



**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ &
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:
«Η ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟΝ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ»**



ΕΙΣΗΓΗΤΡΙΑ: ΒΑΣΙΛΙΚΗ ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΥ

**ΦΟΙΤΗΤΡΙΕΣ: ΚΑΡΑΒΑ ΣΑΠΦΩ ΠΤΥΧΙΟ Δ'
ΚΟΛΙΖΕΡΑ ΡΙΡΗΝΗ ΠΤΥΧΙΟ Δ'**

ΜΑΪΟΣ 2006, ΠΑΤΡΑ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ	6801
----------------------	------

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	6
ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ.....	6
1.1 Εισαγωγή.....	6
1.2 Η έννοια του επιχειρηματικού σχεδιασμού.....	7
1.3 Η έννοια της στρατηγικής.....	7
1.4 Γιατί η Στρατηγική είναι αναγκαία.....	7
1.4.1 Η στρατηγική θέτει τις κατευθύνσεις.....	8
1.4.2 Η στρατηγική υποστηρίζει την λήψη αποφάσεων.....	8
1.4.3 Η στρατηγική συγκεντρώνει την προσπάθεια και συντονίζει τις δραστηριότητες.....	8
1.4.4 Η στρατηγική ορίζει την επιχείρηση και την θέση της απέναντι στον ανταγωνισμό.....	9
1.4.5 Η στρατηγική μειώνει την αβεβαιότητα.....	9
1.4.6 Η στρατηγική μπορεί να δώσει ένα βιώσιμο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα.....	9
1.5 Οι συνθήκες στην διαδικασία λήψης αποφάσεων.....	10
1.5.1 Συνθήκες Βεβαιότητας.....	10
1.5.2 Συνθήκες κινδύνου.....	10
1.5.3 Συνθήκες αβεβαιότητας.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	12
ΑΒΕΒΑΙΗ ΚΑΙ ΑΣΑΦΗΣ ΓΝΩΣΗ ΣΤΟΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ.....	12
2.1 Εισαγωγή.....	12
2.2 Η έννοια της αβεβαιότητας.....	12
2.2.1 Αντικειμενική και υποκειμενική αβεβαιότητα.....	13
2.3 Η Διαχείριση της αβεβαιότητας με τις συμβατικές μεθόδους.....	14
2.3.1 Βασικές έννοιες πιθανοτήτων.....	14
2.3.2 Ο νόμος του Bayes.....	17
Συμπεράσματα.....	19
2.3.3 Δίκτυα πιθανοτήτων.....	20
Συμπεράσματα.....	23
2.4 Η Διαχείριση της αβεβαιότητας με τις εναλλακτικές μεθόδους.....	24
2.4.1 Συντελεστές βεβαιότητας.....	24
Συμπεράσματα.....	28
2.4.2 Η θεωρία των Dempster-Shafer.....	28
Συμπεράσματα.....	31
2.4.3 Ασαφής λογική.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	35
ΑΣΑΦΗΣ ΛΟΓΙΚΗ.....	35
3.1 Εισαγωγή.....	35
3.2 Η έννοια της ασάφειας.....	35
3.3 Ο ορισμός της ασάφους λογικής.....	36
3.4 Έννοιες και ιδιότητες των ασαφών συνόλων.....	36
3.4.1 Οι έννοιες των ασαφών συνόλων.....	36
3.4.2 Οι ιδιότητες των ασαφών συνόλων.....	39
3.5 Ασαφείς σχέσεις, μεταβλητές, αριθμοί, προτάσεις και κανόνες.....	41
3.5.1 Οι ασαφείς σχέσεις.....	41

3.5.2 Οι ασαφείς μεταβλητές, αριθμοί, προτάσεις και κανόνες.....	42
3.6 Η αρχή της επέκτασης.....	45
3.7 Τα στάδια περιγραφής και επίλυσης ενός προβλήματος ασαφούς λογικής.....	48
3.7.1 Υπολογισμός της συνάρτησης συνεπαγωγής.....	49
3.7.2 Παραγωγή επιμέρους αποτελεσμάτων.....	52
3.7.3 Συνάθροιση αποτελεσμάτων.....	55
3.7.4 Αποσαφήνιση.....	55
3.8 Εναλλακτική επίλυση ενός προβλήματος ασαφούς λογικής.....	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	60
ΕΜΠΕΙΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	60
4.1 Εισαγωγή.....	60
4.2 Ο ορισμός των έμπειρων συστημάτων.....	60
4.3 Τα χαρακτηριστικά ενός έμπειρου συστήματος.....	61
4.4 Σύγκριση έμπειρων συστημάτων με συμβατικά προγράμματα.....	62
4.5 Σύγκριση έμπειρων συστημάτων με ανθρώπους-ειδικούς.....	65
4.5.1 Πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα έμπειρα συστήματα σε σχέση με τον άνθρωπο ειδικό.....	66
4.5.2 Πλεονεκτήματα που προσφέρει η ανθρώπινη φύση σε σχέση με τα έμπειρα συστήματα.....	66
4.6 Κριτήρια για την κατασκευή ενός έμπειρου συστήματος.....	68
4.6 Κριτήρια για την κατασκευή ενός έμπειρου συστήματος.....	68
4.7 Εφαρμογές και τύποι έμπειρων συστημάτων.....	69
4.7.1 Εφαρμογές έμπειρων συστημάτων.....	69
4.7.2 Τύποι έμπειρων συστημάτων.....	69
4.8 Αρχιτεκτονική έμπειρου συστήματος.....	70
4.8.1 Δομή έμπειρου συστήματος.....	72
4.9 Κελύφη έμπειρων συστημάτων.....	73
4.9.1 Απλά κελύφη.....	73
4.9.2 Εξελιγμένα κελύφη.....	74
4.10 Επεξήγηση των τμημάτων του κελύφους και του πυρήνα ενός έμπειρου συστήματος.....	75
4.11 Η αρχιτεκτονική του μαυροπίνακα.....	77
4.12 Στάδια και εργαλεία ανάπτυξης έμπειρων συστημάτων.....	81
4.12.1 Στάδια ανάπτυξης έμπειρων συστημάτων.....	81
4.12.2 Εργαλεία ανάπτυξης έμπειρων συστημάτων.....	84
4.13 Emycin.....	89
4.13.1 Δομή του emycin.....	90
4.13.2 Επεξήγηση των τμημάτων του emycin.....	91
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	94
ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΕΜΠΕΙΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	94
5.1 Εισαγωγή.....	94
5.2 Ιστορικά.....	94
5.3 Η έννοια της πολυκριτηριακής ανάλυσης.....	95
5.4 Εργαλεία ανάπτυξης έμπειρων συστημάτων.....	96
5.4.1 Έμπειρο σχέδιο (expert plan).....	96
5.4.2 FLOPS.....	99
5.4.3 X-MASTER.....	101
5.4.4 XPERT RULE.....	103
5.4.5 FLEX.....	110
5.4.6 CLIPS.....	111
5.5 Εργαλεία ανάπτυξης έμπειρων συστημάτων σε γλώσσα JAVA.....	116

5.5.1 JAVA BAYES.....	116
5.5.2 PROTIGI 2000.....	118
5.5.3 JTP.....	118
5.5.4 JADE.....	118
5.5.5 JESS.....	119
5.6 Ευρετήριο εμπειρων συστημάτων.....	121
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	127
ΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΑ ΕΜΠΕΙΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	127
6.1 Ασαφής λογική & έμπειρα συστήματα.....	127
6.1.1. Πλεονεκτήματα των συστημάτων ασαφούς λογικής.....	128
6.1.2. Εφαρμογές ασαφούς λογικής (& παραδείγματα).....	130
6.1.3. Διαφορά συστημάτων ασαφούς λογικής και απλών εμπειρων συστημάτων.....	138
6.2 Εφαρμογή των Bayesian Belief networks.....	141
6.2.1. Πλεονεκτήματα & Διαφορές των συστημάτων Bayesian Belief networks.....	145
6.2.2. Εφαρμογές του Bayes (& παραδείγματα).....	147
6.3 Συμπεράσματα.....	150
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	154
ΠΡΟΣΘΕΤΗ ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	155
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	155

Σύντομη Περιγραφή των Θεμάτων προς Ανάπτυξη

Τα τελευταία χρόνια καλούμαστε να πάρουμε αποφάσεις είτε σε προσωπικό είτε σε επαγγελματικό επίπεδο. Η λήψη μιας απόφασης είναι αρκετά δύσκολη όταν πρόκειται για επαγγελματικό τομέα λόγω της αβεβαιότητας του αποτελέσματος. Κάθε απόφαση εμπεριέχει ρίσκο επειδή δεν υπάρχει η τέλεια πληροφόρηση και κανείς δεν μπορεί να κάνει την τέλεια πρόβλεψη.

Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις που η λήψη αποφάσεων είναι αναγκαία και οι πληροφορίες αβέβαιες ή ασαφείς. Επιπρόσθετα, ο περιορισμένος αριθμός επιστημόνων ειδικών εντείνει το πρόβλημα της λήψης των αποφάσεων.

Οι επιστήμονες ειδικοί, προσπαθούν να μειώσουν το πρόβλημα υιοθετώντας την διαχείριση της αβεβαιότητας. Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι, συμβατικές και μη συμβατικές, οι οποίες βοηθούν στην διαχείριση της αβεβαιότητας. Αρκετές από τις μεθόδους έχουν αναπτυχθεί με την τεχνολογία του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνται τα έμπειρα συστήματα τα οποία αντισταθμίζουν την εμπειρία ενός εξειδικευμένου ανθρώπου. Τα περισσότερα συστήματα διαχείρισης της αβεβαιότητας, αναπτύσσονται με κελύφη έμπειρων συστημάτων.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναπτύσσονται οι έννοιες του επιχειρηματικού σχεδιασμού καθώς και της στρατηγικής των αποφάσεων ενώ γίνεται μια μικρή αναφορά στον κίνδυνο και την αβεβαιότητα που αντιμετωπίζουν οι λήπτες αποφάσεων. Το κεφάλαιο αυτό, εισάγει τον αναγνώστη σε εισαγωγικά θέματα επιχειρηματικού σχεδιασμού. Οι διδακτικές παραδόσεις των μαθημάτων της σχολής του Επιχειρηματικού Σχεδιασμού και Πληροφοριακών Συστημάτων συνέβαλαν στην συγγραφή του κεφαλαίου αυτού.

Το δεύτερο κεφάλαιο, έχει σκοπό την κατανόηση και περιγραφή των εννοιών της ασάφειας και της αβεβαιότητας. Επιπρόσθετα, αναλύει τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την διαχείριση της αβεβαιότητας οι οποίοι διακρίνονται σε συμβατικές και μη συμβατικές. Οι συμβατικές περιέχουν την πιθανοθεωρία, το νόμο του Bayes, καθώς και τα δίκτυα πιθανοτήτων. Οι μη συμβατικές μέθοδοι είναι η ασαφής λογική, οι συντελεστές βεβαιότητας και η θεωρία των Dempster-Shafer. Κύριες πηγές της συγγραφής, αυτού του κεφαλαίου είναι τα βιβλία των [3] Βασιλειάδη, Βλαχαβά, Κεφαλάς, Κόκκορας και Σακελλαρίου «Τεχνητή νοημοσύνη», του [11] Κίνγκ «Η υπολογιστική νοημοσύνη στο έλεγχο των

συστημάτων» καθώς και [15] οι διδακτικές σημειώσεις του κ. Μαγείρου, Καθηγητή του Πανεπιστημίου Αθηνών.

Στο κεφάλαιο τρία, αναλύεται η μέθοδος της ασαφούς λογικής καθώς και οι ιδιότητες της, όπως και οι μεταβλητές της. Οι πηγές για την συγγραφή του κεφαλαίου αυτού είναι τα βιβλία των [3] Βασιλειάδη, Βλαχαβά, Κεφαλάς, Κόκκορας και Σακελλαρίου «Τεχνητή νοημοσύνη», του [11] Κίνγκ «Η υπολογιστική νοημοσύνη στο έλεγχο των συστημάτων».

Το κεφάλαιο τέσσερα, παρουσιάζει γενικές έννοιες των έμπειρων συστημάτων και επικεντρώνεται στις λειτουργίες και την δομή τους. Επιπλέον, περιέχονται συγκρίσεις της χρησιμότητας των έμπειρων συστημάτων σε σχέση με τα κλασικά συστήματα και με τους ανθρώπους ειδικούς. Στο κεφάλαιο αυτό, εμπεριέχεται μια μικρή αναφορά σε ένα γνωστό έμπειρο σύστημα το e-mycin, το οποίο χρησιμοποιείται για ιατρικούς λόγους. Οι κύριες πηγές για την συγγραφή του κεφαλαίου αυτού είναι τα βιβλία των [3] Βασιλειάδη, Βλαχαβά, Κεφαλάς, Κόκκορας και Σακελλαρίου «Τεχνητή νοημοσύνη» και του [18] Τσακαλίδη Α. Χατζηλυγερούδη Ι. «Τεχνητή νοημοσύνη και έμπειρα συστήματα» , το οποίο αποτελεί διδακτικές σημειώσεις του Πανεπιστημίου Πατρών το 2000.

Στο κεφάλαιο πέντε παρατίθενται, απλά κελύφη έμπειρων συστημάτων, και κελύφη που χρησιμοποιούν την γλώσσα JAVA. Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι η κατανόηση των λειτουργιών των συστημάτων και η γνωριμία με το περιβάλλον κάθε συστήματος.

Σε αυτό το σημείο, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την επιβλέπουσα καθηγήτρια μας, κυρία Βασιλική Σωτηροπούλου για την υποστήριξη της, στην διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής μας, καθώς και για την σωστή καθοδήγηση της. Επιπρόσθετα, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την σχολή του Επιχειρηματικού Σχεδιασμού & Πληροφοριακών Συστημάτων για την άρτια εκπαίδευση και εκμάθηση που μας παρείχαν καθ' όλη την διάρκεια της φοίτησης μας στη σχολή.

Τέλος, η πτυχιακή αυτή αφιερώνεται στους γονείς μας, οι οποίοι κατά την διάρκεια των σπουδών μας , ήταν πάντα δίπλα μας, στηρίζοντάς μας με τον καλύτερο δυνατό τρόπο.

Καραβά Σαπφώ

Κολιζέρα Ειρήνη

Κεφάλαιο 1

Επιχειρηματικός σχεδιασμός

1.1 Εισαγωγή

Κάθε μέρα μας παρουσιάζονται διάφορα γεγονότα για τα οποία καλούμαστε να πάρουμε κάποιες αποφάσεις. Οι αποφάσεις που μπορούμε να πάρουμε είναι είτε σε προσωπικό επίπεδο ή σε επαγγελματικό. Άλλες φορές χρειαζόμαστε ελάχιστα δευτερόλεπτα από τον χρόνο μας για να καταλήξουμε σε μία απόφαση ενώ άλλες φορές μελετάμε και αναλύουμε μία περίπτωση για μήνες. Ο χρόνος που χρειάζεται για την λήψη μιας απόφασης μεταβάλλεται ανάλογα με την φύση, την σημαντικότητα και την πολυπλοκότητα του προβλήματος και μερικές φορές με την ικανότητα και την αντίληψη του ατόμου που θα πάρει την απόφαση.

Με την λέξη **απόφαση** εννοούμε συνήθως την επιλογή κάποιας ή κάποιων εναλλακτικών πράξεων οι οποίες είναι στην διάθεση μας για την επίλυση κάποιου προβλήματος.

Η λήψη μιας απόφασης είναι αρκετά δύσκολη όταν πρόκειται για επαγγελματικό τομέα λόγω της αβεβαιότητας του αποτελέσματος. Κάθε απόφαση εμπεριέχει ρίσκο επειδή δεν υπάρχει η τέλεια πληροφόρηση και κανείς δεν μπορεί να κάνει την τέλεια πρόβλεψη.

Οι υπεύθυνοι των τμημάτων των λήψεων αποφάσεων προσπαθούν να βρουν τους πιο αξιόπιστους τρόπους έτσι ώστε να διαχειρίζονται την αβεβαιότητα στον επιχειρηματικό σχεδιασμό πιο αποτελεσματικά ελαχιστοποιώντας έτσι τους κινδύνους.

Η ελαχιστοποίηση των κινδύνων και της αβεβαιότητας επιτυγχάνεται με τον επιχειρηματικό (ή στρατηγικό) σχεδιασμό.

1.2 Η έννοια του επιχειρηματικού σχεδιασμού

Ο επιχειρηματικός σχεδιασμός αναφέρεται στην διαδικασία σχεδιασμού μιας μακροχρόνιας προοπτικής, δραστηριοτήτων και αποφάσεων τακτικής, στα πλαίσια της αποστολής της επιχείρησης.

Οι επιχειρήσεις έχουν την δυνατότητα να διαθέτουν δικά τους τμήματα επιχειρηματικού σχεδιασμού ή να μισθώνουν υπηρεσίες τρίτων για αυτό το σκοπό. Για τον καθορισμό ενός επιχειρηματικού σχεδίου πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον της επιχείρησης και έπειτα να γίνεται καθορισμός των σκοπών της, της αποστολής της και της στρατηγικής της.

1.3 Η έννοια της στρατηγικής

Η στρατηγική είναι ο τρόπος με τον επιδιώκεται η επίτευξη ενός συγκεκριμένου στόχου. Η στρατηγική δεν έχει έννοια αν δεν επιτευχθεί ο τελικός στόχος της. Τα στάδια που ακολουθεί είναι τα εξής :

- 1) Διαμόρφωση στρατηγικής
- 2) Υλοποίηση στρατηγικής
- 3) Αξιολόγηση και Έλεγχος

Όταν διαμορφώνεται μια γενική στρατηγική μπορούν στην συνέχεια να ορισθούν αντίστοιχες επιμέρους στρατηγικές στα διάφορα διοικητικά επίπεδα.

1.4 Γιατί η Στρατηγική είναι αναγκαία

Η στρατηγική είναι αναγκαία γιατί βοηθά στην επίτευξη της επιτυχίας με τους παρακάτω τρόπους :

1. Θέτει τις κατευθύνσεις
2. Υποστηρίζει την λήψη αποφάσεων
3. Συγκέντρωση προσπάθειας και συντονισμός δραστηριοτήτων

4. Ορίζει την επιχείρηση και την θέση της απέναντι στον ανταγωνισμό
5. Μειώνει την αβεβαιότητα
6. Μπορεί να δώσει ένα βιώσιμο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα

1.4.1 Η στρατηγική θέτει τις κατευθύνσεις

Η εφαρμογή μιας στρατηγικής απαιτεί τον καθορισμό των μακροπρόθεσμων στόχων αλλά και των προγραμμάτων που απαιτούνται για την υλοποίηση. Μέσα στα πλαίσια του καθορισμού η στρατηγική δίνει τις κατευθύνσεις που θα κινηθεί η επιχείρηση. Δηλαδή δίνει την εικόνα του παρόντος, δίνει την εικόνα του επιθυμητού αποτελέσματος στο μέλλον και θέτει τις κατευθύνσεις για να πραγματοποιηθεί όσο το καλύτερο δυνατό η επιθυμητή εικόνα του μέλλοντος.

1.4.2 Η στρατηγική υποστηρίζει την λήψη αποφάσεων

Η ύπαρξη και η εφαρμογή μιας στρατηγικής εξασφαλίζει την ομοιομορφία των αποφάσεων που λαμβάνονται. Όταν υπάρχει μια ξεκάθαρη, κατανοητή και αποδεκτή από όλους στρατηγική, οι αποφάσεις που λαμβάνονται κινούνται προς την επίτευξη συγκεκριμένων στρατηγικών στόχων. Ακόμα και στην πιο μικρή επιχείρηση λαμβάνονται καθημερινά δεκάδες αποφάσεις. Κάποιες από αυτές είναι πολύ σημαντικές, κάποιες άλλες λιγότερο. Εάν δεν υπάρχουν κάποιες σταθερές, κάποια κριτήρια, τότε είναι πολύ δύσκολο να αξιολογηθούν οι συνέπειες κάθε επιλογής και να ληφθεί η βέλτιστη απόφαση.

1.4.3 Η στρατηγική συγκεντρώνει την προσπάθεια και συντονίζει τις δραστηριότητες

Χωρίς στρατηγική μια επιχείρηση δεν είναι τίποτα παραπάνω από ένα σύνολο ατόμων, κάθε ένα από τα οποία δρα όπως αυτό θέλει. Η πεμπτουσία όμως μιας επιχείρησης, είναι η συλλογική δράση, την οποία και προσπαθεί να διασφαλίσει η στρατηγική.

1.4.4 Η στρατηγική ορίζει την επιχείρηση και την θέση της απέναντι στον ανταγωνισμό

Η στρατηγική ορίζει την επιχείρηση και την θέση της απέναντι στον ανταγωνισμό. Είναι αυτή η οποία επιτρέπει στα άτομα που βρίσκονται εκτός της επιχείρησης, να σχηματίσουν άποψη για αυτήν. Δίνει την εξωτερική της εικόνα βάσει των στόχων της.

1.4.5 Η στρατηγική μειώνει την αβεβαιότητα

Μέσα από το πρίσμα μιας ξεκάθαρης στρατηγικής είναι πιο εύκολο να ξεχωρίσεις μια ευκαιρία ή μια απειλή για την επιχείρηση. Χωρίς στρατηγική, το ίδιο ερέθισμα μπορεί να εκλαμβάνεται από κάποιους ως ευκαιρία και από άλλους ως απειλή. Η στρατηγική εξασφαλίζει ότι όλες οι αποφάσεις παίρνονται προς την ίδια κατεύθυνση και δεν αντιμάχονται η μια με την άλλη. Πολύ σημαντικό επίσης είναι ότι μειώνοντας την αβεβαιότητα αυξάνει κανείς την παραγωγικότητά του. Βασικός στόχος των σημερινών επιχειρήσεων λοιπόν είναι να μειώσουν την αβεβαιότητα. Οι τρόποι που μπορούν να μειώσουν την αβεβαιότητα θα αναφερθούν αναλυτικότερα στα επόμενα κεφάλαια και πιο συγκεκριμένα στο κεφάλαιο 2.

1.4.6 Η στρατηγική μπορεί να δώσει ένα βιώσιμο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα

Ο τελικός στόχος κάθε επιχείρησης είναι να αποκτήσει ένα βιώσιμο / διατηρήσιμο μακροπρόθεσμο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα έναντι των άλλων επιχειρήσεων. Το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα είναι όμως, συνήθως, αποτέλεσμα πλήρους κατανόησης του εξωτερικού και εσωτερικού περιβάλλοντος. Όσον αφορά το εξωτερικό περιβάλλον η επιχείρηση πρέπει να αναγνωρίσει τις τάσεις της αγοράς, τα χαρακτηριστικά των ανταγωνιστών, τις αδυναμίες τους, τις ξεχωριστές ικανότητές τους. Εσωτερικά η επιχείρηση οφείλει να αναγνωρίσει τις θεμελιώδεις μοναδικές της ικανότητες, τις λοιπές δυνάμεις της και τις αδυναμίες της. Η στρατηγική είναι αυτή που επιτρέπει στις επιχειρήσεις να επιτύχουν μια αρμονική σύνδεση ανάμεσα στο εξωτερικό περιβάλλον και τις εσωτερικές τους δυνατότητες.

1.5 Οι συνθήκες στην διαδικασία λήψης αποφάσεων

Υπάρχουν διάφορες συνθήκες που παρουσιάζονται κατά την λήψη αποφάσεων. Κάθε συνθήκη, έχει δικό της βαθμό γνώσης των πιθανοτήτων εμφάνισης συγκεκριμένων καταστάσεων. Οι συνθήκες είναι οι παρακάτω :

1. Συνθήκες βεβαιότητας
2. Συνθήκες κινδύνου
3. Συνθήκες αβεβαιότητας

1.5.1 Συνθήκες Βεβαιότητας

Όταν ο λήπτης αποφάσεων ξέρει τις επιπτώσεις κάθε απόφασης πρωτύτερα τότε λέμε ότι η λήψη αποφάσεων γίνεται σε συνθήκες βεβαιότητας. Αυτό σημαίνει πως θεωρείται σχεδόν βέβαιη η εμφάνιση μιας ορισμένης κατάστασης.

1.5.2 Συνθήκες κινδύνου

Όταν το άτομο που αποφασίζει-λήπτης αποφάσεων μπορεί να αριθμήσει με πιθανότητες τις επιπτώσεις μιας απόφασης τότε η λήψη αποφάσεων γίνεται σε *συνθήκες κινδύνου*. Αυτό σημαίνει πως θεωρούνται γνωστές οι πιθανότητες εμφάνισης των καταστάσεων της φύσης αλλά η τελική επιλογή στρατηγικής εξαρτάται από την επιλογή κριτηρίου.

1.5.3 Συνθήκες αβεβαιότητας

Όταν ο λήπτης αποφάσεων δεν γνωρίζει ούτε τις επιπτώσεις των αποφάσεων του αλλά ούτε και μπορεί θέσει αριθμητικές πιθανότητες τότε λέμε ότι η λήψη αποφάσεων γίνεται σε *συνθήκες αβεβαιότητας*. Δηλαδή οι πιθανότητες εμφάνισης των καταστάσεων της φύσης είναι άγνωστες.

Παρακάτω παρατίθεται ένας πίνακας βιομηχανικών εφαρμογών, στις οποίες εφαρμόζονται ειδικές μαθηματικές και υπολογιστικές μέθοδοι :

Βιομηχανική εφαρμογή	Μαθηματικό πεδίο
<ul style="list-style-type: none"> • Αποφάσεις (Decision making) • Στρατηγικός σχεδιασμός (Strategic planning) • Ανάθεση διεργασιών (Task assignment) • Πολυκριτηριακή ανάλυση (Multicriteria analysis) 	<p>Έμπειρα συστήματα (Expert systems), Κανονικοποίηση (optimisation)</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Εκτίμηση κόστους (Cost estimation) • Εκτίμηση και διαχείριση επικινδυνότητας (Risk estimation & management) • Αξιολόγηση (Evaluation) προϊόντος, πωλήσεων, επίδοσης (product, sales, performance) • Εξόρυξη δεδομένων (Data mining) 	<p>Στατιστική (Statistics), έμπειρα συστήματα (expert systems), βελτιστοποίηση (optimisation)</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Μικρές ηλεκτρονικές συσκευές • Ηλεκτρονικό εμπόριο • Ψηφιακή ασφάλεια επικοινωνιών 	<p>Ασαφής λογική (Fuzzy logic), κρυπτογραφία (cryptography)</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Μοντελοποίηση παραγωγικού σχεδιασμού και συστήματα παραγωγής • Διαχείριση περιβάλλοντος • Προβλήματα μηχανικής 	<p>Μαθηματική μοντελοποίηση, προσομοίωση (Simulation), Ordinary and Partial differential equations</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Μείωση απωλειών (Waste reduction) • Βελτιστοποίηση βιομηχανικών διεργασιών (Industrial process optimisation) • Ιδανικός τρόπος διανομής προϊόντος Optimal path for product distribution • VLSI σχεδιασμός και έλεγχος • Συμπύκνωση δεδομένων 	<p>Βελτιστοποίηση (Optimisation)</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Αναγνώριση ομιλίας / προτύπων (Speech/pattern recognition) • Ρομποτική • Μοντέλα πρόβλεψης (καιρού, χρηματιστηρίου) 	<p>Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (Artificial neural networks), Μη γραμμικές αναλύσεις σειρών (Non-linear series) analysis, επεξεργασία σήματος (signal processing)</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Κατασκευή λογισμικού (Software design) 	<p>Θεωρία αλγορίθμων (Theory of algorithms)</p>

Πίνακας 1 : Βιομηχανικές εφαρμογές στις οποίες εφαρμόζονται μαθηματικές μέθοδοι

Κεφάλαιο 2

Αβέβαιη και Ασαφής γνώση στον Επιχειρηματικό Σχεδιασμό

2.1 Εισαγωγή

Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις που η λήψη αποφάσεων είναι αναγκαία και οι πληροφορίες αβέβαιες ή ασαφείς. Στις περιπτώσεις πραγματικού κόσμου τέτοιες καταστάσεις είναι συνήθεις για αυτό χρησιμοποιούνται μέθοδοι οι οποίες είτε ποσοτικοποιούν την πληροφορία είτε χρησιμοποιούν την ήδη υπάρχουσα έτσι ώστε να κάνουν την λήψη αποφάσεων πιο εύκολη και με μικρότερα ρίσκα.

Ιστορικά, η ασαφής λογική είχε αρκετές εφαρμογές. Η πρώτη εφαρμογή ήταν το σύστημα Linkman, [3] το οποίο ήταν υπεύθυνο για τις μίξεις των υλικών και την κατεργασία τους σε ειδικό κλίβανο, σε βιομηχανίες παραγωγής τσιμέντου. Οι χειριστές της γραμμής παραγωγής βοήθησαν αρκετά για να δημιουργηθούν κάποιοι κανόνες που θα είχαν εφαρμογή στο σύστημα. Η έλλειψη ενός μαθηματικού μοντέλου το οποίο θα μπορούσε να περιγράψει την διαδικασία παραγωγής έθετε τις συμβατικές μεθόδους ελέγχου μη αποδεκτές.

Η πιο γνωστή εφαρμογή ασαφούς λογικής ήταν και είναι ο υπόγειος σιδηρόδρομος Sendai στην Ιαπωνία, [3] όπου οι συρμοί του λειτουργούν υπό τον πλήρη έλεγχο των ασαφών συστημάτων. Η επιτυχία αυτής της εφαρμογής φάνηκε αμέσως αφού το σύστημα υιοθετήθηκε και από τον υπόγειο σταθμό του Tokyo. Βασικός στόχος ήταν η ασφάλεια και η άνεση των επιβατών. Ακόμα τα συστήματα ασαφούς λογικής ήταν υπεύθυνα για την ταχύτητα των συρμών (επιτάχυνση-επιβράδυνση).

2.2 Η έννοια της αβεβαιότητας

Η έλλειψη ακριβούς πληροφορίας δίνει τον ορισμό της 'αβεβαιότητας' (uncertainty). Τα σημεία όπου παρατηρείται αβεβαιότητα κατά την λήψη αποφάσεων είναι τα εξής:

- *Ανακριβή δεδομένα:* Τα ανακριβή δεδομένα είναι αποτελέσματα τα οποία προέρχονται από κάποιο όργανο το οποίο έκανε λάθος μέτρηση
- *Ελλιπή δεδομένα:* Τα ελλιπή δεδομένα προέρχονται από κάποιες πηγές με αποτέλεσμα να μην είναι αντιπροσωπευτικά, σε σχέση με άλλες πηγές οι οποίες έχουν ολοκληρωμένα δεδομένα
- *Υποκειμενικότητα:* Η έλλειψη περιγραφής της γνώσης και κάποιοι συναισθηματικοί παράγοντες συνθέτουν την υποκειμενικότητα
- *Περιορισμοί που οδηγούν σε ατελή λήψη απόφασης:* Τέτοιοι περιορισμοί μπορεί να είναι οι οικονομικοί παράγοντες ή οι χρονικοί περιορισμοί.

Τα παραπάνω σημεία κάνουν συνέχεια την εμφάνιση τους κυρίως σε προβλήματα του πραγματικού κόσμου με αποτέλεσμα την ανάγκη ύπαρξης κάποιων 'μη ακριβών' μεθόδων συλλογισμού. Η θεωρία πιθανοτήτων είναι μια από αυτές τις μεθόδους αν και αρκετοί ειδικοί την θεωρούν λίγο αναξιόπιστη γιατί απλά μεταθέτει το πρόβλημα στο πεδίο των πιθανοτήτων.

Για την πιο σωστή διαχείριση της αβεβαιότητας έχουν προταθεί κάποιες εναλλακτικές μέθοδοι οι οποίες είναι η θεωρία Dempster-Shafer, οι συντελεστές βεβαιότητας (certainty factors) και η ασαφής λογική (fuzzy logic). Όλες τις μεθόδους θα τις δούμε αναλυτικότερα στα επόμενα κεφάλαια.

2.2.1 Αντικειμενική και υποκειμενική αβεβαιότητα

Η αβεβαιότητα διαχωρίζεται ως αντικειμενική και ως υποκειμενική. **Αντικειμενική** αβεβαιότητα είναι αυτή που μπορεί να χαρακτηριστεί από ένα δειγματικό χώρο με σαφή ενδεχόμενα. Για αυτού του είδους την αβεβαιότητα μπορούμε να αντιστοιχήσουμε πιθανότητες, παραδεχόμενοι πως έχουν παρατηρηθεί αρκετά παρόμοια γεγονότα στο παρελθόν ή μπορούμε να κάνουμε εύλογες παραδοχές με τον δειγματικό χώρο. Πιο συγκεκριμένα, η ρίψη ενός ζαριού μπορεί εύκολα να ποσοτικοποιηθεί αφού έχουν ξαναδεί παρόμοιες περιπτώσεις στο παρελθόν.

Ποια θα ήταν όμως τα συμπεράσματα μας για μια αβεβαιότητα την οποία δεν έχουμε ξανασυναντήσει; Θα αναφέρουμε ένα παράδειγμα για την καλύτερη κατανόηση. Έστω ότι η μακροβιότητα και η συνεχής επιτυχημένη πορεία της

επιχείρησής μας εξαρτάται από μια δίκη. Η πιθανότητα να κερδίσουμε την δίκη, και κατά συνέπεια να κρατήσουμε την επιχείρησή μας είναι 30%. Ποια θα είναι η απόφαση που θα πάρουμε με την συγκεκριμένη πιθανότητα ;

Από τα παραπάνω παραδείγματα προσπαθήσαμε να κατανοήσουμε καλύτερα τις έννοιες της αντικειμενικής και υποκειμενικής αβεβαιότητας.

2.3 Η Διαχείριση της αβεβαιότητας με τις συμβατικές μεθόδους

Ένας μεγάλος αριθμός επιχειρηματικών αποφάσεων λαμβάνεται κάτω από συνθήκες κινδύνου και πραγματοποιούνται κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας.

Για να χειριστούμε την αβεβαιότητα χρησιμοποιούμε διάφορες μεθόδους όπως η πιθανοθεωρία, ο νόμος του Bayes και τα δίκτυα πιθανοτήτων. Παρακάτω θα κάνουμε μια μικρή αναφορά στις βασικές έννοιες πιθανοτήτων.

2.3.1 Βασικές έννοιες πιθανοτήτων

Η προσπάθεια που γίνεται για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας (όταν οι αποφάσεις λαμβάνονται σε συνθήκες αβεβαιότητας) είναι η μετατροπή των αποφάσεων κάτω από συνθήκες κινδύνου. Η μετατροπή αυτή γίνεται με την εκτίμηση της πιθανότητας να συμβεί το ένα ή το άλλο γεγονός. Η πιθανότητα αυτή αποτελεί μέτρο της αβεβαιότητας. Παρακάτω δίνονται οι βασικές έννοιες των πιθανοτήτων.

Αν E είναι ένα γεγονός τότε η άνευ συνθήκη πιθανότητα $P(E)$ να συμβεί το γεγονός εκφράζεται με ένα πραγματικό αριθμό για τον οποίο ισχύουν :

$$\square 0 \leq P(E) \leq 1$$

$$\square P(E) = 1 \text{ αν } E \text{ είναι ένα σίγουρο γεγονός}$$

$$\square P(E) + P(-E) = 1, \text{ όπου το } - \text{ συμβολίζει την άρνηση του γεγονότος}$$

Δηλαδή το άθροισμα 2 αμοιβαίων αποκλειόμενων γεγονότων ισούται με 1

Η μέτρηση των πιθανοτήτων γίνεται με την συχνότητα (frequency). Έστω δειγματικός χώρος $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$ όπου τα στοιχεία του δειγματικού χώρου είναι ισοπίθανα τότε το άθροισμα των πιθανοτήτων $P\{\omega_1\} + P\{\omega_2\} + \dots + P\{\omega_n\} = 1$ ισούται με

ένα. Αν ένα ενδεχόμενο $A = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_\mu\}$ αποτελείται από μ στοιχεία του δειγματικού χώρου Ω τότε ο λόγος μ/n είναι λέγεται η *πιθανότητα του ενδεχομένου*

$$P(A) = \mu/n = n(A)/n(\Omega) = \\ = \text{πλήθος στοιχείων του } A / \text{πλήθος στοιχείων του } \Omega$$

Αν σε ένα πείραμα τύχης (Π) αναφέρεται ένα τυχαίο ενδεχόμενο το οποίο εμφανίζεται n φορές στις n φορές που έγινε το πείραμα τότε λέμε ότι το ενδεχόμενο παρουσιάστηκε f_n . Το f_n ονομάζεται απόλυτη σχετική συχνότητα του ενδεχομένου A . Το κλάσμα f_n/n καλείται *σχετική συχνότητα*

$$\text{Σχετική συχνότητα του } A = f_n/n = \\ = \text{πλήθος εμφανίσεων του } A / \text{πλήθος όλων των δοκιμών}$$

Η πιθανότητα να πραγματοποιηθεί ένα ενδεχόμενο B όταν είναι γνωστό ότι έχει πραγματοποιηθεί ένα άλλο ορισμένο ενδεχόμενο $A \neq \emptyset$ τότε αυτό ονομάζεται *δεσμευμένη πιθανότητα* ή *υπό συνθήκη* και συμβολίζεται $P(B|A)$

$$P(B|A) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)} \quad (1)$$

ή αλλιώς

$$P(A \cap B) = P(B|A) \cdot P(A) \quad (2)$$

Η σχέση (2) αποτελεί έκφραση της πολλαπλασιαστικής ιδιότητας για 2 μη ανεξάρτητα γεγονότα της θεωρίας πιθανοτήτων.

Οι πιο σημαντικές ιδιότητες της θεωρίας πιθανοτήτων είναι η προσθετική και η πολλαπλασιαστική. Αν έχουμε 2 γεγονότα το A και B

□ **Προσθετική ιδιότητα** : Η πιθανότητα να ισχύει ένα γεγονός A ή ένα γεγονός B ισούται με το άθροισμα των πιθανοτήτων να ισχύει το καθένα ανεξάρτητα μείον την πιθανότητα να ισχύουν και τα 2 ταυτόχρονα

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \quad (3)$$

□ **Πολλαπλασιαστική Ιδιότητα** (για 2 ανεξάρτητα γεγονότα A και B): Η πιθανότητα να ισχύουν ταυτόχρονα 2 ανεξάρτητα γεγονότα A και B ισούται με το γινόμενο των πιθανοτήτων να ισχύει το ένα ανεξάρτητο από το άλλο

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B) \quad (4)$$

□ **Προσεταιριστική Ιδιότητα** (για 2 μη ανεξάρτητα γεγονότα A και B): Η πιθανότητα να ισχύουν ταυτόχρονα 2 μη ανεξάρτητα γεγονότα A και B ισούται με το γινόμενο των πιθανοτήτων να ισχύει το A επί την υπό συνθήκη πιθανότητα να ισχύει το B δεδομένου ότι ισχύει το A

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B | A) \quad (5)$$

Η τελευταία σχέση (5) είναι δύσκολο να εφαρμοστεί στην πράξη γιατί η πιθανότητα $P(B | A)$ δεν είναι συχνά διαθέσιμη.

Μία λύση δίνεται από το νόμο του Bayes που σχετίζει το $P(B | A)$ με άλλες γνωστές πιθανότητες

Παράδειγμα

Έστω 2 ζάρια το A και το B και τα 2 γεγονότα

Γ : το ζάρι A φέρνει 1 σε μια τυχαία ρίψη

Δ : το ζάρι B φέρνει 1 σε μια τυχαία ρίψη

Ισχύουν οι παρακάτω πιθανότητες:

$$P(\Gamma) = 1/6$$

$$P(\Delta) = 1/6$$

Η πιθανότητα να φέρουν και τα 2 ζάρια 1 δεδομένου ότι είναι ανεξάρτητα δίνεται από τη σχέση (4) που δόθηκε παραπάνω δηλαδή

$$P(\Gamma \cap \Delta) = P(\Gamma) \cdot P(\Delta) = 1/6 \cdot 1/6 = 1/36$$

Έστω ότι υπάρχει ένα ζάρι και υπάρχουν τα 2 παρακάτω γεγονότα

E: το ζάρι φέρνει περιττό αριθμό

Z: το ζάρι θα φέρει αριθμό μικρότερο ή ίσο με το 3

Ισχύουν οι παρακάτω πιθανότητες:

$$P(E) = \Pi(\text{περιττός αριθμός}) = 3/6 = 0,5$$

Αφού ισχύουν 3 περιπτώσεις από το γεγονός E τότε θα έχω δυνατές τιμές {1,3,5}

Από το σύνολο των τιμών του ζαριού {1,2,3,4,5,6}

$$P(Z) = P(\text{αριθμός} \leq 3) = 3/6 = 0,5$$

Αφού υπάρχουν 3 δυνατές τιμές από το σύνολο των τιμών του ζαριού {1,2,3,4,5,6}

Οι τιμές θα είναι μικρότερες ή ίσες του 3 {1,2,3}

$$P(Z|E) = P(\text{αριθμός} \leq 3 \text{ δεδομένου να είναι περιττός}) = 2/3$$

Γιατί υπάρχουν 2 τιμές {1,3}

$$P(E \cap Z) = P(\text{περιττός αριθμός και} \leq 3) = 0,5 \cdot 2/3 = 0,33$$

Τέλος αν εφαρμόσουμε την προσθετική ιδιότητα θα έχουμε :

$$\begin{aligned} P(E \cup Z) &= P(\text{περιττός αριθμός ή} \leq 3) = P(E) + P(Z) - P(E \cap Z) = \\ &= 0,5 + 0,5 - 0,33 = 0,67 \end{aligned}$$

2.3.2 Ο νόμος του Bayes

Όταν λαμβάνονται πολλές αποφάσεις, κάποια στιγμή φτάνουμε στο σημείο να πρέπει να επιλέξουμε ανάμεσα στην αναζήτηση νέων επαρκών πληροφοριών ή στην περίπτωση εσφαλμένης απόφασης. Και τα 2 παραπάνω επιφέρουν κάποιο κόστος. Λύση στο πρόβλημα αυτό μπορεί να δώσει ο ανάλυση κατά Bayes που εισάγει μια διαδικασία με την οποία ο διοικητικός φορέας μπορεί σταδιακά να βελτιώσει τις πληροφορίες που χρειάζεται και επομένως τις πιθανότητες λήψης αποφάσεων, κάτω από συνθήκες κινδύνου και αβεβαιότητας.

Το βασικό θεώρημα της ανάλυσης αυτής είναι να αναπροσαρμόστουν οι a priori πιθανότητες, κάτω από το νέο φως πληροφοριών σε a posteriori πιθανότητες.

Οι πιθανότητες εξετάζουν την συχνότητα εμφάνισης των αποτελεσμάτων. Υπάρχει μια μέθοδος η οποία είναι περισσότερο υποκειμενική όσον αφορά τις πιθανότητες και κάνει χρήση εκτιμήσεων αντί συχνότητας. Αυτή η μέθοδος

ονομάζεται ως 'ο νόμος του Bayes' και υπολογίζει πιθανότητες βάσει άλλων πιθανοτήτων οι οποίες είναι πιο εύκολο να υπολογιστούν.

Παραπάνω στις βασικές έννοιες πιθανοτήτων δόθηκε η σχέση (2) πιο συγκεκριμένα $P(A \cap B) = P(B|A) \cdot P(A)$. Αν διαιρέσουμε το $P(A)$ και με δεδομένο ότι $P(A \cap B) = P(B \cap A)$ προκύπτει η εξής σχέση

$$\frac{P(B \cap A)}{P(A)} = \frac{P(A|B) \cdot P(B)}{P(A)}$$

Έτσι λοιπόν αν εφαρμόσουμε τώρα την σχέση (1) και πιο συγκεκριμένα

$$P(B|A) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)}$$
 γίνεται αντικατάσταση του αριστερού μέρους και έχουμε

σαν αποτέλεσμα

$$P(B|A) = \frac{P(A|B) \cdot P(B)}{P(A)}$$
 η οποία με τη σειρά της μας δίνει το εξής αποτέλεσμα

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \cdot P(A)}{P(B)} \quad (6)$$

Η παραπάνω εξίσωση που προέκυψε από τους υπολογισμούς (6) είναι η πιο απλή εκδοχή του νόμου του Bayes. Αν την συγκρίνουμε με την σχέση (1) είναι πολύ εύκολη στον υπολογισμό της.

