

Ατομική Διπλωματική Εργασία

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΣΑΦΟΥΣ ΓΝΩΣΤΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ ΜΕ
ΤΗΝ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΑΣΑΦΟΠΟΙΗΣΗΣ
ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ**

Μάριος Ανθίμου

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ



ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Μάιος 2014

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΣΑΦΟΥΣ ΓΝΩΣΤΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ ΜΕ ΤΗΝ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΑΣΑΦΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Μάριος Ανθίμου

Επιβλέπων Καθηγητής

Χρίστος Ν. Σχίζας

Η Ατομική Διπλωματική Εργασία υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των
απαιτήσεων απόκτησης του πτυχίου Πληροφορικής του Τμήματος Πληροφορικής του
Πανεπιστημίου Κύπρου

Μάιος 2014

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Δρ. Χρίστο Ν. Σχίζα για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αποδέχοντας το αίτημά μου που ήταν η ολοκλήρωση της Ατομικής Διπλωματικής μου Εργασίας κάτω από την επίβλεψη του.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες, θα ήθελα να δώσω στη διδακτορική φοιτήτρια Μαρία Παπαϊωάννου, της οποίας τόσο η καθοδήγηση, όσο και η βοήθεια που μου έδωσε όλο αυτόν τον 1 χρόνο ήταν καθοριστική για την ολοκλήρωση της Ατομικής Διπλωματικής Εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την υποστήριξη και συμπαράσταση που μου πρόσφερε καθ' όλη την διάρκεια των 5 χρόνων σπουδών μου, αλλά και τους φίλους και συμφοιτητές μου για την στήριξη και κατανόηση που μου έδειξαν.

Περίληψη

Η ατομική αυτή διπλωματική εργασία ασχολήθηκε με το θέμα των Ασαφών Γνωστικών Συστημάτων, κοινώς ως Fuzzy Cognitive Maps. Πιο συγκεκριμένα ασχολήθηκε με τη μελέτη και την εφαρμογή τους όταν εισάγεται η μεθοδολογία ασαφοποίησης των αρχικών τιμών των παραμέτρων.

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής, οργανώθηκε μια ιστορική αναδρομή των Ασαφών Γνωστικών Συστημάτων, δόθηκαν ορισμοί εννοιών όπως Τεχνητή Νοημοσύνη, Ασαφής Λογική, Γνωστικές Απεικονίσεις και Νευρωνικά Δίκτυα. Ακολούθως, επεξηγήθηκαν με περισσότερη λεπτομέρεια οι ιδιότητες των Ασαφών Γνωστικών Συστημάτων και αναφέρθηκαν μερικές χρήσεις και εφαρμογές τους. Στη συνέχεια, επεκτάθηκε ένα μοντέλο που υπήρχε από προηγούμενη μελέτη με σκοπό την μελέτη της εικόνας του όλου Ασαφούς Γνωστικού Συστήματος όταν εισάγεται η μεθοδολογία ασαφοποίησης των αρχικών τιμών των παραμέτρων. Έπειτα, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση του μοντέλου χρησιμοποιώντας το εργαλείο FIS Editor της Fuzzy Logic Toolbox, με τη χρήση του εργαλείου MATLAB. Τέλος, έγινε κριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την προσομοίωση, πάρθηκαν κάποια συμπεράσματα και εκφράστηκαν βλέψεις για μελλοντική εργασία σε αυτή την Ατομική Διπλωματική Εργασία.

Υπεύθυνα δηλώνω ότι το περιεχόμενο αυτής της εργασίας δεν περιέχει καμία αντιγραφή από άλλη πηγή χωρίς να γίνεται η νενομισμένη αναφορά στην πηγή. Έχω ελέγξει την εργασία μου με πρόγραμμα λογοκλοπής.

Σας ευχαριστώ.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1	Εισαγωγή.....	1
	1.1 Εισαγωγή στους Ασαφείς Γνωστικούς Χάρτες	1
	1.2 Πλεονεκτήματα Ασαφών Γνωστικών Χαρτών	3
	1.3 Στάδια της Ατομικής Διπλωματικής Εργασίας	4
Κεφάλαιο 2	Ιστορική Αναδρομή.....	6
	2.1 Γενικά – Ιστορική Αναδρομή	6
	2.2 Τεχνητή Νοημοσύνη	10
	2.3 Γνωστικές Απεικονίσεις	12
	2.4 Ασαφής Λογική	17
	2.5 Νευρωνικά Δίκτυα	21
Κεφάλαιο 3	Ασαφείς Γνωστικές Απεικονίσεις.....	25
	3.1 Γενική Περιγραφή – Ιδιότητες	25
	3.2 Βασικοί Ορισμοί – Κατάσταση Χώρου	28
	3.3 Μαθηματική Αναπαράσταση	30
	3.4 Μεθοδολογία Κατασκευής	33
	3.5 Αλγόριθμοι Εκπαίδευσης	36
	3.6 Ερμηνεία Αποτελεσμάτων	43
Κεφάλαιο 4	Χρήσεις και Εφαρμογές.....	45
	4.1 Λήψη πολιτικών αποφάσεων (κυπριακό πρόβλημα)	45
	4.2 Εκτίμηση των επιπτώσεων στα πολιτικοοικονομικά θέματα της Κύπρου από την ανεύρεση του φυσικού αερίου / πετρελαίου	51
	4.3 Πρόβλεψη της πνευμονικής λοίμωξης με πολλαπλά βήματα	57
	4.4 Μακροπρόθεσμη πρόγνωση του καρκίνου του προστάτη	60
	4.5 Αναγνώριση ικανοποίησης του χρήστη από smartphones	65

Κεφάλαιο 5	Υλοποίηση – Ανάπτυξη Ασαφούς Γνωστικού Χάρτη με την Εισαγωγή Μεθοδολογίας Ασαφοποίησης των Παραμέτρων.....	73
5.1	Επιλογή θέματος μοντελοποίησης	73
5.2	Περιγραφή υπάρχοντος συστήματος για μοντελοποίηση Ασαφούς Γνωστικού Χάρτη	74
5.3	Μεθοδολογία επέκτασης μοντέλου	78
Κεφάλαιο 6	Προσομοίωση Μοντέλου.....	89
6.1	Αξιολόγηση Συστήματος – Αποτελέσματα	89
Κεφάλαιο 7	Συμπεράσματα.....	99
7.1	Ανάλυση Αποτελεσμάτων - Συμπεράσματα	99
7.2	Μελλοντική Εργασία	101
Βιβλιογραφία		103
Παράρτημα Α		
Παράρτημα Β		
Παράρτημα Γ		

Κεφάλαιο 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1	Εισαγωγή στους Ασαφείς Γνωστικούς Χάρτες	1
1.2	Πλεονεκτήματα Ασαφών Γνωστικών Χαρτών	3
1.3	Στάδια της Ατομικής Διπλωματικής Εργασίας	4

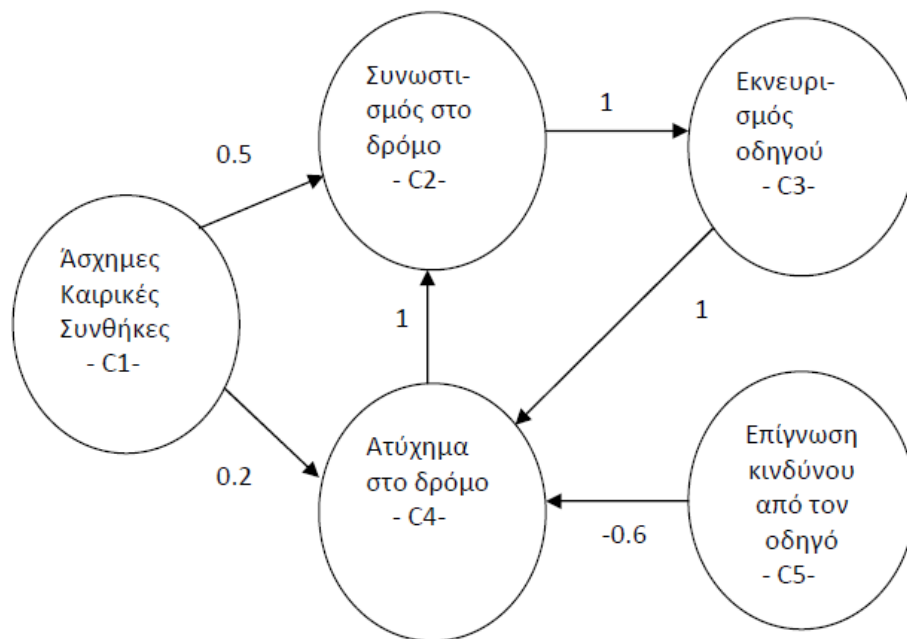
Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια γενική εισαγωγή στους Ασαφείς Γνωστικούς Χάρτες, θα αναφερθούν τα βασικότερα πλεονεκτήματά τους που τους κάνει να υπερτερούν από άλλες παρόμοιες προσεγγίσεις και τέλος θα παρουσιαστούν οι στόχοι αυτής της Ατομικής Διπλωματικής Εργασίας.

1.1 Εισαγωγή στους Ασαφείς Γνωστικούς Χάρτες

Οι Ασαφείς Γνωστικοί Χάρτες (ΑΓΧ) αποτελούν μία μέθοδο μοντελοποίησης πολύπλοκων συστημάτων όπως τα καθιέρωσε ο Bart Kosko το 1986, όπου επέκτεινε και απλοποίησε την μέθοδο των γνωστικών απεικονίσεων. Η μέθοδος αυτή παίρνει στοιχεία από τους χώρους της Ασαφούς Λογικής και των Νευρωνικών Δικτύων και αποτελεί μέρος του συνόλου των Ευέλικτων Υπολογιστικών Μεθόδων (Soft Computing Methods) [5], που ενσωματώνουν την ανθρώπινη γνώση αποτελεσματικά για τη μοντελοποίηση συστημάτων, αντιμετωπίζοντας την ασάφεια και την αβεβαιότητα, και έχοντας τη δυνατότητα να μαθαίνουν να προσαρμόζονται στο άγνωστο ή μεταβαλλόμενο περιβάλλον πετυχαίνοντας καλύτερη απόδοση.

Η γραφική αναπαράσταση των ΑΓΧ παρουσιάζεται ως ένας κατευθυνόμενος γράφος, ο οποίος αποτελείται από κόμβους και διασυνδέσεις μεταξύ των κόμβων οι οποίες χαρακτηρίζονται από κάποιο βάρος. Ο κάθε κόμβος περιγράφει ένα ξεχωριστό χαρακτηριστικό συμπεριφοράς του συστήματος που μοντελοποιείται μέσω των ΑΓΧ, ενώ τα βάρη, τα οποία χαρακτηρίζονται από πρόσημο και τιμή, δηλώνουν τη σχέση αιτιότητας μεταξύ των κόμβων.

Πιο κάτω παρουσιάζεται ένα απλό παράδειγμα ενός μικρού μοντέλου ΑΓΧ [4]:



Σχήμα 1.1.1. Επίλυση προβλήματος συνωστισμού σε δρόμο εν ώρα αιχμής με την βοήθεια των Ασαφών Γνωστικών Χαρτών

Απαραίτητα στοιχεία για τη δημιουργία και εφαρμογή των Ασαφών Γνωστικών Συστημάτων είναι η πληροφορία και η γνώση. Η πληροφορία από μόνη της δεν μπορεί να εξυπηρετήσει κανένα και τίποτα αν μείνει ανεκμετάλλευτη. Μπορεί όμως να γίνει εξαιρετικά ενδιαφέρουσα, αν καταφέρουμε, μέσω κατάλληλης επεξεργασίας να εξάγουμε πολυδιάστατη και συνδυαστική γνώση. Στην περίπτωση της δημιουργίας των Ασαφών Γνωστικών Συστημάτων, το δυσκολότερο και σημαντικότερο σημείο είναι η ανεύρεση των σωστών παραμέτρων (μεταβλητών) για την περιγραφή του συστήματος που προσομοιώνεται. Γι' αυτό, πρέπει να χρησιμοποιηθεί η γνώση και η εμπειρία κάποιων ειδικών του συγκεκριμένου πεδίου για τον καθορισμό και την εύρεση των

παραμέτρων που περιγράφουν το σύστημα, καθώς και τις σχέσεις που συνδέουν τις παραμέτρους αυτές.

Ο άμεσος συσχετισμός της πληροφορίας και της γνώσης των ειδικών, σε συνδυασμό με κάποια μαθηματικά ή εννοιολογικά μοντέλα και κανόνες, δημιουργεί το φαινόμενο του συμπερασμού (cognitive maps) και της λογικής λήψης αποφάσεων που παρέχουν τα ασαφή συστήματα. Αρκετά πολύπλοκο θεωρείται το γεγονός της λήψης αποφάσεων βασισμένο σε κάποια ή κάποιες πληροφορίες, το οποίο γίνεται ακόμη δυσκολότερο όταν πρόκειται για τη λήψη της βέλτιστης, με την έννοια της καλύτερης, απόφασης. Ο λόγος για τον οποίο θεωρείται πολύπλοκο είναι γιατί οι περισσότερες τεχνικές που ακολουθούνται σήμερα, προσπαθούν να προσεγγίσουν την ανθρώπινη λογική ή κάποιο μέρος της, εξομοιώνοντας τη διαδικασία του ανθρώπινου συμπερασμού (για παράδειγμα τα νευρωνικά δίκτυα και η ασαφής λογική).

1.2 Πλεονεκτήματα των Ασαφών Γνωστικών Συστημάτων

Πολλά είναι τα πλεονεκτήματα των Ασαφών Γνωστικών Συστημάτων, μερικά από τα οποία θα αναφέρουμε σε αυτό το υποκεφάλαιο. Ένα από αυτά είναι η απλότητα στη χρήση και στην κατανόηση, δηλ. μπορεί να χρησιμοποιηθεί από χρήστες που δεν έχουν σχέση με τον τομέα του προβλήματος που μοντελοποιεί ο Ασαφής Γνωστικός Χάρτης. Το μεγαλύτερο όμως πλεονέκτημα των Ασαφών Γνωστικών Συστημάτων πέρα από την απλότητά τους είναι η μοναδικότητα της λειτουργίας τους η οποία πλησιάζει κατά πολύ την ανθρώπινη σκέψη και κατ' επέκταση μοντελοποιούν με μεγάλο ρεαλισμό την πραγματική εξέλιξη δυναμικών συστημάτων από όλους τους τομείς την σημερινής κοινωνίας. Αυτό τα καθιστά ίσως το καταλληλότερο μοντέλο για την περιγραφή δυναμικών συστημάτων που αποτελούνται από σχέσεις «αιτίας – συνέπειας» και την πρόγνωση των καταστάσεων και των γεγονότων που μπορεί να φέρει μια ανατροπή σε μία ή σε περισσότερες παραμέτρους ενός τέτοιου συστήματος. Έτσι τα συστήματα αυτά μπορούν να λειτουργήσουν ως σύμβουλοι προγραμματισμού και σχεδιασμού σε οποιοδήποτε τομέα της κοινωνίας ή της πολιτείας αλλά και ως σύμβουλοι λήψης αποφάσεων σε διαπραγματεύσεις (π.χ. κυπριακό πρόβλημα, ανεύρεση πετρελαίου, οικονομικό πρόβλημα κτλ.).

Άλλο πλεονέκτημα είναι το γεγονός ότι μπορούν να διαχειριστούν ακόμη και ελλειπείς ή προβληματικές πληροφορίες. Το πλεονέκτημα αυτό είναι πολύ σημαντικό ιδιαίτερα σε συστήματα λήψης αποφάσεων όπου πολύ συχνά σημαντικές πληροφορίες μπορεί να απουσιάζουν, να μην είναι έμπιστες, να είναι ασαφείς ή να είναι δύσκολο να συνδυαστούν με άλλες πληροφορίες.

Η ασάφεια, ένα άλλο σημαντικό συστατικό στοιχείο των Ασαφών Γνωστικών Συστημάτων, περιγράφει γεγονότα, δεδομένα, πληροφορίες και περιστατικά των οποίων δεν μπορείς να ορίσεις μια αυστηρή μαθηματική τιμή για την μέτρησή τους, αλλά γίνεται χρήση της θεωρίας των ασαφών συνόλων και της ασαφούς λογικής, οι οποίες πλησιάζουν ακόμα πιο κοντά τις διάφορες τεχνικές επεξεργασίας και λήψης αποφάσεων του ανθρώπου. Αυτό αποτελεί πλεονέκτημα για τα Ασαφή Γνωστικά Συστήματα κάνοντάς τα να ξεχωρίζουν από τις υπόλοιπες τεχνικές μοντελοποίησης πολύπλοκων προβλημάτων.

Τέλος, ένα τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό πλεονέκτημα τους, είναι ότι αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της στέρησης χρόνου. Για παράδειγμα, πόσες φορές σκεφτήκατε τι θα γινόταν αν μπορούσατε να κάνετε μια κίνηση undo στη ζωή σας; Φανταστείτε πόσο πιο κρίσιμη είναι η λήψη διαφόρων αποφάσεων για μια επιχείρηση ή το κράτος, άρα πόσο ωφέλιμη θα ήταν και η κίνηση undo σε αυτές τις περιπτώσεις. Δυστυχώς στην πραγματικότητα όταν συμβεί ένα γεγονός, δεν μπορεί να αναιρεθεί. Για αυτό είναι πολύ σημαντικό η κάθε κίνηση να είναι μελετημένη προς πάσα κατεύθυνση για να μειωθεί το ρίσκο εκτέλεσης της. Το μοντέλο των ΑΓΧ προσφέρει στον χρήστη τη δυνατότητα να «παίξει» εκ του ασφαλούς με τις παραμέτρους του συστήματος, αλλάζοντας μια ή περισσότερες τιμές. Αφήνει έπειτα το δίκτυο να «τρέξει» και στο τέλος εάν το δίκτυο συγκλίνει σε σταθερές καταστάσεις μπορεί να αξιολογήσει την ορθότητα των αρχικών του κινήσεων και να βγάλει συμπεράσματα στρατηγικής – προγραμματισμού για τις κινήσεις του στο πραγματικό σύστημα.

1.3 Στάδια της Ατομικής Διπλωματικής Εργασίας

Σε αυτή τη διπλωματική εργασία, έγινε καταρχάς εύρεση και μελέτη των ασαφών παραμέτρων μέσα από μια πραγματική εφαρμογή Ασαφών Γνωστικών Χαρτών που αφορά εισαγωγή των αρχικών τιμών των παραμέτρων και των βαρών μεταξύ τους

και εξαγωγή των τελικών τιμών των παραμέτρων. Στη συνέχεια, έγινε η υλοποίηση των ασαφών συναρτήσεων συμμετοχής που περιγράφουν τις ασαφείς παραμέτρους και τις σχέσεις μεταξύ τους. Ακολούθως, έγινε επέκταση του εργαλείου Ασαφούς Γνωστικού Χάρτη ούτως ώστε να μπορεί ο χρήστης να ορίζει και να χρησιμοποιεί ασαφείς παραμέτρους στην προσομοίωση του Ασαφούς Γνωστικού Συστήματος του. Στην επέκταση του εργαλείου περιλαμβάνεται μια νέα προτεινόμενη μέθοδος ανανέωσης των παραμέτρων σε κάθε επανάληψη, ούτως ώστε να είναι πιο εύχρηστο για τον χρήστη. Τέλος, έγινε προσομοίωση συγκεκριμένων σεναρίων με την χρησιμοποίηση όλων των πιο πάνω, εξάχθηκαν κάποια συμπεράσματα και αναφέρθηκαν πιθανές μελέτες που θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν μελλοντικά για το παρόν θέμα.

Κεφάλαιο 2

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

2.1	Γενικά – Ιστορική Αναδρομή	6
2.2	Τεχνητή Νοημοσύνη	10
2.3	Γνωστικές Απεικονίσεις	12
2.4	Ασαφής Λογική	17
2.5	Νευρωνικά Δίκτυα	21

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια ιστορική αναδρομή για το πώς και γιατί δημιουργήθηκαν οι Ασαφείς Γνωστικές Απεικονίσεις (Fuzzy Cognitive Maps - FCMs) και θα παρουσιαστούν τα τρία κύρια συστατικά στοιχεία της δημιουργίας τους που είναι οι Γνωστικές Απεικονίσεις (Cognitive Maps - CMs), η Ασαφής Λογική (Fuzzy Logic - FL) και τα Νευρωνικά Δίκτυα (Neural Networks - NN), καθώς επίσης και μια γενική αναφορά στην κατηγορία στην οποία εμπίπτουν αυτά τα συστατικά, την Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence - AI).

2.1 Γενικά – Ιστορική Αναδρομή

Τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα (ΑΓΔ) είναι μια απλή και εύχρηστη μεθοδολογία μοντελοποίησης που αναλύει και αναπαριστά την ανθρώπινη γνώση και εμπειρία για ένα σύστημα. Η μεθοδολογία απεικονίζει ελλειπίες ή αντικρουόμενες πληροφορίες, συνεπώς είναι κατάλληλη να περιγράφει σχετικά αδόμητη γνώση και αιτιατές σχέσεις που εκφράζονται σε ανακριβή μορφή. Η εμφάνισή τους καταγράφεται στις υπολογιστικές επιτεύξεις του 19ου αιώνα, ωστόσο, η μεθοδολογία που χρησιμοποιούν έχει τις ρίζες της στη θεωρία των γράφων που διατυπώνεται πρώτα από τον Euler το

1736. Από την δεκαετία του '70, πολλές έρευνες έχουν χρησιμοποιηθεί για την αναπαράσταση σύνθετων συστημάτων για τη λήψη αποφάσεων.

Αρχικά, ένας πολιτικός επιστήμονας, ο Robert Axelrod, εισήγαγε τα Γνωστικά Συστήματα για την αναπαράσταση κοινωνικών επιστημονικών γνώσεων και τη περιγραφή των μεθόδων που χρησιμοποιούνται σε κοινωνικά και πολιτικά συστήματα [2]. Η ιδέα ενός γνωστικού χάρτη αναπτύχθηκε για πρώτη φορά από τον Edward C. Tolman. Ο Tolman, ένας από τους πρώτους γνωστικούς ψυχολόγους, εισήγαγε αυτή την ιδέα όταν έκανε ένα πείραμα με αρουραίους και λαβύρινθους, από το οποίο πείραμα κατάφερε να περιγράψει πολύπλοκες τυπολογικές και μνημονικές συμπεριφορές από τους αρουραίους, οι οποίοι προσπαθούσαν να φτάσουν στην τροφή τους μέσα στον λαβύρινθο. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε αυτή η λογική των γνωστικών χαρτών ως «νοητικοί χάρτες» από ειδικούς στην Βρετανική Ανατολική Επιτροπή για να αποφασίσουν αν η μεσολάβηση της Βρετανίας στην τότε Περσία και τώρα Ινδία και Πακιστάν αξίζει να συνεχιστεί [1]. Πιο μετά, ο Robert Axelrod το 1976 παρουσίασε τους δυαδικούς χάρτες που αποτελούνταν από κόμβους και ακμές με θετικό ή αρνητικό πρόσημο, προκειμένου να παρουσιαστεί η σχέση «αιτίας-συνέπειας», η οποία ενυπάρχει ανάμεσα στα στοιχεία που αποτελούν ένα δυναμικό μεταβαλλόμενο σύστημα. Αυτή η προσέγγιση ήταν περισσότερο μια γραφική απεικόνιση των σχέσεων που υφίστανται ανάμεσα στους κύριους παράγοντες που καθορίζουν τη συμπεριφορά κάθε συστήματος.

Το 1986 ο Bart Kosko, συγγραφέας, ηλεκτρολόγος μηχανικός στο Πανεπιστήμιο της Νότιας Καλιφόρνιας και γνωστός ερευνητής στην ασαφή λογική και τα νευρωνικά δίκτυα τροποποίησε τους δυαδικούς χάρτες εφαρμόζοντας ασαφείς αιτιολογικές συνδέσεις με πραγματικούς αριθμούς στο διάστημα $[-1,1]$ μεταξύ των κόμβων, σχηματίζοντας τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα τα οποία χαρακτηρίζονται από ασαφείς μεταβλητές και τα οποία μοντελοποιούν κάθε σύστημα ως ένα σύνολο από αλληλεξαρτώμενες έννοιες (concepts) [3].

Ο Bart Kosko ήταν ο πρώτος που ανέπτυξε την μαθηματική βάση για την εκτέλεση προσομοιώσεων που περιγράφουν την αλληλεπίδραση και αλληλεξάρτηση, που υφίστανται μεταξύ των κύριων παραμέτρων κάθε συστήματος, και οι οποίες θεωρούνται και είναι ικανές να περιγράψουν τη λειτουργία του συστήματος.

Η βασική διαφορά των ασαφών γνωστικών απεικονίσεων και των γνωστικών απεικονίσεων, είναι ότι στις γνωστικές απεικονίσεις χρησιμοποιούμε πολλές

διαφορετικές μη αριθμητικές τιμές για τις αιτιολογικές σχέσεις, ενώ τα ασαφή γνωστικά συστήματα αποτελούνται από ένα αριθμό πινάκων με καθαρά αριθμητικές τιμές και εφαρμόζεται πολλαπλασιασμός πινάκων στους κόμβους αλλά και στις αιτιολογικές σχέσεις που περιέχει το ασαφές γνωστικό σύστημα. Το «ασαφές» κομμάτι μιας μεθόδου ασαφούς γνωστικής απεικόνισης προέρχεται από την περιοχή της Ασαφούς Λογικής. Ενώ γνωρίζουμε με την κοινή λογική ότι ένα αντικείμενο μπορεί να ανήκει μόνο σε ένα σύνολο, η Ασαφής Λογική λέει ότι το αντικείμενο μπορεί να ανήκει σε ομάδα από σύνολα. Ένα κλασσικό παράδειγμα για να εμπεδώσουμε στην Ασαφή Λογική είναι η περίπτωση του μήλου, όπου στην αρχή ανήκει στο σύνολο «μήλα», ενώ μετά που θα χαθεί ένα κομμάτι του από ένα δάγκωμα, δεν ανήκει απευθείας στο σύνολο «κουκούτσια», αλλά ανήκει μερικώς και στο σύνολο «μήλα» αλλά και στο σύνολο «κουκούτσια».

Αυτή η ασάφεια όμως που εισήγαγε ο Bart Kosko δεν τους ικανοποίησε όλους. Όπως ανέφερε ο Carvalho το 1999 [1], τα Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα είναι εκπαιδευμένα Νευρωνικά Δίκτυα από τον άνθρωπο και δεν λαμβάνουν υπόψη τους παραδοσιακούς τρόπους που χρησιμοποιεί η Ασαφής Λογική για την εξαγωγή συμπερασμάτων και αποτελεσμάτων, οι οποίοι είναι οι λεκτικοί κανόνες. Για παράδειγμα, δεν είναι δυνατό οι Ασαφείς Γνωστικοί Χάρτες να δουλέψουν με συνθήκες όπως: «ΑΝ σενάριο Α ΚΑΙ σενάριο Β είναι ΑΛΗΘΗ, ΤΟΤΕ και το σενάριο C είναι ΑΛΗΘΕΣ.» Το 2001 ήρθε ο Carvalho να αιτιολογήσει αυτή του την θεωρία υποστηρίζοντας ότι ο λόγος για αυτή την ασαφή συμπεριφορά των Ασαφών Γνωστικών Χαρτών είναι ότι δουλεύουν με πολλαπλασιασμούς πινάκων, οπότε προσθέτονται τα αποτελέσματα που προέρχονται από διαφορετικές αιτιολογικές σχέσεις που συνδέουν τους κόμβους του συστήματος. Έτσι κρατώντας αυτή τη θέση ο Carvalho αλλά και άλλοι ερευνητές, ήρθαν να δώσουν επεκτάσεις στα Ασαφή Γνωστικά Συστήματα. Μερικές από αυτές είναι τα Ασαφή Γνωστικά Συστήματα βασισμένα σε Κανόνες (Rule Based Fuzzy Cognitive Maps) που προτάθηκαν από τον Carvalho το 1999, τα Επεκταμένα Ασαφή Γνωστικά Συστήματα (Extended Fuzzy Cognitive Maps) που προτάθηκαν από τον Hagiwara το 1992 και τα Εξελικτικά Ασαφή Γνωστικά Συστήματα όπως προτάθηκαν από τον Κουλουριώτη το 2003. Αφήνοντας όμως έξω τα παραδοσιακά ασαφή μαθηματικά, με αυτά τα εναλλακτικά συστήματα αυξάνεται ο βαθμός δυσκολίας ως προς την κατανόηση των Ασαφών Γνωστικών Συστημάτων.

Παρόλα αυτά όμως, μετά την πρώτη εμφάνιση των Ασαφών Γνωστικών Χαρτών στην επιστημονική κοινότητα, υπήρξε ένα ευρύτατο ενδιαφέρον για την ανάπτυξή τους και εφαρμογή τους σε πάρα πολλά διαφορετικά επιστημονικά πεδία. Οι Ασαφείς Γνωστικές Απεικονίσεις χρησιμοποιήθηκαν σε μοντέλα κοινωνικών συστημάτων για την επεξεργασία της υπάρχουσας γνώσης, για την μοντελοποίηση των δυναμικών, κοινωνικών και ψυχολογικών διαδικασιών, καθώς και για την μοντελοποίηση της συμπεριφοράς πολύπλοκων επιχειρηματικών οργανισμών, εξετάζοντας τη συμπεριφορά του ανθρώπου σε σχέση με εξωγενείς παράγοντες που επιδρούν στη συμπεριφορά του ως μέλος του οργανισμού. Έχουν ακόμη εφαρμοστεί για την ανάλυση χρηματιστηριακών επενδύσεων και την ανάπτυξη ευφών συστημάτων επεξεργασίας δεδομένων και την εκμάθηση από τα συμφραζόμενα. Χρησιμοποιήθηκαν για την ποιοτική ανάλυση κυκλωμάτων ως μία μέθοδος συγκρίσιμη με εκείνη των γραφημάτων ροής αλλά και για την απεικόνιση της ασαφούς συμπεριφοράς ζωντανών όντων σε πραγματικό φυσικό περιβάλλον. Στην περιοχή του ελέγχου, μια πρώτη χρησιμοποίηση των Ασαφών Γνωστικών Χαρτών 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. Μια άλλη σημαντική εφαρμογή των Ασαφών Γνωστικών Χαρτών αφορά την παρουσίαση και μοντελοποίηση των σφαλμάτων και των αιτιών τους, που παρουσιάζονται σε διάφορα βιομηχανικά συστήματα. Τέλος, μια σημαντική εφαρμογή των Ασαφών Γνωστικών Απεικονίσεων αποτελεί η χρήση τους για ανάλυση και υποστήριξη αποφάσεων, για την ανάλυση των παραγόντων που επηρεάζουν μια διαδικασία και για το στρατηγικό σχεδιασμό μιας επιχείρησης.

Οι προαναφερθείσες εφαρμογές των Ασαφών Γνωστικών Χαρτών ώθησαν τους ερευνητές να εξετάσουν τρόπους απεικόνισης, κατασκευής και ανάπτυξης των Ασαφών Γνωστικών Συστημάτων. Επιπλέον, τους ώθησαν να προτείνουν νέες μοντελοποιήσεις τους και να εξετάσουν τις ασαφείς σχέσεις μεταξύ των κόμβων των Ασαφών Γνωστικών Χαρτών καθώς και τις μεθόδους παρουσιάσής τους.

2.2 Τεχνητή Νοημοσύνη

Οι Ασαφείς Γνωστικές Απεικονίσεις αλλά και οι περιοχές οι οποίες προέρχονται (Ασαφής Λογική, Νευρωνικά Δίκτυα κτλ.) αποτελούν υποσύνολο ενός μεγαλύτερου τομέα της επιστήμης της πληροφορικής, ο οποίος ονομάζεται τεχνητή νοημοσύνη.

Ο όρος τεχνητή νοημοσύνη αναφέρεται στον κλάδο της πληροφορικής ο οποίος ασχολείται με τη σχεδίαση και την υλοποίηση υπολογιστικών συστημάτων που μιμούνται στοιχεία της ανθρώπινης συμπεριφοράς τα οποία υπονοούν έστω και στοιχειώδη ευφυΐα: μάθηση, προσαρμοστικότητα, εξαγωγή συμπερασμάτων, κατανόηση από συμφραζόμενα, επίλυση προβλημάτων κλπ. Ο John McCarthy όρισε τον τομέα αυτόν ως «επιστήμη και μεθοδολογία της δημιουργίας νοούντων μηχανών».

Η τεχνητή νοημοσύνη αποτελεί σημείο τομής μεταξύ πολλαπλών επιστημών όπως της πληροφορικής, της ψυχολογίας, της φιλοσοφίας, της νευρολογίας, της γλωσσολογίας και της επιστήμης μηχανικών, με στόχο τη σύνθεση ευφυούς συμπεριφοράς, με στοιχεία συλλογιστικής, μάθησης και προσαρμογής στο περιβάλλον, ενώ συνήθως εφαρμόζεται σε μηχανές ή υπολογιστές ειδικής κατασκευής [6]. Διαιρείται στη συμβολική τεχνητή νοημοσύνη, η οποία επιχειρεί να εξομοιώσει την ανθρώπινη νοημοσύνη αλγοριθμικά χρησιμοποιώντας σύμβολα και λογικούς κανόνες υψηλού επιπέδου, και στην υποσυμβολική τεχνητή νοημοσύνη, η οποία προσπαθεί να αναπαράγει την ανθρώπινη ευφυΐα χρησιμοποιώντας στοιχειώδη αριθμητικά μοντέλα που συνθέτουν επαγωγικά νοήμονες συμπεριφορές με τη διαδοχική αυτοοργάνωση απλούστερων δομικών συστατικών («συμπεριφορική τεχνητή νοημοσύνη»), προσομοιώνουν πραγματικές βιολογικές διαδικασίες όπως η εξέλιξη των ειδών και η λειτουργία του εγκεφάλου («υπολογιστική νοημοσύνη»), ή αποτελούν εφαρμογή στατιστικών μεθοδολογιών σε προβλήματα τεχνητής νοημοσύνης.

Η διάκριση σε συμβολικές και υποσυμβολικές προσεγγίσεις αφορά τον χαρακτήρα των χρησιμοποιούμενων εργαλείων, ενώ δεν είναι σπάνια η σύζευξη πολλαπλών προσεγγίσεων (διαφορετικών συμβολικών, υποσυμβολικών, ή ακόμα συμβολικών και υποσυμβολικών μεθόδων) κατά την προσπάθεια αντιμετώπισης ενός προβλήματος. Με βάση τον επιθυμητό επιστημονικό στόχο η τεχνητή νοημοσύνη κατηγοριοποιείται σε άλλου τύπου ευρείς τομείς, όπως επίλυση προβλημάτων, μηχανική μάθηση, ανακάλυψη γνώσης, συστήματα γνώσης κλπ. Επίσης υπάρχει επικάλυψη με συναφή επιστημονικά πεδία όπως η μηχανική όραση, η επεξεργασία

φυσικής γλώσσας ή η ρομποτική, τα οποία μπορούν να τοποθετηθούν μες στο ευρύτερο πλαίσιο της σύγχρονης τεχνητής νοημοσύνης ως ανεξάρτητα πεδία της.

Η λογοτεχνία και ο κινηματογράφος επιστημονικής φαντασίας από τη δεκαετία του 1920 μέχρι σήμερα έχουν δώσει στο ευρύ κοινό την αίσθηση ότι η τεχνητή νοημοσύνη αφορά την προσπάθεια κατασκευής μηχανικών ανδροειδών ή αυτοσυνείδητων προγραμμάτων υπολογιστή (ισχυρή τεχνητή νοημοσύνη), επηρεάζοντας μάλιστα ακόμα και τους πρώτους ερευνητές του τομέα. Στην πραγματικότητα οι περισσότεροι επιστήμονες της τεχνητής νοημοσύνης προσπαθούν να κατασκευάσουν λογισμικό ή πλήρεις μηχανές οι οποίες να επιλύουν με αποδεκτά αποτελέσματα ρεαλιστικά υπολογιστικά προβλήματα οποιουδήποτε τύπου (ασθενής τεχνητή νοημοσύνη), αν και πολλοί πιστεύουν ότι η εξομοίωση ή η προσομοίωση της πραγματικής ευφυΐας, η ισχυρή τεχνητή νοημοσύνη, πρέπει να είναι ο τελικός στόχος.

Η σύγχρονη τεχνητή νοημοσύνη αποτελεί ένα από τα πλέον «μαθηματοποιημένα» και ταχέως εξελισσόμενα πεδία της πληροφορικής [7]. Σήμερα, ο τομέας αξιοποιεί περισσότερο υποσυμβολικές μεθόδους και εργαλεία καταγόμενα από τα εφαρμοσμένα μαθηματικά και τις επιστήμες μηχανικών, παρά από τη θεωρητική πληροφορική και τη μαθηματική λογική όπως συνέβαινε πριν το 1990. Σε ακαδημαϊκό επίπεδο η τεχνητή νοημοσύνη μελετάται επίσης από την ηλεκτρονική μηχανική, ενώ συνιστά ένα από τα σημαντικότερα θεμελιακά συστατικά του διεπιστημονικού γνωστικού πεδίου της γνωσιακής επιστήμης.

Η συμβατική τεχνητή νοημοσύνη εμπλέκει μεθόδους μηχανικής μάθησης (machine learning), που χαρακτηρίζονται από αυστηρούς μαθηματικούς αλγόριθμους και στατιστικές μεθόδους ανάλυσης, ενώ η υπολογιστική τεχνητή νοημοσύνη βασίζεται στη μάθηση μέσω επαναληπτικών διαδικασιών (ρύθμιση παραμέτρων) και η μάθηση βασίζεται σε εμπειρικά δεδομένα και σε μη-συμβολικές μεθόδους. Η υπολογιστική τεχνητή νοημοσύνη διακρίνεται σε τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (artificial neural networks) με πολύ ισχυρές δυνατότητες αναγνώρισης προτύπων (pattern recognition), τα οποία προσομοιάζουν τη λειτουργία των νευρώνων των έμβιων όντων. Επιπλέον, διακρίνεται σε συστήματα ασαφούς λογικής (fuzzy logic systems) που αποτελούν τεχνικές λήψης απόφασης κάτω από αβεβαιότητα όπως έχουμε ήδη αναφέρει πιο πάνω. Τέλος, η υπολογιστική τεχνητή νοημοσύνη διακρίνεται σε εξελικτικό υπολογισμό (evolutionary computation), η ανάπτυξη της οποίας προέκυψε από τη μελέτη των έμβιων οργανισμών και αφορούν σε έννοιες όπως του πληθυσμού, της μετάλλαξης και

της φυσικής επιλογής (επιβίωση του πιο προσαρμοσμένου) για την ακριβέστερη επίλυση ενός προβλήματος. Οι μέθοδοι αυτοί μπορούν να διακριθούν περαιτέρω σε εξελικτικούς αλγόριθμους (evolutionary algorithms) και σε νοημοσύνης σμήνους (swarm intelligence), όπως π.χ. οι αλγόριθμοι που προσομοιάζουν τη συμπεριφορά μίας κοινωνίας μυρμηγκιών.

2.3 Γνωστικές Απεικονίσεις

Οι γνωστικές απεικονίσεις μπορούν να οριστούν ως μια διαδικασία που αποτελείται από μια σειρά ψυχολογικών μετασχηματισμών με την οποία ένα άτομο αποκτά, κωδικοποιεί, αποθηκεύει, ανακτά και αποκωδικοποιεί πληροφορίες για τις σχετικές θέσεις και για τα σχετικά χαρακτηριστικά που αφορούν φαινόμενα του καθημερινού πραγματικού περιβάλλοντος ή και του φανταστικού περιβάλλοντος [8].

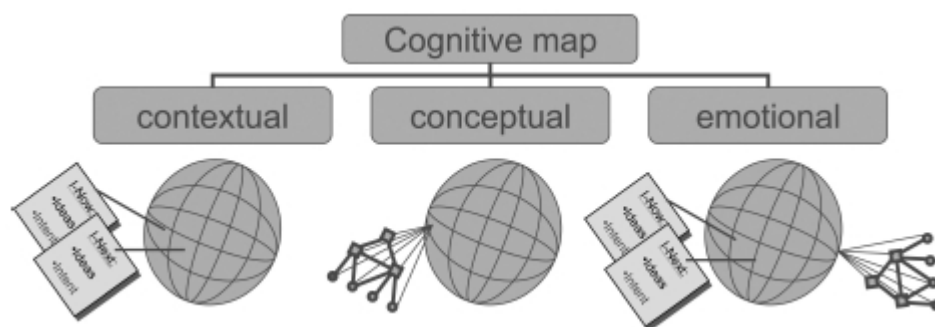
Στη δεκαετία του 1940, η μελέτη δύο οικολόγων για σφήκες αποκάλυψε ότι τα ζώα βρίσκουν τους στόχους τους με την παρουσία τους στο περιβάλλον γύρω τους, όχι με τη βοήθεια των σημάτων που προέρχονται από τους στόχους, όπως πολλοί άνθρωποι πίστευαν [9]. Αργότερα, μια άλλη μελέτη, επίσης έδειξε ότι τα ζώα ταξιδεύουν σε μεγάλες περιοχές γης στηριζόμενα στους γνωστικούς τους χάρτες, όπως ανέφερε ο Gallistel το 1995. Όλες αυτές οι μελέτες έδωσαν αφορμή για την ανάπτυξη της έννοιας της γνωστικής απεικόνισης, η οποία προτείνει ότι τα ζώα έχουν μια εικαστική αναπαράσταση του περιβάλλοντος στο μυαλό τους και τη χρησιμοποιούν για να αναζητούν τους στόχους τους. Η έννοια της γνωστικής απεικόνισης δεν είχε πάρει πολλή προσοχή από διάσημους ψυχολόγους εκείνης της εποχής, όπως τον Clark L. Hull και τον B. F. Skinner, οι οποίοι ήταν οι εξέχοντες υποστηρικτές του σχολείου της συμπεριφορικής σκέψης, αλλά πρώτος ήταν ο ψυχολόγος Edward Chace Tolman που χρησιμοποίησε και ανέπτυξε την έννοια του γνωστικού χάρτη.

Στα πειράματά του [10], ο Tolman προκάλεσε κάθε αρουραίο να βρει σε ένα λαβύρινθο το φαγητό που προσφερόταν στο τέλος. Παρατήρησε ότι κάθε φορά που οι αρουραίοι περνούσαν από τα εκατοντάδες μικρά δρομάκια και αδιέξοδα, έκαναν λιγότερα λάθη. Τελικά, ήταν όλοι σε θέση να κινηθούν γρήγορα στο στόχο χωρίς λανθασμένες εκκινήσεις. Αυτό το αποτέλεσμα έδωσε στον Tolman την ιδέα ότι οι αρουραίοι απομνημόνευσαν το σχηματισμό του λαβυρίνθου στον εγκέφαλό τους, το

οποίο ο Tolman ονόμαζε το «κεντρικό γραφείο». Ομοίως, τα ανθρώπινα βρέφη συνειδητοποιούν σε κάποια φάση μέσω πείρας ότι το κλάμα επιφέρει φαγητό και/ή προσοχή. Άλλο παράδειγμα είναι ότι ένα άτομο το οποίο έχει τυφλωθεί μπορεί να βρει μέσω εξάσκησης το δρόμο μέσα στο σπίτι του. Έτσι, η γνωστική απεικόνιση είναι μια μορφή μνήμης, αλλά είναι και κάτι περισσότερο από αυτό. Διατηρώντας την αλληλουχία των δρόμων στις οδηγίες για να πάτε στο σπίτι σας είναι μνήμη, αλλά να βλέπετε τους δρόμους αυτούς στο «μάτι του μυαλού σας (mind's eye)» καθώς μιλάτε, τότε είναι γνωστική απεικόνιση [8].

