κόμβοι του δικτύου θα αντιπροσωπεύουν τις βασικές έννοιες και στοιχεία που καθορίζουν τη λειτουργία του συστήματος, έτσι ένας κόμβος μπορεί να αντιπροσωπεύει ένα τμήμα της παραγωγικής διαδικασίας ή μια συγκεκριμένη διαδικασία.

Οι άνθρωποι ειδικοί, που αναπτύσσουν το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο χρησιμοποιώντας την εμπειρία τους από την παρακολούθηση του συνολικού συστήματος έχουν συσχετίσει στο μυαλό τους τη συμπεριφορά ενός υποσυστήματος με κάποιες μεταβλητές και καταστάσεις που

την καθορίζουν και γενικά έχουν δημιουργήσει ένα νοητικό μοντέλο του συνολικού συστήματος. Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιούν οι εμπειρογνώμονες για να αναπτύξουν ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο και να περιγράψουν τη συμπεριφορά του συστήματος. Το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο περιγράφει τη συμπεριφορά και λειτουργία του συνολικού συστήματος, όταν το σημαντικότερο στοιχείο είναι το τελικό προϊόν της διαδικασίας και οι διάφοροι παράγοντες που καθορίζουν την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα το κέντρο του ενδιαφέροντος δεν είναι η παραγωγική διαδικασία αυτή καθαυτή και ο έλεγχός της, αλλά η ανάπτυξη ενός μοντέλου που θα περιγράφει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της παραγωγικής διαδικασίας.

Το συγκεκριμένο παράδειγμα αφορά την παραγωγική διαδικασία σε ένα εργοστάσιο παραγωγής χάρτου, για το οποίο ζητήθηκε η συνδρομή των μηχανικών της επιχείρησης για την ανάπτυξη του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου. Οι ειδικοί γνώστες του συγκεκριμένου συστήματος ακολουθούν τα στάδια ανάπτυξης του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 3.3.1 και σχεδιάζουν το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο που απεικονίζεται στο σχήμα 6.1, και το οποίο αποτελείται από 9 κόμβους.

Θα παρουσιασθεί η λογική διαδικασία την οποία ακολουθούν οι έμπειροι ειδικοί προκειμένου να αναπτύξουν το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο. Ο σημαντικότερος κόμβος είναι ο κόμβος C1 "απαξίωση προϊόντος", ο οποίος καθορίζει την ποιότητα του τελικού προϊόντος και γύρω από τον οποίο αναπτύσσονται οι υπόλοιποι κόμβοι που τον επηρεάζουν. Οι ειδικοί καθορίζουν τους παράγοντες εκείνους του συστήματος που επηρεάζουν το συγκεκριμένο κόμβο C1 και άρα θα αποτελούν κόμβους του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου. Οπότε το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο θα αποτελείται από τους ακόλουθους 9 κόμβους:

- Κόμβος C1 : Απαξίωση προϊόντος, η ποιότητα του τελικού προϊόντος δεν είναι ικανοποιητική
- Κόμβος C2: Εσωτερική μεταβολή της διαδικασίας. Αναφέρεται στις αλλαγές τιμών και δεδομένων που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας
- Κόμβος C3 : Κακής ποιότητας πρώτη ύλη, που χρησιμοποιείται στην παραγωγική διαδικασία
- Κόμβος C4 : Προβλήματα σε εξαρτήματα μηχανών και γενικά μειωμένη αξιοπιστία κάποιων μηχανών
- Κόμβος C5 : Τεχνική βλάβη σε κάποιο υποσύστημα
- Κόμβος C6 : Λανθασμένοι χειρισμοί των μηχανών από τους χειριστές
- Κόμβος C8 : Απαιτείται κλείσιμο μηχανής

Κόμβος C7: Απαιτείται να γίνει ανασχεδιασμός της διαδικασίας, να εισαχθούν νέα δεδομένα και μεταβλητές

Κόμβος C9: Απαιτείται να γίνει συντήρηση στις μηχανές που συμμετέχουν στην παραγωγική διαδικασία

Πρέπει να τονισθεί, ότι οι έμπειροι ειδικοί με τις γνώσεις τους για τη λειτουργία του συγκεκριμένου συστήματος αποφασίζουν τόσο το πλήθος, όσο και το είδος των κόμβων που θα έχει το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο. Όταν έχουν καθορισθεί οι κόμβοι που αποτελούν το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο οι εμπειρογνώμονες στη συνέχεια περιγράφουν τις αιτιατές σχέσεις μεταξύ τους ακολουθώντας την ακόλουθη λογική.

Η τιμή του κόμβου C1 "απαξίωση προϊόντος" αυξάνει την ανάγκη για "ανασχεδιασμός της διαδικασίας" που είναι ο κόμβος C7. Η αύξηση της τιμής του κόμβου C7 μειώνει την τιμή του κόμβου C6 "άσχημοι χειρισμοί από τους χειριστές" και του κόμβου C2 εσωτερική μεταβολή της διαδικασίας".

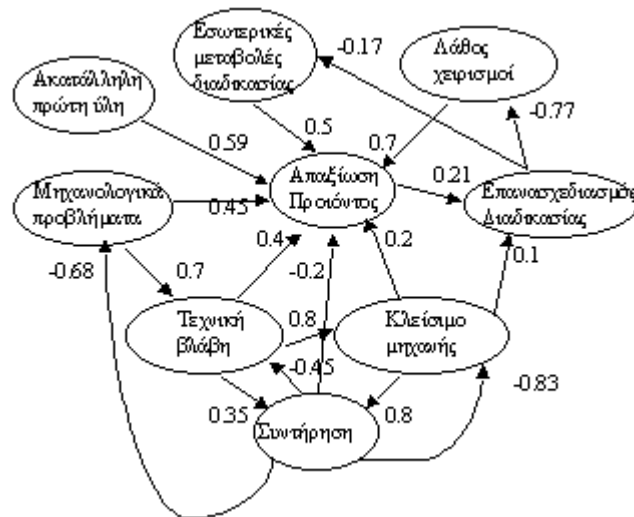
Η τιμή του κόμβου C4 "προβλήματα σε εξαρτήματα μηχανών" αυξάνει την τιμή του κόμβου C5 "τεχνική βλάβη".