Έστω για παράδειγμα ότι η ΝΟΥΝΟΥ θεωρεί ότι αν ένα κουτί γάλατος μεταλλικό είναι χτυπημένο τότε το περιεχόμενο του είναι χαλασμένο. Αν λοιπόν θεωρήσουμε το A να είναι ένα χτυπημένο κουτί και το B είναι ένα αλλοιωμένο περιεχόμενο από το οποίο καταλαβαίνουμε ότι προέρχεται από την χτυπημένη συσκευασία A. Αν προσπαθήσουμε να χρησιμοποιήσουμε την σχέση (1) θα πρέπει να υπολογίσουμε πόσα κουτιά γάλατος A είναι χτυπημένα και πόσες από τις συσκευασίες είναι αλλοιωμένες B αλλά και πόσες συσκευασίες οι οποίες δεν είναι χτυπημένες περιέχουν αλλοιωμένο περιεχόμενο. Γενικότερα σε τέτοιες περιπτώσεις οι πληροφορίες δεν είναι διαθέσιμες αλλά και είναι δύσκολο να υπολογιστούν.

Αντίθετα όμως εφαρμόζοντας την σχέση (6) η οποία είναι περισσότερη υποκειμενική και η οποία κάνει χρήση των εκτιμήσεων και όχι των συχνοτήτων όπως η σχέση (1) μπορεί να υπολογίσει την ποσότητα $P(A/B)$ αν οι ειδικοί ελεγκτές

που εξετάζουν τα κουτιά δώσουν την εκτίμηση τους όσον αφορά πόσα κουτιά είχαν αλλοιωμένο περιεχόμενο και ταυτόχρονα η συσκευασία τους ήταν χτυπημένη.

Το παράδειγμα που αναφέρθηκε ήταν αρκετά απλά σε σχέση με τα πραγματικά περιστατικά. Γενικότερα αυτό που μελετάται είναι η πιθανότητα να ισχύει το υποθετικό συμπέρασμα A δεδομένο ότι ισχύουν τα γεγονότα $B_1, B_2, B_3, \dots, B_n$. Τέτοιες περιπτώσεις βρίσκουν λύση με το νόμο του Bayes ο οποίος έχει γενική μορφή :

$$P(A|B_1 \cap B_2 \cap \dots \cap B_k) = \frac{P(B_1 \cap B_2 \cap \dots \cap B_k | A) \cdot P(A)}{P(B_1 \cap B_2 \cap \dots \cap B_k)} \quad (7)$$

Με την σχέση (7) εκφράζεται η ανάγκη να συλλέγονται από την αρχή οι υπό συνθήκη πιθανότητες των διάφορων γεγονότων. Γενικότερα η σχέση (7) χρησιμοποιείται όταν τα γεγονότα B είναι ανεξάρτητα το ένα από το άλλο και τότε απαιτούνται μόνο $m \cdot n + m + n$ τιμές πιθανοτήτων, όπου m είναι οι πιθανές καλασμένες συσκευασίες και n είναι το δυνατό αλλοιωμένο γάλα.

Συμπεράσματα

Παραπάνω μελετήσαμε τις βασικές έννοιες πιθανοτήτων και το νόμο του Bayes. Αυτό που μπορούμε συμπερασματικά να σημειώσουμε είναι ότι η θεωρία πιθανοτήτων επιφέρει κόστος στην περίπτωση που επιλεγεί για την διαχείριση της αβεβαιότητας. Αυτό συμβαίνει επειδή τα διάφορα γεγονότα θεωρούνται ανεξάρτητα με αποτέλεσμα ευκολότερους υπολογισμούς σε βάρος της ακρίβειας των συλλογισμών που πραγματοποιούνται. Επιπρόσθετα, καταγράφονται αναλυτικά όλες οι πιθανότητες και οι συσχετίσεις μεταξύ τους, ώστε να έχουμε ακριβή συμπεράσματα, με αποτέλεσμα το υψηλό υπολογιστικό κόστος.

Η στατιστική κατά Bayes διαφέρει ως προς την κλασική στατιστική αφού λαμβάνει άμεσα υπόψη του τις αντικειμενικές πιθανότητες, τις υποκειμενικές απόψεις σχετικά με την αβεβαιότητα υπό την μορφή υποκειμενικών πιθανοτήτων

και τέλος τις προτιμήσεις του ατόμου που θα αποφασίσει (λήπιτη αποφάσεων). Αυτά λαμβάνονται υπόψη στην στατιστική αλλά με έμμεσο τρόπο.

2.3.3 Δίκτυα πιθανοτήτων

Τα 'δίκτυα πιθανοτήτων' (Bayesian probability networks) βασίζονται στην παρατήρηση όπως στον πραγματικό κόσμο όπου τα γεγονότα δεν αλληλεπιδρούν όλα το ένα με το άλλο αλλά μερικώς. Πιο συγκεκριμένα αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της αλληλεπίδρασης των πιθανοτήτων που εμφανίζεται όταν ο χειρισμός της αβεβαιότητας γίνεται αυστηρά κατά Bayes.

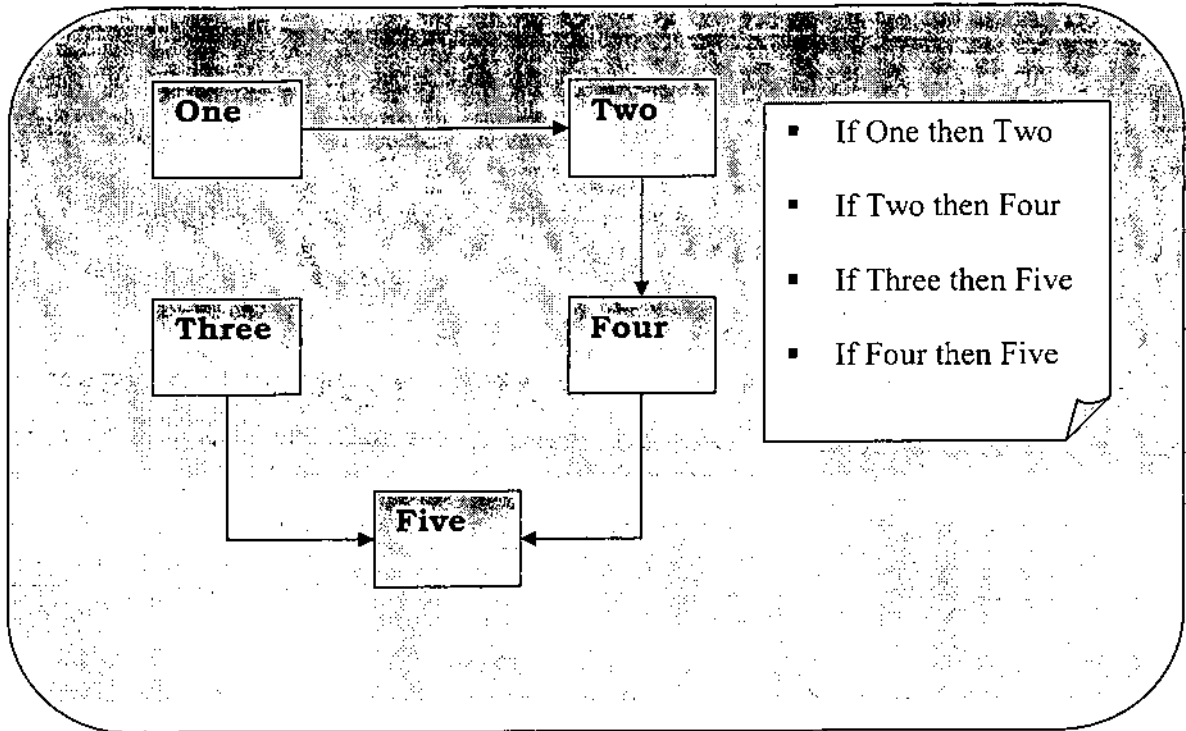
Με τα δίκτυα πιθανοτήτων δεν είναι απαραίτητος ο υπολογισμός των πιθανοτήτων όλων των συνδυασμών. Απλά ορίζονται κάποιες ομάδες από γεγονότα τα οποία αλληλεπιδρούν.

Οι κανόνες που εφαρμόζονται στα δίκτυα πιθανοτήτων έχουν την παρακάτω μορφή :

If γεγονός then υποθετικό συμπέρασμα

Ο παραπάνω κανόνας θυμίζει τον κανόνα που χρησιμοποιούν οι συντελεστές βεβαιότητας (certainty factors) με τη διαφορά ότι το υποθετικό συμπέρασμα ακολουθείται με συντελεστή βεβαιότητας CF. Οι συντελεστές βεβαιότητας θα μελετηθούν παρακάτω στις εναλλακτικές μεθόδους της διαχείρισης της αβεβαιότητας.

Δύο κανόνες μπορούν να καταλήγουν στο ίδιο υποθετικό συμπέρασμα αλλά και ένα υποθετικό συμπέρασμα ενός κανόνα μπορεί να αποτελεί γεγονός σε κάποιο άλλο κανόνα. Παρακάτω δίνεται ένα παράδειγμα διασυνδεδεμένων κανόνων



Σχήμα 1 :Παράδειγμα δικτύων πιθανοτήτων

Βλέπουμε στο παραπάνω παράδειγμα διασυνδεόμενους κανόνες όπου το Two για παράδειγμα εμφανίζεται στον πρώτο κανόνα ως υποθετικό συμπέρασμα ενώ στον δεύτερο έχει τη θέση του γεγονότος.

Αυτό το φαινόμενο που περιγράφηκε πιο πάνω ονομάζεται 'πρόβλημα αντιστροφής αιτίας-αποτελέσματος'. Στα δίκτυα πιθανοτήτων υπάρχει η δυνατότητα να διαχωρίζεται η αλληλεπίδραση αυτή και ο ειδικός μηχανισμός του επιτρέπει την αλλαγή ροής της πληροφορίας (δηλαδή της πιθανότητας) χωρίς όμως να γίνεται ταυτόχρονη χρήση κανόνων που να αντιστρέφει τη σχέση αιτίου και αποτελέσματος.

Η παραλλαγή των δικτύων πιθανοτήτων είναι τα 'δίκτυα συμπερασμού' όπου οι κανόνες τους υποδηλώνουν μια χαλαρή συνεπαγωγή. Οι κανόνες στα δίκτυα συμπερασμού έχουν την παρακάτω μορφή :

If γεγονός then υποθετικό συμπέρασμα με βαθμό ισχύος S

Η παραπάνω μορφή του κανόνα είναι παρόμοια με αυτή του νόμου του Bayes με τη διαφορά ότι έχει προστεθεί ο βαθμός ισχύος S.

Η υλοποίηση των δικτύων πιθανοτήτων γίνεται με τη χρήση κάποιων μεγεθών.

Τα μεγέθη αυτά είναι :

I. Η εύνοια γεγονότος

II. Η λογική επάρκεια

III. Η λογική αναγκαιότητα

Παρακάτω εκφράζονται οι έννοιες των παρακάτω μεγεθών

Εύνοια γεγονότος (Odds) :

Με την εύνοια γεγονότος γίνεται σύγκριση μεταξύ των πιθανοτήτων στις περιπτώσεις να συμβεί ή να μην συμβεί ένα γεγονός (A). Παρακάτω δίνεται η σχέση με την οποία υπολογίζεται η εύνοια γεγονότος:

$$O(A) = \frac{P(A)}{1-P(A)} \quad (8)$$

Λογική Επάρκεια (Logical Sufficiency-LS) :

Με την λογική επάρκεια εκφράζεται πόση είναι η πιθανότητα σύνδεσης ενός γεγονότος (A) με την αλήθεια ενός υποθετικού συμπεράσματος (B) παρά με την άρνηση η οποία συμβολίζεται με - (μείον). Η λογική επάρκεια υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση :

$$LS = \frac{P(A|B)}{P(-A|-B)} = \frac{O(B|A)}{O(B)} \quad (9)$$

Λογική αναγκαιότητα (Logical necessity-LN) :

Η λογική αναγκαιότητα εκφράζει το πόσο πιθανό είναι να συνδεθεί η απουσία ενός γεγονότος (A) με την αλήθεια ενός υποθετικού συμπεράσματος (B) παρά με την άρνηση του υποθετικού συμπεράσματος (B). Η λογική αναγκαιότητα υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση :

$$LN = \frac{P(-A|B)}{P(-A|-B)} = \frac{O(B|-A)}{O(B)} \quad (10)$$

Τα δίκτυα πιθανοτήτων εκτός από το βαθμό ισχύος S χρησιμοποιούν στους κανόνες αρχικές τιμές πιθανοτήτων με αποτέλεσμα οι κανόνες να έχουν την γενική μορφή :

$$A \xrightarrow{(LS, LN)} \underset{P_0(B)}{B}$$

Όπου το $P_0(B)$ είναι η πιθανότητα να ισχύει το υποθετικό συμπέρασμα B όταν απουσιάζει κάποια ένδειξη του γεγονότος A.

Αν κατά την διάρκεια του συμπερασμού γίνει γνωστή η ύπαρξη του γεγονότος A τότε και η πιθανότητα του B αλλάζει σε $P(B|A)$.

Ο βαθμός αλλαγής καθορίζεται από το βαθμό ισχύος του κανόνα δηλαδή τις τιμές LS και LN. Ανάλογα με τις συσχετίσεις που υπάρχουν, γίνονται οι αλλαγές μέσα στο δίκτυο από κόμβο σε κόμβο.

Συμπεράσματα

Όταν κάποιοι κανόνες διασυνδέονται υπάρχουν 2 τρόποι με τους οποίους οι πιθανότητες αλληλεπιδρούν. Ο ένας σχετίζεται με την πιθανότητα να ισχύει ένα υποθετικό συμπέρασμα και ο δεύτερος σχετίζεται με την πιθανότητα να ισχύει κάποιο υποθετικό συμπέρασμα. Το πρόβλημα αυτό το οποίο προαναφέρθηκε στους συντελεστές βεβαιότητας , είναι πιο συγκεκριμένα το πρόβλημα αντιστροφής αιτίου-αποτελέσματος . Στα δίκτυα πιθανοτήτων γίνεται διαχωρισμός της αλληλεπίδρασης με αποτέλεσμα να επιτρέπεται συλλογιστική με αλλαγή ροής της πληροφορίας.

2.4 Η Διαχείριση της αβεβαιότητας με τις εναλλακτικές μεθόδους

Παραπάνω μελετήθηκαν οι συμβατικές μέθοδοι με τις οποίες μπορούμε να διαχειριστούμε την αβεβαιότητα. Κατά την επίλυση των προβλημάτων του πραγματικού κόσμου οι παραπάνω μέθοδοι αποτελούν κανόνα παρά εξαίρεση με αποτέλεσμα να δημιουργείται ανάγκη ύπαρξης 'μη ακριβών' μεθόδων συλλογισμού. Για αυτό τον λόγο έχουν προταθεί κάποιες εναλλακτικές τεχνικές για το χειρισμό της αβεβαιότητας οι οποίες είναι οι παρακάτω :

1. Συντελεστές βεβαιότητας
2. Η θεωρία των Dempster-Shafer
3. Ασαφής λογική

Παρακάτω θα αναλύσουμε ξεχωριστά τις τεχνικές με τους κανόνες και τις ιδιότητες τους.

2.4.1 Συντελεστές βεβαιότητας

Οι συντελεστές βεβαιότητας (Certainty Factors – CF) είναι αριθμητικές τιμές οι οποίες εκφράζουν την βεβαιότητα για την αλήθεια μιας πρότασης ή ενός γεγονότος. Οι συντελεστές βεβαιότητας εισαχθήκανε πρώτη φορά στα έμπειρα συστήματα για να δώσουν κάποια βεβαιότητα στα συμπεράσματα των κανόνων. Το έμπειρο σύστημα που εισαχθήκανε ονομάζεται e-mycin και αφορά θέματα ιατρικής φύσης και θα αναλυθεί με περισσότερη λεπτομέρεια στο 4ο Κεφάλαιο.

Οι κανόνες για τους οποίους κλήθηκαν οι συντελεστές βεβαιότητας έχουν την παρακάτω μορφή :

If γεγονός then υποθετικό συμπέρασμα με βεβαιότητα CF

Οι τιμές βεβαιότητας ανήκουν στο διάστημα $[-1,+1]$ το οποίο σημαίνει πως αν οι τιμές μας πλησιάζουν στο +1 τότε εκφράζεται η βεβαιότητα για το αληθές της πρότασης, αν πάλι τείνει προς το -1 εκφράζεται η βεβαιότητα για το ψευδές της

πρότασης. Αν οι τιμές αγγίζουν τα όρια δηλαδή +1 ή -1 τότε μιλάμε για απόλυτη βεβαιότητα. **Το μηδέν σε αυτό το διάστημα εκφράζει την άγνοια.**

Παρακάτω παρατίθεται ένα παράδειγμα ιατρικής φύσεως για να γίνουν πιο κατανοητοί οι κανόνες βεβαιότητας :

Παράδειγμα

Ⓢ **If** πυρετός **then** γρίπη CF **0,9**

Το οποίο σημαίνει πως **Αν** κάποιος ασθενής έχει πυρετό **τότε** έχει γρίπη κατά πιθανότητα βεβαιότητας (αλήθειας) 0,9

Ⓢ **If** πυρετός **then** γρίπη CF - **0.8**

Το οποίο σημαίνει πως **Αν** κάποιος ασθενής έχει πυρετό **τότε** έχει γρίπη κατά πιθανότητα βεβαιότητας (ψεύδους) -0,8

Ο CF (certainty factors) είναι ένα υποθετικό συμπέρασμα της βεβαιότητας που εκφράζει ο κανόνας. Η βεβαιότητα όμως μπορεί να προστεθεί και στην τιμή του γεγονότος. Στο παραπάνω παράδειγμα δεν μπορούμε να προσθέσουμε συντελεστή βεβαιότητας στο γεγονός δηλαδή τον πυρετό γιατί ο πυρετός μετριέται.

Για την καλύτερη κατανόηση όμως θα προσθέσουμε συντελεστή για να δούμε πως μετριέται σε αυτήν την περίπτωση ο συντελεστής βεβαιότητας.

Ⓢ **If** πυρετός CF₁ **0,7 then** γρίπη CF **0,9**

Στο παραπάνω παράδειγμα αναφέρεται πως αν ένας ασθενής έχει πυρετό με βεβαιότητα 0,7 τότε θα έχει γρίπη κατά 0,9 βεβαιότητα. Όταν λοιπόν υπάρχουν 2 συντελεστές βεβαιότητας τότε το υποθετικό αποτέλεσμα θα είναι το γινόμενο των 2 συντελεστών δηλαδή στο παράδειγμα ο συντελεστής βεβαιότητας είναι $0,7 * 0,9 = 0,63$

Σε έναν κανόνα μπορούν να περιέχονται πολλά γεγονότα τα οποία ενώνονται είτε με AND είτε με OR. Ανάλογα με τον τρόπο που συνδέονται τα γεγονότα διαλέγουμε και το συντελεστή. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου διαλέγεται ο μικρότερος

συντελεστής από τα γεγονότα αλλά και περιπτώσεις όπου διαλέγεται ο μεγαλύτερος συντελεστής. Παρακάτω παρατίθεται ένα παράδειγμα της περίπτωσης όπου ο κανόνας θα περιέχει 2 γεγονότα.

⊙ **If** πυρετός CF_1 **0,6** AND βήχας CF_2 **0,3** **then** γρίπη CF **0,6**

Στο παραπάνω παράδειγμα τα γεγονότα είναι ο πυρετός και ο βήχας. Οι τιμές των συντελεστών τους διαφέρουν, ο συνολικός τους συντελεστής είναι

$$CF_{if} = \min(CF_1, CF_2) = 0,3$$

Αρα λοιπόν ο συνολικός συντελεστής με τον συντελεστή του υποθετικού συμπεράσματος μας κάνει

$$CF_{if} * CF = 0,162$$

Αρα η βεβαιότητα για το υποθετικό συμπέρασμα του κανόνα είναι 0,162.

Υπάρχει περίπτωση το υποθετικό συμπέρασμα ενός κανόνα να είναι CF_p και να ενεργοποιεί έναν άλλο κανόνα ο οποίος ο οποίος να βγάζει το ίδιο υποθετικό συμπέρασμα με βεβαιότητα CF_n σε τέτοιες περιπτώσεις το συνολικό υποθετικό συμπέρασμα καθορίζεται από τα πρόσημα με βάση τους παρακάτω κανόνες :

I. Αν CF_p και CF_n είναι > 0 τότε :

$$CF = CF_p + CF_n * (1 - CF_p) = CF_p + CF_n - CF_n * CF_p$$

II. Αν CF_p και CF_n είναι < 0 τότε :

$$CF = CF_p + CF_n * (1 + CF_p) = CF_p + CF_n + CF_n * CF_p$$

III. Αν CF_p και CF_n είναι ετερόσημα τότε :

$$CF = \frac{CF_p + CF_n}{1 - \min(|CF_p|, |CF_n|)}$$

Παράδειγμα

Έστω ότι έχουμε 2 κανόνες οι οποίοι οδηγούν στο ίδιο υποθετικό συμπέρασμα δηλαδή το Z αλλά κάτω από διαφορετικές παραδοχές τότε έχουμε :

a) **IF E CF_E 0.7 then Z CF 0,8**

b) **IF D CF_D 0.3 AND G CF_G 0.6 AND J CF_J 0.8 then CF 0.5**

Κάνοντας τους υπολογισμούς από τον πρώτο κανόνα βρίσκουμε πως

$$CF_p(Z) = 0,7 * 0,8 = 0,56$$

Κάνοντας τους υπολογισμούς για το δεύτερο κανόνα ο οποίος έχει τρία γεγονότα

$$CF_n(Z) = 0,5 * \min(0,3, 0,6, 0,8) = 0,5 * 0,3 = 0,15$$

Όπως φαίνεται παραπάνω και οι 2 κανόνες έχουν θετικά αποτελέσματα, έτσι για να βγάλουμε την συνολική βεβαιότητα θα πάρουμε τον πρώτο τύπο που απευθύνεται σε 2 θετικά αποτελέσματα. Ο τύπος είναι: $CF = CF_p + CF_n * (1 - CF_p) = CF_p + CF_n - CF_n * CF_p$

Κάνουμε αντικατάσταση του τύπου με τα δεδομένα μας

$$CF = 0,56 + 0,15 * (1 - 0,56) = 0,56 + 0,15 - 0,15 * 0,56 = 0,71 - 0,084 = 0,626$$

Άρα η συνολική βεβαιότητα του κανόνα των υποθετικών συμπερασμάτων είναι 0.626

Το μειονέκτημα της παραπάνω μεθόδου είναι πως ο κανόνας θα πρέπει να συντάσσεται σωστά έτσι ώστε ένα υποθετικό συμπέρασμα ενός κανόνα να μη μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν γεγονός σε άλλο κανόνα δηλαδή οι κανόνες δεν πρέπει να χρησιμοποιούν τα παραπάνω ταυτόχρονα. Ένα παράδειγμα για καλύτερη κατανόηση είναι το παρακάτω :

❖ **IF E then K**

❖ **IF K then E**

Αξίζει να σημειωθεί πως το παραπάνω πρόβλημα αποτελεί μειονέκτημα για αρκετά συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν κανόνες.

Συμπεράσματα

Το πρόβλημα κόστους που δημιουργείται από την θεωρία πιθανοτήτων μπορεί να αντιμετωπιστεί με τους συντελεστές βεβαιότητας. Αυτό συμβαίνει επειδή παρακάμπτουν το πρόβλημα του υπολογισμού όλων των πιθανοτήτων και των υπό συνθήκη πιθανοτήτων. Επιπλέον την θέση των πιθανοτήτων παίρνουν οι συντελεστές βεβαιότητας οι οποίοι έχουν υπολογιστεί από ειδικούς.

Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι πρέπει να αποφεύγεται η ταυτόχρονη χρήση των κανόνων που αναστρέφουν την σχέση αιτίου-αποτελέσματος.

Το μειονέκτημα αυτό δεν σχετίζεται ακριβώς με την μέθοδο αλλά με το πρόβλημα που παρουσιάζουν οι κανόνες.

Ο 2.4.2 Η θεωρία των Dempster-Shafer

Η μέθοδος Dempster-Shafer βασίζεται σε λογισμό με αριθμητικές τιμές πεποίθησης (belief), δηλαδή πίστης για την ισχύ κάποιου υποθετικού συμπεράσματος για το οποίο υπάρχουν κάποιες ενδείξεις (γεγονότα).

Τα βασικά στοιχεία της θεωρίας Dempster-Shafer είναι τα παρακάτω :

- a) το πλαίσιο διάκρισης
- b) η βασική κατανομή πιθανότητας

Παρακάτω θα αναλύσουμε τα δύο βασικά στοιχεία της θεωρίας Dempster-Shafer

a) Το πλαίσιο διάκρισης

Το πλαίσιο διάκρισης (frame of discernment) είναι το σύνολο U των διακριτών τιμών και αμοιβαία αποκλειόμενων προτάσεων ενός τομέα γνώσης. Πιο συγκεκριμένα αν εξετάζεται η πώληση ενός εργοστασίου, το U αντιπροσωπεύει όλα τα πιθανά σενάρια για κέρδη ή ζημιές (δηλαδή τα υποθετικά συμπεράσματα).

Το σύνολο των υποσυνόλων του U (δυναμοσύνολο) συμβολίζεται με $\text{Powerset}(U)$ ή πιο απλά $\text{Pow}(U)$.

Έστω ότι το σύνολο πιθανών σεναρίων για κέρδος είναι $U=\{A, B, C\}$ τότε το σύνολο θα είναι $\text{Pow}(U) = \{ \emptyset, \{A\}, \{B\}, \{C\}, \{A,B\}, \{A,C\}, \{B,C\}, \{A,B,C\} \}$ το οποίο υποδηλώνει τις πιθανές διαγνώσεις για μία περίπτωση αγοράς εργοστασίου. Κάθε στοιχείο του $\text{Pow}(U)$ αντιστοιχεί σε διαζευγμένες προτάσεις.

Αν πάρουμε για παράδειγμα το πρόβλημα πώλησης του εργοστασίου και τα στοιχεία $\{A,B\}$ σημαίνουν πώληση στον Α-επιχειρηματία και πώληση στον Β επιχειρηματία. Στοιχεία του U που δεν ανήκουν στο $\text{Pow}(U)$, όπως για παράδειγμα η πώληση στον C επιχειρηματία, κάνουν σαφή την άρνηση του αντίστοιχου υποθετικού συμπεράσματος. Το κενό υποσύνολο \emptyset αντιστοιχεί στην περίπτωση όπου όλα τα υποθετικά συμπεράσματα είναι ψευδή.

b) Η βασική κατανομή Πιθανότητας

Η βασική κατανομή πιθανότητας (basic probability assignment-bpa) είναι μια απεικόνιση :

$$m: \text{Pow}(U) \rightarrow [0,1]$$

η οποία αναθέτει μια τιμή πεποίθησης μεταξύ 0 και 1 για κάθε στοιχείο του $\text{Pow}(U)$. Είναι δηλαδή το μέτρο πεποίθησης που υπάρχει για το κατά πόσο ισχύει το υποθετικό συμπέρασμα που εκφράζεται με το συγκεκριμένο στοιχείο. Η ποσότητα αυτή είναι εν γένει υποκειμενική και δεν μοιράζεται στα επιμέρους στοιχεία κάθε στοιχείου του $\text{Pow}(U)$.

Έστω για παράδειγμα $m(\{A, B\}) = 0,3$ τότε αυτή η πεποίθηση δεν μοιράζεται στα $\{A\}$ και $\{B\}$ αλλά στο $\{A, B\}$. Ειδικά για την περίπτωση του στοιχείου \emptyset ισχύει $m=0$. Δεδομένου ότι το αληθές υποθετικό συμπέρασμα βρίσκεται κάπου στα μέσα του $\text{Pow}(U)$ θα ισχύει ότι :

$$\sum_{X \in \text{Pow}(U)} m(X) = 1 \quad [11]$$

Η ποσότητα $m(X)$ εκφράζει το πόσο ισχυρή είναι η πεποίθηση για το ότι ένα συγκεκριμένο στοιχείο του U ανήκει στο X αλλά όχι σε κάποια από τα τυχόν

υποσύνολα του X. Η συνολική πεποίθηση ότι ένα στοιχείο του U ανήκει στο X καθώς και στα τυχόν υποσύνολα του X συμβολίζεται με $Bel(X)$ και δίνεται από τη σχέση

$$Bel(X) = \sum_{Y \subseteq X} m(Y) \quad [12]$$

Αν m_1 και m_2 θεωρηθούν 2 ανεξάρτητες εκτιμήσεις (βασικές κατανομές πιθανότητας) που αποδίδουν κάποιο βαθμό πεποίθησης στα στοιχεία του $Pow(U)$ τότε αυτές συνδυάζονται με μία 3^η εκτίμηση $m_3 = m_1 \oplus m_2$ με τρόπο όπου ορίζεται με τον κανόνα D-S:

$$m_3(A) = m_1 \oplus m_2(A) = \frac{\sum_{X, Y \in U, X \cap Y = A} m_1(X) \cdot m_2(Y)}{1 - \sum_{X, Y \in U, X \cap Y = \emptyset} m_1(X) \cdot m_2(Y)} \quad (13)$$

Για την καλύτερη κατανόηση της μεθόδου, παρακάτω θα δοθεί ένα παράδειγμα. Το παράδειγμα είναι ιατρικής φύσεως αλλά βοηθάει στην καλύτερη κατανόηση.

Έστω ένα πρόβλημα διάγνωσης ασθενειών και $U = \{A, B, C\}$. Το σύνολο των δυνατών ασθενειών που μπορούν να διαγνωσθούν είναι το :

$$Pow(U) = \{ \emptyset, \{A\}, \{B\}, \{C\}, \{A, B\}, \{A, C\}, \{B, C\}, \{A, B, C\} \}$$

Αν υποθέσουμε ότι δεν υπάρχει καμία άλλη ένδειξη τότε θα ισχύει :

$$m = \{ \emptyset, \{A\}, \{B\}, \{C\}, \{A, B\}, \{A, C\}, \{B, C\}, \{A, B, C\} \} = 1$$

Η σχέση του m υποδηλώνει την βεβαιότητα ότι η διάγνωση βρίσκεται κάπου στα στοιχεία του συνόλου $Pow(U)$ αλλά επειδή δεν υπάρχει κάποια άλλη ένδειξη δεν είναι δυνατό να δοθεί ιδιαίτερη βαρύτητα σε κάποια από αυτά.

Στην θεωρία του Bayes κάθε στοιχείο του $Pow(U)$ θα έπρεπε να είναι ισοπίθανο.

Έστω ότι έχουμε τώρα διαθέσιμη πληροφορία (για παράδειγμα γίνονται κάποιες ιατρικές εξετάσεις) και με βάση αυτές ανακαλύπτουμε πως η ασθένεια είναι μια από τις A και B με βαθμό πίστης 0,7. Εξαιτίας αυτού οι τιμές πεποίθησης ανανεώνονται και γίνονται ως εξής :

$$m_1(\{A, B\}) = 0,7 \text{ άρα}$$

$$m_1(\{ \emptyset, \{A\}, \{B\}, \{C\}, \{A, C\}, \{B, C\}, \{A, B, C\} \}) = 0,3$$

Αυτό σημαίνει πως η έλλειψη πίστης σε ένα από τα υποθετικά συμπεράσματα του $Pow(U)$ ισοδυναμεί αυτόματα με ισόποσο βαθμό πίστης στα υπόλοιπα στοιχεία του $Pow(U)$ χωρίς όμως να δίνεται ιδιαίτερη προτίμηση σε κάποιο από αυτά.

Συμπεράσματα

Η διαχείριση της αβεβαιότητας πραγματοποιείται με μεγαλύτερη ευκολία κατά Dempster-Shafer από ότι με το νόμο του Bayes. Αυτό οφείλεται στη μη συλλογή όλων των υπό συνθήκη πιθανοτήτων. Αυτό οφείλεται όπως αναφέρεται παραπάνω στο ότι η μέθοδος Dempster-Shafer βασίζεται σε λογισμό με αριθμητικές τιμές πεποίθησης (πίστης για κάποιο υποθετικό συμπέρασμα).

2.4.3 Ασαφής λογική

Η ασαφής λογική (fuzzy logic) ένα υπερσύνολο της κλασικής λογικής, η οποία έχει επεκταθεί έτσι ώστε να μπορεί να χειριστεί τιμές 'αληθείας' μεταξύ του απολύτως αληθούς και του απολύτους ψευδούς.

Τα παραδοσιακά λογισμικά των Η/Υ απαιτούν την χρήση απόλυτα σαφών κανόνων και ορισμένων μονοσήμαντων εννοιών. Αν για παράδειγμα αναφέρουμε την λέξη 'κοντά' ο μονοσήμαντος ορισμός της απαιτεί να δοθεί η ακριβής απόσταση δηλαδή 500 μέτρα. Η ανθρώπινη σκέψη χρησιμοποιεί πολλές σχετικές έννοιες και όχι τόσο συγκεκριμένες. Δεν είναι αναγκαίο να ορίζεται η έννοια 'κοντά' πάντα.

Άλλο ένα παράδειγμα για την καλύτερη κατανόηση είναι αυτό του δωματίου. Έστω ότι σε ένα δωμάτιο υπάρχουν 5 καρέκλες, 3 τραπέζια και 2 πάγκοι. Θεωρητικά και αριθμητικά σε αυτό το δωμάτιο υπάρχουν μόνο 5 καθίσματα, δηλαδή μπορούν να κάτσουν μόνο 5 άνθρωποι. Η παραπάνω πρόταση είναι λογική αλλά πολύ συγκεκριμένη γιατί όπως προαναφέρθηκε στον πραγματικό κόσμο τα πράγματα είναι διαφορετικά. Ένας άνθρωπος μπορεί να κάτσει σε τραπέζι όπως μπορεί να χρησιμοποιήσει και ένα πάγκο για κάθισμα. Με την λογική αυτή τότε στο δωμάτιο μπορούν να κάτσουν 10 άνθρωποι.

Μία από τις κατευθύνσεις της τεχνολογίας του λογισμικού είναι η δημιουργία προγραμμάτων τα οποία να λειτουργούν με τη σχετικότητα των εννοιών και όχι με

τον απόλυτο ορισμό της. Αυτή η κατεύθυνση της τεχνολογίας ονομάζεται **‘ασαφής λογική’** (fuzzy logic).

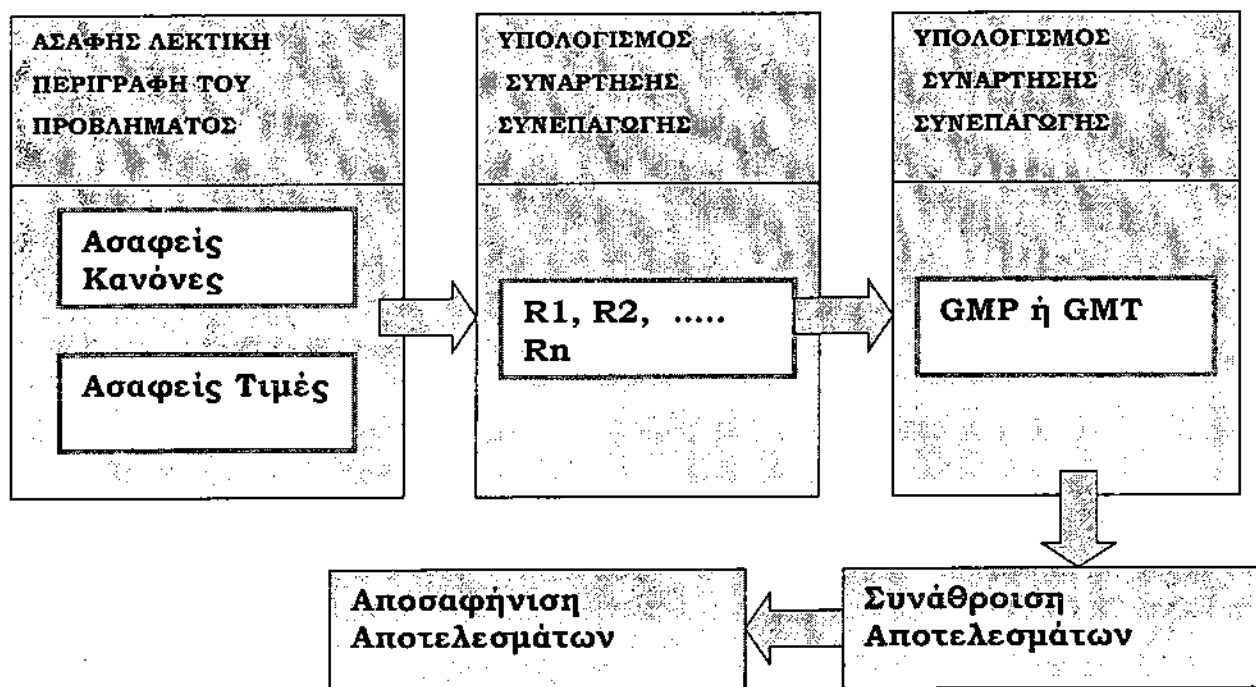
Η ασαφής λογική λοιπόν στηρίζεται σε κανόνες οι οποίοι χρησιμοποιούν τιμές προσεγγιστικές ή υποκειμενικές και ελλιπείς ή διφορούμενες τιμές (δεδομένα). Οι σχέσεις με τις οποίες στηρίζονται οι κανόνες είναι ασαφείς.

Η ασαφής συλλογιστική αφορά την εξαγωγή συμπερασμάτων με προϋπόθεση την ύπαρξη ασαφούς λεκτικής περιγραφής και των 4 σταδίων της.

Γενικότερα η ασαφής λογική αφορά την εξαγωγή συμπερασμάτων με χρήση ασαφών κανόνων. Ένα σύστημα βασισμένο σε ασαφή συλλογιστική περιγράφεται από το διάγραμμα που ακολουθεί.

Οι σχέσεις οι μεταβλητές, οι ιδιότητες και άλλα βασικά στοιχεία τα οποία συνθέτουν την ασαφή λογική θα περιγραφούν αναλυτικότερα παρακάτω στο Κεφάλαιο 3.

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΣΥΛΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΜΕ ΑΣΑΦΗ ΛΟΓΙΚΗ



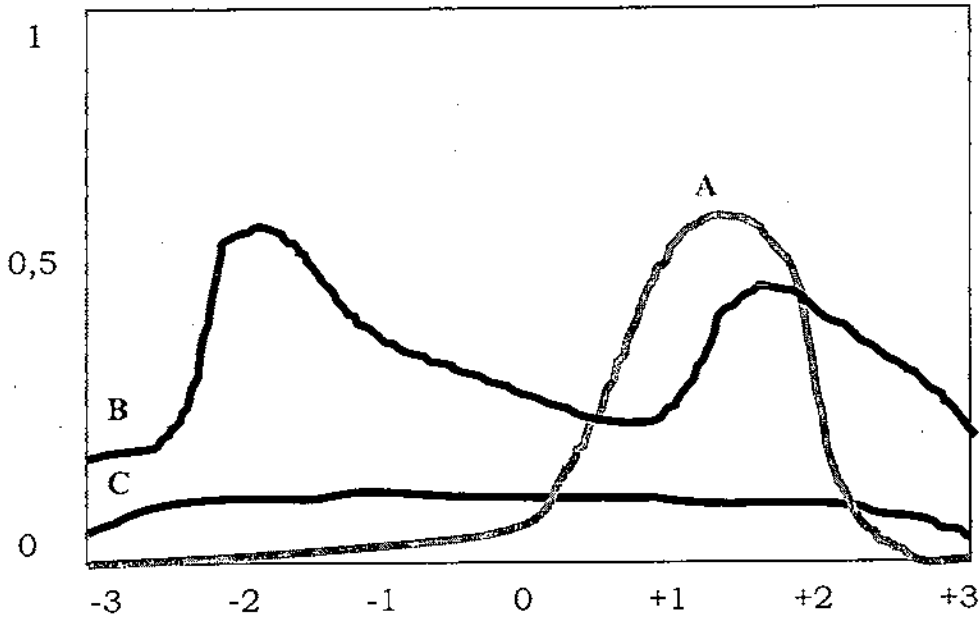
Σχήμα 2 : Η αρχιτεκτονική συστήματος για συλλογιστική με ασαφή λογική [3]

Η δημιουργία ενός συστήματος (π.χ ελέγχου) βασισμένου σε ασαφή λογική, έχει ως προϋπόθεση την κατανόηση της διαδικασίας που θα μοντελοποιηθεί. Το πιο δύσκολο σημείο είναι η επιλογή των ασαφών μεταβλητών, των τιμών τους και των κανόνων. Οι διάφορες συναρτήσεις συγγένειας θα προσδιοριστούν αυτόματα με χρήση νευρωνικών δικτύων. Άλλα σημεία που χρειάζονται προσοχή είναι η επιλογή του πιο κατάλληλου τελεστή συνεπαγωγής, της μεθόδου αποσαφήνισης, κ.λ.π.

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά που οφείλει να έχει ένα σύστημα ασαφούς συλλογιστικής είναι η σταθερότητα, δηλαδή η ικανότητά του να παρουσιάζει καλή συμπεριφορά σε όλο το φάσμα τιμών εισόδου.

Τέλος, ένα άλλο στοιχείο που αποτελεί έκφραση ενός συστήματος ασαφούς συλλογιστικής είναι η ποιότητα των αποτελεσμάτων που παρέχει. Εξαιτίας του γεγονότος ότι σε ένα τυπικό σύστημα ασαφούς συλλογιστικής περισσότεροι από

έναν κανόνες συνεισφέρουν στο αποτέλεσμα του σταδίου της *συνάθροισης*, η μορφή του τελικού αποτελέσματος συχνά δείχνει και την ποιότητα του συνολικού συστήματος. Μία τέτοια περίπτωση περιγράφεται στο παρακάτω διάγραμμα, το οποίο περιλαμβάνει τρεις χαρακτηριστικές περιπτώσεις ασαφούς εξόδου ενός υποθετικού συστήματος ασαφούς συλλογιστικής.



Σχήμα 3 : Τρεις διαφορετικές περιπτώσεις ποιότητας ασαφούς εξόδου

Η καμπύλη (A) δείχνει την ύπαρξη ενός “ισχυρού” κανόνα που διαμορφώνει δραστικά το αποτέλεσμα, στοιχείο που γενικά είναι επιθυμητό. Στην περίπτωση (B) οι δύο κορυφές της συνάρτησης συγγένειας της εξόδου δείχνουν την ύπαρξη δύο κανόνων οι οποίοι έχουν αντιφατική συμπεριφορά. Τέτοιες περιπτώσεις φανερώνουν ότι το σύστημα των κανόνων πρέπει να βελτιωθεί με σκοπό την εξάλειψη των αντιφατικών κανόνων. Τέλος η περίπτωση (C), δείχνει ότι το σύστημα είναι ελλιπές.

Κεφάλαιο 3

Ασαφής λογική

3.1 Εισαγωγή

Η θεωρία της ασαφούς λογικής αποτελεί φορέα που σε θεωρητική βάση καλείται να υλοποιήσει μια μεγάλη κατηγορία Ευφυσών Συστημάτων. Στα μέσα του 1960 στο Berkely των ΗΠΑ στη θεμελιώδη συμβολή του με τίτλο “fuzzy Sets”, ο Lotfi A.Zadeh παρουσίασε τη θεωρία των συνόλων πολλαπλών τιμών ή ασαφών συνόλων. Χρησιμοποίησε τον όρο Ασαφή Λογική βασιζόμενος στην προϋπόθεση ότι ο περιβάλλον χώρος αποτελείται από στοιχεία που ανήκουν σε διάφορα σύνολα με διαφορετικούς βαθμούς συμμετοχής.