Οι γνωστικές απεικονίσεις είναι μια νευροψυχολογική διαδικασία, με τόσο συνειδητές όσο και ασυνείδητες πτυχές [11]. Οι γνωστικοί χάρτες μπορούν να παραχθούν με ή χωρίς συνειδητή πρόθεση, και δεν είναι πάντα αυτοεπεξηγηματικοί. «Παρά το γεγονός ότι ο γνωστικός χάρτης αντιπροσωπεύει ένα σύνολο διαδικασιών μιας άγνωστης φυσιολογικής και αμφιλεγόμενης ψυχολογικής φύσης, το αποτέλεσμα και η λειτουργία του είναι σαφείς. Πιστεύουμε ότι ένας γνωστικός χάρτης υφίσταται όταν ένα άτομο συμπεριφέρεται σαν να υπάρχει ένας γνωστικός χάρτης», έχουν αναφέρει οι Roger M. Downs και David Stea το 1980.

Ενώ οι γνωστικοί χάρτες μπορούν να δημιουργηθούν και να τροποποιηθούν από συνειδητή πρόθεση, μπορούν επίσης να προκύψουν και να λειτουργούν χωρίς συνειδητή πρόθεση, η οποία εκδηλώνεται σε γνωστικές δομές που αντανακλούν τις αξίες, τα συναισθήματα, τις συμπεριφορές, κ.λπ. Η γνωστική απεικόνιση είναι ένας γενικός όρος που περιλαμβάνει, για παράδειγμα, την αιτιώδη και τη σημασιολογική απεικόνιση αλλά και την απεικόνιση μέσω σεναρίου – οι οποίες αναφέρονται σε τύπους νοητικού μοντέλου ή σχήμα - και πιο ακριβή τυπολογικού τύπου βελτιώσεις όσο το δυνατό περισσότερο [12].

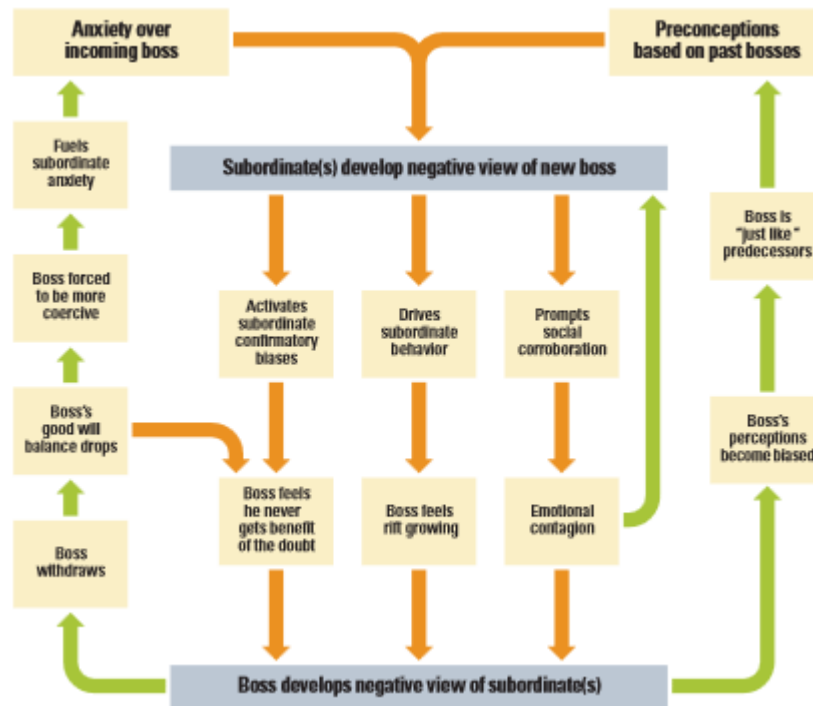


Σχήμα 2.3.1. Οι γνωστικοί χάρτες είναι αφηρημένοι μετρικοί χώροι που αντανακλούν τη σημασιολογία των σχετικών συμβολικών αναπαραστάσεων. Διαφορετικά είδη των

γνωστικών χαρτών μπορεί να αντιπροσωπεύουν διαφορετικές πτυχές της σημασιολογίας ή/και διαφορετικά είδη των αναπαραστάσεων.

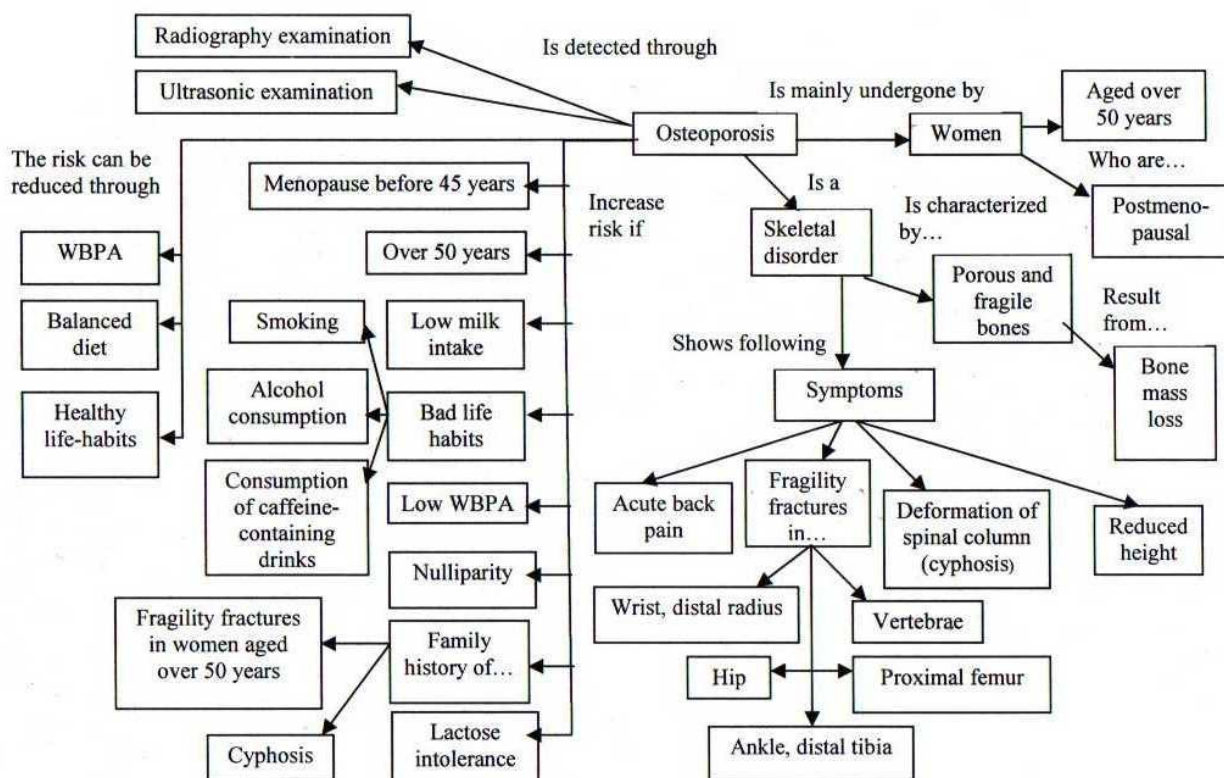
Για την εξαγωγή των γνωστικών χαρτών ως γραφικές απεικονίσεις και σχήματα, δημιουργήθηκαν κάποιες τεχνικές. Η γενική προσέγγιση είναι να εξάγει υποκειμενικές δηλώσεις από διάφορα άτομα, μέσα σε ένα συγκεκριμένο τομέα που περιέχει κάποιο πρόβλημα, σχετικά με σενάρια με νόημα και τις σχέσεις μεταξύ αυτών των σεναρίων και στη συνέχεια να περιγράψει αυτά τα σενάρια και τις σχέσεις σε κάποιο είδος γραφικής διάταξης. Στο αποτέλεσμα μιας τέτοιας τεχνικής αναφερόμαστε συνήθως ως γνωστική απεικόνιση. Υπάρχουν 3 κύριες τέτοιες τεχνικές που θα αναλύσουμε πιο κάτω, η αιτιολογική απεικόνιση (causal mapping), η σημασιολογική απεικόνιση (semantic mapping) και η εννοιολογική απεικόνιση (concept mapping).

Η αιτιολογική απεικόνιση (causal mapping), είναι μία από τις πιο συχνά χρησιμοποιημένες τεχνική για γνωστική απεικόνιση, όσον αφορά τη διερεύνηση της γνωστικής λειτουργίας των φορέων λήψης αποφάσεων σε οργανισμούς [12]. Η αιτιολογική απεικόνιση προέρχεται από την προσωπική κατασκευαστική θεωρία. Η θεωρία αυτή προϋποθέτει ότι ένα σύνολο προοπτικών ενός ατόμου είναι ένα σύστημα προσωπικών κατασκευασμάτων και οι ιδιώτες χρησιμοποιούν τις προσωπικές τους κατασκευές για να κατανοήσουν και να ερμηνεύσουν διάφορα γεγονότα. Με άλλα λόγια, ένα άτομο αντιλαμβάνεται το περιβάλλον με βασικά έννοιες (κατασκευές), το οποίο μπορεί να εκφραστεί με απλές και μόνο-πολικές φράσεις ή με πλούσιες συμφραζόμενα διπολικές φράσεις. Ένα παράδειγμα μίας μόνο-πολικής φράσης είναι «καλός αναγνώστης», ενώ ένα παράδειγμα διπολικής φράσης είναι «καλές δεξιότητες πληροφορικής - φτωχές δεξιότητες πληροφορικής». Όπως φανερώνει και το όνομά του, ένας αιτιολογικός χάρτης (causal map) αντιπροσωπεύει ένα σύνολο αιτιολογικών σχέσεων μεταξύ των κατασκευασμάτων μέσα σε ένα πραγματικό σύστημα. Μέσα από την καταγραφή αυτών των σχέσεων «αιτίας-συνέπειας» (cause-effect), αποκτώνται γνώσεις σχετικά με το σκεπτικό ενός συγκεκριμένου προσώπου.



Σχήμα 2.3.2. Η αρνητική συμπεριφορά του διευθυντή σε μια εταιρεία μέσω ενός αιτιολογικού χάρτη (causal map) [13].

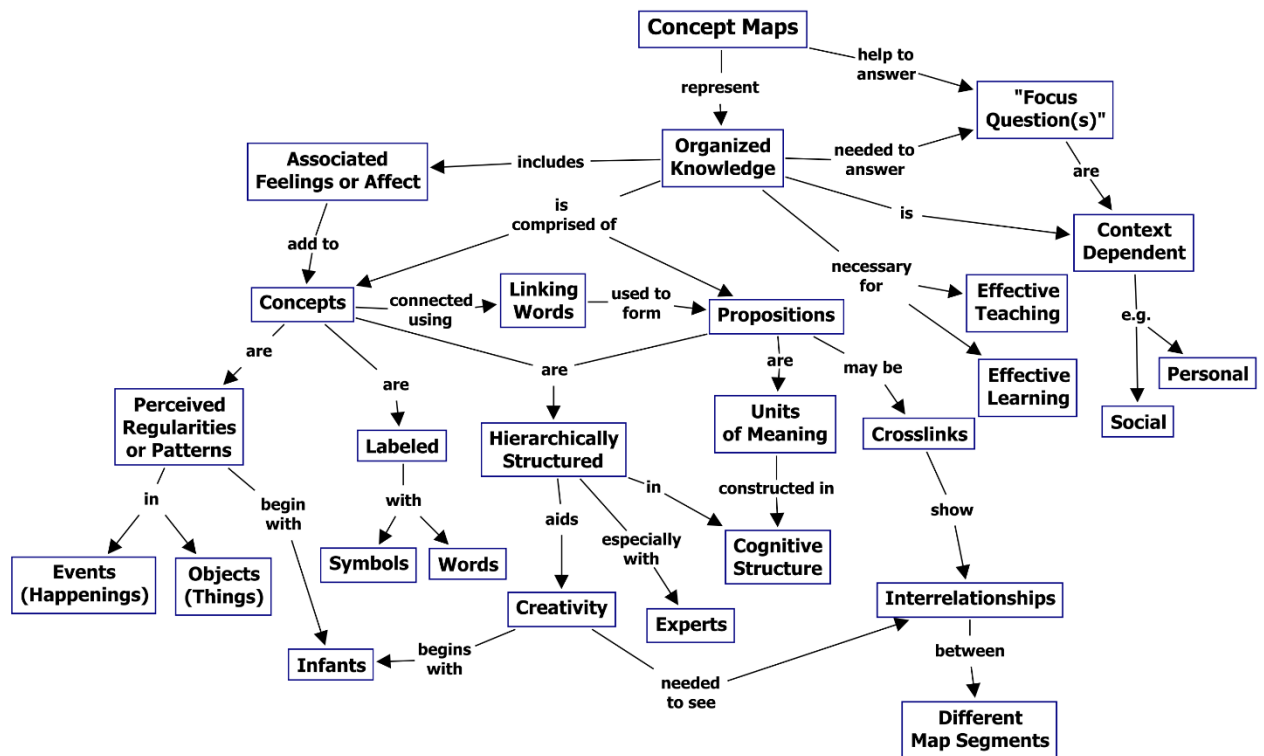
Όσον αφορά την σημασιολογική απεικόνιση (semantic mapping), θα πρέπει να επισημανθεί ότι οι αιτιολογικοί ισχυρισμοί είναι μόνο ένα μέρος του συνολικού συστήματος πεποιθήσεων ενός ατόμου [12]. Υπάρχουν κάποιες γνωστικές τεχνικές απεικόνισης που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να εντοπιστούν άλλες σχέσεις μεταξύ των εννοιών. Η σημασιολογική απεικόνιση, επίσης γνωστή ως ιδεολογική απεικόνιση (idea mapping), χρησιμοποιείται για να διερευνήσει μια ιδέα, χωρίς τους περιορισμούς μιας δομής. Για να κάνουμε μια σημασιολογική απεικόνιση, αρχίζουμε από το κέντρο του χαρτιού με την κύρια ιδέα και εργαζόμαστε προς τα έξω σε όλες τις κατευθύνσεις, δημιουργώντας μια αυξανόμενη και οργανωμένη δομή που αποτελείται από βασικές λέξεις και εικόνες. Γύρω από την κύρια ιδέα (μια κεντρική λέξη), γράφονται πέντε μέχρι δέκα ιδέες (λέξεις-παιδιά) που σχετίζονται με την κεντρική λέξη. Κάθε μία από αυτές τις λέξεις «παιδιά», χρησιμεύει ως την επόμενη κεντρική λέξη για το επόμενο επίπεδο που θα σχεδιάσουμε κ.ο.κ. Με άλλα λόγια, ένας σημασιολογικός χάρτης έχει μια κεντρική ιδέα και στη συνέχεια άλλες ιδέες, με το τελικό αποτέλεσμα να μοιάζει με μια δενδροειδή δομή.



Σχήμα 2.3.3. Σημασιολογικός χάρτης (semantic map), ο οποίος δείχνει μια δομή της οστεοπόρωσης που σχετίζεται με διάφορες πτυχές σχετικά με την ιδέα, τους παράγοντες κινδύνου, την πρόληψη και τη διάγνωση αυτής της σκελετικής διαταραχής [14].

Μια άλλη δημοφιλής γνωστική τεχνική απεικόνισης ονομάζεται εννοιολογική απεικόνιση (concept mapping) [12]. Ο David Ausubel το 1968 τόνισε τη σημασία της προηγούμενης γνώσης για να είναι σε θέση να μάθουν για νέες ιδέες. Με βάση αυτή τη θεωρία, ο Novak το 1993 καταλήγει στο συμπέρασμα ότι οι υπάρχουσες γνωστικές δομές είναι ζωτικής σημασίας για την εκμάθηση νέων εννοιών. Ένας εννοιολογικός χάρτης είναι μια γραφική αναπαράσταση, όπου οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν τις έννοιες-ιδέες και σύνδεσμοι μεταξύ των κόμβων αντιπροσωπεύουν τις σχέσεις μεταξύ των εννοιών. Οι σύνδεσμοι, με τις ετικέτες για να αναπαριστούν το είδος της σχέσης μεταξύ των εννοιών, μπορεί να είναι κατευθυνόμενοι ως προς την μια πλευρά, αμφίδρομοι δηλαδή κατευθυνόμενοι και από τις δύο πλευρές ή μη-κατευθυνόμενοι. Οι έννοιες και οι σύνδεσμοι μπορούν να κατηγοριοποιηθούν, και ο εννοιολογικός χάρτης μπορεί να παρουσιάσει χρονικές ή αιτιολογικές σχέσεις μεταξύ των εννοιών. Η εννοιολογική απεικόνιση είναι χρήσιμη στην παραγωγή ιδεών, το σχεδιασμό μιας περίπλοκης δομής,

στην επικοινωνία σύνθετων ιδεών, βοηθώντας τη μάθηση με τη ρητή ενσωμάτωση των νέας και της παλαιάς γνώσης, καθώς και στην αξιολόγηση της κατανόησης.



Σχήμα 2.3.4. Ένας εννοιολογικός χάρτης (concept map) που δείχνει τα βασικά χαρακτηριστικά των εννοιολογικών χαρτών. Οι εννοιολογικοί χάρτες τείνουν να διαβάζονται προχωρώντας από την κορυφή προς τα κάτω [15].

2.4 Ασαφής Λογική

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, τα ασαφή γνωστικά συστήματα είναι συνδυασμός γνωστικών απεικονίσεων και ασαφής λογικής, έτσι σε αυτό το σημείο θα συνεχίσουμε εξηγώντας με περισσότερη λεπτομέρεια τι ακριβώς είναι η ασαφής λογική, αλλά και ποιες είναι οι ρίζες της. Η ασαφής λογική είναι μια μορφή λογικής που παίρνει πολλές τιμές ή μια πιθανολογική λογική, που ασχολείται με το σκεπτικό ότι η λογική πρέπει να εξετάζεται κατά προσέγγιση και ότι δεν είναι σταθερή και ακριβής. Συγκρινόμενη με τα παραδοσιακά δυαδικά σύνολα (όπου οι μεταβλητές μπορεί να λάβουν αληθείς ή ψευδείς τιμές), οι μεταβλητές της ασαφούς λογικής μπορούν να έχουν μια αληθινή τιμή που κυμαίνεται στο βαθμό μεταξύ 0 και 1 [16]. Η ασαφής λογική έχει επεκταθεί για να

χειρίζεται την έννοια της μερικής αλήθειας, όπου η αξία της αλήθειας μπορεί να είναι είτε εντελώς σωστή είτε εντελώς λάθος. Επιπλέον, όταν χρησιμοποιούνται γλωσσικές μεταβλητές, αυτοί οι βαθμοί μπορεί να αντιμετωπιστούν με συγκεκριμένες συναρτήσεις [17].

Αν κοιτάξουμε την ιστορία της ασαφής λογικής, διαπιστώνουμε ότι το πρώτο σημαντικό πρόσωπο για την ανάπτυξή της ήταν ο Βούδας [18]. Έζησε στην Ινδία το 500 π.Χ. και ίδρυσε μια θρησκεία που ονομάζεται Βουδισμός. Η φιλοσοφία του βασίζεται στην ιδέα ότι ο κόσμος είναι γεμάτος με αντιφάσεις, ότι σχεδόν τα πάντα περιέχουν μερικό κομμάτι από το αντίθετό τους, ή με άλλα λόγια, ότι τα πράγματα μπορούν να είναι «Α» και «not-A» ταυτόχρονα. Εδώ μπορούμε να δούμε μια σαφή σχέση ανάμεσα στη φιλοσοφία του Βούδα και την πιο μοντέρνα ασαφή λογική. Περίπου 200 χρόνια αργότερα, ο Έλληνας λόγιος Αριστοτέλης ανέπτυξε την δυαδική λογική. Σε αντίθεση με τον Βούδα, ο Αριστοτέλης πίστευε ότι ο κόσμος κατασκευάστηκε από αντίθετα, για παράδειγμα άνδρες σε σχέση με γυναίκες, ζεστό σε σχέση με κρύο, ξηρό σε σχέση με υγρό, ενεργό σε σχέση με το παθητικό. Όλα πρέπει να είναι «Α» ή «not-A», δεν μπορεί να είναι και τα δύο.

Κατά τη διάρκεια των αιώνων, οι δύο φιλοσοφίες κατάφεραν να αναπτυχθούν και να εξαπλωθούν ανεξάρτητα. Ο Βουδισμός επεκτάθηκε ως θρησκεία της Ινδίας και τα γειτονικά κράτη. Η λογική του Αριστοτέλη, ωστόσο, έγινε δεκτή από τους Έλληνες λόγιους και αργότερα κατάφερε να εξαπλωθεί σε όλη την Ευρώπη: πρώτα από τους Ρωμαίους και στη συνέχεια μέσω του Χριστιανισμού. Η χριστιανική εκκλησία δημιούργησε ένα διάβολο για να αντίθετος με τον Θεό, μίλησε για τον παράδεισο και την κόλαση και τοποθέτησε μια Αγία Μαρία εν αντίθεση με την αμαρτωλή Εύα.

Η δυαδική λογική του Αριστοτέλη έγινε η βάση της επιστήμης. Αν κάτι είχε αποδειχτεί με τη λογική, ήταν και εξακολουθεί να είναι αποδεκτό ως επιστημονικά ορθό. Όπως και πολλοί άλλοι, ο Bertrand Russell προσπάθησε να μειώσει τα μαθηματικά με τη λογική. Όταν ανακάλυψε όμως το παράδοξο του ενώ εργαζόταν, φοβήθηκε και ο ίδιος. Κατάφερε, όμως, να του δώσει την τιμή να είναι ένας από τους πατέρες της ασαφούς λογικής. Αργότερα, το 1920, ο Jan Lukasiewicz [19], Πολωνός λόγιος και φιλόσοφος, δημοσίευσε ένα μικρό άρθρο για την λογική τριών τιμών, σύμφωνα με το οποίο το θεώρημα λογικής τριών τιμών είναι επίσης θεώρημα δύο τιμών αλλά δεν μπορεί να οριστεί και το αντίστροφο. Έτσι με αυτό τον τρόπο, ανέπτυξε μια δομή ασαφών συνόλων και όρισε την σχέση τους με την παραδοσιακή λογική.

Αργότερα το 1937, ένας άλλος επιστήμονας, ο Βρετανός Max Black, στο βιβλίο του που είχε εκδώσει «Vagueness: An exercise in logical analysis», αναγνώρισε ότι μια συνεχής σειρά παράγει ασάφεια και ότι η ασάφεια περιέχει επίπεδα και βαθμούς.

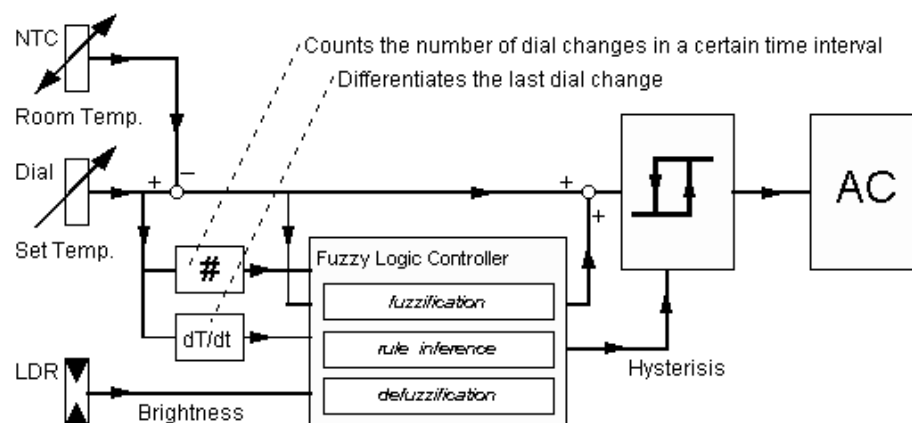
Το 1964, ο καθηγητής Lotfi A. Zadeh [20] άρχισε να αναρωτιέται, αν υπήρχε κάποια καλύτερη λογική για χρήση σε μηχανήματα. Είχε την ιδέα ότι, αν θα μπορούσαμε να πούμε σε ένα κλιματιστικό να δουλέψει λίγο πιο γρήγορα όταν ζεσταίνει περισσότερο ο καιρός, ή άλλα παρόμοια προβλήματα, θα ήταν πολύ πιο αποτελεσματικός τρόπος από ότι χρειάζεται να δίνουμε μια εντολή για κάθε θερμοκρασία. Έτσι, το 1965 κυκλοφόρησε το άρθρο του «Ασαφές Σύνολο» με το οποίο έγινε γνωστός με τη θεωρία των γραμμικών συστημάτων. Ο Zadeh παρατήρησε ότι ο παραδοσιακός τρόπος περιγραφής ενός συστήματος που στηρίζεται στην αυστηρή λογική ότι μια κατάσταση μπορεί να έχει δύο μόνο μορφές, ύπαρξη ή απουσία συνεπάγεται απώλεια πληροφορίας καθώς η πολυπλοκότητα του συστήματος αυξάνεται. Ο Zadeh διατύπωσε αυτό το αδιέξοδο με την περίφημη Αρχή της Ασυμβατότητας: «...καθώς η πολυπλοκότητα ενός συστήματος αυξάνεται, η ικανότητα για ακριβείς και ταυτόχρονα σημαντικές δηλώσεις που αφορούν τη συμπεριφορά του μειώνεται, και πέρα από ένα σημείο η ακρίβεια και η σημαντικότητα αποτελούν σχεδόν αμοιβαία αποκλειόμενα χαρακτηριστικά». Ο Zadeh συνειδητοποίησε λοιπόν ότι ο πυρήνας του αδιεξόδου είναι ο δυαδικός τρόπος αναπαράστασης της πληροφορίας κατά τον οποίο μια τιμή μιας μεταβλητής είτε ανήκει είτε δεν ανήκει σε ένα υποσύνολο του πεδίου ορισμού της. Πρότεινε λοιπόν ένα διευρυμένο τρόπο αναπαράστασης όπου μια τιμή ανήκει ταυτόχρονα σε πολλά υποσύνολα, στο κάθε ένα με ένα βαθμό συμμετοχής. Κάθε τέτοιο υποσύνολο που περιλαμβάνει στοιχεία όπου κάθε ένα έχει ένα βαθμό συμμετοχής είναι το ασαφές σύνολο. Ο βαθμός αυτός βεβαιότητας ονομάζεται βαθμός συμμετοχής « $\mu(x)$ » μιας τιμής « x » στο αντίστοιχο ασαφές σύνολο που εκφράζεται από την συνάρτηση « $\mu(x)$ ». Ένα ασαφές σύνολο εκφράζει κατανομή δυνατότητας (possibility distribution) και ένας βαθμός συμμετοχής μιας τιμής σε ένα ασαφές σύνολο αποτελεί το βαθμό βεβαιότητας (degree of certainty) ότι η πρόταση που διατυπώνουμε είναι αληθής. Για την αποσαφήνιση της εννοιολογικής διαφοράς μεταξύ πιθανότητας και βεβαιότητας αναφέρεται συχνά στη βιβλιογραφία το παράδειγμα με τα δέκα αυγά. Σύμφωνα με το παράδειγμα αυτό η πιθανότητα κάποιος στο πρωινό του να έχει φάει δέκα αυγά είναι μικρή αντίθετα η βεβαιότητα ότι ο άνθρωπος μπορεί να φάει δέκα αυγά είναι μεγάλη.

Χρειάστηκε μεγάλο χρονικό διάστημα μέχρι η ασαφής λογική να γίνει αποδεκτή ακόμα κι αν εντυπωσίασε κάποιους ανθρώπους από την αρχή. Εκτός από τους μηχανικούς, οι φιλόσοφοι, οι ψυχολόγοι και οι κοινωνιολόγοι σύντομα άρχισαν να ενδιαφέρονται για την εφαρμογή της ασαφούς λογικής στις επιστήμες τους.

Κατά το έτος 1987, το πρώτο σύστημα μετρό χτίστηκε, το οποίο δούλευε με σύστημα ελέγχου για αυτόματη διαχείριση τρένων, βασισμένο στην ασαφή λογική στην Ιαπωνία [21]. Ήταν μια μεγάλη επιτυχία και οδήγησε σε μια έκρηξη της ασαφής λογικής. Πανεπιστήμια καθώς και βιομηχανίες άρχισαν να ενδιαφέρονται για την ανάπτυξη νέων ιδεών. Στην αρχή, αυτό γινόταν κυρίως στην Ιαπωνία. Δεδομένου ότι οι θρησκείες στην Ιαπωνία αποδέχονταν ότι τα πράγματα μπορούν να περιέχουν τμήματα των αντιθέτων τους, δεν ήταν και τόσο τρομακτική ιδέα σ' αντίθεση με τα περισσότερα μέρη του κόσμου. Και η ασαφής λογική υποσχέθηκε πολλά χρήματα στις βιομηχανίες, το οποίο, φυσικά, ήταν πάρα πολύ ευπρόσδεκτο επίσης.

Σχεδόν κάθε σύστημα ελέγχου μπορεί να αντικατασταθεί με ένα σύστημα ελέγχου βασισμένο σε ασαφή λογική. Αυτό μπορεί να είναι υπερβολή σε πολλές εφαρμογές όμως απλοποιεί το σχεδιασμό σε πιο περίπλοκες περιπτώσεις. Έτσι, η ασαφής λογική δεν είναι η απάντηση σε όλα, θα πρέπει να χρησιμοποιείται όταν χρειάζεται για να διασφαλίζει την παροχή καλύτερου ελέγχου.

Οι πιο αισθητές εφαρμογές της ασαφούς λογικής έχουν εμφανιστεί ως εμπορικές συσκευές. Συγκεκριμένα, είναι συστήματα εξαερισμού θέρμανσης και κλιματισμού (HVAC) [22]. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν θερμοστάτες ασαφής λογικής για τον έλεγχο της θέρμανσης και της ψύξης και με αυτόν τον τρόπο εξοικονομείτε ενέργεια, κάνοντας το σύστημα πιο αποτελεσματικό. Διατηρεί, επίσης, τη θερμοκρασία πιο σταθερή από ό, τι ένας παραδοσιακός θερμοστάτης.



Σχήμα 2.4.1. Εδώ φαίνεται η δομή του "ευφυούς" θερμοστάτη. Για τη μέτρηση της φωτεινότητας στο δωμάτιο, ένας LDR αισθητήρας προστίθεται. Η ασαφής λογική του συστήματος διορθώνει το σήμα πριν από τη μονάδα threshold.

Η ασαφής λογική βρίσκει επίσης εφαρμογή σε πολλά άλλα συστήματα. Για παράδειγμα, το MASSIVE σύστημα 3D για την παραγωγή πλήθους από κόσμο, χρησιμοποιεί ασαφή λογική για την τεχνητή νοημοσύνη. Το πρόγραμμα αυτό είχε χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα στην κατασκευή της τριλογίας ταινιών «Lord of the Rings», καθώς και στις ταινίες «The Lion», «The Witch» και «The Wardrobe». Ως ένα τελευταίο παράδειγμα της ασαφούς λογικής, είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλους τομείς εκτός από τον απλό έλεγχο. Η ασαφής λογική μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε διαδικασία λήψης αποφάσεων, όπως επεξεργασία σήματος ή ανάλυση των δεδομένων. Ένα παράδειγμα αυτού είναι ένα σύστημα ασαφής λογικής που κάνει διαγνώσεις όσον αφορά οποιαδήποτε θέματα αρμονικής διαταραχής [23]. Το σύστημα αναλύει τη θεμελιώδη τάση, καθώς και την τρίτη, πέμπτη και έβδομη αρμονία, καθώς και τη θερμοκρασία για να καθορίσει εάν υπάρχει λόγος ανησυχίας για τη λειτουργία του συστήματος.

Παρόλα αυτά, τα ασαφή γνωστικά συστήματα παίρνουν από τον τομέα της ασαφούς λογικής μόνο τον ορισμό της ασάφειας και των ασαφών τιμών και όχι όλη τη διαδικασία λειτουργίας των συστημάτων της ασαφής λογικής, αφού λειτουργούν αυστηρά με πολλαπλασιασμούς μαθηματικών πινάκων.

2.5 Νευρωνικά Δίκτυα

Πριν αναφερθούμε πιο λεπτομερώς στα ασαφή γνωστικά συστήματα, καλό θα ήταν να κάνουμε και μια αναφορά για τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, από τα οποία επηρεάστηκαν οι γνωστικοί χάρτες και μαζί με την ασαφή λογική ο Bart Kosko το 1986 δημιούργησε τις ασαφείς γνωστικές απεικονίσεις. Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (artificial neural networks) αρχικά προτάθηκαν ως ένα μαθηματικό μοντέλο προσομοίωσης της πολύπλοκης λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου. Η δομή του εγκεφάλου είναι τέτοια ώστε να επιτρέπει την παράλληλη επεξεργασία δεδομένων και τη δυνατότητα συνεχούς μάθησης μέσω της αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον. Τα δύο

αυτά βασικά χαρακτηριστικά συμβάλλουν στην ικανότητα, αφενός, να εκτελεί δύσκολα καθήκοντα, όπως ταχύτατη αναγνώριση μορφών, ταξινόμηση κτλ., αφετέρου, να εξελίσσεται συνεχώς, μαθαίνοντας από το περιβάλλον του κατά την αλληλεπίδρασή του με αυτό.

Η δομή του τεχνητού νευρωνικού δικτύου μιμείται κατά το δυνατό εκείνη του βιολογικού νευρωνικού δικτύου, ώστε να εμφανίζει παρόμοιες ιδιότητες. Κατ' αναλογία επομένως με ένα δίκτυο νευρώνων εγκεφάλου, ένα τεχνητό δίκτυο αποτελείται από ένα σύνολο τεχνητών νευρώνων που αλληλεπιδρούν, συνδεδεμένοι μεταξύ τους με τις λεγόμενες συνάψεις (synapses). Ο βαθμός αλληλεπίδρασης είναι διαφορετικός για κάθε ζεύγος νευρώνων και καθορίζεται από τα λεγόμενα συναπτικά βάρη (synaptic weights) [24].

Συγκεκριμένα, καθώς το νευρωνικό δίκτυο αλληλεπιδρά με το περιβάλλον και μαθαίνει από αυτό, τα συναπτικά βάρη μεταβάλλονται συνεχώς, ενδυναμώνοντας ή αποδυναμώνοντας την ισχύ του κάθε δεσμού. Όλη η εμπειρική γνώση που αποκτά επομένως το νευρωνικό δίκτυο από το περιβάλλον κωδικοποιείται στα συναπτικά βάρη. Αυτά αποτελούν το χαρακτηριστικό εκείνο που δίνει στο δίκτυο την ικανότητα για εξέλιξη και προσαρμογή στο περιβάλλον.

Υπάρχουν δύο τρόποι να εκπαιδεύσουμε ένα δίκτυο [25]. Κατά τον πρώτο τρόπο, η εκπαίδευση γίνεται με επίβλεψη. Στην περίπτωση αυτή το δίκτυο τροφοδοτείται με ένα σύνολο γνωστών παραδειγμάτων, δηλαδή ένα σύνολο καταστάσεων στις οποίες μπορεί να περιέλθει το δίκτυο, μαζί με τα αποτελέσματα που θέλουμε να δίνει το δίκτυο για τις καταστάσεις αυτές. Για να μάθει το δίκτυο τα παραδείγματα αυτά, χρησιμοποιούμε έναν αλγόριθμο εκπαίδευσης. Ο αλγόριθμος εκπαίδευσης που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από το εκάστοτε πρόβλημα και από τη δομή του δικτύου που επιλέγουμε για να το αντιμετωπίσουμε. Κατά το δεύτερο τρόπο, η εκπαίδευση γίνεται χωρίς επίβλεψη. Στην περίπτωση αυτή το δίκτυο καλείται να αναγνωρίσει ομοιότητες και μοτίβα σε δεδομένα που του έχουμε τροφοδοτήσει. Τα δεδομένα παρουσιάζονται στο δίκτυο και αυτό οφείλει να προσαρμοστεί έτσι ώστε να τα χωρίσει σε ομάδες. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται, ώσπου δεν παρατηρείται μεταβολή στην ταξινόμηση των δεδομένων.

Το βασικό πλεονέκτημα των νευρωνικών δικτύων είναι ότι μπορούν να αποθηκεύσουν γνώση και εμπειρία από το περιβάλλον, την οποία μπορεί στη συνέχεια να ανακαλέσει. Επιπλέον, έχει τη δυνατότητα να γενικεύει, δηλαδή να εξάγει τα βασικά

χαρακτηριστικά ενός συστήματος, ακόμα και όταν αυτά είναι κρυμμένα σε θορυβώδη δεδομένα.

Τα τελευταία χρόνια έχει υπάρξει μία έκρηξη ενδιαφέροντος για τα νευρωνικά δίκτυα καθώς εφαρμόζονται με μεγάλη επιτυχία σε ένα ασυνήθιστα μεγάλο φάσμα τομέων της επιστήμης και της τεχνολογίας, όπως τα χρηματοοικονομικά, η ιατρική, η επιστήμη μηχανικού, η γεωλογία, η φυσική, η ρομποτική, η επεξεργασία σήματος κτλ. Στην πραγματικότητα, τα νευρωνικά δίκτυα εισάγονται οπουδήποτε τίθεται θέμα πρόβλεψης, ταξινόμησης ή ελέγχου. Ενδεικτικά αντιπροσωπευτικά παραδείγματα προβλημάτων στα οποία η ανάλυση των νευρωνικών δικτύων έχει εφαρμοστεί με επιτυχία είναι τα εξής [25]:

- Ιατρική διάγνωση: Ένα ευρύ φάσμα ιατρικά συσχετιζόμενων ενδείξεων, όπως ο συνδυασμός της καρδιακής συχνότητας, τα επίπεδα των διαφόρων ουσιών στο αίμα, ο ρυθμός της αναπνοής μπορούν να παρακολουθηθούν. Η εκδήλωση μιας συγκεκριμένης ιατρικής κατάστασης, γίνεται να συσχετιστεί με ένα πολύπλοκο συνδυασμό μεταβολών σε ένα υποσύνολο μεταβλητών που παρακολουθούνται. Τα νευρωνικά δίκτυα έχουν χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση αυτού του προτύπου πρόβλεψης, ώστε να χορηγηθεί η κατάλληλη θεραπεία.
- Χρηματιστηριακές προβλέψεις: Οι διακυμάνσεις των τιμών των μετοχών και των χρηματιστηριακών δεικτών είναι ακόμα ένα παράδειγμα ενός πολύπλοκου, πολυδιάστατου, αλλά και σε ορισμένες περιπτώσεις εν μέρει ντετερμινιστικού φαινομένου. Τα νευρωνικά δίκτυα χρησιμοποιούνται από πολλούς τεχνικούς αναλυτές, ώστε να κάνουν προβλέψεις σχετικά με τις τιμές των μετοχών, βασιζόμενοι σε ένα μεγάλο αριθμό παραγόντων, όπως δηλαδή, τις προηγούμενες επιδόσεις άλλων αποθεμάτων και διαφόρων οικονομικών δεικτών.
- Πιστωτική ανάθεση: Μια ποικιλία από κομμάτια πληροφοριών, τα οποία είναι συνήθως γνωστά για ένα απαιτούμενο δάνειο. Για παράδειγμα, η ηλικία του αιτούντος, η εκπαίδευση, το επάγγελμα και πολλά άλλα στοιχεία που μπορεί να είναι διαθέσιμα. Μετά την εκπαίδευση ενός νευρωνικού δικτύου σε ιστορικά δεδομένα η ανάλυση μπορεί να εκτοπίσει τα πιο κατάλληλα και σχετικά

χαρακτηριστικά και να τα χρησιμοποιήσει για την ταξινόμηση των αιτούντων ως χαμηλού ή υψηλού κινδύνου.

- Παρακολούθηση της κατάστασης των μηχανημάτων: Τα νευρωνικά δίκτυα μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση του κόστους με την εξασφάλιση της πρόσθετης εμπειρογνωμοσύνης για τον προγραμματισμό προληπτικής συντήρησης των μηχανημάτων. Ένα νευρωνικό δίκτυο, λοιπόν, μπορεί να εκπαιδευτεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να διακρίνει από τους ήχους τους οποίους παράγει μια μηχανή είτε αν εκτελεί κανονικά τις λειτουργίες της, είτε βρίσκεται στα πρόθυρα εμφάνισης οποιασδήποτε δυσλειτουργίας. Μετά από αυτήν την περίοδο εκπαιδευτικής κατάρτισης, η εμπειρία του ίδιου δικτύου είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί με σκοπό την προειδοποίηση ενός τεχνικού για κάποια επικείμενη βλάβη προτού συμβεί και ενδεχομένως προκαλέσει πολυδάπανες και απρόβλεπτες χρονικές καθυστερήσεις.
- Συστήματα διαχείρισης κινητήρα: Τα νευρωνικά δίκτυα έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση των εισροών που δέχονται οι αισθητήρες ενός κινητήρα. Το νευρωνικό δίκτυο ελέγχει μια ποικιλία παραμέτρων με τις οποίες λειτουργεί ο κινητήρας, προκειμένου να επιτευχθεί ένας συγκεκριμένος στόχος. Για παράδειγμα, το δίκτυο αυτό επιχειρεί την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης των καυσίμων.

Κεφάλαιο 3

ΑΣΑΦΕΙΣ ΓΝΩΣΤΙΚΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΙΣ

3.1	Γενική Περιγραφή – Ιδιότητες	25
3.2	Βασικοί Ορισμοί – Κατάσταση Χώρου	28
3.3	Μαθηματική Αναπαράσταση	30
3.4	Μεθοδολογία Κατασκευής	33
3.5	Αλγόριθμοι Εκπαίδευσης	36
3.6	Ερμηνεία Αποτελεσμάτων	43

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται οι ιδιότητες που περιλαμβάνει ένα Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο και μια γενική περιγραφή του. Στη συνέχεια, αναφέρονται διάφοροι ορισμοί που δόθηκαν για τα Ασαφή Γνωστικά Συστήματα καθώς και άλλοι σημαντικοί ορισμοί για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας τους. Ακολουθώς, δείχνουμε την μαθηματική αναπαράσταση για το πώς περιγράφονται μαθηματικά τα Ασαφή Γνωστικά Συστήματα, περιγράφεται η διαδικασία κατασκευής τους, γίνεται αναφορά σε αλγόριθμους εκπαίδευσης και τέλος δίνεται μια γεύση όσον αφορά την ουσία των αποτελεσμάτων που δίνει ένα Ασαφές Γνωστικό Σύστημα.