Ο κόμβος C5 "τεχνική βλάβη" αυξάνει την απαίτηση για συντήρηση που αντιπροσωπεύεται από τον κόμβο C9 καθώς και την τιμή του κόμβου C8 "κλείσιμο μηχανής"

Η τιμή του κόμβου C9 "συντήρηση" οδηγεί σε μείωση των ακόλουθων κόμβων : C5 "τεχνική βλάβη", κόμβος C8 "κλείσιμο μηχανής" και κόμβος C4 "προβλήματα σε εξαρτήματα μηχανών"

Ο κόμβος C8 "κλείσιμο μηχανής" οδηγεί σε αύξηση της ανάγκης για "ανασχεδιασμό της διαδικασίας" κόμβος C7 και για "συντήρηση" κόμβος C9.

Όταν οι ειδικοί περιγράφουν τις σχέσεις μεταξύ των κόμβων, καθορίζουν το βαθμό αιτιότητας που υφίσταται μεταξύ των κόμβων χρησιμοποιώντας ένα γλωσσικό κανόνα. Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία της παραγράφου 3.3.3 για να υπολογισθούν οι τιμές των βαρών των διασυνδέσεων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου.



Σχήμα 6.1. Το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο που περιγράφει τη διαδικασία

Αφού έχει αναπτυχθεί πλήρως το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο, στη συνέχεια δίνονται αρχικές τιμές στις μεταβλητές των κόμβων του και αρχίζει η προσομοίωση της συμπεριφοράς του συστήματος. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να γίνουν διάφορα σενάρια και να εξετασθούν οι επιδράσεις των διαφόρων παραγόντων του συστήματος στο τελικό προϊόν.

Το άνυσμα των αρχικών τιμών των κόμβων είναι :

$$A_0 = [0.24 \ 0.48 \ 0.2 \ 0.10 \ 0.15 \ 0.40 \ 0.00 \ 0.07 \ 0.61] \quad (6.1)$$

Ο πίνακας βαρών του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου θα είναι:

$$W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.21 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.59 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.45 & 0 & 0 & 0 & 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.8 & 0.35 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.2 & -0.17 & 0 & 0 & 0 & -0.77 & 0 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0 & 0.8 \\ -0.2 & 0 & 0 & -0.68 & -0.45 & 0 & 0 & 0.83 & 0 \end{bmatrix} \quad (6.2)$$

Το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο με τις αρχικές τιμές στους κόμβους ξεκινά την προσομοίωση της συμπεριφοράς του συστήματος, χρησιμοποιώντας την εξίσωση (6.3) μαζί με τη σιγμοειδή συνάρτηση της σχέσης (6.4), για τον υπολογισμό των νέων τιμών των

μεταβλητών των κόμβων μετά από κάθε αλληλεπίδραση, ως αποτέλεσμα των αιτιατών διασυνδέσεων μεταξύ των κόμβων.

$$A_i^t = f\left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N A_j^{t-1} W_{ji} + A_i^{t-1}\right) \quad (6.3)$$

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (6.4)$$

Στον πίνακα 6.1 φαίνονται οι τιμές των κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου για 5 επαναλήψεις, όπου το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο συγκλίνει σε μια περιοχή ισορροπίας. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή το ζητούμενο είναι η τιμή του κόμβου C1 που περιγράφει την απαξίωση του τελικού προϊόντος να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη. Όπως όμως διαπιστώνεται από τον πίνακα 6.1 η τιμή του κόμβου C1 είναι σχετικά υψηλή, οπότε συμπεραίνεται, ότι θα πρέπει να μεταβληθούν οι τιμές των κόμβων C7 και C9 που επηρεάζουν την τιμή του κόμβου C1. Δηλαδή απαιτείται συντήρηση της παραγωγικής διαδικασίας και ανασχεδιασμός της, ώστε να μειωθεί η απαξίωση του τελικού προϊόντος. Και στη συνέχεια μετά από τις αλλαγές των τιμών των μεταβλητών των κόμβων, το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο, μετά από έναν περιορισμένο αριθμό επαναλήψεων θα συγκλίνει στην περιοχή ισορροπίας.

Πίνακας 6.1 Οι τιμές των μεταβλητών των κόμβων για το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο για 5 επαναλήψεις

Βήμα	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
1	0.24	0.48	0.20	0.10	0.15	0.40	0.00	0.07	0.61
2	0.65	0.50	0.20	0.40	0.45	0.50	0.51	0.40	0.53
3	0.74	0.48	0.20	0.41	0.51	0.40	0.54	0.48	0.62
4	0.73	0.48	0.20	0.40	0.50	0.40	0.55	0.47	0.64
5	0.72	0.48	0.20	0.39	0.50	0.40	0.55	0.47	0.64

6.3 Γενική δομή ελεγκτή για πολύπλοκα συστήματα

Σε αυτή την ενότητα θα αναπτυχθεί μια γενική δομή εποπτικού ελέγχου. Υποτίθεται ότι τα διάφορα υποσυστήματα που αποτελούν ένα πολύπλοκο σύστημα ελέγχονται ικανοποιητικά από τοπικούς συμβατικούς ή μη ελεγκτές, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την καλή λειτουργία του συστήματος κάτω υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Πάνω από το επίπεδο απλού

ελέγχου βρίσκεται ο συντονιστής του συστήματος με σκοπό να επιτελεί προχωρημένες λειτουργίες.