3.2 Η έννοια της ασάφειας

Με τον όρο **ασάφεια** δηλώνεται η ποσοτικοποίηση της πληροφορίας και οφείλεται βασικά σε μη ακριβή δεδομένα. Στην περίπτωση της ασάφειας δημιουργείται ένα κύριο πρόβλημα που δεν οφείλεται τόσο στις έννοιες όσο στην αντίληψη που έχει ο καθένας. Για παράδειγμα η φράση “ο Γιώργος είναι ψηλός” αν και δεν μας προσδιορίζει το ακριβές ύψος του Γιώργου, ωστόσο επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων που σχετίζονται με το ύψος του Γιώργου.

3.3 Ο ορισμός της ασαφούς λογικής

Ορίζουμε ως **ασαφή λογική** ένα υπερσύνολο της κλασικής λογικής, η οποία έχει επεκταθεί με σκοπό τον χειρισμό τιμών αληθείας μεταξύ του “απολύτως ψευδούς”. Η ασαφής λογική στηρίζεται στην θεωρία των ασαφών συνόλων σύμφωνα με την οποία “η διαδικασία μετατροπής διακριτών μεγεθών σε ασαφή επιτρέπει τη γενίκευση μιας διακριτής θεωρίας σε συνεχόμενη”.

3.4 Έννοιες και ιδιότητες των ασαφών συνόλων

3.4.1 Οι έννοιες των ασαφών συνόλων

Ως **ασαφές σύνολο** (*fuzzy set*) A ορίζουμε ένα σύνολο διατεταγμένων ζευγών $(x, \mu_A(x))$ όπου $x \in X$ και $\mu_A(x) \in [0,1]$. Όπου x θεωρούμε ένα ευρύτερο σύνολο αναφοράς που περιέχει όλα τα αντικείμενα στα οποία μπορεί να γίνει η αναφορά.

Η τιμή $\mu_A(x)$ ονομάζεται *βαθμός αληθείας*, συμβολίζει το βαθμό συγγένειας του x στο A και παίρνει τιμές στο διάστημα $[0,1]$.

Τέλος, η συνάρτηση μ_A ονομάζεται *συνάρτηση συγγένειας*.

Πρακτικά, η συνάρτηση συγγένειας μπορεί να προέρχεται από:

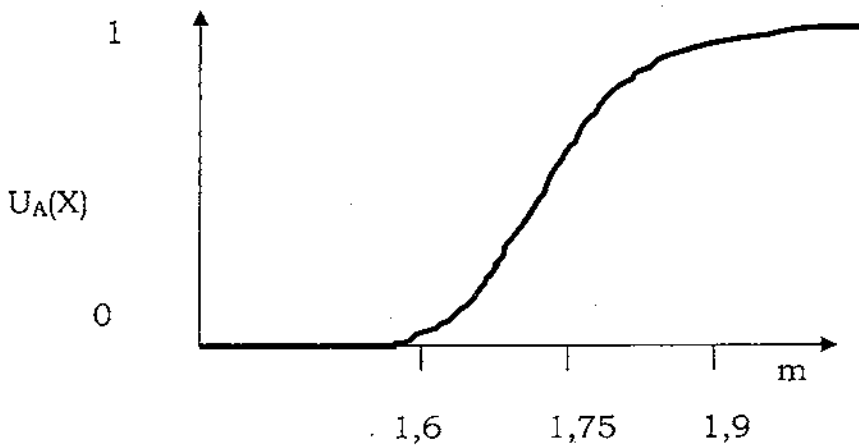
- Υποκειμενικές εκτιμήσεις
- Προκαθορισμένες (*ad hoc*) και απλοποιημένες μορφές
- Συχνότητες εμφανίσεων και πιθανότητες
- Φυσικές μετρήσεις
- Διαδικασίες μάθησης και προσαρμογής (συνήθως με νευρωνικά δίκτυα)

Τα ασαφή σύνολα διαφέρουν από την κλασική θεωρία των συνόλων στο ότι στην κλασική θεωρία ισχύει $\mu_A(x) \in \{0,1\}$, δηλαδή το x είτε ανήκει στο A ($\mu_A(x)=1$) ή δεν ανήκει ($\mu_A(x)=0$). Επομένως η ασαφής θεωρία συνόλων μεταπίπτει στην αντίστοιχη κλασική, όταν οι δυνατές τιμές της συνάρτησης συγγένειας είναι μόνο 0 και 1.

Η αναπαράσταση ενός ασαφούς συνόλου γίνεται μέσω της συνάρτησης συγγένειας τους, μ_A .

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται μια πιθανή συνάρτηση συγγένειας που μας δείχνει πότε κάποιος θεωρείται ψηλός.

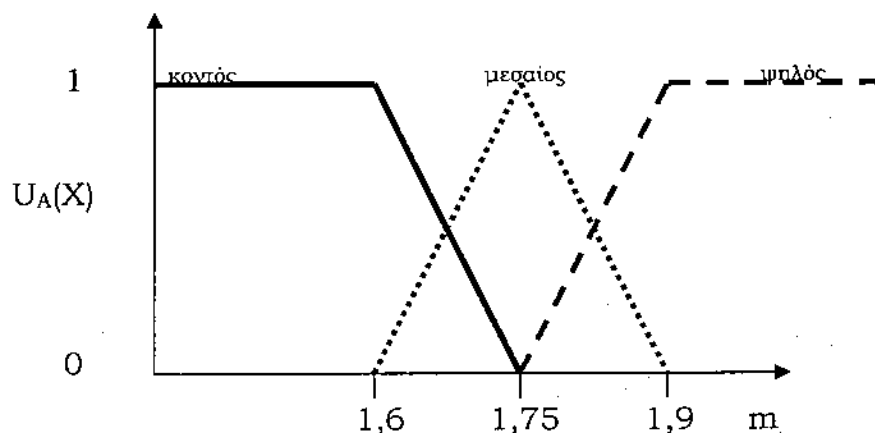
Έτσι, ένα άτομο με ύψος >1.95 θεωρείται ψηλό με $\mu_A(1.95) \approx 1$, κάθε άτομο με ύψος >1.95 θεωρείται ψηλό με $\mu_A(1.95) \approx 0.5$, ενώ κάθε άτομο με ύψος <1.60 θεωρείται ψηλό με $\mu_A(1.60) \approx 0$.



Σχήμα 4 : Συνάρτηση Συγγένειας (ασαφές σύνολο ψηλός)

Πολλές φορές, χρησιμοποιείται η *ιμμηματικώς γραμμική απεικόνιση* της συνάρτησης συγγένειας.

Το παρακάτω παράδειγμα απεικονίζει μια εκδοχή της συνάρτησης συγγένειας για τα ασαφή σύνολα “κοντός”, “μεσαίος” και “ψηλός”.



Σχήμα 5 : Συνάρτηση Συγγένειας (ασαφή σύνολα ψηλός-κοντός-μεσαίος) [3]

Ένας άλλος τρόπος αναπαράστασης των ασαφών συνόλων είναι ως ένα σύνολο ζευγών που έχουν την μορφή $U_A(x)/x$ όπου x είναι το στοιχείο του συνόλου και $u_A(x)$ ο βαθμός συγγένειας του. Έτσι, το ασαφές σύνολο “ψηλός” θα μπορούσε να γραφτεί:

$$\Psi_{\text{ηλός}} = \{0/1.7, 0/1.75, 0.33/1.8, 0.66/1.85, 1/1.9, 1/1.95\}$$

που σημαίνει ότι, για παράδειγμα, το ύψος 1.8 ανήκει στο ασαφές σύνολο “ψηλός” με βαθμό συγγένειας 0.33.

Άλλη μορφή αναπαράστασης αυτού του τρόπου απεικόνισης είναι τα ζεύγη $(x, u_A(x))$ όπου το σύνολο “ψηλός” γράφεται:

$$\Psi_{\text{ηλός}} = \{(1.7, 0), (1.75, 0), (1.8, 0.33), (1.85, 0.66), (1.9, 1), (1.95, 1)\}$$

Η μόνη διαφορά στους δύο τρόπους αναπαράστασης είναι ότι η αναπαράσταση με αναλυτική συνάρτηση του $u(x)$ περιγράφει συνεχείς τιμές ύψους ενώ η αναπαράσταση με ζεύγη τιμών περιγράφει διακριτές τιμές, δηλαδή συγκεκριμένα ύψη.

3.4.2 Οι ιδιότητες των ασαφών συνόλων

Όπως και στα κλασικά σύνολα έτσι και στα ασαφή σύνολα γίνονται πράξεις και ισχύουν ιδιότητες. Τέτοιες είναι η ένωση (*union*) και η τομή (*intersection*) όπου συμβολίζονται με \vee και \wedge αντίστοιχα. Οι τελεστές αυτοί δίνουν την δυνατότητα να επιλέξουμε το μικρότερο ή το μεγαλύτερο ανάμεσα σε δύο στοιχεία (π.χ $2\vee 3=3$, $2\wedge 3=2$). Το σύμβολο του κάθε τελεστή μπορεί να γραφτεί και στην αρχή των στοιχείων του συνόλου ως εξής:

$$u = \wedge(u_1, u_2, \dots, u_n) = \bigwedge_{k=1}^n (u_k) \quad [14]$$

Ισχύουν οι εξής ιδιότητες:

1) Ένα ασαφές σύνολο ονομάζεται *κανονικό (normal)* αν υπάρχει τουλάχιστο ένα σημείο x_0 του πεδίου ορισμού του για το οποίο ισχύει $u(x_0)=1$.

2) Δύο ασαφή σύνολα A και B που είναι ορισμένα στο ευρύτερο σύνολο αναφοράς S είναι ίσα αν οι συναρτήσεις συγγενειάς τους είναι ίσες σε όλο το πεδίο ορισμού τους. Δηλαδή:

$$A=B \text{ αν } u_A(x)=u_B(x) \quad \forall x \in S$$

3) Το *συμπληρωματικό (complement)* ενός ασαφούς συνόλου A είναι το \bar{A} με:

$$u_{\bar{A}}(x)=1-u_A(x)$$

Η συμπληρωματικότητα στα ασαφή σύνολα είναι το ισοδύναμο της άρνησης (NOT) στην ασαφή λογική.

4) Για δύο ασαφή σύνολα A και B ορισμένα στο S , το A είναι υποσύνολο του B

$$(A \subseteq B) \text{ αν } u_A(x) \leq u_B(x) \quad \forall x \in S$$

- 5) Η ένωση δύο ασαφών συνόλων A και B ορισμένων στο ίδιο σύνολο S είναι ένα νέο ασαφές σύνολο $A \cup B$ ορισμένο επίσης στο S , για το οποίο ισχύει:

$$A \cup B: u_{A \cup B}(x) = \max(u_A(x), u_B(x)) \quad \forall x \in S$$

Η ένωση δύο ασαφών συνόλων σχετίζεται με τη διάζευξη (OR) της ασαφούς λογικής.

- 6) Η τομή δύο ασαφών A και B ορισμένων στο ίδιο σύνολο S είναι ένα νέο ασαφές σύνολο $A \cap B$ ορισμένο επίσης στο S , για το οποίο ισχύει:

$$A \cap B: u_{A \cap B}(x) = \min(u_A(x), u_B(x)) \quad \forall x \in S$$

Η τομή δύο ασαφών συνόλων σχετίζεται με τη σύζευξη (AND) της ασαφούς λογικής.

- 7) Κενό ασαφές σύνολο \emptyset , είναι αυτό για το οποίο η συνάρτηση συγγένειας έχει την τιμή 0 σε όλο το πεδίο ορισμού του.

- 8) Το γινόμενο δύο ασαφών συνόλων A και B ορισμένων στο S , είναι ένα νέο ασαφές σύνολο του οποίου η συνάρτηση συγγένειας ισούται με το αλγεβρικό γινόμενο των αντίστοιχων συναρτήσεων των A και B . Δηλαδή:

$$u_{A \cdot B}(x) = u_A(x) \cdot u_B(x) \quad \forall x \in S$$

- 9) Το γινόμενο ενός πραγματικού αριθμού a με ένα ασαφές σύνολο A , δίνει ένα νέο ασαφές σύνολο $a \cdot A$ για το οποίο ισχύει:

$$u_{a \cdot A}(x) = a \cdot u_A(x) \quad \forall x \in S$$

- 10) Ένα ασαφές σύνολο μπορεί να υψωθεί στη δύναμη a (θετικός, πραγματικός αριθμός), υψώνοντας στο a τη συνάρτηση συγγένειάς του. Προκύπτει έτσι ένα νέο ασαφές σύνολο με συνάρτηση συγγένειας:

$$u_A^a(x)=[u(x)]^a \quad \forall x \in S$$

Η ύψωση ενός ασαφούς συνόλου στη δεύτερη δύναμη ($a=2$), θεωρείται συνήθως ως μεταβολή της λεκτικής τιμής που ανήκει στο ασαφές σύνολο με τον όρο “πολύ”.

Στην ασαφή θεωρία, για τα ασαφή σύνολα A , B και C ορισμένα στο ίδιο διάστημα S , ισχύουν τα ακόλουθα:

- ✓ **Νόμος της διπλής άρνησης:** $\overline{\overline{A}} = A$
- ✓ **Ταυτοδυναμία:** $A \cup A = A$ και $A \cap A = A$
- ✓ **Αντιμεταθετική Ιδιότητα:** $A \cap B = B \cap A$ και $A \cup B = B \cup A$
- ✓ **Προσεταιριστική Ιδιότητα:**
 $(A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C)$ και $(A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C)$
- ✓ **Επιμεριστική Ιδιότητα:**
 $A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$ και $A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$
- ✓ **Απορροφητική Ιδιότητα:** $A \cap (A \cup B) = A$ και $A \cup (A \cap B) = A$
- ✓ **Νόμος De Morgan:** $\overline{A \cup B} = \overline{A} \cap \overline{B}$ και $\overline{A \cap B} = \overline{A} \cup \overline{B}$

3.5 Ασαφείς σχέσεις, μεταβλητές, αριθμοί, προτάσεις και κανόνες

3.5.1 Οι ασαφείς σχέσεις

Οι **ασαφείς σχέσεις** είναι ασαφή σύνολα που ορίζονται σε πεδία αναφοράς ανώτερης διάστασης (π.χ. $X \cdot X$, $X \cdot \Psi \cdot Z$, κ.λ.π). Όσον αφορά την ποιότητα, σε μια ασαφή σχέση R θα μπορούσε να είναι μια έκφραση της μορφής “είναι βαρύτερο από” όπου θα συνδέει τα στοιχεία δύο άλλων συνόλων:

$$R = \text{“}x \text{ είναι βαρύτερο από } \psi\text{” } x \in X, \psi \in \Psi \text{ και } R \in X \cdot \Psi$$

Οι ασαφείς σχέσεις μπορεί να είναι μια έκφραση της μορφής $((x, \psi), u_R(x, \psi))$ όπου γίνεται αναφορά όλων των ζευγών (τιμή, βαθμός συγγένειας). Άλλος τρόπος αναπαράστασης που χρησιμεύει στους υπολογισμούς είναι σε μορφή πίνακα:

$$R = \begin{bmatrix} u_R(x_1, \psi_1) & u_R(x_1, \psi_2) & \cdots & u_R(x_1, \psi_n) \\ u_R(x_2, \psi_1) & u_R(x_2, \psi_2) & \cdots & u_R(x_2, \psi_n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_R(x_m, \psi_1) & u_R(x_m, \psi_2) & \cdots & u_R(x_m, \psi_n) \end{bmatrix} \quad 1$$

Ο συνδυασμός των ασαφών σχέσεων γίνεται μέσω της διαδικασίας *σύνθεσης (composition)*. Για παράδειγμα, από τον συνδυασμό της ασαφούς σχέσης $R_1(x, \psi)$ ορισμένης στο $X \bullet \Psi$, με την ασαφή σχέση $R_2(\psi, \zeta)$ ορισμένη στο $\Psi \bullet Z$ προκύπτει μία ασαφή σχέση $R(x, \zeta)$ η οποία θα ορίζεται στο σύνολο $X \bullet Z$ και θα συσχετίζει άμεσα στοιχεία των συνόλων X και Z . Απαραίτητη προϋπόθεση είναι να προσδιοριστεί η συνάρτηση συγγένειας $u_R(x, \zeta)$ της R , βάσει των συναρτήσεων συγγένειας των R_1 και R_2 , δηλαδή των $u_{R_1}(x, \psi)$ και $u_{R_2}(\psi, \zeta)$.

Η σύνθεση είναι πολύ σημαντική ενέργεια καθώς, οι κανόνες της μορφής *if-then* αντιστοιχούν σε ασαφείς σχέσεις και το πρόβλημα της ασαφούς συλλογιστικής μαθηματικώς ισοδυναμεί με τη σύνθεση.

Οι πιο γνωστές μέθοδοι σύνθεσης ασαφών σχέσεων είναι η *σύνθεση max-min (max-min composition)* και η *σύνθεση max-product (max-product composition)*.

$$u_{R_1 \circ R_2}(x, \zeta) = \bigvee_{\psi} [u_{R_1}(x, \psi) \wedge u_{R_2}(\psi, \zeta)] \quad (15)$$

$$u_{R_1 \circ R_2}(x, \zeta) = \bigvee_{\psi} [u_{R_1}(x, \psi) \bullet u_{R_2}(\psi, \zeta)] \quad (16)$$

3.5.2 Οι ασαφείς μεταβλητές, αριθμοί, προτάσεις και κανόνες

Ασαφή μεταβλητή (fuzzy variable) είναι η μεταβλητή της οποίας οι τιμές ορίζονται με ασαφή σύνολα {κοντός, μεσαίος, ψηλός}. Η μεταβλητή “ύψος” χαρακτηρίζεται ως *λεκκική μεταβλητή*, ενώ τα “κοντός”, “μεσαίος”, “ψηλός” ως

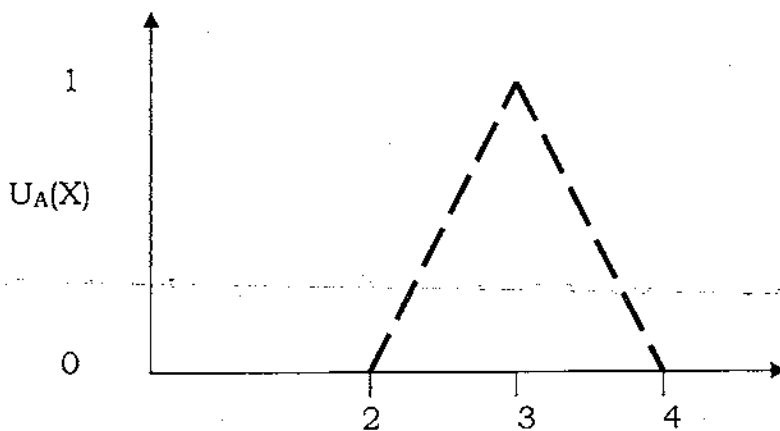
¹ Στον πίνακα τα γράμματα που αναφέρονται (M M O M και L L O L) υποδηλώνουν τις τελείες (...)

πρωταρχικές λεκτικές τιμές. Μπορεί μέσα από ένα μικρό αριθμό πρωταρχικών λεκτικών τιμών, να προκύψει ένας μεγαλύτερος αριθμός σύνθετων λεκτικών τελεστών όπως AND, OR, NOT, VERY, κ.λ.π. Στον παρακάτω πίνακα προσδιορίζεται η μορφή της συνάρτησης συγγένειας που προκύπτει από μια πρωταρχική λεκτική τιμή υπο τη δράση συγκεκριμένων τελεστών.

ΛΕΚΤΙΚΟΙ ΤΕΛΕΣΤΕΣ	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΣΥΓΓΕΝΕΙΑΣ
VERY A	$U_{\text{VERY A}}(X) = [U_A(X)]^2$
A AND B	$U_{\text{A AND B}}(X) = [U_A(X) \wedge U_B(X)]$
A OR B	$U_{\text{A OR B}}(X) = [U_A(X) \vee U_B(X)]$
NOT A	$U_{\text{NOT A}}(X) = [1 - U_A(X)]$
PLUS A	$U_{\text{PLUS (A)}}(X) = [U_A(X)]^{1,25}$
MINUS A	$U_{\text{MINUS (A)}}(X) = [U_A(X)]^{0,75}$

Πίνακας 2 : Επίδραση λεκτικών τελεστών στην συνάρτηση συγγένειας λεκτικών τιμών

Οι ασαφείς αριθμοί (*fuzzy numbers*) είναι ασαφή υποσύνολα του συνόλου των πραγματικών αριθμών και έχουν ευρεία χρήση σε εφαρμογές ελέγχου. Στο σχήμα που ακολουθεί έχουμε το παράδειγμα της συνάρτησης συγγένειας του αριθμού "ασαφές 3".



Σχήμα 6 : Συνάρτηση συγγένειας του αριθμού 'ασαφές 3'

Ασαφής πρόταση είναι αυτή που θέτει μια τιμή σε μια ασαφή μεταβλητή. Για παράδειγμα, στην ασαφή πρόταση “Το ύψος του Γιώργου είναι ψηλό”, το “ύψος” είναι η ασαφής μεταβλητή και “ψηλό” είναι ένα ασαφές σύνολο που είναι και η τιμή της μεταβλητής.

Ασαφής κανόνας (*fuzzy rule*) είναι μία υπό συνθήκη έκφραση που συσχετίζει δύο ή περισσότερες ασαφείς προτάσεις. Ένας ασαφής κανόνας έχει τη μορφή:

If x is A then y is B

Για παράδειγμα, ο κανόνας “Εάν η ταχύτητα είναι μέτρια τότε η πίεση στα φρένα πρέπει να είναι μέτρια”, όπου τα “ταχύτητα” και “πίεση” αποτελούν ασαφείς μεταβλητές που έχουν ως τιμή το ασαφές σύνολο “μέτρια”.

Σχέση συνεπαγωγής (*implication operator*) καλείται η περιγραφή ενός ασαφούς κανόνα. Η γενική μορφή της σχέσης συνεπαγωγής είναι :

$$R(x,y) = u(x,y) = \varphi(u_A(x), u_B(y))$$

Η συνάρτηση φ ονομάζεται **τελεστής συνεπαγωγής** και δείχνει τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να γίνει ο συνδυασμός του If και then (τιμήματα ασαφούς κανόνα) έτσι ώστε να προκύψει η αναλυτική του έκφραση.

Οι πιο σημαντικές εκφράσεις είναι οι εξής :

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΤΕΛΕΣΤΗ	ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΕΚΦΡΑΣΗ ΤΟΥ $\varphi[(u_A(x), u_B(y))]$
φ_m : Zadeh Max - Min	$(u_A(x) \wedge u_B(y)) \vee (1 - u_A(x))$
Φ_c : Mandani Min	$(u_A(x) \wedge u_B(y))$
Φ_p : Larsen Product	$(u_A(x) \cdot u_B(y))$
Φ_a : Arithmetic	$[1 - u_A(x) + u_B(y)]$
Φ_b : Boolean	$[1 - u_A(x) \vee u_B(y)]$

Πίνακας 3 : Ονομασία τελεστή και η αναλυτική του έκφραση [3]

Η σχέση συνεπαγωγής χρησιμοποιείται όταν τα προβλήματα έχουν την μορφή:

If x is A then y is B με x is A' , y is B (?)

If x is A then y is B με x is A' (?) , y is B'

Αναλυτικότερα είτε πρέπει να είναι γνωστή η τιμή της A' της ασαφούς μεταβλητής x για να υπολογιστεί η B' της ασαφούς μεταβλητής y ή το αντίθετο.

Επομένως το πρώτο πρόβλημα επιλύεται με τη μέθοδο GMP (Generalized Modus Ponens) το οποίο ορίζει ότι $B' = A' \circ R(x,y)$, ενώ το δεύτερο επιλύεται με τη μέθοδο GMT (Generalized Modus Tollens) το οποίο ορίζει ότι $A' = R(x,y) \circ B'$.

3.6 Η αρχή της επέκτασης

Η «**αρχή της επέκτασης**» (*extension principle*) είναι μία μέθοδος που βασίζεται στα μαθηματικά και επιτρέπει την επέκταση των εννοιών και των υπολογιστικών τεχνικών των κλασικών μαθηματικών.

Έστω μία συνάρτηση f που ορίζει μία απεικόνιση του συνόλου $X=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ στο σύνολο $Y=\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$, με τέτοιο τρόπο ώστε $y_1=f(x_1)$, $y_2=f(x_2)$, ..., $y_n=f(x_n)$.

Έστω ακόμα ένα ασαφές σύνολο A που ορίζεται στα στοιχεία του X , δηλαδή στις μεταβλητές εισόδου της συνάρτησης f . Το A ορίζεται ως:

$$A=\{u_A(x_1)/x_1, u_A(x_2)/x_2, \dots, u_A(x_n)/x_n\}$$

Η αρχή της επέκτασης καθιστά δυνατό τον υπολογισμό του ασαφούς συνόλου B το οποίο προκύπτει από την εφαρμογή της συνάρτησης f στο ασαφές σύνολο A . Το B ορίζεται ως:

$$B=f(A)=\{u_A(x_1)/f(x_1), u_A(x_2)/f(x_2), \dots, u_A(x_n)/f(x_n)\}$$

Λόγω του ότι οι συναρτήσεις είναι της μορφής *πολλά-προς-ένα*, στην περίπτωση που περισσότερα του ενός διαφορετικά x (έστω τα x_m και x_n) δίνουν μέσω της συνάρτησης f το ίδιο y (έστω το y_0), τότε η αρχή της επέκτασης ορίζει ότι η μέγιστη τιμή συγγένειας των x_m και x_n στο A επιλέγεται ως βαθμός συγγένειας του y_0 στο B . Αυτό σημαίνει ότι:

$$u_B(y_0) = u_A(x_m) \vee u_A(x_n)$$

Αντίθετα, αν για κάποιο y_0 του B δεν υπάρχει x_0 του A τέτοιο ώστε $y_0 = f(x_0)$, τότε η τιμή συγγένειας του B στο y_0 είναι μηδέν.

Γενικότερα στις περισσότερες διαστάσεις ισχύει ότι, αν υπάρχουν οι μεταβλητές u, v, \dots, w ορισμένες στα σύνολα U, V, \dots, W αντίστοιχα, m διαφορετικά σύνολα A_1, A_2, \dots, A_m ορισμένα στο $U \bullet V \bullet \dots \bullet W$ και η πολυπαραμετρική συνάρτηση $y = f(u, v, \dots, w)$, τότε η ασαφопоίηση του χώρου των y , δηλαδή η συνάρτηση συγγένειας του συνόλου B, ορίζεται ως εξής:

$$u_B(y) = \vee u \bullet v \bullet \dots \bullet w [u_{A1}(u) \wedge u_{A2}(v) \wedge \dots \wedge u_{Am}(w)] / f(u, v, \dots, w)$$

Παράδειγμα

Με την χρήση της αρχής της επέκτασης θα υπολογίσουμε το αποτέλεσμα από την πρόσθεση των αριθμών A: “ασαφές 3” και B: “ασαφές 7”, οι οποίοι ορίζονται ως εξής:

$$A: \text{“ασαφές 3”} = \{0/1, 0.5/2, 1/3, 0.5/4, 0/5\}$$

$$B: \text{“ασαφές 7”} = \{0/5, 0.5/6, 1/7, 0.5/8, 0/9\}$$

Για περισσότερη ευκολία, δημιουργήσαμε τον παρακάτω πίνακα όπου ισχύουν τα εξής:

Έχει τόσες στήλες όσα είναι τα στοιχεία του A που έχουν μη μηδενική τιμή συγγένειας, δηλαδή τρεις.

Έχει τόσες γραμμές όσα είναι τα στοιχεία του B που έχουν μη μηδενική τιμή συγγένειας, δηλαδή τρεις.

Σε κάθε κελί του γράφεται πάνω δεξιά ο βαθμός συγγένειας του x στο A και κάτω αριστερά ο βαθμός συγγένειας του y στο B.

A B	x=2	x=3	x=4
y=6	0,5	1	0,5
y=7	1	1	1
y=8	0,5	1	0,5

Πίνακας 4 : Για τον υπολογισμό του «Ασαφές 3» και «Ασαφές 9»

Άρα σε συνδυασμό με την αρχή της επέκτασης θα έχουμε :

$$u_{A+B}(z) = \bigvee_{z=x+y} \frac{[u_A(x) \wedge u_B(y)]}{x+y} \quad [17]$$

Αν θεωρήσουμε ότι το $z=9$ παρατηρούμε στον παραπάνω πίνακα 2 συνδυασμούς x και y που μας δίνουν αυτό άθροισμα. Τα κουτιά αυτά είναι σκιασμένα. Η παραπάνω σχέση μας λέει πως η τιμή συγγένειας του 9 στο ασαφές σύνολο $C=A+B$, ισούται με το μέγιστο των ελάχιστων τιμών συγγένειας των σκιασμένων κελιών. Δηλαδή :

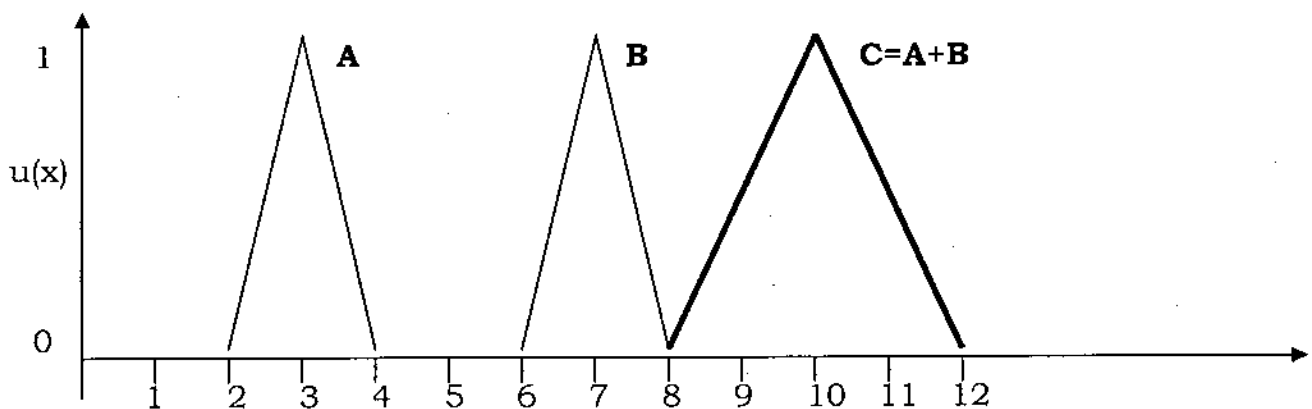
$$\begin{aligned} U_{A+B}(9) &= \max (\min u_A(3), u_B(6), \min u_A(2), u_B(7)) = \\ &= \max (\min 1, 0,5), (\min 0,5, 1)) = \\ &= \max (0,5, 0,5) = 0,5 \end{aligned}$$

Άρα ο βαθμός συγγένειας του $x=9$ είναι 0,5 (στο ασαφές σύνολο $C=A+B$)

Αν υπολογίσουμε με τον ίδιο τρόπο το βαθμό συγγένειας και στα υπόλοιπα στοιχεία του πίνακα θα μας προκύψει η παρακάτω σχέση :

$$U_{A+B}(z) = \{ 0,5/8, 0,5/9, 1/10, 0,5/11, 0,5/12 \}$$

Κατασκευάζουμε το παρακάτω διάγραμμα για να αναπαραστήσουμε το ασαφές 3 και το ασαφές 7



Σχήμα 7 : Διαγραμματική αναπαράσταση του 'Ασαφές 3' και του 'Ασαφές 9'

Όπως παρατηρείται και από το παραπάνω γράφημα το αποτέλεσμα του υπολογισμού του ασαφούς 3 και το ασαφούς 7 είναι το 'Ασαφές 10'. Η μεγαλύτερη αριθμητική απόσταση (που φαίνεται στο γράφημα) υποδεικνύει ότι υπάρχει μεγαλύτερη ασάφεια, δηλαδή είναι περισσότερο 'ασαφές'.

3.7 Τα στάδια περιγραφής και επίλυσης ενός προβλήματος ασαφούς λογικής

Ασαφής συλλογιστική (*fuzzy reasoning*) είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων με χρήση ασαφών κανόνων. Γενικεύοντας, η ασαφή συλλογιστική απαιτεί την δημιουργία μιας *ασαφούς λεκτικής περιγραφής* του προβλήματος και περιέχει τέσσερα στάδια:

1. Υπολογισμό της συνάρτησης συνεπαγωγής
2. Παράγωγή επιμέρους αποτελεσμάτων μέσω κάποιας συλλογιστικής προσπάθειας
3. Συνάθροιση των επιμέρους αποτελεσμάτων
4. Αποσαφήνιση των αποτελεσμάτων

3.7.1 Υπολογισμός της συνάρτησης συνεπαγωγής

Η συνάρτηση συνεπαγωγής R , αφορά την αναλυτική έκφραση ενός ασαφούς κανόνα *if-then* και συνδυάζει τις ασαφείς μεταβλητές του **if** και του **then** με βάση έναν τελεστή συνεπαγωγής φ .

Μέθοδος MIN

Στη μέθοδο αυτή γίνεται χρήση του τελεστή συνεπαγωγής Mandani min. Υπάρχουν δύο κανόνες οι K_1 και K_2 γι' αυτό και πρέπει να υπολογιστούν δύο τελεστές συνεπαγωγής, οι R_{K1} και R_{K2} αντίστοιχα.

Υπολογισμός της $R_{K1}(T_{HIGH}, D_{HIGH})$

R_{K1}	D	0	2	5	8	10
T		0	0.2	0.5	0.8	1
37.0	0	0	0	0	0	0
37.5	0	0	0	0	0	0
38.0	0.2	0	0.2	0.2	0.2	0.2
38.5	0.5	0	0.2	0.5	0.8	0.8
39.0	0.8	0	0.2	0.5	0.8	0.8
39.5	1	0	0.2	0.5	0.8	1
40.0	1	0	0.2	0.5	0.8	1

[3]

Έστω ο κανόνας K_1 . Κατασκευάζεται ο παραπάνω πίνακας με τον εξής τρόπο: Οι δύο γραμμές του πίνακα περιέχουν το ασαφές σύνολο D_{HIGH} , ενώ οι δύο πρώτες στήλες το ασαφές σύνολο T_{HIGH} . Η μεταβλητή του δεξιού τμήματος του κανόνα τοποθετείται πάντα στο πάνω μέρος. Κάθε κελί του εσωτερικού πίνακα περιέχει το $\min(U_{T_{HIGH}}, U_{D_{HIGH}})$ για τα T και D της γραμμής και στήλης στην οποία βρίσκεται. Ο εσωτερικός αυτός πίνακας αποτελεί και τη σχέση συνεπαγωγής R_{K1} .

Αν παραλείψουμε τους μηδενικούς όρους, η $R_{K1}(T_{HIGH}, D_{HIGH})$ γράφεται:

$$R_{K1}(T_{HIGH}, D_{HIGH}) = \varphi(U_{T_{HIGH}}, U_{D_{HIGH}}) = \{\min(U_{T_{HIGH}}, U_{D_{HIGH}})\} =$$

$$= \{0.2/(38,2), 0.2/(38,5), 0.2/(38,8), 0.2/(38,10),$$

$$0.2/(38.5,2), 0.5/(38.5,5), 0.5/(38.5,8), 0.5/(38.5,10),$$

$$\dots$$

$$0.2/(40,2), 0.5/(40,5), 0.8/(40,8), 1/(40,10)\}$$

Ομοίως προκύπτει και η $R_{K2}(T_{LOW}, D_{LOW})$ για τον κανόνα K_2 .

Υπολογισμός της $R_{K2}(T_{LOW}, D_{LOW})$

R_{K2}	D	0	2	5	8	10
T		1	0.8	0.5	0.2	0
37.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0
37.5	1	1	0.8	0.5	0.2	0
38.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.2	0
38.5	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0
39.0	0	0	0	0	0	0
39.5	0	0	0	0	0	0
40.0	0	0	0	0	0	0

[3]

Μέθοδος PRODUCT

Στη μέθοδο αυτή γίνεται χρήση του τελεστή συνεπαγωγής Larsen Product. Επειδή υπάρχουν δύο κανόνες, οι K_1 και K_2 , χρειάζεται να υπολογιστούν δύο τελεστές συνεπαγωγής, οι R_{K1} και R_{K2} αντίστοιχα.

Υπολογισμός της $R_{K1}(T_{HIGH}, D_{HIGH})$

R_{K1}	D	0	2	5	8	10
T		0	0.2	0.5	0.8	1
37	0	0	0	0	0	0
37.5	0	0	0	0	0	0
38	0.2	0	0.04	0.1	0.16	0.2
38.5	0.5	0	0.1	0.25	0.4	0.5
39	0.8	0	0.16	0.4	0.64	0.8
39.5	1	0	0.2	0.5	0.8	1
40	1	0	0.2	0.5	0.8	1

[3]

Έστω ο κανόνας K_1 . Δημιουργείται ο πίνακας που ακολουθεί με τον εξής τρόπο: Οι δύο πρώτες γραμμές του πίνακα περιέχουν το ασαφές σύνολο D_{HIGH} , ενώ οι δύο πρώτες στήλες το ασαφές σύνολο T_{HIGH} . Η μεταβλητή του δεξιού τμήματος τοποθετείται πάντα στο πάνω μέρος. Κάθε κελί του πίνακα περιέχει το $(U_{T_{HIGH}} \cdot U_{D_{HIGH}})$ για τα T και D της γραμμής και στήλης στην οποία βρίσκεται. Ο εσωτερικός αυτός πίνακας αποτελεί και τη σχέση συνεπαγωγής R_{K1} .

Αν παραλείψουμε τους μηδενικούς όρους, η $R_{K1}(T_{HIGH}, D_{HIGH})$ γράφεται:
 $R_{K1}(T_{HIGH}, D_{HIGH}) = \varphi(U_{T_{HIGH}}, U_{D_{HIGH}}) = \{ (U_{T_{HIGH}} \cdot U_{D_{HIGH}}) \} =$
 $= \{ 0.04/(38,2), 0.1/(38,5), 0.16/(38,8), 0.2/(38,10), 0.1/(38.5,2), 0.25/(38.5,5), 0.4/(38.5,8), 0.5/(38.5,10),$
 $\dots 0.2/(40,2), 0.5/(40,5), 0.8/(40,8), 1/(40,10) \}$

Με τον ίδιο τρόπο προκύπτει και η $R_{K2}(T_{LOW}, D_{LOW})$ για τον κανόνα K_2

Υπολογισμός της $R_{K2}(T_{LOW}, D_{LOW})$

R_{K2}	D	0	2	5	8	10
T		1	0.8	0.5	0.2	0
37	0.2	0.2	0.16	0.1	0.04	0
37.5	1	1	0.8	0.5	0.2	0
38	0.5	0.5	0.4	0.25	0.1	0
38.5	0.2	0.2	0.16	0.1	0.04	0
39	0	0	0	0	0	0
39.5	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0

[3]

3.7.2 Παραγωγή επιμέρους αποτελεσμάτων

Στο στάδιο της παραγωγής επιμέρους αποτελεσμάτων γίνεται εφαρμογή της συλλογιστικής διαδικασίας GMP. Σύμφωνα με αυτά που έχουν ήδη αναφερθεί, σε ένα πρόβλημα της μορφής:

If x is A then y is B
 x is A' y is B' (?)

η τιμή του B' εκτιμάται μέσω σύνθεσης από τη γενική σχέση $B' = A' \circ R(x, y)$. Στο πρόβλημα του παραδείγματος και για τον πρώτο κανόνα (K_1), θα είναι:

If T is HIGH then D is HIGH
 T is $T' = 38.5$ D is D'_{K1} (?)

και

$D'_{K1} = T' \circ R_{K1}(T_{HIGH}, D_{HIGH})$ (σχέση 1)

Ενώ για το δεύτερο κανόνα (K_2):

If T is LOW then D is LOW
 T is $T' = 38.5$ D is D'_{K2} (?)

και

$$D'_{k2} = T' \circ R_{k2}(T_{LOW}, D_{LOW}) \quad (14)$$

Και στις δύο σχέσεις απαιτείται η γραφή της θερμοκρασίας $T'=38.5$ σε μορφή ασαφούς συνόλου:

$$T'=38.5 = \{0/37, 0/37.5, 0/38, 1/38.5, 0/39, 0/39.5, 0/40\} \quad (15)$$

R_{k1} και R_{k2} προερχόμενα από τη μέθοδο MIN

Η εκτίμηση της max-min σύνθεσης (ο) για τον κανόνα K1 γίνεται με ίδια τεχνική με αυτήν του πολλαπλασιασμού πινάκων με τη διαφορά ότι χρησιμοποιείται *min* αντί πολλαπλασιασμού και *max* αντί πρόσθεσης.