3.1 Γενική Περιγραφή – Ιδιότητες

Το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο (ΑΓΔ), ως μια εύκαμπτη υπολογιστική μέθοδος, είναι ικανό να εξετάσει τις καταστάσεις όπου η ανθρώπινη διαδικασία συλλογισμού για οποιαδήποτε διεργασία περιλαμβάνει ασαφείς και αβέβαιες περιγραφές. Το ΑΓΔ, όπως έχουμε δει και προηγουμένως, προήλθε ως συνδυασμός ιδεών και μεθόδων από τις θεωρίες της ασαφούς λογικής, των νευρωνικών δικτύων και των γνωστικών απεικονίσεων και ανήκει στην κατηγορία των Ευέλικτων Υπολογιστικών μεθόδων (soft

computing methods). Το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο είναι ένας απλός τρόπος να περιγραφεί το μοντέλο ενός συστήματος και η συμπεριφορά του κατά τρόπο συμβολικό.

Πιο συγκεκριμένα, κάθε κόμβος 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-συνέπειας» που υφίσταται μεταξύ δυο 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 περιγραφή της με τη χρήση λεκτικών μεταβλητών, οι οποίες στη συνέχεια μετατρέπονται σε αριθμητικές μεταβλητές παίρνοντας τιμές στο πραγματικό διάστημα $[-1,1]$.

Κάθε διασύνδεση μεταξύ δύο κόμβων καθορίζεται από το είδος και το βαθμό συσχέτισης [27]. Το είδος της συσχέτισης περιγράφει εάν η συσχέτιση είναι θετική ή αρνητική ή δεν υφίσταται. Υπάρχουν τρεις πιθανοί τύποι αιτιατών διασυνδέσεων μεταξύ των κόμβων:

1. **Θετική :** αν τα βάρη των ακμών μεταξύ των οντοτήτων C_i και C_j είναι θετικά ($w_{ij} > 0$), το οποίο σημαίνει ότι η αύξηση της τιμής της οντότητας C_i οδηγεί σε αύξηση της τιμής της οντότητας C_j και η μείωση στην τιμή της οντότητας C_i οδηγεί σε μείωση της τιμής της οντότητας C_j .
2. **Αρνητική :** αν τα βάρη των ακμών μεταξύ των οντοτήτων C_i και C_j είναι αρνητικά ($w_{ij} < 0$), το οποίο σημαίνει ότι η αύξηση της τιμής της οντότητας C_i οδηγεί σε μείωση της τιμής της οντότητας C_j και η μείωση στην τιμή της οντότητας C_i οδηγεί σε αύξηση της τιμής της οντότητας C_j .
3. **Καμία αιτιολογική σχέση :** αν δεν υπάρχει ακμή η οποία ενώνει τις οντότητες C_i και C_j και η οποία στον πίνακα επιρροών αναπαρίσταται με 0.

Η αριθμητική τιμή του βάρους κάθε διασύνδεσης w_{ij} μεταξύ δύο κόμβων C_i και C_j δείχνει το βαθμό συσχέτισης της τιμής της μεταβλητής του ενός κόμβου στον υπολογισμό της μεταβλητής του άλλου αλληλοσυνδεδεμένου κόμβου. Η αριθμητική

τιμή κάθε βάρους διασύνδεσης w_{ij} ανήκει στο πραγματικό διάστημα $[-1,1]$. Αφού η συσχέτιση μεταξύ δύο κόμβων δηλώνει τη σχέση «αιτίας-συνέπειας» 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 $w_{ii} = 0$.

Τι συμβαίνει όμως όταν οι σχέσεις μεταξύ των C_i και C_j δεν έχουν όλες το ίδιο πρόσημο; Έστω ότι έχουμε το αιτιολογικό μονοπάτι $C_i \rightarrow C_{k1} \rightarrow \dots \rightarrow C_{kn} \rightarrow C_j$ από την οντότητα C_i στην οντότητα C_j . Η συνολική επιρροή του C_i στο C_j είναι όλες οι έμμεσης αιτιότητας επιρροές μεταξύ των δύο αυτών οντοτήτων. Γι' αυτό το λόγο, αν υπάρχει μόνο ένα αιτιολογικό μονοπάτι από το C_i στο C_j , η συνολική επιρροή του C_i στο C_j περιορίζεται μόνο σε αυτό το μονοπάτι [28]. Διαφορετικά, σε περίπτωση που υπάρχουν περισσότερα από ένα μονοπάτια, γίνεται αιτιολογικός υπολογισμός των συμβόλων που συμβάλλουν βάση της συγκεκριμένης έμμεσης αιτιολογικής σχέσης των C_i και C_j . Σύμφωνα με τον Axelrod [28], η έμμεση επιρροή ενός μονοπατιού από το C_i στο C_j είναι αρνητική (-) αν ο αριθμός των αρνητικών αιτιολογικών ακμών του είναι περιττός και θετική (+) αν ο αριθμός των αρνητικών αιτιολογικών ακμών του είναι άρτιος. Η συνολική επιρροή όμως υπολογίζεται με βάση το σύνολο των έμμεσων και άμεσων αιτιολογικών μονοπατιών που καταλήγουν στο C_j από το C_i . Δηλαδή:

1. Αν όλα τα μονοπάτια είναι θετικά, αφού γίνει ο υπολογισμός για το καθένα ξεχωριστά, τότε η συνολική επιρροή είναι θετική (δηλαδή έχει πρόσημο (+)).
2. Αν όλα τα μονοπάτια έχουν αρνητική τιμή, αφού γίνει ο υπολογισμός για το καθένα ξεχωριστά, τότε η συνολική επιρροή είναι αρνητική (δηλαδή έχει πρόσημο (-)).
3. Αν κάποια μονοπάτια έχουν θετική επιρροή και κάποια άλλα έχουν αρνητική επιρροή, τότε δεν μπορούμε να καθορίσουμε την επιρροή.

Αν έχουμε την περίπτωση 3 και τα βάρη εκτός από το πρόσημο έχουν και πραγματικό αριθμό ως τιμή, τότε για κάθε μονοπάτι έμμεσης σχέσης που οδηγεί από το C_i στο C_j γίνεται πολλαπλασιασμός των βαρών αυτών των ακμών, $C_i \rightarrow C_{k1} \rightarrow \dots \rightarrow C_{kn} \rightarrow C_j$. Η συνολική επιρροή θα είναι το αποτέλεσμα των αριθμών που προκύπτουν από τον πιο πάνω πολλαπλασιασμό κάθε μονοπατιού που οδηγεί στο C_j .

Κατά την ανάπτυξη και κατασκευή των ΑΓΔ πραγματοποιείται ο καθορισμός του τύπου της συσχέτισης μεταξύ δύο κόμβων καθώς επίσης του είδους της συσχέτισης

και του βαθμού συσχέτισης. Η σχεδίαση και η ανάπτυξη του ΑΓΔ υλοποιείται από τους ειδικούς και έμπειρους γνώστες του εξεταζόμενου συστήματος και της λειτουργία του. Πρέπει να αναφερθεί ότι όλες οι τιμές στα ΑΓΔ είναι ασαφείς, οι οποίες μετατρέπονται σε αριθμητικές τιμές, έτσι οι κόμβοι παίρνουν τιμές στη σειρά μεταξύ $[0,1]$ και τα βάρη των διασυνδέσεων είναι στο διάστημα $[-1,1]$.

Ένα από τα υποσχόμενα χαρακτηριστικά τους στην περιοχή υποστήριξης αποφάσεων είναι ότι τα ΑΓΔ μπορούν να είναι προσαρμόσιμα και δυναμικά. Δεν υπάρχουν όρια στις κατευθύνσεις και συνδέσεις ανάμεσα στις οντότητες, για παράδειγμα, μια οντότητα μπορεί να συνδεθεί με όλες τις άλλες οντότητες. Έτσι κύκλοι από σχέσεις «αιτίας-συνέπειας», άμεσες και έμμεσες αναδράσεις μπορούν να συμπεριληφθούν σε μια δομή Ασαφών Γνωστικών Απεικονίσεων. Ο μηχανισμός των Ασαφών Γνωστικών Συστημάτων είναι δυνατό να διαχειριστεί όλους αυτούς τους κανόνες παράλληλα. Αντίθετα, οι τυπικές εφαρμογές συστημάτων οι οποίες βασίζονται σε ασαφείς κανόνες μπορεί να επιβάλουν τη κατασκευή μιας μεγάλης βάσης με ένα τεράστιο αριθμό από κανόνες εισόδου και εξόδου για να μπορούν να διαχειριστούν διάφορες περιπτώσεις. Στην περίπτωση των Ασαφών Γνωστικών Συστημάτων, αντίθετα με τα συστήματα ασαφούς λογικής, προσδιορίζουμε μόνο μια τιμή για την σχέση αιτιότητας, οπότε οι σχέσεις «αιτίας-συνέπειας» επιδεικνύουν γραμμική συμπεριφορά.

3.2 Βασικοί Ορισμοί – Κατάσταση Χώρου

Αφού παρουσιάστηκε μια γενική περιγραφή των Ασαφών Γνωστικών Συστημάτων, πιο κάτω παρουσιάζονται διάφοροι ορισμοί [26], οι οποίοι αλληλοσχετίζονται και βοηθούν στην καλύτερη κατανόηση των Ασαφών Γνωστικών Συστημάτων.

Ορισμός 1:

Μια ασαφής γνωστική απεικόνιση είναι ένας κατευθυνόμενος γράφος με οντότητες, όπως γεγονότα, διαδικασίες κτλ., ως κόμβους και σχέσεις αιτιότητας ως ακμές. Αναπαριστά αιτιολογικές σχέσεις μεταξύ οντοτήτων.

Ορισμός 2:

Όταν οι κόμβοι της Ασαφούς Γνωστικής Απεικόνισης είναι ασαφή σύνολα τότε ονομάζονται ασαφείς κόμβοι.

Ορισμός 3:

Ασαφείς Γνωστικές Απεικονίσεις με βάρη στις ακμές από το σύνολο $\{-1, 0, 1\}$ ονομάζονται απλές Ασαφείς Γνωστικές Απεικονίσεις.

Ορισμός 4:

Θεωρούμε ότι έχουμε τους κόμβους / οντότητες $C_1, C_2, \dots, C_n$ του Ασαφούς Γνωστικού Συστήματος. Υποθέτουμε ότι ο κατευθυνόμενος γράφος είναι σχεδιασμένος με τη χρήση ακμών με βάρη $e_{ij} \in \{0, 1, -1\}$. Ο μαθηματικός πίνακας E ορίζεται ως $E = (e_{ij})$, όπου e_{ij} είναι το βάρος της άμεσα κατευθυνόμενης ακμής από το C_i στο C_j . Το E ονομάζεται ως adjacency matrix του Ασαφούς Γνωστικού Συστήματος, επίσης γνωστό και ως μαθηματικός πίνακας ενώσεων του Ασαφούς Γνωστικού Συστήματος.

Ορισμός 5:

Ας ορίσουμε τα $C_1, C_2, \dots, C_n$ ως κόμβους μιας απλής Ασαφής Γνωστικής Απεικόνισης. $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ όπου $A_i \in \{0, 1\}$. Το A ονομάζεται διάνυσμα στιγμιαίας κατάστασης και δηλώνει την κατάσταση on-off των κόμβων σε μια χρονική στιγμή.

Ορισμός 6:

Έστω $C_1, C_2, \dots, C_n$ οι κόμβοι μιας Ασαφούς Γνωστικής Απεικόνισης. Έστω $C_i C_j, C_j C_3, C_3 C_4, \dots, C_k C_j$ είναι οι ακμές της Ασαφούς Γνωστικής Απεικόνισης ($i \neq j$ και $k \neq i$). Τότε οι ακμές σχηματίζουν ένα κατευθυνόμενο κύκλο.

Ορισμός 7:

Μια Ασαφής Γνωστική Απεικόνιση με κύκλους λέμε ότι έχει αναδράσεις.

Ορισμός 8:

Όταν υπάρχει ανάδραση σε μια Ασαφή Γνωστική Απεικόνιση, για παράδειγμα όταν οι αιτιολογικές σχέσεις κυλούν διαμέσου ενός κύκλου με εξελικτικό τρόπο, η Ασαφής Γνωστική Απεικόνιση ονομάζεται ως ένα δυναμικό σύστημα.

Ορισμός 9:

Έστω $C_1C_2, C_2C_3, C_3C_i, \dots, C_{n-1}C_n$ είναι ένας κύκλος. Εάν το C_i είναι ενεργό και η αιτιότητα ρέει διαμέσου των ακμών ενός κύκλου και προκαλεί ξανά το C_i , λέμε ότι η κατάσταση ισορροπίας για αυτό το δυναμικό σύστημα ονομάζεται hidden pattern.

Ορισμός 10:

Αν η κατάσταση ισορροπίας ενός δυναμικού συστήματος είναι μια μοναδική διανυσματική κατάσταση, τότε ονομάζεται σταθερό σημείο (fixed point).

Ορισμός 11:

Αν ένα Ασαφές Γνωστικό Σύστημα κατασταλάξει με μια διανυσματική κατάσταση, η οποία επαναλαμβάνεται με τη μορφή $\{A_1 \rightarrow A_2 \rightarrow \dots \rightarrow A_i \rightarrow A_1\}$, τότε αυτή η κατάσταση ισορροπίας ονομάζεται οριακός κύκλος (limit cycle).

Ορισμός 12:

Αν ένα Ασαφές Γνωστικό Σύστημα δε φτάσει σε μια διανυσματική κατάσταση της μορφής $\{A_1 \rightarrow A_2 \rightarrow \dots \rightarrow A_i \rightarrow A_n\}$, όπου A_i και A_n είναι ίδιες διανυσματικές καταστάσεις (fixed point) ή η κατάσταση A_n είναι ίδια με την A_1 (limit cycle), τότε λέμε ότι η συμπεριφορά του συστήματος είναι χαοτική.

Ορισμός 13:

Πεπερασμένος αριθμός από Ασαφή Γνωστικά Συστήματα, μπορούν να συνδεθούν μαζί και να δημιουργήσουν ένα νέο Ασαφές Γνωστικό Σύστημα ως αποτέλεσμα σύνδεσης όλων των Ασαφών Γνωστικών Συστημάτων. Έστω $E_1, E_2, \dots, E_p$ είναι τα adjacency matrices όλων των Ασαφών Γνωστικών Απεικονίσεων με κόμβους $C_1, C_2, \dots, C_n$. Τότε το συνδυασμένο Ασαφές Γνωστικό Σύστημα φτιάχνεται προσθέτοντας όλα τα adjacency matrices $E_1, E_2, \dots, E_p$.

3.3 Μαθηματική Αναπαράσταση

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 κόμβους σε σχέση με τους υπόλοιπους κόμβους του ΑΓΔ. Στην υπάρχουσα βιβλιογραφία χρησιμοποιούνται οι τρεις ακόλουθες μέθοδοι υπολογισμού της τιμής της μεταβλητής κάθε κόμβου για κάθε βήμα προσομοίωσης. Η πρώτη μέθοδος υπολογισμού όπως την πρότεινε ο Bart Kosko [28] λαμβάνει υπόψιν μόνο τις αλληλεπιδράσεις από τους διασυνδεδεμένους κόμβους προκειμένου να υπολογίσει τη νέα μεταβλητή της τιμής κάθε κόμβου:

$$A_i^{(k)} = f\left(\sum_{\substack{j \rightarrow i \\ j=1}}^N w_{ij} \cdot A_j^{(k-1)}\right)$$

Έτσι η τιμή της μεταβλητής του κόμβου C_i τη χρονική στιγμή k θα είναι A_i στην (k) , και εξαρτάται από τις τιμές των μεταβλητών των διασυνδεδεμένων κόμβων τη στιγμή $k-1$ πολλαπλασιασμένες με το αντίστοιχο βάρος w_{ij} , 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.

Η δεύτερη μέθοδος υπολογισμού των τιμών των μεταβλητών των κόμβων, χρησιμοποιεί και έναν άλλο όρο στο άθροισμα, ο οποίος 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 αυτό τον τρόπο υπολογισμού επιτυγχάνεται πιο ομαλή μετάβαση από τη μια τιμή στην άλλη, καθώς κάθε κόμβος χαρακτηρίζεται από μνήμη ενός βήματος [29].

Έτσι, η τιμή κάθε κόμβου υπολογίζεται, αθροίζοντας την προηγούμενη τιμή του και την επιρροή των άλλων κόμβων στο συγκεκριμένο κόμβο, με την εφαρμογή του ακόλουθου κανόνα υπολογισμού:

$$A_i^{(k)} = f(A_i^{(k-1)} + \sum_{\substack{j \rightarrow i \\ j=1}}^N w_{ij} \cdot A_j^{(k-1)})$$

όπου A_i στην (k) είναι η τιμή του κόμβου C_i στο βήμα προσομοίωσης k , A_j στην $(k-1)$

είναι η τιμή του κόμβου C_j στο βήμα προσομοίωσης $k-1$, w_{ij} είναι το βάρος της αλληλεπίδρασης μεταξύ του κόμβου C_j στον κόμβο C_i και f είναι η σιγμοειδής συνάρτηση συμπίεσης.

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 A θα έχει διαστάσεις $1 \times n$, ο οποίος θα περιλαμβάνει τις τιμές των N κόμβων και θα υπάρχει και ο πίνακας βαρών W διάστασης $n \times n$, όπου κάθε στοιχείο e_{ij} του πίνακα βαρών W θα δίνει το βάρος w_{ij} της διασύνδεσης μεταξύ των κόμβων C_i και C_j και οι τιμές της διαγωνίου του πίνακα βαρών είναι μηδέν αφού θεωρείται ότι κανένας κόμβος δεν επιδρά με τον εαυτό του και $w_{ii} = 0$. Έτσι λοιπόν η εξίσωση μπορεί να γραφεί σε μια πιο πλήρη μορφή, που περιλαμβάνει τον υπολογισμό των τιμών των μεταβλητών όλων των κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου:

$$A^{(k)} = f(A^{(k-1)} + \sum A^{(k-1)} \cdot W)$$

Αυτή η εξίσωση υπολογίζει το νέο διάνυσμα κατάστασης $A^{(k)}$, το οποίο προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό του προηγούμενου, τη χρονική στιγμή $k-1$, διανύσματος κατάστασης $A^{(k-1)}$ με τον πίνακα βαρών W . Το νέο διάνυσμα κατάστασης δίνει τις νέες τιμές των n κόμβων, μετά τις αιτιατές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των κόμβων του ΑΓΔ και την πρόσθεση του $A^{(k-1)}$.

Τέλος, η τρίτη μέθοδος υπολογισμού των τιμών των μεταβλητών των κόμβων [48] περιλαμβάνει όπως και στην δεύτερη μέθοδο την προηγούμενη τιμή της μεταβλητής του υπολογιζόμενου κόμβου, ώστε να συμμετέχει άμεσα και η προηγούμενη τιμή στον καθορισμό της νέας. Η διαφορά εδώ όμως είναι ότι δεν χρησιμοποιείται καμιά συνάρτηση συμπίεσης f όπως στις προηγούμενες μεθόδους εφόσον το αποτέλεσμα που λαμβάνουμε είναι πάντα μεταξύ του διαστήματος $[0,1]$. Έτσι, η τιμή κάθε κόμβου υπολογίζεται, αθροίζοντας την προηγούμενη τιμή του και την επιρροή των άλλων κόμβων στο συγκεκριμένο κόμβο, με την εφαρμογή του ακόλουθου κανόνα υπολογισμού:

$$C_j^{t+1} = C_j^t + \sum_i^n s_{ij} * (C_i^t - C_i^{t-1}) * \frac{C_j^t}{C_i^{t-1}}$$

όπου $C_j^{(t+1)}$ είναι η τιμή του κόμβου που θέλουμε να υπολογίσουμε στην επόμενη χρονική στιγμή, C_j^t η τιμή του κόμβου την παρούσα χρονική στιγμή και S_{ij} είναι η αριθμητική τιμή (βάρος) της επιρροής ενός κόμβου C_i στον κόμβο C_j . Το άθροισμα από το i μέχρι το n μπαίνει στην εξίσωση για να λάβουμε υπόψη όλους τους κόμβους i που επηρεάζουν τον κόμβο j . Οι όροι που υπάρχουν στην εξίσωση και πολλαπλασιάζονται με το S_{ij} μπαίνουν για σκοπούς απλοποίησης της εξίσωσης, έχοντας υπόψιν ότι ο όρος S_{ij} δίνεται από την εξίσωση πιο κάτω:

$$S_{ij} = \frac{(C_j^{t+1} - C_j^t) / C_j^t}{(C_i^t - C_i^{t-1}) / C_i^t}$$

Τέλος, για να κανονικοποιηθεί το βάρος μεταξύ των κόμβων στο διάστημα $[-1, 1]$, διαιρούμε το S_{ij} με τον αριθμό των επαναλήψεων που χρειάστηκαν. Για παράδειγμα, αν το S_{ij} μας έδινε τιμή από την εξίσωση 1.25 και ο αριθμός των επαναλήψεων που χρειάστηκαν ήταν 10, τότε η τελική τιμή του S_{ij} θα ήταν: $S_{ij} = S_{ij} / 10 = 0.125$.

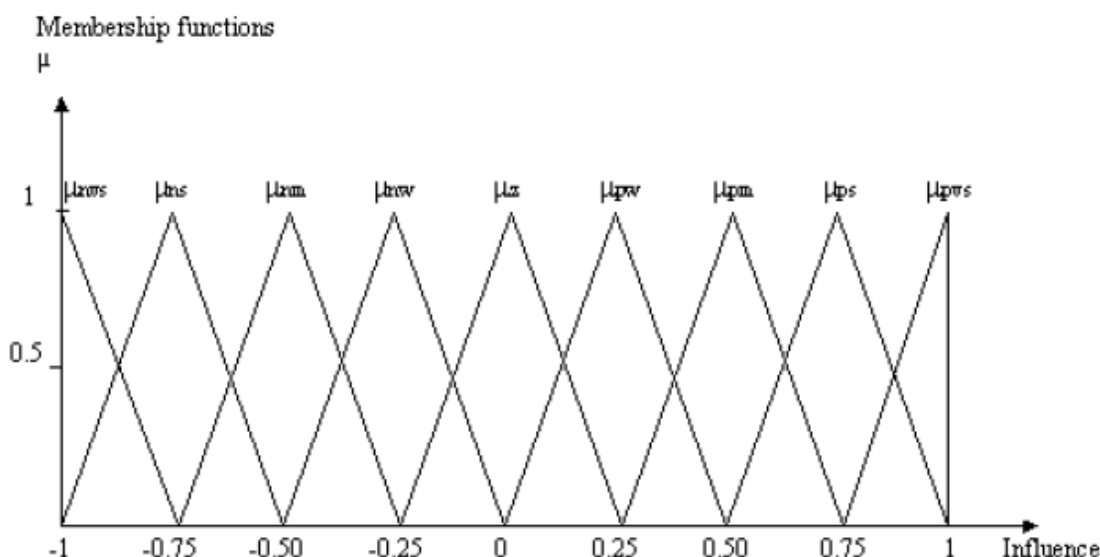
3.4 Μεθοδολογία Κατασκευής

Η ανάπτυξη των ΑΓΔ στηρίζεται αποκλειστικά στην ανθρώπινη εμπειρία και γνώση. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για να αναπτύξει και να κατασκευάσει το ΑΓΔ έχει μεγάλη σημασία για να μοντελοποιήσει επαρκώς ένα σύστημα. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται εξαρτώνται αποκλειστικά από την ομάδα ειδικών που ελέγχουν, εποπτεύουν το σύστημα και αναπτύσσουν το μοντέλο του ΑΓΔ. Έχουν προταθεί μερικές διαφορετικές μεθοδολογίες για την ανάπτυξη των ΑΓΔ, οι οποίες εξάγουν τη γνώση των ειδικών σχετικά με το σύστημα και εκμεταλλεύονται την εμπειρία τους για το μοντέλο και τη συμπεριφορά του συστήματος [30].

Η ομάδα ειδικών καθορίζει τον αριθμό και το είδος των κόμβων που περιγράφουν το ΑΓΔ. Ένας ειδικός από την εμπειρία του γνωρίζει τους κύριους παράγοντες που περιγράφουν τη συμπεριφορά του συστήματος, και κάθε ένας από αυτούς τους παράγοντες παριστάνεται από έναν κόμβο του ΑΓΔ. Οι ειδικοί ξέρουν ποια στοιχεία-μεταβλητές των συστημάτων επηρεάζουν άλλα στοιχεία-μεταβλητές και για

τους αντίστοιχους κόμβους καθορίζουν την αρνητική ή θετική επίπτωση του ενός κόμβου στον άλλο, με έναν ασαφή βαθμό της αιτιατής διασύνδεσης. Κατ' αυτό τον τρόπο, ένας ειδικός μετασχηματίζει τη γνώση του σε μια δυναμική σταθμισμένη γραφική απεικόνιση, το ΑΓΔ.

Μια μεθοδολογία ανάπτυξης του ΑΓΔ που βασίζεται στις ασαφείς εκφράσεις [31] περιγράφει την αλληλεξάρτηση μεταξύ των κόμβων και καθορίζει τις σταθμισμένες αιτιατές διασυνδέσεις. Σύμφωνα με την μεθοδολογία ανάπτυξης ενός ΑΓΔ οι ειδικοί αναγκάζονται να σκεφτούν για να περιγράψουν την υπάρχουσα σχέση μεταξύ των κόμβων και έτσι δικαιολογούν την πρότασή τους. Κάθε ειδικός, στην πραγματικότητα, καθορίζει την επίδραση-επιρροή ενός κόμβου σε άλλον ως «αρνητική» ή «θετική» και αξιολογεί έπειτα το βαθμό επιρροής χρησιμοποιώντας μια λεκτική μεταβλητή, όπως «δυνατή επίδραση», «μεσαία επίδραση», «ασθενής επίδραση», κ.λπ. Πιο συγκεκριμένα, οι αιτιατές διασυνδέσεις μεταξύ των κόμβων δηλώνονται χρησιμοποιώντας τη μεταβλητή επίδρασης που ερμηνεύεται ως λεκτική μεταβλητή και παίρνει τιμές στο διάστημα $U=[-1,1]$. Ο ονομαζόμενος όρος T (επιρροή) προτείνεται για να περιλάβει εννέα μεταβλητές. Χρησιμοποιώντας εννέα λεκτικές μεταβλητές, ένας ειδικός μπορεί να περιγράψει λεπτομερώς την επιρροή ενός κόμβου σε άλλον και μπορεί να διακρίνει μεταξύ των διαφορετικών βαθμών επιρροής. Οι εννέα μεταβλητές που χρησιμοποιούνται είναι: $T(\text{επιρροή})=\{\text{αρνητικά πολύ ισχυρό, αρνητικά ισχυρό, αρνητικά μέσο, αρνητικά αδύνατο, μηδέν, θετικά αδύνατο, θετικά μέσο, θετικά ισχυρό και θετικά πολύ ισχυρό}\}$. Οι αντίστοιχες συναρτήσεις συμμετοχής για αυτούς τους όρους παρουσιάζονται στο σχήμα 3.4.1 και είναι μ_{nvs} , μ_{ns} , μ_{nm} , μ_{nw} , μ_z , μ_{pw} , μ_{pm} , μ_{ps} και μ_{pvs} .



Σχήμα 3.4.1. Οι συναρτήσεις συμμετοχής της λεκτικής μεταβλητής Influence

Έπειτα ζητείται σε κάθε έναν από τους ειδικούς να περιγράψουν τις αλληλεπιδράσεις και τις αιτιατές διασυνδέσεις μεταξύ των κόμβων χρησιμοποιώντας μια λεκτική έκφραση, που είναι ένας EAN-TOTE κανόνας. Το συμπέρασμα του κανόνα είναι μια ασαφής λεκτική μεταβλητή από το σύνολο T . Έτσι καθορίζονται τα λεκτικά βάρη μιας αλληλεπίδρασης που είναι τόσα όσος είναι και ο αριθμός των ειδικών.

Ο ασαφής EAN-TOTE κανόνας, που χρησιμοποιούν οι ειδικοί για να περιγράψουν το βαθμό της επίδρασης από τον κόμβο C_i στον C_j , έχει την ακόλουθη μορφή, όπου B , D και E είναι ασαφείς λεκτικές μεταβλητές:

EAN μια μεταβολή B συμβεί στην τιμή του κόμβου C_i TOTE μια μεταβολή D στην τιμή του κόμβου C_j θα συμβεί. Το συμπέρασμα είναι ότι η επίδραση από τον κόμβο C_i στον C_j είναι E . Κατά συνέπεια, το συμπέρασμα του κανόνα είναι μια ασαφής λεκτική μεταβλητή από το σύνολο T , που περιγράφει τη σχέση μεταξύ των δύο κόμβων και καθορίζει το βαθμό αιτιότητας μεταξύ των δύο κόμβων. Κατόπιν οι παραγόμενες λεκτικές μεταβλητές, όπως προτείνονται από τους ειδικούς, αθροίζονται χρησιμοποιώντας τη μέθοδο SUM και ένα γενικό λεκτικό βάρος παράγεται, που με τη μέθοδο της αποασαφοποίησης κέντρου βάρους (CoG) [], μετασχηματίζεται σε ένα αριθμητικό βάρος, ανήκοντας στο διάστημα $[-1,1]$. Έτσι προκύπτει ένας αρχικός πίνακας βαρών $w_{\text{initial}} = [w_{ij}]$, $i,j=1, \dots, N$, με $w_{ii} = 0$, $i=1, \dots, N$. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθοδολογίας είναι ότι οι ειδικοί γνώστες του εξεταζόμενου συστήματος δεν

χρειάζεται να καθορίσουν απευθείας τις αριθμητικές τιμές των αιτιατών διασυνδέσεων, αλλά να περιγράψουν ποιοτικά το βαθμό της αιτιότητας ανάμεσα στους κόμβους.

Όταν μια Ασαφής Γνωστική Απεικόνιση έχει κατασκευαστεί, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μοντελοποιήσει και να προσομοιώσει τη συμπεριφορά του συστήματος. Πρώτα η Ασαφής Γνωστική Απεικόνιση πρέπει να αρχικοποιηθεί. Το «επίπεδο ενεργοποίησης» (activation level) κάθε κόμβου του διαγράμματος παίρνει μια τιμή (την οποία μετασχηματίζουμε ώστε να εμπίπτει στο πεδίο τιμών $[0,1]$ ή $[-1,1]$), με βάση τη γνώμη του ειδικού, για την τρέχουσα κατάσταση και τότε οι οντότητες είναι ελεύθερες να αλληλεπιδράσουν. Σε κάθε βήμα επανάληψης της διαδικασίας ανανέωσης των τιμών των οντοτήτων, οι τιμές τους αλλάζουν. Αυτή η αλληλεπίδραση μεταξύ των οντοτήτων συνεχίζεται μέχρι να επιτευχθεί μια καθορισμένη ισορροπία (fixed point), ή να επιτευχθεί ένας οριακός κύκλος (limit cycle) ή τέλος να υπάρξει χαοτική συμπεριφορά στο σύστημα (chaos).

3.5 Αλγόριθμοι Εκπαίδευσης

Οι έμπειροι γνώστες κάθε εξεταζόμενου προβλήματος συμμετέχουν στην κατασκευή των κόμβων του ΑΓΔ και των αιτιατών διασυνδέσεων μεταξύ των κόμβων τους. Μερικές φορές όμως αυτή η προσέγγιση μπορεί να οδηγήσει σε ένα μη ικανοποιητικό μοντέλο, δεδομένου ότι είναι δυνατό οι ειδικοί να μην έχουν εξετάσει τους κατάλληλους παράγοντες και μπορεί να έχουν ορίσει ακατάλληλα βάρη σε μια ή περισσότερες διασυνδέσεις μεταξύ των κόμβων του ΑΓΔ. Έτσι το ΑΓΔ μετά τη διαδικασία προσομοίωσης δεν συγκλίνει ή συγκλίνει σε μη επιθυμητές καταστάσεις για τη σωστή λειτουργία του εξεταζόμενου προβλήματος.

Η καλύτερη λειτουργία των ΑΓΔ και η σύγκλισή τους σε επιθυμητές καταστάσεις ισορροπίας μπορεί να επιτευχθεί προσαρμόζοντας τα βάρη τους με τρόπο αντίστοιχο με αυτόν που εφαρμόζεται στην περίπτωση των τεχνητών νευρωνικών δικτύων. Όμως απαιτείται η εύρεση ενός διαφορετικού τρόπου εκμάθησης των βαρών των ΑΓΔ από τον αντίστοιχο των τεχνητών νευρωνικών δικτύων (ΤΝΔ) που να είναι κατάλληλος για τα ειδικά χαρακτηριστικά των ΑΓΔ [32]. Ο όρος «εκπαίδευση» στην περίπτωση των ΤΝΔ αναφέρεται στη διαδικασία μεταβολής των βαρών των ΤΝΔ με τέτοιο τρόπο ώστε το δίκτυο να «μαθαίνει» την σχέση μεταξύ των προτύπων

εκπαίδευσης και της επιθυμητής εξόδου, με σκοπό την επίλυση κάποιου πρακτικού προβλήματος, μέσω της ελαχιστοποίησης μιας συνάρτησης σφάλματος (error function) όπως η αναγνώριση και ταξινόμηση προτύπων, η πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών μιας χρονοσειράς κτλ. Η προσαρμογή αυτή γίνεται με τη βοήθεια του αλγορίθμου εκπαίδευσης, που συχνά είναι ένας αλγόριθμος βελτιστοποίησης [32].

Όμως με τον όρο «εκμάθηση» των ΑΓΔ εννοούμε τη διαδικασία προσαρμογής των βαρών των ΑΓΔ με τέτοιο τρόπο ώστε να συγκλίνουν σε επιθυμητές περιοχές ισορροπίας κατάλληλες για την επιθυμητή λειτουργία του συστήματος. Το πρόβλημα της αποδοτικής προσαρμογής των βαρών των ΑΓΔ είναι δύσκολο και απαιτεί εύρεση της κατάλληλης μεθοδολογίας εκμάθησης και σύγκλισης.

Οι αλγόριθμοι εκμάθησης, που έχουν προταθεί για να τροποποιήσουν τα βάρη του ΑΓΔ, είναι συνήθως βασισμένοι στις ιδέες που προέρχονται από τον χώρο της εκπαίδευσης των τεχνητών νευρωνικών δικτύων και επιπλέον δεν υπάρχει ικανοποιητική απόδειξη των δυνατοτήτων τους, πλήρης περιγραφή των αλγορίθμων και εφαρμογή τους σε κάποιο πραγματικό πρόβλημα. Οι κανόνες εκμάθησης χωρίς επίβλεψη που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να εκπαιδεύσουν το ΑΓΔ και να καθορίσουν τα κατάλληλα βάρη των διασυνδέσεων μεταξύ των κόμβων του έχουν την εξής γενική μορφή:

$$w_{ij}' = g(w_{ij}, A_i, A_j, A_i', A_j')$$

Αυτοί οι κανόνες εκμάθησης μπορούν να εφαρμοσθούν για να ρυθμίσουν και να υπολογίσουν τις νέες τιμές των διασυνδέσεων μεταξύ των κόμβων.

Μέχρι σήμερα ελάχιστες ερευνητικές προσπάθειες έχουν γίνει για να προταθούν κανόνες εκπαίδευσης και να προκύψουν νέες μέθοδοι προσαρμογής των βαρών των ΑΓΔ. Κυρίως οι αλγόριθμοι μη επιβλεπόμενης εκμάθησης τύπου-Hebb, έχουν προταθεί για να προσαρμόσουν τις σχέσεις «αιτίας-συνέπειας» του μοντέλου του ΑΓΔ, αλλά χωρίς πλήρη περιγραφή του αντίστοιχου αλγορίθμου.

Πριν όμως παρουσιάσουμε τους αλγορίθμους εκμάθησης που έχουν προταθεί μέχρι σήμερα για τα ΑΓΔ, θα παρουσιάσουμε συνοπτικά τον γενικό κανόνα μη επιβλεπόμενης εκμάθησης τύπου Hebb των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων [33]. Η γενική μορφή του κανόνα εκπαίδευσης των βαρών ενός Τεχνητού Νευρωνικού Δικτύου (ΤΝΔ), είναι:

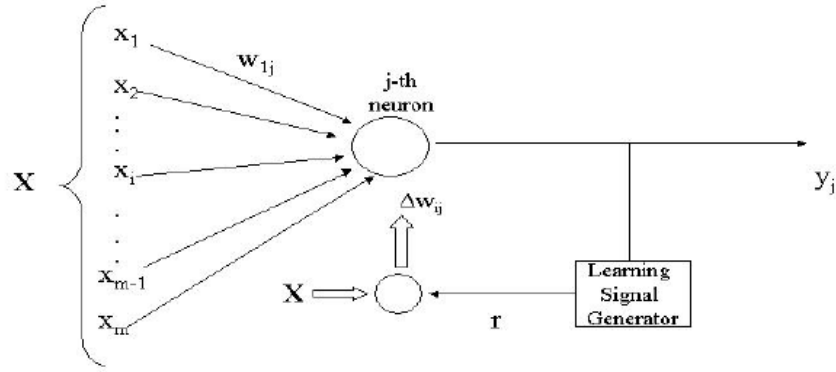
$$\Delta \mathbf{w}_i = \rho \cdot r(\mathbf{w}_i, \mathbf{x}) \cdot \mathbf{x}$$

όπου ρ είναι ένας θετικός αριθμός που ονομάζεται σταθερά εκπαίδευσης ο οποίος καθορίζει το ρυθμό της εκπαίδευσης, r είναι το σήμα εκπαίδευσης που γενικά είναι μια συνάρτηση των $\mathbf{w}_i$ και $\mathbf{x}$, όπου $\mathbf{x}$ είναι το διάνυσμα εισόδου. Αυτή η μορφή εκπαίδευσης δείχνει ότι η αύξηση του διανύσματος βάρους $\mathbf{w}_i$ (τα βάρη όλων των άλλων κόμβων προς τον κόμβο i που σημαίνει ότι η i -στη στήλη του πίνακα βαρών $\mathbf{W}$) είναι ανάλογη του γινομένου του σήματος εκπαίδευσης r και του διανύσματος εισόδου $\mathbf{x}$.

Ένας από τους πιο συνηθισμένους αλγορίθμους που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα μη επιβλεπόμενης εκμάθησης είναι ο αλγόριθμος Hebbian [34]. Τα πιο απλά δίκτυα αποτελούνται από ένα σετ διανυσμάτων εισόδου $\mathbf{x}$ και εξόδου $\mathbf{y}$ που συνδέονται με έναν πίνακα βαρών, $\mathbf{W}$, όπου w_{ij} συνδέει τον κόμβο x_i με τον κόμβο y_i . Τότε το πρόβλημα της μη επιβλεπόμενης μάθησης είναι να βρεθούν οι τιμές των βαρών, $\mathbf{W}$, που θα δίνουν τη βέλτιστη λύση του συγκεκριμένου προβλήματος. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκπαίδευσης, το νευρωνικό δίκτυο λαμβάνει σαν εισόδους πολλές διαφορετικές διεγέρσεις, ή πρότυπα εισόδου, και αυθαίρετα ταξινομεί τα πρότυπα σε κατηγορίες. Ο κανόνας εκμάθησης τύπου Hebb συνήθως πραγματοποιείται από την ακόλουθη σχέση:

$$w_{ij}(k+1) = w_{ij}(k) + \rho \cdot y_j \cdot x_i$$

Ο κανόνας εκμάθησης των βαρών στην περίπτωση των Νευρωνικών Δικτύων (ΝΔ) απαιτεί τον καθορισμό και υπολογισμό μιας αντικειμενικής συνάρτησης. Στόχος είναι η αντικειμενική συνάρτηση να φθάσει σε ένα ελάχιστο σφάλμα που αντιστοιχεί σε ένα σετ βαρών του ΝΔ. Τα βάρη που αντιστοιχούν στη σταθερή κατάσταση καθορίζουν τη διαδικασία εκπαίδευσης και το μοντέλο του ΝΔ. Έτσι η ελαχιστοποίηση μια αντικειμενικής συνάρτησης είναι ο τελικός στόχος [32].



Σχήμα 3.5.1. Ο γενικός κανόνας εκπαίδευσης των βαρών των ΝΔ

Διαφορικός Αλγόριθμος Εκμάθησης τύπου Hebb - Differential Hebbian Learning

Ο Kosko πρότεινε και ανέπτυξε τον πρώτο αλγόριθμο εκμάθησης χωρίς επίβλεψη, που ονομάζεται Διαφορικός Αλγόριθμος Εκμάθησης τύπου Hebb (Differential Hebbian Learning - DHL), για τα ΑΓΔ, αλλά χωρίς μαθηματική διατύπωση και εφαρμογή σε πραγματικές περιπτώσεις προβλημάτων [35].

Πιο συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος DHL συσχετίζει τις μεταβολές δύο κόμβων, εάν ο κόμβος A κινείται προς την ίδια κατεύθυνση με τον κόμβο B (για παράδειγμα, ο B αυξάνει όταν ο A αυξάνει), το βάρος της διασύνδεσης w_{ij} ανάμεσα στους δύο κόμβους αυξάνεται, διαφορετικά το βάρος της διασύνδεσης ελαττώνεται. Σε κάθε χρονική στιγμή t , η τιμή του βάρους w_{ij} , της διασύνδεσης μεταξύ του κόμβου C_i και του κόμβου C_j , υπολογίζεται από την διακριτή μορφή του κανόνα DHL:

$$w_{ij}^{(t+1)} = w_{ij}^{(t)} + \mu_t (\Delta C_i^{(t)} \cdot \Delta C_j^{(t)} - w_{ij}^{(t)})$$

όπου ΔC_i είναι η μεταβολή της τιμής του i -στου κόμβου, δηλαδή ΔC_i στην (t) είναι ίσο με C_i στην (t) πλην του C_i στην $(t-1)$. Ο συντελεστής εκπαίδευσης μ_t ελαττώνεται με αργό ρυθμό σε σχέση με το χρόνο t , με την ακόλουθη εξίσωση:

$$\mu_t = 0.1 \left[1 - \frac{t}{1.1N} \right]$$

όπου η θετική σταθερά N διασφαλίζει ότι ο συντελεστής εκπαίδευσης μ_t δεν θα γίνει ποτέ αρνητικός. Όμως ο αλγόριθμος DHL δεν διασφαλίζει ότι καταγράφει σωστά τη

διαδοχή των προτύπων εισόδου-εξόδου και μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν συγκεκριμένες διαδικασίες για την εφαρμογή του αλγορίθμου DHL στα ΑΓΔ.