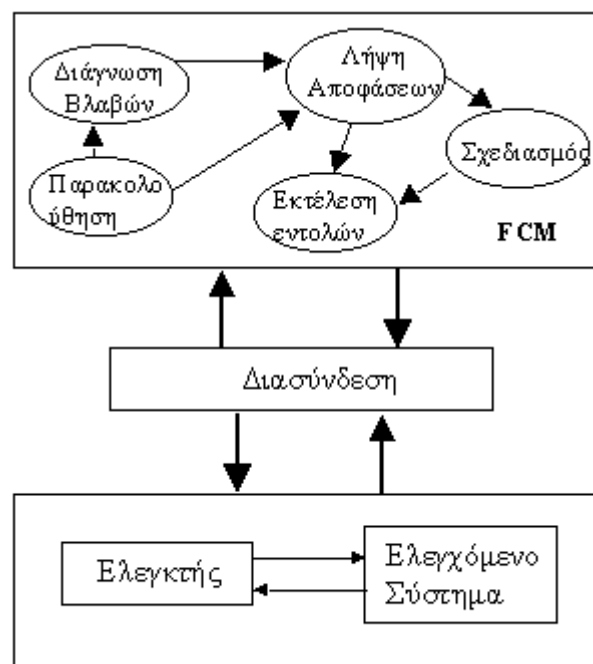
Το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση του συντονιστή και έχει στόχο τη δημιουργία ενός συνοπτικού εννοιολογικού μοντέλου της λειτουργίας και συμπεριφοράς του βιομηχανικού συστήματος. Το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο δίνει περισσότερη σημασία στην εμπειρία των εμπειρογνομόνων από τη παρακολούθηση λειτουργίας και συμπεριφοράς του συστήματος και όχι στον έλεγχο της διαδικασίας με χρήση των συμβατικών παραδοσιακών μεθοδολογιών. Έχοντας αυτά τα χαρακτηριστικά το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο είναι κατάλληλο για την ανάπτυξη εποπτικού συστήματος, όταν το σύστημα είναι πολύπλοκο, στερείται ακριβούς μαθηματικού μοντέλου, ενώ στην πραγματικότητα ο άνθρωπος καταφέρνει να το ελέγχει και να επιβλέπει τη λειτουργία του ικανοποιητικά. Η ανάπτυξη ενός συντονιστή με αυτά τα χαρακτηριστικά, δηλαδή την παρακολούθηση της λειτουργίας, με χαρακτηριστικά διάγνωσης βλαβών, σχεδιασμού και λήψης αποφάσεων είναι πολύ σημαντική.

Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του συντονιστή που μοντελοποιείται, ως ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο, επιβάλλουν να περιλαμβάνει τμήματα για παρακολούθηση της λειτουργίας του βιομηχανικού συστήματος, για λήψη αποφάσεων, για σχεδιασμό και αποστολή εντολών προς το κατώτερο επίπεδο. Ακόμη ο συντονιστής χρησιμοποιείται για πιο γενικούς στόχους, όπως είναι η οργάνωση του συνολικού συστήματος προκειμένου να επιτελέσει κάποιες συγκεκριμένες εργασίες, ο συμβουλευτικός ρόλος στις αποφάσεις που παίρνει ο άνθρωπος χειριστής του συστήματος, ακόμη η αρωγή στο στρατηγικό σχεδιασμό των ενεργειών ελέγχου και τέλος η υποστήριξη στην ανάλυση και πρόληψη βλαβών.

Ένα επαυξημένο Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο αποτελείται από μικρότερα τμηματικά Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα, καθένα από τα οποία επιτελεί συγκεκριμένο έργο. Ένα τέτοιο επαυξημένο Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση του συντονιστή ενός συστήματος. Το επαυξημένο Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο αποτελείται από τα εξής τμήματα, ένα για λήψη αποφάσεων, ένα για σχεδιασμό, ένα για παρακολούθηση λειτουργίας, ένα για διάγνωση βλαβών και ένα για μεταφορά εντολών προς το κατώτερο επίπεδο. Καθένα από αυτά τα τμήματα του επαυξημένου Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου είναι στην πραγματικότητα ένα ξεχωριστό Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο, το οποίο μπορεί να έχει κάποιους κοινούς κόμβους με τα υπόλοιπα τμηματικά Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα και ακόμη υπάρχουν κοινές διασυνδέσεις μεταξύ των διαφόρων τμηματικών Δικτύων. Ως παράδειγμα λειτουργίας ακολουθείται η επόμενη διαδικασία: το τμήμα εκείνο του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου υπεύθυνο για διάγνωση βλαβών θα πρέπει να αποτελείται από κόμβους που θα αξιολογούν τα διάφορα

σήματα κινδύνου, τα σήματα βλαβών και άλλα σήματα εισόδου από το κατώτερο επίπεδο και θα επηρεάζει κάποιους κόμβους στο τμήμα λήψης αποφάσεων και στο τμήμα εξόδου εντολών που στέλνει κάποιες εντολές ελέγχου προς το κατώτερο επίπεδο.

Ουσιαστικά, η συγκεκριμένη δομή ελέγχου με τον συντονιστή να μοντελοποιείται με τη χρήση ενός επαυξημένου Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου επιδιώκει να αντιγράψει και να προσομοιώσει τις ενέργειες που κάνει ο άνθρωπος ο οποίος επιβλέπει τη λειτουργία του συγκεκριμένου συστήματος. Η προτεινόμενη προσέγγιση για τη μοντελοποίηση του συντονιστή στηρίζεται σε γνωστικά μοντέλα του συστήματος και όχι στη χρήση καταστατικών εξισώσεων για την περιγραφή του συντονιστή ή στις εξισώσεις εισόδου-εξόδου που είναι η συνήθης μέθοδος περιγραφής του συντονιστή [14]. Διαφέρει λοιπόν σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους μοντελοποίησης του συντονιστή όπως έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολύπλοκα συστήματα αφού αυτές βασίζονται σε εντελώς διαφορετικές αρχές.



Σχήμα 6.2 Γενικευμένη δομή ελεγκτή και πολύπλοκου συστήματος

Μια γενικευμένη απεικόνιση της προτεινόμενης δομής ελέγχου απεικονίζεται στο σχήμα 6.2. Μεταξύ των δύο επιπέδων του ελεγκτή μεταδίδονται πληροφορίες από και προς το κάθε επίπεδο. Είναι λοιπόν απαραίτητη μια ενδιάμεση διάταξη που θα μετασχηματίζει κατάλληλα τις πληροφορίες και θα τις μεταδίδει είτε προς τον επιβλέποντα που είναι το επαυξημένο Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο, είτε προς το κατώτερο επίπεδο. Πληροφορίες και

μετρήσεις από το κατώτερο επίπεδο μετασχηματίζονται κατάλληλα και κατόπιν επεξεργασίας στη διάταξη διασύνδεσης μεταδίδονται προς το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο. Αντίστροφα, ένα αντίστοιχο τμήμα της ενδιάμεσης διάταξης θα μετασχηματίζει και μεταδίδει τις τιμές των κόμβων και τις μεταβολές τους προς τους συμβατικούς ελεγκτές στο κατώτερο επίπεδο. Έτσι οι τιμές των κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου θα επηρεάζουν τον ελεγκτή στο κατώτερο επίπεδο.