Ως πρώτο πίνακα θεωρούμε το ασαφές σύνολο T' (σχέση 3) και δεύτερος ο πίνακας που ακολουθεί. Αφού ο πρώτος πίνακας έχει διαστάσεις 1×7 και ο δεύτερος 7×5 , το αποτέλεσμα θα είναι ένας πίνακας 1×5 που θα αποτελεί και την ποσότητα D'_{k1} .

$$D'_{k1} = [0/37, 0/37.5, 0/38, 1/38.5, 0/39, 0/39.5, 0/40] \circ$$

T/D	0	2	5	8	10
37	0	0	0	0	0
37.5	0	0	0	0	0
38	0	0,2	0,2	0,2	0,2
38.5	0	0,2	0,5	0,5	0,5
39	0	0,2	0,5	0,8	0,8
39.5	0	0,2	0,5	0,8	1
40	0	0,2	0,5	0,8	1

$$\Rightarrow D'_{k1} = \{0/0, 0.2/2, 0.5/5, 0.5/8, 0.5/10\}$$

Στην συνέχεια θα δείξουμε αναλυτικότερα τον τρόπο υπολογισμού ενός όρου του αποτελέσματος για να γίνει πιο κατανοητή η εφαρμογή της max-min σύνθεσης. Έστω ο τελευταίος όρος του D'_{k1} , δηλαδή ο $0.5/10$. Ο τελευταίος προέκυψε ως εξής: Υπολογίζεται το min κάθε στοιχείου του πρώτου πίνακα με το αντίστοιχο

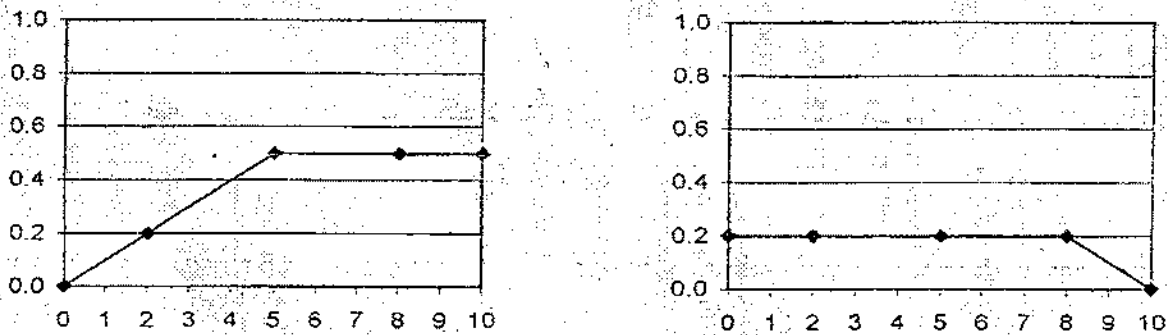
στοιχείο της τελευταίας του δεύτερου πίνακα και από τις 7 τιμές που προκύπτουν επιλέγεται η μεγαλύτερη. Πιο αναλυτικά:

$$\max(0, 0, 0, 0.5, 0, 0, 0) = 0.5$$

Ομοίως προκύπτει ότι ο κανόνας K_2 δίνει:

$$D'_{K_2} = \{0.2/0, 0.2/2, 0.2/5, 0.2/8, 0/10\}$$

Τα παραπάνω αποτελέσματα απεικονίζονται διαγραμματικά στο παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 8 : Διαγραμματική απεικόνιση του ασαφούς συνόλου εξόδου D' των κανόνων K_1 (αριστερά) και K_2 (δεξιά) [3]

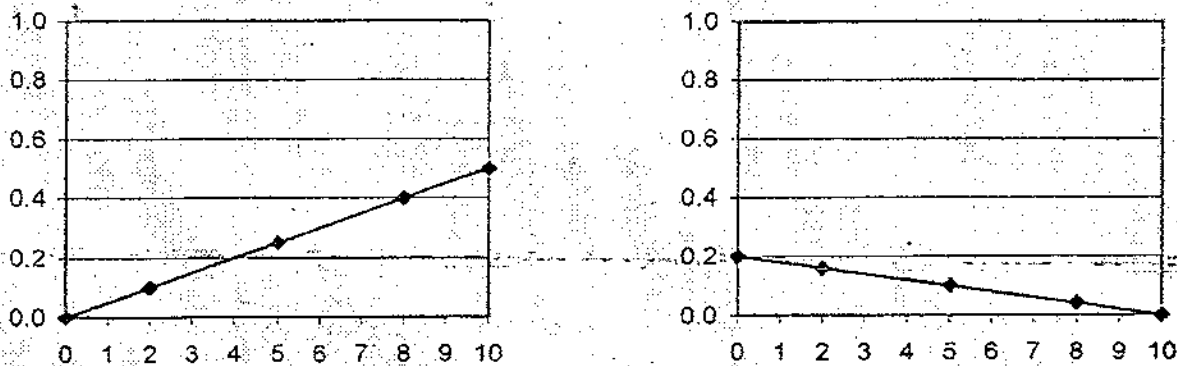
R_{K1} και R_{K2} προερχόμενα από τη μέθοδο PRODUCT

Με την ίδια μεθοδολογία γίνεται η \max - \min σύνθεση της εισόδου:

$$D'_{K_1} = \{0/0, 0.1/2, 0.25/5, 0.4/8, 0.5/10\}$$

$$D'_{K_2} = \{0.2/0, 0.16/2, 0.1/5, 0.04/8, 0/10\}$$

και τα αποτελέσματα απεικονίζονται στο παρακάτω διάγραμμα



Σχήμα 9 : Διαγραμματική απεικόνιση του ασαφούς συνόλου εξόδου D' του κανόνα K_1 (αριστερά) και του K_2 (δεξιά) [3]

3.7.3 Συνάθροιση αποτελεσμάτων

Στο στάδιο της συνάθροισης αποτελεσμάτων, τα αποτελέσματα του κάθε κανόνα “συναθροίζονται” για να δώσουν το τελικό αποτέλεσμα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η φύση της μεθόδου είναι τέτοια που να οδηγεί στην αλληλοεπικάλυψη που υπάρχει στα πεδία ορισμού των ασαφών μεγεθών που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς. Οι κύριες μέθοδοι συνάθροισης είναι η μέθοδος *max* και η μέθοδος *sum*.

Μέθοδος συνάθροισης MAX

Η μέθοδος συνάθροισης *max* υπολογίζει την συνδυασμένη έξοδο των κανόνων επιλέγοντας τη μεγαλύτερη τιμή συγγένειας από τις παραμέτρους εξόδου κάθε κανόνα, σημείο προς σημείο. Η συνάθροιση των $D'_{k1}=\{0/0, 0.2/2, 0.5/5, 0.5/8, 0.5/10\}$ και $D'_{k2}=\{0.2/0, 0.2/2, 0.2/5, 0.2/8, 0/10\}$

δίνει:

$$D_1' = \{\max(0,0.2)/0, \max(0.2, 0.2)/2, \max(0.5, 0.2)/8, \max(0.5,0)/10\} = \\ =\{0.2/0, 0.2/2, 0.5/5, 0.5/8, 0.5/10\}$$

Μέθοδος συνάθροισης SUM

Η μέθοδος συνάθροισης *sum* υπολογίζει τη συνδυασμένη έξοδο των κανόνων παίρνοντας το άθροισμα των τιμών συγγένειας των παραμέτρων εξόδου κάθε κανόνα, σημείο προς σημείο. Η συνάθροιση των $D_2'_{k1}=\{0/0, 0.1/2, 0.25/5, 0.4/8, 0.5/10\}$ και $D_2'_{k2}=\{0.2/0, 0.16/2, 0.1/5, 0.04/8, 0/10\}$ κατά SUM δίνει:

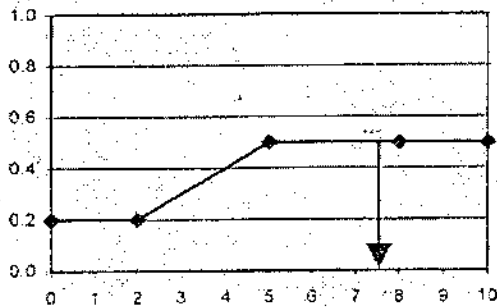
$$D_2' = \{(0+0.2)/0, (0.1+0.16)/2, (0.25+0.1)/5, (0.4+0.04)/8, (0.5+0)/10\} = \\ =\{0.2/0, 0.26/2, 0.35/5, 0.44/8, 0.5/10\}$$

3.7.4 Αποσαφήνιση

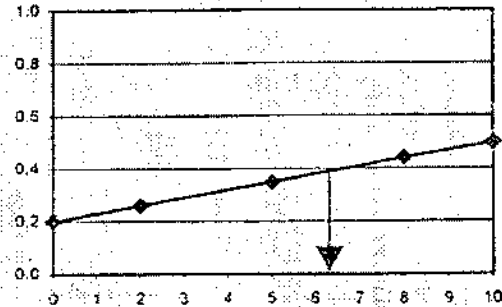
Στο στάδιο της αποσαφήνισης το ασαφές αποτέλεσμα του βήματος της συνάθροισης μετατρέπεται σε πραγματική τιμή.

Μέθοδος αποσαφήνισης MAXIMUM

Στη μέθοδο αποσαφήνισης *maximum*, η διακριτή τιμή αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή συγγένειας του τελικού αποτελέσματος. Αν υπάρχουν οι τιμές ξεπερνούν την μία τότε λαμβάνεται ο μέσος όρος τους.



(α)



(β)

Σχήμα 10 : Αποσαφήνιση average of maxima στο (α) και cendroid στο (β) [3]

Παρατηρείται στο γράφημα (α) πως η διακριτή τιμή είναι :

$$D_1 = (5+8+10)/3 = 7,7$$

Μέθοδος αποσαφήνισης CENDROID

Στη μέθοδο αποσαφήνισης *cendroid*, η διακριτή τιμή που προκύπτει από το κέντρο βάρους της τελικής συνάρτησης συγγένειας για την ασαφή παράμετρο εξόδου. Το κέντρο βάρους μιας επιφάνειας ορίζεται από τη σχέση:

$$t_{κβ} = \frac{\int t \cdot f(t) dt}{\int f(t) dt} \quad (18)$$

Η αποσαφήνιση CENDROID μετατρέπει τα αποτελέσματα της συνάθροισης SUM ως εξής:

$$D_{2crisp} = \frac{\sum D_2 \cdot u_{D_2}}{\sum u_{D_2}} = \frac{0 \cdot 0.2 + 2 \cdot 0.26 + 5 \cdot 0.35 + 8 \cdot 0.44 + 10 \cdot 0.5}{0.2 + 0.26 + 0.35 + 0.44 + 0.5} = 6.2$$

Ένα βασικό χαρακτηριστικό της μεθόδου αυτής είναι ότι εάν έχει γίνει σύνθεση αποτελεσμάτων από επιμέρους κανόνες και υπάρχουν περιοχές που αλληλεπικαλύπτονται, αυτές λαμβάνονται υπ' όψη μία μόνο φορά. Τέλος, στην περίπτωση που η συνάρτηση συγγένειας εξόδου είναι παντού 0, το αποτέλεσμα της αποσαφήνισης θέτεται κατά σύμβαση.

3.8 Εναλλακτική επίλυση ενός προβλήματος ασαφούς λογικής

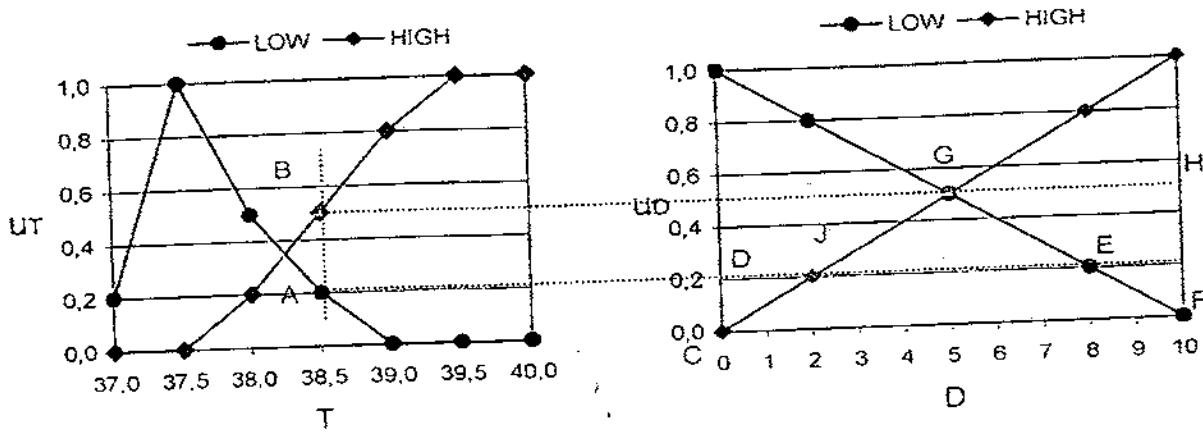
Ένας άλλος τρόπος επίλυσης προβλημάτων που αφορούν την ασαφή συλλογιστική είναι η *διαγραμματική επίλυση*. Αυτή δίνει τη δυνατότητα για γρήγορο αλλά προσεγγιστικό υπολογισμό της τελικής λύσης χωρίς να χρειάζονται όλοι οι αριθμητικοί υπολογισμοί που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες ενότητες. Για την εφαρμογή της μεθόδου πρέπει οι συναρτήσεις συγγένειας των παραμέτρων του προβλήματος να είναι συνεχείς καμπύλες και όχι σύνολο ζευγών $(x, u(x))$.

Για την εφαρμογή της διαγραμματικής λύσης στο πρόβλημα εύρεσης της δόσης D' μιας φαρμακευτικής ουσίας με βάση την θερμοκρασία T' και τους κανόνες:

K1: if T is HIGH then D is HIGH

K2: if T is LOW then D is LOW

δημιουργούνται τα διαγράμματα των συναρτήσεων συγγένειας των μεγεθών εισόδου και εξόδου των κανόνων όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί



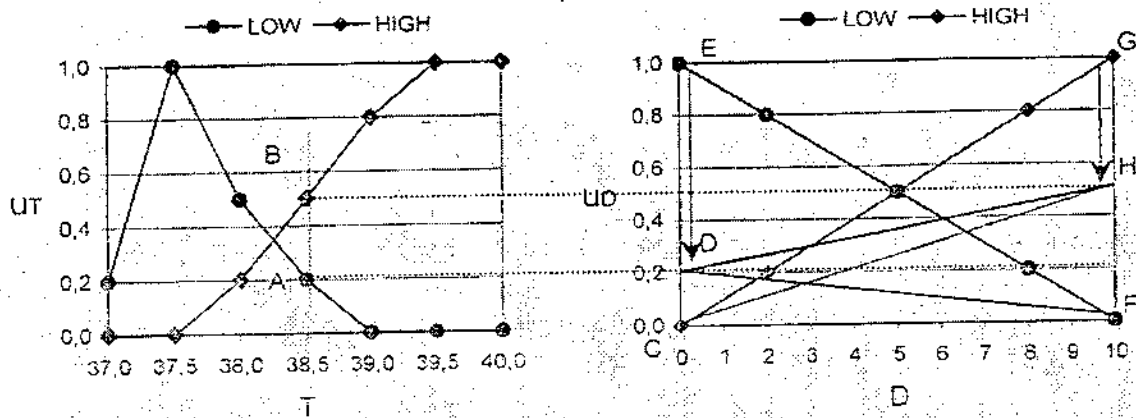
Σχήμα 11 : Διαγραμματική επίλυση θεωρώντας την μέθοδο MIN για τον υπολογισμό των συναρτήσεων συνεπαγωγής [3]

Θεωρώντας ως δεδομένο το ότι η θερμοκρασία εισόδου είναι $T' = 38.5$, υπολογίζονται τα σημεία τομής της ευθείας $T_a = 38.5$ με τις καμπύλες U_T^{High} και U_T^{Low} . Προκύπτουν έτσι τα σημεία A και B. Αυτό σημαίνει ότι η θερμοκρασία $T' = 38.5$ μπορεί να θεωρηθεί την ίδια στιγμή ως προς κάποιο βαθμό, LOW και HIGH. Άρα θα ενεργοποιηθούν και οι δύο κανόνες, R1 και R2. Κατόπιν, ορίζονται οι ακόλουθες οριζόντιες ευθείες:

Η AE, που αποκόπτει από την συνάρτηση συγγένειας D^{Low} και άξονες την περιοχή CDEF

Η BH, που αποκόπτει από την συνάρτηση συγγένειας D^{High} και τους άξονες την περιοχή CGHF.

Η συνάρτηση συνεπαγωγής των κανόνων K2 και K1 είναι οι “καμπύλες” DEF και CGH αντίστοιχα. Το αποτέλεσμα της συνάθροισης \max στις “καμπύλες” DEF και CGH είναι η “καμπύλη” DJGH. Στην περίπτωση της αναλυτικής επίλυσης, όπου οι συναρτήσεις συνεπαγωγής R_{K1} και R_{K2} είχαν υπολογιστεί με τη μέθοδο product, η διαγραμματική επίλυση δίνεται στα παρακάτω σχεδιαγράμματα



Σχήμα 12 : Διαγραμματική επίλυση θεωρώντας την μέθοδο PRODUCT για τον υπολογισμό των συναρτήσεων συνεπαγωγής [3]

Η οριζόντια ευθεία που περνά από το A και τέμνει την UD_{Low} , ορίζει το σημείο D στο οποίο “κλιμακώνεται” η UD_{Low} , δίνοντας την “καμπύλη” DF.

Η οριζόντια ευθεία που περνά από το B και τέμνει την UD_{High} , ορίζει το σημείο H στο οποίο “κλιμακώνεται” η UD_{High} , δίνοντας την “καμπύλη” CH.

Η συνάρτηση συγγένειας της εξόδου των κανόνων K2 και K1 είναι οι “καμπύλες” DF και CH αντίστοιχα. Το αποτέλεσμα της συνάρτησης SUM στις “καμπύλες” DF και CH είναι η “καμπύλη” DH.

Κεφάλαιο 4

Έμπειρα συστήματα

4.1 Εισαγωγή

Η εισαγωγή της πληροφορικής σε επιχειρήσεις και οργανισμούς αποτελεί αναγκαιότητα τα τελευταία χρόνια. Η τεχνολογία της πληροφορικής έχει αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό την τελευταία εικοσαετία, παράγοντας προγράμματα, λογισμικά, βάσεις δεδομένων και πληροφοριακά συστήματα που μας λύνουν τα χέρια κυριολεκτικά. Η πληροφορική παίζει πολύ σημαντικό ρόλο σε κάθε οργανισμό διότι είναι ο πιο βασικός παράγοντας για την καλή λειτουργία και την σωστή οργάνωση.

Στις επιχειρήσεις μέσω κάποιων πληροφοριακών συστημάτων έχουμε την δυνατότητα να ελέγξουμε πιο σωστά κάποιες λειτουργίες όπως η διαδικασία παραγωγής. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να ελέγξουμε αν έχουμε περιθώρια αύξησης της παραγωγής και μείωση του κόστους, ελέγχοντας ταυτόχρονα τα επίπεδα της ποιότητας. Επιπλέον, μπορούμε να κάνουμε ορθολογική λήψη αποφάσεων αλλά και να μειώσουμε το κόστος του ανθρώπινου δυναμικού, αφού τα συστήματα αυτά λειτουργούν και εξάγουν συμπεράσματα όπως ένας άνθρωπος ειδικός.

Στην εξέλιξη της βιομηχανικής εποπτείας συνέβαλλαν τα έμπειρα συστήματα τα οποία υιοθετήθηκαν αμέσως από επιχειρήσεις λόγω των σημαντικών αποτελεσμάτων τους.

4.2 Ο ορισμός των έμπειρων συστημάτων

Έμπειρο σύστημα (expert system) είναι ένα πρόγραμμα στον ηλεκτρονικό υπολογιστή το οποίο συνθέτει την γνώση που θα είχε ένας έμπειρος επιστήμονας στον κλάδο του και καλείται να κάνει λήψη αποφάσεων βάσει κάποιων περιορισμών που του έχουν δοθεί.

Μερικά έμπειρα συστήματα χρησιμοποιούν για τη λειτουργία τους μεγάλες και λεπτομερείς βάσεις γνώσεων από τις οποίες αντλούν στοιχεία. Οι **βάσεις γνώσεων (knowledge base)**, ονομάζονται έτσι, λόγω του ότι ενσωματώνουν την γνώση.

Κάποια άλλα έμπειρα συστήματα χρησιμοποιούν λιγότερο τις βάσεις γνώσεων και στηρίζουν την λειτουργία τους σε αλγόριθμους ή υπολογισμούς που θα πρέπει να εκτελεστούν.

Τα έμπειρα συστήματα ανήκουν στην οικογένεια 'ευφυών συστημάτων βασισμένα στην γνώση'.

Ένας άλλος ορισμός για τα έμπειρα συστήματα που έχει δώσει η ομάδα ειδικών της Βρετανικής Εταιρείας Υπολογιστών είναι ο παρακάτω :

Ένα έμπειρο σύστημα ορίζεται ως η ενσωμάτωση σε ένα υπολογιστικό σύστημα, ενός στοιχείου γνώσης, που εκμαιούτηκε από έναν έμπειρο ειδικό, με μία κατάλληλη μορφή έτσι ώστε το σύστημα να μπορεί να προσφέρει ευφυείς συμβουλές και να λάβει ευφυή απόφαση για την λειτουργία μιας διαδικασίας. [11]

4.3 Τα χαρακτηριστικά ενός έμπειρου συστήματος

Τα βασικά χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ένα έμπειρο σύστημα είναι τα παρακάτω :

☐ **Αξιολόγηση και Αιτιολογία** : Στα έμπειρα συστήματα δεν γίνεται δεκτή μία λύση-αποτέλεσμα χωρίς να την ακολουθεί η τεκμηρίωση. Όπως ένας ειδικός είναι υποχρεωμένος να εξηγήσει το σκεπτικό του και να αναλύσει την διαδικασία με την οποία έφτασε στο αποτέλεσμα έτσι πρέπει να γίνει και από τα έμπειρα συστήματα. Με την αιτιολόγηση πορείας συλλογισμού ο χρήστης εμπιστεύεται πιο πολύ τα έμπειρα συστήματα .

☐ **Δυναμικότητα** : Η επιστήμη και η τεχνολογία είναι από τους τομείς που αναπτύσσονται και αλλάζουν. Τα έμπειρα συστήματα θα πρέπει να έχουν την δυναμικότητα εύκολης τροποποίησης της υπάρχουσας γνώσης, είτε για να προστεθεί κάτι καινούριο ή για να αλλάξει κάτι που ήδη υπάρχει.

☐ **Ταχύτητα απόκρισης** : Τα έμπειρα συστήματα πρέπει βρίσκουν τη λύση σε τόσο χρονικό περιθώριο όσο θα έκανε ένας ειδικός για να τη βρει. Άρα θα πρέπει να έχουν μια καλή ταχύτητα η οποία να μπορεί να συγκριθεί με την ταχύτητα ενός

ανθρώπινου νου. Ένα έμπειρο σύστημα το οποίο θα αργούσε σε περιπτώσεις που χρειάζεται άμεση ανταπόκριση θα ήταν άχρηστο.

☒ **Διαφάνεια του κώδικα** : Τα έμπειρα συστήματα περιέχουν ένα κώδικα με τον οποίο αναπαριστούν την γνώση. Αυτή η γνώση που παριστάνεται σε συμβολική μορφή δε πρέπει να συγχέεται με το μηχανισμό χειρισμού και ελέγχου της.

☒ **Χειρισμός αβέβαιης ή ελλιπούς γνώσης** : Πολλές φορές δεν υπάρχουν όλα τα διαθέσιμα στοιχεία αλλά παρόλα αυτά ένας ειδικός θα μπορούσε με ελλιπή στοιχεία να καταλήξει σε κάποιο συμπέρασμα. Τα έμπειρα συστήματα θα πρέπει να έχουν την δυνατότητα και την ικανότητα να μπορούν να καταλήξουν σε ένα αποτέλεσμα με ελλιπή στοιχεία χωρίς να χρειάζονται συγκεκριμένο αριθμό στοιχείων και περιορισμών.

4.4 Σύγκριση έμπειρων συστημάτων με συμβατικά προγράμματα

Υπάρχουν αρκετές διαφορές μεταξύ έμπειρων συστημάτων και συμβατικών. Άλλωστε και η χρήση τους είναι διαφορετική.

Τα χαρακτηριστικά που κάνουν τα έμπειρα συστήματα να διαφέρουν από ένα απλό πρόγραμμα είναι τα παρακάτω :

- ✓ Έχουν ικανότητα χειρισμού αριθμών και συμβόλων
- ✓ Έχουν την ικανότητα να κάνουν χρήση της γνώσης (έτσι ώστε να βγάξει συμπεράσματα)
- ✓ Μπορούν να κάνουν χρήση ευρετικών μεθόδων για να περιορίσουν τον χώρο αναζήτησης
- ✓ Έχουν βάση γνώσης και όχι βάση δεδομένων
- ✓ Έχουν την δυνατότητα χειρισμού ασαφούς, αβέβαιης και ελλιπούς γνώσης
- ✓ Για κάθε αποτέλεσμα υπάρχει και μια επεξήγηση
- ✓ Δεν έχουν μονότονη συλλογιστική
- ✓ Έχουν την δυνατότητα εύκολης αναθεώρησης σε ήδη υπάρχοντα δεδομένα γνώσεων

- ✓ Κάνουν χρήση γλωσσών που πλησιάζουν αρκετά την ανθρώπινη γλώσσα

Αν συγκρίνουμε τα παραπάνω χαρακτηριστικά των έμπειρων συστημάτων με τα χαρακτηριστικά των συμβατών προγραμμάτων θα κατανοήσουμε καλύτερα την έννοια και την χρήση των έμπειρων συστημάτων. Τα έμπειρα συστήματα δεν προσπαθούν να βοηθήσουν τον άνθρωπο απλά προσπαθούν να λειτουργήσουν και να μιμηθούν τις ανθρώπινες λειτουργίες της σκέψης όσο πιο καλά μπορούν. Παρακάτω υπάρχει ένας πίνακας σύγκρισης με τα βασικά χαρακτηριστικά των έμπειρων συστημάτων και των συμβατικών προγραμμάτων.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΜΠΕΙΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ	
▪ Έχουν ικανότητα χειρισμού αριθμών και συμβόλων	▪ Χρησιμοποιούν μαθηματικούς και αριθμητικούς υπολογισμούς
▪ Έχουν την ικανότητα να κάνει χρήση της γνώσης (έτσι ώστε να βγάξει συμπεράσματα)	▪ Δεν κάνει χρήση της γνώσης, απλά προσομοιώνει το ίδιο το πρόβλημα
▪ Μπορούν να κάνουν χρήση ευρετικών μεθόδων για να περιορίσουν τον χώρο αναζήτησης	▪ Κάνουν χρήση αλγορίθμων
▪ Έχουν βάση γνώσης και όχι βάση δεδομένων	▪ Έχουν βάση δεδομένων και όχι βάση γνώσεων
▪ Έχουν την δυνατότητα χειρισμού ασαφούς, αβέβαιης και ελλιπούς γνώσης	▪ Δεν έχουν την ικανότητα να χειριστούν ένα πρόβλημα με ασαφείς, αβέβαιες ή ελλιπείς γνώσεις
▪ Για κάθε αποτέλεσμα υπάρχει και μια επεξήγηση	▪ Δεν υπάρχει η δυνατότητα επεξήγησης της λύσης
▪ Έχουν την δυνατότητα μη μονότονης συλλογιστικής	▪ Δεν έχουν δυνατότητα μη μονότονης συλλογιστικής
▪ Έχουν την δυνατότητα εύκολης αναθεώρησης σε ήδη υπάρχοντα δεδομένα γνώσεων	▪ Μια αλλαγή υπάρχοντος δεδομένου επιβάλλει μεγάλες αλλαγές σε όλο το πρόγραμμα
▪ Κάνουν χρήση γλώσσών που πλησιάζουν αρκετά την ανθρώπινη γλώσσα	▪ Οι γλώσσες προγραμματισμού που χρησιμοποιούνται δεν πλησιάζουν την ανθρώπινη γλώσσα

Πίνακας 5 : Σύγκριση χαρακτηριστικών εμπειρών συστημάτων με συμβατικά προγράμματα [3]

Τα έμπειρα συστήματα είναι προγράμματα του υπολογιστή τα οποία προσπαθούν να μιμηθούν την ανθρώπινη νοήμονα συμπεριφορά. Παραπάνω έγινε μια σύγκριση μεταξύ των εμπειρών συστημάτων και των κοινών προγραμμάτων του

υπολογιστή. Αν κάνουμε την ίδια σύγκριση μεταξύ εμπειρών συστημάτων και ανθρώπων θα ανακαλύψαμε αρκετά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

4.5 Σύγκριση εμπειρών συστημάτων με ανθρώπους-ειδικούς

Τα έμπειρα συστήματα επειδή είναι προγράμματα του υπολογιστή μπορούν με απίστευτη ευκολία να μεταφέρουν ή να αντιγράψουν την γνώση. Στους ανθρώπους για να μεταφερθεί η γνώση ή να αντιγραφεί χρειάζεται εκπαίδευση ενός άλλου ανθρώπου από τον ειδικό. Αυτή η διαδικασία είναι αρκετά χρονοβόρα.

Ακόμα ένα έμπειρο σύστημα μπορεί να λειτουργήσει οποιαδήποτε στιγμή και κάτω από οποιοδήποτε συνθήκες και το αποτέλεσμα που θα βγάλει θα είναι αξιόπιστο αντίθετα με τον άνθρωπο ο οποίος δεν μπορεί να λειτουργεί ακατάπαυστα και που μπορεί να επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως η κόπωση ή το συναίσθημα.

Η υποκειμενικότητα παίζει κυρίαρχο ρόλο στην ανθρώπινη σκέψη. Αυτό σημαίνει πως 2 ή 3 ειδικοί μπορεί να λάβουν 3 διαφορετικές αποφάσεις. Αυτό μπορεί να γίνει είτε επειδή κάποιος μπορεί να έχει περισσότερη εμπειρία, ή επειδή βλέπει το θέμα πιο πρακτικά ή δεν έχει ακριβώς τον ίδιο κλάδο επιστήμης. Αν όμως στα έμπειρα συστήματα δοθούν οι ίδιοι περιορισμοί και τα ίδια δεδομένα τότε αυτά θα καταλήξουν σε ένα κοινό συμπέρασμα. Κανένας παράγοντας δεν θα τροποποιήσει την γνώση που έχουν.

Παρακάτω θα κάνουμε σύγκριση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων ενός ανθρώπου ειδικού σε σχέση με ένα έμπειρο σύστημα.

4.5.1 Πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα έμπειρα συστήματα σε σχέση με τον άνθρωπο ειδικό

ΕΜΠΕΙΡΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	ΑΝΘΡΩΠΟΣ ΕΙΔΙΚΟΣ
Γνώση πάντα διαθέσιμη	Όταν ο άνθρωπος είναι παρόν τότε είναι διαθέσιμη και η γνώση
Έχουν ευκολία στην μεταφορά και αποτύπωση της γνώσης	Υπάρχει μεγάλη δυσκολία να μεταφερθεί η γνώση επειδή χρειάζεται αρκετός καιρός μέχρι να εκπαιδευτεί κάποιος
Εργάζεται με συνέπεια χωρίς συναισθηματισμούς	Ο άνθρωπος καταβάλλεται από συναισθηματικές παρορμήσεις
Εργάζεται οπουδήποτε	Υπάρχει υψηλό κόστος
Είναι αντικειμενικό παράλο που η γνώση προέρχεται από πολλούς ειδικούς	Ο άνθρωπος είναι υποκειμενικός και όχι αντικειμενικός

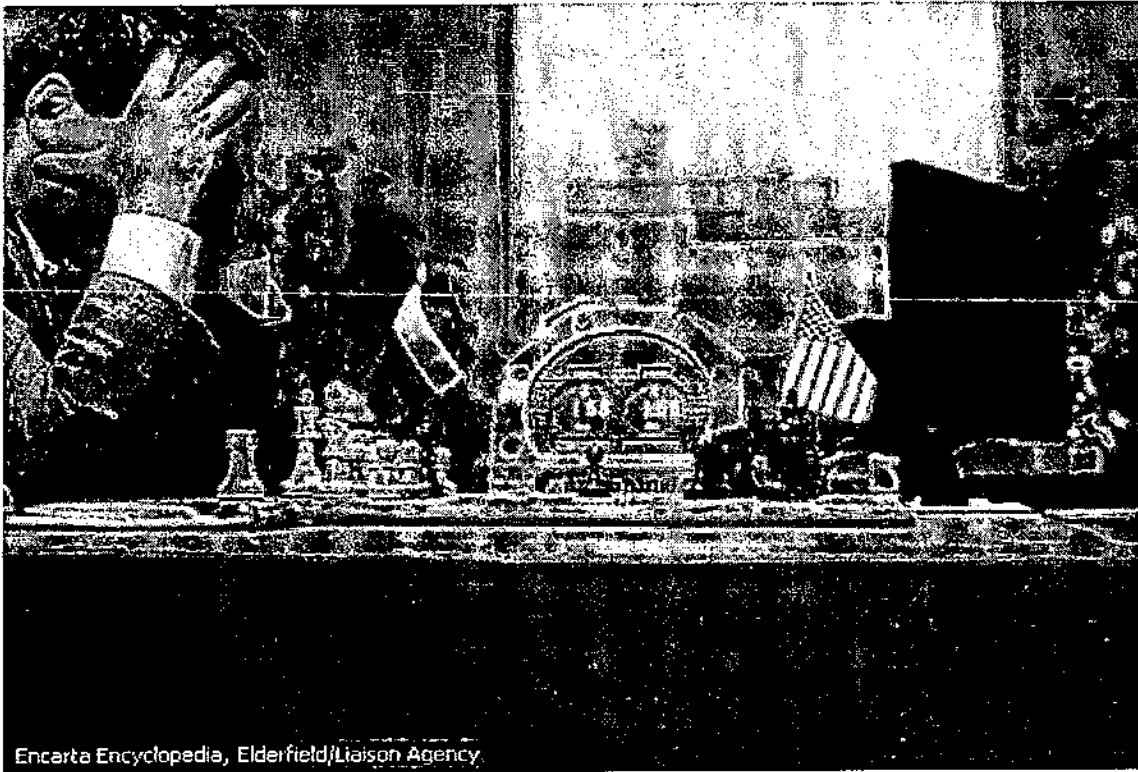
Πίνακας 6 : Πλεονεκτήματα έμπειρων συστημάτων σε σχέση με τον άνθρωπο ειδικό & Πίνακας 7 : Πλεονεκτήματα ανθρώπου ειδικού σε σχέση με τα έμπειρα συστήματα [3]

4.5.2 Πλεονεκτήματα που προσφέρει η ανθρώπινη φύση σε σχέση με τα έμπειρα συστήματα

ΑΝΘΡΩΠΟΣ ΕΙΔΙΚΟΣ	ΕΜΠΕΙΡΟ ΣΥΣΤΗΜΑ
Ο άνθρωπος είναι αρκετά δημιουργικός	Λείπει η έμπνευση και η δημιουργικότητα Γιατί υπάρχει πεδίο σκέψης
Χρησιμοποιεί την κοινή λογική	Υπάρχει δυσκολία να μεταφραστεί η κοινή λογική
Έχει γνώση των ορίων και δυνατοτήτων τους	Δυσκολία στην έκφραση μετα-γνώσης
Έχουν εκφραστική ικανότητα και λειτουργική επεξήγηση του λόγου τους	Η επεξήγηση του τρόπου λήψης μιας απόφασης είναι πολύ μηχανική
Ο έλεγχος της γνώσης γίνεται υποσυνείδητα	Ο έλεγχος δεν γίνεται υποσυνείδητα για αυτό θα πρέπει να ελέγχεται η ορθότητα και η ακρίβεια
Αυτονομία στην μάθηση	Η μάθηση γίνεται αυτόματα αφού προγραμματιστούν για αυτό
Απόκριση σε πραγματικό χρόνο	Δεν μπορούν πάντοτε, να αποκριθούν σε πραγματικό χρόνο

Μία εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης η οποία αποδεικνύει την ανωτερότητα των συστημάτων των υπολογιστών έναντι της ανθρώπινης σκέψης είναι οι αγώνες σκάκι μεταξύ του πρωταθλητή σκακιού Γκάρυ Γκασπάροφ και του συστήματος Deep Blue. Το πρόγραμμα αυτό, είχε δημιουργηθεί με την τεχνολογία της τεχνητής νοημοσύνης.

Το 1997 παρακολουθήσαμε έκπληκτοι την ήττα του πρωταθλητή από το σύστημα του υπολογιστή. Το πρόγραμμα συνέθεσε 200 εκατομμύρια σκακιστικές κινήσεις, δημιουργώντας έτσι την στρατηγική του, με αποτέλεσμα να οδηγήσει τον άνθρωπο αντίπαλο του στην ήττα.



Encarta Encyclopedia, Elderfield/Liaison Agency

Encarta Encyclopedia, Microsoft, 2002

Το παραπάνω παράδειγμα αποδεικνύει τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα έμπειρα συστήματα (ή καλύτερα, τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης) έναντι των ανθρωπίνων δυνατοτήτων.

Το σύστημα συνέθεσε την ανθρώπινη γνώση και χωρίς συναισθηματισμούς, εργαζόμενο αξιόπιστα και συνεχόμενα, κατάφερε τον καλύτερο δυνατό συνδυασμό γνώσεων, σε σχέση με την στρατηγική του ανθρώπου.

4.6 Κριτήρια για την κατασκευή ενός έμπειρου συστήματος

Σύμφωνα με τα παραπάνω χαρακτηριστικά τα έμπειρα συστήματα πρέπει να χρησιμοποιούνται εκεί που χρειάζεται η ανθρώπινη εμπειρία και που δεν υπάρχει ακριβής λύση. Η κατασκευή ενός έμπειρου συστήματος επηρεάζεται από 2 παράγοντες, τους τεχνολογικούς παράγοντες και τους ανθρώπινους. Παρακάτω δίνονται τα κριτήρια καταλληλότητας κατασκευής ενός έμπειρου συστήματος και τα κριτήρια ακαταλληλότητας με βάση κάθε παράγοντα.

1. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΜΠΕΙΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΜΠΕΙΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
Η λύση του προβλήματος πρέπει να είναι συμβολική	Η λύση του προβλήματος πρέπει να είναι αλγοριθμική
Το πεδίο γνώσης θα πρέπει να είναι εξειδικευμένο, μικρό και καλά καθορισμένο	Χρησιμοποίηση γενικών γνώσεων
Χρειάζεται ανθρώπινη εμπειρία	Χρειάζεται μαθηματική σκέψη
Υπαρξη αβέβαιων (μη γνωστών) δεδομένων	Δίνει λύσεις από ήδη γνωστά δεδομένα

Πίνακας 8 : Τεχνολογικοί Παράγοντες [3]

2. ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΜΠΕΙΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΜΠΕΙΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
Οι ειδικοί πρέπει να είναι σπάνιοι και πολύ ακριβοί	Οι ειδικοί είναι πάρα πολλοί
Να υπάρχουν διαθέσιμοι ειδικοί	Να μην υπάρχουν διαθέσιμοι ειδικοί

Πίνακας 9 : Ανθρώπινοι Παράγοντες [3]

4.7 Εφαρμογές και τύποι έμπειρων συστημάτων

4.7.1 Εφαρμογές έμπειρων συστημάτων

Τα έμπειρα συστήματα χρησιμοποιούνται σε αρκετές κατηγορίες προβλημάτων με σκοπό να βοηθήσουν στην επίλυσή τους. Οι εφαρμογές που είναι πιο γνωστές είναι οι εξής:

- **Διάγνωση** : Εύρεση βλαβών με διάφορες παρατηρήσεις και μετρήσεις
- **Πρόγνωση** : Πρόβλεψη μελλοντικών καταστάσεων με βάση ήδη υπάρχουσες καταστάσεις
- **Εκπαίδευση** : Αξιολόγηση μαθητικών γραπτών
- **Παρακολούθηση καταστάσεων** : Σύγκριση παρατηρούμενων καταστάσεων με μελλοντικές αναμενόμενες καταστάσεις με σκοπό να μελετηθεί η απόδοση
- **Επιδιόρθωση λαθών** : Διάγνωση και διαχείριση και βλαβών
- **Ερμηνεία** : Περιγραφή καταστάσεων με δεδομένα από παρατηρήσεις
- **Διαμόρφωση**: Διαμόρφωση εξαρτημάτων έτσι ώστε να ικανοποιούνται συγκεκριμένοι περιορισμοί και απαιτήσεις για την συναρμολόγηση τους
- **Έλεγχος** : Έλεγχος έτσι ώστε το σύστημα να μπορεί να περιλαμβάνει λειτουργίες ερμηνείας, διάγνωσης, πρόγνωσης, παρακολούθησης και επιδιόρθωσης λαθών
- **Παροχή συμβουλών** : Παρέχει συμβουλευτικές προτάσεις σε διάφορα γνωστικά πεδία, συμπεριλαμβανομένων και αυτών που αναφέρονται σε λήψη αποφάσεων

4.7.2 Τύποι έμπειρων συστημάτων

Ένα έμπειρο σύστημα κατασκευάζεται για ένα συγκεκριμένο σκοπό ή κάποια εφαρμογή. Μερικές εφαρμογές περιγράφηκαν παραπάνω. Ο κάθε σκοπός ή εφαρμογή είναι διαφορετικός για αυτό τον λόγο έχουμε και διαφορετικά έμπειρα συστήματα τα οποία κατηγοριοποιούνται. Οι σπουδαιότερες κατηγορίες είναι οι εξής:

✦ Έμπειρα συστήματα-βοηθοί :

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα έμπειρα συστήματα τα οποία εκτελούν μια συγκεκριμένη λειτουργία και αποτελούν ένα μέρος ενός μεγαλύτερου έργου που αποτελείται από ειδικούς ή άλλα προγράμματα

✦ **Κριτικά έμπειρα συστήματα :**

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα έμπειρα συστήματα τα οποία κάνουν κριτική για ένα έργο που ήδη τελειώσει. Δηλαδή επανεξετάζουν την διαδικασία και ελέγχουν την πληρότητα, την ύπαρξη λαθών κάνοντας σχόλια. Στην κατηγορία αυτή υπάρχουν πολύ λίγα έμπειρα συστήματα

✦ **Έμπειρα συστήματα-Ειδικοί σύμβουλοι :**

Στην κατηγορία αυτή, η οποία είναι και η πιο διαδεδομένη, ανήκουν τα έμπειρα συστήματα τα οποία παρέχουν συμβουλές για κάποιο θέμα αφού τους έχουν δοθεί δεδομένα από τους χρήστες.

✦ **Έμπειρα συστήματα-Δάσκαλοι :**

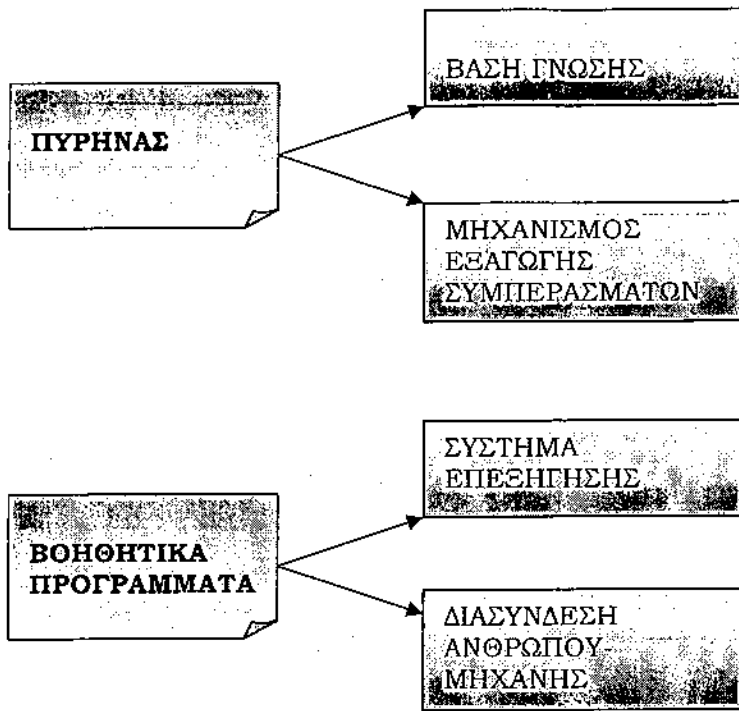
Στην κατηγορία αυτή τα έμπειρα συστήματα έχουν το ρόλο του δάσκαλου και εκπαιδεύουν ανθρώπους.

✦ **Αυτοματοποιημένα έμπειρα συστήματα :**

Στην κατηγορία αυτή , η οποία είναι η δεύτερη διαδεδομένη σε σειρά, τα έμπειρα συστήματα λειτουργούν αυτόματα και δίνουν αναφορά αποτελεσμάτων ανεξάρτητα από το χρήστη.