Ισορροπημένος Διαφορικός Αλγόριθμος Εκμάθησης τύπου Hebb- Balanced Differential Hebbian Learning

Ένας άλλος αλγόριθμος εκμάθησης είναι ο Ισορροπημένος Διαφορικός Αλγόριθμος Εκμάθησης τύπου Hebb (Balanced Differential Hebbian Learning- BDHL) ο οποίος προσπαθεί να εκπαιδεύσει το ΑΓΔ από τα δεδομένα, βασισμένος ακριβώς στον αλγόριθμο DHL [36]. Η μαθηματική σχέση που εκφράζει αυτόν τον αλγόριθμο και τροποποιεί τα βάρη του ΑΓΔ είναι η εξής:

$$w_{ij}(t+1) = \begin{cases} i = j & w_{ij}(t) + \frac{C_i}{N} \\ i \neq j \quad \Delta C_i(x_i) \Delta C_j(x_j) > 0 & w_{ij}(t) + c_i \left[\frac{\Delta C_i(x_i) / \Delta C_j(x_j)}{\sum_{\substack{k=1 \\ \Delta C_i(x_i) \Delta C_k(x_k) > 0}}^n \Delta C_i(x_i) / \Delta C_k(x_k)} - w_{ij}(t) \right] \\ i \neq j \quad \Delta C_i(x_i) \Delta C_j(x_j) < 0 & w_{ij}(t) + c_i \left[\frac{-\Delta C_i(x_i) / \Delta C_j(x_j)}{\sum_{\substack{k=1 \\ \Delta C_i(x_i) \Delta C_k(x_k) < 0}}^n \Delta C_i(x_i) / \Delta C_k(x_k)} - w_{ij}(t) \right] \end{cases}$$

Αρχικά χρησιμοποιείται ένα σετ δεδομένων ως σετ εκμάθησης και μετά εφαρμόζεται ο αλγόριθμος BDHL. Πιο συγκεκριμένα, εάν θεωρήσουμε δύο κόμβους C_i και C_j , όπου ο κόμβος C_j επιδρά στον C_i , το βάρος διασύνδεσης που υπολογίζεται κανονικοποιείται με τον αριθμό των άλλων κόμβων C_k που ενεργούν την ίδια χρονική στιγμή και προκαλούν μια μεταβολή στον κόμβο C_i . Ένα σημαντικό σημείο είναι ότι τα ΑΓΔ στον προτεινόμενο αλγόριθμο έχουν τιμές στη διαγώνιο του πίνακα βαρών (δηλαδή ένας κόμβος έχει μια αιτιατή διασύνδεση με τον εαυτό του) για να διασφαλίσουν ότι ένας κόμβος C_i είναι ενεργός (έχει τιμή 1 ή κοντά στο 1) χωρίς την παρουσία άλλων κόμβων C_j που επιδρούν στον κόμβο C_i . Οι τιμές της διαγωνίου του πίνακα βαρών του ΑΓΔ είναι ίσες με τη μέση τιμή όλων των τιμών των κόμβων του σετ εκπαίδευσης. Ο αλγόριθμος BDHL μετά από μια σειρά εξομοιώσεων φάνηκε να είναι καλύτερος από τον DHL για να εκπαιδεύσει το ΑΓΔ από τα πρότυπα και να μοντελοποιήσει μια δεδομένη περιοχή από ότι η κλασσική προσέγγιση. Αλλά μέχρι

σήμερα καμία συγκεκριμένη διαδικασία δεν υπάρχει για την εφαρμογή του αλγορίθμου DHL και του Ισορροπημένου Διαφορικού Αλγορίθμου Εκμάθησης τύπου Hebb στα ΑΓΔ για πραγματικά και σύνθετα προβλήματα.

Μέθοδος Εκμάθησης βασισμένη σε Γενετικούς Αλγορίθμους - Genetic Algorithms based Learning Method

Ο στόχος της προτεινόμενης μεθόδου εκμάθησης είναι να εξαλείψει την ανθρώπινη παρέμβαση κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης ενός μοντέλου ΑΓΧ [46]. Αυτή η διαδικασία εκτελείται με την αξιοποίηση πληροφοριών από ιστορικά δεδομένα για να υπολογίσει τον πίνακα διασύνδεσης του μοντέλου ΑΓΧ που είναι σε θέση να μιμηθεί τα δεδομένα. Το μήκος των δεδομένων ορίζεται ως ο αριθμός των επιτυχημένων επαναλήψεων των ιστορικών δεδομένων.

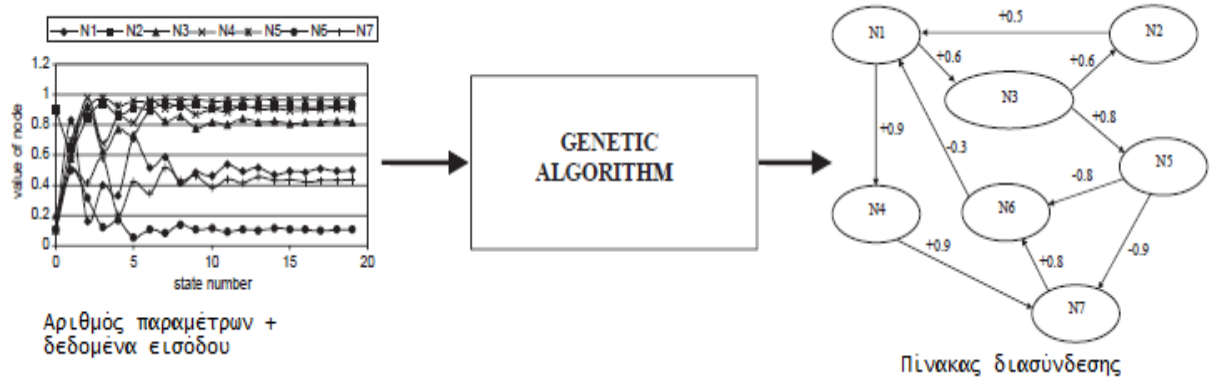
Υποθέτοντας ότι επιτρέπεται να υπάρχουν ακμές μόνο μεταξύ διαφορετικών εννοιών (κόμβων), δηλαδή οι έννοιες δεν εμφανίζουν σχέσεις «αιτίας – συνέπειας» στον εαυτό τους, ο πίνακας διασύνδεσης ενός μοντέλου ΑΓΧ μπορεί να περιγραφεί πλήρως από $N(N-1)$ μεταβλητές, όπου N είναι ο αριθμός των εννοιών. Έτσι, ο πίνακας διασύνδεσης της μάθησης του ΑΓΧ χρειάζεται να υπολογίσει $N(N-1)$ παραμέτρους, οι οποίες φαίνονται στο σχήμα πιο κάτω:

	N_1	N_2	...	N_{N-1}	N_N
N_1	0	e_{12}	...	e_{1N-1}	e_{1N}
N_2	e_{21}	0	...	e_{2N-1}	e_{2N}
...	...	...	...	...	...
N_{N-1}	e_{N-11}	e_{N-12}	...	0	e_{N-1N}
N_N	e_{N1}	e_{N2}	...	e_{NN-1}	0

Σχήμα 3.5.2. Πίνακας διασύνδεσης των N παραμέτρων ενός ΑΓΧ

Αυτό το μοντέλο ΑΓΧ είναι κατάλληλο για την εκτέλεση προσομοιώσεων για διαφορετικές αρχικές καταστάσεις των παραμέτρων και να ποσοτικοποιήσει το βαθμό και το είδος των σχέσεων «αιτίας – συνέπειας» μεταξύ των εννοιών. Αυτή η μέθοδος εκμάθησης χρησιμοποιεί real-coded γενετικό αλγόριθμο, που περιγράφεται στη συνέχεια, η οποία επιτρέπει την εξάλειψη της συμμετοχής των ειδικών κατά τη

διάρκεια της ανάπτυξης του μοντέλου. Μια επισκόπηση υψηλού επιπέδου αυτής της μεθόδου εκμάθησης φαίνεται στο σχήμα πιο κάτω:



Σχήμα 3.5.3. Υψηλού επιπέδου διάγραμμα της προτεινόμενης μεθόδου εκμάθησης

Οι γενετικοί αλγόριθμοι (ΓΑ) χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση βελτιστοποίησης και αναζήτησης των πληροφοριών. Η καταγωγή και οι αρχές τους είναι εμπνευσμένες από τη φυσική γενετική. Μερικά πλεονεκτήματά τους είναι η ευρεία εφαρμογή τους, η σχετική ευκολία χρήσης η γενική προοπτική που κατέχουν. Στην παρούσα Ατομική Διπλωματική Εργασία προϋποθέτουμε εξοικείωση του αναγνώστη με τους ΓΑ, ωστόσο μια χρήσιμη περίληψη για τους ΓΑ μπορεί να βρεθεί στη βιβλιογραφία [43], [44], [45]. Η προτεινόμενη μέθοδος εκμάθησης χρησιμοποιεί μια εκτεταμένη προσέγγιση ΓΑ που ονομάζεται «γενετικοί αλγόριθμοι με κωδικοποίηση πραγματικών αριθμών» (Real-Coded Genetic Algorithms - RCGA), όπου ένα χρωμόσωμα αποτελείται από πραγματικούς (real) αριθμούς.

Ο αλγόριθμος RCGA ορίζει κάθε χρωμόσωμα ως ένα πίνακα με πραγματικούς αριθμούς. Το μήκος του αντιστοιχεί στον αριθμό των μεταβλητών σε ένα δεδομένο πρόβλημα. Κάθε στοιχείο του πίνακα ονομάζεται γονίδιο. Στην περίπτωση της εκμάθησης του ΑΓΧ, κάθε χρωμόσωμα αποτελείται από $N(N-1)$ γονίδια, τα οποία είναι πραγματικοί αριθμοί στο διάστημα $[-1, 1]$ και ορίζονται ως εξής:

$$\hat{\mathbf{E}} = [e_{12}, e_{13}, \dots, e_{1N}, e_{21}, e_{23}, \dots, e_{2N}, \dots, e_{NN-1}]^T$$

όπου e_{ij} είναι η τιμή του βάρους μιας ακμής από τον i -οστό στον j -οστό κόμβο-πάρμετρο. Κάθε χρωμόσωμα πρέπει να αποκωδικοποιηθεί πίσω σε έναν υποψήφιο ΑΓΧ. Αυτό περιλαμβάνει την αντιγραφή των τιμών βάρους από το χρωμόσωμα στο αντίστοιχο κελί στον πίνακα διασύνδεσης. Ο αριθμός των χρωμοσωμάτων σε έναν

πληθυσμό είναι σταθερός για κάθε γενεά, και προσδιορίζεται από την παράμετρο `population_size`.

Ένα από τα πιο σημαντικά ζητήματα για την επιτυχή εφαρμογή του ΓΑ είναι ο σχεδιασμός της συνάρτησης καταλληλότητας, η οποία είναι κατάλληλη για ένα δεδομένο πρόβλημα. Η συνάρτηση καταλληλότητας κανονικοποιείται στο διάστημα $(0, 1]$, όπου όσο πιο χειρότερο είναι το άτομο για τον πληθυσμό, τόσο πιο κοντά στο μηδέν είναι η συνάρτηση καταλληλότητας του και η τιμή καταλληλότητας για ένα ιδανικό χρωμόσωμα είναι ίση με ένα.

Στη συνέχεια πρέπει να βρεθεί η συνθήκη όπου οι επαναλήψεις του ΓΑ θα σταματούν. Στη συγκεκριμένη προσέγγιση λαμβάνονται υπόψη δύο πιθανά σενάρια όπου θα τερματίζει η διαδικασία εκμάθησης:

- Η μάθηση είναι επιτυχής, δηλαδή η ακολουθία της παραμέτρου που λαμβάνεται από την προσομοίωση του υποψηφίου ΑΓΧ είναι ταυτόσημη ή ικανοποιητικά κοντά στα δεδομένα εισόδου. Η ομοιότητα αυτή περιγράφεται από την τιμή της συνάρτησης καταλληλότητας ως το καλύτερο χρωμόσωμα σε κάθε γενιά. Ως εκ τούτου, η μάθηση θα πρέπει να τερματίζεται όταν η τιμή της συνάρτησης καταλληλότητας φθάνει μια τιμή κατωφλίου που ονομάζεται `max_fitness`.
- η μάθηση δεν είναι επιτυχής, αλλά ο μέγιστος αριθμός των γενεών, που ορίζεται από την παράμετρο `max_generation`, έχει επιτευχθεί.

Και για τις δύο παραμέτρους, την `max_fitness` και την `max_generation` διαπιστώνονται πειραματικά οι τιμές τους.

Προχωρώντας, ο ανασχηματισμός του πληθυσμού διεξάγεται χρησιμοποιώντας λειτουργίες `crossover`. Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τελεστές `crossover` που χρησιμοποιούνται σε RCGA. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικοί τελεστές μετάλλαξης όπως: τυχαία μετάλλαξη, μη-ομοιόμορφη μετάλλαξη και η μετάλλαξη Mühlenbein. Τέλος, δύο δημοφιλείς στρατηγικές επιλογής, όπως η επιλογή τροχό της ρουλέτας και επιλογή των τουρνουά μπορούν να εφαρμοστούν.

3.6 Ερμηνεία Αποτελεσμάτων

Αφού σχεδιαστεί κάτω από πολλές αναθεωρήσεις η Ασαφής Γνωστική Απεικόνιση ενός συστήματος, τρέχονται στον υπολογιστή πολλές προσομοιώσεις του

Ασαφούς Γνωστικού Συστήματος. Σε κάθε προσομοίωση μπορούν να προστεθούν ή να αφαιρεθούν οντότητες στο σύστημα ή να γίνουν αλλαγές στις τιμές κάποιων οντοτήτων. Έτσι μπορούν να μελετηθούν και να ερμηνευτούν οι διαφορές μεταβολές που προκύπτουν σε οντότητες που ενδιαφέρουν τον έμπειρο. Επίσης, με τον τρόπο αυτό, το Ασαφές Γνωστικό Σύστημα μπορεί να δώσει περισσότερη επίγνωση στους δημιουργούς του για τη δομή.

Όταν κάποιος ειδικός βοηθά για πρώτη φορά στο σχεδιασμό ενός Ασαφούς Γνωστικού Συστήματος τα αποτελέσματα τα οποία προκύπτουν στην προσομοίωση πολύ πιθανόν να μην είναι τα αναμενόμενα από τους ειδικούς οι οποίοι συνέβαλαν στο σχεδιασμό του. Αυτό προκύπτει λόγω του ότι η κατανόηση του συστήματος από τους ειδικούς έπειτα από αναθεωρήσεις δεν είναι πλήρης. Παρόλα αυτά τα αποτελέσματα ενός Ασαφούς Γνωστικού Συστήματος συνήθως μιλάνε από μόνα τους και δεν χρειάζονται να δοθεί ιδιαίτερη εξήγηση.

Συνοψίζοντας, οι ελάχιστοι αλγόριθμοι εκμάθησης που έχουν προταθεί για τα ΑΓΔ εμφανίζουν τα εξής μειονεκτήματα: δεν είναι θεωρητικά τεκμηριωμένοι, δεν συγκλίνουν σε επιθυμητές καταστάσεις ισορροπίας για τη σωστή λειτουργία του συστήματος, τα βάρη που προκύπτουν δεν έχουν αποδεκτής φυσική σημασία για το εκάστοτε πρόβλημα και δεν έχουν χρησιμοποιηθεί σε πραγματικά προβλήματα.

Αν και τα ΑΓΔ αποτελούν μια ελπιδοφόρο μεθοδολογία μοντελοποίησης, έχουν μερικές αδυναμίες που αφορούν τη δυνατότητά να προσαρμόσουν τη γνώση των ειδικών μέσω των μεθόδων βελτιστοποίησης και εκμάθησης των βαρών τους. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι κρίσιμα σε διάφορες εφαρμογές. Επομένως, υπάρχει περαιτέρω ανάγκη για βελτίωση της λειτουργίας των ΑΓΔ. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω της ανάπτυξης νέων αλγορίθμων εκμάθησης που αντιμετωπίζουν τις αδυναμίες και βελτιώνουν την απόδοση των ΑΓΔ και είναι μέρος αυτής της διατριβής που διαπραγματεύεται το πρόβλημα.

Είναι σημαντική λοιπόν, η ανάπτυξη νέων μεθόδων εκμάθησης για τα ΑΓΔ που θα προσαρμόζουν τα βάρη τους με τέτοιο τρόπο ώστε να συγκλίνουν σε επιθυμητές καταστάσεις ισορροπίας, τα βάρη να διατηρούν τη φυσική τους σημασία (σύμφωνα με την κατασκευή του μοντέλου του ΑΓΔ) και τα νέα βελτιωμένα ΑΓΔ να μπορούν να εφαρμοστούν αποτελεσματικά σε πραγματικά και πολύπλοκα προβλήματα.

Κεφάλαιο 4

ΧΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

4.1	Λήψη πολιτικών αποφάσεων (κυπριακό πρόβλημα)	45
4.2	Εκτίμηση των επιπτώσεων στα πολιτικοοικονομικά θέματα της Κύπρου από την ανεύρεση του φυσικού αερίου / πετρελαίου	51
4.3	Πρόβλεψη της πνευμονικής λοίμωξης με πολλαπλά βήματα	57
4.4	Μακροπρόθεσμη πρόγνωση του καρκίνου του προστάτη	60
4.5	Αναγνώριση ικανοποίησης του χρήστη από smartphones	65

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται διάφορες χρήσεις και εφαρμογές των Ασαφών Γνωστικών Συστημάτων. Μερικοί τομείς στους οποίους μπορούν να εφαρμοστούν είναι: για την λήψη πολιτικών αποφάσεων, στην εκτίμηση επιπτώσεων σε πολιτικά και κοινωνικά θέματα μετά από αλλαγή κάποιας παραμέτρου στον αντίστοιχο τομέα, για πρόβλεψη διάφορων λοιμώξεων αλλά και μακροπρόθεσμες προγνώσεις άλλων ασθενειών, ως εφαρμογές σε smartphones αλλά και ως μοντελοποίηση καταστάσεων κάποιου συστήματος και ανάλυση των αποτελεσμάτων του. Οι εφαρμογές και χρήσεις που αναφέρονται πιο κάτω, βασίζονται σε διάφορα άρθρα τα οποία έχουν μελετηθεί.

4.1 Λήψη πολιτικών αποφάσεων (κυπριακό πρόβλημα)

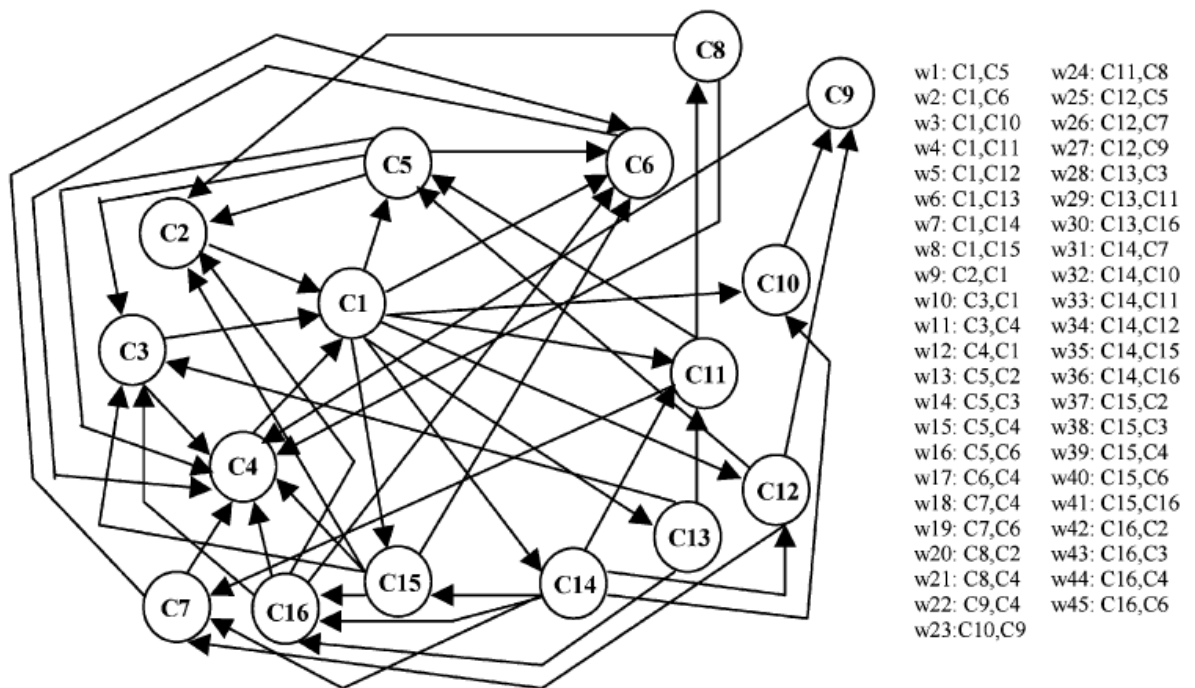
Ας ξεκινήσουμε πρώτα αναφέροντας πως ακριβώς δημιουργήθηκε το κυπριακό πρόβλημα και στη συνέχεια πως βοηθούν οι ΑΓΧ [37]. Η Κύπρος είναι το τρίτο μεγαλύτερο νησί στη Μεσόγειο και βρίσκεται στο ανατολικότερο άκρο της. Η δημοκρατία της Κύπρου, η οποία έχει πληθυσμό περίπου 900.000 (78% Ελληνοκύπριοι, 18% Τουρκοκύπριοι και 4% Λατίνοι, Μαρωνίτες και Αρμένιοι), κέρδισε την ανεξαρτησία της το 1960. Από το 1974, όταν η Τουρκία ξεκίνησε μια «εισβολή για την

αποκατάσταση του συντάγματος», μετά από αποτυχημένο πραξικόπημα κατά του Προέδρου Αρχιεπισκόπου Μακαρίου, το 38% του νησιού εξακολουθεί να εξακολουθεί να καταλαμβάνεται από τις τουρκικές δυνάμεις, οι οποίες αγνοούν όλες τις κινήσεις των Ηνωμένων Εθνών που κατ' επανάληψη εκφράζουν την έγνοια τους για ένα τόσο σοβαρό ζήτημα. Στην πραγματικότητα, τόσο το Συμβούλιο Ασφαλείας όσο και η Γενική Συνέλευση του ΟΗΕ έχουν συνεχώς συμμετέχει στο κυπριακό πρόβλημα από το 1964, όπου η Τουρκία απείλησε την κυριαρχία και την ανεξαρτησία της Κύπρου. Οι προσπάθειες του ΟΗΕ κορυφώθηκαν στο πρόσφατο παρελθόν, με την υποβολή των διάφορων εκδόσεων του λεγόμενου Σχεδίου Ανάν το οποίο, ωστόσο, απέτυχε να βρει μια λύση για το κυπριακό πρόβλημα μέχρι το τέλος του Φεβρουαρίου 2003. Ωστόσο, η κυπριακή δημοκρατία χρησιμοποιώντας εκτεταμένη υποστήριξη από την Ελλάδα, είναι πλέον πλήρως μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) σύμφωνα με το νόμο που υπεγράφη τις 16 του Απρίλη το 2003, γεγονός το οποίο αναμένεται να δώσει την δυναμική για την επίλυση του προβλήματος της Κύπρου. Η προθυμία της τουρκοκυπριακής κοινότητας, ωστόσο, να επωφεληθούν από τη γενναιόδωρη υποστήριξη της ΕΕ στην κυπριακή πολιτεία, αντιμετωπίστηκε με απειλές από τις τουρκικές αρχές, οι οποίες θέλουν να προσαρτήσουν το κατεχόμενο τμήμα του νησιού στην Τουρκία στην περίπτωση της πλήρους ένταξης της Κύπρου στην ΕΕ. Αυτό αφήνει πολλά που πρέπει να γίνουν όσον αφορά τις δυνατότητες συνεργασίας όλων των πλευρών που εμπλέκονται για τη διευθέτηση του κυπριακού ζητήματος. Με στόχο την αποφυγή της ανάλυσης από κάθε ίχνος συναισθηματικής προκατάληψης που προκαλείται από λογική σκέψη, αποφάσισαν σ' αυτήν την εφαρμογή να καταφύγουν σε τεχνική ανάλυση. Το τι κάνουν δηλαδή, είναι να εκμεταλλευτούν τη θεωρία των ασαφών γνωστικών χαρτών, η οποία εισάγει ένα εργαλείο λήψης αποφάσεων που εφαρμόζεται ευρέως στον τομέα των διεθνών σχέσεων και της πολιτικής. Αυτό θα μας επιτρέψει να προβλέψουμε τις εξελίξεις που αφορούν το θέμα της Κύπρου και προτείνει απαντήσεις σε διάφορες επιπλοκές που μπορεί να προκύψουν στο πλαίσιο των εν λόγω θεμάτων.

Μοντέλο Ασαφούς Γνωστικού Χάρτη για το Κυπριακό πρόβλημα:

Η ανάπτυξη του μοντέλου βασίστηκε στην μέθοδο ερωτηματολογίων και συνεντεύξεων. Οι σημαντικές παράμετροι που επηρεάζουν το κυπριακό πρόβλημα έχουν εντοπιστεί με τη βοήθεια μιας ομάδας ειδικών του συγκεκριμένου χώρου. Οι ειδικοί αυτοί συμπλήρωσαν ένα ερωτηματολόγιο σχετικά με τις αιτιώδεις σχέσεις και

τα βάρη που εμπλέκονται, για παράδειγμα το βαθμό στον οποίο οι παράμετροι επηρεάζουν ο ένας τον άλλο, χρησιμοποιώντας ένα θετικό ή αρνητικό αριθμό μεταξύ μηδέν και επτά, για να δείχνει την κατεύθυνση και την ένταση των αιτιολογικών σχέσεων μεταξύ των παραμέτρων. Για υπολογιστικούς σκοπούς, κάθε αριθμός αντιστοιχούσε στην ένταση της αιτιολογικής σχέσης ως εξής: απούσα 1=0.0, πολύ αδύναμη 2=0.18, ασθενής 3=0.36, μέτρια 4=0.54, ισχυρή 5=0.72, πολύ ισχυρή 6=0.9 και κατηγορηματική 7=1.0. Το γενικό μοντέλο στη συνέχεια κατασκευάστηκε, στο οποίο οι διάφοροι παράμετροι του μοντέλου αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, ενώ η κεντρική παράμετρος ήταν η αστάθεια / η ένταση στην Κύπρο (C1). Το μοντέλο αυτό φαίνεται και πιο κάτω:



Σχήμα 4.1.1. Ασαφής Γνωστικός Χάρτης για το κυπριακό πρόβλημα

Στη δεξιά πλευρά του σχήματος, τα βάρη παρουσιάζονται σε μια μορφή που παρουσιάζει το σύνδεσμο από τον αρχικό μέχρι τον τελικό κόμβο, με τις παραμέτρους/κόμβους να είναι διαχωρισμένες με κόμμα. Οι δεκαέξι παράμετροι που επηρεάζουν την αστάθεια στην Κύπρο φαίνονται στο πιο κάτω σχήμα:

C1	Αστάθεια / Ένταση στην Κύπρο
C2	Ενέργειες των Τουρκικών δυνάμεων στην Κύπρο
C3	Τουρκικές απειλές
C4	Λύση του κυπριακού προβλήματος
C5	Υποστήριξη ελληνικής κυβέρνησης
C6	Συζητήσεις ΟΗΕ για το κυπριακό πρόβλημα
C7	Σταθερότητα της Κυπριακής κυβέρνησης
C8	Υποστήριξη στις Τουρκικές δυνάμεις
C9	Υποστήριξη στον Ελληνοκυπριακό στρατό
C10	Ενίσχυση του Ελληνικού στρατού
C11	Ενίσχυση του Κυπριακού στρατού
C12	Σταθερότητα της Ελληνικής κυβέρνησης
C13	Σταθερότητα της Τουρκικής κυβέρνησης
C14	Οικονομική, στρατιωτική και πολιτική υποστήριξη της ΕΕ και του NATO
C15	Παγκόσμια επιρροή
C16	Αντιδράσεις των Τουρκοκυπρίων

Σχήμα 4.1.2. Περιγραφή παραμέτρων στο κυπριακό πρόβλημα

Στη γνώμη του κάθε ειδικού που χρησιμοποιήθηκε για τον καθορισμό των βαρών των διαφορετικών αιτιολογικών σχέσεων και την αρχική ενεργοποίηση επίπεδου για κάθε παράμετρο, δόθηκε ένας βαθμός αξιοπιστίας, ο οποίος εκφράζεται με μια τιμή μεταξύ του ενός και του δέκα. Αυτός ο βαθμός αντιπροσωπεύει τη σημασία του ειδικού για το θέμα και την αξιοπιστία του. Ο πολλαπλασιασμός του βαθμού της αξιοπιστίας του κάθε ειδικού με κάθε βάρος που ορίζεται από αυτόν τον ειδικό και στη συνέχεια υπολογίζοντας τους μερικούς πίνακες βαρών, είχε ως αποτέλεσμα τον τελικό πίνακα βαρών όπως φαίνεται και πιο κάτω:

w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9	w10	w11	w12
0.10	0.29	0.03	0.32	-0.06	0.10	-0.16	0.13	0.21	0.21	-0.23	-0.21
w13	w14	w15	w16	w17	w18	w19	w20	w21	w22	w23	w24
0.34	0.29	0.06	0.10	0.13	0.23	0.26	0.34	-0.19	0.26	0.23	0.19
w25	w26	w27	w28	w29	w30	w31	w32	w33	w34	w35	w36
0.19	0.06	0.10	0.10	0.16	0.10	0.19	0.13	0.23	0.16	0.16	0.13
w37	w38	w39	w40	w41	w42	w43	w44	w45			
-0.23	-0.19	0.23	0.26	0.19	0.13	0.13	-0.03	-0.03			

Σχήμα 4.1.3. Κανονικοποιημένος πίνακας βαρών

Αυτή είναι η συνήθεις πρακτική που ακολουθείται για την απόκτηση ενός κανονικοποιημένου πίνακα βαρών, η οποία μπορεί να θεωρηθεί πιο αντιπροσωπευτική και αντικειμενική.

Ανάλυση Συστήματος:

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι της στατικής ανάλυσης: Ο έλεγχος του κανόνα και η επαλήθευση. Ο έλεγχος του κανόνα εξασφαλίζει ότι ένα κύκλωμα υπακούει στους περιορισμούς που επιβάλλονται από το σχεδιασμό του περιβάλλοντος, ενώ η επαλήθευση διασφαλίζει ότι ένα μοντέλο υπακούει στους περιορισμούς που συνιστάται από τους ειδικούς, έτσι ώστε η προβλεπόμενη συμπεριφορά να είναι σύμφωνη με την πραγματική.

Η στατική ανάλυση του μοντέλου εστιάζεται στα χαρακτηριστικά των βελών με βάρη που παρουσιάζονται στο μοντέλο χρησιμοποιώντας τεχνικές θεωρίας γραφημάτων. Το πιο σημαντικό στοιχείο που πρέπει να εξεταστεί είναι οι κύκλοι ανατροφοδότησης που υπάρχουν στο γράφημα. Κάθε κύκλος συνοδεύεται από ένα πρόσημο, το οποίο προσδιορίζεται από τον πολλαπλασιασμό των προσήμων των βελών που συμμετέχουν στον κύκλο. Εάν όλα τα πρόσημα σε ένα κύκλο είναι θετικά ή ο αριθμός των αρνητικών προσήμων στον ίδιο κύκλο είναι ζυγός, τότε η συμπεριφορά ολόκληρου του κύκλου είναι θετική. Θετικοί κύκλοι είναι εκείνοι οι οποίοι συμπεριφέρονται ως ενισχυτές. Μια θετική αλλαγή στην ενεργοποίηση ενός κόμβου στον κύκλο οδηγεί σε μια σταθερή αύξηση της ενεργοποίησης στο τέλος του κύκλου.

Οι αρνητικοί κύκλοι από την άλλη πλευρά μπορούν να εξουδετερώσουν ή να απενεργοποιήσουν την ενεργοποίηση στο τέλος του κύκλου. Αυτό σημαίνει ότι το επίπεδο ενεργοποίησης του τελικού κόμβου θα μειώνεται σε περιπτώσεις στις οποίες μια αύξηση εισάγεται στην ενεργοποίηση οποιουδήποτε κόμβου στον κύκλο.

Το πρόβλημα με την στατική ανάλυση, ωστόσο, είναι ότι περιλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό περιορισμών, ενώ είναι πολύ δύσκολο να προσδιοριστεί ποιος από τους πολυάριθμους κύκλους σε ένα μοντέλο, 59 στην περίπτωσή μας, θα επικρατήσει τελικά και ποιοι είναι αυτοί με την ισχυρότερη επίδραση στο μοντέλο. Με άλλα λόγια, ο υπολογισμός των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των κύκλων, η αλλαγή των βαρών κάθε φορά που ένα νέο σενάριο εισάγεται και ο προσδιορισμός της παραμέτρου και του βάρους που θα επικρατήσει τελικά μπορεί να είναι πολύ περίπλοκα, ακόμα και για μοντέλα με πολύ μικρότερο αριθμό παραμέτρων από αυτή την εφαρμογή που έχουμε αναφέρει. Αυτά τα προβλήματα μπορούν να ξεπεραστούν με βάση τη χρήση της δυναμικής ανάλυσης υπολογιστικών προσομοιώσεων.

Η δυναμική ανάλυση περιλαμβάνει τη χρήση του μοντέλου ως μια τεχνική για τη στρατηγική διαχείριση και τη λήψη αποφάσεων, όσον αφορά μια προσέγγιση του

σεναρίου. Σε γενικές γραμμές, ένα σενάριο έχει ληφθεί για να απεικονίσει κάποιο πιθανό πολιτικό περιβάλλον στο μέλλον, αναφέροντας την δυναμική αλληλουχία των γεγονότων που αλληλεπιδρούν, τις συνθήκες και τις αλλαγές που είναι απαραίτητες για να φτάσουμε σε αυτή την κατάσταση. Τα σενάρια χρησιμοποιούνται για αξιολόγηση, επιλογή των στρατηγικών, τη λήψη αποφάσεων και τον προσδιορισμό των μελλοντικών δυνατοτήτων όταν παρουσιαστεί πολιτική αβεβαιότητα.

Μαθηματική Αναπαράσταση:

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα σύστημα με m συσχετίσεις. Με μια αλλαγή δC_i συνεπάγεται και αλλαγή στον κόμβο C_j . Η ανανέωση των κόμβων γίνεται σύμφωνα με την πιο κάτω μαθηματική εξίσωση:

$$C_j[t+1] = C_j[t] + \delta C_j = C_j[t] + \sum_i \frac{\partial C_j}{\partial C_i} \delta C_i \quad i = 1, \dots, m$$

Η ενημέρωση γίνεται στατικά και διαδραστικά μέχρι το σύστημα εξελιχτεί σε μια φάση ισορροπίας που ορίζεται από τα επιθυμητά όρια. Τυχόν αλλαγές στις διάφορες παραμέτρους, επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα όλες τις άλλες παραμέτρους του συστήματος.

Αποτελέσματα – Συμπεράσματα:

Ο ΑΓΧ έχει δείξει λογικές τάσεις και επιπτώσεις σε σχέση με τα σενάρια που έχουν μελετηθεί. Συγκεκριμένα, το μοντέλο προβλέπει ότι ο εθνικισμός της ελληνοκυπριακής και της τουρκοκυπριακής κοινότητας βαίνει παράλληλα. Δηλαδή, αυξάνονται και μειώνονται με τον ίδιο βαθμό την ίδια στιγμή. Έχει παρατηρηθεί όμως ότι το μοντέλο προβλέπει ένα υψηλότερο όφελος για την Τουρκοκυπριακή κοινότητα, αν η ευρωπαϊκή εμπλοκή αυξηθεί σημαντικά. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αυτό είναι ένα μοντέλο με πολύ ασάφεια, και μπορεί να είναι πιο αξιόπιστο αν πιο έγκυρες απόψεις από τους πολιτικούς και πολιτικοί επιστήμονες ενσωματωθούν. Είναι, ωστόσο, ένα χρήσιμο εργαλείο για γρήγορες εξερευνήσεις, για την καλύτερη κατανόηση των δυναμικών που εμπλέκονται και για την οικοδόμηση μιας βάσης για πιο πολύπλοκα σενάρια. Περαιτέρω εξερευνήσεις απαιτούνται για την επαλήθευση της αξιοπιστίας της και να τελειοποιήσουν τις διάφορες παραμέτρους και διεργασίες.

4.2 Εκτίμηση των επιπτώσεων στα πολιτικοοικονομικά θέματα της Κύπρου από την ανεύρεση του φυσικού αερίου / πετρελαίου

Πρόβλημα:

Η δυναμική που συνεπάγεται για την ασφάλεια και τη σταθερότητα της Κύπρου, καθώς και η οικονομική ανάπτυξη, συνδέονται με τα συμφέροντα τόσο της ελληνοκυπριακής όσο και της τουρκοκυπριακής κοινότητας [38]. Αυτές οι δυναμικές έχουν επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό από τη στρατηγική θέση του νησιού, αφού βρίσκεται στην Ανατολική Μεσόγειο, όπου πολλοί κατακτητές και πολιτισμοί εξάπλωσαν τις επιρροές τους (ελληνική, ρωμαϊκή, βυζαντινή, αραβική, φραγκική, ενετική, από τους Σταυροφόρους, οθωμανική, τουρκική και αγγλική επιρροή). Οι ιστορικές ρίζες των δύο κοινοτήτων τις αναγκάζει να είναι τόσο ανταγωνιστικές όσο και ομαδικές. Επίσης, τα συμφέροντα των άλλων χωρών που εμπλέκονται στο πρόβλημα διαδραμάτισαν σημαντικό ρόλο στις πολιτικοοικονομικές εξελίξεις. Πρόκειται κυρίως για την Ελλάδα, την Τουρκία και το Ηνωμένο Βασίλειο.

Η ένταξη της Κύπρου στην Ευρωπαϊκή Ένωση, καθώς και όπως η πρόσφατη πολιτική - κοινωνική αναταραχή στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου (Τυνησία, Αίγυπτο και τη Λιβύη) έχει κάνει τις συμμετοχές της Ευρώπης, τις ΗΠΑ, της Ρωσίας και του Ισραήλ σημαντικές επιρροές δυναμικών παραγόντων.

Σε αυτή την εφαρμογή, γίνεται μια προσπάθεια να μοντελοποιηθεί η δυναμική του προβλήματος χρησιμοποιώντας ασαφή γνωστικό χάρτη. Πιο συγκεκριμένα, οι κυριότερες παραμέτροι που εισέρχονται στη δυναμική είναι: τα συνολικά συμφέροντα της Δημοκρατίας της Κύπρου, η οικονομική ευημερία και των δύο κοινοτήτων, ο κίνδυνος της σύγκρουσης μεταξύ των δύο μεγάλων κοινοτήτων, η σημασία της ανεύρεσης του πετρελαίου / φυσικού αερίου, η ανεργία, το επίπεδο του τουρισμού και το γενικό συμφέρον (πολιτικό, οικονομικό, στρατιωτικό) των χωρών που αναφέρθηκαν προηγουμένως και τα συμφέροντα των δύο κοινοτήτων.

Μοντέλο Ασαφούς Γνωστικού Χάρτη για το πρόβλημα:

Τα υπολογιστικά ευφυή συστήματα πάντα εμπνέονται από φυσικά ή πραγματικά συστήματα ζωής. Μελετώντας πώς η φύση συμπεριφέρεται αποκαλύπτει τους μηχανισμούς που μπορούν να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα ενός τεχνητού έξυπνου συστήματος. Μια γενική παρατήρηση είναι ότι τα δυναμικά συστήματα στη

φύση, και τα πολιτικά - οικονομικά - κοινωνικά συστήματα, στα οποία οι παράμετροι χαρακτηρίζονται από αιτιολογικές σχέσεις, τείνουν να φθάσουν σχεδόν σταθερή κατάσταση. Δηλαδή, μετά την αλληλεπίδραση των παραμέτρων μεταξύ τους, οι παράμετροι έχουν πετύχει ισορροπία. Τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν επίσης και εκτροπές από την ισορροπία εάν μία ή περισσότερες από τις παραμέτρους του αλλάξουν τις τιμές της κατάστασής τους. Η αλλαγή αυτή λειτουργεί σαν ένα ερέθισμα για το υπόλοιπο κομμάτι του συστήματος που οδηγεί σε μια σειρά από αλλαγές στις καταστάσεις όλων των παραμέτρων του συστήματος μέχρι να φτάσει νέα κατάσταση ισορροπίας. Οι παράμετροι του συστήματος αλλάζουν επαναληπτικά τις τιμές τους, ως απάντηση στην πρώτη αλλαγή / αλλαγές που συνέβησαν στο σύστημα. Επίσης, σε πραγματικά συστήματα, μια προσαρμοστική εξελικτική συμπεριφορά συνήθως παρατηρείται, κάτι που δεν αποτυπώνεται στα κλασικά ΑΓΔ.

Για την εφαρμογή που παρουσιάζεται εδώ, 42 παράμετροι (έννοιες) έχουν χρησιμοποιηθεί, όπως φαίνεται και πιο κάτω:

	CONCEPT	INITIAL VALUES
C1	General welfare/standing of the Republic of Cyprus	50%
C2	Economic welfare of GC community	50%
C3	Economic welfare of TC community	30%
C4	Economic welfare of Greece	20%
C5	Economic welfare of Turkey	20%
C6	Greek Cypriot Nationalism	50%
C7	Turkish Cypriot Nationalism	50%
C8	Christian religiousness	50%
C9	Islamic religiousness	50%
C10	Knowledge of Greek language by the TC community	50%
C11	Knowledge of Turkish language by the GC community	50%
C12	Educational level of the GC community	50%
C13	Educational level of the TC community	50%
C14	Knowledge of Turkish history by the GC community	50%
C15	Knowledge of Greek history by the TC community	50%
C16	Political interests of Europe	50%
C17	Political interests of USA	50%
C18	Political interests of Russia	40%
C19	Political interests of UK	50%
C20	Political interests of Israel	50%
C21	Political interests of Greece	60%

C22	Political interests of Turkey	60%
C23	Economic interests of Europe	50%
C24	Economic interests of USA	50%
C25	Economic interests of Russia	50%
C26	Economic interests of UK	50%
C27	Economic interests of Israel	50%
C28	Economic interests of Greece	50%
C29	Economic interests of Turkey	60%
C30	Military interests of Israel	50%
C31	Military interests of Greece	50%
C32	Military interests of Turkey	50%
C33	Military interests of UK	50%
C34	Military interests of USA	50%
C35	Interests of Anatolian settlers	50%
C36	Level of tourism in the GC community	50%
C37	Level of tourism in the TC community	50%
C38	Importance of Oil/gas exploration	---
C39	Unemployment in Republic of Cyprus	50%
C40	Unemployment in TC community	50%
C41	External debt of Republic of Cyprus	50%
C42	Risk of conflict between the two communities	50%

Σχήμα 4.2.1. Περιγραφή παραμέτρων του προβλήματος

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι παράγοντες αυτοί είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν. Επίσης, δεν έχουν συμφωνηθεί από κάθε άτομο που είναι εμπλεκόμενο στην ανάλυση και απόφαση του συστήματος. Κάποια μορφή ασαφής προσέγγισης μπορεί να χρησιμοποιηθεί, με τη χρήση των ατόμων με καλή γνώση (ειδικοί) και μεγάλη εμπειρία (πολιτικοί). Επιπλέον, κάθε ένας από αυτούς ενσωματώνει μια γενική κατάσταση, όπως χρησιμοποιείται κοινώς και είναι κατανοητή. Για παράδειγμα, με τον όρο «γενική ευημερία της κυπριακής δημοκρατίας», εννοούμε μια κατάσταση που έχει τα χαρακτηριστικά της ευημερίας, της πολιτικής σταθερότητας, της κοινωνικής ανάπτυξης, της υψηλής ποιότητας ζωής, κλπ.