Η γενικευμένη δομή εποπτικού ελέγχου ενός πολύπλοκου συστήματος που παρουσιάζεται στο σχήμα 6.2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια ευρεία γκάμα εφαρμογών. Το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο που μοντελοποιεί τον συντονιστή ενός πολύπλοκου συστήματος χρησιμοποιείται για να βοηθήσει τον άνθρωπο να πάρει αποφάσεις σε σχέση με το συνολικό σύστημα, να διαπιστώσει την επίδραση που έχουν κάποιες μεταβολές στο συνολικό σύστημα και γενικά σε θέματα εποπτικού ελέγχου, τέτοιες πιθανές εφαρμογές είναι στην ιατρική, σε περιβαλλοντολογικά, σε κοινωνικά προβλήματα και σε προβλήματα οργάνωσης επιχειρήσεων.

6.4 Περίληψη κεφαλαίου

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύθηκαν οι δυνατότητες που έχουν τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα για την μοντελοποίηση πολύπλοκων συστημάτων τα οποία απαιτούν την ανάπτυξη προηγμένων μοντέλων για την παρακολούθηση της λειτουργίας τους. Τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα διαθέτουν ιδιότητες και χαρακτηριστικά για την απεικόνιση και έκφραση των ποιοτικών χαρακτηριστικών και της υπάρχουσας γνώσης για τη λειτουργία ενός πολύπλοκου συστήματος διαμέσου της κατασκευής ενός εννοιολογικού μοντέλου. Στη συνέχεια παρουσιάστηκε ο τρόπος με τον οποίο τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μοντελοποίηση πολύπλοκων συστημάτων και αναπτύχθηκε ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο για τη μοντελοποίηση μιας παραγωγικής διαδικασίας. Με αυτή την εφαρμογή καταδείχθηκε η χρησιμότητα των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων για την ανάπτυξη συνοπτικών μοντέλων και την παρακολούθηση υλοποίησης ενός γενικότερου αντικειμενικού στόχου από όλο το σύστημα. Λαμβάνοντας όλα αυτά υπ' όψη προτάθηκε μια γενική δομή ελεγκτή για πολύπλοκα συστήματα, κατά την οποία ο συντονιστής του συνολικού συστήματος μοντελοποιήθηκε, ως ένα επαυξημένο Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ -ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

7.1 Συμπεράσματα

Η παρούσα διδακτορική διατριβή διαπραγματεύθηκε θέματα και ζητήματα στην περιοχή της μοντελοποίησης και του ελέγχου συστημάτων. Συγκεκριμένα ερευνήθηκε η ανάπτυξη ιεραρχικού ευφυούς ελέγχου για απλά και πολύπλοκα συστήματα. Στα πλαίσια της διατριβής εξετάσθηκαν τα προβλήματα που αντιμετωπίζονται κατά τη μοντελοποίηση και τον έλεγχο των πολύπλοκων συστημάτων και ακολουθήθηκε μια ιεραρχική προσέγγιση για τη δόμηση του συστήματος. Η ανάγκη για την ανάπτυξη ιεραρχικών ευφύων ελεγκτών οδήγησε στην έρευνα νέων τεχνικών μοντελοποίησης του συντονιστή σε ένα ιεραρχικό σύστημα.

Εξετάσθηκε η δυνατότητα ανάπτυξης νέων μεθοδολογιών ευφυούς ελέγχου με χρήση εύκαμπτων μεθόδων υπολογισμού, όπως είναι οι τεχνικές που έχουν ως βάση τα Νευρωνικά Δίκτυα και την Ασαφή Λογική. Εξετάσθηκε μια νέα τεχνική, τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα και διαπιστώθηκαν οι σημαντικές δυνατότητες που διαθέτει η συγκεκριμένη τεχνική εύκαμπτου ελέγχου για εφαρμογή στην περιοχή της μοντελοποίησης και ελέγχου συστημάτων και ιδιαίτερα εποπτικού ελέγχου. Δόθηκε ένα έναυσμα για τη χρήση και την εφαρμογή Ασαφών Γνωστικών Δικτύων στην περιοχή της μοντελοποίησης και ελέγχου συστημάτων επεκτάθηκε

το πεδίο χρήσης και εφαρμογής τους και χρησιμοποιήθηκαν νέες ιεραρχικές δομές. Τοιουτοτρόπως, σημαντική ερευνητική προσπάθεια επικεντρώθηκε στην ανάπτυξη νέων υπολογιστικών κανόνων και μεθόδων ανάπτυξης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων. Ειδικότερα προτάθηκαν και αναλύθηκαν τέσσερις νέες ολοκληρωμένες μέθοδοι σχεδίασης και ανάπτυξης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων, οι οποίες αποτελούν τον πυρήνα κάθε προσπάθειας χρησιμοποίησης και εφαρμογής των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων στην περιοχή της μοντελοποίησης και ελέγχου συστημάτων και σε άλλες ερευνητικές περιοχές. Οι μεθοδολογίες ανάπτυξης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων είναι αρκετά γενικές και μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να εφαρμοσθούν ευρύτατα σε διάφορα επιστημονικά πεδία εφαρμογών.

Στα πλαίσια της διατριβής έγινε για πρώτη φορά χρησιμοποίηση των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων για την μοντελοποίηση και έλεγχο ενός συστήματος. Επιπλέον εξετάσθηκαν ζητήματα που απαιτείται να λυθούν προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για άμεσο έλεγχο και προτάθηκε η δομή που θα πρέπει να έχει το σύστημα ελέγχου και ελεγκτή σε αυτή την περίπτωση. Ακόμη εφαρμόσθηκε η συγκεκριμένη τεχνική σε δύο προβλήματα μοντελοποίησης και ελέγχου διαδικασιών με πολύ καλά αποτελέσματα.