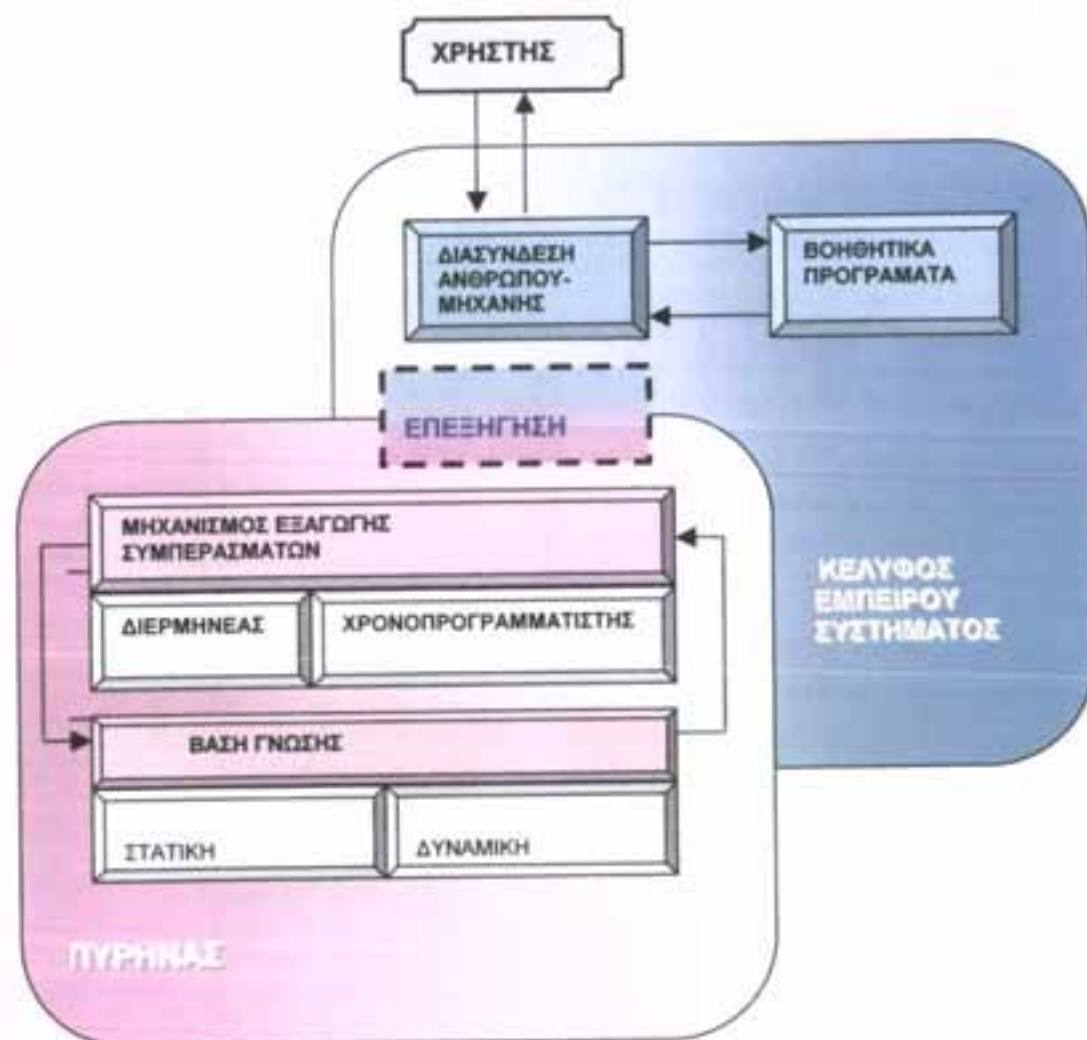
4.8 Αρχιτεκτονική έμπειρου συστήματος

Η πολυπλοκότητα του προβλήματος που θέλουμε να επιλύσει ένα έμπειρο σύστημα διαμορφώνει και την αρχιτεκτονική του. Ένα έμπειρο σύστημα χωρίζεται σε 2 κατηγορίες τον πυρήνα και ένα σύνολο από βοηθητικά προγράμματα. Αυτές οι 2 κατηγορίες αποτελούνται από άλλα τμήματα τα οποία είναι :



Σχήμα 13 : Αρχιτεκτονική έμπειρου συστήματος (τα μέρη πυρήνας & βοηθητικά προγράμματα)

4.8.1 Δομή έμπειρου συστήματος



Σχήμα 14 : Δομή έμπειρου συστήματος

Όπως φαίνεται και από το παραπάνω σχεδιάγραμμα ο πυρήνας αποτελείται από την βάση γνώσης και το μηχανισμό εξαγωγής συμπερασμάτων δηλαδή αυτή η κατηγορία ασχολείται με τις λειτουργίες του υπολογιστή.

Στην άλλη κατηγορία βλέπουμε ότι τα βοηθητικά προγράμματα ασχολούνται περισσότερο με τον χειρισμό και την εξαγωγή συμπερασμάτων. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα βοηθητικά προγράμματα και το σύστημα επεξήγησης αποτελούν τμήματα των εργαλείων που αναφέρονται ως **κελύφη έμπειρων συστημάτων**.

Στην ουσία τα κελύφη είναι κάποια εργαλεία αρκετά εξειδικευμένα και τα οποία ονομάζονται έτσι γιατί μπορούν να παρομοιαστούν με έμπειρα συστήματα τα

οποία δεν έχουν βάση γνώσεων. Η λέξη κελύφη προέρχεται από τον παρομοιασμό των κελυφών ως περιβλημάτων της βάσης. Η παραπάνω περιγραφή δεν πρέπει να μας αποπροσανατολίζει και να σκεφτόμαστε πως τα κελύφη προέρχονται από έμπειρα συστήματα στα οποία τους έχει αφαιρεθεί η βάση γνώσης γιατί πολλές φορές δημιουργούνται συστήματα που τους έχει αφαιρεθεί η αρχική βάση γνώσης και είναι προσανατολισμένα να εκτελούν συγκεκριμένες εφαρμογές. Τα κελύφη χωρίζονται σε **‘απλά κελύφη’** και **‘εξελιγμένα κελύφη’**.

4.9 Κελύφη έμπειρων συστημάτων

4.9.1 Απλά κελύφη

Τα απλά κελύφη προέρχονται από παλιά έμπειρα συστήματα που τους έχει αφαιρεθεί η βάση γνώσης. Τα πιο γνωστά από αυτά είναι τα εξής :

- Clot: χρησιμοποιήθηκε για ασθένειες πήξης του αίματος
- Puff: χρησιμοποιήθηκε για πνευμονικές ασθένειες
- Head: χρησιμοποιήθηκε για ψυχιατρικές διαγνώσεις
- Lithio: χρησιμοποιήθηκε στην γεωλογία
- Tax-advisor: χρησιμοποιήθηκε στην νομική
- Sacon: χρησιμοποιήθηκε στην δομική ανάλυση μηχανολογικών σχεδίων

Στα απλά κελύφη η γνώση αναπαριστάται με κανόνες. Ο κάθε κανόνας αποτελείται από μια συνθήκη και μια ενέργεια. Οι κανόνες εκτελούνται με την ορθή ή ανάστροφη ακολουθία εκτέλεσης, δηλαδή από την συνθήκη στην ενέργεια και αντίστροφα (forward chaining και backward chaining). Η ενέργεια του κανόνα ακολουθείται με συνθήκες βεβαιότητας και όταν επαληθευτεί και η συνθήκη τότε προστίθενται στη μνήμη.

Τα μειονεκτήματα των απλών κελυφών ξεκινούν από την προέλευση τους. Δηλαδή αφού προέρχονται από ένα παλιότερο έμπειρο σύστημα το οποίο είχε φτιαχτεί για κάποιο λόγο τότε και το απλό κελύφος θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί μετά για ένα παρόμοιο πρόβλημα. Η μεταγενέστερη χρήση τους είναι περιορισμένη. Άλλο ένα μειονέκτημα που παρουσιάζουν τα απλά κελύφη είναι πως έχουν μικρό

4.11 Η αρχιτεκτονική του μαυροπίνακα

Η **‘αρχιτεκτονική του μαυροπίνακα’** δίνει την δυνατότητα να λυθεί ένα πολύπλοκο πρόβλημα συνδυάζοντας παράλληλη λειτουργία πολλών ανεξάρτητων συστημάτων αφού πρώτα διαιρέσουν τον χώρο αναζήτησης σε μια ιεραρχία από σύνολα λύσεων.

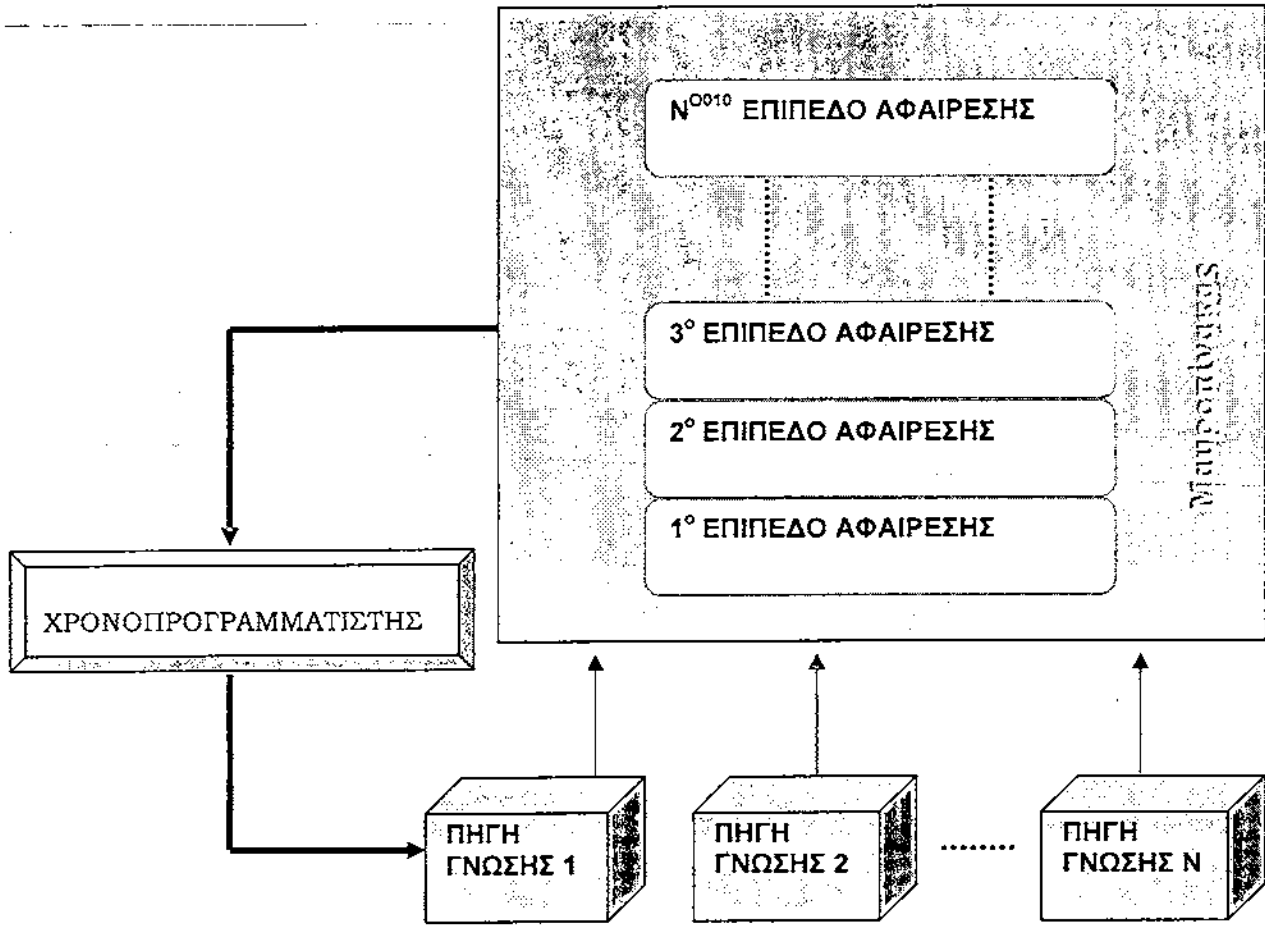
Η γνώση σε αυτήν την αρχιτεκτονική χωρίζεται σε τμήματα τα οποία καλούνται *πηγές γνώσης*. Οι πηγές γνώσης δεν επικοινωνούν μεταξύ τους αλλά μπορούν να αλλάζουν το περιεχόμενο του μαυροπίνακα. Πρέπει να σημειωθεί ότι κάθε πηγή γνώσης μπορεί να θεωρηθεί ένα σχετικά αυτόνομο έμπειρο σύστημα.

Στην αρχιτεκτονική του μαυροπίνακα ένα πολύπλοκο πρόβλημα διασπάται σε πιο απλά προβλήματα. Αυτά τα απλά προβλήματα λύνουν οι πηγές γνώσης.

Είναι αρκετά δύσκολο να μετά την επίλυση να μπορέσουν να συνδυαστούν οι πηγές γνώσεων μαζί με τους κανόνες τους γιατί μπορεί ο ένα κανόνας να αποκλείει τον άλλο. Ακόμα μια τεχνική λύσης σε ένα διασπασμένο πρόβλημα μπορεί να μη ταιριάζει με κάποια άλλη λύση. Έτσι λοιπόν και δεδομένου ότι η διερεύνηση των κανόνων μειώνει την απόδοση γιατί αυτή η διαδικασία γίνεται σε κάθε βήμα, καλό είναι οι κανόνες να χωρίζονται σε ομάδες και έτσι σε κάθε βήμα θα εξετάζεται η κάθε ομάδα κανόνων.

Αν ένα πρόβλημα είναι αρκετά μεγάλο μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι ενότητες οι οποίες περιέχουν κανόνες και μεγαλύτερες πηγές γνώσεις. *Η αρχιτεκτονική του μαυροπίνακα είναι ως εξής*

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΜΑΥΡΟΠΙΝΑΚΑ



Σχήμα 15 : Η αρχιτεκτονική του μαυροπίνακα [3]

Βλέπουμε παραπάνω ότι οι πηγές γνώσεων είναι ανεξάρτητες αλλά παρόλα αυτά συνεργάζονται παράλληλα. Οι πηγές γνώσεων μοιράζονται την γνώση και κάθε μία τροποποιεί το περιεχόμενο του μαυροπίνακα. Παραπάνω παρατηρούμε κάποια επίπεδα αφαίρεσης, τι αντιπροσωπεύουν όμως αυτά τα επίπεδα; Στον μαυροπίνακα υπάρχει μια ιεραρχία από επιμέρους *σύνολα μερικών λύσεων*, αυτό συμβαίνει επειδή διαιρείται ο χώρος αναζήτησης για να λυθεί το πρόβλημα. Κάθε ένα σύνολο μερικών λύσεων χαρακτηρίζεται από διαφορετικό επίπεδο αφαίρεσης. Δηλαδή ο μαυροπίνακας μπορεί να χαρακτηριστεί ως μνήμη η οποία συλλέγει τις λύσεις των επιπέδων αφαίρεσης.

Έστω ότι έχουμε ένα σύστημα διάγνωσης βλαβών σε ένα πολύπλοκο υπολογιστικό σύστημα. Θα πρέπει να χωριστούν οι βλάβες σε διάφορα σύνολα και

να δοθούν οι λύσεις για το καθένα ξεχωριστά. Οι βλάβες μπορεί να υπάρχουν στο λογισμικό ή σε υποσυστήματα ή σε μονάδες υλικού, ανάλογα με τα μέρη που υπάρχουν βλάβες τόσα επιμέρους σύνολα μερικών λύσεων δημιουργούνται και τόσα επίπεδα αφαίρεσης.

Για να γίνει πιο κατανοητή η αρχιτεκτονική του μαυροπίνακα αρκεί να σκεφτούμε πως σε ένα πρόβλημα αντιδρούν και λειτουργούν ταυτόχρονα ειδικοί και συνεργάζονται παράλληλα. Η κάθε πηγή γνώσης φέρει δικούς της κανόνες απλά παρακολουθώντας τις λύσεις στον μαυροπίνακα προσπαθεί να συνδυάσει τις λύσεις με τις γνώσεις που φέρει και να δώσει μια καλύτερη λύση. Αν προστεθεί μια νέα πηγή γνώσης η οποία φέρει νέες γνώσεις τότε σε μια λύση που θα δώσει μπορεί να τροποποιήσει ή να διαγράψει μια ήδη υπάρχουσα.

Στο γράφημα της αρχιτεκτονικής του μαυροπίνακα βλέπουμε τον *χρονοπρογραμματιστή* να συνδέει τις πηγές γνώσεις με τον μαυροπίνακα. Ο χρονοπρογραμματιστής είναι υπεύθυνος να παρακολουθεί τις λύσεις που υπάρχουν στον μαυροπίνακα και να επιτρέπει σε κάποια πηγή γνώσης την πρόσβαση σε αυτόν. Ο χρονοπρογραμματιστής είναι μια πηγή γνώσης που απλά διατηρεί μια ουρά η οποία ονομάζεται *ατζέντα*. Οι πηγές γνώσεων ζητούν πρόσβαση για τον μαυροπίνακα από τον χρονοπρογραμματιστή κάνοντας αίτηση. Κάθε φορά που ζητούν πρόσβαση δηλώνουν την σημαντικότητα στην αίτηση. Ο χρονοπρογραμματιστής επιτρέπει την πρόσβαση μόνο σε μια πηγή γνώσης σε κάθε κύκλο εκτέλεσης. Αν σε κάποιο κύκλο δεν υπάρχουν αιτήσεις για πρόσβαση τότε τερματίζεται η λειτουργία.

Το πιο βασικό χαρακτηριστικό του της αρχιτεκτονικής του μαυροπίνακα είναι ο **καιροσκοπικός χρονοπρογραμματισμός** γιατί ο χρονοπρογραμματιστής επιτρέπει την πρόσβαση σε μια πηγή γνώσης κάθε φορά με βάση τοπικά κριτήρια, δηλαδή με στοιχεία που υπάρχουν εκείνη την στιγμή, χωρίς να μπορεί να προβλεφθεί η μελλοντική κατάσταση.

Παρακάτω παρατίθεται ένα παράδειγμα ενός συστήματος αναγνώρισης χειρόγραφου κειμένου με την λέξη *ale* [3] :

κάνουν υποθέσεις μέχρι να καταλήξουν ποια λέξη είναι γραμμένη. Τα σύμβολα παριστάνουν τις εξής διαδικασίες :

- **LR:** Εδώ γίνονται υποθέσεις για τα γράμματα
- **PR:** Αφού βρεθούν τα γράμματα γίνονται υποθέσεις για τις συλλαβές
- **WD:** Γίνεται προσπάθεια να δημιουργηθούν λέξεις από τις συλλαβές
- **STOP:** Είναι το σημείο που το σύστημα σταματάει να ψάχνει για λέξεις
- **RC:** Βαθμολογούνται τα αποτελέσματα των υποθέσεων

Στον δεύτερο πίνακα βλέπουμε πιο αναλυτικά την διαδικασία υποθέσεων για να βρεθεί η χειρόγραφη λέξη *ale*. Όπως είναι γραμμένη το σύστημα παίρνει όλες τις πιθανές υποθέσεις για κάθε γράμμα. Δηλαδή το *a* έτσι όπως είναι γραμμένο μπορεί να είναι τα γράμματα *a*, *d* ή *q*. Το ίδιο ισχύει και για τα υπόλοιπα. Στο δεύτερο επίπεδο γίνεται προσπάθεια να δημιουργηθούν συλλαβές με τα υποθετικά γράμματα. Γίνεται συνδυασμός των υποθέσεων του *a*, με τις υποθέσεις του *l*, και τις υποθέσεις του *e*. Μερικές από τις συλλαβές που βλέπουμε να δημιουργούνται, είναι η *al* και η *dl*. Αυτό συμβαίνει, λόγω της δημιουργίας διάφορων συνδυασμών, έτσι ώστε να καταλήξει στο σωστό συνδυασμό γραμμάτων. Στο τελευταίο επίπεδο βλέπουμε τον συνδυασμό των συλλαβών και την δημιουργία λέξεων. Οι λέξεις που βρέθηκαν είναι η *ale*, η *all* και άλλες.

4.12 Στάδια και εργαλεία ανάπτυξης εμπειρών συστημάτων

4.12.1 Στάδια ανάπτυξης εμπειρών συστημάτων

Το πρώτο στάδιο ανάπτυξης ενός εμπειρού συστήματος, είναι πολύ βασικό γιατί έτσι προσδιορίζεται ο στόχος μας και οι ανάγκες που θα καλυφθούν. Αν κάτι μεταφραστεί αλλιώς από ότι πρέπει τότε όλη η διαδικασία και το αποτέλεσμα θα είναι λάθος. Τα στάδια ανάπτυξης ενός εμπειρού συστήματος είναι τα εξής:

1. Ανάλυση του προβλήματος

Η ανάλυση του προβλήματος είναι αρκετά σημαντική γιατί σε αυτό το στάδιο προσδιορίζονται οι μετέπειτα αποφάσεις που θα ληφθούν για την επίλυση του προβλήματος. Αρχικά πριν πάρουμε την απόφαση για την δημιουργία ενός έμπειρου συστήματος θα πρέπει να εξετάσουμε για ποιο σκοπό φτιάχνεται, αν θα είναι παραγωγικό όσον αφορά την παροχή υπηρεσιών και αν θα μειώνει το κόστος. Ακόμα θα πρέπει να εξετάζεται αν υπάρχουν οι ειδικοί που θα μεταφέρουν τις γνώσεις τους και αν θα υπάρχουν χρήστες με ανάλογο επίπεδο για να μπορέσουν να το χειριστούν.

2. Απόκτηση γνώσης

Τα έμπειρα συστήματα βασίζονται στην γνώση. Η γνώση μεταφέρεται από τον ειδικό στον μηχανικό γνώσης ο οποίος θα αναλάβει να μοντελοποιήσει τις γνώσεις του ειδικού σε κάποια μορφή ενδιάμεσης αναπαράστασης. Η μεταφορά της γνώσης από τον ειδικό στο μηχανικό γνώσης καλείται *εκμείευση της γνώσης*. Αν η συνεργασία του μηχανικού γνώσης με του ειδικού δεν είναι άριστη τότε θα υπάρξουν προβλήματα στην μετέπειτα πορεία από ελλείψεις που θα παρουσιάσει το σύστημα. Ο μηχανικός γνώσης χρειάζεται πάρα πολύ τις γνώσεις του ειδικού και την βοήθεια του γιατί θα αναλύσει την γνώση για να δημιουργήσει ένα μοντέλο γνώσης. Το μοντέλο γνώσης είναι πάρα πολύ απαραίτητο παρόλο που δεν θα χρησιμοποιηθεί στην υλοποίηση, γιατί με αυτό ο μηχανικός γνώσης θα μπορέσει να κάνει τη σύγκριση με το τελικό αποτέλεσμα και να αποκαλύψει τυχόν λάθη, ελλείψεις και ασάφειες. Η παραπάνω μέθοδος μεταφοράς ή εκμείευσης της γνώσης θεωρείται κλασσική. Εκτός από αυτή την μέθοδο υπάρχουν και άλλες πολλές. Για παράδειγμα υπάρχει η ημι-αυτόματη μέθοδος όπου ο ειδικός εισάγει από μόνος του την γνώση σε ειδικό λογισμικό. Ακόμα υπάρχει και η αυτόματη μέθοδος όπου το σύστημα τροφοδοτείται με σειρές δεδομένων τις οποίες προσπαθεί να συνδέσει ψάχνοντας αλληλεξαρτήσεις. Τέλος είναι εφικτό ο μηχανικός γνώσης να εισάγει δεδομένα αφού έχει μελετήσει σχετικές βιβλιογραφίες και ορολογίες.

3. Σχεδίαση

Στην σχεδίαση επιλέγεται με ποιο τρόπο θα αναπαρίσταται η γνώση και κατά την εξαγωγή των συμπερασμάτων ποια συλλογιστική θα ακολουθηθεί. Ακόμα προσδιορίζεται και ποιο εργαλείο θα χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη του έμπειρου συστήματος. Έπειτα συνδυάζονται οι περιορισμοί των χρηστών, της τεχνολογίας και το μοντέλο γνώσης και δημιουργείται ένα πρωτότυπο του συστήματος. Σε αυτό το πρωτότυπο γίνεται εισαγωγή δεδομένων και δίνεται μια εικόνα για την ολοκλήρωση του συστήματος. Φυσικά το πρωτότυπο δεν αποτελεί πλήρες σύστημα απλά δημιουργείται για την παρατήρηση των λειτουργιών και για τον εντοπισμό λαθών και ελλείψεων.

4. Υλοποίηση του συστήματος

Στο στάδιο της υλοποίησης συγκεντρώνονται τα στοιχεία της σχεδίασης και αρχίζει η υλοποίηση του συστήματος χρησιμοποιώντας τα εργαλεία ανάπτυξης των έμπειρων συστημάτων. Μόλις δημιουργηθεί ένα πρωτότυπο σύστημα δοκιμάζεται από έμπειρους χρήστες και ειδικούς μέχρι να πειστούν για την καλή και αξιόπιστη λειτουργία του. Σε αυτό το στάδιο το πιο σημαντικό σημείο είναι κατά πόσο καλή είναι η βάση γνώσης και όχι η διασύνδεση με το χρήστη.

5. Επαλήθευση και έλεγχος αξιοπιστίας

Είναι πολύ σημαντικό αυτό το στάδιο γιατί εδώ γίνεται επαλήθευση και έλεγχος αξιοπιστίας. Δηλαδή το σύστημα δοκιμάζεται και ελέγχεται εξονυχιστικά για να επιβεβαιωθεί αν το σύστημα πληροί τις αρχικές προδιαγραφές και αν η κωδικοποίηση της γνώσης είναι σωστή. Για να γίνει αυτός ο έλεγχος αξιοπιστίας υπάρχουν συγκεκριμένα τεστ (test cases) τα οποία έχουν επιλυθεί αρχικά από ειδικούς και έπειτα επιλύονται από το σύστημα για να γίνει σύγκριση.

Παραπάνω χρησιμοποιήθηκε ο όρος εκμείωση (ή μεταφορά ή απόκτηση) γνώσης ο οποίος είναι πολύ σημαντικός. Η γνώση η οποία απεικονίζεται με σύμβολα είναι το κυριότερο στοιχείο για την ορθή λειτουργία του συστήματος. Αν η γνώση είναι μεταφρασμένη λάθος τότε και τα αποτελέσματα θα είναι λάθος και το σύστημα δεν θα λειτουργεί όπως πρέπει. Η απόκτηση γνώσης γίνεται από ένα

αριθμό ειδικών έτσι ώστε η γνώση να μην είναι μονόπλευρη και να έχει αντικειμενική αξία και όχι υποκειμενική.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι η συνεργασία του ειδικού με τον μηχανικό γνώσης. Μερικοί ειδικοί λόγω καθημερινής εμπειρίας αντιμετωπίζουν σημαντικό πρόβλημα να μεταφέρουν την γνώση για ένα θέμα επειδή για αυτούς είναι ρουτίνα και έχουν μάθει να την χρησιμοποιούν στα τυφλά δηλαδή μηχανικά. Ακόμα ο μηχανικός θα πρέπει να κάνει τις σωστές ερωτήσεις έτσι ώστε να καλύπτει τα κενά για να ελαχιστοποιούνται οι ελλείψεις και τα λάθη. Αν ο μηχανικός της γνώσης κάνει λανθασμένες ερωτήσεις τότε οδηγείται εκτός του στόχου της επίλυσης του προβλήματος. Άλλα προβλήματα που μπορεί να δημιουργηθούν είναι η προκατάληψη που μπορεί να έχει με το θέμα ο μηχανικός ή η απροθυμία ενός ειδικού ή η επιλογή λανθασμένου προσώπου-ειδικού ο οποίος μπορεί να έχει ελλιπείς γνώσεις πάνω στο θέμα.

Το πρόβλημα εκμείευσης της γνώσης μπορεί να λυθεί αν χρησιμοποιηθούν κάποιες μεθοδικές διαδικασίες όπως οι παρακάτω :

- Κάθε συνέντευξη πρέπει βιντεοσκοπείται ή να ηχογραφείται
- Θα πρέπει ο ειδικός να μη χρησιμοποιεί γενικότητες
- Θα πρέπει ο μηχανικός γνώσης να μη διακόπτει συνέχεια τον ειδικό
- Θα πρέπει ο μηχανικός να έχει μελετήσει και να έχει συγκεντρώσει κάποιες ερωτήσεις

Όσο και αν κάθε συνέντευξη μπορεί να έχει ένα χαρακτήρα. Δηλαδή μπορεί να είναι πολύ γενική, ή πολύ αυστηρή με πολλές λεπτομέρειες ή τέλος με ανοιχτές ερωτήσεις οι οποίες έχουν σκοπό να καλύψουν κάποια κενά.

4.12.2 Εργαλεία ανάπτυξης εμπειρών συστημάτων

Για την ανάπτυξη ενός εμπειρού συστήματος απαιτούνται κάποια εργαλεία. Αυτά τα εργαλεία χωρίζονται σε 2 κατηγορίες :

□ Γλώσσες προγραμματισμού

- ✓ Συμβατικές γλώσσες προγραμματισμού (C++, BASIC, FORTRAN κα)

- ✓ Συμβολικές (ή τεχνητής νοημοσύνης) γλώσσες (LISP, PROLOG
κα)

□ **Εργαλεία τεχνολογίας της γνώσης**

- ✓ Κελύφη εμπειρών συστημάτων (Απλά & Εξελιγμένα κελύφη)

Στην πρώτη κατηγορία υπάρχουν η κατηγορία των συμβατικών γλωσσών οι οποίες είναι συμβατές με τα σημερινά υπολογιστικά δεδομένα λόγω ύπαρξης βάσεων δεδομένων. Βέβαια δεν είναι οι καταλληλότερες όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω για το χειρισμό γνώσης. Ακόμα υπάρχει και η κατηγορία των συμβολικών μεθόδων (ή τεχνητής νοημοσύνης) οι οποίες μπορούν να χειριστούν την γνώση και την έκφραση εννοιών επειδή χρησιμοποιούν σύμβολα, είναι εύκολες στην εκμάθηση, έχουν ευέλικτες δομές ελέγχου και υποστηρίζουν τον τρόπο συλλογισμού για το αποτέλεσμα που θα δώσουν. Αν συγκρίνουμε τις συμβατικές γλώσσες με τις γλώσσες τεχνητής νοημοσύνης θα βρούμε αρκετά σημεία ομοιότητας με τον πίνακα στην αρχή του κεφαλαίου των εμπειρών συστημάτων που αναφέρεται στην σύγκριση συμβατικών προγραμμάτων και εμπειρών συστημάτων.

Παρακάτω θα κάνουμε μικρή αναφορά για μερικές γλώσσες τεχνητής νοημοσύνης :

LISP (συναρτησιακός προγραμματισμός)

Η LISP (list processing) είναι μια γλώσσα προγραμματισμού και ανήκει στην κατηγορία των γλωσσών τεχνητής νοημοσύνης. Η LISP δημιουργήθηκε από τον McCarthy και χρησιμοποιεί σύμβολα και λίστες. Έχει μια ομάδα από 6 θεμελιώδεις συναρτήσεις με τις οποίες κάνει έλεγχο ισότητας, έλεγχο των δεδομένων, συνενώνει λίστες και από αυτές τις συνθήκες ο χρήστης μπορεί να ορίσει πιο σύνθετες.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ LISP

Αυτόματη διαχείριση της μνήμης	Παρόλο που χρησιμοποιεί σύμβολα δεν είναι η πιο ιδανική
Έχει την δυνατότητα να ορίσει αναδρομικές συναρτήσεις	Δεν μπορεί να αποδώσει ιδιαίτερη σημασία στους συμβολισμούς της
Έχει την δυνατότητα να διορθώνει λάθη με μεγάλη ευκολία	Δεν είναι μεταφραζόμενη γλώσσα (αλλά χρειάζεται διερμηνεία)
Μπορεί να αναπτύξει μεγάλα προβλήματα με χρήση απλών συναρτήσεων	Το εργαλείο που θα αναπτυχθεί πάνω στην γλώσσα θα είναι αργό από ότι αν φτιαχνόταν σε συμβατική γλώσσα

Πίνακας 10 : Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της Lisp

PROLOG (λογικός προγραμματισμός)

Η PROLOG (programming in logic) είναι μια γλώσσα τεχνητής νοημοσύνης και καλείται ως δηλωτική ή περιγραφική. Στην PROLOG η περιγραφή του προβλήματος γίνεται από κανόνες και με μορφές γεγονότων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην PROLOG δεν περιέχεται ο ακριβής αλγόριθμος επίλυσης. Ακόμα θα πρέπει να αναφερθεί πως χρησιμοποιεί μετα-λογικές και έξτρα-λογικές δομές ελέγχου με αποτέλεσμα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν πρακτική γλώσσα προγραμματισμού.

Τα γεγονότα αποτελούν αξιώματα και οι κανόνες αποτελούν θεωρήματα. Δηλαδή τα γεγονότα θέλουν να εκφράσουν μια γνώση, κάτι που ισχύει ενώ οι κανόνες θέλουν να δηλώσουν τους περιορισμούς της γνώσης.

Η PROLOG χαρακτηρίζεται για την τεχνική που χρησιμοποιεί, δηλαδή την εις άτοπο απαγωγή. Ξεκινά μια πρόταση ή ερώτηση και σταματάει εκεί που η πρόταση θα δηλώνει το ακριβώς αντίθετο. Όταν στην PROLOG αναλύεται ένα πρόβλημα τότε γίνεται μια διαδικασία ενοποίησης όπου ο στόχος που θέλουμε να αποδειχτεί ενώνεται με την κεφαλή κάποιου κανόνα και πραγματοποιείται αντικατάσταση μεταβλητών η οποία διατηρεί αυτήν την αλλαγή μέχρι το τέλος της διαδικασίας.

Για να γίνει η διαδικασία ενοποίησης επιλέγονται αρκετές λύσεις του προβλήματος (κανόνες) και ερευνώνται. Η επιλογή ενός κανόνα εξαρτάται από τα δεδομένα.

Ένα σοβαρό μειονέκτημα της PROLOG είναι το χαρακτηριστικό της, δηλαδή το εις άτοπο επαγωγή που σημαίνει πως αν η βάση γνώσης είναι ελλιπής και δεν περιέχεται μια πληροφορία σε αυτήν (παρόλο που ισχύει και είναι αποδεδειγμένη) τότε η γλώσσα την θεωρεί ψευδή. Ακόμα η PROLOG έχει ένα κοινό με τη LISP. Δηλαδή οι μηχανισμοί που φτιάχνονται πάνω από αυτές τις γλώσσες προγραμματισμού είναι αργοί.

Αντικειμενοστραφής προγραμματισμός

Ο αντικειμενοστραφής προγραμματισμός (ή object-oriented programming) θεωρείται από τις πιο σύγχρονες μορφές προγραμματισμού. Όπως αναφέρεται και στον τίτλο του αντικειμενοστραφή προγραμματισμού η βασική του έννοια είναι το αντικείμενο το οποίο είναι ένα σύνολο από χαρακτηριστικά.

Ένας υπολογιστής για μας είναι ένα αντικείμενο, ο αντικειμενοστραφής προγραμματισμός το βλέπει σαν αντικείμενο το οποίο αναπαρίσταται με χαρακτηριστικά την ταχύτητα του, την μνήμη, τον κατασκευαστή και την έκδοση λογισμικού.

Ο αντικειμενοστραφής προγραμματισμός έχει τη ιδιότητα του *εγκλεισμού*. Δηλαδή τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου δεν είναι φανερά στο υπόλοιπο πρόγραμμα. Για να πληροφορηθούν για τα χαρακτηριστικά θα πρέπει να σταλούν μηνύματα. Τα μηνύματα που αποστέλλονται για κάθε διαφορετικό αντικείμενο είναι συγκεκριμένα. Η διαδικασία εξυπηρέτησης που εκτελείται για κάθε μήνυμα διαφορετικά ονομάζεται μέθοδος. Μία μέθοδος που εξυπηρετεί ένα μήνυμα μπορεί να μεταφέρει την ονομασία ή την τιμή ενός χαρακτηριστικού. Μια μέθοδος μπορεί να μεταφέρει ένα ολόκληρο πρόγραμμα με αλγόριθμους. Έτσι όταν λέμε εγκλεισμός εννοούμε τα δεδομένα του αντικειμένου και τον κώδικα που τα επεξεργάζεται.

Τα αντικείμενα έχουν χαρακτηριστικά. Για να μελετήσουμε την δομή τους ονομάζουμε τα αντικείμενα **κλάσεις** και τα σύνολα των αντικειμένων **στιγμιότυπα**. Οι κλάσεις οργανώνονται σε ιεραρχίες.

Για την αποφυγή επανάληψης από παρόμοια χαρακτηριστικά και μεθόδους χρησιμοποιείται η **κληρονομικότητα** από την οποία κληρονομούν οι συγκεκριμένες κλάσεις από μια γενική τα χαρακτηριστικά και τις μεθόδους.

Στην κληρονομικότητα των μεθόδων οφείλεται μια μέθοδος η οποία ονομάζεται πολύμορφισμός. Αν η γενική κλάση έχει διαφορετική συμπεριφορά με την συγκεκριμένη τότε πρέπει να οριστεί πάλι η μέθοδος.

Μια χαρακτηριστική ιδιότητα του αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού είναι η πολλαπλή κληρονομικότητα όπου μια συγκεκριμένη κλάση μπορεί να συνδέεται με πολλές γενικές.

Ο αντικειμενοστραφής προγραμματισμός μπορεί να παράγει δομές πολύ εκφραστικές οι οποίες μπορούν να αναπαραστήσουν αντικείμενα και τις συσχετίσεις τους και αυτό είναι ένα από τα πλεονεκτήματα του αντικειμενοστραφή προγραμματισμού.

OPS5 (προγραμματισμός με κανόνες παραγωγής)

Ο προγραμματισμός με κανόνες παραγωγής είναι πολύ εύκολος στην εκμάθηση λόγω της απλότητας των δομών και της γλώσσας, αν και αρκετές φορές περιορίζει πάρα πολύ επειδή δεν επιτρέπεται η σύνθετη αναπαράσταση της γνώσης.

Κάποια από τα μειονεκτήματα αυτής μεθόδου είναι ότι παρέχει μόνο γραμμικές εγγραφές-διανύσματα και ότι λόγω της δημιουργίας των πολλών βρόγχων επανάληψης γίνεται πολύπλοκη η διαδικασία με τη χρήση κανόνων παραγωγής. Ακόμα σπαταλείται αρκετός χρόνος στο ταίριασμα των συνθηκών των κανόνων στην μνήμη εργασίας.

Λόγω ύπαρξης συγκρούσεων από διάφορους αλγόριθμους κατά την διαδικασία επιλογής του κανόνα που θα εφαρμοστεί, υποστηρίζονται κάποιοι αλγόριθμοι επίλυσης συγκρούσεων :

- Εκτελείται πρώτος ο κανόνας ο οποίος έχει χρησιμοποιηθεί στα πιο πρόσφατα δεδομένα, για να δημιουργείται μια καλή χρονολογικά διαδικασία σκέψης
- Ένας συγκεκριμένος κανόνας εξετάζεται πρώτος από ότι ένας γενικός γιατί έτσι οδηγούμαστε πιο γρήγορα στην λύση
- Όταν επιλύεται ένα πρόβλημα χωρίζεται σε διεργασίες οι οποίες εκτελούνται από ομάδες κανόνων. Αν μια ομάδα κανόνων χρησιμοποιείται τότε δεν έρχεται πρώτη σε προτίμηση επιλογής έκτος και αν και αν δεν υπάρχουν άλλοι κανόνες της ίδιας ομάδας

- Για αποφυγή επαναληψιμότητας οι κανόνες που εκτελούνται για ένα συγκεκριμένο συνδυασμό αντικειμένων δε ξαναεκτελούνται.

4.13 Emycin

Ένα από τα πιο γνωστά απλά κελύφη το οποίο προήλθε από έμπειρο σύστημα είναι το EMYCIN το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή πολλών άλλων έμπειρων συστημάτων και κυρίως για ιατρικά προβλήματα. Το EMYCIN έχει δημιουργηθεί σε γλώσσα INTERLISP και χρονολογείται στη δεκαετία του 1970.

Τα γεγονότα παριστάνονται σε τριάδες και έχουν την μορφή " Έννοια-Παράμετρος-Τιμή". Οι έννοιες ιεραρχούνται σε δένδρο όπου εκεί οργανώνονται οι πληροφορίες. Ακόμα υποστηρίζει τους μετακανόνες για την αποτροπή εκτέλεσης κάποιων κανόνων ή για να καθοριστεί η σειρά που θα εφαρμοστούν.

Οι κανόνες είναι υπεύθυνοι για την ταξινόμηση των γνώσεων και θεωρούνται ως τρόπος αναπαράστασης των εννοιών. Χαρακτηριστικό των κανόνων είναι ότι αποτελούνται από μια συνθήκη και μια ενέργεια. Όταν επαληθευτεί η συνθήκη τότε γίνεται αποθήκευση των τριάδων που εμφανίζονται στην ενέργεια δηλαδή ακολουθείται ανάστροφη ακολουθία εκτέλεσης.

Η ενέργεια των κανόνων συνοδεύεται με συντελεστές βεβαιότητας. Οι **'συντελεστές βεβαιότητας' (Certainty factors)** είναι αριθμητικές τιμές οι οποίες εκφράζουν την βεβαιότητα για αλήθεια ή το λάθος μιας πρότασης ή ενός γεγονότος όταν γίνεται εισαγωγή για πρώτη φορά στο έμπειρο σύστημα. Οι κανόνες βεβαιότητας έχουν την παρακάτω μορφή :

If γεγονός **then** υποθετικό συμπέρασμα με βεβαιότητα **CF**

Οι τιμές βεβαιότητας ανήκουν στο διάστημα $[-1,+1]$ το οποίο σημαίνει πως αν οι τιμές μας πλησιάζουν στο +1 τότε εκφράζεται η βεβαιότητα για το αληθές της πρότασης, αν πάλι τείνει προς το -1 εκφράζεται η βεβαιότητα για το ψευδές της πρότασης. Αν οι τιμές αγγίζουν τα όρια δηλαδή +1 ή -1 τότε μιλάμε για απόλυτη βεβαιότητα. Το μηδέν σε αυτό το διάστημα εκφράζει την άγνοια.

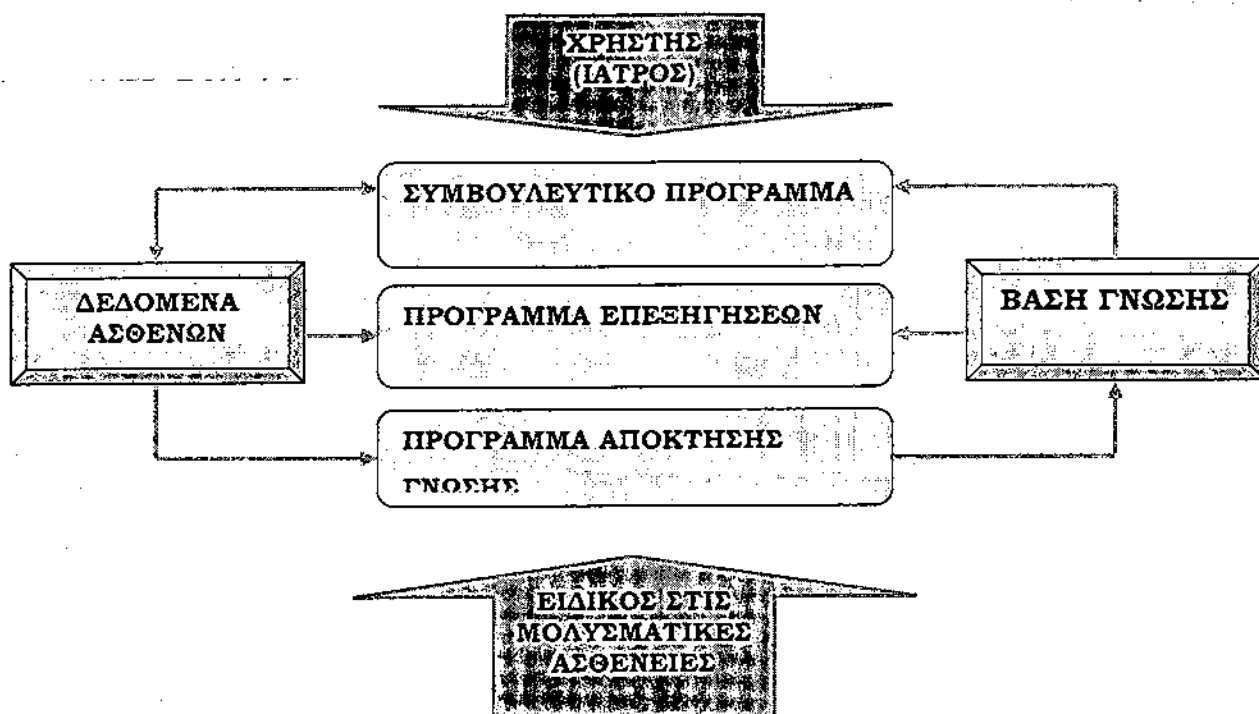
Παραπάνω δίνονται κάποιες βασικές έννοιες των συντελεστών βεβαιότητας. Η πλήρης περιγραφή τους βρίσκεται στην Ενότητα 2.4.1

4.13.1 Δομή του emycin

Το EMYCIN όπως προαναφέρθηκε είναι ένα κέλυφος έμπειρου συστήματος το οποίο ασχολείται με ιατρικά και διαγνωστικά προβλήματα. Τα στάδια που ακολουθούνται για την διάγνωση μιας ασθένειας είναι τα παρακάτω :

- Κάνει λήψη απόφασης για την περίπτωση όπου ο ασθενής έχει μολυνθεί
- Γίνεται καθορισμός των μικροοργανισμών που προκάλεσαν την μόλυνση
- Επιλέγεται ένα σύνολο από κατάλληλα φάρμακα που μπορούν να αντιμετωπίσουν την μόλυνση
- Γίνεται επιλογή του κατάλληλου φαρμάκου

Η δομή του EMYCIN περιγράφεται παρακάτω



Σχήμα 16 : Η δομή του Emycin [3]

4.13.2 Επεξήγηση των τμημάτων του emycin

■ *Βάση γνώσης* : Η βάση γνώσης περιέχει όλα τα δεδομένα και την γνώση της λήψης απόφασης στον ιατρικό τομέα (για το συγκεκριμένο παράδειγμα). Όπως βλέπουμε και από το διάγραμμα η βάση δίνει πληροφορίες στο πρόγραμμα επεξηγήσεων και στο συμβουλευτικό πρόγραμμα. Οι πληροφορίες που έχει προέρχονται από το πρόγραμμα απόκτησης γνώσης

■ *Δεδομένα ασθενών* : Τα δεδομένα ασθενών φυλάσσονται σε μια δυναμική βάση δεδομένων όπου εκεί υπάρχουν όλα τα στοιχεία του ασθενή-ιατρικό ιστορικό. Αυτές οι πληροφορίες μεταδίδονται μέσω του προγράμματος απόκτησης γνώσης στην κύρια-βάση-δεδομένων, ακόμα μεταδίδονται και στο πρόγραμμα επεξηγήσεων.