Μαθηματική Αναπαράσταση:

Υποθέτουμε ότι έχουμε ένα ασαφές γνωστικό σύστημα n αλληλένδετων εννοιών (παράμετροι), οι οποίες συνδέονται με αιτιώδη σχέσεις, εδώ ονομάζονται ευαισθησίες. Η ευαισθησία που αφορά τις αλλαγές στην ενεργοποίηση μίας C_j παραμέτρου σε αλλαγές στην ενεργοποίηση μιας παραμέτρου C_i ορίζεται από:

$$s_{ij} \equiv \frac{\partial C_j}{\partial C_i}$$

Έτσι, η συνολική συσσωρευμένη μεταβολή στην ενεργοποίηση της παραμέτρου C_j λόγω αλλαγών στην παράμετρο C_i δίνεται από:

$$\delta C_j = \sum_{i,i \neq j}^n \frac{\partial C_j}{\partial C_i} \delta C_i = \sum_{i,i \neq j}^n s_{ij} \delta C_i$$

όπου C_i είναι η δύναμη ενεργοποίησης της παραμέτρου που μας ενδιαφέρει και S_{ij} είναι η ευαισθησία (βάρος). Είναι ένα μέτρο για το πόσο μια μεταβολή στην τρέχουσα κατάσταση της παραμέτρου C_i επηρεάζει τις αλλαγές στην κατάσταση της παραμέτρου C_j . Σε διακριτή μορφή χρόνου η πιο πάνω εξίσωση γίνεται:

$$C_j(t + \delta t) = C_j(t) + \delta C_j = C_j(t) + \sum_{i=1}^n s_{ij} (\delta C_i)$$

και σε επαναληπτική μορφή υλοποιείται ως:

$$C_j(k+1) = C_j(k) + \sum_{i,i \neq j}^n s_{ij} (C_i(k) - C_i(k-1))$$

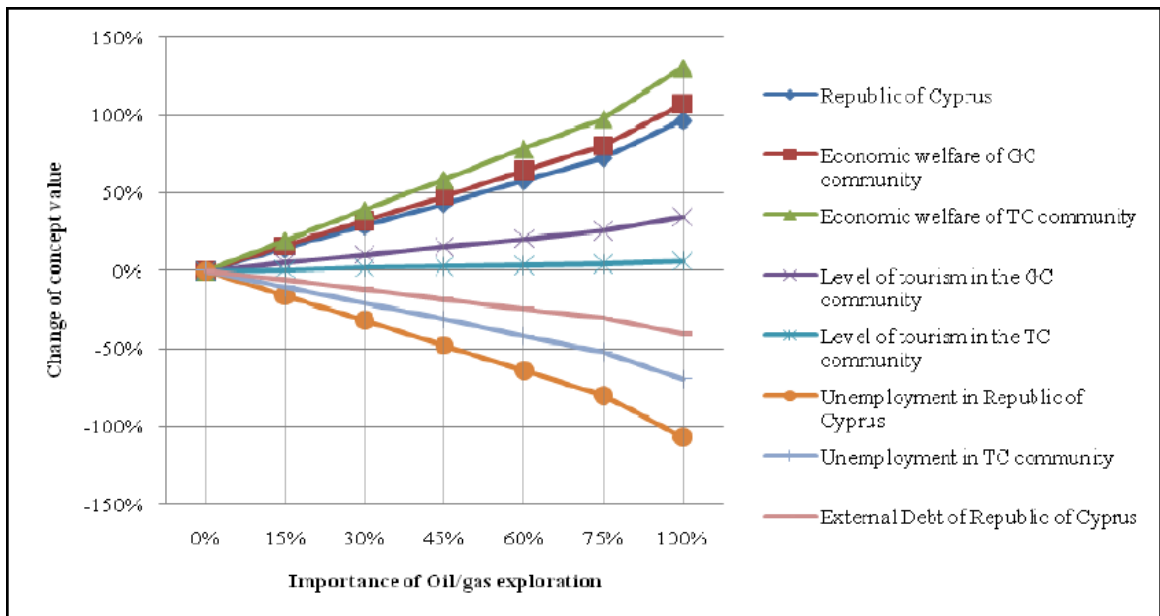
όπου k είναι ο μετρητής επανάληψης.

Επισημαίνεται εδώ ότι η προσέγγιση αυτή είναι διαφορετική από ό,τι η προσέγγιση που ακολουθείται από περισσότερες υλοποιήσεις σε AGX σε δύο σημεία: α) τα βάρη (ευαισθησίες) ορίζονται διαφορετικά, όπως εξηγήθηκε προηγουμένως, και β) δεν υπάρχει συνάρτηση ενεργοποίησης. Η ενημέρωση γίνεται στατικά και διαδραστικά μέχρι το σύστημα να εξελιχτεί σε κατάσταση ισορροπίας που ορίζεται από επιθυμητά όρια. Οποιοσδήποτε αλλαγές στις διάφορες παραμέτρους επηρεάζουν είτε άμεσα είτε έμμεσα όλες τις άλλες παραμέτρους του συστήματος.

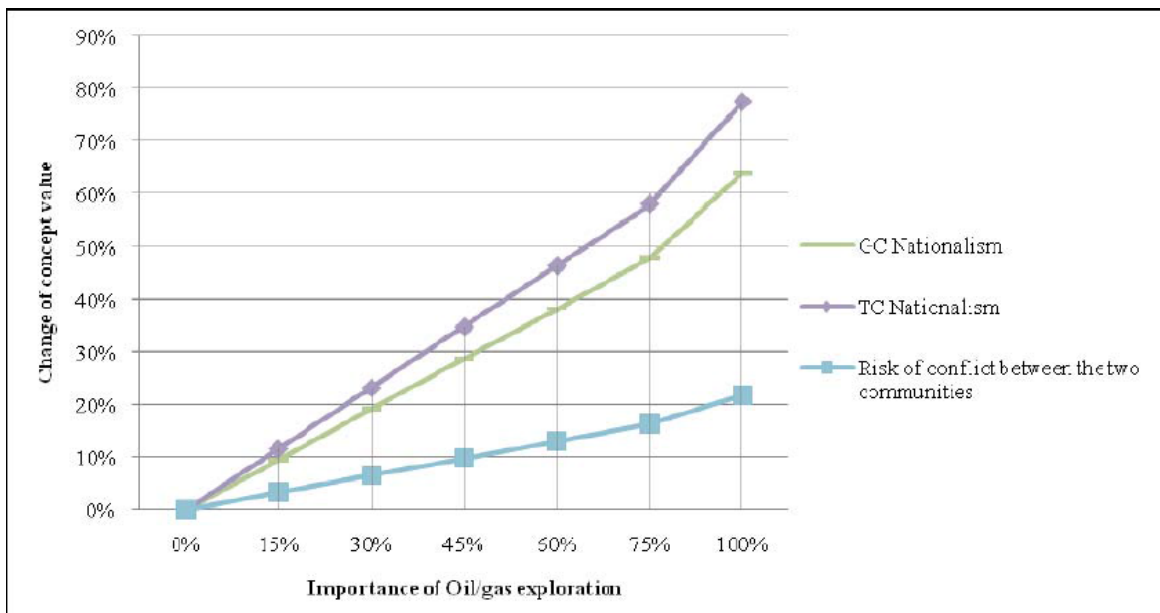
Αποτελέσματα – Συμπεράσματα:

Με βάση τα αποτελέσματα της εύρεσης και εξερεύνησης του πετρελαίου και του φυσικού αερίου, σε διάφορα πολιτικά, οικονομικά και στρατιωτικά θέματα και παραμέτρους - και με βάση τις μέσες τιμές ευαισθησίας, δημιουργήθηκαν οι πιο κάτω γραφικές παραστάσεις, τα σχήματα 4.2.2, 4.2.3 και 4.2.4. Στις γραφικές παραστάσεις αυτές, ο οριζόντιος άξονας δείχνει την αρχική τιμή της έννοιας «σημασία της εύρεσης και εξερεύνησης του πετρελαίου και του φυσικού αερίου», από 0% έως 100%, για παράδειγμα από φυσικό αέριο μη-διαθέσιμο, στο υψηλότερο δυνατό διαθέσιμο. Στον κατακόρυφο άξονα, το προκύπτον ποσοστό αλλάζει σε διάφορες παραμέτρους και

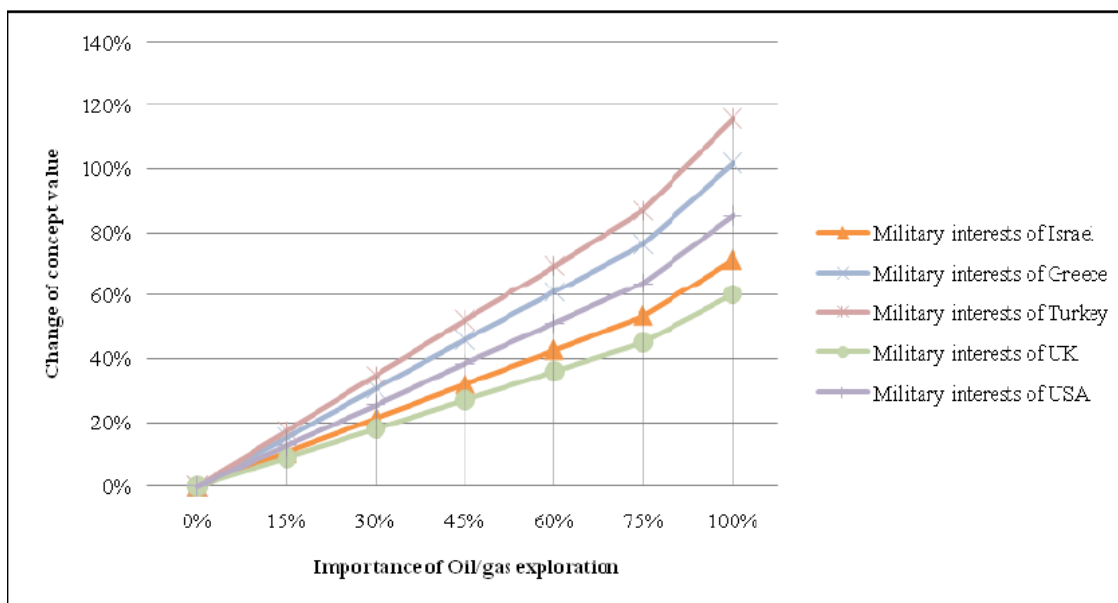
παράγοντες, το οποίο οφείλεται σε στην ύπαρξη φυσικών διακυμάνσεων του φυσικού αερίου. Αυτές οι τιμές λαμβάνονται μετά από την εξέλιξη του συστήματος και την ισορροπία των σταθερών τιμών του ασαφούς γνωστικού μοντέλου. Οι αρχικές τιμές που χρησιμοποιούνται, εκτός από αυτές του πετρελαίου και του φυσικού αερίου, είναι εκείνες που εμφανίζονται στο σχήμα 4.2.1.



Σχήμα 4.2.2. Επιδράσεις σε διάφορες οικονομικές παραμέτρους και θέματα, με βάση τις μέσες τιμές ευαισθησίας



Σχήμα 4.2.3. Επιδράσεις σε διάφορα πολιτικά ζητήματα με βάση τις μέσες τιμές ευαισθησίας



Σχήμα 4.2.4. Επιδράσεις σε διάφορα στρατιωτικά θέματα, με βάση τις μέσες τιμές ευαισθησίας

Ο ΑΓΧ έχει δείξει ενδιαφέροντες και κάπως αναμενόμενες τάσεις και επιπτώσεις με βάση τα σενάρια που μελετήθηκαν. Ωστόσο, με τη στενή παρατήρηση των διαφόρων τάσεων, μπορούν να γίνουν ορισμένες άλλες ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις και να εξαχθούν συμπεράσματα. Συγκεκριμένα, το μοντέλο προβλέπει ότι η τουρκοκυπριακή κοινότητα και η ελληνοκυπριακή κοινότητα της Κύπρου θα επωφεληθούν περίπου ισάξια από τις προοπτικές για την εξεύρεση και εκμετάλλευση του φυσικού αερίου και του πετρελαίου, παρόλο που οι περιοχές του πετρελαίου και του φυσικού αερίου βρίσκονται στη νότιο-ανατολική ζώνη της κυπριακής δημοκρατίας, λαμβάνοντας υπόψη ότι το μεγαλύτερο μέρος του τουρκοκυπριακού πληθυσμού ζει στην βόρεια πλευρά του νησιού. Αυτό βέβαια εξαρτάται από το αν η εκμετάλλευση γίνεται σε περιόδους ειρήνης. Στην πραγματικότητα, μια άλλη σχετική παρατήρηση που έγινε από το μοντέλο, είναι ότι κάθε εκμετάλλευση του πετρελαίου και του φυσικού αερίου αυξάνει τον κίνδυνο σύγκρουσης μεταξύ των δύο κοινοτήτων. Έτσι, η κατάσταση γίνεται έντονα επηρεασμένη από πολιτικές σκοπιμότητες.

Όπως ήταν αναμενόμενο τα στρατιωτικά συμφέροντα των χωρών που προαναφέρθηκαν αυξάνονται καθώς οι προοπτικές για την εκμετάλλευση του πετρελαίου και του φυσικού αερίου αυξάνονται. Αυτή η αύξηση είναι επίσης μη γραμμική, με αποτέλεσμα να οδηγεί σε ακόμη περισσότερο ενδιαφέρον σε όσο φυσικό αέριο αξιοποιείται (Σχήμα 4.2.4). Παρατηρείται επίσης ότι η Τουρκία θα δείξει

μεγαλύτερη αύξηση των στρατιωτικών συμφερόντων, ακολουθούμενη από την Ελλάδα. Μια πολύ ενδιαφέρουσα παρατήρηση μπορεί να γίνει σχετικά με την αύξηση του εθνικισμού στις δύο κοινότητες (Σχήμα 4.2.3). Σημειώνεται ότι το μοντέλο προβλέπει μια σημαντική αύξηση στον εθνικισμό των Ελληνοκυπρίων, αλλά ακόμη μεγαλύτερη για την τουρκοκυπριακή κοινότητα.

4.3 Πρόβλεψη της πνευμονικής λοίμωξης με πολλαπλά βήματα

Πρόβλημα:

Η πνευμονική λοίμωξη είναι μια ασθένεια στο κάτω μέρος της αναπνευστικής οδού και αποτελεί σημαντική αιτία νοσηρότητας και θνησιμότητας παγκόσμια. Ασθενείς με σοβαρή πνευμονία πρέπει να λαμβάνουν εντατική φροντίδα [39]. Η υποψία για πνευμονία δημιουργείται με βάση τα συμπτώματα του ασθενούς και τα ευρήματα από τη φυσική εξέταση. Μετά από την υποψία για την ύπαρξη της πνευμονίας, περισσότερες εξερευνήσεις βασισμένες σε εργαστηριακές μελέτες πρέπει να γίνουν για να επιβεβαιωθεί η διάγνωση. Οι εργαστηριακές μελέτες θα πρέπει να πραγματοποιούνται έτσι ώστε να περιλαμβάνουν κύτταρα του αίματος, γλυκόζη ορού, τρανσαμινάσες, ουρία, κρεατίνη και μετρήσεις ηλεκτρολυτών. Αυτά τα δεδομένα παρέχουν μια λογική βάση για την αξιολόγηση της σοβαρότητας της πνευμονίας και της ανάγκης της για εντατική φροντίδα.

Η πρόβλεψη της κατάστασης του ασθενούς είναι απαραίτητη για να γίνει μια σωστή ιατρική παρέμβαση, π.χ. η συνταγή ενός φαρμάκου. Ο στόχος που υπάρχει σε αυτήν την εφαρμογή είναι η πρόβλεψη της κατάστασης της πνευμονίας που εκτιμάται περαιτέρω από τον ιατρό για να κάνει τη συνταγή και την τελική απόφαση για την ιατρική παρέμβαση.

Οι υπάρχουσες μέθοδοι εφαρμόζουν κανόνες για την κατάταξη ενός ασθενή σε μια ομάδα κινδύνου, αλλά δεν υποστηρίζουν ένα γιατρό κατά τη διάρκεια της θεραπείας. Συνήθως, οι κανόνες κατάταξης δίνονται από τους γιατρούς. Στην πραγματικότητα, ο βαθμός σοβαρότητας της πνευμονίας χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της θνησιμότητας των ασθενών. Ο M.J. Fine πρότεινε έναν κανόνα για να προσδιορίσει με ακρίβεια τους ασθενείς με πνευμονία που βρίσκονται σε χαμηλό κίνδυνο για θάνατο και άλλες δυσμενείς συνέπειες. Ο Pereira προσπάθησε να

διερευνήσει τη συσχέτιση με τα κλινικά συμπτώματα της πνευμονίας στα παιδιά και να προβλέψει τη διάγνωση με την ασαφή θεωρία των συνόλων. Στατιστικές και μηχανές τεχνικές μάθησης ερευνήθηκαν για να προβλέψουν τα αποτελέσματα των ασθενών με πνευμονία που αποκτάται από την κοινωνία. Ακόμη, τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ΤΝΔ) έχουν χρησιμοποιηθεί για να προβλέψουν την παρουσία ή την απουσία της πνευμονίας μεταξύ των ασθενών που φθάνουν στο τμήμα επειγόντων περιστατικών με οξεία αναπνευστικά παράπονα. Τα αποτελέσματα που αποκτήθηκαν με τη χρήση των ΤΝΔ συγκρίθηκαν αναλυτικά με εκείνα που λήφθηκαν με χρήση της μοντελοποίησης λογιστικής παλινδρόμησης. Οι ίδιοι συγγραφείς πρότειναν τη χρήση γενετικών αλγορίθμων νευρωνικών δικτύων για την πρόβλεψη της πνευμονίας που αποκτάται από την κοινωνία.

Οι παραπάνω λύσεις είναι σε θέση να εμπλέξουν και να αναλύσουν τα δεδομένα με αποτέλεσμα την πρόβλεψη, αλλά δεν είναι σε θέση να περιγράψει τη σχέση μεταξύ των μεταβλητών απόφασης, οι οποίες, στις περισσότερες περιπτώσεις, έχουν ένα ποιοτικό χαρακτήρα. Πρόσφατα, μια προσέγγιση ΑΓΧ χρησιμοποιείται για να διαμορφώσει τη λήψη αποφάσεων στο πρόβλημα της αξιολόγησης της σοβαρότητας των πνευμονικών λοιμώξεων. Η τεχνική ΑΓΧ ερευνήθηκε για τη μοντελοποίηση της αιτιότητας που συνδέεται με ιατρικές γνώσεις, χρησιμοποιώντας τις γνώσεις ειδικών και κλινικές οδηγίες, δίνοντας έτσι μια απόφαση σχετικά με το επίπεδο της σοβαρότητας των πνευμονικών λοιμώξεων.

Μαθηματική Αναπαράσταση:

Η πρόβλεψη της πνευμονικής λοίμωξης γίνεται συνήθως σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και κατά συνέπεια απαιτεί πρόσθετη προσπάθεια. Για υποστηριχθεί αυτή η πρόβλεψη, προτείνεται η εφαρμογή ενός ΑΓΧ που δημιουργείται επί τη βάση των πραγματικών ιατρικών δεδομένων. Προκειμένου να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα των πολλαπλών βημάτων πρόβλεψης, μια νέα εξίσωση για τον υπολογισμό των σφαλμάτων προβλέψεων προτείνεται:

$$e = \frac{1}{(k-h) \cdot n} \cdot \sum_{s=1}^{k-h} \sum_{i=1}^n |d_i(t_{s+h}) - a_i(t_{s+h})|$$

Η παραπάνω εξίσωση υπολογίζει το μέσο σφάλμα πρόβλεψης για τον δεδομένο ΑΓΧ και της αλληλουχίας με μήκος k . Η τιμή του h είναι μια παράμετρος εισόδου που δίνεται από το χρήστη (ειδικός) και καθορίζει τον απαιτούμενο ορίζοντα πρόβλεψης. Η ιατρική εφαρμογή μας δίνεται από τους γιατρούς. Η αξία του όρου $d_i(t_s + h)$ είναι γνωστή από την ακολουθία εκπαίδευσης. Η αξία του όρου $a_i(t_s + h)$ παράγεται από τον ΑΓΧ με βάση τις αρχικά προβλεπόμενες $A(t_s + h - 1)$.

Αλγόριθμος υπολογισμού με χρήση πολλαπλών βημάτων:

1. Τυχαία αρχικοποίηση του αρχικού πληθυσμού και αρχικοποίηση του μετρητή ($i=1$).
2. Υπολογισμός του πληθυσμού σύμφωνα με την πιο πάνω εξίσωση.
3. Έλεγχος της συνθήκης τερματισμού. Αν ικανοποιείται τότε ο αλγόριθμος σταματά.
4. Επιλέξτε τα άτομα για την αναπαραγωγή, με πιθανότητα ανάλογα με την καταλληλότητά τους σε σχέση με την εξίσωση, όσο καλύτερο είναι το άτομο, τόσο πιο πιθανό είναι να επιλεγεί για την αναπαραγωγή.
5. Εκτελέστε την αναπαραγωγή με τη χρήση της μετάλλαξης και φορέων, έτσι ώστε ο νέος πληθυσμός να αναπαραχθεί.
6. Αντικατέστησε τον παλιό πληθυσμό με τον νέο.
7. Αύξησε τον μετρητή i ($i=i+1$) και πήγαινε στο βήμα 2.

Για το σκοπό των πειραμάτων, η συνθήκη τερματισμού προσδιορίζεται από την ταυτοποίηση της σύγκλισης της εξέλιξης. Ο αλγόριθμος σταματά όταν η υπολογιζόμενη τιμή της εξίσωσης του καλύτερου ατόμου, κατά τις προηγούμενες i_{prev} επαναλήψεις, δεν είχε αυξηθεί πάνω από την τιμή της παραμέτρου δ . Επιπλέον, εάν η μέθοδος δεν συγκλίνει, ένα δεύτερο κριτήριο λαμβάνεται υπόψιν και είναι ένας μέγιστος αριθμός επαναλήψεων i_{max} . Η εκμάθηση των χωριστών πολλαπλών βημάτων του ΑΓΧ για κάθε h είναι υπολογιστικά πιο ακριβή από ότι στην περίπτωση του ΑΓΧ που λειτουργεί ένα-ένα βήμα κάθε φορά.

Συμπεράσματα:

Σε αυτή την εφαρμογή, μια νέα προσέγγιση με πολλαπλά βήματα για την εξελικτική εκμάθηση των Ασαφών Γνωστικών Χαρτών προτείνεται. Το πλεονέκτημα

της χρήσης μιας προσέγγισης με πολλαπλά βήματα είναι τέτοιο έτσι ώστε ο προκύπτων ΑΓΧ να έχει βελτιστοποιηθεί για την μακροπρόθεσμη πρόβλεψη. Το μοντέλο πρόβλεψης της πνευμονίας δέχθηκε μάθηση με βάση τα πραγματικά κλινικά και εργαστηριακά δεδομένα. Λόγω της βελτιωμένης βελτιστοποίησης του ΑΓΧ που ήταν δυνατή χρησιμοποιώντας την προσέγγιση με έρευνα, επιτεύχθηκαν χαμηλότερα σφάλματα πρόβλεψης. Τα πειραματικά αποτελέσματα για την πρόβλεψη της κατάστασης των πνευμονικών λοιμώξεων απέδειξαν ότι ο νέος εξελικτικός ΑΓΧ, ο οποίος βασίζεται στην προσέγγιση με πολλαπλά βήματα, μπορεί να προσομοιώσει πλήρως τόσο τη δυναμική φύση του συστήματος όσο και τις εσωτερικές αλλαγές. Έχουν δείξει ότι είναι δυνατόν να ληφθεί μια καλή ποιότητα πρόβλεψης για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα πρόβλεψης σε όλη την προτεινόμενη μέθοδο. Μελλοντικά, οι προσπάθειες επικεντρώνονται στην περαιτέρω ενίσχυση του προτεινόμενου συστήματος με τη βελτιστοποίηση των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται καθώς και την αξιολόγηση του προτεινόμενου συστήματος με περισσότερες κλινικές περιπτώσεις και πραγματικά δεδομένα. Επίσης, οι δυνατότητες γενίκευσης του ΑΓΧ είναι ένα έργο που χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση.

4.4 Μακροπρόθεσμη πρόγνωση του καρκίνου του προστάτη

Πρόβλημα:

Ο καρκίνος του προστάτη είναι η πιο κοινή μορφή μη-δερματικού καρκίνου και η δεύτερη κύρια αιτία θανάτου από καρκίνο στους άνδρες στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής [40]. Το 2006, υπολογίστηκε ότι πάνω από 234.000 άνδρες διαγνώστηκαν με καρκίνο του προστάτη και σε περισσότερες από 27.000 περιπτώσεις, ήταν η αιτία του θανάτου. Επειδή ο καρκίνος του προστάτη είναι διαδεδομένος σε πολλές χώρες και παρουσιάζει ένα ευρύ φάσμα επιθετικότητας, διαφορετικές μεθόδους αγωγής έχουν αναπτυχθεί, και οι προτιμώμενες μέθοδοι για την ανίχνευση και θεραπεία του είναι αμφιλεγόμενες. Η επικράτηση του καρκίνου του προστάτη αυξάνεται εντυπωσιακά με την ηλικία. Μελέτες αυτοψίας έχουν καταγράψει μικροσκοπικές εστίες καρκίνου του προστάτη στο περίπου ένα-τέταρτο με ένα-τρίτο των ανδρών, όταν βρίσκονται στα 40 με 50 τους χρόνια και περισσότερο από τρία-τέταρτα στα 90 τους χρόνια. Ωστόσο, ένας δυσανάλογα χαμηλότερος, αλλά εξίσου σημαντικός αριθμός των ανδρών (περίπου ένας

στους έξι) έχουν διαγνωστεί με καρκίνο του προστάτη καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής τους. Λόγω της αποτελεσματικής θεραπείας ορισμένων μορφών καρκίνου του προστάτη και το σχετικό βιολογικό παράγοντα που αφορά τη διάρκεια ζωής σε ορισμένους, μόνο το 16% περίπου των ανδρών διαγνώστηκαν με καρκίνο του προστάτη και τελικά απεβίωσαν από αυτόν.

Από τη δεκαετία του 1980, οι μέθοδοι διάγνωσης του κλινικά εντοπισμένου καρκίνου του προστάτη έχουν αλλάξει. Η ευρεία προβολή με ορό ειδικού αντιγόνου του προστάτη (PSA) και η ψηφιακή πρωκτική εξέταση (DRE), επέτρεψαν την έγκαιρη ανίχνευση. Συγκεκριμένα, τώρα γίνεται ανάλυση και αξιολόγηση της πρόβλεψης της κατάστασης του ασθενούς, σύμφωνα με την αλλαγή του πλάνου θεραπείας που προτείνει ένας γιατρός. Μεταξύ των διαφόρων παραμέτρων που λαμβάνονται, η επιλογή των έξι από αυτών, για κάθε τρίμηνο αποφασίστηκε από τους ουρολόγους ότι είναι επαρκής. Οι παραμέτροι που επιλέχθηκαν για τους σκοπούς της παρούσας εφαρμογής ήταν: αιματοκρίτης (HCT), τα λευκά αιμοσφαίρια (WBC), ειδικό αντιγόνο του προστάτη (PSA free), το σύνολο του ειδικού αντιγόνου του προστάτη (PSA total), αναλογία του PSA (δηλ. PSA free / PSA total) και το οξύ της φωσφατάσης του προστάτη (PAP).

Ένας γιατρός αξιολογεί αυτές τις τιμές συγκρίνοντάς τις με τις κρίσιμες τιμές όπως φαίνεται στο σχήμα πιο κάτω, και οι τιμές λαμβάνονται κατά τη διάρκεια προηγούμενων μετρήσεων, για να δοθεί μια σημαντική απόφαση για την αλλαγή του σχεδίου θεραπείας.

Concept	Observable	Critical values
c_1	HCT – hematocrit (o_1)	>28%
c_2	WBC – white blood cells (o_2)	>4000/dl
c_3	PSA free – free prostate specific antigen (o_3)	0.03 ng/dl
c_4	PSA total – total prostate specific antigen (o_4)	0.05 ng/dl
c_5	PSAf/PSAt – ratio PSA (o_5)	> 0.2
c_6	PAP – prostatic acidic phosphatase (o_6)	<3.5 ng/ml

Σχήμα 4.4.1. Παραμέτροι του ΑΓΧ που περιγράφουν τον καρκίνο του προστάτη

Έτσι, σε αυτήν την εφαρμογή, τα δεδομένα των HCT, WBC, PAP και PSA ορού δεδομένων, συμπεριλαμβανομένου του συνολικού επίπεδου PSA, του ρυθμού μεταβολής του PSA (η ταχύτητα του PSA και ο χρόνος διπλασιασμού), της πυκνότητας

του PSA (ο ορός του PSA / όγκος του προστάτη) και του ποσοστού του PSA στα ισόμορφα, χρησιμοποιήθηκαν για να προβλέψουν την κατάσταση του ασθενή μετά από ένα χρονικό διάστημα (περίπου από ένα έως τρία έτη). Ένα ανιχνεύσιμος ή αυξημένος ορός του PSA μετά τη θεραπεία είναι ένα σημαντικός παράγοντας για την αλλαγή ή όχι του σχεδίου θεραπείας του ασθενούς. Έτσι, σύμφωνα με αυτήν την πληροφορία, οι γιατροί προχώρησαν σε ένα νέο σχέδιο θεραπείας, ή διατήρησαν το προηγούμενο, μέχρι την επόμενη εξέταση του ασθενούς. Μετά από αυτήν την περίοδο τα εξεταζόμενα στοιχεία των ασθενών επιβεβαιώνουν την κατάστασή τους. Στοιχεία για 40 άνδρες ασθενείς που υπέστησαν στο παρελθόν καρκίνο του προστάτη συλλέχθηκαν και εξετάστηκαν σε μια αρχική μελέτη αξιολόγησης. Η ηλικία των ασθενών που εξετάστηκαν είχε μέσο όρο 55,3. Οι 22 από αυτούς υποβλήθηκαν σε ριζική προστατεκτομή, εν οι υπόλοιποι 18 δεν έκαναν. Η παράμετρος της ηλικίας και των ασθενειών που αφορούν τους πνεύμονες ή προβλήματα στην καρδιά, καθοδηγεί τους γιατρούς σε μια απόφαση για την αποφυγή της χειρουργικής επέμβασης. Κανένας από τους ασθενείς δεν έχει υποβληθεί σε θεραπεία με ακτινοβολία. Το πρωτόκολλο θεραπείας που ακολούθησαν οι γιατροί, ήταν το προτεινόμενο από την Ευρωπαϊκή Ένωση των Ουρολόγων, με βάση τα αντιανδρογόνα LHRH για την πλήρη στέρηση των ανδρογόνων και αμινογλουτεθιμίδης σε εκείνους που έπασχαν από καρκίνο του προστάτη σχετιζόμενο με ορμόνες. Το πιο κάτω σχήμα απεικονίζει τα μετρημένα δεδομένα σε κάθε τρίμηνο για το χρονικό διάστημα δύο ετών από ένα τυχαία επιλεγμένο ασθενή από το διαθέσιμο σύνολο δεδομένων.

Time	Hct	WBC	PSA free	PSA total	PSAf/PSAt	PAP
1 quarter	41.7	6000	0.21	5.64	0.037234	1.7
2 quarter	42	6500	0.15	3.1	0.0483871	1
3 quarter	41.1	6700	0.1	1.5	0.0666667	0.6
4 quarter	40.6	6210	0.03	0.11	0.2727273	0.6
5 quarter	40	6100	0.03	0.05	0.6	0.5
6 quarter	42.6	7550	0.03	0.05	0.6	0.5
7 quarter	44	6000	0.03	0.05	0.6	0.5
8 quarter	42.1	6200	0.03	0.05	0.6	0.5

Σχήμα 4.4.2. Δείγματα ιατρικών δεδομένων

Κύριο μέλημα αυτής της εφαρμογής ήταν να επικεντρωθεί στις διακυμάνσεις του απλού PSA και του ολικού, έτσι ώστε να προβλέψει την κατάσταση του ασθενούς, σύμφωνα με τις πραγματικές μετρήσεις, μετά από κατάλληλη θεραπεία για την περίοδο των 8 τριμήνων (δύο ετών).

Μαθηματική Αναπαράσταση:

$$(1) \quad e = \frac{1}{(m - h_{\max}) \cdot h_{\max} \cdot n} \cdot \sum_{s=1}^{m-h_{\max}s+h_{\max}} \sum_{k=s+1}^{h_{\max}} \sum_{j=1}^n |a(c_j, t_k) - a'(c_j, t_k)|$$

όπου οι παραμέτροι m και h είναι τα μήκοι ολόκληρων των δοκιμαστικών προτάσεων, το $t \in \{0, 1, 2, \dots, K\}$, το n είναι ο αριθμός των παραμέτρων, το c_j είναι η παρόν παράμετρος και το $a(c_j, t_k)$ είναι η τιμή της παραμέτρου τη δεδομένη χρονική στιγμή. Στην πραγματικότητα, η πιο πάνω εξίσωση συσσωρεύει και βρίσκει κατά μέσο όρο τα σφάλματα πρόβλεψης που γίνονται από τον AGX κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου $t_1, t_2, \dots, t_m$ και η πρόβλεψη επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας $h_{\max}$ βήματα για επαναληπτική κλήση της εξίσωσης. Η τιμή της $h_{\max}$ προσδιορίζεται από ειδικούς σύμφωνα με τα πειραματικά δεδομένα που περνούν ως είσοδοι και την κατάσταση του προβλήματος. Συνοψίζοντας, προτείνεται η χρήση της πιο πάνω εξίσωσης για τον υπολογισμό λαθών πρόβλεψης και σε συνδυασμό με την πιο κάτω συνάρτηση καταλληλότητας, χρησιμοποιείται για το σκοπό της εξελικτικής μάθησης του AGX:

$$(2) \quad \text{fitness (FCM)} = \frac{\alpha}{\beta e + 1}$$

όπου α και β είναι οι παράμετροι και το e είναι το λάθος πρόβλεψης.

Αλγόριθμος υπολογισμού:

Ένα γενικό σχήμα του εφαρμοζόμενου εξελικτικού αλγορίθμου παρουσιάζεται πιο κάτω:

1. Αρχικοποίησε τυχαία τον πρώτο πληθυσμό από γονότυπους P_x , όπου $x=1$.

2. Έλεγχε την συνθήκη τερματισμού. Αν ικανοποιείται, τερματίζει ο αλγόριθμος.
3. Επέλεξε τους γονότυπους για αναπαραγωγή και μετακίνησέ τους στον καινούριο πληθυσμό P_{x+1} .
4. Χρησιμοποίησε του συντελεστές μετάλλαξης και διασταύρωσης για να παραχθούν οι απογόνους.
5. Συμπλήρωσε τον πληθυσμό P_{x+1} με τους νέους απογόνους.
6. Αξιολόγησε κάθε γονότυπο με την συνθήκη καταλληλότητας (2) σε συνδυασμό με την εξίσωση (1).
7. Αύξησε τον μετρητή $x=x+1$ και πήγαινε στο βήμα 2.

Η τερματική κατάσταση του αλγόριθμου καθορίζεται από την ταυτοποίηση της σύγκλισης της εξέλιξης. Ο αλγόριθμος σταματά όταν η τιμή της συνθήκης καταλληλότητας του καλύτερου γονότυπου κατά τη διάρκεια των προηγούμενων x_{prev} επαναλήψεων, δεν αυξάνεται περισσότερο από την τιμή της παραμέτρου δ . Λόγω της θεωρητικής στρογγυλοποίησης των σφαλμάτων πρόβλεψης (10-4), η αλλαγή της συνθήκης καταλληλότητας πιο κάτω από $\delta=10^{-4}$, δεν μπορεί να επηρεάσει τα λάθη που λαμβάνονται κατά την πειραματική δοκιμή του ΑΓΧ. Εάν η διαδικασία δεν εκτελείται όπως αναφέρεται εδώ, ένα δεύτερο κριτήριο για την διακοπή του αλγορίθμου ελέγχεται το οποίο σχετίζεται με τον αριθμό των επαναλήψεων. Ο αλγόριθμος σταματά μετά την επίτευξη του μέγιστου αριθμού επαναλήψεων $x_{max} = 10.000$.

Αποτελέσματα – Συμπεράσματα:

Μια βελτιωμένη έκδοση της εξελικτικής προσέγγισης των ΑΓΔ, λαμβάνοντας υπόψη μια παράμετρο που καθορίζει ένα μακροχρόνιο διάστημα πρόβλεψης, μελετήθηκε σε αυτή την εφαρμογή και εφαρμόστηκε στην πρόβλεψη του καρκίνου του προστάτη. Ο παραγόμενος ΑΓΧ βασισμένος σε εξελικτική προσέγγιση, προβλέπει την κατάσταση του ασθενή μετά από ένα χρονικό διάστημα που ακολουθήθηκε ένα προτεινόμενο σχέδιο θεραπείας για αυτόν. Η προτεινόμενη λύση επικυρώθηκε σε μια αρχική μελέτη με πραγματικά ιατρικά δεδομένα. Η λειτουργία της συνάρτησης καταλληλότητας του σύνθετου αλγόριθμου μάθησης επέτρεψε μια καλύτερη βελτιστοποίηση του ΑΓΧ για το έργο της μακροπρόθεσμης πρόβλεψης σε πολλές διαφορετικές χρονικές στιγμές. Τα υπολογιζόμενα σφάλματα πρόβλεψης ήταν πολύ μικρά για τον ΑΓΧ λόγω της βελτιωμένης βελτιστοποίησης του ΑΓΧ που επιτυγχάνεται

χρησιμοποιώντας την εξελικτική προσέγγιση. Τα χαμηλότερα σφάλματα πρόβλεψης τονίζουν τη λειτουργικότητα της υπό έρευνας μεθοδολογίας σε πραγματικά ιατρικά προβλήματα. Η πειραματική ανάλυση δικαιολογεί το πλεονέκτημα που υπάρχει, κάνοντας χρήση της προτεινόμενης προσέγγισης για τη μακροπρόθεσμη πρόγνωση του καρκίνου του προστάτη. Μελλοντικά, οι προσπάθειες θα πρέπει να επικεντρωθούν στην περαιτέρω ενίσχυση του προτεινόμενου συστήματος με τη βελτιστοποίηση των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται, καθώς και την αξιολόγηση του προτεινόμενου συστήματος χρησιμοποιώντας περισσότερες κλινικές περιπτώσεις.

4.5 Αναγνώριση ικανοποίησης του χρήστη από smartphones

Πρόβλημα:

Επιστημονικές έρευνες δείχνουν ότι το περιεχόμενο της ικανοποίησης του χρήστη από τα σύγχρονα κινητά τηλέφωνα (smartphones), περιλαμβάνει έναν αριθμό διαφορετικών παραγόντων [41]. Οι πιο αντιπροσωπευτικοί από αυτούς τους παράγοντες είναι το κόστος της αγοράς, η εξοικείωση με την τεχνολογία, η ευκολία της χρήσης, η γρήγορη επικοινωνία, η σύνδεση με τα κοινωνικά δίκτυα και η ευκολία πρόσβασης στο διαδίκτυο, όπου κι αν βρίσκεσαι όποτε το θέλεις. Σε μια πρόσφατη αρχική μελέτη, οι Park και Lee, διερεύνησαν τους παράγοντες που επηρεάζουν μεγαλύτερη αποδοχή των smartphones σε σχέση με την ικανοποίηση του χρήστη. Μέσω στατιστικής ανάλυσης ανέφεραν ότι η άμεση συνδεσιμότητα, η σχετική απόλαυση και η απλοποιημένη διεπαφή χρήστη επηρεάζουν περισσότερο την ικανοποίηση των χρηστών. Όσον αφορά το αντιληπτό στρες για τη συσκευή, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι χρήστες των smartphones, συχνά είναι άτομα που ακολουθούν την τεχνολογία και βρίσκουν λιγότερο δύσκολη την προσπάθεια να χρησιμοποιήσουν νέες συσκευές από ότι οι χρήστες με χαμηλή εξοικείωση με τις νέες τεχνολογίες. Αυτή η εφαρμογή προτείνει την υιοθέτηση των ΑΓΔ για την πλησιάσει ένα παρόμοιο στόχο της έρευνας.

Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε μια προσέγγιση με ΑΓΧ, προκειμένου να αντιπροσωπεύει τις αιτιώδεις σχέσεις μεταξύ των παραγόντων που επηρεάζουν ικανοποίηση των χρηστών για τα smartphones και όχι μία στατιστική τεχνική (π.χ. ανάλυση παλινδρόμησης ή μοντέλο δομικών εξισώσεων), είναι ότι οι ΑΓΧ συνήθως παρέχουν πιο ποιοτικές πληροφορίες για κάθε σχέση «αιτίας-συνέπειας» και κάθε

αποτίμηση σχέσης μπορεί εύκολα να αλλάξει και να ελεγχθεί μέσω ενός μοντέλου προσομοίωσης. Ένα μοντέλο ΑΓΧ γίνεται δυναμικό με την ενεργοποίηση επιδράσεων των μεταβολών στους παράγοντες (κόμβοι), οι οποίοι με τη σειρά τους μπορούν να προκαλέσουν (μέσω ακμών) αλλαγές σε άλλους παράγοντες, έως ότου μια κατάσταση ισορροπίας να επιτευχθεί.

Μοντέλο Ασαφούς Γνωστικού Χάρτη για το πρόβλημα:

Αυτή η εφαρμογή δείχνει ότι ένας ΑΓΧ μπορεί να αντιπροσωπεύει αποτελεσματικά τους παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοχή ενός προϊόντος που σχετίζεται με την τεχνολογία, όπως τα smartphones, από τους τρέχοντες αλλά και μελλοντικούς χρήστες του. Η προτεινόμενη προσέγγιση έχει ως στόχο να προσδιορίσει όχι μόνο τις επιπτώσεις των παραγόντων στην ικανοποίηση των χρηστών από τα smartphones, αλλά και να ποσοτικοποιήσει τυχόν θετικές ή αρνητικές αιτιώδεις σχέσεις μεταξύ αυτών των παραγόντων. Για τη σύνθεση του ΑΓΧ, ακολουθείται μια μέθοδος που προτείνεται από τον Schneider και εφαρμόστηκε από τον Rodriguez-Repiso για τους παράγοντες επιτυχίας στη μοντελοποίηση των έργων πληροφορικής, καθώς και από τον Fekri για την ανάλυση των κρίσιμων παραγόντων επιτυχίας σε έργα ανάπτυξης νέων προϊόντων. Για την εφαρμογή της μεθόδου σε μια αρχική μελέτη ερευνώντας το περιεχόμενο της ικανοποίησης των χρηστών από τα smartphones, ένα σύνολο παραγόντων ικανοποίησης αρχικά προέρχεται από τη βιβλιογραφία. Στη συνέχεια, ένα ερωτηματολόγιο δημιουργήθηκε και διαδόθηκε σε τυχαία επιλεγμένους τρέχοντες χρήστες smartphones αλλά και σε μελλοντικούς χρήστες. Οι αριθμητικές αξιολογήσεις για τους παράγοντες μετατράπηκαν σε ασαφείς αριθμούς που αντιπροσώπευαν το βαθμό ικανοποίησης, όπως αυτή εκφράστηκε από κάθε άτομο, από κάθε αντίστοιχο συντελεστή. Πλεονεκτήματα των αιτιωδών σχέσεων μεταξύ ζευγαριών από παράγοντες προήλθαν, υπολογίζοντας μέσες αποστάσεις και τις ομοιότητες / διαφορές μεταξύ αυτών των πινάκων από ασαφείς αριθμούς. Ο τελικός ΑΓΧ αναφέρει ποιοι είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν περισσότερο την ικανοποίηση των χρηστών και ποιες είναι οι σχέσεις μεταξύ αυτών των παραγόντων.