Παρουσιάσθηκε μια νέα δομή εποπτικού ελέγχου συστημάτων με χρήση Ασαφών Γνωστικών Δικτύων και διαπιστώθηκε η επαύξηση των δυνατοτήτων του συντονιστή, όταν μοντελοποιείται, ως ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο. Εξετάσθηκαν παραδείγματα εποπτικού ελέγχου με χρήση Ασαφών Γνωστικών Δικτύων για συγκεκριμένες εφαρμογές και παρουσιάσθηκε η δομή του συνολικού συστήματος.

Μια άλλη εφαρμογή των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων που εξετάσθηκε στα πλαίσια της διατριβής είναι η μοντελοποίηση πολύπλοκων βιομηχανικών συστημάτων. Μια περιοχή στην οποία τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα μπορούν να συνεισφέρουν σημαντικά, όπως συμπεραίνεται από τα αποτελέσματα της εφαρμογής που υλοποιήθηκε στα πλαίσια της διατριβής.

Ένα γενικό συμπέρασμα που προκύπτει από τη συγκεκριμένη διατριβή είναι, ότι ανοίγει ο δρόμος για την εφαρμογή της αναπτυχθείσας τεχνικής εύκαμπτου ελέγχου τόσο στην γενικότερη περιοχή της μοντελοποίησης και ελέγχου συστημάτων, όσο και ειδικότερα στην περιοχή του εποπτικού ελέγχου.

7.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Εκτιμώντας το γεγονός, ότι ουσιαστικά για πρώτη φορά γίνεται σε βάθος εφαρμογή της τεχνικής των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων στην περιοχή της μοντελοποίησης και ελέγχου συστημάτων συμπεραίνεται, ότι υπάρχουν σημαντικά ζητήματα που θα πρέπει να ερευνηθούν προκειμένου να αξιοποιηθούν πλήρως οι δυνατότητες της προτεινόμενης τεχνικής.

Καταρχήν σε ότι αφορά τη μεθοδολογία ανάπτυξης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων, έχει γίνει σημαντική προσπάθεια στα πλαίσια της διατριβής, η οποία έχει οδηγήσει σε νέες μεθόδους σχεδίασης Ασαφών Γνωστικών Δικτύων που οδηγούν στη δημιουργία Ασαφών Γνωστικών Δικτύων τα οποία βελτιστοποιούν την μοντελοποίηση και περιγραφή συστημάτων. Βέβαια και σε αυτό τον τομέα της ανάπτυξης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων υπάρχουν ακόμη περιθώρια εξέλιξης των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση των βαρών του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου.

Για την ευρύτατη εφαρμογή των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων στον άμεσο έλεγχο ενός συστήματος θα πρέπει να εξετασθούν ζητήματα που έχουν σχέση με την ευστάθεια και την ελεξιμότητα. Το γεγονός ότι ο πίνακας βαρών του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου με αυτοτροφοδότηση έχει μη μηδενική διαγώνιο διευκολύνει την εξέταση των συνθηκών ευστάθειας του συστήματος με βάση τις ιδιοτιμές του πίνακα βαρών. Ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα του προτεινόμενου Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου με αυτοτροφοδότηση είναι οι ομοιότητές του με μια ειδική κατηγορία Νευρωνικών Δικτύων τα Recurrent Νευρωνικά Δίκτυα και η δυνατότητα αξιοποίησης υπαρχόντων τεχνικών από τη συγκεκριμένη κατηγορία Νευρωνικών Δικτύων. Στη συγκεκριμένη περιοχή έχει ήδη γίνει μια προεργασία [C9], μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι τιμές του πίνακα βαρών για να εξετασθούν αυτά τα θέματα, αλλά απαιτείται ακόμη σημαντική ερευνητική προσπάθεια.

Στη διατριβή προτάθηκε μια ιεραρχική δομή για εποπτικό έλεγχο και σχεδιάστηκε ένα τμήμα του συντονιστή Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου. Μια πλήρης ανάπτυξη του συντονιστή για ένα πολύπλοκο σύστημα, που θα περιλαμβάνει τα τμήματα για διάγνωση βλαβών, σχεδιασμό, λήψη αποφάσεων και εκτέλεση εντολών αποτελεί αντικείμενο μελλοντικής ερευνητικής προσπάθειας και συνέχειας της διατριβής. Ακόμη θα πρέπει να καθορισθεί η δομή της διάταξης διασύνδεσης και ο μηχανισμός μεταφοράς πληροφοριών μεταξύ των επιπέδων της ιεραρχικής δομής.

Τέλος θα πρέπει να εξετασθεί η δυνατότητα πλήρους αξιοποίησης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων και η εφαρμογή τους σε νέες περιοχές όπου πραγματικά υπάρχει ανάγκη για ένα ευφύες ιεραρχικό σύστημα, όπως είναι οι ιατρικές εφαρμογές, εφαρμογές για τη μοντελοποίηση επιχειρήσεων και γενικά πολύπλοκων συστημάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Albus, J.S. (1991). *Outline for a Theory of Intelligence* . IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, **21**, No3, 432-509.
2. Antsaklis, P. and K. Passino and S.J. Wang (1989). *Towards intelligent autonomous control systems: architectures and fundamental issues*. Journal of Intelligent and Robotic systems. **1** , 315-342.
3. Antsaklis, P. and K. Passino (1993). *An Introduction to Intelligent and Autonomous Control*. Norwell: Kluwer Academic Publishers, Massachusetts.
4. Astrom K. J., J. Anton and K. Arzen (1986). *Fuzzy Control*. Automatica **22**. No 3.
5. Axelrod, R. (1976). *Structure of Decision: the Cognitive Maps of Political Elites*. Princeton University Press, New Jersey.
6. Banini G. A. and R. A. Bearman (1998). *Application of fuzzy cognitive maps to factors affecting slurry rheology*. Int. J. Miner. Process **52**, 233-244.
7. Caudill, M. (1990). *Using neural nets: fuzzy cognitive maps*. AI Expert, **5** ,No.6, 49-53.
8. Craiger J. P. and M. D. Coover (1994). *Modeling dynamic social and psychological processes with fuzzy cognitive maps*, Proc. IEEE International Conference on Fuzzy Systems. 1873-1877.
9. Craiger, J. P. , D.F. Goodman, R.J. Weiss and A.B. Butler (1996). *Modeling Organizational Behavior with Fuzzy Cognitive Maps*, Int. J. Of Computational Intelligence and Organizations. **1**, 120-123.
10. Dickerson J. A. and B. Kosko (1996). *Virtual Worlds as Fuzzy Dynamical Systems*. Technology for Multimedia. B. Sheu, (editor) IEEE Press.
11. Dickerson J. A. and B. Kosko (1994). *Fuzzy Virtual Worlds*. AI Expert, 25-31.
12. Dickerson, J. A. and B. Kosko (1994). *Fuzzy Virtual Worlds as Fuzzy Cognitive Maps*, Presence, **3**, 173-189.
13. Driankov, D., H. Hellendoorn and M. Reinfrank (1996). *An introduction to Fuzzy Control*. Springer-Verlag, New York.
14. Drouin, M, H. Abou-Kandil and M. Mariton (1991). *Control of complex systems: methods and technology*. Plenum press, New York.
15. Georgopoulos, V and P. Groumpos (1995). *Categorization of Information in Supervisory Control Systems*. Studies in Informatics and Control, **4**, No4, 393-399.
16. Goto, K., J. Murakami, T. Yamaguchi, and Y. Yamanaka (1989). *Application of Fuzzy Cognitive Maps to supporting for Plant Control*. Proc. of SICE Joint Symposium of 15th Syst. Symp. and 10th Knowledge Engineering Symposium, 99-104.