■ *Πρόγραμμα απόκτησης γνώσης* : Το πρόγραμμα απόκτησης γνώσης λαμβάνει πληροφορίες από την βάση όπου κρατούνται τα στοιχεία των ασθενών και από πληροφορίες που μπορεί να εισάγει ή να τροποποιήσει ο ειδικός.

■ *Πρόγραμμα επεξηγήσεων* : Το πρόγραμμα επεξηγήσεων είναι υπεύθυνο να δίνει απαντήσεις σε ερωτήσεις που του δίνονται χρησιμοποιώντας την βάση δεδομένων αφού παρακολουθεί την εκτέλεση του προγράμματος

■ *Συμβουλευτικό πρόγραμμα* : Το συμβουλευτικό πρόγραμμα βασίζεται στα δεδομένα που το έχουν δοθεί και στην βάση γνώσης με σκοπό να δώσει λύσεις, συμβουλές και να βγάλει συμπεράσματα για το πρόβλημα που του έχει δοθεί.

Θα πρέπει να σημειωθεί πως η βάση γνώσεων χωρίζεται σε στατική και δυναμική. Στατική είναι η κύρια βάση γνώσης ενώ δυναμική είναι η βάση όπου φυλάσσονται τα δεδομένα των ασθενών.

Η βάση έχει κάποιους κανόνες οι οποίοι κωδικοποιούνται και αποκωδικοποιούνται από τις δομές δεδομένων (ή αλλιώς λίστες) της γλώσσας LISP.

Παρακάτω παρατίθεται ένα παράδειγμα ενός κλασσικού κανόνα του MYCIN σε φυσική γλώσσα :

```
IF      The strain of the organism is gram negative, and
        The morphology of the organism is rod, and
        The aerobicity of the organism is aerobic
THEN   there is a strongly suggestive evidence (0,8) that
        The class of the organism is Enterobacteriaceae [3]
```

Σε αυτόν τον κανόνα γίνεται μια προσπάθεια καθορισμού της κλάσης ενός μικροοργανισμού. Δηλαδή ο κανόνας ορίζει πως αν ένας μικροοργανισμός ο οποίος έχει απομονωθεί σε καλλιέργεια με αίμα, χρωματίζεται χημικά (με συγκεκριμένο τρόπο) και φαίνεται να έχει κυκλικό σχήμα και πολλαπλασιάζεται με την βοήθεια οξυγόνου τότε κατά 0,8 βεβαιότητα συμπεραίνεται πως ο μικροοργανισμός είναι Enterobacteriaceae με την προϋπόθεση όμως να ικανοποιούνται οι συνθήκες που αναφέρθηκαν.

Εκτός από τους κανόνες η βάση γνώσης περιλαμβάνει και τα γεγονότα και ορισμούς διάφορων μορφών. Για παράδειγμα υπάρχουν

□ **Απλές λίστες**. Σε αυτές περιέχονται όλοι οι μικροοργανισμοί (σε σχέση με το παράδειγμά μας) ή όλοι οι ασθενείς

□ **Πίνακες γνώσης.** Σε αυτούς περιέχονται κυρίως κλινικές και ιατρικές παράμετροι. Για παράδειγμα στους μικροοργανισμούς περιέχονται το σχήμα των βακτηριδίων ή οι τιμές που παίρνουν κάτω από κάποιες συνθήκες.

□ **Σύστημα ταξινόμησης.** Εδώ περιέχονται είτε τα χαρακτηριστικά των μικροοργανισμών είτε σε περίπτωση ασθενή τα χαρακτηριστικά και ιατρικό ιστορικό του.

Κεφάλαιο 5

Εργαλεία έμπειρων συστημάτων

5.1 Εισαγωγή

Στον επιχειρηματικό σχεδιασμό, επικρατεί έντονο ανταγωνιστικό περιβάλλον. Η διερεύνηση των εναλλακτικών αποφάσεων και η πρόβλεψη των κινδύνων, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο για την βιωσιμότητα των επιχειρήσεων.

Γενικότερα, οι τράπεζες προσπαθούν μέρα με τη μέρα να διευρύνουν τα προσφερόμενα τραπεζικά τους προϊόντα. Τα τραπεζικά προϊόντα, είναι οι κύριες πηγές κέρδους και σημαντικό στοιχείο της αναπτυξιακής τους πολιτικής. Το γεγονός αυτό, αυξάνει το κίνδυνο για απώλεια χρημάτων και πρόσφατα αποτέλεσε αντικείμενο συζήτησης έτσι ώστε να υιοθετηθούν συστήματα ελέγχου των πιστωτικών κινδύνων, στους οποίους εκτίθεται η τράπεζα.

Είναι ευρέως διαδεδομένο, πως τα τραπεζικά προϊόντα αφορούν δανειοδοτήσεις, κυρίως σε επιχειρήσεις και ιδιώτες. Η έννοια του πιστωτικού, κινδύνου έγκειται στο γεγονός μη ανταπόκρισης (εξόφλησης) του χρηματικού ποσού από τους εκάστοτε πελάτες.

5.2 Ιστορικά

Οι πρώτες αρχικές προσπάθειες, έτσι ώστε να εκτιμηθεί ο πιστωτικός κίνδυνος, προήλθαν από τις ΗΠΑ, όπου πρωτοεφαρμόστηκαν οι μέθοδοι αυτοί από τις τράπεζες της χώρας. Οι μέθοδοι πρωτοεφαρμόστηκαν την δεκαετία του 1960. Τα 2 πιο σημαντικά παραδείγματα, ήταν η «μέθοδος των 5 C» και πιο συγκεκριμένα [character, capital, coverage, conditions, capacity] και η μέθοδος των «Creditmen».

Τα τελευταία χρόνια η τεχνολογία έχει εξελιχθεί αρκετά, με αποτέλεσμα την δημιουργία στατιστικών μοντέλων, στα πλαίσια της χρηματοοικονομικής διοίκησης. Τα πιο διαδεδομένα για την εκτίμηση κινδύνου της αγοράς είναι τα Value at Risk (VAR), το Creditmetrics, το CreditRisk και αρκετά άλλα.

Τα συστήματα που αναφέραμε, παραπάνω έχουν σκοπό, την διαχείριση του χρηματοπιστωτικού κινδύνου. Έκτος από τα ποσοτικά χαρακτηριστικά, (χρηματοοικονομικά) μπορούμε να λάβουμε υπόψη μας και τα ποιοτικά.

Για να αντιμετωπιστούν ερωτήματα όπως η βιωσιμότητα μιας επιχείρησης, ο τεχνολογικός εξοπλισμός, η θέση στην αγορά και η οργάνωση έχουν αναπτυχθεί σύγχρονες τεχνικές από το χώρο της πολυκριτηριακής ανάλυσης. Η πολυκριτηριακή ανάλυση επιτρέπει την ανάλυση και την σύνθεση ποιοτικών και ποσοτικών κριτηρίων

5.3 Η έννοια της πολυκριτηριακής ανάλυσης

Οι εφαρμογές που καλύπτει, η πολυκριτηριακή ανάλυση, είναι το χρηματοοικονομικό management συνδέοντας την εφαρμογή κάποιων μεθόδων. Οι μέθοδοι αυτοί είναι η ασαφής λογική(η οποία περιγράφηκε παραπάνω) τα έμπειρα συστήματα και τα νευρωνικά δίκτυα.

Σημαντική προσπάθεια, καταβάλλει το «Εργαστήριο συστημάτων Χρηματοοικονομικής διοίκησης» του Πολυτεχνείου Κρήτης, το οποίο έχει αναπτύξει πλούσια δραστηριότητα στον τομέα αυτό.

Η ερευνητική αυτή ομάδα έχει αναπτύξει, ένα ολοκληρωμένο πληροφοριακό σύστημα το λεγόμενο FINCLAS, του οποίου στόχος είναι η παροχή αξιόπιστων εκτιμήσεων.

Το FINCLAS, εξετάζει χρηματοοικονομικά στοιχεία αλλά και ποιοτικά με σκοπό να αποτρέψει τι πιστωτικό κίνδυνο. Η επιτυχία του συστήματος αυτού, παρουσιάζεται από την εφαρμογή του σε αρκετές ελληνικές τράπεζες.

Μερικά από τα πιο γνωστά συστήματα είναι τα εξής:

- **Πολυκριτήριο σύστημα FINCLAS:** Χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση του πιστωτικού κινδύνου επιχειρήσεων
- **Πολυκριτήριο σύστημα INVESTOR:** Χρησιμοποιείται για τη σύνθεση χαρτοφυλακίων μετοχών
- **Πολυκριτήριο ευφυές σύστημα FINEVA:** Χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των επιδόσεων και της βιωσιμότητας επιχειρήσεων
- **Πολυκριτήριο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων PREFDIS:** Χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη μοντέλων ταξινόμησης

▪ Οικονομικό πακέτο LIMDEP

Παρακάτω θα αναλυθούν μερικά από τα πιο γνωστά λογισμικά που χρησιμοποιούνται από αρκετές επιχειρήσεις ανά τον κόσμο.

5.4 Εργαλεία ανάπτυξης έμπειρων συστημάτων

Για την ανάπτυξη των έμπειρων συστημάτων, χρησιμοποιούνται κάποια κελύφη ή λογισμικά, στα οποία έχει εισαχθεί η γνώση και εκτελούν συγκεκριμένες εργασίες. Τα συστήματα τα οποία θα αναλύσουμε είναι:

1. Το έμπειρο σχέδιο (expert plan)
2. FLOPS
3. X-master
4. X-pert RULE
5. FLEX
6. CLIPS
7. JAVA BAYES
8. PROTIGI 2000
9. JTP
10. JADE
11. JESS

5.4.1 Έμπειρο σχέδιο (expert plan)

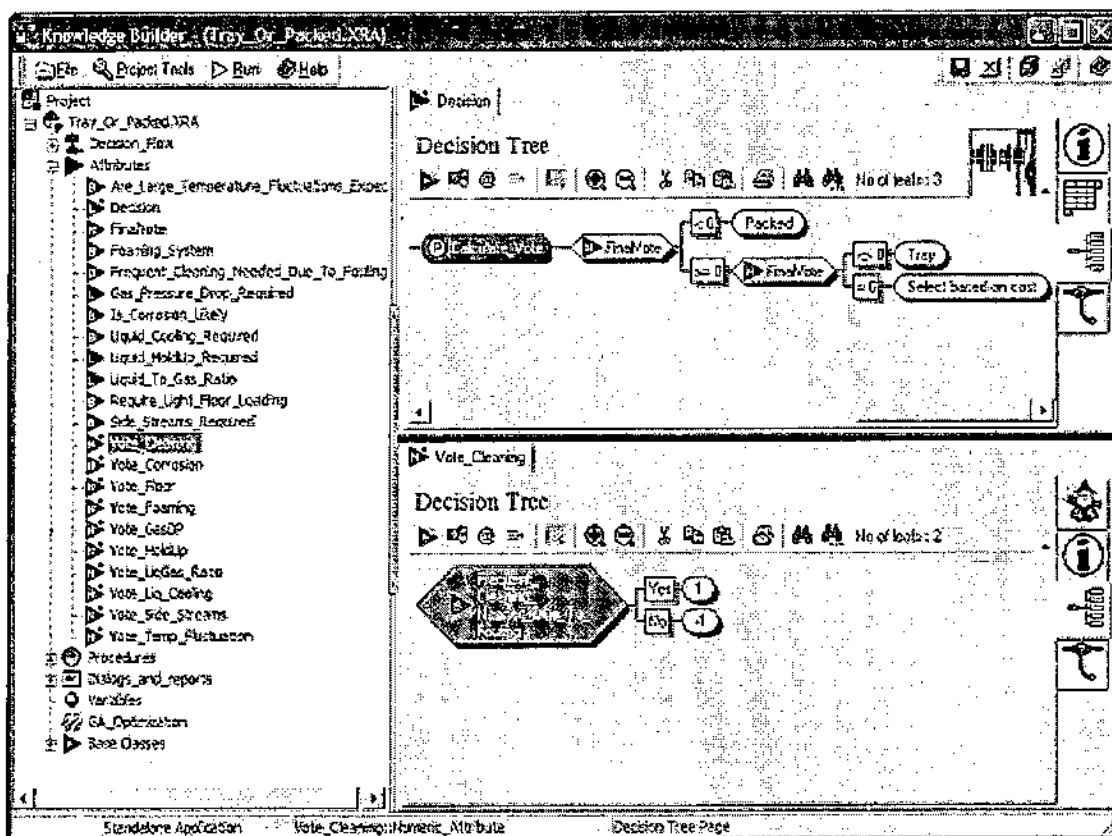
Ένα **έμπειρο σχέδιο**, θεωρείται πολύ σημαντικό για τον κλάδο της βιομηχανίας, παρόλο που έχει όλα τα χαρακτηριστικά ενός λογισμικού. Με το έμπειρο σχέδιο μπορεί κάποιος να απορροφήσει τις γνώσεις που δύσκολα αποκτήθηκαν από κάποιο εμπειρογνώμονα.

Η βοήθεια ενός αναλυτή, μπορεί να βοηθήσει αρκετά, σε συνδυασμό με στοιχεία διαδικασίας που είχαν χρησιμοποιηθεί παλιότερα για κάποιο άλλο σχέδιο. Έτσι, μελετώντας κάποια συμπεριφορές μπορεί να εξαχθεί μια εφαρμογή που να παρέχει μια πολύ καλή στήριξη αποφάσεων.

Οι περισσότερες επιχειρήσεις, οι οποίες χρησιμοποιούν τέτοιες εφαρμογές, έχουν στο ανθρώπινο δυναμικό τους ειδικούς με απεριόριστες γνώσεις και εμπειρία. Η γνώση όμως, μπορεί να μετατραπεί σε κανόνες και να μεταφερθεί σε λιγότερο έμπειρους ειδικούς. Οι κανόνες, θα έχουν την μορφή συμβουλής και όχι την αυστηρή έκφραση του κανόνα.

Το δυναμικό περιβάλλον επιτρέπει την εύκολη σύνδεση των εγγράφων, των στοιχείων και των προτύπων από τις πολλαπλές πηγές για να παραγάγει μια εφαρμογή(πλούσια σε γνώση) που να μπορεί να βοηθήσει στην εκάστοτε επιχείρηση.

Έστω για παράδειγμα, ότι αντιμετωπίζουμε το πρόβλημα ταξινόμησης εξοπλισμού, παρακάτω δίνεται μια εικόνα για το πως γίνεται μια συνεπής και συστηματική εφαρμογή διαδικασιών.



[t] Παράθυρο εφαρμογής

Όπως παρατηρείται, οι διαδικασίες μοντελοποιούνται και μετατρέπονται σε δένδρο αποφάσεων. Στην αριστερή πλευρά του παραθύρου, παρατηρούμε την λίστα ενώ τα πράσινα βέλη, μας δείχνουν τα χαρακτηριστικά (συμπεριφορά). Ο κόκκινος

κύκλος, αφορά τη διαδικασία που θα ακολουθηθεί. Γενικότερα, υπάρχουν αρκετά κουμπιά και σύμβολα τα οποία μοντελοποιούν την διαδικασία.

5.4.2 FLOPS

Ένα γνωστό κέλυφος έμπειρων συστημάτων, είναι το FLOPS (Fuzzy logic Production System), το οποίο σχεδιάστηκε για να εξάγει συμπεράσματα μέσω της ασαφούς συλλογιστικής παρά να πραγματοποιεί ασαφή έλεγχο. Το κέλυφος αυτό είναι πολύ γνωστό και αρκετά απλοποιημένο. Έχει δημιουργηθεί με τη γλώσσα OPS5. Το FLOPS περιέχει ασαφή σύνολα και αριθμούς.

Δημιουργήθηκε, από τους Douglas Tucker και William Siler, την δεκαετία του '80 στο Kemp-Carraway Heart Institute.

Η χρήση των ασαφών μαθηματικών, δίνει στο FLOPS αρκετά πλεονεκτήματα. Πιο συγκεκριμένα, με το FLOPS, οι αντιφάσεις και οι ασάφειες αντιμετωπίζονται εύκολα, ενώ η αβεβαιότητα δεν δημιουργεί κανένα πρόβλημα. Επιπλέον, η δυναμική του διαφαιίνεται από τον εύκολο χειρισμό των λέξεων (δηλαδή ψηλός, μέτριος, κοντός).

Το FLOPS, καθορίζει μια φράση ή δήλωση με τιμές αληθείας ή ψεύδους. Η κλίμακα τιμών που χρησιμοποιεί, είναι από 0-μηδέν (ψεύτικο) έως το 1000-χίλια (αληθινό), η οποία εξοικονομεί χώρο στην μνήμη του υπολογιστή.

Παραπάνω, αναλύσαμε την κλίμακα αληθείας και ψεύδους για μία πρόταση (ένα στοιχείο). Αν είχαμε 2 στοιχεία, το A και το B, όπου το ένα σημαίνει «Το αυτοκίνητο θέλει πλύσιμο» και το άλλο «Η Μαιρη πάει στο λύκειο». Στην συμβατική λογική, έχουμε 2-επιλογές για αυτό τον συνδυασμό προτάσεων, είτε είναι αλήθεια είτε ψέματα. Αντίθετα, στην ασαφή λογική, εξετάζεται χωριστά το αληθές κάθε πρότασης και ο βαθμός αληθείας, είναι ελάχιστος βαθμός αληθείας για το αληθές κάθε πρότασης.

Άλλη μια διαφορά, εμφανίζεται αν εξετάσουμε το ίδιο παράδειγμα με τη διαφορά ή το A ή το B. Στην συμβατική λογική η πρόταση αυτή είναι αληθινή, αν ένα εκ των 2-είναι αληθές, και θεωρείται ψεύτικη αν και τα 2 μαζί είναι ψευδή. Αντίθετα, στην ασαφή λογική η αλήθεια της πρότασης δηλώνεται από το μέγιστο αληθείας της αξίας της κλίμακας.

Η ασαφής λογική όπως έχει αναλυθεί και στο Κεφάλαιο 3, χρησιμοποιεί τα ασαφή σύνολα στα οποία συμμετέχουν πολλά αντικείμενα-στοιχεία με διαφορετικούς βαθμούς ιδιότητας. Αναλυτικότερα, αν θεωρήσουμε πως οι μαθητές

με ύψος 1,80 είναι ψηλοί, με βαθμό αληθείας 1, τότε και οι μαθητές με ύψος 1,75 θα είναι ψηλοί με βαθμό αληθείας 0,5. Αρκετές φορές, τα ασαφή σύνολα χρησιμοποιούν κατηγορίες και όχι απαραίτητα αριθμούς.

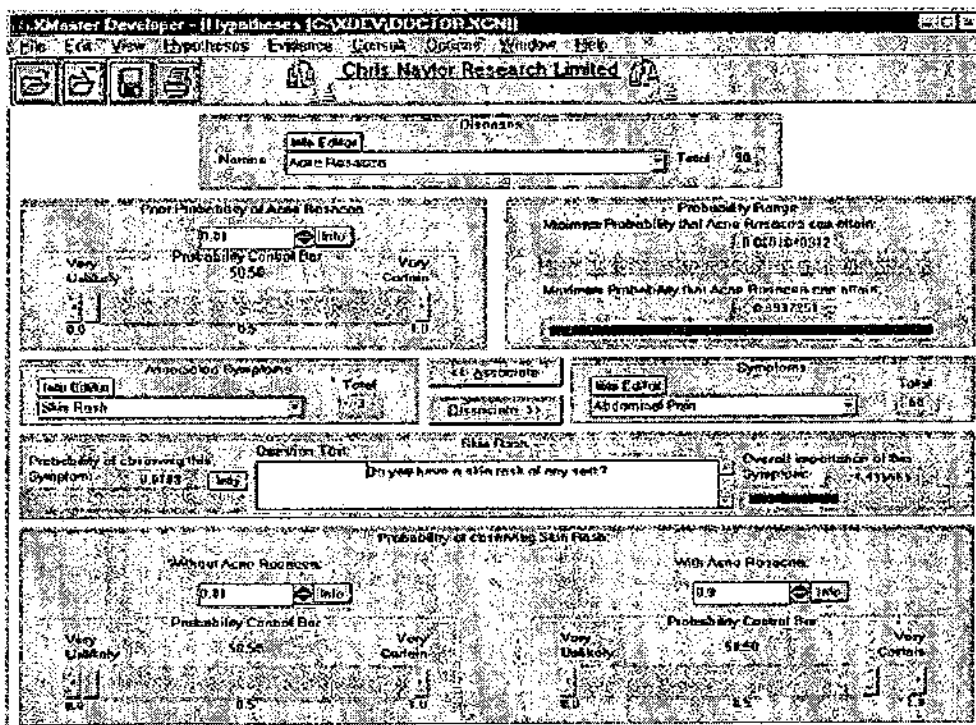
Έστω, ότι θέλουμε να αναλύσουμε τις αποχρώσεις αυτοκινήτων. Οι αποχρώσεις που επιλέγουμε, θα είναι κόκκινο, μπλε και πράσινο. Ωστόσο, έχουμε και τα εξής μοντέλα αυτοκινήτων : TOYOTA, FORD και CITROEN. Σε τέτοια περίπτωση, θα πρέπει να προσδιορίσουμε ποια είναι η μάρκα του αυτοκινήτου έτσι ώστε να προσδιορίσουμε το χρώμα.

5.4.3 X-MASTER

Άλλο ένα γνωστό έμπειρο σύστημα (κέλυφος), ονομάζεται X-master. Το X-master χωρίζεται στο X-master DEVELOPER και απευθύνεται στο δημιουργό του και στο X-master USER το οποίο απευθύνεται στους χρήστες του προγράμματος.

Το πρόγραμμα αυτό, έχει δημιουργηθεί για να βοηθάει στην λήψη αποφάσεων.

Για να προσαρμόσει κάποιος, το X-master, έτσι ώστε να το χρησιμοποιήσει στον εργασιακό χώρο του, θα πρέπει να του διαμορφώσει μια βάση γνώσης με τα πεδία που θα πρέπει να γνωρίζει, έτσι ώστε να μπορεί να δώσει απαντήσεις. Πριν δημιουργηθεί μια βάση, πρέπει να βρεθούν όλες οι πιθανές υποθέσεις για την λύση ενός προβλήματος. Ύστερα, μπορεί να κατασκευαστεί μια λίστα, στην οποία θα περιέχονται, οι λύσεις (μαρτυρίες).

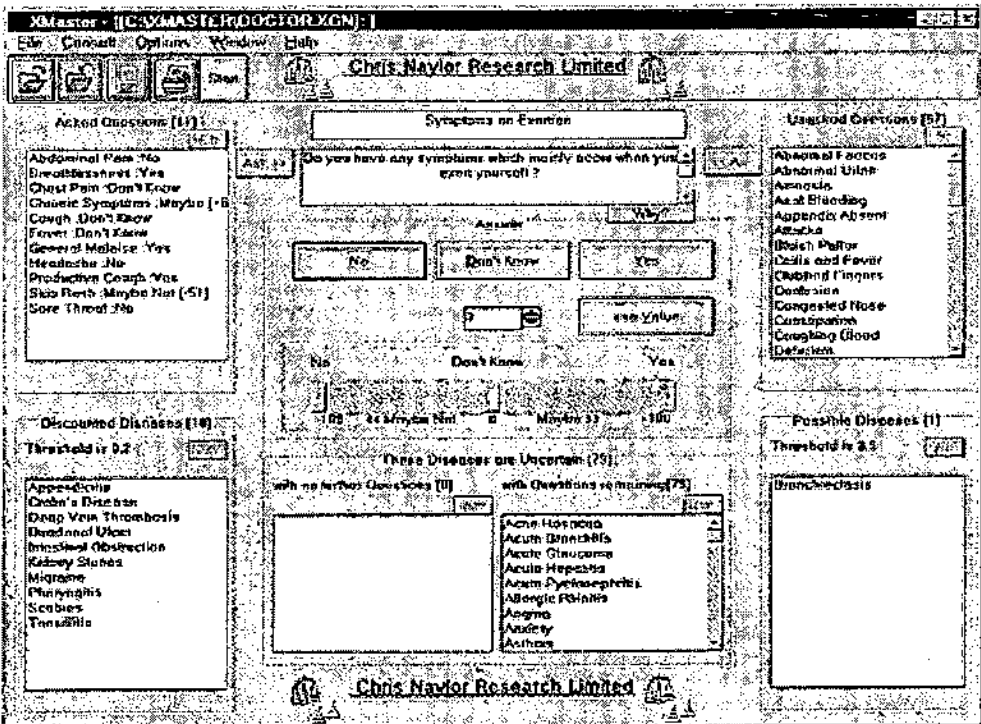


[u] Περιβάλλον του X master

Παραπάνω, δίνεται το περιβάλλον της εφαρμογής X-master. Στην μέση του παραθύρου αυτού, υπάρχει ένα κουμπί το οποίο αναγράφει την λέξη «Associate». Με την εκτέλεση αυτού του κουμπιού μπορεί να δημιουργηθεί συσχέτιση ενός συγγενικού γεγονότος με μιας συγγενικής υπόθεσης (μαρτυρίας) και να χρησιμοποιηθεί η μπάρα πιθανότητας έτσι ώστε να χαρακτηριστεί η συσχέτιση εάν

είναι αληθινή ή ψευδής. Με αυτό τον τρόπο, χρησιμοποιείται η Bayesian τεχνική, η οποία δίνει την δυνατότητα να οργανωθεί η αβεβαιότητα και η βεβαιότητα στη βάση γνώσης.

Όταν εισαχθούν όλες οι υποθέσεις, τότε ενεργοποιείται το X-master και ένα νέο έμπειρο σύστημα έχει δημιουργηθεί. Πιο συγκεκριμένα, εννοούμε πως οποιοσδήποτε χρήστης, μπορεί να χρησιμοποιήσει το σύστημα και να εξάγει τις πληροφορίες που ψάχνει. Το σύστημα, μπορεί να αντιγραφεί σε οποιοδήποτε υπολογιστή έτσι ώστε να χρησιμοποιείται από διαφορετικούς χρήστες, οπουδήποτε και αν βρίσκονται αυτοί. Μία μορφή που μπορεί να έχει δίνεται από το παρακάτω περιβάλλον:



[u] Περιβάλλον του X master

Το παραπάνω περιβάλλον αναφέρεται, σε ιατρικές διαγνώσεις. Περιέχει καταγεγραμμένες ασθένειες και ερωτήσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν και έχουν απαντηθεί και ερωτήσεις στις οποίες δεν έχει δοθεί απάντηση.

Το σημαντικότερο είναι, πως το παραπάνω πρόγραμμα μπορεί να δώσει όποια στιγμή του ζητηθεί ένα report (αναφορά).

5.4.4 XPERT RULE

Όσο αυξάνεται ο αριθμός των προσφερόμενων προϊόντων και υπηρεσιών στην αγορά, η ανάγκη για ποιοτικότερη εξυπηρέτηση αυξάνεται ανάλογα. Το γεγονός αυτό, προκαλεί την αύξηση του κόστους στις επιχειρήσεις.

Για την επίλυση του προβλήματος αυτού, απαιτούνται επενδύσεις σε ένα πρόγραμμα το οποίο να δίνει τις λύσεις για την καλύτερη εξυπηρέτηση. Το πρόγραμμα αυτό, είναι το Xpert Rule (οικοδόμος γνώσης).

Το Xpert Rule, υποστηρίζει μια ειδική επιλογή (ή αλλιώς κατηγορία) την «ιεραρχία». Η ιεραρχία, αναπτύσσεται μεταξύ αντικειμένων, τα οποία αντιπροσωπεύουν τις πιθανές ενότητες και τα συστατικά σε μια οικογένεια προϊόντων. Η επιλογή συστατικού, αντιπροσωπεύει μια ενότητα ή έναν κατάλογο πιθανών συστατικών, στην ιεραρχία.

Η διαμόρφωση προϊόντων είναι η μια διαδικασία ένωσης των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων, των επιλογών και των συστατικών έτσι ώστε να καλύπτονται οι απαιτήσεις του πελάτη. Η πλούσια διαδικασία γνώσης τυπικά, καλύπτεται, από 2 τύπους. Ο ένας τύπος ασχολείται με την «σύλληψη της απαίτησης» η οποία αποκλείεται με την επικοινωνία με τον πελάτη, και « η παραγωγή προϊόντων» η οποία αποκλείεται από την γνώμη των εμπειρογνώμονα που παρήγαγε το προϊόν.

Για την απόκτηση, πλήρους και σαφούς περιγραφής των απαιτήσεων του πελάτη, θα πρέπει να γίνει μια διαδικασία σύλληψης των απαιτήσεων του πελάτη. Η διαδικασία αυτή, θα πρέπει να συνδυάσει την ανάλυση αναγκών και τη σύλληψη δεδομένων, έτσι ώστε να μεγιστοποιήσει την επιλογή πελατών, και να ελαχιστοποιήσει την εμφάνιση των λανθασμένων στοιχείων.

Μετάπειτα, η διαδικασία παραγωγής του προϊόντος, θα συνδυάσει τα στοιχεία που αποκαλύπτουν τις απαιτήσεις του πελάτη και θα παράγει κάποιες ενότητες συστατικών, χαρακτηριστικών γνωρισμάτων και επιλογών. Οι ενότητες αυτές θα εισαχθούν σε ένα προϊόν. Σκοπός, της διαδικασίας αυτής, είναι να ταιριάζει τις ιδιαίτερες ανάγκες κάθε πελάτη με το δημιουργούμενο προϊόν.

Η λήψη της απόφασης για την δημιουργία και τη σχεδίαση του προϊόντος συχνά εξαρτάται από την πηγή γνώσης. Συγκεκριμένα, θα πρέπει να υπάρχει, διαθεσιμότητα προγενέστερων τεκμηριωμένων στοιχείων και η γνώση που απαιτείται για κάθε διαδικασία.

Έτσι λοιπόν, παράγεται το προϊόν και ο υπεύθυνος ελέγχει τα στοιχεία του παρελθόντος έτσι ώστε να διευκρινίσει την σωστή εισαγωγή των στοιχείων στο προϊόν.

Η διαδικασία παραγωγής, ξεκινάει από την σχεδίαση των εφαρμογών διαμόρφωσης και παραγωγής του προϊόντος. Υπάρχουν δύο τύποι που καλύπτουν την γνώση του προϊόντος οι οποίοι είναι «Η ιεραρχία του προϊόντος» και «Η επιλογή σύστασης» .

5.4.4.1 Τύποι ιεραρχίας

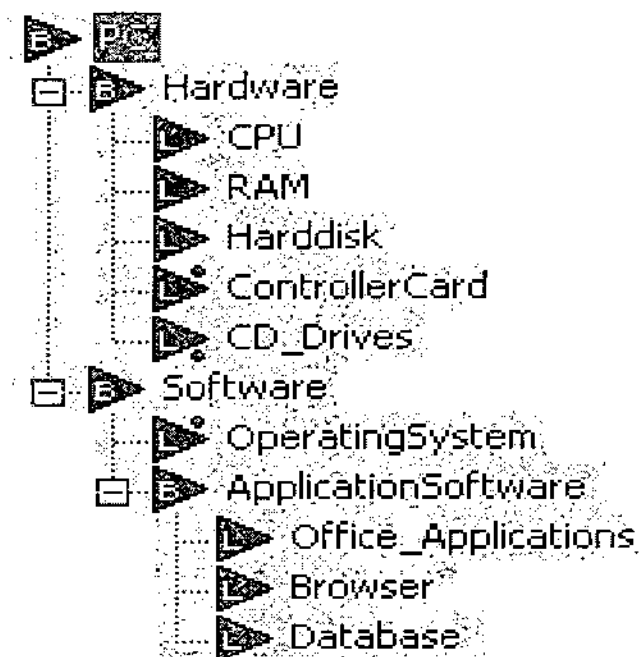
1. «Η ιεραρχία του προϊόντος»

Όπως είναι φυσικό σε όλα τα προϊόντα υπάρχει μια ιεραρχία. Για κάθε προϊόν υπάρχουν επιλογές με τις οποίες μπορεί να διαμορφωθεί. Η ιεραρχία, περιέχει όλους αυτούς τους δυνατούς συνδυασμούς. Συνήθως, αυτό αποκαλείται ως ο λογαριασμός των υλικών.

Ο Xpert Rule υποστηρίζει, μια λειτουργία ιεραρχίας στην οποία παρατίθενται όλα τα συστατικά, και οι δυνατοί συνδυασμοί αυτών, για την διαμόρφωση ενός προϊόντος.

Παρακάτω παρατίθεται ένα παράδειγμα ιεραρχίας σε σχέση με τα στοιχεία που μπορεί να περιέχει ένα υπολογιστής. Τα βασικά του στοιχεία είναι, το Hardware και το Software. Για το κάθε ένα από αυτά παρατηρούμε, τα στοιχεία που περιέχονται μέσα σε αυτά.

Το Software (λογισμικό), περιέχει το λειτουργικό σύστημα (operating system) και τις εφαρμογές λογισμικού (applications software). Οι εφαρμογές λογισμικού περιέχουν εφαρμογές γραφείου (office applications), τον (Browser) και τις βάσεις δεδομένων (Database).



[v] Παράδειγμα Ιεραρχίας

2. «Η επιλογή σύστασης»

Κάθε αντικείμενο, το οποίο είναι προϊόν ιεραρχίας παρουσιάζεται σαν ενότητα ή υποενότητα ή ως ένας κατάλογος πιθανών στοιχείων από τα οποία γίνεται μια επιλογή. Επομένως, η λήψη αποφάσεων πραγματοποιείται σε σχέση με τα αντικείμενα της ιεραρχίας. Ο λήπτης θα πρέπει να αποφασίσει, αν θα χρησιμοποιήσει κάποιο από τα στοιχεία της ιεραρχίας, και έπειτα να αποφασίσει ποιο θα είναι αυτό συγκεκριμένα.

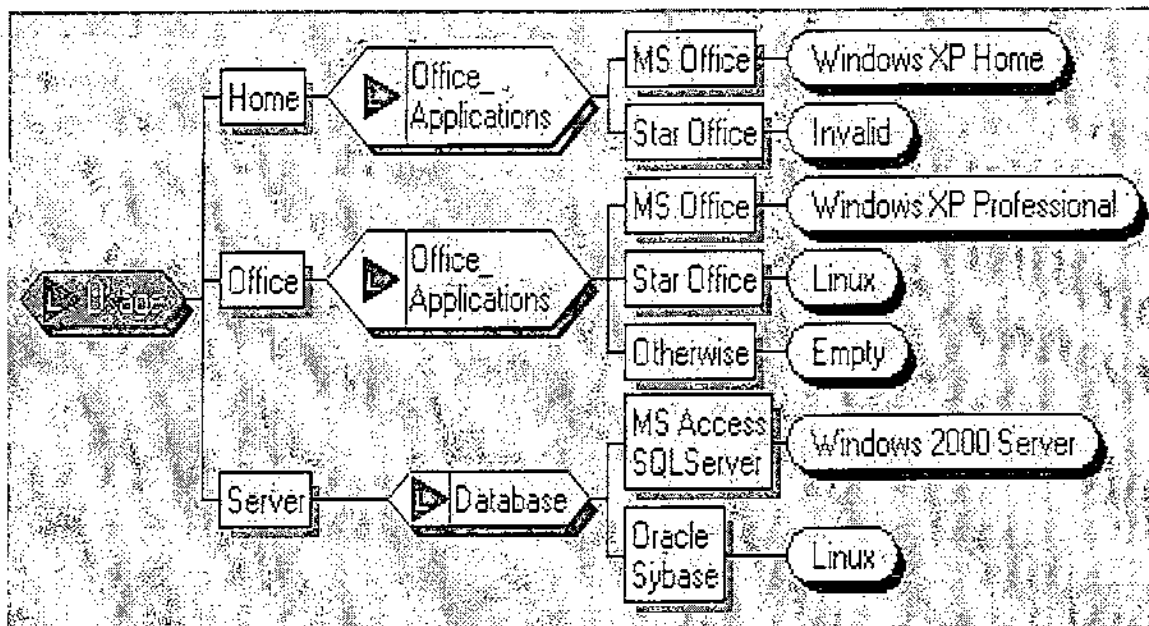
Αναλυτικότερα αυτό σημαίνει, πως αν κάποιο στοιχείο δεν συμπεριληφθεί από τον λήπτη αποφάσεων, τότε ούτε τα αντικείμενα που βρίσκονται κάτω από την ιεραρχία του θα συμπεριληφθούν.

Η απόκλιση, κάποιων στοιχείων και αντικειμένων γίνεται με βάση τις απαιτήσεις του χρήστη, ο οποίος επιλέγει την διαδικασία διαμόρφωσης.

Ο Xpert Rule κατογραφεί την γνώση του με δύο τρόπους οι οποίοι είναι:

- Γνώση βασισμένη στην απόφαση συμπεράσματος- ο τύπος αυτός χρησιμοποιεί δένδρα αποφάσεων
- Γνώση η οποία να ταιριάζει με την επιλογή συμπεράσματος Pattern- ο τύπος αυτός χρησιμοποιεί το συμπέρασμα περιορισμού δένδρα, περιπτώσεις, διαδικασίες & ιδιότητες

Παρακάτω, παρατίθεται ένα παράδειγμα δέντρου απόφασης μιας επιλογής.



[v] Παράδειγμα Δέντρου απόφασης

Παραπάνω, βλέπουμε την χρήση που θα μπορούσε να έχει ένας υπολογιστής. Θα μπορούσαμε, να θέλουμε ένα υπολογιστή για το γραφείο, για το σπίτι ή για server. Οι δύο πρώτοι που θέλουμε να χρησιμοποιηθούν για εφαρμογές γραφείου, ενώ ο τρίτος για να έχει μια βάση δεδομένων. Δεξιά στο δένδρο αποφάσεων βλέπουμε το λειτουργικό που χρειάζεται κάθε υπολογιστής και ποια λογισμικά-προγράμματα χρειάζονται.

5.4.4.2 Η απαίτηση για τη σύλληψη της διαδικασίας- Τύποι γνώσης

Ο σκοπός της διαδικασίας αυτής είναι η ανάλυση των αναγκών του πελάτη έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί η ικανοποίηση του από την χρήση του προϊόντος. Όταν θα έχουν προσδιοριστεί τα δεδομένα, τα οποία θα εισαχθούν στην δόμηση της ιεραρχίας, θα πρέπει να έχουν βρεθεί και προσδιοριστεί και οι πηγές του κάθε ενός από αυτά.

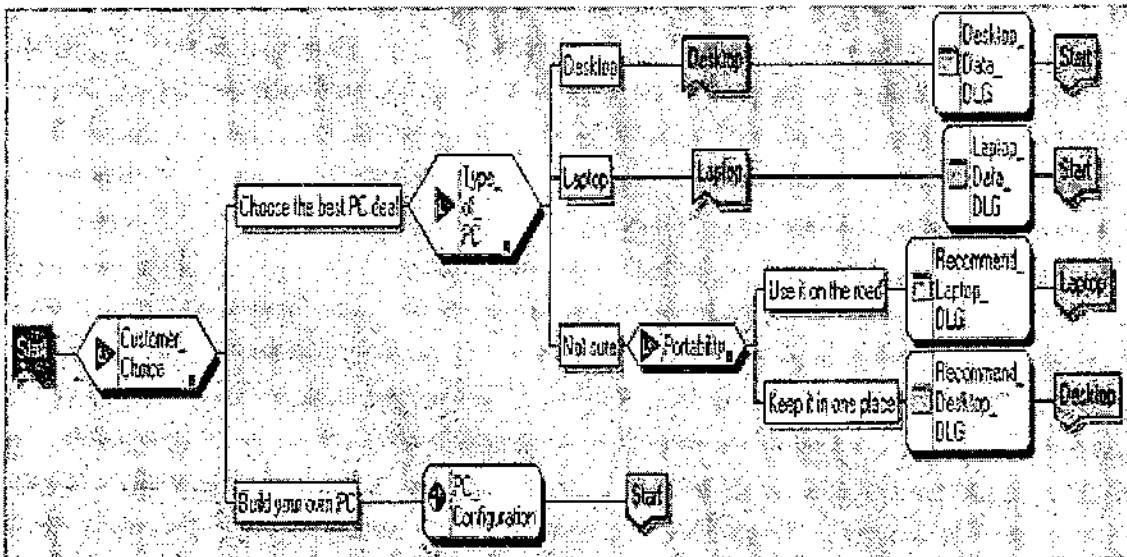
Η σύλληψη της διαδικασίας, καλύπτεται από δύο τύπους γνώσης. Ο πρώτος, είναι η «ροή απόφασης» και ο δεύτερος ο «περιορισμός ή η βασισμένη συλλογή δεδομένων».

1. Η «ροή της απόφασης»

Η ομαδοποίηση των δεδομένων και η απόφαση αν και πότε θα εμφανιστούν αυτά κατά την διαδικασία της χρήσης παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο καθορίζοντας την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας σύλληψης.

Τα δένδρα απόφασης του Xpert Rule είναι μια ιδανική παρουσίαση των γνώσεων, διότι επιτρέπουν στους διαφορετικούς διάλογους να ενσωματωθούν στις διαφορετικές πορείες απόφασης. Αντίθετα ο περιορισμός της συλλογής δεδομένων, παρουσιάζει μόνο τις επιλογές που χρειάζεται για να αποφευχθούν ανεπιθύμητοι συνδυασμοί.