Ο ΑΓΧ εδώ κατασκευάστηκε από τα στοιχεία και τις πεποιθήσεις που συγκεντρώθηκαν από ένα μεγάλο αριθμό ενδιαφερομένων οι οποίοι ξεχωριστά αξιολόγησαν τις προτιμήσεις τους σχετικά με το πόσο σημαντικός είναι ο κάθε παράγοντας. Στην περίπτωση αυτή, δεν υπάρχει ανάγκη για έναν χρήστη να

αξιολογήσει την δύναμη κάθε συσχέτισης, ούτε καν χρειάζεται να αναγνωρίσει κάποια συσχέτιση. Οι τρέχοντες αλλά και οι μελλοντικοί χρήστες των smartphones καλούνται να εκφράσουν μόνο τις αξιολογήσεις τους σχετικά με τους παράγοντες που πιστεύουν ότι επηρεάζουν την ικανοποίηση τους. Αυτές οι αξιολογήσεις κατά συνέπεια μετατρέπονται σε ασαφείς τιμές εντός του διαστήματος $[0, 1]$, και τέσσερις πίνακες έχουν κατασκευαστεί εφαρμόζοντας υπολογισμούς για τις ομοιότητες / διαφορές μεταξύ των προτιμήσεων των ενδιαφερομένων. Αυτοί οι πίνακες είναι: ο αρχικός πίνακας (IMS), ο ασαφής πίνακας (FZMS), η ισχύς του πίνακα συσχετίσεων (SRMS) και ο τελικός πίνακας (FMS).

Είκοσι τέσσερις παράγοντες που επηρεάζουν την ικανοποίηση των χρηστών για τα smartphones προήλθαν από τη βιβλιογραφία. Αυτοί οι παράγοντες αφορούσαν χαρακτηριστικά των smartphones και παράγοντες ικανοποίησης, όπως η γρήγορη επικοινωνία, η πολυπλοκότητα, η αντιληπτή απόλαυση, η αποδοτικότητα και η ευκολία. Ένα online ερωτηματολόγιο διανεμήθηκε σε 48 άτομα. Μετά την αξιολόγηση της ποιότητας των απαντήσεων, 40 ερωτηθέντες (άνδρες: 26, γυναίκες: 14) επιλέχθηκαν τελικά. Όσον αφορά αυτά τα 40 άτομα, οι 28 ήταν ενεργοί χρήστες των smartphones και οι 12 ήταν μελλοντικοί πιθανοί χρήστες, πρόθυμοι να αγοράσουν μια συσκευή smartphone στο κοντινό μέλλον. Όλοι οι τρέχοντες αλλά και μελλοντικοί χρήστες είχαν ηλικίες από 20 μέχρι 30 χρονών. Πριν από τη διάδοση του ερωτηματολογίου, δύο ειδικοί του μάρκετινγκ για τα smartphone κλήθηκαν να προβούν σε ένα τεστ που έγινε προηγουμένως για να εξασφαλιστεί η κατασκευαστική και η εσωτερική εγκυρότητα των αποτελεσμάτων της έρευνας.

Στο πρώτο στάδιο της μεθόδου, δημιουργήθηκε ο πίνακας IMS. Είναι ένας 24×40 πίνακας, όπου το 24 είναι ο αριθμός των παραγόντων ικανοποίησης των smartphones και το 40 είναι ο αριθμός των ερωτηθέντων. Κάθε O_{ij} στοιχείο του πίνακα IMS αντιπροσωπεύει την τιμή που έδωσε ο j χρήστης σε έναν παράγοντα i (σε σχέση με την αντιληπτή επίδραση του παράγοντα i στην ικανοποίηση των χρηστών), μέσα σε μια κλίμακα από 0 έως 100. Το πιο κάτω σχήμα απεικονίζει ένα δείγμα του τελικού πίνακα IMS που παρουσιάζει τις αξιολογήσεις / προτιμήσεις των 12 (από τους 40) χρηστών σε τέσσερις παράγοντες, ονομαστικά είναι η ποιότητα των υπηρεσιών, οι υπηρεσίες 3G, η αντιληπτή απόλαυση, και η διαθέσιμη μνήμη στη συσκευή:

Success Factors	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Service quality	80	80	80	60	65	75	70	60	80	70	80	50
3G (third generation) services	90	90	95	70	75	85	80	80	90	80	90	60
Perceived enjoyment	70	10	40	60	50	40	30	30	50	50	60	40
Smartphone memory	30	40	30	50	70	65	60	70	50	30	70	70

Σχήμα 4.5.1. Δείγμα του πίνακα IMS

Οι χρήστες αξιολόγησαν τις υπηρεσίες 3G ως βασικό παράγοντα για την ικανοποίησή τους, δεδομένου ότι η πλειοψηφία από αυτούς έδωσε σε αυτόν τον παράγοντα τιμές από 50 έως 100. Η ποιότητα των υπηρεσιών είναι επίσης ζωτικής σημασίας για την ικανοποίηση των χρηστών, επειδή βαθμολογήθηκε με τιμές από 40 έως 90. Οι παράγοντες της αντιληπτής απόλαυσης και της μνήμης φαίνεται να είναι λιγότερο σημαντικοί για την ικανοποίηση των ερωτηθέντων.

Στο δεύτερο στάδιο, γίνεται η ασαφοποίηση του πίνακα IMS με αποτέλεσμα τον πίνακα FZMS. Ο πίνακας FZMS περιλαμβάνει ασαφείς τιμές, κανονικοποιημένες εντός των τιμών $[0, 1]$, οι οποίες αντιπροσωπεύουν αντίστοιχα ποιότητες των μελών της κάθε ατομικής προτίμησης σύμφωνα με κάθε παράγοντα ικανοποίησης. Κάτω και άνω κατώφλια εισήχθησαν για να ασαφοποιηθούν τις τιμές του πίνακα IMS, έτσι ώστε να διατηρηθεί η λογική ακεραιότητα των προτιμήσεων των χρηστών. Πολύ χαμηλή βαθμολογία (δηλ., τιμές του IMS μικρότερες ή ίσες με 20) μετατράπηκαν σε 0 και πολύ υψηλές βαθμολογίες (δηλ., τιμές του IMS μεγαλύτερες από ή ίσες με 80) μετατράπηκαν σε 1. Ως εκ τούτου, αποφασίστηκε ότι οι αξιολογήσεις από 0 έως 20 σημαίνουν ότι οι χρήστες θεωρούν τη συμβολή του αντίστοιχου παράγοντα ότι είναι πολύ χαμηλή για την ικανοποίησή τους, ενώ οι βαθμολογίες μεταξύ 80 και 100 σημαίνει ότι οι ερωτηθέντες θεωρούν τη συμβολή του αντίστοιχου παράγοντα πολύ υψηλή για την ικανοποίησή τους. Οι υπόλοιπες τιμές του IMS ασαφοποιήθηκαν από τα ακόλουθα βήματα: (i) Βρείτε τη μέγιστη τιμή $MAX(O_{iq})$ ($1 \leq q \leq 40$) σε κάθε γραμμή i ($1 \leq i \leq 24$) του IMS και τοποθετήστε 1 σε αυτό. (ii) Βρείτε την ελάχιστη τιμή $MIN(O_{iq})$ σε κάθε γραμμή i του IMS και τοποθετήστε 0 σε αυτό. (iii) Σχεδιάστε αναλογικά κάθε τιμή σε ένα βάρος στο διάστημα $[0, 1]$, το οποίο είναι ίσο με $(O_{ij} - MIN(O_{iq})) / ((MAX(O_{iq}) - MIN(O_{iq}))$. Στο πιο κάτω σχήμα απεικονίζεται ένα δείγμα του πίνακα FZMS που δείχνει τις αντίστοιχες ασαφείς τιμές των αξιολογήσεων που παρουσιάζονται στο δείγμα από τον IMS. Για παράδειγμα, στη γραμμή του IMS που παρουσιάζονται οι βαθμολογίες της διαθέσιμης μνήμης για smartphones (σε σχέση με την ικανοποίηση του

χρήστη), η αξία των 70, που δίνεται από τον 5ο χρήστη, μετατράπηκε σε μια ασαφή τιμή ίση με $(70-20) / (80-40) = 0.83$:

Success Factors	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Service quality	1.00	1.00	1.00	0.50	0.63	0.88	0.75	0.50	1.00	0.75	1.00	0.25
3G (third generation) services	1.00	1.00	1.00	0.67	0.83	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33
Perceived enjoyment	0.83	0.00	0.33	0.67	0.50	0.33	0.17	0.17	0.50	0.50	0.67	0.33
Smartphone memory	0.17	0.33	0.17	0.50	0.83	0.75	0.67	0.83	0.50	0.17	0.83	0.83

Σχήμα 4.5.2. Δείγμα του πίνακα FZMS

Το τρίτο στάδιο ήταν να υπολογιστεί ο βαθμός ομοιοτήτων / διαφορών μεταξύ οποιοδήποτε δύο αξιολογήσεων των παραγόντων ικανοποίησης, δηλαδή οποιεσδήποτε δύο γραμμές i και j ασαφών τιμών από τον πίνακα FZMS. Το αποτέλεσμα αυτού του σταδίου ήταν ο πίνακας 24×24 SRMS. Κάθε στοιχείο στην S_{ij} SRMS είναι ένα ασαφές βάρος στο διάστημα $[-1, 1]$, που αντιπροσωπεύει τη δύναμη για (πιθανή) σχέση μεταξύ του παράγοντα i και του παράγοντα j , συνοδευόμενη από ένα θετικό ή αρνητικό πρόσημο. Υπάρχουν τρεις περιπτώσεις: (i) το $S_{ij} > 0$ υποδηλώνει μια άμεση (θετική) σχέση μεταξύ του παράγοντα i και του παράγοντα j (δηλαδή, αυξάνοντας τον παράγοντα i έχουμε ως αποτέλεσμα ο παράγοντας j να αυξηθεί). (ii) το $S_{ij} < 0$ υποδεικνύει έναν αντίστροφη (αρνητική) σχέση μεταξύ του παράγοντα i και του παράγοντα j (δηλαδή, αυξάνοντας την τιμή του παράγοντα i , οδηγούμαστε σε μία μείωση της τιμής του παράγοντα j). (iii) το $S_{ij} = 0$ δείχνει ότι δεν υπάρχει σχέση μεταξύ των παραγόντων i και j . Ο πίνακας SRMS παρουσιάζει τη δύναμη της σχέσης μεταξύ οποιουδήποτε ζεύγους από τους 24 παράγοντες ικανοποίησης.

Στο τέταρτο στάδιο, θα έπρεπε να θεωρηθεί ότι δεν είναι έγκυρες όλες οι σχέσεις στον πίνακα SRMS από την άποψη της αιτιότητας, δεδομένου ότι μπορεί δύο σειρές στον SRMS να συσχετίζονται από σύμπτωση. Για να καθαρίσουμε τον πίνακα SRMS και να έχουμε μόνο (από την άποψη της αιτιότητας) έγκυρες σχέσεις, δύο ειδικοί του smartphone μάρκετινγκ είχαν από κοινού συνέντευξη και επικύρωσαν κάθε ύπαρξη αιτιώδους σχέσης. Τα αποτελέσματα των αποφάσεων των ειδικών αποτυπώθηκαν στον πίνακα FMS (δηλαδή ένα δείγμα του SRMS) που περιέχει μόνο τα ασαφή βάρη του πίνακα SRMS που αντιπροσωπεύουν τις σχέσεις αιτιότητας μεταξύ των παραγόντων που επηρεάζουν την ικανοποίηση των χρηστών. Στην πραγματικότητα, η γραφική παράσταση της FMS δόθηκε υπό την μορφή ενός ΑΓΧ όπως φαίνεται στο σχήμα 4.5.3,

που δείχνει μια ολοκληρωμένη εικόνα των παραγόντων ικανοποίησης, πώς σχετίζονται αιτιολογικά και τον βαθμό (ισχύ) της κάθε σχέσης.

Αποτελέσματα – Συμπεράσματα:

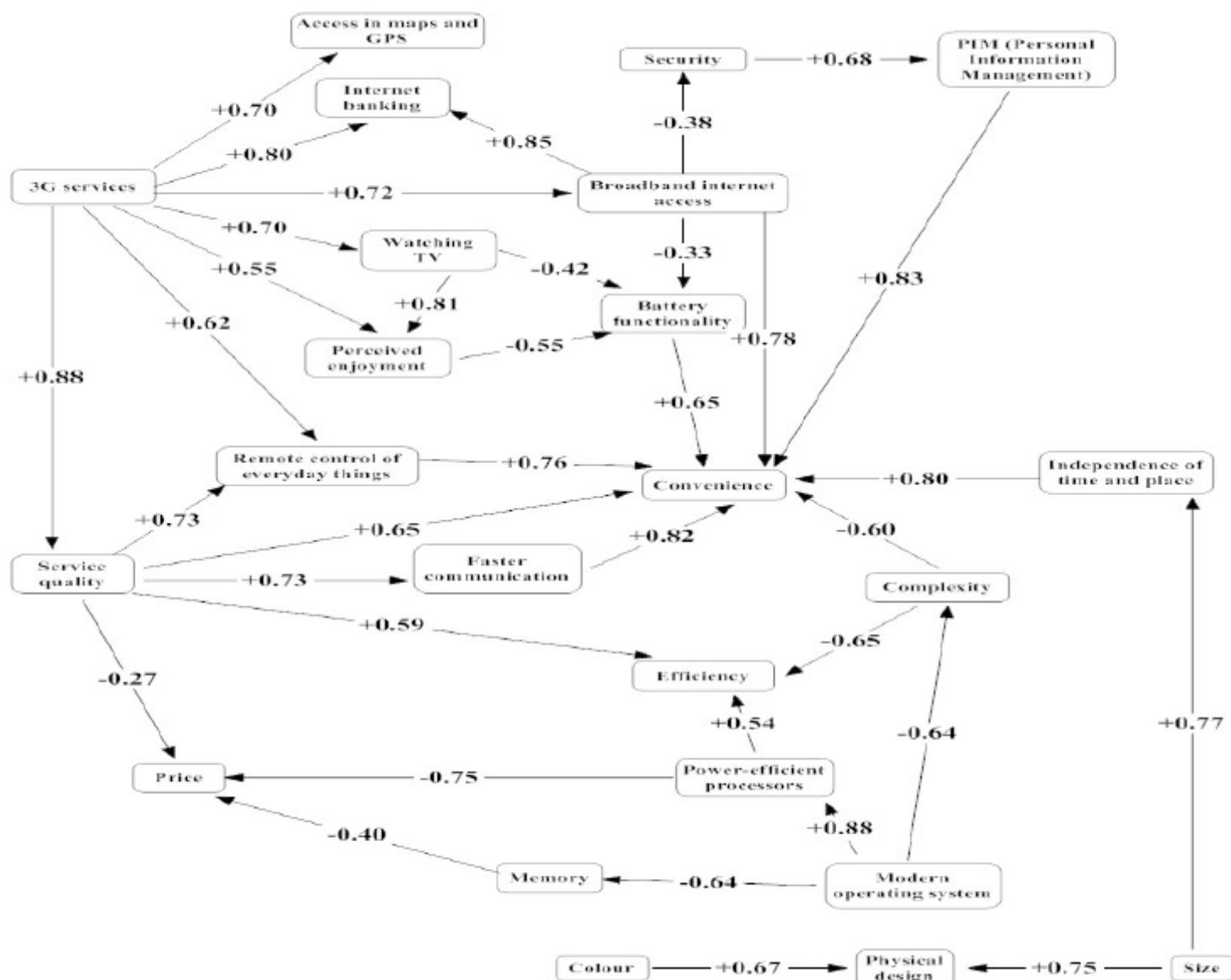
Στον ΑΓΧ του σχήματος 4.5.3 μπορεί να φανεί ότι οι υπηρεσίες 3G έχουν θετικό αντίκτυπο στην ποιότητα των υπηρεσιών (με βαθμό 0,88), η ευρυζωνική πρόσβαση στο Internet (0,72), η πρόσβαση σε χάρτες και GPS (0,70). Οι αντίστροφες σχέσεις μπορούν να εντοπίζονται επίσης στο χάρτη. Για παράδειγμα, η ποιότητα των υπηρεσιών, η διαθέσιμη μνήμη του τηλεφώνου και ο ενεργειακά αποδοτικός ενσωματωμένος επεξεργαστής προκαλούν αρνητικές επιπτώσεις στην τιμή του προϊόντος, με βαθμό ίσο με (-0.27), (-0.40), και (-0.75), αντίστοιχα.

Ο τελικός ΑΓΧ αποκαλύπτει ότι η αντιληπτή ευκολία χρήσης ήταν ο παράγοντας ικανοποίησης με τον υψηλότερο βαθμό της κεντρικότητας στον ΑΓΧ. Ως εκ τούτου, η ευκολία επηρεάζεται θετικά από παράγοντες, όπως η ταχύτερη επικοινωνία (0,82), η ανεξαρτησία του χρόνου και του τόπου (0.80), ο έλεγχος των καθημερινών πραγμάτων (0,76) και η ποιότητα των υπηρεσιών (0,65), ενώ επηρεάζεται αρνητικά από την πολυπλοκότητα της χρήση της συσκευής (-0.60). Επιπλέον, τα χαρακτηριστικά και οι λειτουργίες των smartphones που επηρεάζουν περισσότερο την ευκολία χρήσης είναι η διαχείριση των προσωπικών πληροφοριών (0.83), οι ευρυζωνικές υπηρεσίες και η πρόσβαση στο Internet (0,78) και η λειτουργικότητα της μπαταρίας (0.65).

Παρά το γεγονός ότι το δείγμα της αρχικής μελέτης είναι μάλλον περιορισμένο, το παραγόμενο ΑΓΔ είναι χρήσιμο για να παρουσιάζει τους παράγοντες που επηρεάζουν περισσότερο την αποδοχή των smartphones από τους τρέχοντες και μελλοντικούς χρήστες. Για παράδειγμα, ο ΑΓΧ αποκάλυψε ότι η ευκολία χρήσης είναι ένας σημαντικός παράγοντας ικανοποίησης και επηρεάζεται πολύ θετικά από παράγοντες, όπως η ταχύτερη επικοινωνία, η ανεξαρτησία από το χρόνο και τον τόπο και ο έλεγχος καθημερινών πραγμάτων. Ένας άλλος ενδιαφέρον ισχυρισμός είναι ότι η πολυπλοκότητα επηρεάζει αρνητικά τόσο την ευκολία χρήσης όσο και την αποτελεσματικότητα. Αυτές οι αρνητικές σχέσεις εντοπίστηκαν στον ΑΓΧ, ο οποίος περιλάμβανε τόσο τις προτιμήσεις των τρεχόντων όσο και των μελλοντικών χρηστών.

Ωστόσο, αυτές οι αρνητικές σχέσεις δεν προσδιορίζονται σε άλλο ΑΓΧ που διεξήχθη ακολουθώντας την ίδια μέθοδο και περιλάμβανε μόνο τις αξιολογήσεις των

σημερινών χρηστών smartphone. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει ότι η πολυπλοκότητα της χρήσης του smartphone είναι ένας αρνητικός παράγοντας για την ικανοποίηση που μπορεί να αποδοθεί μόνο σε χρήστες που δεν έχουν προηγούμενη εμπειρία με τη χρήση ενός smartphone. Διαπιστώθηκε επίσης ότι η πολυπλοκότητα είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει αρνητικά την ικανοποίηση των μελλοντικών χρηστών οι οποίοι είναι πρόθυμοι να αγοράσουν ένα smartphone. Αυτό είναι λογικό δεδομένου ότι όταν μια συσκευή είναι πολύ περίπλοκη στην χρήση, τότε οι άνθρωποι δεν είναι πρόθυμοι να την χρησιμοποιήσουν. Το συμπέρασμα αυτό διαφοροποιεί τα ευρήματα αυτής της μελέτης από άλλες ερευνητικές μελέτες, οι οποίες ισχυρίζονται ότι το άγχος που σχετίζεται με τη συσκευή και το άγχος όταν μαθαίνεις νέα δεδομένα για μια συσκευή δεν είναι σημαντικοί παράγοντες που αφορούν την ικανοποίηση των χρηστών smartphone. Πιστεύουμε ότι ο περιορισμός αυτών των μελετών είναι ότι ο στόχος τους αφορούσε μόνο υφιστάμενους χρήστες smartphone οι οποίοι συχνά είναι εξοικειωμένοι με την τεχνολογία και μπορούν να βρουν λιγότερο δύσκολο να χρησιμοποιούν τις νέες συσκευές, να μάθουν περισσότερα για την εφαρμογή και τη χρήση τους. Ωστόσο, η προσέγγισή αυτής της εφαρμογής είναι διαφορετική αφού για την κατασκευή του ΑΓΧ έχουμε εξετάσει προτιμήσεις από ένα μεγάλο σύνολο των χρηστών smartphone που αξιολόγησε ένα εκτεταμένο σύνολο των παραγόντων και όχι μόνο χαρακτηριστικά εύκολης χρήσης.



Σχήμα 4.5.3. Ένας ΑΓΧ που παρουσιάζει τους παράγοντες που επηρεάζουν την ικανοποίηση των χρηστών των smartphones

Μια μελλοντική κατεύθυνση της έρευνας είναι να επικυρώσει την προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε με το να έρθει σε επαφή με ένα μεγαλύτερο δείγμα χρηστών. Σχεδιάζεται επίσης να συγκριθεί ο τελικός ΑΓΧ με επαυξημένο ΑΓΧ που θα κατασκευαστεί από τη συλλογή επιμέρους ΑΓΔ που θα σχεδιαστούν από ειδικούς του μάρκετινγκ των smartphones.

Κεφάλαιο 5

ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ – ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΣΑΦΟΥΣ ΓΝΩΣΤΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ ΜΕ ΤΗΝ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΑΣΑΦΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

5.1	Επιλογή θέματος μοντελοποίησης	73
5.2	Περιγραφή υπάρχοντος συστήματος για μοντελοποίηση Ασαφούς Γνωστικού Χάρτη	74
5.3	Μεθοδολογία επέκτασης μοντέλου	78

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το θέμα του μοντέλου Ασαφούς Γνωστικού Συστήματος που δημιουργήσα, το υπάρχον σύστημα που υπήρχε και η μεθοδολογία την οποία ακολούθησα για να φτάσω στη επέκταση του μοντέλου.

5.1 Επιλογή θέματος μοντελοποίησης

Το θέμα που μου ανατέθηκε να υλοποιήσω στην παρούσα Ατομική Διπλωματική Εργασία είναι η υλοποίηση Ασαφούς Γνωστικού Χάρτη με την εισαγωγή μεθοδολογίας ασαφοποίησης των παραμέτρων.

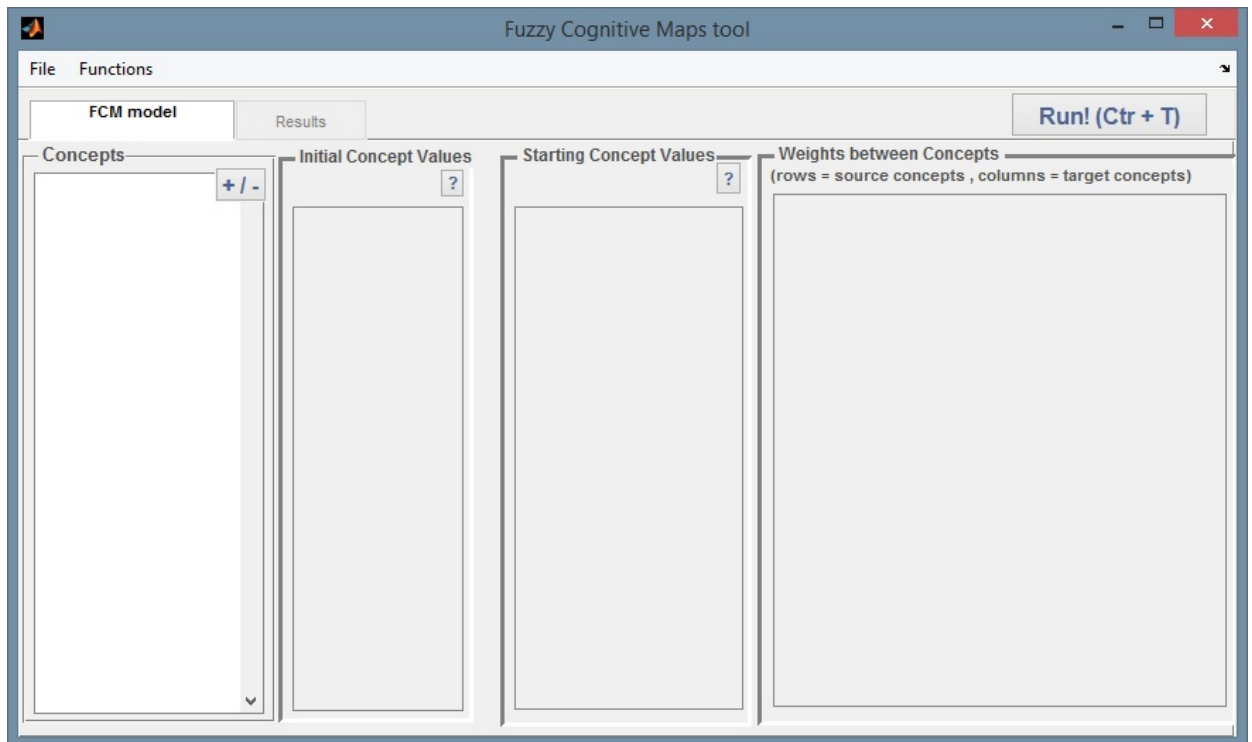
Όπως έχω αναφέρει σε προηγούμενο κεφάλαιο, για την δημιουργία ενός Ασαφούς Γνωστικού Συστήματος, μια από τις διαδικασίες που ακολουθούνται είναι και η ανάθεση αρχικών τιμών στις παραμέτρους του συστήματος, οι οποίες είναι αριθμητικές τιμές. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις, υπάρχουν μερικές παράμετροι που δεν μπορούν να ποσοτικοποιηθούν, να αναλυθούν και να περιγραφτούν με μια αριθμητική τιμή. Για παράδειγμα, αν αναφερόμαστε στην παράμετρο «άσχημες καιρικές συνθήκες» στο πρόβλημα «συνθήκες δρόμου εν ώρα αιχμής», εμείς θέλουμε κάποιος ειδικός στο θέμα να μας δώσει λεκτικές μεταβλητές για τις παραμέτρους που

τις καταλαβαίνει και ο ίδιος καλύτερα, όπως «λίγο», «μέτρια», «πολύ» κτλ., αντί τις συνηθισμένες αριθμητικές τιμές που αναθέτουμε ως αρχικές τιμές στις παραμέτρους. Σκοπός είναι να δούμε αν αυτή η τροπολογία του συστήματος βοηθήσει τους ειδικούς να ορίσουν πιο εύκολα τις παραμέτρους εφόσον αυτοί οι ορισμοί που θα δώσουν με λεκτικές μεταβλητές είναι πιο κατανοητοί από τις αριθμητικές τιμές και η «ασαφής» αυτή προσέγγιση είναι πιο κοντά στην ανθρώπινη λογική. Επιθυμούμε με αυτή τη μεθοδολογία το σύστημα να παρουσιάζει μια πιο θετική εικόνα.

Άρα ο σκοπός της παρούσας Ατομικής Διπλωματικής Εργασίας είναι η αναζήτηση ενός τρόπου επικοινωνίας του εργαλείου υλοποίησης Ασαφούς Γνωστικού Χάρτη με τους ειδικούς που να διευκολύνει την κατανόηση των ασαφών παραμέτρων με τη χρήση ασαφών συνόλων.

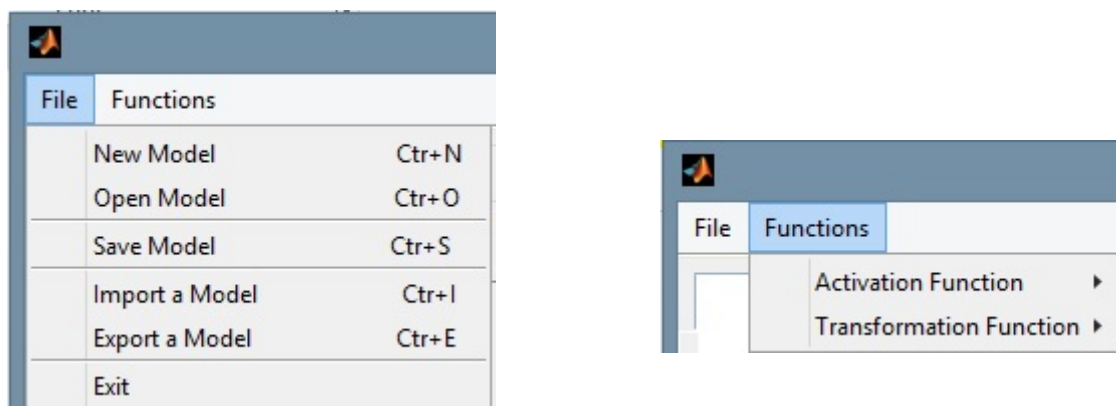
5.2 Περιγραφή υπάρχοντος συστήματος για μοντελοποίηση Ασαφούς Γνωστικού Χάρτη

Όπως έχω αναφέρει πιο πάνω, η δική μου δουλειά για αυτή την Ατομική Διπλωματική Εργασία αφορά επεξεργασία ενός υπάρχοντος συστήματος. Έτσι, προτού προχωρήσω σε λεπτομέρειες, θα αναλύσουμε πρώτα και θα εξηγήσουμε το υπάρχον σύστημα που υπάρχει ως γραφική διεπαφή χρήστη (GUI) στο περιβάλλον προγραμματισμού MATLAB. Η γενική αναπαράσταση του συστήματος φαίνεται πιο κάτω:



Σχήμα 5.2.1. Εργαλείο γραφικής διεπαφής χρήστη (GUI) που δέχεται ως είσοδο Ασαφείς Γνωστικούς Χάρτες και δίνει στην έξοδο τις τελικές τιμές των παραμέτρων

Από το σύστημα αυτό, έχουμε τη δυνατότητα να δημιουργήσουμε ένα νέο μοντέλο ασαφούς γνωστικού χάρτη είτε να ανοίξουμε ένα μοντέλο που έχουμε ήδη δημιουργήσει τύπου αρχείου MATLAB (.m). Μπορούμε να αποθηκεύσουμε το μοντέλο όταν έχουμε τελειώσει με τις αλλαγές μας. Ακόμη, μπορούμε να εισάγουμε από ένα αρχείο .txt ή ένα αρχείο .xls τις τιμές των βαρών που υπάρχουν μεταξύ των κόμβων, αλλά και να εξάγουμε στις ίδιες μορφές τις αλλαγές που θα κάνουμε εμείς. Όλα αυτά φαίνονται στο σχήμα πιο κάτω:



Σχήμα 5.2.2. Αριστερά βλέπουμε επιλογές εισαγωγής και εξαγωγής δεδομένων στο σύστημα και δεξιά επιλογή συνάρτησης ενεργοποίησης και μεταμόρφωσης

Στη συνέχεια μπορούμε να επιλέξουμε ποια συνάρτηση ενεργοποίησης θέλουμε για τους κόμβους του συστήματος και αν θέλουμε κάποια συνάρτηση μεταμόρφωσης, όπως φαίνεται στο σχήμα πιο πάνω. Ακολουθώντας, εισάγουμε στο σύστημα το αρχείο με τα βάρη μεταξύ των κόμβων και τις αρχικές τιμές των κόμβων με τα ονόματά τους, οπότε το σύστημα θα φαίνεται όπως πιο κάτω:

The screenshot shows the 'Fuzzy Cognitive Maps tool' window. It has a menu bar with 'File' and 'Functions'. Below the menu bar, there are two tabs: 'FCM model' (selected) and 'Results'. A 'Run! (Ctrl + T)' button is located on the right. The 'FCM model' tab is divided into four main sections:

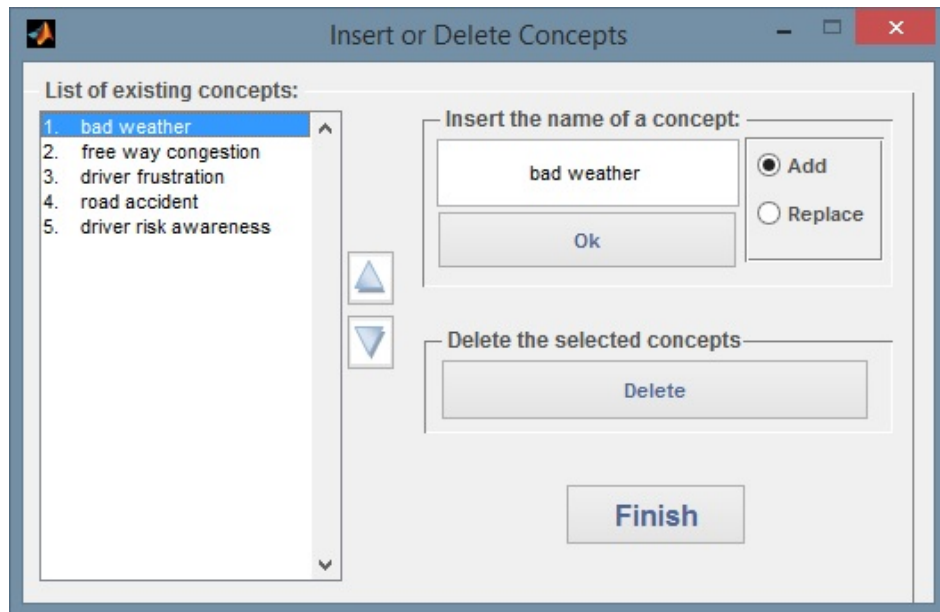
- Concepts:** A list of five concepts: 1. bad weather, 2. free way congestion, 3. driver frustration, 4. road accident, 5. driver risk awareness. There are '+' and '-' buttons next to the list.
- Initial Concept Values:** A table with 5 rows and 2 columns. All values are 0.5000.
- Starting Concept Values:** A table with 5 rows and 2 columns. All values are 0.5000 variable.
- Weights between Concepts:** A table with 5 rows and 5 columns. The values are:

	1	2	3	4	
1	0	0.5000	0	0.2000	
2	0	0	1	0	
3	0	0	0	1	
4	0	1	0	0	
5	0	0	0	-0.6000	

Σχήμα 5.2.3. Αναπαράσταση συστήματος μετά την είσοδο των δεδομένων

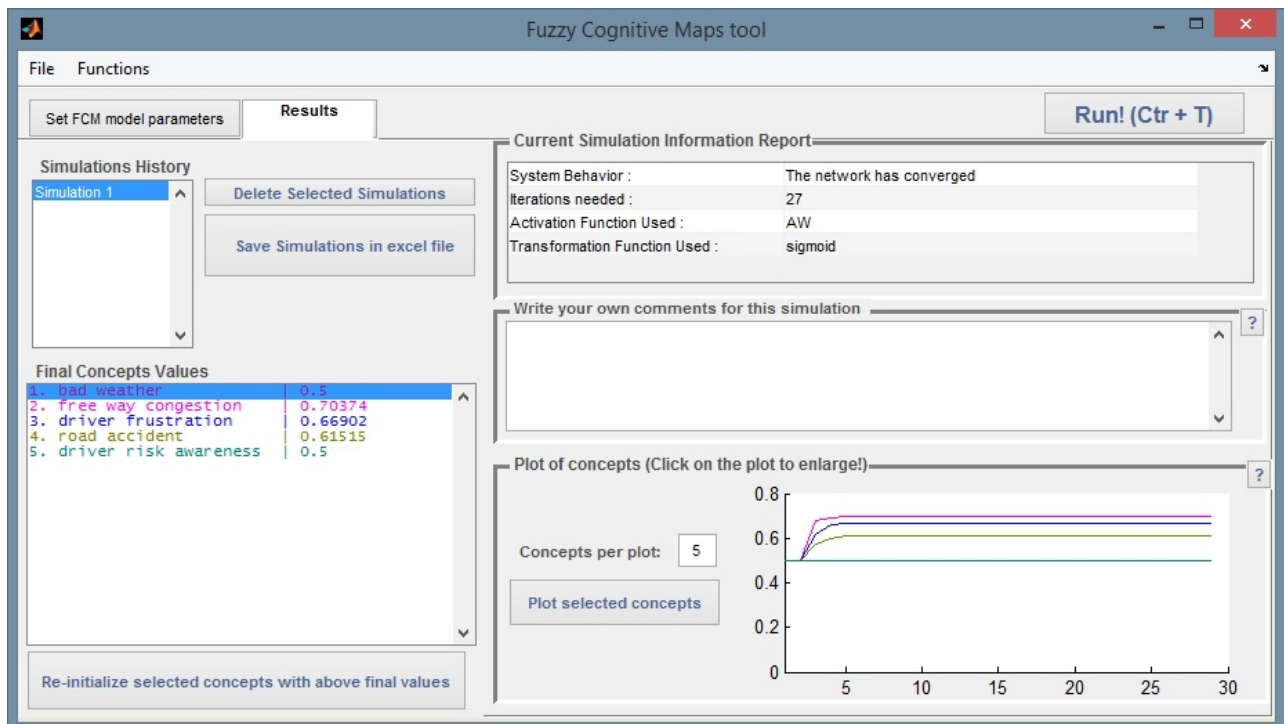
Όπως βλέπουμε στο πιο πάνω σχήμα, παρουσιάζονται στην πρώτη στήλη οι παραμέτροι του Ασαφούς Γνωστικού Συστήματος, στη δεύτερη στήλη οι αρχικές τιμές των παραμέτρων και στην τρίτη στήλη και πάλι οι αρχικές τιμές των παραμέτρων με τη δυνατότητα όμως να θέσουμε ποιες από αυτές θα είναι σταθερές, δηλαδή δεν θα αλλάζει η τιμή τους όταν τρέξουμε το δίκτυο με σκοπό να δούμε πως επηρεάζει αυτό τις άλλες παραμέτρους. Τέλος, στην τέταρτη στήλη, έχουμε τον πίνακα με τα βάρη μεταξύ των παραμέτρων του Ασαφή Γνωστικού Χάρτη, όπως αυτοί αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

Μία ακόμη ακολουθία του συστήματος που υπάρχει μοντελοποιημένη, είναι η δυνατότητα δημιουργίας των αρχικών κόμβων από το ίδιο το σύστημα χωρίς να χρησιμοποιήσουμε κάποια είσοδο από αρχείο. Μπορείς όμως να προσθέσεις και στις υπάρχοντες παραμέτρους άλλες παραμέτρους, να τις διαγράψεις ή να τις αντικαταστήσεις, όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.2.4:



Σχήμα 5.2.4. Εισαγωγή ή διαγραφή παραμέτρων στο σύστημα

Αφού έχουμε εισάγει τα δεδομένα για τον ΑΓΧ που μας ενδιαφέρουν αφήνουμε το δίκτυο να τρέξει, μέχρι να συγκλίνει, όπου θα μας δώσει και τις τελικές τιμές των κόμβων. Αυτό γίνεται αν πατήσουμε το κουμπί στην οθόνη πάνω δεξιά, το «Run! (Ctrl + T)». Μετά που το δίκτυο έφτασε σε σταθερή κατάσταση, μας παρουσιάζεται η οθόνη με τα αποτελέσματα, όπως φαίνεται και πιο κάτω:

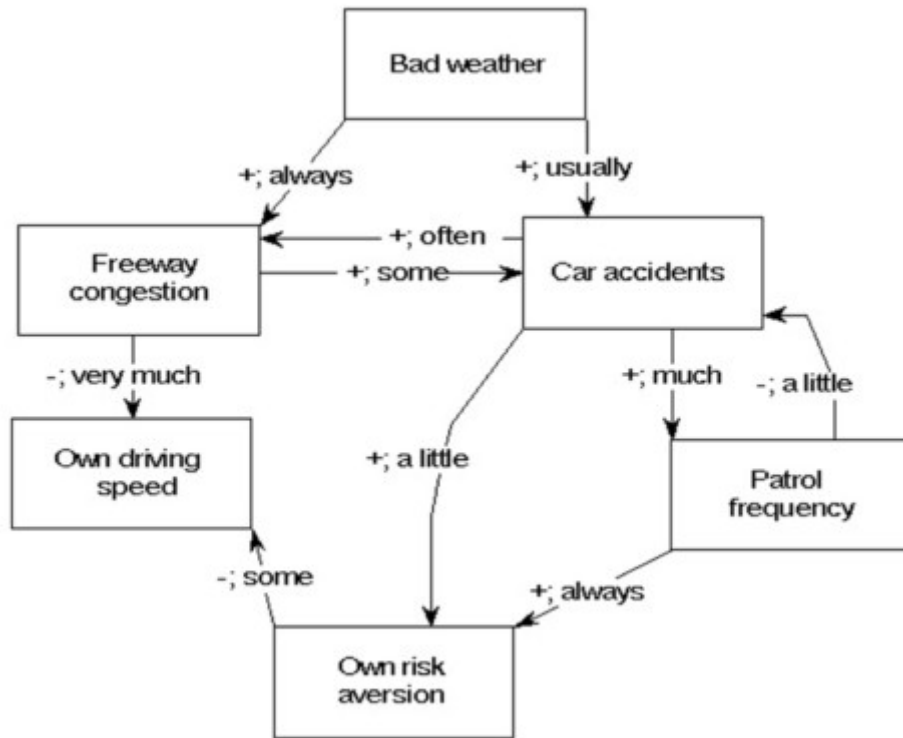


Σχήμα 5.2.5. Εμφάνιση αποτελεσμάτων από το σύστημα

Όπως βλέπουμε από το πιο πάνω σχήμα, μπορούμε να έχουμε πολλές προσομοιώσεις (simulations). Μπορούμε να διαγράψουμε προσομοιώσεις αλλά και να τις αποθηκεύουμε σε ένα αρχείο .xls. Πάνω δεξιά έχουμε μια αναφορά από την παρούσα προσομοίωση, η οποία περιλαμβάνει την συμπεριφορά του συστήματος, όπου στην περίπτωση μας το δίκτυο έχει συγκλίνει, πόσες επαναλήψεις χρειάστηκαν μέχρι να συγκλίνει το δίκτυο (27) και ποιες συναρτήσεις ενεργοποιήθηκαν και μεταμόρφωσης χρησιμοποιήθηκαν. Πιο κάτω, μπορεί ο χρήστης να γράψει σχόλια για την παρούσα προσομοίωση έτσι ώστε να αποθηκευτούν μαζί με τα δεδομένα της προσομοίωσης. Αριστερά εμφανίζονται οι τελικές τιμές των κόμβων, καθώς και μια επιλογή να αρχικοποιήσουμε τους επιλεγμένους κόμβους με τις τελικές τιμές τους για την επόμενη προσομοίωση που θα εκτελεστεί. Τέλος δεξιά, φαίνονται οι γραφικές παραστάσεις για τους κόμβους και πως επηρεάζεται η τιμή τους με τις επαναλήψεις του δικτύου. Από αυτές τις γραφικές παραστάσεις φαίνεται καθαρά ποιος είναι ο αριθμός επαναλήψεων στον οποίο οι παραμέτροι πήραν την τελική τους τιμή και το δίκτυο σύγκλινε σε μια σταθερή κατάσταση. Μπορούμε να επιλέξουμε και αριθμό γραφικών παραστάσεων που θέλουμε να δούμε μαζί από τις παραμέτρους αριστερά και να τις συγκρίνουμε, ή απλά να βάλουμε αριθμό γραφικής παράστασης που επιθυμούμε να δούμε μόνη της.