17. Goto K., T. Yamaguchi and T. Takagi (1992). *Dynamic Model for a Plant Using Associative Memory System*. Proc. of the International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN-92), pp. 1517-1520, 4-7 September, Brighton, UK.
18. Hagiwara, M. (1992). *Extended Fuzzy Cognitive Maps*. IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 795-801.
19. Harris C. J., C. Moore and M. Brown (1993). *Intelligent Control aspects of Fuzzy Logic and Neural Nets*. World Scientific, Singapore
20. Isermann, R. (1998). *On fuzzy logic applications for automatic control, supervision, and fault diagnosis*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. **28**, 221-235.
21. Jamshidi, M. (1996). *Large Scale Systems: Modeling, Control, and Fuzzy Logic*. Prentice Hall.
22. Jang, J.S., C.T. Sun and E. Mizutani (1997). *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J.
23. Jones, P. M. and C.A. Jasek (1997). *Intelligent support for activity management (ISAM): an architecture to support distributed supervisory control*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. **27**, 274-288.
24. Juliano B. J. (1990). *Fuzzy Cognitive Structures for Automating Human Problem Solving Skills Diagnosis*. Proceedings of the 9th Annual NAFIPS Conference, 311-314.
25. Juliano B. and W. Bandler (1996). *Tracing chains of thought: fuzzy methods in cognitive diagnosis*. Heiderberg: Physica-Verl.
26. Kardara D. and B. Karakostas (1999). *The use of fuzzy cognitive maps to simulate the information systems strategic planning process*. Information and software technology **41**, 197-210.
27. Keesang LEE, Sungho KIM, and Masatoshi SAKAWA (1996). *On-Line Fault Diagnosis by Using Fuzzy Cognitive Map*. IEICE Transactions on Fundamentals.
28. Kim, H. S. and K. C. Lee (1998). *Fuzzy implications of fuzzy cognitive map with emphasis on fuzzy causal relationship and fuzzy partially causal relationship*. Fuzzy Sets and Systems, **97**, 303-313.
29. Kimoto K. and M. Hagiwara. (1997). *AFCM: Automatic fuzzy cognitive maps*. Proc. of International Conference on Computational Intelligence and Neuroscience, **2**, 304-307.
30. King R. E. (1999). *Computational intelligence in control engineering*. Marcel Dekker, New York
31. King R.E. (1998). *Υπολογιστική Νοημοσύνη*. Τραβλός- Κωσταράκης. Αθήνα.
32. King R.E. (1997). *Ευφυής Έλεγχος*. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα.
33. King R.E. (1996). *Βιομηχανικός Έλεγχος*. Παπασωτηρίου. Αθήνα.
34. Kosko B. (1986). *Fuzzy Cognitive Maps*. International Journal of Man-Machine Studies, **24**, 65 - 75.
35. Kosko, B. (1992) *Neural Networks and Fuzzy Systems*. Prentice-Hall, Upper Saddle River, N. J.

36. Kosko, B. (1997). *Fuzzy Engineering*. Prentice-Hall, Upper Saddle River, N. J.
37. Lee K. C., H.S. Kim and S.C. Chu (1994). *A Fuzzy Cognitive Map-based BiDirectional Inference Mechanism: An Application to Stock Investment analysis*. Proc. Japan/Korea Joint Conf. On Expert Systems **10** (1) 193-196.
38. Lee K. C., S.C. Chu and H.S. Kim (1993). *Fuzzy Cognitive Map-based knowledge acquisition algorithm: applications to stock investment analysis*, in W. Cheung, Ed., *Selected Essays on Decision Science* (Department of Decision Science and Managerial Economics, The Chinese University of Hong Kong,) 129-124.
39. Lee K. C., S.C. Chu and H.S. Kim (1994). *A study on the development of multiple expert's knowledge combining algorithm by using Fuzzy Cognitive Map*. J. Korean Oper. Res. Management Sci. Soc. **19** 17-40.
40. Lin, C. T. and C. S. G. Lee (1996). *Neural Fuzzy Systems: A Neuro-Fuzzy Synergism to Intelligent Systems*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
41. Liu, Z.Q. (1997). *On the use of fuzzy cognitive maps for learning and decision making*. Proc. Australian - Pacific Forum on Intelligent Processing and Manufacturing of Materials, IPMM'97, Gold Coast, July 14-17.
42. Mayer, F., G. Morel, B. Iung, and J.B. Leger (1996). *Integrated Manufacturing System Meta-Modelling at the shop-floor level*. Proc. of Advanced Summer Institute ASI'96, Toulouse, France, 232-239.
43. Mamdani, E. H., J.J Ostergaard and E. Lembesis (1984). *Use of fuzzy logic for implementing rule based control of industrial processes*. Times Studies in Management Science, **20**, 429-445.
44. Maki, Y. and K. Loparo (1997). *A neural network approach to fault detection and diagnosis in industrial processes*. IEEE Transactionson Control Systems Technology, **5**, No. 6, 529-541.
45. Mc Neil, and E. Thro (1994). *Fuzzy logic: A practical approach*. AP Professional, San Diego.
46. Medsker, L.R. (1995). *Hybrid Intelligent Systems*. Kluwer Academic Publishers.
47. Mitchell, C.M. and G.A. Sundstrom, (1997). *Human interaction with complex systems: design issues and research approaches*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. **27**, 265-273.
48. Mitchell, T. M. (1997). *Machine Learning*. The McGraw-Hill Companies, Inc.
49. Narendra K. S. and S. Mukhoopadhyay (1992). *Intelligent Control using neural networks*. IEEE Control Systems Magazine Apr. 11-18.
50. Nie, J. and D. Linkens (1995). *Fuzzy-Neural Control: Principles, Algorithms and Applications*. Prentice Hall Europe.
51. Obata, T. and M Hagiwara (1997). *Neural Cognitive Maps*, Proc. of IEEE Int. Conference on Systems, Man and Cybernetics, 3337-3342.