Παρακάτω παρατίθεται ένα δένδρο απόφασης



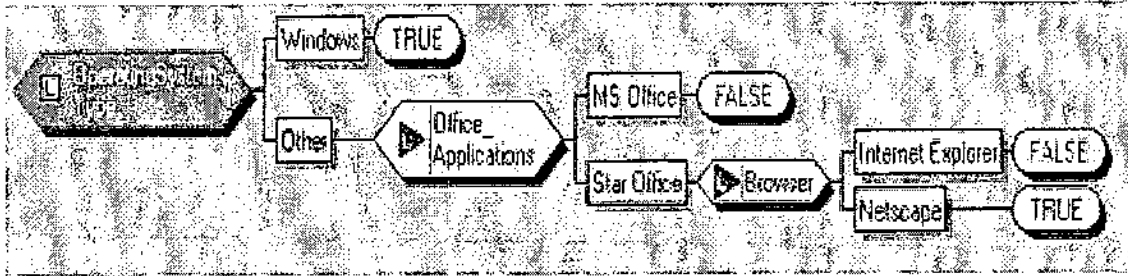
[v] Δένδρο απόφασης

Στο παραπάνω δένδρο βλέπουμε τις διαθέσιμες επιλογές που μπορεί να έχει ο πελάτης όσον αφορά την αγορά ενός υπολογιστή. Πιο συγκεκριμένα την επιλογή του υπολογιστή από τον πελάτη με βάση την χρήση που θα του κάνει. Αν για παράδειγμα θέλει έναν υπολογιστή που να μπορεί να το έχει συνέχεια μαζί του τότε σίγουρα θα χρειαστεί έναν LAPTOP.

2. Ο «περιορισμός της απόφασης»

Αναλυτικότερα αν κάποιος πελάτης θα ήθελε να επιλέξει για το λειτουργικό του το UNIX τότε δεν θα έπρεπε να φαίνεται στις επιλογές, το MS-WORD.

Παρακάτω παρατίθεται ένα δένδρο περιορισμού αποφάσεων



[v] Δένδρο απόφασης

Παραπάνω παρατηρείται η «μη» επιλογή των WINDOWS, όπως επίσης η μη επιλογή του MS OFFICE και κατά συνέπεια η επιλογή του BROWSER και της υποκατηγορίας αυτού, δηλαδή του NETSCAPE, ενώ ταυτόχρονα αποκλείεται ο INTERNET EXPLORER. Η διαδικασία αυτή γίνεται για να μη δημιουργούνται προβλήματα στις επιλογές του πελάτη.

Παρακάτω παρατίθενται παραδείγματα με πίνακες συμπερασμάτων και δεδομένων που χρησιμοποιούνται σε περίπτωση περιορισμού αποφάσεων

	Usage	RAM	Usage RAM Constraint
1	Home	128MB	TRUE
2	Home	256MB	TRUE
3	Home	512MB	TRUE
4	Office	128MB	FALSE
5	Office	256MB	TRUE
6	Office	512MB	TRUE
7	Server ¹	128MB	FALSE
8	Server ²	256MB	FALSE
9	Server	512MB	TRUE

[v] Πίνακες Συμπερασμάτων

Component Item	Description	Cost	Quantity	CPU Speed	RAM Size	Hardisk Size	Monitor
1 DV102	Best value buy	999.95	14	1GHz	128MB	20GB	15"
2 DV464	Power to the people	1199.95	3	1.3MHz	128MB	20GB	15"
3 DV328	Pure power	1499.95	7	1.5GHz	256MB	40GB	15"
4 DP958	Pure power plus	1699.95	3	1.5GHz	256MB	60GB 5400rpm	17"
5 DV756	Ultimate power	1999.95	7	2GHz	512MB	80GB 7200rpm	17"
6 DV656	Business Value	1499.95	3	1.5GHz	128MB	60GB 5400rpm	17"

[v] Πίνακας Συμπερασμάτων

Σε ένα συνεχώς αναπτυσσόμενο περιβάλλον, με έναν αυξανόμενο αριθμό διαδικασιών, η Αυστραλία ενσωματώνει έμπειρα συστήματα για την σωστή διαχείριση της φορολογίας.



Ο Mark Burt [v] (project manager for expert systems at the Australian Taxation Office) μας εξηγεί πως χρησιμοποιούν το XPERT RULE στην φορολογία.

«Αρχικά, εισάγαμε το Xpert Rule, με σκοπό να εξυπηρετήσουμε τους φορολογούμενους που ζητούσαν διάφορα αιτήματα. Είμαστε αρκετά ικανοποιημένοι και σχεδιάζουμε να επεκτείνουμε την χρήση των εμπείρων συστημάτων.» [v]

Επιπλέον, η εταιρεία χρηματοπιστηριακή εταιρεία TRANSVERSUM, χρησιμοποίησε το XPERT RULE, για να αξιολογήσει τα αποθέματα και τις μετοχές. Χαρακτηριστικό είναι, πως το σύστημα προέβλεψε την συντριβή του Χρηματοπιστηρίου το 1987.

Θεαματικές ήταν οι αλλαγές που σημειώθηκαν στις συναλλαγές μετά την κρήση του έμπειρου συστήματος.

5.4.5 FLEX

Το FLEX είναι ένα κέλυφος έμπειρων συστημάτων, που έχει κατασκευάσει η εταιρεία LPA (Logic Programming Associates). Το πρόγραμμα αυτό στηρίζεται πάνω στην γλώσσα LPA Win Prolog της ίδιας εταιρείας, η οποία είναι ένας μεταφραστής της γλώσσας προγραμματισμού, Prolog, για το περιβάλλον των MS Windows. Η συγκεκριμένη γλώσσα έχει τις κατάλληλες επεκτάσεις έτσι ώστε να στηρίζονται όλα τα χαρακτηριστικά του λειτουργικού αυτού (όπως παράθυρα, μενού κτλ.).

Το FLEX αποτελείται από τα εξής:

- ένα αριθμό πρόσθετων κατηγορημάτων στην PROLOG
- τη γλώσσα αναπαράστασης KSL (knowledge Specification Language)
- ένα μετα-διερμηνέα, που μεταφράζει τις προτάσεις KSL, σε προτάσεις PROLOG.

Το FLEX είναι ένα ισχυρό εργαλείο ανάπτυξης έμπειρων συστημάτων. Υποστηρίζει συλλογιστική που βασίζεται σε προγραμματισμό με κανόνες, πλαίσια, χρήση κληρονομικότητας και διαδικασίες οδηγούμενες από τα δεδομένα. Οι παραπάνω δυνατότητες είναι όλες ενσωματωμένες σε περιβάλλον λογικού προγραμματισμού.

Γεγονός είναι ότι το FLEX υπερσχύει έναντι αρκετών κελυφών διότι χρησιμοποιεί ανοικτή αρχιτεκτονική. Αναλυτικότερα, αυτό σημαίνει πως ο προγραμματιστής μπορεί να προσπελάσει το λογισμικό και να αυξήσει ή να τροποποιήσει την συμπεριφορά του εργαλείου, μέσα από ένα πλαίσιο λειτουργιών. Επιπρόσθετα ο προγραμματιστής, μπορεί να ρυθμίσει και να επεκτείνει τους μηχανισμούς συμπεριφοράς που υπάρχουν, προκειμένου να ικανοποιήσουν δικές τους τρέχοντες ανάγκες.

5.4.6 CLIPS

Το CLIPS (C Language Integrated Production System) είναι ένα περιβάλλον που προσφέρει δυνατότητες για προγραμματισμό με κανόνες, αντικείμενα και συναρτήσεις. Αναπτύχθηκε από την NASA με σκοπό να αποτελέσει χαμηλού κόστους πλατφόρμα ανάπτυξης εμπειρών συστημάτων, αντικαθιστώντας τα ήδη υπάρχοντα συστήματα τα οποία βασιζόνταν στην γλώσσα προγραμματισμού LISP.

Η ανάπτυξη του CLIPS, άρχισε το 1984 και η πρώτη έκδοση του ήταν το 1985.

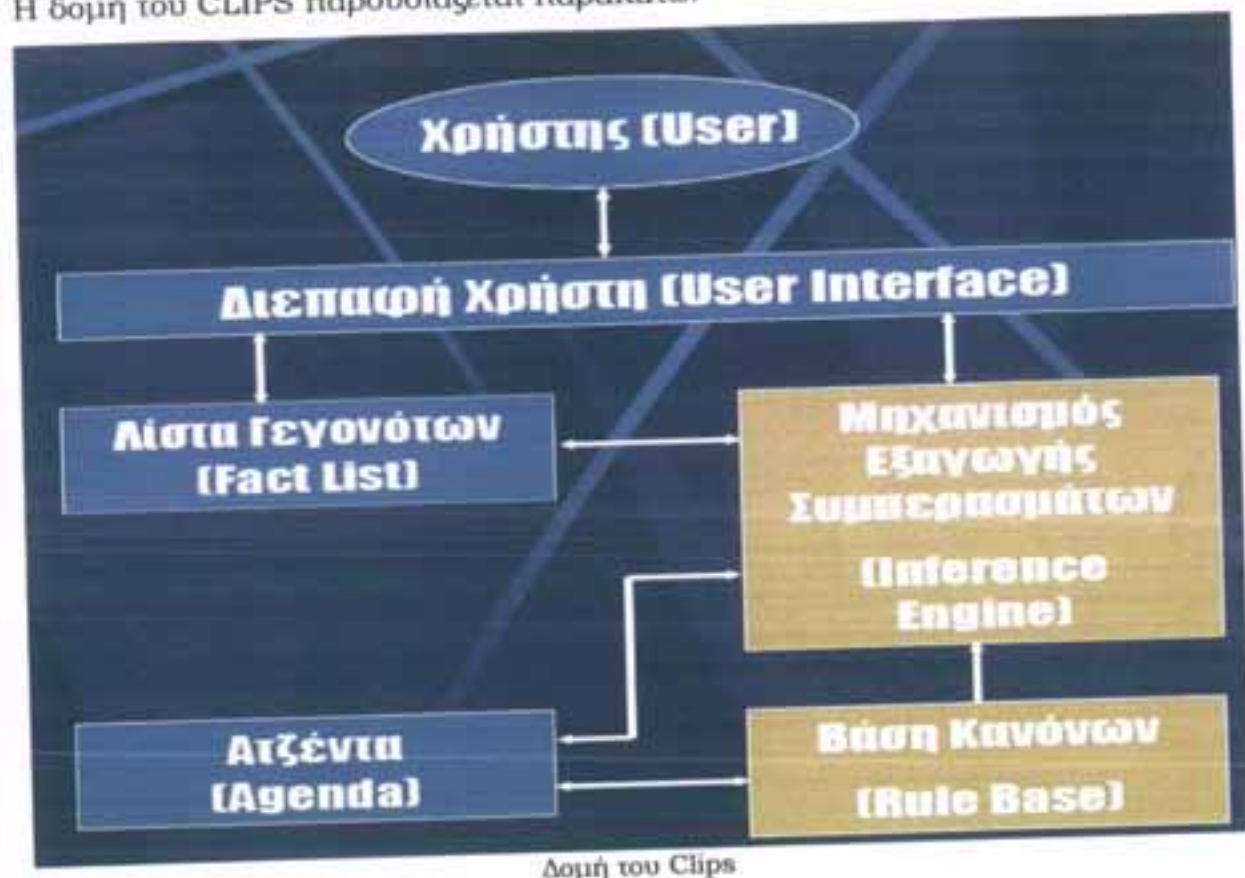
Η έκδοση 5,0 παρουσιάστηκε το 1991 και επέκτεινε το αρχικό της σύστημα σημαντικά. Δηλαδή υποστήριζε εκτός από τον προγραμματισμό, και αντικειμενοστραφή προγραμματισμό.

Η τελευταία έκδοση του CLIPS, η 6,1, παρουσιάστηκε το καλοκαίρι του 1998 όπου η αρχική σχεδίαση του συστήματος είχε μετατραπεί έτσι ώστε να είναι συμβατό με το ART (εμπορικό εργαλείο ανάπτυξης εμπειρών συστημάτων).

Το CLIPS είναι ένα διερμηνευόμενο τυπικό σύστημα παραγωγής και αποτελείται από τα εξής μέρη:

- ✓ *Λίστα γεγονότων* : Η λίστα αντιστοιχεί στην μνήμη εργασίας των συστημάτων παραγωγής
- ✓ *Βάση κανόνων* : Στην βάση περιέχονται κανόνες
- ✓ *Μηχανισμός εξαγωγής συμπερασμάτων* : Ο μηχανισμός αυτός ελέγχει την λειτουργία, ολόκληρου του συστήματος.

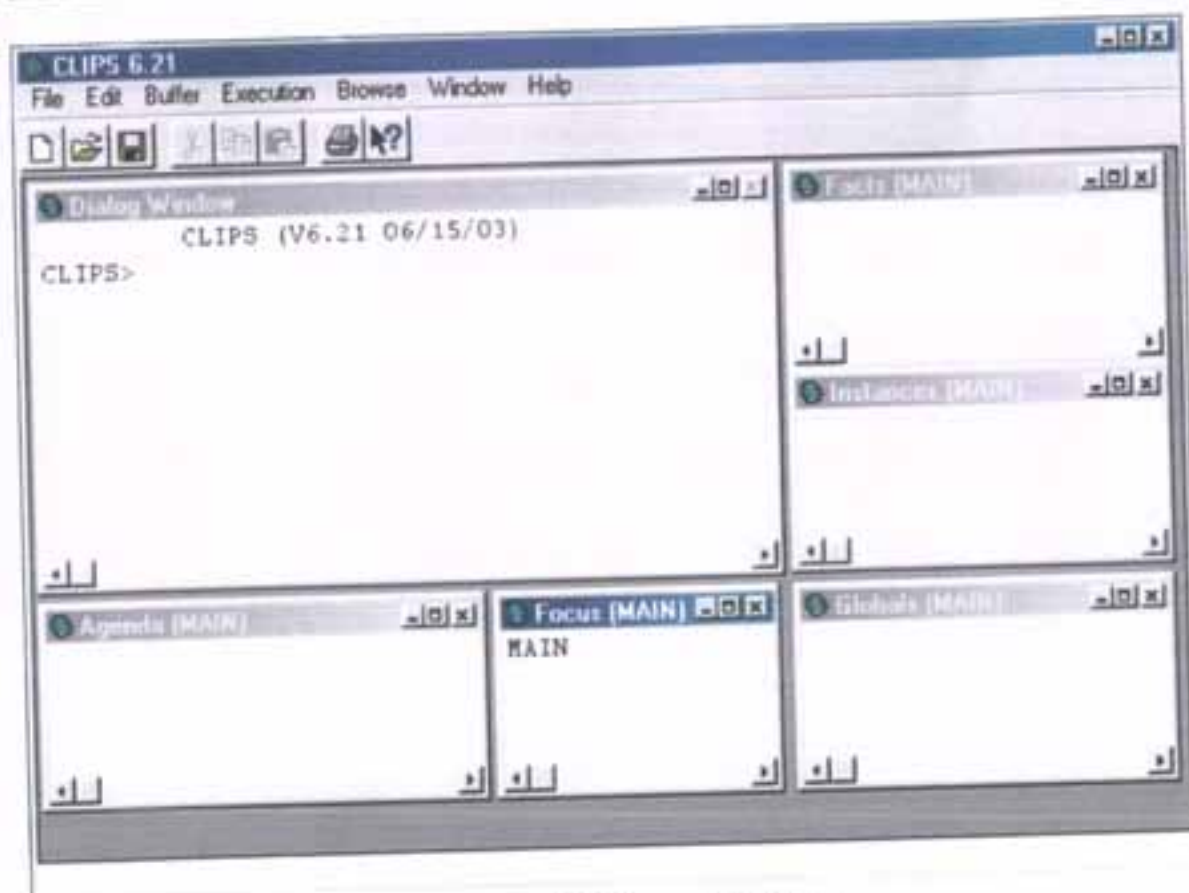
Η δομή του CLIPS παρουσιάζεται παρακάτω:



Ένα πρόγραμμα στο CLIPS, είναι ένα σύνολο από κανόνες και γεγονότα όπου η εκτέλεση τους γίνεται σύμφωνα με μια ακολουθία από κανόνες.

Ο κύκλος λειτουργίας του συστήματος είναι ο τυπικός κύκλος λειτουργίας ενός συστήματος παραγωγής:

- Εύρεση όλων των κανόνων των οποίων οι συνθήκες ικανοποιούνται, και η προσθήκη τους στην ατζέντα
- Αν η ατζέντα είναι κενή τότε η εκτέλεση τερματίζεται
- Επιλογή ενός κανόνα με βάση την στρατηγική επίλυσης ανταγωνισμού και η εκτέλεση του
- Επιστροφή στο βήμα 1, εκτός αν υπάρχει εντολή τερματισμού



Περιβάλλον του Clips [cc]

Παραπάνω παρατηρείται το περιβάλλον του CLIPS. Τα πιο βασικά του στοιχεία είναι:

- ένα παράθυρο με την αιζέντα, στην οποία προστίθενται οι συνθήκες οι οποίες ικανοποιούνται
- ένα παράθυρο, το facts, στο οποίο καταγράφεται η λίστα γεγονότων
- το βασικό παράθυρων γεγονότων

5.4.6.a Βασικά στοιχεία του CLIPS

Τα βασικά στοιχεία του CLIPS είναι τα εξής :

α) Τύποι Δεδομένων

- ✓ **Σύμβολα** : Οποιαδήποτε ακολουθία εκτυπώσιμων χαρακτήρων που δεν ξεκινά από <, !, &, (,), \$, ?, +, - και δεν περιέχει κανένα από τους <, !, &, (,), ;
- ✓ **Αλφαριθμητικά** : Οποιαδήποτε ακολουθία εκτυπώσιμων χαρακτήρων ανάμεσα σε διπλά εισαγωγικά. Π.χ. "This is a program", "2A"

- ✓ **Αριθμοί** : 23, -23, +23 (integers) και 23.34, +23.0, 23e4, -23.2e-5 (floats)
- ✓ **Σχόλια** : από ";" μέχρι το τέλος της γραμμής

b) Μεταβλητές

- ✓ **Μονότιμες** : ξεκινούν με? (Π.χ. ?x, ?day). Τιμές: 32, flight34, mary, "a12"
- ✓ **Πολλαπλών τιμών** : ξεκινούν με \$?. Π.χ. \$? days. Τιμές: (28 29 30 31), (montueswedn)
- ✓ **Καθολικές μεταβλητές** : Προσπελάσιμες από παντού : (defglobal?*<σύμβολο>* = <έκφραση>) Π.χ. (defglobal?*x*= 0)
- ✓ **Τοπικές μεταβλητές** : Προσπελάσιμες μόνο μέσα από τη δομή (π.χ. κανόνας συνάρτησης) που χρησιμοποιούνται

c) Γεγονότα

- ✓ **Διατεταγμένα** : Λίστες από τιμές, που παριστάνουν οχετικά απλά γεγονότα, όπου η σειρά των τιμών παίζει ρόλο π.χ. (flight 734 DELTA), (person George), (class "A1", 2005)
- ✓ **Μη διατεταγμένα ή προτύπου** : Ονοματοποιημένες λίστες που περιέχουν λίστες δύο στοιχείων, οι οποίες σχετίζονται με αντίστοιχο πρότυπο γεγονότων (fact template), και παριστάνουν πιο σύνθετα γεγονότα: (student (age 19) (year a) (sex male))

d) Πρότυπα γεγονότων

Δομές για την αναπαράσταση των σύνθετων γεγονότων

e) Κανόνες

Δομές της μορφής : «If συνθήκες then ενέργειες» που αποτελούν την ευρετική γνώση στη βάση γνώσης

η) Συναρτήσεις

Τμήματα προγράμματος για την αναπαράσταση διαδικαστικής γνώσης. Συνήθως επιστρέφουν κάποια τιμή, σαν αποτέλεσμα πλευρικής γνώσης.

5.4.6.b Εισαγωγή & διαγραφή γεγονότων

Η εισαγωγή γεγονότων στο CLIPS γίνεται με την λέξη "assert". Παρατίθεται ένα παράδειγμα ενός και πολλών γεγονότων :

Εισαγωγή ενός γεγονότος

```
(Assert <fact> )
```

```
(Assert (water-tank empty))
```

Εισαγωγή πολλών γεγονότων

```
(Deffacts <όνομα>  
  "<σχόλιο>"  
  <fact 1>  
  <fact 2>  
  .....  
  <fact n>)
```

```
(Deffacts pref cars
```

```
(car ALFA ROMEO 156 1600 16 nai idrayliki 22910)
```

```
(car AUDI A4 1600 8 nai idrayliki 25700)
```

```
(car FORD MONDEO 1800 16 nai idrayliki 19289)
```

Διαγραφή γεγονότων

```
(retract <fact-index> )  
ή  
(retract * )
```

Το CLIPS, για να διαχειριστεί την αβεβαιότητα μπορεί να ενσωματώσει την ασαφή λογική (FUZZYCLIPS) και τους συντελεστές βεβαιότητας.

Το FUZZYCLIPS είναι μια προέκταση του κελύφους εμπείρων συστημάτων CLIPS.

• **ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ CLIPS ΜΕ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ**

(declare (CF 0.8)) ;

(person-age ? name ? age ? : (> ?age 50))

⇒ (assert (person-weightClass ? name over-weight))

Ο παραπάνω κανόνας μας λέει, πως αν ένας άνθρωπος είναι άνω των 50 ετών τότε θα είναι υπέρβαρος με βεβαιότητα 0,8

• **ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ CLIPS ΜΕ ΑΣΑΦΗ ΛΟΓΙΚΗ (FUZZYCLIPS)**

(defrule temp-low-adjust-thermostat-up (temperature low)

⇒ (assert (adjust-thermostat up))

Ο παραπάνω κανόνας μας λέει, πως αν η θερμοκρασία είναι χαμηλή και πως θα πρέπει να ανεβάσουμε τον θερμοστάτη.

Αυτό που πρέπει να αναφερθεί είναι, πως οι συντελεστές βεβαιότητας μπορούν να εισαχθούν στο FUZZYCLIPS για να προσδώσουν βεβαιότητα στο αποτέλεσμα που θα εξαχθεί με την χρήση της ασαφούς λογικής.

Υπάρχουν αρκετά εργαλεία τα οποία έχουν γραφτεί στην γλώσσα προγραμματισμού JAVA για την δημιουργία οντοτήτων και βάσης γνώσης. Τα εργαλεία που βοηθούν, να χτίσεις την οντότητες και δίνουν λογικά αποτελέσματα δημιουργούνται από τα συστήματα πρακτόρων. Τα πιο γνωστά είναι :

5.5 Εργαλεία ανάπτυξης έμπειρων συστημάτων σε γλώσσα JAVA

5.5.1 JAVA BAYES

Το σύστημα JAVA BAYES [x], είναι ένα σύνολο εργαλείων το οποίο βοηθά στη δημιουργία και στο χειρισμό των δικτύων κατά Bayes. Το σύστημα αυτό, αποτελείται από έναν γραφικό συντάκτη, από μια μηχανή συμπεράσματος πυρήνων και ένα σύνολο κατατητών.

Ο *γραφικός συντάκτης* επιτρέπει στο χρήστη, την δημιουργία και την ομοιοποίηση των δικτύων του Bayes σε μια φιλική διεπαφή.

Οι *καταμητές* επιτρέπουν στο χρήστη, την δυνατότητα εισαγωγής δικτύων του Bayes με ποικίλα σχήματα.

Η *μηχανή συμπεράσματος* είναι υπεύθυνη για το σωστό χειρισμό των δεδομένων που αντιπροσωπεύουν, τα δίκτυα του Bayes. Η μηχανή αυτή, μπορεί να παράγει τα εξής:

- ⊗ Την οριακή πιθανότητα
- ⊗ Τις προσδοκίες για τις μεταβλητές λειτουργίες (παραδείγματος χάριν, η αναμενόμενη αξία μιας μεταβλητής)
- ⊗ Μερικές διαμορφώσεις με τη μέγιστη *a posteriori* πιθανότητα

Αναλυτικότερα αυτό μεταφράζεται ως ότι ο χρήστης ορίζει τις τιμές σε μερικές μεταβλητές σε ένα δίκτυο, και έπειτα ρωτάει την οριακή πιθανότητα ή τις προσδοκίες για τις μεταβλητές λειτουργίας.

Το σύνολο των ορισμένων μεταβλητών, αποτελούν τα στοιχεία για το πρόγραμμα αυτό.

Επιπλέον ο χρήστης έχει την δυνατότητα, να διευκρινίζει κάποια στοιχεία και να ρωτά τις τιμές των μεταβλητών που οδηγούν σε μεταγενέστερη πιθανότητα για τα στοιχεία. Η διαμόρφωση αυτή των στοιχείων, ονομάζεται διαμόρφωση.

Το JAVA BAYES μπορεί να παράγει οριακές διανομές και προσδοκίες χρησιμοποιώντας, 2 διαφορετικούς αλγόριθμους την μεταβλητή αποβολή και την αποβολή των δένδρων κάδων.

Στην μεταβλητή «αποβολή», τα συμπεράσματα παράγονται από την αρχή και πιο συγκεκριμένα για κάθε ερώτηση. Η μνήμη, που καταναλώνει είναι πολύ μικρή αλλά μπορεί να πάρει περισσότερο εάν διάφορες ερωτήσεις γίνονται στο ίδιο δίκτυο με την ίδια συλλογή των παρατηρήσεων.

Στην αποβολή των «δένδρων κάδων», παράγεται τη φορά μια δομή στοιχείων για διάφορες ερωτήσεις.

5.5.2 PROTIGI 2000

Το εργαλείο αυτό είναι μια ελεύθερη πηγή, η οποία είναι διαθέσιμη και προέρχεται από το πανεπιστήμιο του Stanford (Mozilla – MPL) [x]. Το Protigi 2000 έχει άδεια MPL, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κάθε εμπορικό προϊόν. Το περιβάλλον του, είναι ανεξάρτητο και έχει δημιουργηθεί για την έκδοση οντολογιών, προσαρμογή των αποκτηθέντων γνώσεων και των βάσεων γνώσεων. Το εργαλείο PROTIGI 2000, μπορεί να ενσωματωθεί στο περιβάλλον του κελύφους εμπειρου συστήματος JESS. Όταν ενσωματωθεί, λειτουργεί στο ξένο προς αυτό, περιβάλλον, με τις εντολές του JESS.

Δεν παρέχεται άμεση πρόσβαση με τον ιστό, αλλά μπορεί να συνδεθεί πολύ εύκολα.

5.5.3 JTP

Το JTP (Java Theorem Prover) [x] είναι ένα ελεύθερο σύστημα συλλογισμού το οποίο προέρχεται από αντικειμενοστραφή συλλογισμό και είναι διαθέσιμο από το πανεπιστήμιο του Stanford. Είναι βασισμένο, σε μια πολύ απλή και γενική αρχιτεκτονική συλλογισμού. Ο μορφωτικός χαρακτήρας της αρχιτεκτονικής του, καθιστά εύκολη επέκταση του συστήματος με την προσθήκη των νέων ενοτήτων συλλογισμού (reasoners), ή την εύκολη προσαρμογή του με νέες ρυθμίσεις.

Στο JTP οι ενότητες καλούνται reasoners. Ανάλογα με τον τύπο τους, ταξινομούνται σε δυο κατηγορίες.

- 1) *Προς τα πίσω*: Στην κατηγορία αυτή εξετάζονται οι ερωτήσεις για τις απαντήσεις που μας έχουν δοθεί.
- 2) *Προς τα μπροστά*: Στην κατηγορία αυτή επεξεργάζονται τους ισχυρισμούς που τεκμηριώνονται από τις αποδείξεις, και συνάγουν τα συμπεράσματα.

5.5.4 JADE

Το JADE [x] βοηθάει στην ανάπτυξη των πολύ-πρακτορικών συστημάτων (MAS) και εξασφαλίζει την τυποποιημένη συμμόρφωση μέσω ενός περιεκτικού συνόλου υπηρεσιών και πρακτόρων συστημάτων σύμφωνα με τις προδιαγραφές του FIPA. Το FIPA είναι μια υπηρεσία «κίτρινων σελίδων» όπως ονομάζεται, που

μεταφέρει μηνύματα. Αυτό το εργαλείο, είναι μια ελεύθερη πηγή GPL. Η FIPA, για το ίδρυμα Ευφυών και Φυσικών παραγόντων, είναι ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός που χρησιμοποιείται από διάφορες εταιρείες με σκοπό να δημιουργήσουν κάποια standards για την λειτουργικότητα των ετερογενών τραπεζικών λογισμικού. Η γνωστή εταιρεία λογισμικού Microsoft δεν είναι μέλος της FIPA.

Η πλατφόρμα του δικτύου στηρίζεται σε μεγάλο ποσοστό, σε XML, αλλά, ο σημασιολογικός Ιστός είναι μια προσθήκη στις υπηρεσίες του ιστού, που το κάνουν να έχει αυτονομία. Το JADE, όπως και το PROTIGI, μπορεί να ενσωματωθεί στο κέλυφος έμπειρου συστήματος JESS και να χτίσει μια γερή βάση γνώσεων.

Οι επιχειρήσεις που έχουν σαν στόχο την αποδοτικότητα και την παραγωγικότητα, μπορούν να χρησιμοποιήσουν το JADE και να επιτύχουν θεαματικά αποτελέσματα. Αυτό που θα πρέπει να επιτευχθεί είναι η συνεργασία μεταξύ υπαλλήλων και συστημάτων.

Πολλά διαφορετικά λογισμικά του κελύφους JADE, έχουν παραχθεί με σκοπό την υποστήριξη διαφόρων εταιρειών. Τα soft contexts αυτά, έχουν ως στόχο την διαχείριση της γνώσης, την διοίκηση του προσωπικού και γενικότερα τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Η χρησιμότητα τους δεν σταματάει σε αυτό το σημείο, αλλά προσανατολίζεται και στον «πυρήνα» των εργοστασίων με τον συντονισμό πόρων, τη διαδικασία παραγωγής, τα λογιστικά των εταιρειών και τους ελέγχους των εργοστασίων.

5.5.5 JESS

Το JESS [x] είναι ένα εργαλείο ανάπτυξης έμπειρων συστημάτων . Είναι αρκετά εμπορικό αλλά το δυαδικό αρχείο μπορεί να φορτωθεί δωρεάν.

Το κέλυφος αυτό είναι το πιο δημοφιλές, σε σχέση με τα συστήματα που έχουν δημιουργηθεί με JAVA. Έχει δική του γλώσσα-κανόνες και χρησιμοποιεί την «προς τα πίσω αιτιολόγηση».

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μηχανή κανόνα της JAVA, API από ISR94, έχει για περιτύλιγμα την JESS. Η μηχανή αυτή χρησιμοποιεί την JESS, γιατί δεν έχει καμία γλώσσα-κανόνα..

Γενικότερα είναι πολύ σημαντικό εργαλείο το οποίο μπορεί να συνενωθεί με άλλα λογισμικά ή εργαλεία έμπειρων συστημάτων.

Δεν υπάρχει καμία λύση, για τις νοήμων μηχανές οι οποίες λύνουν ένα κοινό πρακτικό πρόβλημα και συνδυάζουν περισσότερες από μία μεθοδολογίες, με σκοπό την βελτιστοποίηση.

Το JESS χρησιμοποιεί την μέθοδο της ασαφούς λογικής για να διαχειρίζεται την αβεβαιότητα (FuzzyJess). Η ενσωμάτωση της ασαφούς λογικής στο JESS, θέτει το κέλυφος ικανό να δημιουργήσει προγράμματα βασισμένα σε JAVA, όπου μπορούν να κωδικοποιήσουν την ασαφή συλλογιστική και χειρισμό της αβεβαιότητας.

Επιπλέον, το JESS, χρησιμοποιεί και τους συντελεστές βεβαιότητας (certainty factors) για την διαχείριση της αβεβαιότητας.

Παρακάτω παρατίθεται το περιβάλλον του JESS:

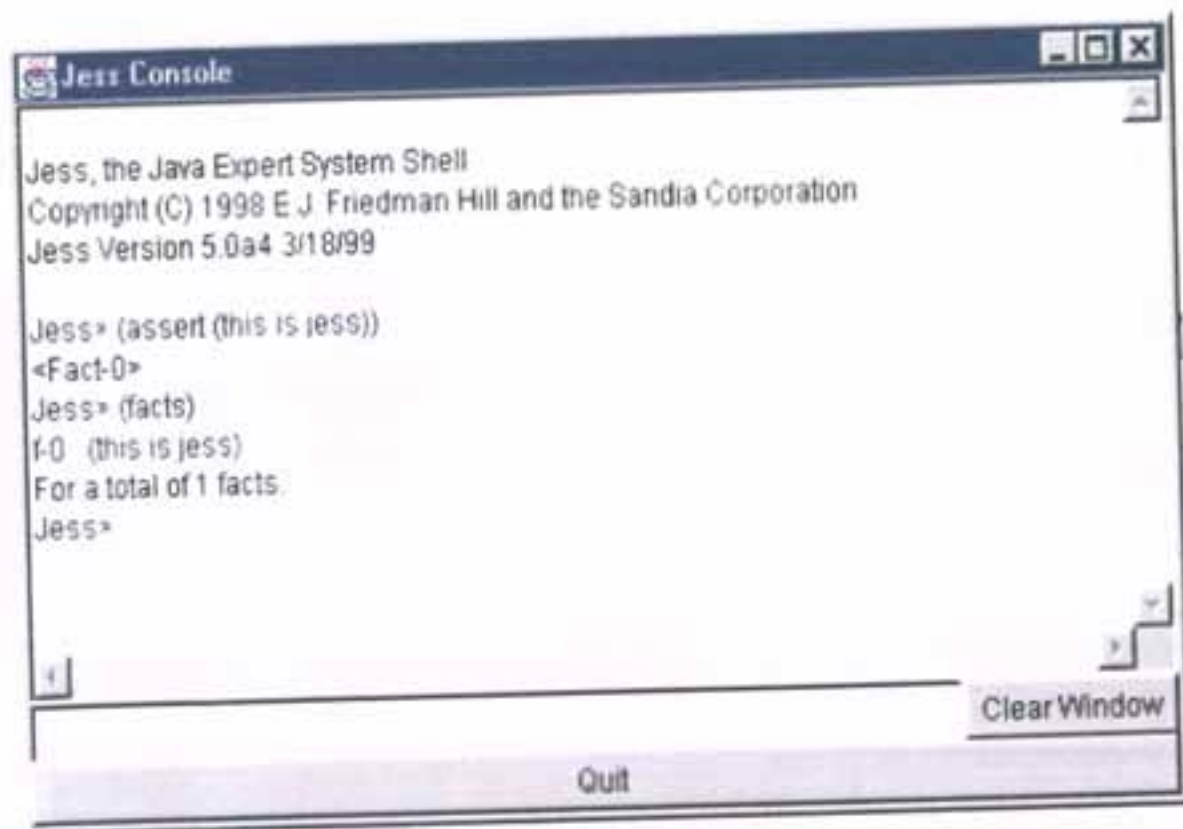


Figure 1: The JESS console.

Το περιβάλλον του JESS [cc]

5.6 Ευρετήριο έμπειρων συστημάτων

Παρακάτω παρατίθενται ένα ευρετήριο έμπειρων συστημάτων και οι τομείς χρήσης τους.

- ➔ ABEL: medicine
- ➔ ACE: electronics
- ➔ ACES: military science
- ➔ ADEPT: military science
- ➔ ADVISOR: mathematics
- ➔ AI/COAG: medicine
- ➔ AI/MM: medicine
- ➔ AI/RHEUM: medicine
- ➔ AIRID: military science
- ➔ AIRPLAN: military science
- ➔ AMUID: military science
- ➔ ANALYST: military science
- ➔ ANGY: medicine
- ➔ ANNA: medicine
- ➔ ARAMIS: medicine
- ➔ ASTA: military science
- ➔ ATR: military science
- ➔ ATTENDING: medicine
- ➔ AUDITOR: law
- ➔ BABY: medicine
- ➔ BATTLE: military science
- ➔ BDS: electronics
- ➔ BLUE BOX: medicine
- ➔ CADHELP: electronics
- ➔ CARGUIDE: information management
- ➔ CASNET/GLAUCOMA: medicine
- ➔ EL: electronics
- ➔ CENTAUR: medicine
- ➔ CLOT: medicine
- ➔ CODES: information management

- COMPASS: electronics
- CONGEN: chemistry
- CONPHYDE: engineering
- CRIB: computer systems
- CRITTER: electronics
- CRYVALIS: chemistry
- C13: chemistry
- DAA: electronics
- DART: computer systems
- DART: military science
- DELTA: engineering
- DENDRAL: chemistry
- DFT electronics
- DIAGNOSER: medicine
- DIALYSIS THERAPY
- ADVISOR: medicine
- DIGITALIS ADVISOR: medicine
- DIPMETER ADVISOR: geology
- DRILLING ADVISOR: geology
- DRUG INTERACTION CRITIC: medicine
- DSCAS: law
- ECESIS: space technology
- EDASS: information management
- EEG ANALYSIS SYSTEM: medicine
- IRIS: medicine
- ELAS: geology
- EMERGE: medicine
- EPES: military science
- EURISKO: electronics
- EXAMINER: medicine
- EXPERT NAVIGATOR: military science
- FAITH: space technology
- FALCON: process control

- FG502-TASP: electronics
- FOLIO: information management
- FOREST: electronics
- GALEN: medicine
- GAMMA: physics
- GA1: chemistry
- GCA: information management
- GUIDON: medicine
- HANNIBAL: military science
- HASP: military science
- HDDSS: medicine
- HEADMED: medicine
- HEART IMAGE
- INTERPRETER: medicine
- HEME: medicine
- HT-ATTENDING: medicine
- HYDRO: geology
- IDT: computer systems
- IMACS: manufacturing
- IN-ATE: electronics
- INTERNIST-I/CADUCEUS: medicine
- IR-NLI: information management
- ISA: computer systems
- ISIS: manufacturing
- J&W: military science
- JUDITH: law
- KNEECAP: space technology
- KNOBS: military science
- LDS: law
- LEGAL ANALYSIS SYSTEM: law
- LES: space technology
- LITHO: geology
- LRS: law

- MACSYMA: mathematics
- MATHLAB 68: mathematics
- MDX: medicine
- MECHO: physics
- MECS-AI: medicine
- MEDICO: medicine
- MED1: medicine
- MES: military science
- MESSAGE TRACE
- ANALYZER: electronics
- META-DENDRAL: chemistry
- MI: medicine
- MIXER: computer systems
- MODIS: medicine
- MOLGEN: chemistry
- MUD: geology
- MYCIN: medicine
- NAVEX: space technology
- NDS: electronics
- NEOMYNIC: medicine
- NEUREX: medicine
- NEUROLOGIST-I: medicine
- NPPC: engineering
- OCEAN SURVEILLANCE: military science
- OCSS: chemistry
- OCULAR HERPES MODEL: medicine
- ONCOCIN: medicine

- PALLADIO: electronics
- PATHFINDER: medicine
- PATREC: medicine
- PDS: process control
- PEACE: electronics
- PEC: medicine

- PIP: medicine
- PLANT/cd: agriculture
- PLANT/ds: agriculture
- POMME: agriculture
- PROJCON: information management
- PROSPECTOR: geology
- PTRANS: manufacturing
- PUFF: medicine
- RABBIT: information management
- RADEX: medicine
- RBMS: space technology
- REACTOR: engineering
- REDESIGN: electronics
- RESEDA: information management
- RPMS: space technology
- RTC: military science
- RUBRIC: military science
- RX: medicine
- R1: computer systems
- R1-SOAR: computer systems
- SACON: engineering
- SADD: electronics
- SAL: law
- SARA: law
- SCENARIO AGENT: military science
- SECS: chemistry
- SEQ: chemistry
- SIAP: military science
- SOPHIE: electronics
- SPAM: military science
- SPE: medicine
- SPERIL-I: engineering
- SPERIL-II: engineering

- SPEX: chemistry
- STEAMER: engineering
- SWIRL: military science
- SYN: electronics
- SYNCHEM: chemistry
- SYNCHEM 2: chemistry
- SYSTEM D: medicine
- TALIB: electronics
- TATR: military science
- TAXADVISOR: law
- TAXMAN: law
- THYROID MODEL: medicine
- TIMM/TUNER: computer systems
- TQMSTUNE: chemistry
- TRANSISTOR: SIZING SYSTEM: electronics
- TWIRL: military science
- VM: medicine
- WHEEZE: medicine
- WILLARD: meteorology
- XCON: computer systems
- XSEL: computer systems
- YES/MVS: computer systems

Κεφάλαιο 6

Οι μέθοδοι διαχείρισης της αβεβαιότητας και τα έμπειρα συστήματα

6.1 Ασαφής λογική & έμπειρα συστήματα

Η ασαφής λογική έχει αρκετές δυνατότητες οι οποίες έχουν ευρεία χρήση στον πραγματικό κόσμο. Οι δυνατότητες για στάθμιση και αντιστάθμιση ενός κανόνα, βρίσκουν εφαρμογή στα έμπειρα συστήματα, τα οποία βασίζονται σε κανόνες.

Τα έμπειρα συστήματα αυτού του τύπου λειτουργούν παραγωγικά. Επιπλέον οι έννοιες που αποτελούν τις στοιχειώδεις ενότητες αυτών των συστημάτων αντιπροσωπεύονται σε ασαφή σύνολα και ο μηχανισμός της λογικής δεν χρησιμοποιεί τους τελεστές του Bool, αλλά αυτούς της ασαφούς λογικής.

Για την κατασκευή ενός έμπειρου συστήματος, που θέλουμε να υλοποιήσει τον κατά προσέγγιση συλλογισμό, χρειάζεται να αναλυθούν κάποιες σύνθετες έννοιες σε απλούστερες. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται η στάθμιση των στοιχείων του κανόνα. Αναλυτικότερα αυτό σημαίνει πως η εισαγωγή των πραγματικών δεδομένων στον κανόνα ξεκινάει από τις πιο απλές έννοιες, δηλαδή αυτές που θα μπορούσε να απαντήσει ο χρήστης.

Κατά την εισαγωγή των απλών εννοιών, προσδιορίζεται και ο βαθμός βεβαιότητας των γεγονότων. Ο βαθμός, όπως έχει προαναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια, ξεκινάει από μηδέν έως και το 1. Εναλλακτικά, ο βαθμός αυτός μπορεί να ερμηνευτεί ως ο βαθμός συμμετοχής σε ένα ασαφές σύνολο.

Κάθε χρήστης μπορεί να θέτει διαφορετικό βαθμό βεβαιότητα ανάλογα με τα στοιχεία που διαθέτει. Αξίζει να σημειωθεί πως οι βαθμοί δεν διαμορφώνουν το τελικό αποτέλεσμα.

Το σύστημα συνθέτει τις απλές έννοιες που έχουν καταχωρηθεί, δημιουργώντας πιο σύνθετες έννοιες με σκοπό την εξαγωγή των αποτελεσμάτων είτε αυτά είναι καταφατικά είτε αυτά είναι αρνητικά.

Η διαδικασία αυτή θυμίζει το σύστημα πιστοληπτικής ικανότητας, που κατασκευάστηκε από τους, ZIMMERMAN και ZYSNO [3], με σκοπό να εξαγάγει αποτελέσματα όσον αφορά την πιστοληπτική ικανότητα των πελατών. Το σύστημα είναι δομημένο ιεραρχικά, και οργανωμένο με διχοτομήσεις εννοιών. Έτσι, η οικονομική βάση, προκύπτει από την εξασφάλιση και την εκκαθάριση, ενώ η εξασφάλιση κρίνεται από την ακίνητη περιουσία ή τα άλλα περιουσιακά στοιχεία του πιστολήπτη. Δεν είναι απαραίτητο να πληρούνται και οι δυο προϋποθέσεις για να εξακριβώνεται η σταθερή οικονομική κατάσταση του πελάτη.

Πιο αναλυτικά, το ιεραρχικό σύστημα εννοιών περιέχει παράγοντες που αναφέρονται στο πρόσωπο του πιστολήπτη από τη μία πλευρά, όπως είναι η δυναμικότητα (φυσική και πνευματική δυναμικότητα και τα κίνητρα) και η επιχειρηματική συμπεριφορά (αναζήτηση κέρδους και συμμόρφωση με τις κρατούσες κοινωνικές και οικονομικές αξίες). Στην οικονομική βάση από την άλλη, αναφέρονται έννοιες, όπως είναι η εξασφάλιση του πιστωτικού ιδρύματος, για την οποία εξετάζεται η βασική περιουσία μείον μακροπρόθεσμα χρέη και η άλλη ακίνητη περιουσία και η εκκαθάριση, δηλαδή το εισόδημα μείον τα έξοδα και η συνέχεια επί των κερδών.