5.3 Μεθοδολογία επέκτασης μοντέλου

Όπως έχω αναφέρει πιο πάνω, σκοπός της παρούσας Ατομικής Διπλωματικής Εργασίας είναι η διευκόλυνση των ειδικών στον ορισμό των παραμέτρων του συστήματος χρησιμοποιώντας ασαφή σύνολα. Εκτελώντας όλη την απαραίτητη βιβλιογραφική κάλυψη του πιο πάνω θέματος, επιλέξαμε μια απλή εφαρμογή για την υλοποίηση της επέκτασης του εργαλείου που έχω αναφέρει [17], η οποία είναι το πρόβλημα συνωστισμού σε δρόμο εν ώρα αιχμής με την βοήθεια των Ασαφών Γνωστικών Χαρτών, όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.3.1, καθώς και τα βάρη που επηρεάζουν τις παραμέτρους στον πίνακα 5.3.1:



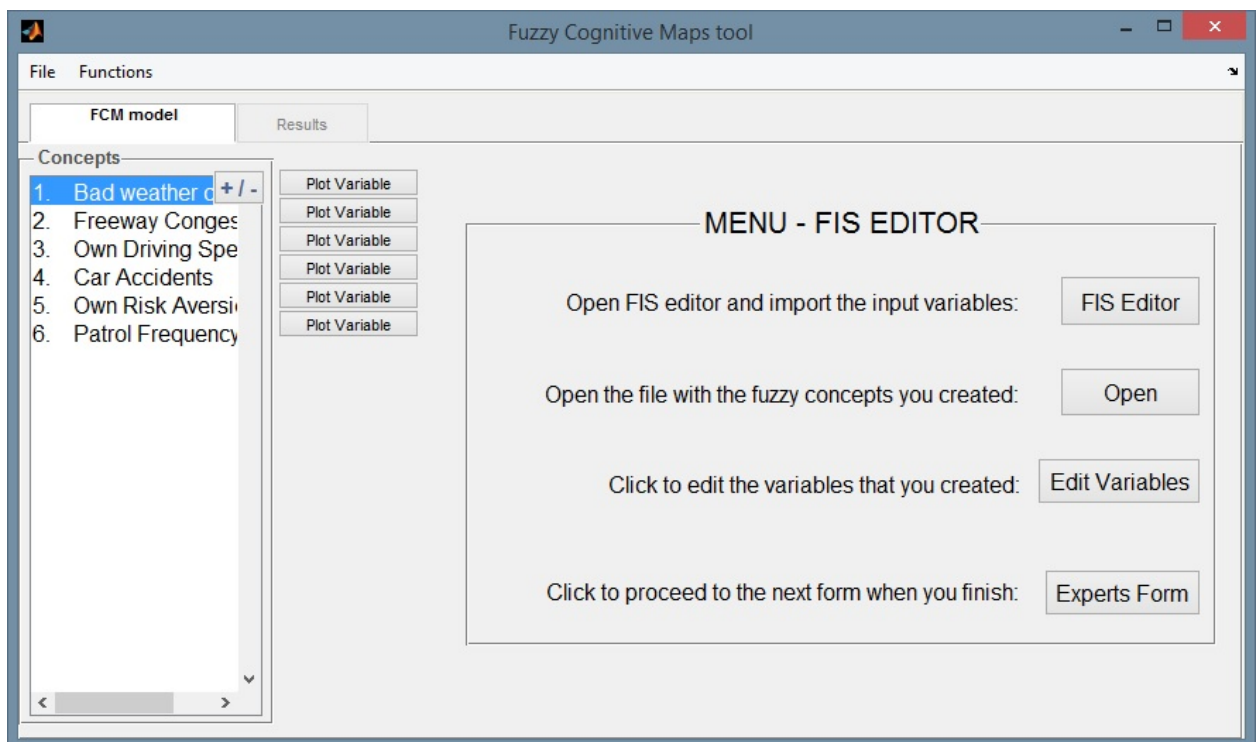
Σχήμα 5.3.1. Μοντέλο Ασαφή Γνωστικού Χάρτη για το πρόβλημα συνωστισμού σε δρόμο εν ώρα αιχμής

	Bad weather conditions	Freeway Congestion	Own Driving Speed	Car Accidents	Own Risk Aversion	Patrol Frequency
Bad weather conditions	0	1	0	0.7	0	0
Freeway Congestion	0	0	-0.8	0.6	0	0
Own Driving Speed	0	0.5	0	0	0.2	0.6
Car Accidents	0	0	0	0	0	0
Own Risk Aversion	0	0	-0.4	0	0	0
Patrol Frequency	0	0	0	-0.2	1	0

Πίνακας 5.3.1. Βάρη αλληλεπιδράσεων για το πιο πάνω μοντέλο Ασαφή Γνωστικού Χάρτη

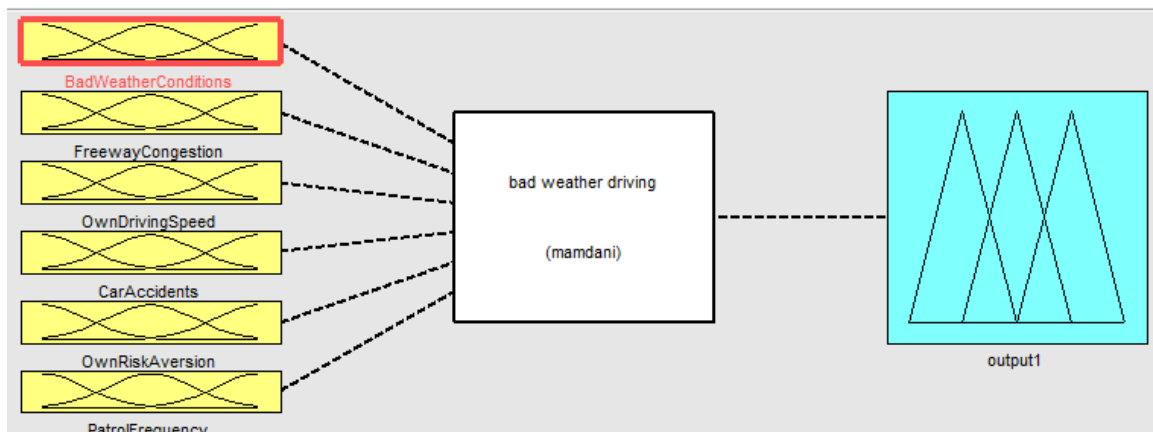
Για την υλοποίηση αυτής της ασαφοποίησης των παραμέτρων, χρησιμοποιήσαμε το έτοιμο εργαλείο από το Fuzzy Logic Toolbox της γλώσσας προγραμματισμού MATLAB, τον FIS Editor. Ο FIS Editor μας επιτρέπει να ορίσουμε

τις αρχικές παραμέτρους του ασαφούς συστήματος και να τις ονομάσουμε. Ακόμη, μας επιτρέπει να δηλώσουμε τον αριθμό των συναρτήσεων συμμετοχής (membership functions) για κάθε ασαφή παράμετρο, τον τύπο κάθε συνάρτησης συμμετοχής αλλά και την λεκτική μεταβλητή που αντιστοιχεί σε κάθε συνάρτηση συμμετοχής, η οποία είναι μια πραγματική κατάσταση της αντίστοιχης παραμέτρου που αποτυπώνεται με μια λέξη ή ετικέτα. Λαμβάνοντας όλα αυτά υπόψιν, πραγματοποιήσαμε τις ανάλογες αλλαγές στο έτοιμο σύστημα που υπήρχε από προηγούμενη μελέτη όπως είπαμε στο κομμάτι 5.2 και η αρχική αναπαράσταση του συστήματος φαίνεται πιο κάτω:



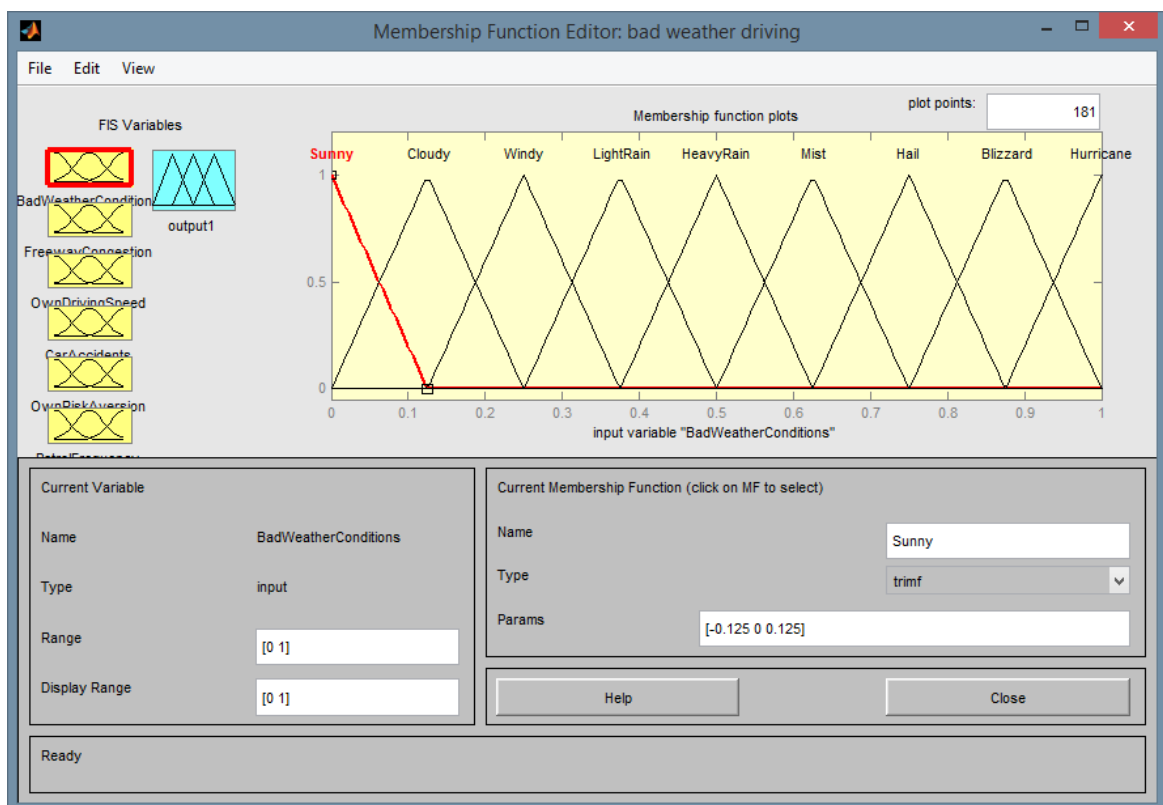
Σχήμα 5.3.2. Εργαλείο γραφικής διεπαφής χρήστη (GUI) που δέχεται ως είσοδο τις παραμέτρους του συστήματος

Όπως βλέπουμε στο σχήμα πιο πάνω, μετά την εισαγωγή των παραμέτρων στο σύστημα (γίνεται όπως φαίνεται στο σχήμα 5.3.3), φαίνονται οι αρχικές παραμέτροι αριστερά. Στη συνέχεια, ανοίγουμε τον FIS Editor πατώντας το κουμπί «FIS Editor» και εισάγουμε τις αρχικές παραμέτρους του ασαφούς συστήματος:



Σχήμα 5.3.3. Ορισμός αρχικών παραμέτρων του ασαφούς συστήματος στον FIS Editor

Αφού έχουμε εισάγει τις αρχικές παραμέτρους του ασαφούς συστήματος, δημιουργούμε και τις ανάλογες συναρτήσεις συμμετοχής για την κάθε παράμετρο:

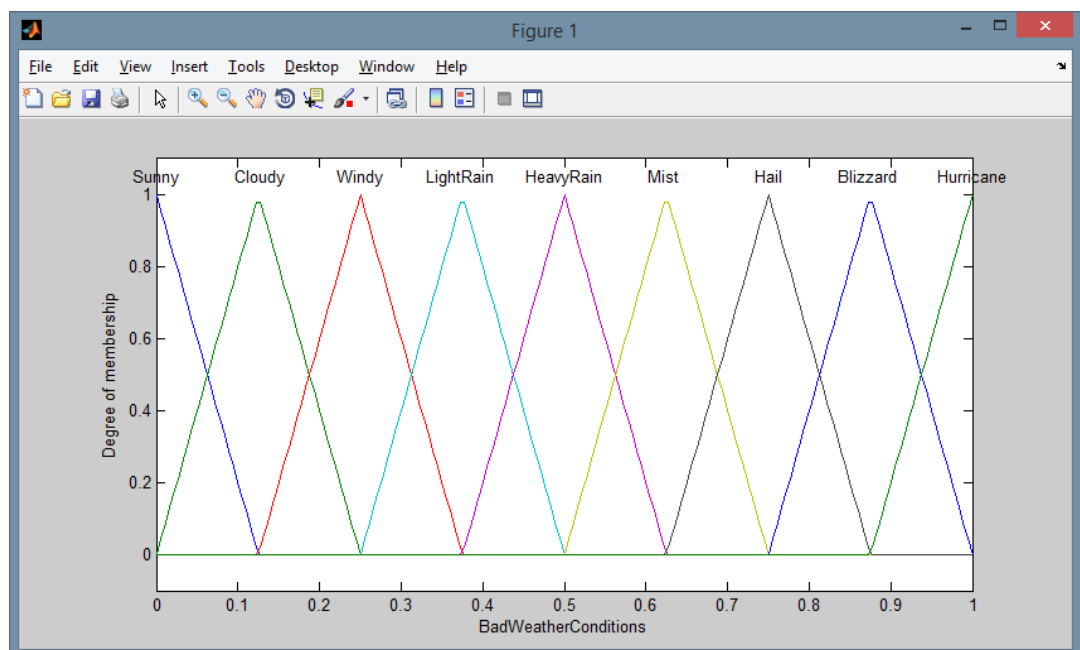


Σχήμα 5.3.4. Δημιουργία συναρτήσεων συμμετοχής (membership functions) για κάθε παράμετρο

Στο πιο πάνω σχήμα, φαίνονται οι συναρτήσεις συμμετοχής για την επιλεγμένη παράμετρο, τις «άσχημες καιρικές συνθήκες». Παρατηρούμε ότι μπορούμε να

αλλάξουμε την λεκτική μεταβλητή που αντιστοιχεί σε κάθε παράμετρο από το πεδίο «Name», τον τύπο κάθε συνάρτησης συμμετοχής από το πεδίο «Type», δηλαδή αν είναι τριγωνική, Gaussian, τραπεζοειδής κτλ., την έκταση που παίρνει η κάθε συνάρτηση συμμετοχής από το πεδίο «Params» και τέλος το πεδίο τιμών όλων των συναρτήσεων συμμετοχής μαζί από το πεδίο «Range». Σημειωτέο ότι για τον ορισμό των πιο πάνω συναρτήσεων συμμετοχής δεν λήφθηκε η γνώμη και η άποψη ενός ειδικού, αλλά η όλη διαδικασία από τον ορισμό της λεκτικής μεταβλητής μέχρι το πεδίο τιμών κάθε παραμέτρου έγινε από εικονικούς ειδικούς, άρα οι συναρτήσεις συμμετοχής που φαίνονται είναι ενδεικτικές και δημιουργήθηκαν καθαρά για την υλοποίηση του θέματος της παρούσας Ατομικής Διπλωματικής Εργασίας.

Αφού έχουμε τελειώσει με τις αλλαγές στον FIS Editor, επιστρέφουμε στο αρχικό GUI όπως φαίνεται στο σχήμα 5.3.2. Δίπλα από κάθε παράμετρο υπάρχει το ανάλογο κουμπί «Plot Variable», το οποίο μας δίνει την γραφική παράσταση του βαθμού συμμετοχής κάθε παραμέτρου ως προς αυτή την παράμετρο:



Σχήμα 5.3.5. Συναρτήσεις συμμετοχής της παραμέτρου «Άσχημες Καιρικές Συνθήκες», όπως εμφανίζονται από το πάτημα του κουμπιού «Plot Variable»

Συνεχίζοντας από το σχήμα 5.3.2., αν πατήσουμε το κουμπί «Edit Variables» μας εμφανίζει την οθόνη του FIS Editor όπως φαίνεται στο σχήμα 5.3.4. για να επεξεργαστούμε αν επιθυμούμε ξανά τις συναρτήσεις συμμετοχής κάθε παραμέτρου

προτού συνεχίσουμε παρακάτω. Τέλος, αφού έχουμε τελειώσει με την όλη διαδικασία όπως περιγράφεται πιο πάνω, πατούμε το κουμπί «Experts Form» το οποίο θα μας οδηγήσει σε μια καινούρια φόρμα, όπου οι ειδικοί του προβλήματος θα εισάγουν τις αρχικές τιμές κάθε παραμέτρου όπως κρίνει ο καθένας καλύτερα σύμφωνα με την εμπειρία τους:

Give the number of the experts:

Import the experts's opinions from file or complete the table below:

Export the table below to a file:

	Bad weather conditions	Freeway Congestion	Own Driving Speed	Car Accidents	Own Risk Aversion	Patrol Frequency
Expert No.1	Cloudy	FewCars	Some	TwoSmallC	Little	Some
Expert No.2	Windy	SomeCars	Medium	OneBigCar	Medium	Medium
Expert No.3	Cloudy	LightCrowded	Much	BigCarAnirr	Some	Much

Click to proceed to the next form when you finish:

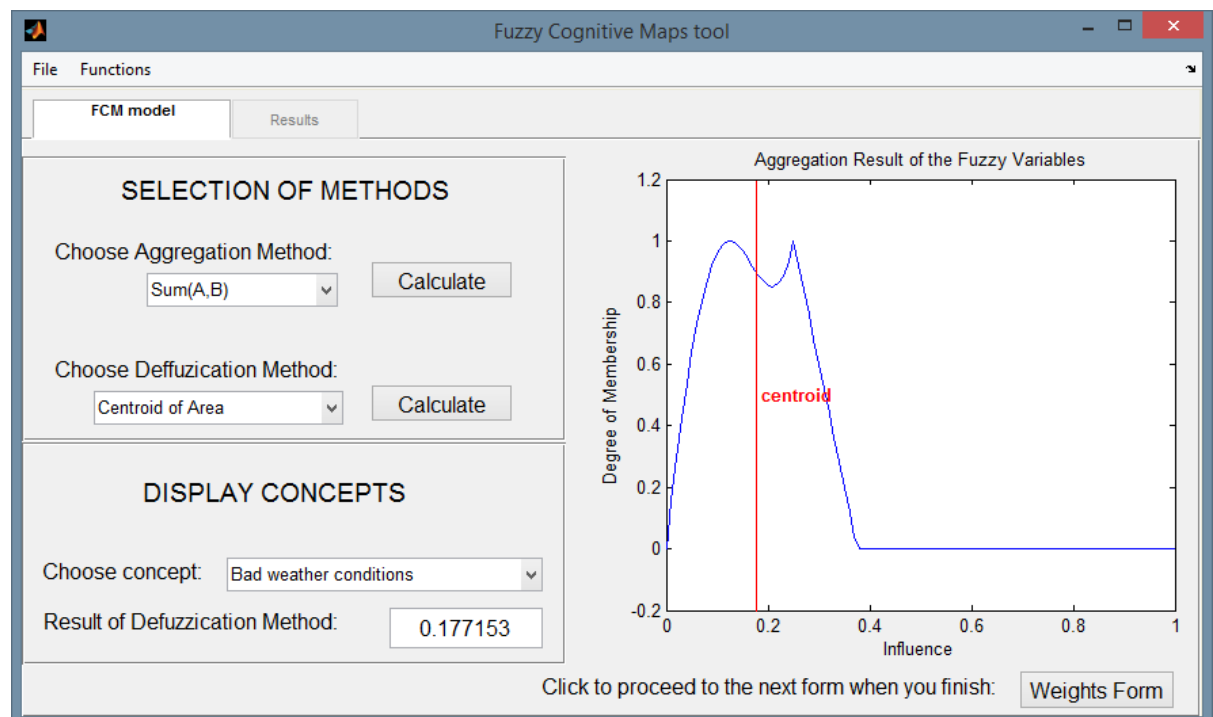
Σχήμα 5.3.6. Εισαγωγή αρχικών «ασαφών» τιμών για κάθε παράμετρο από τους ειδικούς του προβλήματος που αναλύεται

Όπως φαίνεται στο πιο πάνω σχήμα, μπορούμε να εισάγουμε τον αριθμό των ειδικών που θα ορίσουν τις αρχικές τιμές των παραμέτρων του συστήματος με τη χρήση των ασαφών τιμών. Στο δικό μας παράδειγμα βάλαμε μόνο 3 εικονικούς ειδικούς για ευκολία. Σημειωτέο και πάλι ότι οι αρχικές τιμές που φαίνονται από τους ειδικούς δεν αντιπροσωπεύουν όντως πραγματικές τιμές από ειδικούς, αλλά είναι εικονικές τιμές που έχουμε εισάγει για να μπορούσε να υλοποιηθεί το σύστημα που αναπτύξαμε. Μπορεί ωστόσο να χρησιμοποιηθεί από οποιονδήποτε λάβει αρχικές τιμές από ειδικούς για οποιοδήποτε πρόβλημα.

Μια άλλη δυνατότητα είναι να εισάγουμε τις αρχικές τιμές των ειδικών από ένα αρχείο πατώντας το κουμπί «Import Experts» αλλά και να εξάγουμε τον πίνακα με τις

αρχικές τους τιμές πατώντας το κουμπί «Export Table». Αυτό είναι χρήσιμο, διότι μπορεί να μην έχουμε όλους τους ειδικούς μαζεμένους όταν θέλουμε να ορίσουν τις αρχικές τιμές και με αυτόν τον τρόπο, μπορούμε να φυλάξουμε τις απόψεις των ειδικών που πάρθηκαν μια μέρα μέχρι να συμπληρωθεί ο πίνακας με όλες τις αρχικές τιμές που πάρθηκαν από όλους τους ειδικούς.

Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία λήψης των αρχικών «ασαφών» τιμών από τους ειδικούς, πατούμε το κουμπί «Results Form», όπου θα μας οδηγήσει σε μια άλλη φόρμα, όπως φαίνεται στο σχήμα πιο κάτω:



Σχήμα 5.3.7. Συνάθροιση απόψεων ειδικών και εξαγωγή αριθμητικών τιμών για τις παραμέτρους με μέθοδο αποασαφοποίησης

Στο σχήμα πιο πάνω, επιλέγουμε μια συναθροιστική μέθοδο, στο παράδειγμα την μέθοδο Sum(A,B), για να συναθροίσουμε τις απόψεις των ειδικών όσον αφορά τις αρχικές «ασαφείς» τιμές που έδωσαν στην προηγούμενη φόρμα. Πιο συγκεκριμένα, η μέθοδος SUM ακολουθεί την μαθηματική εξίσωση:

$$\mu_{A \cup B} = \mu_A + \mu_B - \mu_A * \mu_B$$

όπου μ_A είναι οι αριθμητικές τιμές που αντιστοιχούν στην λεκτική μεταβλητή της συνάρτησης συμμετοχής A και μ_B είναι οι αριθμητικές τιμές που αντιστοιχούν στην λεκτική μεταβλητή της συνάρτησης συμμετοχής B. Με αυτόν τον τρόπο

συναθροίζονται οι λεκτικές μεταβλητές που εισάγουν στο σύστημα οι ειδικοί στην προηγούμενη φόρμα για κάθε παράμετρο. Παρόμοιο αποτέλεσμα με την $\text{Sum}(A,B)$ θα έχουμε και με την συναθροιστική μέθοδο $\text{Max}(A,B)$, η οποία ακολουθεί την μαθηματική εξίσωση:

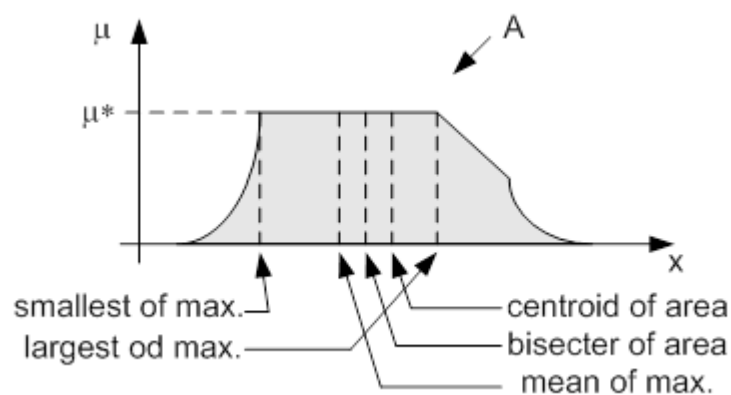
$$\mu_{A \vee B} = \max\{\mu_A, \mu_B\}$$

όπου μ_A είναι οι αριθμητικές τιμές που αντιστοιχούν στην λεκτική μεταβλητή της συνάρτησης συμμετοχής A και μ_B είναι οι αριθμητικές τιμές που αντιστοιχούν στην λεκτική μεταβλητή της συνάρτησης συμμετοχής B. Τέλος, στο σύστημα προσθέσαμε και τη συναθροιστική μέθοδο $\text{Min}(A+B,1)$, η οποία με τη σειρά της ακολουθεί την μαθηματική εξίσωση:

$$\mu_{A \wedge B} = \min\{\mu_A + \mu_B, 1\}$$

όπου και πάλι μ_A είναι οι αριθμητικές τιμές που αντιστοιχούν στην λεκτική μεταβλητή της συνάρτησης συμμετοχής A και μ_B είναι οι αριθμητικές τιμές που αντιστοιχούν στην λεκτική μεταβλητή της συνάρτησης συμμετοχής B. Στο σχήμα πιο πάνω φαίνεται η τελική συνάρτηση συμμετοχής της παραμέτρου «Άσχημες Καιρικές Συνθήκες» γραφικά, μετά από τη συνάθροιση των αρχικών «ασαφών» τιμών που έχουμε εισάγει με τη μέθοδο $\text{Sum}(A,B)$. Τέλος, για την υλοποίηση των συναθροιστικών μεθόδων μελέτησα το αρχείο [47] από τη βιβλιογραφία.

Στη συνέχεια, επιλέγουμε μια μέθοδο αποασαφοποίησης, η οποία θα μας δώσει μια αριθμητική τιμή από την τελική συνάθροιση των «ασαφών» λεκτικών παραμέτρων. Το πιο κάτω σχήμα δείχνει μίαν απεικόνιση για το πώς οι τιμές για κάθε μέθοδο αποασαφοποίησης επιλέγονται:



Σχήμα 5.3.8. Γραφική αναπαράσταση μεθόδων αποασαφοποίησης

Στην παρούσα Ατομική Διπλωματική Εργασία υλοποιήθηκαν οι ακόλουθες μέθοδοι αποασαφοποίησης: Centroid of Area, Bisector of Area, Mean value of Maximum, Smallest value of Maximum και Largest value of Maximum. Οι μαθηματικές εξισώσεις για την κάθε μέθοδο αποασαφοποίησης απεικονίζονται πιο κάτω ξεχωριστά [42]:

$$z_0 = \frac{\int \mu_i(x) x dx}{\int \mu_i(x) dx}$$

Η centroid μέθοδος αποασαφοποίησης είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος, καθώς είναι πολύ ακριβής στους υπολογισμούς. Παρέχει το κέντρο της περιοχής κάτω από την καμπύλη της συνάρτησης συμμετοχής. Για σύνθετες συναρτήσεις συμμετοχής θέτει υψηλές απαιτήσεις στους υπολογισμούς. Το z_0 αναπαριστά την αποασαφοποιημένη αριθμητική έξοδο, το μ_i τη συνάρτηση συμμετοχής και το x την μεταβλητή εξόδου.

$$\int_{\alpha}^z \mu_A(x) dx = \int_z^{\beta} \mu_A(x) dx$$

Η bisector μέθοδος αποασαφοποίησης χρησιμοποιεί μια κάθετη γραμμή που χωρίζει την περιοχή κάτω από την καμπύλη της συνάρτησης συμμετοχής σε δύο ίσες περιοχές.

$$z_0 = \frac{\int_{x'}^{\bar{x}} x dx}{\int_{x'}^{\bar{x}} dx}$$

Η mean value of maximum μέθοδος αποασαφοποίησης χρησιμοποιεί τη μέση τιμή των συναθροιστικών αποτελεσμάτων της συνάρτησης συμμετοχής. Το x' αναπαριστά το $\{x; \mu_A(x) = \mu^*\}$.

$$z_0 \in \left\{ x \mid \mu(x) = \min_{\omega} \mu(\omega) \right\}$$

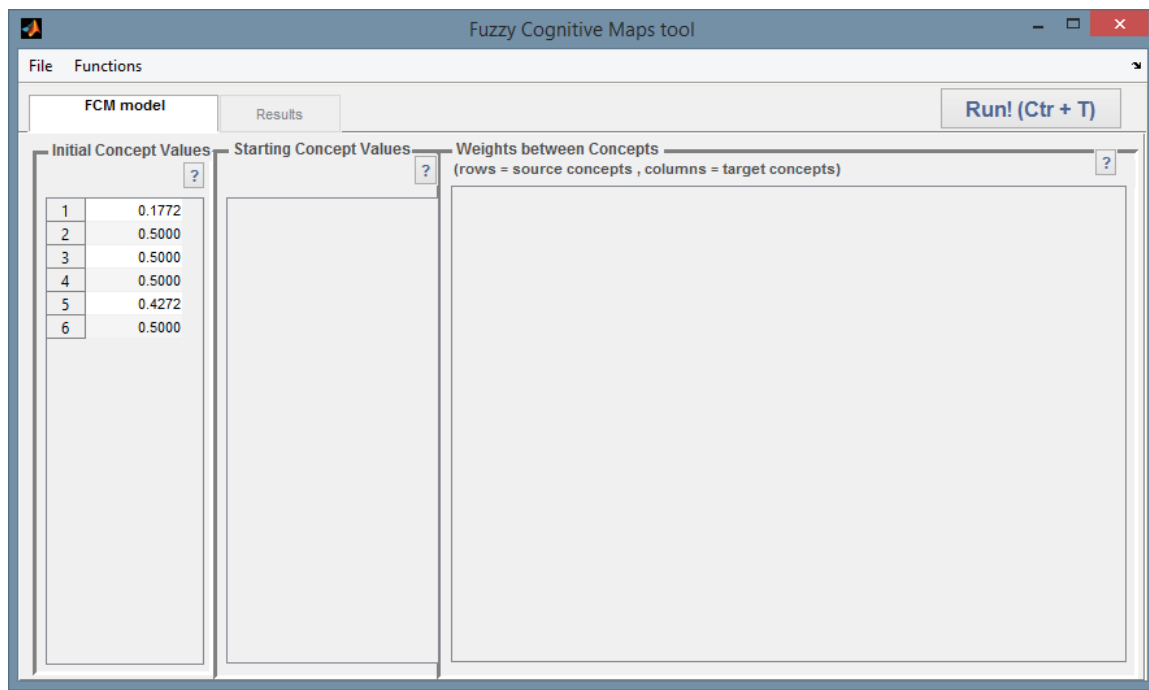
Η smallest value of maximum μέθοδος αποασαφοποίησης χρησιμοποιεί την ελάχιστη τιμή των συναθροιστικών αποτελεσμάτων της συνάρτησης συμμετοχής.

$$z_0 \in \left\{ x \mid \mu(x) = \max_{\omega} \mu(\omega) \right\}$$

Τέλος, η largest value of maximum μέθοδος αποασαφοποίησης χρησιμοποιεί την μέγιστη τιμή των συναθροιστικών αποτελεσμάτων της συνάρτησης συμμετοχής.

Όπως βλέπουμε από το σχήμα 5.3.7., μπορούμε να επιλέξουμε οποιαδήποτε παράμετρο από το σύστημα και να δούμε τη γραφική αναπαράσταση της τελικής συνάρτησης συμμετοχής της μετά από τη συνάθροιση των απόψεων των ειδικών για τις αρχικές της τιμές, αλλά και μας παρουσιάζεται η αριθμητική της τιμή όπως μας δίνεται από τη μέθοδο αποασαφοποίησης.

Όταν τελειώσουμε και με την μέθοδο αποασαφοποίησης, έχουμε όπως έχω αναφέρει τις αρχικές αριθμητικές τιμές για κάθε παράμετρο του ασαφούς συστήματος. Πατώντας το κουμπί «Weights Form», ανοίγει μια καινούρια φόρμα και μεταφέρονται οι αρχικές τιμές των παραμέτρων σε αυτή, όπως φαίνεται και στο σχήμα πιο κάτω:



Σχήμα 5.3.9. Εισαγωγή αρχικών αριθμητικών τιμών των παραμέτρων του ασαφούς συστήματος

Έπειτα η διαδικασία είναι η ίδια όπως περιέγραψα στο κεφάλαιο 5.2, με την διαφορά ότι από το αρχείο τώρα εισάγονται μόνο τα αρχικά βάρη για το Ασαφή Γνωστικό Σύστημα, εφόσον με τη μεθοδολογία που περιέγραψα σε αυτό το κεφάλαιο, βρήκαμε ένα τρόπο να εισάγουμε τις αρχικές τιμές των παραμέτρων που είναι πιο εύκολος για τους ειδικούς. Τέλος, τρέχουμε το σύστημα και παίρνουμε τα αποτελέσματα όπως ακριβώς και πάλι περιέγραψα στο κεφάλαιο 5.2 και φαίνονται στο σχήμα 5.2.5.

Κεφάλαιο 6

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

6.1	Αξιολόγηση Συστήματος – Αποτελέσματα	89
-----	--------------------------------------	----

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που εξάγαμε από την μοντελοποίηση ενός πολύ απλού παραδείγματος από τη βιβλιογραφία, τρέχοντας 2 διαφορετικές συναρτήσεις ενεργοποίησης και μια συνάρτηση μεταφοράς, απλά για να δούμε ότι η υλοποίηση και η επέκταση του μοντέλου έγινε σωστά.

6.1 Αξιολόγηση Συστήματος – Αποτελέσματα

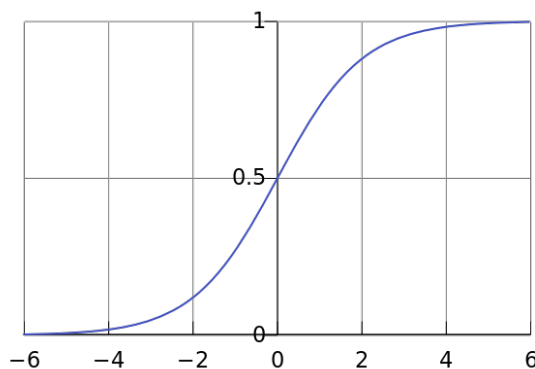
Η προσομοίωση του μοντέλου αποτελεί το σημείο όπου διαφαίνεται εάν και κατά πόσο το μοντέλο αντικατοπτρίζει την πραγματικότητα του προβλήματος. Στη δική μας την περίπτωση μοντελοποιήσαμε ένα πολύ απλό παράδειγμα από τη βιβλιογραφία [25]. Σύμφωνα με τον συγγραφέα, ο Ασαφής Γνωστικός Χάρτης δείχνει κατά πόσο οι κακές καιρικές συνθήκες μπορούν να επηρεάσουν διάφορες άλλες παραμέτρους σε έναν αυτοκινητόδρομο στην Καλιφόρνια. Ο Ασαφής Γνωστικός Χάρτης για αυτό το μοντέλο φαίνεται στο σχήμα 5.3.1 του κεφαλαίου 5.

Για την προσομοίωση του μοντέλου, χρησιμοποιήσαμε τις 2 συναρτήσεις ενεργοποίησης από τις 3 για την ανανέωση των τιμών των παραμέτρων όπως περιγράφονται αναλυτικότερα στο κεφάλαιο 3, υποκεφάλαιο 3.3. Πιο συγκεκριμένα, τις 2 πιο συναρτήσεις ενεργοποίησης πιο κάτω:

$$\mathbf{A}^{(k)} = f(\mathbf{A}^{(k-1)} + \sum \mathbf{A}^{(k-1)} \cdot \mathbf{W}) \quad (1)$$

$$C_j^{t+1} = C_j^t + \sum_i^n s_{ij} * (C_i^t - C_i^{t-1}) * \frac{C_j^t}{C_i^{t-1}} \quad (2)$$

Για την εξίσωση (1), η τιμή κάθε παραμέτρου υπολογίζεται, αθροίζοντας την προηγούμενη τιμή του και την επιρροή των άλλων παραμέτρων στη συγκεκριμένη παράμετρο. Ακολουθώντας, χρησιμοποιήσαμε τη συνάρτηση μεταφοράς «sigmoid» η οποία επεξεργάζεται και το μετατρέπει σε μια τιμή που ανήκει στο διάστημα $[0,1]$ στο οποίο οι μεταβλητές των παραμέτρων του Ασαφούς Γνωστικού Χάρτη παίρνουν τιμές. Πιο κάτω παρουσιάζεται η συνάρτηση μεταφοράς «sigmoid»:



$$S(t) = \frac{1}{1 + e^{-t}}$$

Σχήμα 6.1.1. Η σιγμοειδής συνάρτηση

Για την εξίσωση (2), πάλι η τιμή κάθε παραμέτρου υπολογίζεται, αθροίζοντας την προηγούμενη τιμή του και την επιρροή των άλλων παραμέτρων στη συγκεκριμένη παράμετρο. Στην εξίσωση (2) όμως, δεν χρειαζόμαστε συνάρτηση μεταφοράς επειδή με την εφαρμογή αυτής της εξίσωσης, προϋποθέτουμε ότι το δίκτυο κτίστηκε λαμβάνοντας υπόψη τη μεθοδολογία στο [48]. Σ' αυτή τη μεθοδολογία έχουμε ως αποτέλεσμα μικρά βάρη στο τελικό Ασαφές Γνωστικό Σύστημα, γι' αυτό και εμείς βάλαμε και τα βάρη στο συγκεκριμένο παράδειγμα μια κλίμακα πιο κάτω, έτσι ώστε η τιμή κάθε παραμέτρου να βρίσκεται μεταξύ του διαστήματος $[0,1]$. Με αυτό τον τρόπο βεβαιωνόμαστε ότι το σύστημα δουλεύει και με αυτήν την τροπολογία όταν το επεκτείνουμε.

Για τη δημιουργία ενός μοντέλου Ασαφούς Γνωστικής Απεικόνισης είναι καλύτερο να συμβάλλουν όσο το δυνατό περισσότεροι ειδικοί ούτως ώστε να υπάρξει ισορροπία στο σύστημα, λαμβάνοντας υπόψη την γνώση και την εμπειρία όλων των εμπλεκομένων. Μπορούμε όμως να κτίσουμε το σύστημα βασιζόμενοι μόνοι στην άποψη μικρού αριθμού ειδικών, διασφαλίζοντας έτσι την ποιότητα του συστήματος που αναπτύσσεται παραμερίζοντας την ποσότητα. Έχουμε δηλαδή στο τέλος ένα σύστημα επηρεασμένο από την άποψη και τις γνώσεις ενός πολύ έμπειρου μικρού αριθμού από ειδικούς.

Όπως έχουμε αναφέρει σε προηγούμενο κεφάλαιο, ο ειδικός είναι υπεύθυνος για τον καθορισμό των αρχικών τιμών των παραμέτρων, των συναρτήσεων συμμετοχών για την κάθε παράμετρο, τον αριθμό των παραμέτρων, τον αριθμό των συναρτήσεων συμμετοχών αλλά και τον καθορισμό των βαρών που αλληλεπιδρούν οι παραμέτροι μεταξύ τους. Όλες αυτές τις διαδικασίες υλοποιήθηκαν χωρίς την βοήθεια κάποιου ειδικού, αλλά μόνο της εφαρμογής που αναφέραμε προηγουμένως στη βιβλιογραφία και το διαδίκτυο, επειδή σκοπός αυτής της Ατομικής Διπλωματικής Εργασίας ήταν η επέκταση του συστήματος που προϋπήρχε. Όλα τα επιπρόσθετα δεδομένα που υπάρχουν είναι ενδεικτικά, απλά για να δούμε ότι το σύστημα ανταποκρίνεται όταν αξιολογείται πειραματικά και μετά την επέκταση του. Δημιουργήθηκαν 9 συναρτήσεις συμμετοχής για κάθε παράμετρο, ορίστηκε μια λεκτική μεταβλητή για κάθε συνάρτηση συμμετοχής και χρησιμοποιήθηκαν 3 εικονικοί ειδικοί, ο καθένας από τους οποίους περιείχε αρχικές λεκτικές τιμές στις παραμέτρους. Για κάθε σενάριο που εκτελέστηκε το σύστημα τέλος, χρησιμοποιήθηκε διαφορετικό σύνολο αρχικών τιμών στις παραμέτρους όπως θα δούμε και πιο κάτω.

1^ο σενάριο:

	Εκτιμήσεις Ειδικών			Αρχικές Τιμές	Διαφοροποιήσεις	Αποτελέσματα
Παραμέτροι	Πρώτος	Δεύτερος	Τρίτος			
Bad Weather Conditions	Hurricane	Blizzard	Hurricane	0.9043	0.9043 - Variable	0.65905
Freeway Congestion	Not Moving	Very Crowded	Not Moving	0.9043	0.9043 - Variable	0.84159
Own Driving Speed	Top	Very Big	Top	0.9043	0.9043 - Variable	0.33893
Car Accidents	Pile Up	Number of Cars	Pile Up	0.9043	0.9043 - Variable	0.84079
Own Risk Aversion	Knows The Risk	Very High	Knows The Risk	0.9043	0.9043 - Variable	0.83435
Patrol Frequency	Top	Very Big	Top	0.9043	0.9043 - Variable	0.71463

Πίνακας 6.1.1. Αποτελέσματα πρώτου σεναρίου της προσομοίωσης

Στο πρώτο σενάριο που εκτελέστηκε το σύστημα, οι αρχικές τιμές των ειδικών που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στον πίνακα 6.1.1. Βάλαμε τις συγκεκριμένες έτσι ώστε οι αρχικές τιμές του δικτύου να βγουν ψηλές. Χρησιμοποιήθηκε η συναθροιστική συνάρτηση Sum(A,B), η συνάρτηση αποασαφοποίησης Center of Area, η εξίσωση (1) για την ανανέωση των τιμών των παραμέτρων και η συνάρτηση μεταφοράς sigmoid. Στην στήλη «Διαφοροποιήσεις», φαίνονται οι αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν στις αρχικές τιμές πριν να τρέξουμε το σενάριο. Για την πρώτη εκτέλεση όπως βλέπουμε και στον πιο πάνω πίνακα, δεν έγινε καμιά αλλαγή και αφήσαμε το σύστημα να τρέξει μέχρι να συγκλίνει ή αλλιώς μέχρι να φτάσει σε ισορροπία, δηλαδή όταν πλέον οι τιμές των παραμέτρων δεν αλλάζουν τιμή. Αυτό έγινε μετά από 29 επαναλήψεις. Στην τελευταία στήλη παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, που αντιπροσωπεύουν τις τελικές τιμές των παραμέτρων. Να σημειώσουμε ότι λόγω της sigmoid, ό,τι αρχικές τιμές βάζαμε πάντα έβγαιναν οι ίδιες τελικές τιμές για τις παραμέτρους όταν θέλαμε να φθάσει το σύστημα σε ισορροπία, γι' αυτό δεν θα δείξουμε άλλη εκτέλεση με διαφορετικές αρχικές τιμές χωρίς να αλλάζουμε κάτι στη διαφοροποίηση. Οπότε τα αποτελέσματα που παίρνουμε από αυτή την εκτέλεση είναι τα εξής:

- Οι άσχημες καιρικές συνθήκες είναι μέτριες.
- Υπάρχει μεγάλη κίνηση στον αυτοκινητόδρομο.
- Η ταχύτητα του οδηγού είναι μικρή.

- Υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να υπάρχουν ατυχήματα στον αυτοκινητόδρομο.
- Υπάρχει μεγάλη προσοχή του οδηγού στον δρόμο.
- Υπάρχει επαρκής αστυνόμευση στον αυτοκινητόδρομο.

2^ο σενάριο:

Παραμέτρους	Αρχικές Τιμές	Διαφοροποιήσεις	Αποτελέσματα
Bad Weather Conditions	0.65905	0.05000 - Constant	0.05
Freeway Congestion	0.84159	0.84159 - Variable	0.72227
Own Driving Speed	0.33893	0.33893 - Variable	0.36698
Car Accidents	0.84079	0.84079 - Variable	0.7444
Own Risk Aversion	0.83435	0.83435 - Variable	0.83593
Patrol Frequency	0.71463	0.71463 - Variable	0.71892

Πίνακας 6.1.2. Αποτελέσματα δευτέρου σεναρίου της προσομοίωσης

Για το δεύτερο σενάριο που εκτελέστηκε το σύστημα, θέσαμε ως αρχικές τιμές τις προηγούμενες τελικές τιμές (1^ο σενάριο) όταν το σύστημα φθάνει σε ισορροπία, όπως φαίνονται στον πίνακα 6.1.2. Χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση (1) για την ανανέωση των τιμών των παραμέτρων και η συνάρτηση μεταφοράς sigmoid. Στην στήλη «Διαφοροποιήσεις», όπως βλέπουμε και στον πιο πάνω πίνακα, η μόνη αλλαγή που έγινε είναι να βάλουμε ως σταθερά την τιμή των «άσχημων καιρικών συνθηκών» με τιμή 0.05, με σκοπό να δούμε πως επηρεάζει τις άλλες παραμέτρους η αλλαγή αυτή στο δίκτυο. Το δίκτυο σύγκλινε μετά από 30 επαναλήψεις. Στην τελευταία στήλη παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, που αντιπροσωπεύουν τις τελικές τιμές των παραμέτρων. Οπότε τα αποτελέσματα που παίρνουμε από αυτή την εκτέλεση είναι τα εξής:

- Οι άσχημες καιρικές συνθήκες παρέμειναν 0.05 αφού τη θέσαμε σταθερά.
- Κίνηση στον αυτοκινητόδρομο: Μείωση της τιμής 14.18%
- Ταχύτητα Οδηγού: Αύξηση της τιμής 8.28%
- Πιθανότητα ύπαρξης ατυχήματος: Μείωση της τιμής 11.46%
- Προσοχή οδηγού στο δρόμο: Αύξηση της τιμής 0.19%
- Συχνότητα περιπολίας: Αύξηση της τιμής 0.60 %

Στο δεύτερο σενάριο φαίνεται ότι όταν η παράμετρος «άσχημες καιρικές συνθήκες» έχει πολύ χαμηλή τιμή, οπότε ο καιρός είναι καλός, η κίνηση στο δρόμο μειώνεται (λογικό), η ταχύτητα του οδηγού αυξάνεται (λογικό), η πιθανότητα ύπαρξης ατυχήματος στο δρόμο μειώνεται (λογικό), η προσοχή του οδηγού στο δρόμο αυξάνεται ελάχιστα (όχι και τόσο λογικό) και η συχνότητα της περιπολίας αυξάνεται επίσης ελάχιστα (ουδέτερο). Βλέπουμε ότι σε αρκετές περιπτώσεις οι νέες τιμές των παραμέτρων εμπίπτουν στην λογική, αν εξαιρέσουμε τις 2 τελευταίες παραμέτρους.

3^ο σενάριο:

Παραμέτροι	Αρχικές Τιμές	Διαφοροποιήσεις	Αποτελέσματα
Bad Weather Conditions	0.65905	0.95000 - Constant	0.95
Freeway Congestion	0.84159	0.84159 - Variable	0.88031
Own Driving Speed	0.33893	0.33893 - Variable	0.33011
Car Accidents	0.84079	0.84079 - Variable	0.87247
Own Risk Aversion	0.83435	0.83435 - Variable	0.83385
Patrol Frequency	0.71463	0.71463 - Variable	0.71327

Πίνακας 6.1.3. Αποτελέσματα τρίτου σεναρίου της προσομοίωσης

Για το τρίτο σενάριο που εκτελέστηκε το σύστημα, θέσαμε και πάλι ως αρχικές τιμές τις προηγούμενες τελικές τιμές (1^ο σενάριο) όταν το σύστημα φθάνει σε ισορροπία, όπως φαίνονται στον πίνακα 6.1.3. Χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση (1) για την ανανέωση των τιμών των παραμέτρων και η συνάρτηση μεταφοράς sigmoid. Στην στήλη «Διαφοροποιήσεις», όπως βλέπουμε και στον πιο πάνω πίνακα, η μόνη αλλαγή που έγινε είναι να βάλουμε ως σταθερά την τιμή των «άσχημων καιρικών συνθηκών» με τιμή 0.95, με σκοπό και πάλι να δούμε πως επηρεάζει τις άλλες παραμέτρους η αλλαγή αυτή στο δίκτυο. Το δίκτυο σύγκλινε μετά από 28 επαναλήψεις. Στην τελευταία στήλη παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, που αντιπροσωπεύουν τις τελικές τιμές των

παραμέτρων. Οπότε τα αποτελέσματα που παίρνουμε από αυτή την εκτέλεση είναι τα εξής:

- Οι άσχημες καιρικές συνθήκες παρέμειναν 0.95 αφού τη θέσαμε σταθερά.
- Κίνηση στον αυτοκινητόδρομο: Αύξηση της τιμής 4.61%
- Ταχύτητα Οδηγού: Μείωση της τιμής 2.60%
- Πιθανότητα ύπαρξης ατυχήματος: Αύξηση της τιμής 3.77%
- Προσοχή οδηγού στο δρόμο: Μείωση της τιμής 0.06%
- Συχνότητα περιπολίας: Μείωση της τιμής 0.19%

Στο τρίτο σενάριο φαίνεται ότι όταν η παράμετρος «άσχημες καιρικές συνθήκες» έχει πολύ μεγάλη τιμή, οπότε ο καιρός είναι πολύ άσχημος, η κίνηση στο δρόμο αυξάνεται (λογικό), η ταχύτητα του οδηγού μειώνεται (λογικό), η πιθανότητα ύπαρξης ατυχήματος στο δρόμο αυξάνεται (λογικό), η προσοχή του οδηγού στο δρόμο μειώνεται ελάχιστα (όχι και τόσο λογικό) και η συχνότητα της περιπολίας μειώνεται επίσης ελάχιστα (ουδέτερο). Βλέπουμε ότι σε αρκετές περιπτώσεις οι νέες τιμές των παραμέτρων εμπίπτουν και πάλι στην λογική, αν εξαιρέσουμε τις 2 τελευταίες παραμέτρους.

4^ο σενάριο:

	Εκτιμήσεις Ειδικών			Αρχικές Τιμές	Διαφοροποιήσεις	Αποτελέσματα
Παραμέτροι	Πρώτος	Δεύτερος	Τρίτος			
Bad Weather Conditions	Light Rain	Heavy Rain	Mist	0.5	0.5000 - Variable	0.5
Freeway Congestion	Few Cars	Some Cars	Light Crowded	0.5	0.5000 - Variable	0.5907
Own Driving Speed	Some	Medium	Much	0.5	0.5000 - Variable	0.4927
Car Accidents	Two Small Cars	One Big Car	Big Car Animal	0.5	0.5000 - Variable	0.5699
Own Risk Aversion	Little	Some	Medium	0.4272	0.4272 - Variable	0.427
Patrol Frequency	Some	Medium	Much	0.5	0.5000 - Variable	0.4996

Πίνακας 6.1.4. Αποτελέσματα τέταρτου σεναρίου της προσομοίωσης

Στο τέταρτο σενάριο που εκτελέστηκε το σύστημα, θέσαμε τις αρχικές τιμές των ειδικών όπως φαίνονται στον πίνακα 6.1.4., έτσι ώστε οι αρχικές τιμές του δικτύου να βγουν μέτριες. Χρησιμοποιήθηκε η συναθροιστική συνάρτηση Sum(A,B), η συνάρτηση αποασαφοποίησης Center of Area και η εξίσωση (2) για την ανανέωση των τιμών των παραμέτρων, η οποία δεν χρειάζεται συνάρτηση μεταφοράς όπως αναφέραμε στην αρχή αυτού του κεφαλαίου. Στην στήλη «Διαφοροποιήσεις», φαίνονται οι αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν στις αρχικές τιμές πριν τρέξουμε το σενάριο. Για το τέταρτο σενάριο όπως βλέπουμε και στον πιο πάνω πίνακα, δεν έγινε καμιά αλλαγή και αφήσαμε το σύστημα να τρέξει μέχρι να συγκλίνει ή αλλιώς μέχρι να φτάσει σε ισορροπία, δηλαδή όταν πλέον οι τιμές των παραμέτρων δεν αλλάζουν τιμή. Αυτό έγινε μετά από 15 επαναλήψεις. Στην τελευταία στήλη παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, που αντιπροσωπεύουν τις τελικές τιμές των παραμέτρων. Αυτό που παρατηρούμε είναι ότι η τελική τιμή της παραμέτρου «άσχημες καιρικές συνθήκες» δεν αλλάζει, αφού καμία παράμετρος δεν επηρεάζει τον καιρό και αυτό προκαλεί και τις άλλες τελικές τιμές των παραμέτρων να πάρουν κοντινές τιμές με αυτή (όλες οι τελικές τιμές εξακολουθούν να είναι μέτριες).

5^ο σενάριο:

Παραμέτροι	Αρχικές Τιμές	Διαφοροποιήσεις	Αποτελέσματα
Bad Weather Conditions	0.5	0.05 - Constant	0.05
Freeway Congestion	0.5907	0.5907 - Variable	0.54763
Own Driving Speed	0.4927	0.4927 - Variable	0.4884
Car Accidents	0.5699	0.5699 - Variable	0.5451
Own Risk Aversion	0.427	0.427 - Variable	0.42671
Patrol Frequency	0.4996	0.4996 - Variable	0.4989

Πίνακας 6.1.5. Αποτελέσματα πέμπτου σεναρίου της προσομοίωσης

Για το πέμπτο σενάριο που εκτελέστηκε το σύστημα, θέσαμε ως αρχικές τιμές τις προηγούμενες τελικές τιμές (4^ο σενάριο) όταν το σύστημα φθάνει σε ισορροπία, όπως φαίνονται στον πίνακα 6.1.5. Χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση (2) για την ανανέωση των τιμών των παραμέτρων, η οποία δεν χρειάζεται συνάρτηση μεταφοράς. Στην στήλη «Διαφοροποιήσεις», όπως βλέπουμε και στον πιο πάνω πίνακα, η μόνη αλλαγή που έγινε είναι να βάλουμε ως σταθερά την τιμή των «άσχημων καιρικών συνθηκών» με

τιμή 0.05, με σκοπό να δούμε πως επηρεάζει τις άλλες παραμέτρους η αλλαγή αυτή στο δίκτυο. Το δίκτυο σύγκλινε μετά από 15 επαναλήψεις. Στην τελευταία στήλη παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, που αντιπροσωπεύουν τις τελικές τιμές των παραμέτρων. Οπότε τα αποτελέσματα που παίρνουμε από αυτή την εκτέλεση είναι τα εξής:

- Οι άσχημες καιρικές συνθήκες παρέμειναν 0.05 αφού τη θέσαμε σταθερά.
- Κίνηση στον αυτοκινητόδρομο: Μείωση της τιμής 7.29%
- Ταχύτητα Οδηγού: Μείωση της τιμής 0.87%
- Πιθανότητα ύπαρξης ατυχήματος: Μείωση της τιμής 4.35%
- Προσοχή οδηγού στο δρόμο: Μείωση της τιμής 0.07%
- Συχνότητα περιπολίας: Μείωση της τιμής 0.14 %

Στο πέμπτο σενάριο φαίνεται ότι όταν η παράμετρος «άσχημες καιρικές συνθήκες» έχει πολύ χαμηλή τιμή, οπότε ο καιρός είναι καλός, η κίνηση στο δρόμο μειώνεται (λογικό), η ταχύτητα του οδηγού μειώνεται (όχι και τόσο λογικό), η πιθανότητα ύπαρξης ατυχήματος στο δρόμο μειώνεται (λογικό), η προσοχή του οδηγού στο δρόμο μειώνεται (λογικό) και η συχνότητα της περιπολίας μειώνεται επίσης (λογικό). Βλέπουμε ότι σε αρκετές περιπτώσεις οι νέες τιμές των παραμέτρων εμπίπτουν στην λογική, αν εξαιρέσουμε την δεύτερη παράμετρο.

6^ο σενάριο:

Παραμέτροι	Αρχικές Τιμές	Διαφοροποιήσεις	Αποτελέσματα
Bad Weather Conditions	0.5	0.95 - Constant	0.95
Freeway Congestion	0.5907	0.5907 - Variable	0.84589
Own Driving Speed	0.4927	0.4927 - Variable	0.46876
Car Accidents	0.5699	0.5699 - Variable	0.7697
Own Risk Aversion	0.427	0.427 - Variable	0.42626
Patrol Frequency	0.4996	0.4996 - Variable	0.79769

Πίνακας 6.1.6. Αποτελέσματα έκτου σεναρίου της προσομοίωσης

Για το έκτο σενάριο που εκτελέστηκε το σύστημα, θέσαμε και πάλι ως αρχικές τιμές τις προηγούμενες τελικές τιμές (4^ο σενάριο) όταν το σύστημα φθάνει σε

ισορροπία, όπως φαίνονται στον πίνακα 6.1.6. Χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση (2) για την ανανέωση των τιμών των παραμέτρων, η οποία δεν χρειάζεται συνάρτηση μεταφοράς. Στην στήλη «Διαφοροποιήσεις», όπως βλέπουμε και στον πιο πάνω πίνακα, η μόνη αλλαγή που έγινε είναι να βάλουμε ως σταθερά την τιμή των «άσχημων καιρικών συνθηκών» με τιμή 0.95, με σκοπό και πάλι να δούμε πως επηρεάζει τις άλλες παραμέτρους η αλλαγή αυτή στο δίκτυο. Το δίκτυο σύγκλινε μετά από 16 επαναλήψεις. Στην τελευταία στήλη παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, που αντιπροσωπεύουν τις τελικές τιμές των παραμέτρων. Οπότε τα αποτελέσματα που παίρνουμε από αυτή την εκτέλεση είναι τα εξής:

- Οι άσχημες καιρικές συνθήκες παρέμειναν 0.95 αφού τη θέσαμε σταθερά.
- Κίνηση στον αυτοκινητόδρομο: Αύξηση της τιμής 43.20%
- Ταχύτητα Οδηγού: Μείωση της τιμής 4.86%
- Πιθανότητα ύπαρξης ατυχήματος: Αύξηση της τιμής 35.06%
- Προσοχή οδηγού στο δρόμο: Μείωση της τιμής 0.17%
- Συχνότητα περιπολίας: Αύξηση της τιμής 59.67%

Στο έκτο σενάριο φαίνεται ότι όταν η παράμετρος «άσχημες καιρικές συνθήκες» έχει πολύ μεγάλη τιμή, οπότε ο καιρός είναι πολύ άσχημος, η κίνηση στο δρόμο αυξάνεται (λογικό), η ταχύτητα του οδηγού μειώνεται (λογικό), η πιθανότητα ύπαρξης ατυχήματος στο δρόμο αυξάνεται (λογικό), η προσοχή του οδηγού στο δρόμο μειώνεται ελάχιστα (όχι και τόσο λογικό) και η συχνότητα της περιπολίας αυξάνεται (λογικό). Βλέπουμε ότι σε αρκετές περιπτώσεις οι νέες τιμές των παραμέτρων εμπίπτουν και πάλι στην λογική, αν εξαιρέσουμε την προτελευταία παράμετρο.

Συνοψίζοντας για το κεφάλαιο αυτό, το σύστημα που αναπτύχθηκε και μοντελοποιήθηκε από εμένα παρουσίασε κάποια θετικά αποτελέσματα, τα οποία μας βοηθούν να συνεχίσουμε σε περαιτέρω ανάλυση στο επόμενο κεφάλαιο. Ωστόσο, παρουσίασε και κάποια αποτελέσματα τα οποία δεν τα περιμέναμε και θα αναφέρω επίσης στο επόμενο κεφάλαιο. Ο λόγος για αυτήν την απρόσμενη συμπεριφορά του συστήματος, οφείλεται στο ότι δεν πήραμε απόψεις ειδικών για το σύστημα που υλοποιήθηκε όσον αφορά τον αριθμό και το είδος των συναρτήσεων συμμετοχής, τον αριθμό των παραμέτρων, τις αρχικές τιμές των παραμέτρων και των βαρών κτλ., οπότε τα δεδομένα που εισαγάγαμε είναι ενδεικτικά με στόχο να επιτευχθεί ο σκοπός μας. Σκοπός αυτής της Ατομικής Διπλωματικής Εργασίας είναι να δούμε κατά πόσο το

σύστημα θα ανταπεξέλθει στις αλλαγές που εφαρμόσαμε στο υπάρχον σύστημα που προϋπήρχε, πράγμα που όπως φαίνεται από την εξαγωγή αποτελεσμάτων πετύχαμε.

Κεφάλαιο 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1	Ανάλυση Αποτελεσμάτων - Συμπεράσματα	99
7.2	Μελλοντική Εργασία	101

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφέρουμε κάποια συμπεράσματα που εξάγαμε από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του μοντέλου που δημιουργήθηκε και στη συνέχεια θα ασχοληθούμε με πιθανές μελλοντικές προσεγγίσεις που μπορούν να γίνουν με σκοπό τη βελτίωση του θέματος αυτής της Ατομικής Διπλωματικής Εργασίας.

7.1 Ανάλυση Αποτελεσμάτων - Συμπεράσματα

Σ' αυτή την Ατομική Διπλωματική Εργασία έγινε μια προσπάθεια δημιουργίας ενός μοντέλου Ασαφούς Γνωστικού Συστήματος με την εισαγωγή της μεθοδολογίας

ασαφοποίησης των αρχικών τιμών των παραμέτρων, με σκοπό να διευκολύνουν τους ειδικούς να εισάγουν τις αρχικές τιμές στο δίκτυο.

Για να καταλήξουμε στα συμπεράσματα μας, μοντελοποιήσαμε την εφαρμογή που βρήκαμε στο διαδίκτυο στο σύστημα που επεκτείναμε και εξάγαμε κάποια αποτελέσματα τρέχοντας 6 σενάρια. Αυτά τα αποτελέσματα ήταν παρόμοια με τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στο διαδίκτυο από την ίδια εφαρμογή. Πιο συγκεκριμένα, πήραμε την γνώση που έχουν οι ειδικοί και προχωρήσαμε ένα βήμα παραπέρα, την τοποθετήσαμε στο σύστημα και αφήσαμε το δίκτυο να τρέξει μέχρι να συγκλίνει. Με αυτό τον τρόπο βοηθήσαμε το εργαλείο να αποκτήσει γνώση την οποία δεν κατείχε και ταυτόχρονα να την αυξήσει, παρέχοντας έτσι αυτόματα σε μας μετέπειτα γνώση που θα προκύψει βασισμένη στα σενάρια που μας έδωσαν οι ειδικοί για τις αρχικές παραμέτρους. Με την μετέπειτα γνώση εννοούμε τις τελικές παραμέτρους που μας δίνει το σύστημα όταν συγκλίνει, είτε όταν «κλειδώνουμε» μια παράμετρο είτε όχι. Από αυτό συμπεράνουμε ότι το εργαλείο που επεκτείναμε και οι επιπρόσθετες λειτουργίες που υλοποιήθηκαν, αντεπεξήλθαν πλήρως στις απαιτήσεις του συστήματος, δηλαδή όταν προσθέτουμε την γνώση των ειδικών στο εργαλείο, το δίκτυο την αποδέχεται, την επεξεργάζεται και μας δίνει τελικά αποτελέσματα στην έξοδο του όταν φτάνει σε ισορροπία.

Ένα άλλο συμπέρασμα στο οποίο καταλήξαμε είναι ότι αυτή η προσέγγιση που ακολουθήθηκε όντως βοηθά τους ειδικούς στην εισαγωγή των αρχικών τιμών των παραμέτρων του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, βοηθούμε τους ειδικούς να κωδικοποιούν πιο εύκολα την γνώση που ήδη κατέχουν και ίσως να μην μπορούν να την εκφράσουν με μια αριθμητική τιμή. Όπως αναφέραμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, για την εισαγωγή αρχικών τιμών στις παραμέτρους του συστήματος, οι ειδικοί πρέπει να δίνουν μια πραγματική αριθμητική τιμή στο διάστημα [0-1]. Το τι καταφέραμε με την χρησιμοποίηση ασαφών συνόλων, είναι να δίνουν οι ειδικοί μια λεκτική τιμή (ή πιο απλά μια λέξη) ως αρχική τιμή κάθε παραμέτρου εν αντίθεση με την αριθμητική τιμή. Αυτή η προσέγγιση σαφώς και είναι πιο βοηθητική για τους ειδικούς αφού χρησιμοποιείται η ανθρώπινη γλώσσα και λογική στο κτίσιμο του σεναρίου τους για τις αρχικές τιμές των παραμέτρων, οπότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτή η επέκταση του εργαλείου που έγινε και από κάποιον ειδικό με μεγαλύτερη ευκολία στη χρήση αν έχει πρώτη φορά επαφή με Ασαφή Γνωστικά Συστήματα.

Τέλος, αναφέραμε μια παρατήρησή μας στο κεφάλαιο 6 στα αποτελέσματά μας. Η παρατήρηση αυτή παρουσιάζει ένα πρόβλημα που δημιουργείται όταν χρησιμοποιούσαμε την συνάρτηση μεταφοράς sigmoid με τη συνάρτηση ενεργοποίησης $A = A + A*W$. Πιο συγκεκριμένα, έστω κι αν οι αρχικές τιμές αλλάζουν σε κάθε εκτέλεση, αν αφήσουμε το δίκτυο να τρέξει μέχρι να φτάσει σε ισορροπία χωρίς να «κλειδώσουμε» κάποια παράμετρο (δηλαδή κατά το τρέξιμο του δικτύου η παράμετρος να μην αλλάξει τιμή), θα μας βγάλει στην έξοδο τις ίδιες τελικές τιμές για τις παραμέτρους. Αυτή η παρατήρηση ενισχύει την ιδέα δημιουργίας μιας συνάρτησης ενεργοποίησης η οποία δεν χρειάζεται καμιά συνάρτηση μεταφοράς για να προσαρμόσει τις τιμές των παραμέτρων στο διάστημα [0-1]. Ένα παράδειγμα είναι η υπάρχουσα συνάρτηση που υπάρχει στο εργαλείο ($A = A + \text{delta}(A)*W$), την οποία χρησιμοποιήσαμε και για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

7.2 Μελλοντική Εργασία

Τα ενδιαφέροντα αποτελέσματα που εξάγαμε από τα σενάρια που εκτελέστηκαν στην παρούσα Ατομική Διπλωματική Εργασία, μας δείχνουν ένα νέο δρόμο προσέγγισης των Ασαφών Γνωστικών Συστημάτων, ο οποίος έχει όλες τις δυνατότητες να επεκταθεί και να εμπλουτιστεί μελλοντικά και με άλλες ιδέες, μερικές από τις οποίες θα αναφέρω σύντομα σε αυτό το υποκεφάλαιο.

Μία πιθανή προσέγγιση για μελλοντική δουλειά, είναι η εισαγωγή μεθοδολογίας ασαφοποίησης και των βαρών ενός Ασαφής Γνωστικού Χάρτη, με σκοπό την διευκόλυνση των ειδικών στην εισαγωγή των βαρών με λεκτικές τιμές. Αυτή η προσέγγιση θα είναι και πάλι αρκετά βοηθητική, αφού με την χρησιμοποίηση ασαφών συνόλων, οι ειδικοί χρησιμοποιούν στο εργαλείο μια προσέγγιση πιο κοντά στην ανθρώπινη λογική και γλώσσα.

Κάποιες από τις συναρτήσεις που υλοποιήθηκαν για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας, ήταν και οι συναθροιστικές μέθοδοι, οι οποίες συναθροίζουν τις απόψεις των ειδικών με σκοπό να παραμείνει μόνο μια τελική συνάρτηση συμμετοχής για κάθε παράμετρο του συστήματος. Στη συνέχεια, αποασαφοποιείται η τιμή της κάθε παραμέτρου χρησιμοποιώντας μια μέθοδο αποασαφοποίησης. Όλο αυτό το κεφάλαιο «aggregation functions», είναι ένα πολύ μεγάλο κεφάλαιο και αρκετά ενδιαφέρον, το

οποίο σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιεί και τα βάρη για την εύρεση της τελικής τιμής της παραμέτρου, οπότε ενθαρρύνεται μελλοντική μελέτη σε αυτό το θέμα.

Μια άλλη ιδέα που μπορεί να υλοποιηθεί, είναι η παρακάτω. Εφόσον σ' αυτή την εργασία κύριο μέλημά μας ήταν η επέκταση του υπάρχοντος συστήματος, μπορεί κάλλιστα κάποιος να δοκιμάσει το καινούριο μοντέλο που δημιουργήθηκε, κτίζοντας από την αρχή το σύστημά του, δηλαδή να δοθεί ένα πρόβλημα κοινωνικό / οικονομικό / πολιτικό ή άλλο και στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί η βοήθεια των ειδικών. Για παράδειγμα, οι ειδικοί θα ορίσουν τον αριθμό των παραμέτρων, το είδος και αριθμό των συναρτήσεων συμμετοχών κάθε παραμέτρου, τις αρχικές τιμές των παραμέτρων και τα βάρη με τα οποία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους οι παράμετροι. Με αυτό τον τρόπο, θα αξιολογηθεί η εργασία που ολοκληρώθηκε και θα ξέρουμε σε ποιο βαθμό η επέκταση που πραγματοποιήσαμε στο σύστημα προσφέρει όντως βοήθεια σε κάποιον που δεν είναι εξοικειωμένος με Ασαφείς Γνωστικούς Χάρτες, εξάγοντας ταυτόχρονα τα σωστά αποτελέσματα από το μοντέλο.

Τέλος, αυτή η γνώση των ειδικών μπορεί να εισάγεται αυτόματα στο σύστημα, χωρίς να χρειάζεται η παρουσία των ιδίων. Αν πάρουμε για παράδειγμα την εφαρμογή που βρήκαμε από το διαδίκτυο, «συνθήκες δρόμου εν ώρα αιχμής», οι αρχικές τιμές των παραμέτρων θα μπορούσαν να εισάγονται αυτόματα στον Ασαφή Γνωστικό Χάρτη. Για την παράμετρο «άσχημες καιρικές συνθήκες» θα μπορούσαμε να λαμβάνουμε τη θερμοκρασία όπως μας την παρέχει το σύστημα σε ένα αυτοκίνητο, για την παράμετρο «κίνηση στο δρόμο» να έχουμε sensors στο αυτοκίνητο που θα εντοπίζει τον αριθμό των αυτοκινήτων στο δρόμο μια δεδομένη χρονική στιγμή για μια συγκεκριμένη απόσταση κ.ο.κ. Όταν γίνει αυτή η αυτοματοποίηση στην εισαγωγή των αρχικών τιμών των παραμέτρων, θα μπορούσε να δημιουργηθεί και μια εφαρμογή android σε κινητό τηλέφωνο ή tablet, η οποία με βάση τις έτοιμες αρχικές τιμές που θα λάμβανε, να υπολογίζει μετά από ένα χρονικό διάστημα (που αντιπροσωπεύεται στο εργαλείο μας ως οι επαναλήψεις που περνούν κατά το τρέξιμο του δικτύου) τις νέες τιμές στις παραμέτρους, οπότε θα χρησίμευε και ως εργαλείο πρόβλεψης μελλοντικών συνθηκών.

Βιβλιογραφία

- [1] David Balder, «Fuzzy Cognitive Maps and their uses as Knowledge Mapping Systems and Decision Support Systems», BAMBAS, 2004
- [2] Axelrod R., «Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites, Princeton University Press, 1976
- [3] Bart Kosko, «Fuzzy Cognitive Maps - International Journal of Man-Machine Studies», vol. 24, pp. 65-75, 1986
- [4] Khan MS, Quaddus M. Group, «Decision Support using fuzzy cognitive maps for Causal Reasoning», pp. 463-480, Group Decis Negotiation, 2004
- [5] Kok K., «The potential of fuzzy cognitive maps for semi-quantitative scenario development, with an example from brazil», pp. 122-133, Global Environ Change, 2009
- [6] Ι. Βλαχάβας, Π. Κεφαλάς, Ν. Βασιλειάδης, Φ. Κόκκορας, Η. Σακελλαρίου, «Τεχνητή Νοημοσύνη», Γ' Έκδοση, 2011
- [7] Stuart J. Russell, Peter Norvig, «Artificial Intelligence - A Modern Approach», 2009

- [8] Downs RM, Stea D. «Cognitive Maps and Spatial Behavior: Process and Products», 1973
- [9] Asil Özdoğru, «Analysis of the Concept of Cognitive Mapping from a Historical Perspective», Boğaziçi University, İstanbul, 2002
- [10] Edward C. Tolman, «Cognitive Maps in Rats and Men», 1948
- [11] Daniel R. Montello, «Cognitive Map-Design Research in the Twentieth Century: Theoretical and Empirical Approaches», 2002
- [12] Siau KL, Tan X, «Use of Cognitive Mapping Techniques in Information Systems Development, Computer Information Systems, 2008
- [13] Manzoni J-F., Barsoux J-L., «Are Your Subordinates Setting You Up to Fail?», MIT Sloan Management Review, 2009
- [14] Roberto Hernandez-Rauda, Sandra Martinez-Garcia, «Osteoporosis-related life habits and knowledge about osteoporosis among women in El Salvador: A cross-sectional study», 2004
- [15] Joseph D. Novak, Alberto J. Cañas, «The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct and Use Them», Institute for Human and Machine Cognition, 2008
- [16] Mark Kantrowitz, «Fuzzy Logic and Fuzzy Expert Systems», 1997
- [17] Bart Kosko, «Fuzzy Thinking», Hyperion, 1993
- [18] Daniel Mcneill, «Fuzzy Logic: The Revolutionary Computer Technology That Is Changing Our World», 1994
- [19] Russell C. Eberhart, Yuhui Shi, «Computational Intelligence: Concepts to Implementations», 2007
- [20] Zadeh, L., «Fuzzy sets», Information and Control, 1965
- [21] Samuel E. Kisko, «Fuzzy Logic and its Practical use in Mass Transit Systems», 2005
- [22] Constantin von Altrock, «Fuzzy Logic and NeuroFuzzy in Appliances», 1994
- [23] Bryan Klingenberg, «A Time-Varying Harmonic Distortion Diagnostic Methodology Using Fuzzy Logic», 2006
- [24] Τσουχνικά Μαρία, «Νευρωνικά Δίκτυα και Εφαρμογές», 2007
- [25] McCulloch, Warren, Walter Pitts, «A Logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity», Bulletin of Mathematical Biophysics, 1943

- [26] Elpiniki Papageorgiou, Chrysostomos Stylios, Peter Groumpos, «Fuzzy Cognitive Map Learning Based on Nonlinear Hebbian Rule», 2004
- [27] Athanasios K Tsadiras, Konstantinos G Margaritis, «A New Balance Degree for Fuzzy Cognitive Maps»
- [28] Bart Kosko, «Fuzzy Cognitive Maps», 1986
- [29] Stylios C.D., Groumpos P.P., «Fuzzy Cognitive Maps in Modeling Supervisory Control», Systems, Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2000
- [30] Miao Y. and Liu Z.Q., «On Causal Inference in Fuzzy Cognitive Maps», IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2000
- [31] Liu Z.Q., «Fuzzy Cognitive Maps: Analysis and Extension», 2000
- [32] Haykin S., «Neural Networks: A Comprehensive Foundation», 2nd edition, Prentice-Hall Inc, 1999
- [33] Hebb D.O., «The Organization of Behaviour: A Neuropsychological Theory, John Wiley», New York, 1949
- [34] Jang J. S., Sun C.T. and Mizutani E., «Neuro-Fuzzy and Soft Computing», N. J.: Prentice Hall, 1997
- [35] Bart Kosko, «Neural Networks and Fuzzy Systems», Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1992
- [36] Huerga A.V., «A Balanced Differential Learning algorithm in Fuzzy Cognitive Maps», Barcelone, Spain, 2002
- [37] A. S. Andreou, N. H. Mateou, G. A. Zombanakis, «Soft computing for crisis management and political decision making: the use of genetically evolved fuzzy cognitive maps», 2004
- [38] Costas Neocleous, Christos Schizas, Costas Yenethlis, «Fuzzy cognitive models in studying political dynamics: The case of the Cyprus problem»
- [39] Elpiniki I. Papageorgiou, Wojciech Froelich, «Multi-step prediction of pulmonary infection with the use of evolutionary fuzzy cognitive maps», 2012
- [40] Wojciech Froelicha, Elpiniki I. Papageorgiou, Michael Samarinasc, Konstantinos Skriapasc, «Application of evolutionary fuzzy cognitive maps to the long-term prediction of prostate cancer», 2012
- [41] Vassilis C. Gerogiannis, Sotiria Papadopoulou, Elpiniki I. Papageorgiou, «A Fuzzy Cognitive Map for Identifying User Satisfaction from Smartphones», 2012

- [42] Ross T.J., Hassanein H., Ali A.N., «Fuzzy logic with engineering applications: design and stability analysis», 3rd edition, Chichester (Royaume Uni): Wiley, 2010
- [43] K. Deb, «An introduction to genetic algorithms», pp. 205–230, 1999
- [44] D.E. Goldberg, «Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning», Addison-Wesley, Reading, MA, 1989
- [45] F. Herrera, M. Lozano, J.L.Verdegay, «Tackling real-coded genetic algorithms: operators and tools for behavioural analysis», pp. 265–319, 1998
- [46] W. Stach, L. Kurgan, W. Pedrycz, M. Reformat, «Genetic learning off Fuzzy cognitive maps», Department of Electrical and Computer Engineering, University of Alberta, Canada, 2005
- [47] J. Vaníček, I. VranaCorresponding, S. Aly, «Fuzzy aggregation and averaging for group decision making: A generalization and survey», 2009
- [48] Maria Papaioannou, Costas Neocleous, Charalambos Papageorgiou, Christos N. Schizas, «A Fuzzy Cognitive Map Model for estimating the repercussions of the Greek PSI on Cypriot Economy», University of Cyprus, Cyprus University of Technology, European University of Cyprus, 2013

Παράρτημα Α

Πιο κάτω παρουσιάζεται ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού MATLAB για την δημιουργία των συναρτήσεων που συναθροίζουν τις απόψεις των ειδικών για τις αρχικές λεκτικές μεταβλητές των παραμέτρων του συστήματος.

```
% initialize values
num_experts = getappdata(0, 'Experts');
values = getappdata(0, 'Values');
length_concepts = getappdata(0, 'SizeFile');

%temporary cell array
B = cell(length_concepts, num_experts);

% initialize table for the aggregate functions of all concepts
initial_values = cell(1, length_concepts);

x=0:0.01:1;

% get the values of membership functions for all the parameters
for i=1:length_concepts
    for j=1:num_experts
        B{j,i} = trimf(x, values{j,i});
    end
end

%%% AGGREGATION METHOD SUM %%%

for i=1:length_concepts
    initial_values{i} = B{1,i};
    for j=2:num_experts
        % get the sum of the membership functions minus the
        % intersection
        initial_values{i} = (initial_values{i} + B{j,i}) -
            (initial_values{i}.*B{j,i});
    end
end
```

```
%%% AGGREGATION METHOD MAX %%%
```

```
for i=1:length_concepts
    initial_values{i} = B{1,i};
    for j=2:num_experts
        temp2 = B{j,i};
        for c=1:101 % the size of all points of a membership
            function
                % get the max of the membership functions
                if ( initial_values{i}(c) < temp2(c) )
                    initial_values{i}(c) = temp2(c);
                end
            end
        end
    end
end
```

```
%%% AGGREGATION METHOD MIN %%%
```

```
for i=1:length_concepts
    initial_values{i} = B{1,i};
    for j=2:num_experts
        for c=1:101 % the size of all points of a membership
            function
                % get the sum of 2 membership functions
                temp = initial_values{i} + B{j,i};
                % get the min between the sum and 1
                if ( temp(c) < 1 )
                    initial_values{i}(c) = temp(c);
                else
                    initial_values{i}(c) = 1;
                end
            end
        end
    end
end
```

Παράρτημα Β

Πιο κάτω παρουσιάζεται ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού MATLAB για την εφαρμογή των συναρτήσεων που αποασαφοποιούν την τελική λεκτική μεταβλητή που προκύπτει από την συνάθροιση των απόψεων των ειδικών, έτσι ώστε να προκύψει η τελική αριθμητική τιμή για τις παραμέτρους του συστήματος.

```
% initialize values
initial = handles.initial;
length_concepts = getappdata(0, 'SizeFile');

% initialize table for the initial values of the concepts
initial_values = zeros(1,length_concepts);

x=0:0.01:1;

%%% DEFUZZICATION METHOD CENTROID %%%

for i=1:length_concepts
    initial_values(i) = defuzz(x,initial{i}, 'centroid');
end

%%% DEFUZZICATION METHOD BISECTOR %%%

for i=1:length_concepts
    initial_values(i) = defuzz(x,initial{i}, 'bisector');
end

%%% DEFUZZICATION METHOD MEAN VALUE OF MAXIMUM %%%

for i=1:length_concepts
    initial_values(i) = defuzz(x,initial{i}, 'mom');
end

%%% DEFUZZICATION METHOD SMALLEST VALUE OF MAXIMUM %%%

for i=1:length_concepts
    initial_values(i) = defuzz(x,initial{i}, 'som');
end

%%% DEFUZZICATION METHOD LARGEST VALUE OF MAXIMUM %%%

for i=1:length_concepts
    initial_values(i) = defuzz(x,initial{i}, 'lom');
end
```

Παράρτημα Γ

Πιο κάτω παρουσιάζονται οδηγίες χρήσης για το εργαλείο Ασαφούς Γνωστικού Χάρτη που επεκτάθηκε στη γλώσσα προγραμματισμού MATLAB.

1. Εγκατάστησε και άνοιξε το εργαλείο της MATLAB.
2. Τοποθέτησε όλα τα αρχεία του προγράμματος σε ένα φάκελο και επέλεξε το directory του φακέλου ως το προεπιλεγμένο directory της MATLAB.
3. Στην κυρίως οθόνη που παρουσιάζεται στην MATLAB, πληκτρολόγησε «FCM» για να ανοίξει το μοντέλο που επεκτείναμε.
4. Στο παράθυρο που θα ανοίξει, επιλέγουμε: File -> Import a Model και εισάγουμε τα ονόματα των παραμέτρων του συστήματος από ένα αρχείο.
5. Στη συνέχεια πατούμε στο κουμπί «FIS Editor» για να ανοίξει ο FIS Editor της MATLAB, να δημιουργήσουμε το μοντέλο που θέλουμε προσθέτοντας τις αρχικές παραμέτρους και τις συναρτήσεις συμμετοχής για κάθε παράμετρο.
6. Αφού τελειώσουμε, πατούμε στο κουμπί «Open» για να επιλέξουμε και να εισάγουμε το αρχείο που μόλις δημιουργήσαμε στο σύστημα.
7. Ακολούθως, πατώντας στο κουμπί «Plot Variable» μπορούμε να δούμε τις συναρτήσεις συμμετοχής για την επιλεγμένη παράμετρο και πατώντας στο κουμπί «Edit Variables» μπορούμε να αλλάξουμε ξανά τις συναρτήσεις συμμετοχής μέσω του FIS Editor πριν προχωρήσουμε στο επόμενο βήμα.
8. Έπειτα, πατούμε στο κουμπί «Experts Form» και μας οδηγεί σε ένα νέο παράθυρο, όπου πληκτρολογούμε τον αριθμό των ειδικών που θέλουμε για να μας δώσουν τις απόψεις τους και πατούμε στο κουμπί «Submit».
9. Μετά, βάζει ο κάθε ειδικός την άποψη του για την αρχική τιμή κάθε παραμέτρου. Μπορούμε να εισάγουμε τις επιλογές τους από ένα αρχείο χρησιμοποιώντας το κουμπί «Import Experts». Όταν τελειώσουμε, μπορούμε να εξάγουμε τις απόψεις των ειδικών σε ένα αρχείο χρησιμοποιώντας το κουμπί «Export Table».
10. Αφού προστέθηκαν οι απόψεις των ειδικών, πατούμε στο κουμπί «Results Form», το οποίο μας ανοίγει ένα καινούριο παράθυρο στο οποίο επιλέγουμε συναθροιστική μέθοδο και μέθοδο αποασαφοποίησης.

11. Επιλέγουμε συναθροιστική μέθοδο και πατούμε στο κουμπί «Calculate» και στη συνέχεια επιλέγουμε μέθοδο αποασαφοποίησης και πατούμε στο κουμπί «Calculate».
12. Επιλέγοντας οποιαδήποτε παράμετρο θέλουμε, βλέπουμε την τελική συνάρτηση συμμετοχής της στα δεξιά και την τελική αριθμητική τιμή που παίρνει ως αρχική τιμή στο σύστημα.
13. Τελειώνοντας, πατούμε στο κουμπί «Weights Form» που μας ανοίγει 2 παράθυρα, το πρώτο τα ονόματα των παραμέτρων και το δεύτερο περιμένει να εισάγουμε τα βάρη.
14. Στο παράθυρο που έχει ανοίξει, επιλέγουμε: File -> Import a Model και εισάγουμε τα βάρη με τα οποία αλληλεπιδρούν οι παραμέτροι του συστήματος από ένα αρχείο.
15. Στη δεύτερη στήλη κάνεις όποιες διαφοροποιήσεις επιθυμείς για το σύστημα. Έπειτα, επιλέγουμε από τη στήλη Functions τη συνάρτηση ενεργοποίησης που επιθυμούμε και τη συνάρτηση μεταφοράς.
16. Τέλος, αφήνουμε το σύστημα να τρέξει πατώντας στο κουμπί «Run» και μας παρουσιάζονται οι τελικές τιμές των παραμέτρων μετά που το σύστημα έχει συγκλίνει, καθώς και ο αριθμός των επαναλήψεων που χρειάστηκαν.