52. Omatu, S., M. Khalid and R. Yusof (1996). *Neuro-Control and its Applications*. Springer-Verlag, London.
53. Park, S.K. and H.S. Kim (1995). *Fuzzy cognitive maps considering time relationships*. International Journal Human-Computer Studies, **421**, 157-168.
54. Parsaei, H. and M. Jamshidi (1995). *Design and Implementation of Intelligent Manufacturing Systems: from ExpertSystems, Neural Networks, to Fuzzy Logic*. Prentice-Hall Inc. Upper Saddle River, N.J.
55. Pelaez C. E. and J.B. Bowles (1994). *Using Fuzzy Cognitive Maps for Failure Modes Effects Analysis*. Third Annual FT&T International Conference.
56. Pelaez C. E., and J.B. Bowles (1996). *Using fuzzy Cognitive Maps as a System Model for Failure Models and Effects Analysis*. Information Sciences, **88**, 177-199.
57. Pelaez, C. E and J. B. Bowles (1995). *Applying Fuzzy Cognitive Maps Knowledge-Representation to Failure Modes Effects Analysis*. Proc. of Annual Reliability and Maintainability Symposium, 450-455.
58. Ramadge, P.J. and W.H. Wonham (1987). *Supervisory Control of a Class of Discrete Event Processes*. SIAM Journal of Control and Optimization, **25**, No1, 206-230.
59. Rudie K. and W.M. Wonham (1992). *Think globally, act locally: decentralised supervisory control*. IEEE Transactions on Automatic Control, **37**, No.11, 1692-1708.
60. Saridis, G. Analytic formulation of the principle of Increasing Precision with Decreasing Intelligence for Intelligent Machines, Automatica **25**, No. 3, 461-467 (1989).
61. Saridis G. (1996). *On the theory of intelligent machines : a comprehensive analysis*. Int. Journal of Intelligent Control and Systems, **1**, No 1, 3-14.
62. Satur, R. and Z. Q. Liu (1995). *A context-driven intelligent data processing system using object oriented fuzzy cognitive maps*. Proc. IEEE International Workshop on Fuzzy Database Systems and Information Retrieval, 97-102.
63. Satur, R., Z. Q. Liu and M. Gahegan (1995). *Multi-layered fuzzy cognitive map applied to context dependent learning*. Proc. International Joint Conference of 4th IEEE International Conference on Fuzzy Systems and 2nd International Fuzzy Engineering Symposium, 561-568, March 20-24..
64. Schneider, M., E. Shnaider, A. Kandel, G. Chew (1998). *Automatic construction of FCMs*. Fuzzy Sets and Systems. **93**, 161-172.
65. Sheridan. T. B. (1987). *Supervisory Control*. In G. Salvendy, (ed.) Handbook of Human Factors. John Wiley & Sons, 1243-1268.
66. Styblinski M. A., and B. D. Meyer (1991). *Signal Flow Graphs vs Fuzzy Cognitive Maps in Application to Qualitative Circuit Analysis*. International Journal of Man-Machine Studies, **35**, 175-186.
67. Sugeno M. and G.T. Kang (1998). *Structure identification of fuzzy model*. Fuzzy Sets and Systems. **28**, 15-33.

68. Taber R. (1991). *Knowledge Processing with Fuzzy Cognitive Maps*. Expert Systems with Applications, **2**, No.1, 83-87.
69. Taber R. (1993). *Coding the Fuzzy Cognitive Map as a Rule Base*. Proc. of World Congress On Neural Networks - Wcnn '93 1993 Annual Meeting Of The International Neural Network Society (Inns)
70. Taber W.R. and M.A. Siegel (1987). *Estimation of expert weights using Fuzzy cognitive maps*. Proc. 1st International Conference on Neural Networks, **2** , 319-325.
71. Taber, R. (1994). *Fuzzy cognitive maps model social systems*. AI Expert, **9**, 18-23.
72. Takagi T. and M. Sugeno (1985). *Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control*. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, **15**,116-132
73. Tsadiras A., K. Margaritis and B. Mertzios (1995) *Strategic Planning Using Extended Fuzzy Cognitive Maps*. Studies in Informatics and Control. **4**, No. 3, 237-345.
74. Tsadiras,A. and K. Margaritis (1997). *Cognitive Mapping and Certainty Neuron Fuzzy Cognitive Maps*. Information Sciences, **101**,109-130.
75. Tsafestas S. G. (Ed) (1997). *Methods and Applications of Intelligent Control*. Kluwer Academic publishers, Hingham.
76. Tsukamoto Y. (1979). *An approach to fuzzy reasoning methods*. In Madan M. Gupta, Rammohan K. Ragade and Ronald r. Yager, editors, Advances in fuzzy set theory and applications, 137-149. North-Holland, Amsterdam.
77. Vachtsevanos, G. and S. Kim (1997). *The role of the Human in Intelligent Control Practices*. Proc. of 12th IEEE Int. Symposium on Intelligent Control, 15-20.
78. Vachtsevanos,G. , W. Kim, S. Al-Hasn, F Rufus, M. Simon, D. Schrage and J. Prasad, (1997). *Mission Planning and Flight Control: Meeting the Challenge with Intelligent Techniques*. Journal of Advanced Computational Intelligence. **1** 62-70.
79. Wang, H. and D. Linkens (1996). *Intelligent Supervisory Control: a qualitative bond graph reasoning approach*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
80. White D. A. and D.A Sofge (eds.) (1992). *Handbook of Intelligent Control Neural, Fuzzy and Adaptive Approaches*. New York, Van Nostrand Reinhold.
81. Yager, R. R. (1984). *Approximate reasoning as a basis for rule based expert systems*. IEEE Trans. Syst. Man Cyber.,**14**, 636-673
82. Yager R.R. (1998). *On the construction of Hierarchical Fuzzy Systems Models*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part C: Applications and Reviews. **28**, No. 1, 55-66.
83. Zadeh, L.A. (1973). *Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes*." IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., **3**, 28-44.

84. Zadeh, L.A. (1989). *Knowledge representation in fuzzy logic*. *IEEE Trans. Knowledge and Data Engineering*, **1**, 253-283.
85. Zhang W. and S. S. Chen (1998). *A logical Architecture for Cognitive Maps*. Proc. of IEEE International Conference on Neural Networks.
86. Zhang W. R., S.S Chen and J.C Besdek (1989). *Pool2: a generic system for cognitive map development and decision analysis*. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*.**19**, No1, 31-39.
87. Zhang W.R., S.S. Chen, W. Wang and R.S King (1992). *A Cognitive-Map-Based approach to the coordination of distributed cooperative agents*. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. **22**, No1, 103-114.

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

Άρθρα σε περιοδικά

- [J1] "The Challenge of modeling Supervisory Systems using Fuzzy Cognitive Maps", C.D. Stylios and P.P. Groumpos, *Journal of Intelligent Manufacturing* (1998), **9**, No 4, pp. 339-345.
- [J2] "Fuzzy Cognitive Maps: A model for Intelligent Supervisory Control Systems" C.D.Stylios and P.P. Groumpos, *Computers in Industry* (1999), **39**, No. 3, pp. 229-238.
- [J3] "Modeling Supervisory Control Systems using Fuzzy Cognitive Maps" P.P.Groumpos and C.D. Stylios, *Chaos, Solitons and Fractals*, (2000), **11**, No. 1-3, pp. 329-336
- [J4] "A soft computing approach for modeling the supervisor of manufacturing systems" C. D. Stylios and P. P. Groumpos *Journal of Intelligent and Robotics Systems*, (1999) **26** , No 3-4, pp. 389-403
- [J5] "A Fuzzy Cognitive Maps Approach to Process Control Systems" C. D. Stylios and P.P. Groumpos, V. C Georgopoulos, *Journal of Advanced Computational Intelligence*, (1999), **11**, No 6.
- [J6] "Fuzzy Cognitive Maps in Modeling Supervisory Control Systems" C. D. Stylios and P.P. Groumpos accepted for publication in the "Journal of Intelligent & Fuzzy Systems"

Άρθρα σε Πρακτικά Συνεδρίων

- [C1] "Applying Fuzzy Cognitive Maps in Supervisory Control Systems", D. Stylios, V.C. Georgopoulos and P.P. Groumpos, *Proc. European Symposium on Intelligent Techniques*, pp.131-135, Bari, Italy, March 19-21, 1997.
- [C2] "The Use of Fuzzy Cognitive Maps in Modeling Systems", C.D. Stylios, V.C. Georgopoulos and P.P. Groumpos, *Proc. of 5th IEEE Mediterranean Conference on Control and Systems*, paper 67 (CD-ROM) Paphos, Cyprus, July 21-23, 1997.
- [C3] "Introducing the Theory of Fuzzy Cognitive Maps in Distributed Systems", D. Stylios, V.C. Georgopoulos and P.P. Groumpos, *Proc. of 12th IEEE International Symposium on Intelligent Control*, pp. 55-60 Istanbul, Turkey, July 16-18, 1997.
- [C4] "Using Fuzzy Cognitive Maps to Achieve Intelligence in Manufacturing Systems C. D. Stylios and P.P. Groumpos, *Proc. of 1st International Workshop on Intelligent Manufacturing Systems*, pp. 85-95, Lausanne, Switzerland, 15-17 April, 1998
- [C5] "Fuzzy Cognitive Maps Modeling Supervisory Large Scale Control Systems C. D. Stylios, V.C. Georgopoulos and P.P. Groumpos, pp. 73-78, *Proc. of IFAC LSS'98*, 15-17 July 1998, Patras, Greece

- [C6] "Supervisory Large Manufacturing Systems Modeled as Fuzzy Cognitive Maps" C. D. Stylios and P.P. Groumpos, pp. 531-536, *Proc. of IFAC LSS'98*, 15-17 July 1998, Patras, Greece.
- [C7] "Fuzzy Cognitive Map Model For Supervisory Manufacturing Systems" Stylios C. D. and P.P. Groumpos, *Proc. of 3rd IEEE/IFIP International Conference Information Technology for Balanced Automation Systems in Manufacturing (BASYS 98)* Prague, 26-28 Aug, 1998.
- [C8] "Using Soft Computing Methodologies for Multistage Supervisory Control of Complex Systems" C. D. Stylios, N. Christova and P.P. Groumpos, *Proc. of 7th IEEE Mediterranean Conference on Control and Automation*, June 28-30, 1999, Haifa, Israel
- [C9] "Mathematical Formulation of Fuzzy Cognitive Maps" C. D. Stylios and P.P. Groumpos, *Proc. of 7th IEEE Mediterranean Conference on Control and Automation*, June 28-30, 1999, Haifa, Israel (CD-ROM)
- [C10] "The Challenge of Using Soft Computing Methodologies in Supervisory Control Systems" C. D. Stylios and P.P. Groumpos, *Proc. of 14th World Congress of IFAC*, Beijing, China, July 5-9, 1999, pp. 285-290.