Σε αυτό το παράδειγμα καθοριστική προϋπόθεση, είναι η ελάχιστη τιμή του βαθμού συμμετοχής, ενώ όταν κρίνονται οι προϋποθέσεις για την εξασφάλιση, λαμβάνεται η μέγιστη τιμή. Ανάλογα με την περίπτωση μπορεί να επιλέγουν άλλοι Fuzzy τελεστές που να αποδίδουν πιστότερα τον τρόπο σκέψης ενός εμπειρογνώμονα, ειδικού στον τομέα των πιστώσεων.

6.1.1.Πλεονεκτήματα των συστημάτων ασαφούς λογικής

Το πλεονέκτημα των συστημάτων ασαφούς λογικής προέρχεται από την αντιστάθμιση των παραγόντων, οι οποίοι παίζουν σημαντικό ρόλο στην διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Αναλυτικότερα, μπορούμε να πούμε, πως αν σε ένα κανόνα πραγματοποιείται ένα γεγονός με μικρότερη βεβαιότητα από ότι συμβαίνει πραγματικά, με αποτέλεσμα να μην επαληθεύεται το συμπέρασμα, τότε γίνεται αναπλήρωση από μια δεύτερη πρόταση, που ισχύει ταυτόχρονα ή διαζευκτικά με την πρώτη.

Αυτή η επίλυση, θα μας οδηγήσει σε ένα συμπέρασμα, το οποίο θα ισχύει σε περιορισμένο βαθμό.

Τα έμπειρα συστήματα ασαφούς λογικής βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή στην επίλυση νομικών προβλημάτων.

Πλεονεκτήματα:

Η ασαφής λογική μπορεί να μετατρέπει πολύπλοκα προβλήματα σε απλούστερα χρησιμοποιώντας τη λογική της προσέγγισης. Ένα σύστημα περιγράφεται με τους κανόνες και τις συναρτήσεις συμμετοχής της ασαφούς λογικής χρησιμοποιώντας την γλώσσα των ανθρώπων και τις λεκτικές μεταβλητές. Έτσι κάποιος μπορεί εύκολα και αποτελεσματικά να χρησιμοποιήσει την γνώση του για να περιγράψει την συμπεριφορά του συστήματος. Μια ασαφής 'περιγραφή' μπορεί να μοντελοποιήσει αποτελεσματικά την αβεβαιότητα και τη μη γραμμικότητα ενός συστήματος, από την άλλη είναι υπερβολικά δύσκολη, αν όχι αδύνατη, η δημιουργία ενός μαθηματικού μοντέλου που μπορεί να περιγράψει την αβεβαιότητα, τη μη γραμμικότητα και τη μεταβλητότητα κάθε στιγμή. Η ασαφής λογική αποφεύγει όλα αυτά τα σύνθετα μαθηματικά μοντέλα.

Ακόμη είναι εύκολη η υλοποίηση της ασαφούς λογικής χρησιμοποιώντας λογισμικό στους υπάρχοντες επεξεργαστές ή σε ειδικά σχεδιασμένο υλικό(hardware). Έτσι οι λύσεις που βασίζονται στην ασαφή λογική έχουν επικρατήσει σε ένα μεγάλο φάσμα εφαρμογών (όπως οι οικιακές εφαρμογές) σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους.

Μειονεκτήματα:

Η ασαφής λογική έχει καταφέρει με επιτυχία να λύσει προβλήματα για τα οποία τα συνήθη μαθηματικά μοντέλα είναι είτε πολύ δύσκολο να κατασκευαστούν είτε είναι αναποτελεσματικά και κοστίζουν, ωστόσο παρά τον εύκολο σχεδιασμό των ασαφών ελεγκτών, δημιουργούνται κάποια σημαντικά προβλήματα.

Όσο η πολυπλοκότητα του συστήματος αυξάνεται, είναι ακόμη πιο δύσκολη η εύρεση του σωστού συνόλου κανόνων και συναρτήσεων συμμετοχής που απαιτούνται για την αποτελεσματική περιγραφή του συστήματος. Έτσι απαιτείται σημαντική έρευνα και προσπάθεια ώστε οι κανόνες και οι συναρτήσεις συμμετοχής να ρυθμιστούν για ένα καλό αποτέλεσμα. Στα πολύπλοκα συστήματα που

παιτούνται περισσότεροι κανόνες είναι επίσης πολύ δύσκολο να επιτευχθεί μια συσχέτιση μεταξύ τους, η ικανότητα προς συσχέτιση των κανόνων μειώνεται σημαντικά όταν το πλήθος τους αρχίζει να ξεπερνά περίπου τους δεκαπέντε. Αν και μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία ιεραρχική βάση κανόνων, το πρόβλημα παραμένει καθώς είναι δύσκολη η συσχέτιση κανόνων μεταξύ διαφορετικών ιεραρχιών. Σε πολλά συστήματα είναι αδύνατο να βρεθεί ένα σύνολο κανόνων και συναρτήσεων συμμετοχής για την περιγραφή τους.

Η ασαφής λογική χρησιμοποιεί ευριστικούς αλγόριθμους για την αποασαφοποίηση και την εκτίμηση των κανόνων. Το μειονέκτημα των ευριστικών αλγορίθμων είναι ότι οι λύσεις που δίνουν δεν μπορούν να ανταποκριθούν αποτελεσματικά σε όλες τις πιθανές συνθήκες.

Όταν οι κανόνες που έχουν δημιουργηθεί, παραμένουν ως έχουν στον ασαφή ελεγκτή, ο οποίος δεν έχει την δυνατότητα εκπαίδευσης (εκτός από τα προσαρμόσιμα ασαφή συστήματα τα οποία έχουν κάποια περιορισμένη ευελιξία).

6.1.2.Εφαρμογές ασαφούς λογικής (& παραδείγματα)

Οι της ασαφούς λογικής αφορούν κατά κύριο λόγο συστήματα ελέγχου (control systems) και έχουν χρησιμοποιηθεί για τον αυτοματισμό, στα πλαίσια βιομηχανικών εφαρμογών, δεν λείπουν όμως και εφαρμογές στον τομέα της επεξεργασίας πληροφοριών.

Η ασαφής λογική βρίσκει εφαρμογές στα εξής :

1. Στις βάσεις δεδομένων
2. Αξιοποιείται στην κατασκευή θησαυρού εννοιών

1. Η ασαφής λογική βρίσκει εφαρμογή καταρχήν σε βάσεις δεδομένων. Τα συστήματα αναζήτησης πληροφοριών, τα οποία ενσωματώνουν τεχνικές της ασαφούς λογικής έχει ένα συγκριτικό πλεονέκτημα σε σχέση με αυτά που χρησιμοποιούν άλλες τεχνικές. Αυτό συμβαίνει επειδή χρησιμοποιούν λογικές συναρτήσεις επιτυχάνοντας τον συνδυασμό εννοιών.

Παράδειγμα

Ένα αξιόλογο παράδειγμα, εφαρμογής της ασαφούς λογικής, είναι το σύστημα βιβλιοθηκών LIBRARIAN [3]. Όπως όλα τα συνηθισμένα συστήματα περιέχει τις δυνατότητες της διάζευξης, του περίπου και όλων των συνδυασμών λέξεων.

Αυτό που κάνει το LIBRARIAN να διαφέρει από τα υπόλοιπα είναι η δυνατότητα που έχει έτσι ώστε να βρίσκει αποσπάσματα κειμένου τα οποία είναι συναφή με την ζητούμενη έννοια ακόμα και αν αυτή δεν αναφέρεται ρητά στα αποσπάσματα αυτά. Επιπρόσθετα, η μέθοδος ιεράρχησης που εμπεριέχεται στο σύστημα αυτό, μας βοηθάει να αξιολογούμε την ποιότητα των απαντήσεων όσον αφορά την σειρά τους. Οι απαντήσεις που μας δίνει πρώτα είναι πιο κοντά σε αυτό που ψάχνουμε.

Με την ιεράρχηση λοιπόν ο χρήστης, απαλλάσσεται από την κουραστική και χρονοβόρα διαδικασία αναζήτησης, σε εκατομμύρια πληροφορίες.

Το παραπάνω σύστημα αφορά συστήματα ελέγχου.

2. Ο θησαυρός εννοιών είναι μια νομική βάση δεδομένων η οποία περιλαμβάνει λεξικό νομικών ή νομικά σημαντικών εννοιών. Σκοπός είναι η γρήγορη αναζήτηση πληροφοριών που να περιέχουν το κείμενο που χρειάζεται.

Αντικείμενο της σύγχρονης έρευνας στα πλαίσια της ασαφούς συλλογιστικής είναι η **εύλογη συλλογιστική**. Αναλυτικά, αυτό σημαίνει πως σε μερικές περιπτώσεις χρειάζονται πρόσθετοι κανόνες οι οποίοι βοηθούν στην λήψη των αποφάσεων.

Παράδειγμα

Έστω ότι σε μια βιομηχανία τοματοχυμού, γίνεται διαλογή των τοματών σε ώριμες, οι οποίες γίνονται τοματοχυμός και στις λιγότερο ώριμες, οι οποίες γίνονται κομματάκια χυμού σε μεταλλικό κουτί.

Το πρόβλημα που τίθεται στην περίπτωση αυτή, είναι η διαλογή των σωστών τοματών. Ένας απλοϊκός τρόπος για την διαλογή τους είναι το χρώμα τους. Δηλαδή μια πολύ ώριμη τομάτα είναι κατακόκκινη ενώ μια τομάτα που δεν είναι τόσο

ροφή είναι λιγότερο κόκκινη. Η διαδικασία διαλογής των τοματών βάσει του χρώματος είναι δύσκολη και επιφέρει κόστος για την βιομηχανία. Αυτό συμβαίνει, επειδή δεν μπορούμε να εμπιστευτούμε την κριτική ικανότητα, και την υποκειμενική επιλογή των εργαζομένων όσον αφορά την διαλογή.

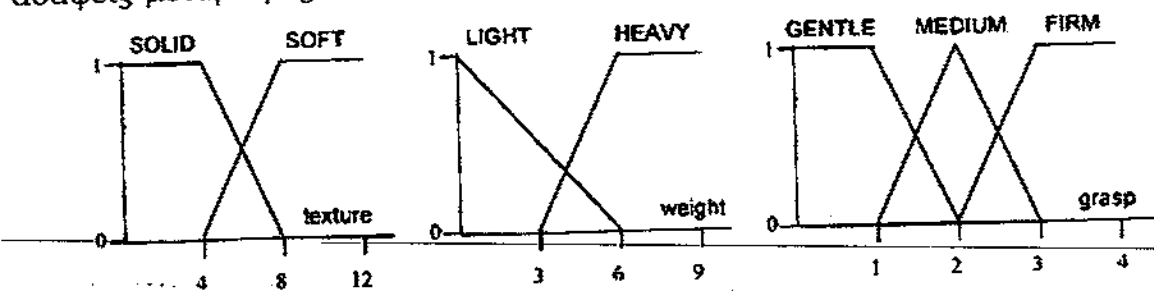
Για ένα έμπειρο σύστημα, η πρόσθετη πληροφορία του χρώματος είναι βασική και βοηθά στην διαλογή. Άλλωστε το σύστημα είναι περισσότερο αμερόληπτο και αντικειμενικό σε σχέση με το ανθρώπινο δυναμικό.

Παράδειγμα

Έστω ένας ρομποτικός βραχίονας, [18] η λαβή του οποίου ελέγχεται από σύστημα ασαφούς συλλογιστικής. Τα δεδομένα εισόδου του συστήματος είναι η υφή (texture) του αντικειμένου και το βάρος του (weight), ενώ το αποτέλεσμα που παράγεται είναι η δύναμη που πρέπει να ασκηθεί (grasp) στη λαβή του βραχίονα. Οι κανόνες που ελέγχουν το σύστημα είναι οι εξής:

- A. if texture is SOLID and weight is HEAVY then apply FIRM grasp
- B. if texture is SOLID and weight is LIGHT then apply MEDIUM grasp
- C. if texture is SOFT and weight is HEAVY then apply MEDIUM grasp
- D. if texture is SOFT and weight is LIGHT then apply GENTLE grasp

Οι συναρτήσεις συγγένειας των λεκτικών τιμών που μπορούν να πάρουν οι ασαφείς μεταβλητές texture, weight και grasp δίνονται στα επόμενα διαγράμματα:



- Να υπολογιστεί η αριθμητική τιμή της δύναμης που πρέπει να ασκηθεί στη λαβή του βραχίονα (grasp) αν τα δεδομένα εισόδου είναι texture=5 (σε κάποια κλίμακα μέτρησης υφής) και weight=7 (σε κάποια κλίμακα βάρους).

Σημείωση: Επειδή το *if* τμήμα των κανόνων περιέχει σύζευξη (AND), θα πρέπει πρώτα να ληφθεί η τομή των ασαφών συνόλων που αντιστοιχούν στις εκάστοτε εκτικές τιμές των μεταβλητών *texture* και *weight*. Πρακτικά αυτό απαιτεί την εφαρμογή της ιδιότητας:

$$u_{A \cap B}(x) = \min(u_A(x), u_B(x))$$

Επίλυση

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε στα διαγράμματα που μας δίνει η άσκηση, χωρίζει την κάθε είσοδο και έξοδο σε λεκτικές τιμές. Παράδειγμα για την υφή (*texture*), ορίζει τις λεκτικές τιμές *solid* και *soft*. Τις τιμές εισόδου τις κατατάσσει σε μία κλίμακα από 0 έως 12, σε αυτή τη κλίμακα ορίζονται τα ασαφή σύνολα των *solid* και *soft*. Έτσι ορίζει (τα σύνολα στήριξης) για τη λεκτική τιμή *solid* από 0 έως 8 και τη λεκτική τιμή *soft* από 4 έως 12, με τη βοήθεια τραπεζοειδών συναρτήσεων.

Στις τιμές 0-4 και 8-12 οι συναρτήσεις συμμετοχής έχουν τιμή μονάδα.

Ενώ για τις τιμές 4-8 βλέπουμε την ασάφεια της υφής, η οποία μπορεί να εξηγηθεί αν κάνουμε τις εξής δύο ερωτήσεις :

- Όταν η υφή μετριέται να είναι μεταξύ 4 και 8 κατά πόσο είναι *solid*;
- Όταν η υφή μετριέται να είναι μεταξύ 4 και 8 κατά πόσο είναι *soft*;

Η απάντηση δίνεται με ποσοστά και βγαίνει από το διάγραμμα. Για τις ακέραιες τιμές μεταξύ 4 και 8, όπως προκύπτει από το σχήμα, έχουμε :

- Για την τιμή 4 έχουμε 100% *solid* και 0% *soft*
- Για την τιμή 5 έχουμε 75% *solid* και 25% *soft*
- Για την τιμή 6 έχουμε 50% *solid* και 50% *soft*
- Για την τιμή 7 έχουμε 25% *solid* και 75% *soft*

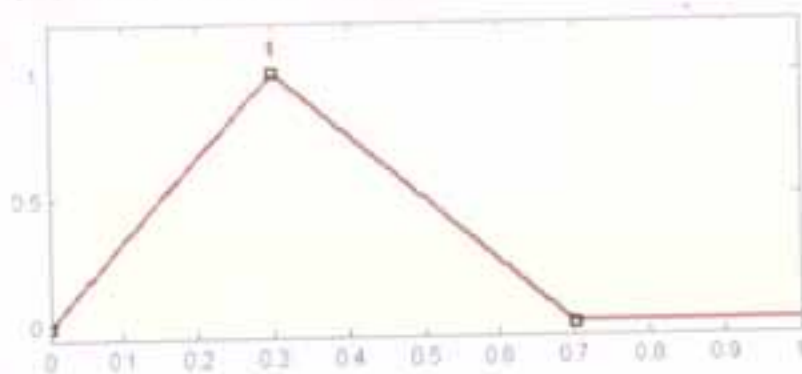
- Για την τιμή 8 έχουμε 0% solid και 100% soft

Βλέπουμε ότι το συγκεκριμένο παράδειγμα είναι σχεδιασμένο συμμετρικά. Αυτό δεν είναι αναγκαίο, και πολλές φορές ούτε και επιθυμητό.

Η ίδια ακριβώς λογική χρησιμοποιείται για όλες τις εισόδους καθώς και για τις εξόδους.

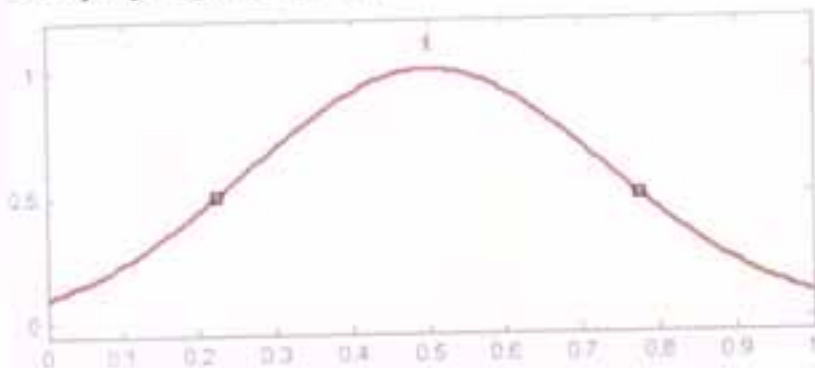
Οι συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται στο συγκεκριμένο παράδειγμα είναι τριγωνοειδείς. Δεν είναι οι μοναδικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Μπορούν αντίστοιχα να χρησιμοποιηθούν

Τριγωνικές συναρτήσεις



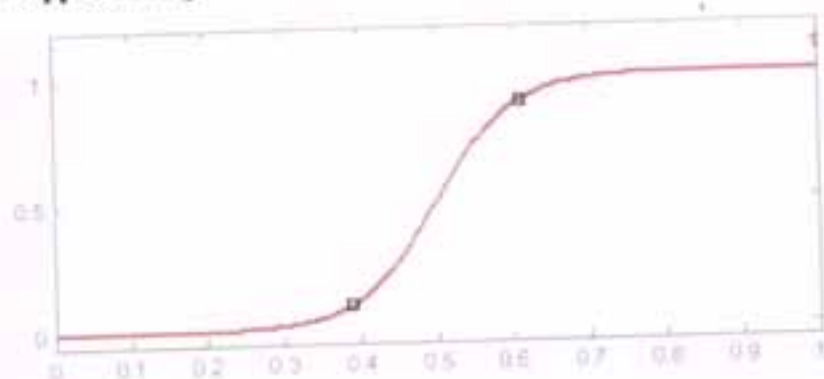
[18]

Συναρτήσεις του Gauss



[18]

Σιγμοειδείς



[18]

Αυτή η περιγραφή των εισόδων και των εξόδων είναι πολύ σημαντικό βήμα στην εξέλιξη της λύσης ενός προβλήματος, και είναι ουσιαστικά αδύνατο να επιτευχθούν οι σωστές αναπαραστάσεις, παρά μόνον μετά από πολλές δοκιμές και αποτυχίες να αποδοθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα στην έξοδο. Στα προβλήματα που καλείται να δώσει λύση η ασαφής συλλογιστική, οι λεκτικοί όροι που θα περιγράψουν μια μεταβλητή (εισόδου η εξόδου), ο αριθμός τους καθώς και η ακριβής περιγραφή τους και τοποθέτησή τους σε συγκεκριμένες θέσεις μέσα στα πεδία ορισμού των μεταβλητών, είναι καιρία και καθοριστικά ζητήματα τα οποία απασχολούν τον σχεδιαστή του ασαφούς συστήματος.

Μετά την σχεδίαση(ορισμό) των μεταβλητών εισόδου και εξόδου, πρέπει να θέσουμε τους κανόνες.

- if texture is SOLID and weight is HEAVY then grasp is FIRM
- if texture is SOLID and weight is LIGHT then grasp is MEDIUM
- if texture is SOFT and weight is HEAVY then grasp is MEDIUM
- if texture is SOFT and weight is LIGHT then grasp is GENTLE

Αφού λοιπόν τελειώσαμε και με τους κανόνες, ας δούμε τώρα πλέον με ποιο τρόπο ακριβώς λειτουργεί το ασαφές μας σύστημα. Για τις τιμές :

texture = 5

weight = 7

Το σύστημά μας ασαφοποιεί τις τιμές και έτσι:

Η υφή του αντικειμένου είναι solid κατά 75% ($\mu_A = 0.75$) και soft κατά 25% ($\mu_A = 0.25$).

Όσον αφορά το βάρος, το αντικείμενο είναι βαρύ με ποσοστό βεβαιότητας 100% ($\mu_A = 1$).

Αφού λοιπόν ασαφοποιήθηκαν οι εισοδοί μας, περνάμε στους κανόνες και λέπουμε ότι αυτοί που αφορούν στην περίπτωση μας είναι ο 1ος και ο 3ος, και άρα έχουμε.

R^1 : If texture is solid (κατά 75%) and weight (κατά 100%) is heavy then grasp is firm

και

R^3 : If texture is soft (κατά 25%) and weight (κατά 100%) is heavy then grasp is medium

Τώρα με κάποιο τρόπο πρέπει να ληφθεί η όχι υπ' όψιν ο κάθε κανόνας, δηλαδή να ερμηνευτεί το and. Οι κυριότεροι τρόποι υλοποίησής του είναι με έναν από τους δύο τελεστές, min και product. Όποιος και απ' τους δύο και να εφαρμοστεί θα υπολογιστεί ο «βαθμός εκπλήρωσης» του κάθε κανόνα. Η διαδικασία αυτή, της επιλογής και της εξαγωγής συμπεράσματος αποτελεί και την ασαφή συνεπαγωγή.

Ξαράνουμε αρχικά όλους κανόνες για να υπολογίσουμε τον βαθμό συμμετοχής $\sigma = \min(\mu_1^i, \mu_2^i)$ κάθε κανόνα.

$$R^1 : \sigma_1 = \min(\mu_1^1, \mu_2^1) = \min(0.75, 1) = 0.75$$

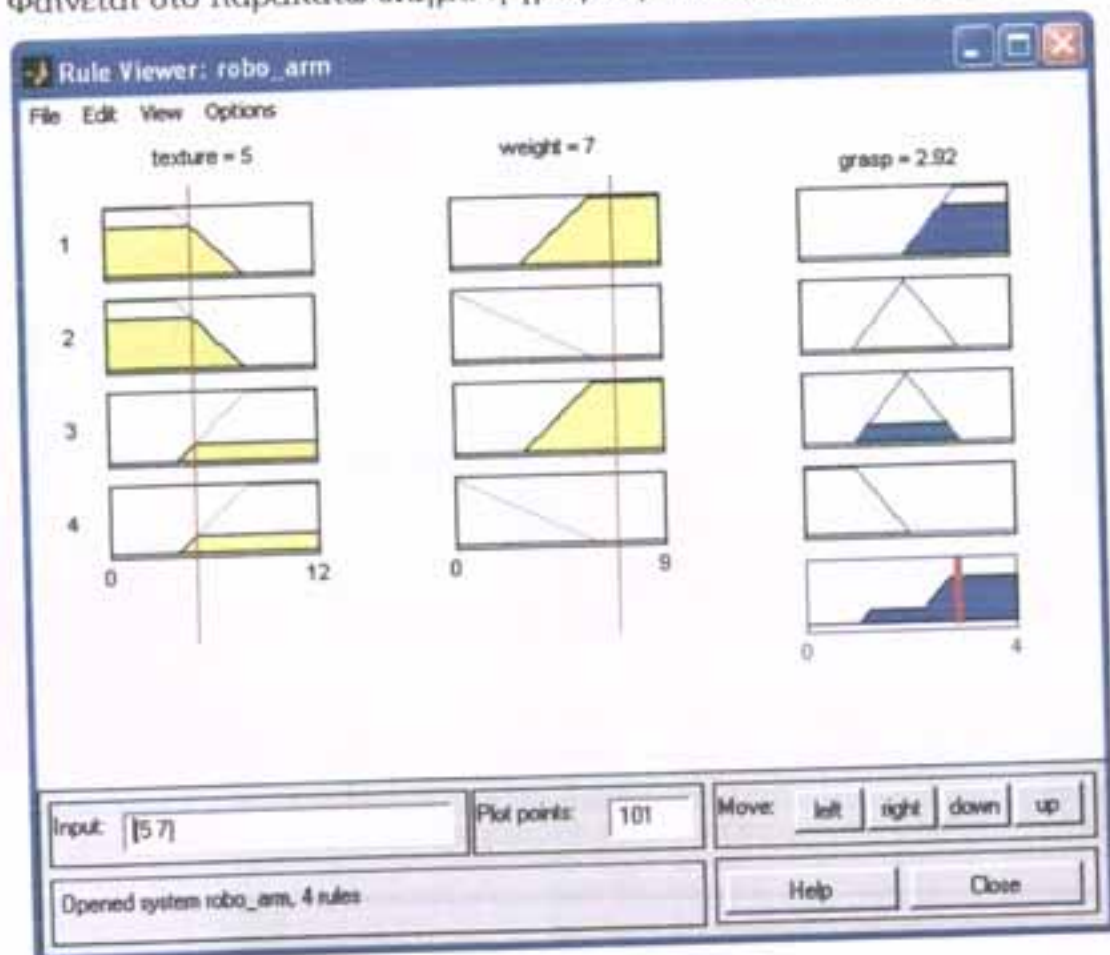
$$R^3 : \sigma_3 = \min(\mu_1^3, \mu_2^3) = \min(0.25, 1) = 0.25$$

Ακολουθώντας τον κανόνα Mamdani η συνάρτηση συμμετοχής της εξόδου είναι η ένωση των μεγίστων των βαθμών συμμετοχής και της συνάρτησης συμμετοχής της εξόδου κάθε κανόνα, δηλαδή

$$\begin{aligned} \mu(y) &= \max(\sigma_1, \mu_1(y)) \vee \max(\sigma_3, \mu_3(y)) \Leftrightarrow \\ \mu(y) &= \min(\max(\sigma_1, \mu_1(y)), \max(\sigma_3, \mu_3(y))) = \\ \mu(y) &= \min(\max(0.75, \mu_1(y)), \max(0.25, \mu_3(y))) \end{aligned}$$

Για τους κανόνες mandami αν w είναι ο βαθμός εκπλήρωσης του κανόνα, το αποτέλεσμα της εφαρμογής του στην έξοδο του συστήματος, θα είναι το α -cut σαφές σύνολο της εξόδου του κανόνα με $\alpha=w$, δηλαδή το $\max(0.75, \mu_1(y))$ με $\alpha=0.75$ ή το $\max(0.25, \mu_3(y))$ με $\alpha=0.25$.

Φαίνεται στο παρακάτω σχήμα η γραφική απεικόνιση του κάθε κανόνα.



[18] Γραφική απεικόνιση – Περιβάλλον MATLAB

Κάθε γραμμή από γραφικές παραστάσεις αναπαριστά την εφαρμογή του κάθε κανόνα του συστήματος, και η γραφική παράσταση κάτω δεξιά το τελικό αποτέλεσμα. Όπως μπορούμε να διακρίνουμε, οι κανόνες 2 και 4 δεν μας δίνουν

άποιο αποτέλεσμα $\mu(y)$. Δημιουργούνται μόνον δύο ασαφή σύνολα από τους δύο κανόνες οι οποίοι μας ενδιαφέρουν (τον κανόνα 1 και τον κανόνα 3).

Το επόμενο βήμα είναι η αποασαφοποίηση, η μέθοδος κατά την οποία από το ασαφές σύνολο που παράχθηκε θα πάρουμε μια αριθμητική τιμή από το σύνολο των πραγματικών. Οι κυριότερες μέθοδοι είναι :

- Κεντροειδής αποασαφοποίηση ή αποασαφοποίηση κεντρικής
- Αποασαφοποίηση μέσου όρου των μεγίστων
- Αποασαφοποίηση άθροισης των μεγίστων

Στο παράδειγμά μας χρησιμοποιήσαμε την κεντροειδή αποασαφοποίηση, και η τελική έξοδος του συστήματος για τις τιμές $texture=5$ και $weight=7$ είναι $grasp=2.92$.

6.1.3. Διαφορά συστημάτων ασαφούς λογικής και απλών έμπειρων συστημάτων

Τα συστήματα ασαφούς λογικής παρουσιάζουν πλεονεκτήματα σε σχέση με τα έμπειρα συστήματα που βασίζονται στην κατηγορική λογική ή σε άλλες παρόμοιες μεθόδους αναπαράστασης της γνώσης και εξαγωγής συμπερασμάτων, όταν η ύλη που πρόκειται να αυτοματοποιηθεί χαρακτηρίζεται από ασάφεια ή ακριβέστερα, όταν το πραγματικό των κανόνων δικαίου περιέχει αόριστες έννοιες όπως και όταν η συλλογιστική του εφαρμοστή του δικαίου μπορεί να χαρακτηριστεί ως αβέβαιη, δηλαδή δεν στηρίζεται σε προκείμενες προτάσεις, οι οποίες χαρακτηρίζονται από πλήρη βεβαιότητα.

Πιο συγκεκριμένα, η αναπαράσταση της γνώσης στα έμπειρα συστήματα (όπου χρησιμοποιείται η κατηγορική ή η προτασιακή λογική) προϋποθέτει σε γενικές γραμμές ότι οι όροι των προτάσεων είναι δεδομένοι και μονοσήμαντοι, δηλ. ότι το p είναι p και όχι q , ότι οι σχέσεις μεταξύ τους είναι επίσης μονοσήμαντες, οπότε μπορούν να περιγραφούν από τη δυαδική λογική καθώς και ότι κάθε νομική έννοια μπορεί να οριστεί πλήρως. Αυτοί η μέθοδος αναπαράστασης της γνώσης δεν μπορεί όμως να γίνει σε πολλές περιπτώσεις αποδεκτή, όπως όταν η ύλη του

δικαίου χαρακτηρίζεται από πολυσημία, αλλά και όταν οι νομικές έννοιες αθίστανται αντικείμενο ανάλυσης είναι ασαφής. Οι αόριστες έννοιες του δικαίου ειδικότερα, είναι κατά την ένταση και την έκταση τους σε μεγάλο βαθμό ασαφής έτσι λόγω της δυσχέρειας του σημασιολογικού καθορισμού τους δεν πληρούν τις παραπάνω προϋποθέσεις για την τυποποίηση τους με βάση την κατηγορική λογική και συνεπώς και τις προϋποθέσεις για την δημιουργία εμπειρών συστημάτων.

Περαιτέρω, οι τελεστές της δυαδικής λογικής που χρησιμοποιούνται στα συνήθη νομικά έμπειρα συστήματα αποφέρουν ορθά αποτελέσματα μόνο στις περιπτώσεις, στις οποίες δεν απαιτείτε εκτίμηση των πραγματικών περιστατικών μιας υπόθεσης και στάθμιση των παραγόντων της νομικής επιχειρηματολογίας.

Η προσέγγιση των συστημάτων που βασίζονται σε νομολογιακά προηγούμενα (case-based reasoning systems) στο πρόβλημα της ασάφειας των εννοιών του δικαίου δεν είναι επιτυχεστέρα. Η εξειδικεύει των αόριστων εννοιών μέσω της παράθεσης δικαστικών αποφάσεων σχετικών με το θέμα και της ταύτισης των πραγματικών περιστατικών που εισάγει ο χρήστης στο σύστημα με τις πιο σχετικές αποφάσεις (on point cases) δεν αποφέρει καρπούς στις οριακές περιπτώσεις, στις οποίες δεν υπάρχει νομολογία σχετική με το εκάστοτε υπό κρίση ζήτημα.

Η ασαφής λογική αναπτύχθηκε ακριβώς με σκοπό την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκύπτουν από τη χρήση ασαφών εννοιών στα πλαίσια της επικοινωνιακής συνεννόησης στην πραγματική ζωή, αλλά και σε επιστήμες, όχι μόνο θετικές, αλλά και ανθρωπιστικές, όπως είναι η ψυχολογία και η νομική επιστήμη. Όπως καταδείχθηκε από πολλούς ερευνητές, τα συστήματα ασαφούς λογικής παρέχουν γενικά καλύτερες λύσεις στα προβλήματα της επεξεργασίας της ασαφούς γνώσης από τα λοιπά συστήματα τεχνητής νοημοσύνης. Η θεωρία των ασαφών συνόλων και η ασαφής λογική δεν διέπονται από τους περιορισμούς του μηχανισμού λογικής των κλασικών έμπειρων συστημάτων που αναφέρθηκαν, αλλά παρέχουν τα μέσα για την μαθηματική σύλληψη της ασάφειας και τον προγραμματισμό συστημάτων H/Y που χειρίζονται αποτελεσματικά τις ασαφείς έννοιες του πεδίου εφαρμογής του. Τα συστήματα ασαφούς λογικής που βρίσκουν εφαρμογή στο δίκαιο είναι κατά βάση έμπειρα συστήματα και ποιο συγκεκριμένα, συστήματα βασισμένα σε κανόνες (rule-based experts systems)

Η διαφορά των παραπάνω κατηγοριών έγκειται στο τύπο του λογικού μηχανισμού, ο οποίος χρησιμοποιείται στο πυρήνα τους για την εξαγωγή συμπερασμάτων, καθώς και στη μέθοδο τυποποίησης δεδομένων. Τα νομικά εμπειρα συστήματα που βασίζονται σε κανόνες και στα οποία χρησιμοποιούνται σύγχρονες μέθοδοι λογικής ανάλυσης όπως είναι ο κατηγορικός λογισμός στις διάφορες μορφές του ή μια γλώσσα προγραμματισμού, όπως είναι η Prolog, η οποία υλοποιεί τον κατηγορικό λογισμό πρώτης τάξεως, έχουν καταστεί αντικείμενο συστηματικής ερευνάς και οι αδυναμίες τους έχουν διαπιστωθεί από πολλούς συγγραφείς. Αξίζει εδώ να αναφερθεί ότι ο προγραμματισμός συστημάτων με βάση άλλες σύγχρονες λογικές θεωρήσεις, όπως η δεοντική λογική, δεν έχει καταστεί εφικτός, ενώ αντίθετα θεωρία των ασαφών συνόλων έχει υλοποιηθεί με επιτυχία στα προγράμματα ασαφούς λογικής, γεγονός που οφείλεται στο ότι πρόκειται για μια ακριβή μαθηματική θεωρία και όχι για ένα σύνολο θεωρητικών υποθέσεων ή αξιωμάτων.

Μετά την διαπίστωση ότι η αρχιτεκτονική των εμπειρών συστημάτων και των συστημάτων ασαφούς λογικής είναι η κατά βάση κοινή, προκύπτει εύλογα το ερώτημα εάν η διαφορά λογικού μηχανισμού των εμπειρών συστημάτων και των συστημάτων ασαφούς λογικής είναι τόσο ουσιώδης. Από τη θεωρητική ανάλυση και τη δημιουργία πειραματικών συστημάτων ασαφούς λογικής που επιχειρήθηκε στα πλαίσια της παρούσας έρευνας έχει καταστεί εναργές ότι η τυποποίηση της γνώσεως και η εξαγωγή συμπερασμάτων με βάση την ασαφή λογική διαφέρει ουσιαστικά και παρέχει αρτιότερα αποτελέσματα από τις συνήθεις μεθόδους που εφαρμόζονται στα εμπειρα συστήματα, ακόμα και σε εκείνα που βασίζονται σε αποφάσεις της νομολογίας όταν αντικείμενο της ηλεκτρονικής επεξεργασίας είναι ασαφής έννοιες, αλλά και σε άλλες περιπτώσεις, όπου η λογική εφαρμόζεται από τον άνθρωπο για τη λύση προβλημάτων είναι περισσότερο πολύπλοκη από τα μοντέλα αναπαράστασης της γνώσης και το μηχανισμό λογικής που χρησιμοποιείται στα συνήθη εμπειρα συστήματα.

6.2 Εφαρμογή των Bayesian Belief networks

Τα Δίκτυα Πεποίθησης Bayes (Bayesian Belief Networks, BBN) αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο αναπαράστασης γνώσης και εξαγωγής συμπερασμάτων, υπό συνθήκες αβεβαιότητας. Δεδομένου ενός συνόλου μεταβλητών $D = \langle X_1, X_2, \dots, X_N \rangle$, που κάθε μεταβλητή X_i παίρνει τιμές από ένα σύνολο $T(X_i)$, ένα BBN περιγράφει την κατανομή πιθανότητας στο σύνολο αυτό.

Τυπικά, ένα BBN είναι ένας κατευθυνόμενος ακυκλικός γράφος (Directed acyclic Graph- DAG) που αναπαριστά μία συνδυασμένη πιθανοτική κατανομή (joint probability distribution)

Παρακάτω, θα αναλυθεί η διαδικασία για την δημιουργία ενός αυτόματου εργαλείου [α]. Το μοντέλο που δημιουργήθηκε και περιγράφεται στη συνέχεια βασίστηκε στη χρήση Δικτύων Πεποίθησης Bayes (Bayesian belief networks-BBN). Ως πηγή εκπαίδευσης των δικτύων αυτών χρησιμοποιήθηκαν αρχεία αλληλεπίδρασης (log-files) των μαθητών με το περιβάλλον μάθησης. Τα αρχεία αυτά συσχετίστηκαν με τη στρατηγική επίλυσης, αναλύθηκαν με τη χρήση ενός log file parser ώστε να αποθηκευτούν σε κατάλληλη μορφή για την εφαρμογή αλγορίθμων κατασκευής BBN.

Για τη διαδικασία εξαγωγής συμπερασμάτων με στόχο τη συσχέτιση των καταγεγραμμένων αλληλεπιδράσεων του μαθητή με τις στρατηγικές που ακολούθησε, χρειάζεται να εκπαιδευτεί το δίκτυο από ήδη διαθέσιμα δεδομένα. Η επιλογή των παραμέτρων χρήζει ιδιαίτερης προσοχής, καθότι ο αριθμός των πιθανών δικτύων που μπορούν να τις περιγράψουν, ισούται με $2^{\frac{N(N-1)}{2}}$ όπου N ο αριθμός των μεταβλητών.

Η εκπαίδευση ενός BBN περιλαμβάνει δύο διαδικασίες, την εκπαίδευση της δομής και την εκπαίδευση των παραμέτρων Θ της δομής αυτής. Για τη δεύτερη διαδικασία, χρησιμοποιούμε τις συχνότητες εμφάνισης των τιμών του σώματος εκπαίδευσης. Όσον αφορά τη δομή του δικτύου, χρησιμοποιούμε την παρακάτω εξίσωση μαζί με το θεώρημα του Bayes για να εξακριβώσουμε τη σχέση r μεταξύ δύο υποψηφίων δικτύων B_1 και B_2 αντίστοιχα:

$$r = \frac{P(B_1 | D)}{P(B_2 | D)} \quad (2)$$

$$P(B | D) = \frac{P(D | B)P(B)}{P(D)} \quad (3)$$

όπου

- $P(B | D)$ η πιθανότητα το δίκτυο B να είναι το επιθυμητό δεδομένου του συνόλου D.
- $P(D | B)$ η πιθανότητα που δίνει το δίκτυο B στα δεδομένα D.
- $P(D)$ η «γενική» πιθανότητα των δεδομένων
- $P(B)$ η πιθανότητα του δικτύου B προτού να δοθούν τα δεδομένα.

Εφαρμόζουμε την εξίσωση (3) στη (2). Θεωρώντας ότι τα υποψήφια δίκτυα είναι ισοπίθανα ($P(B1)=P(B2)$) -λαμβάνοντας υπόψη ότι δεν έχουμε πρότερη γνώση για την πιθανότητα ενός δικτύου πριν δούμε τα δεδομένα- η σχέση που εκφράζει το r γίνεται:

$$r = \frac{P(D | B_1)}{P(D | B_2)} \quad (4)$$

Η πιθανότητα που δίνει το δίκτυο στα δεδομένα υπολογίζεται από την εξίσωση των Glymour και Cooper (1999):

$$P(D | B) = \prod_{i=1}^z \prod_{j=1}^{q_i} \frac{\Gamma(\frac{\Xi}{q_i})}{\Gamma(\frac{\Xi}{q_i} + N_{ij})} \prod_{k=1}^{s_i} \frac{\Gamma(\frac{\Xi}{r_i q_i} + N_{ik})}{\Gamma(\frac{\Xi}{r_i q_i})} \quad (5)$$

Σε αντίθεση με τα BBN, ο αλγόριθμος ταξινόμησης Naive Bayes βασίζεται στην υπόθεση ότι οι τιμές των μεταβλητών $\langle X_1, X_2 \dots X_N \rangle$ είναι πιθανοτικά ανεξάρτητες, δεδομένης μιας τιμής ταξινόμησης ν(στρατηγική χρήση). Έχοντας παράσχει ένα σώμα εκπαίδευσης, όταν εισάγουμε ένα νέο διάνυσμα, το οποίο περιγράφεται από ένα σύνολο τιμών $\langle x_1, x_2 \dots x_N \rangle$, ο αλγόριθμος Naive Bayes το ταξινομεί προβλέποντας την τιμή ταξινόμησης VNB χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$V_{NB} = \arg \max_{v_j \in V} P(v_j) \prod_{i=1}^n P(x_i | v_j) \quad (6)$$

Για το πείραμα αυτό χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από την αλληλεπίδραση μιας ομάδας 30 μαθητών πρώτων τάξεων γυμνασίου σε συνθήκες σχολικού

ογαστηρίου με τον μικρόκοσμο C.AR.ME. Το περιβάλλον αυτό είναι ένα ανοικτό, αλληλεπιδραστικό περιβάλλον πολλαπλών αναπαραστάσεων μάθησης των εννοιών που αφορούν στη διατήρηση και στη μέτρηση της επιφάνειας. Το πείραμα περιελάμβανε την επίλυση δύο προβλημάτων, τον μετασχηματισμό ενός μη-κυρτού πολυγώνου σε ένα ισοδύναμο ως προς την επιφάνεια σχήμα και το πρόβλημα της σύγκρισης ενός μη-κυρτού πολυγώνου με ένα τετράγωνο.

Οι μαθητές κλήθηκαν να επιλύσουν και τα δύο προβλήματα με όλους τους δυνατούς τρόπους με χρήση των εργαλείων που διατίθενται από τον μικρόκοσμο. Η ανάλυση των στρατηγικών επίλυσης που ακολούθησαν οι μαθητές προκειμένου να αντιμετωπίσουν τα παραπάνω προβλήματα περιγράφονται στην εργασία. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα αλληλεπίδρασης και οι κατηγορίες των στρατηγικών επίλυσης που ακολούθησαν οι μαθητές στο πρόβλημα της σύγκρισης οι οποίες και παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα :

	Οι κατηγορίες των συγκρίσεων/στρατηγικών	Αριθμός στρατηγικών	% επί του δείγματος
		0	0
1.	Με το 'μάπ'	1	0,87
2.	Με την περίμετρο	21	18,42
3.	Με την αυτόματη λειτουργία της μέτρησης	14	12,28
4.	Με τις προσομοιωμένες αισθησιοκινητικές ενέργειες (ακε) των παιδιών	27	23,68
5.	Με τη λειτουργία της μέτρησης	11	9,64
6.	Με τους αυτόματους μετασχηματισμούς & τη λειτουργία της μέτρησης	14	12,28
7.	Με τους αυτόματους μετασχηματισμούς	16	14,03
8.	Με τους αυτόματους μετασχηματισμούς & τις προσομοιωμένες ακε των παιδιών	3	2,63
9.	Με την αυτόματη λειτουργία της μέτρησης & τους αυτόματους μετασχηματισμούς	2	1,75
10.	Με την αυτόματη λειτουργία της μέτρησης & τις προσομοιωμένες ακε	1	0,87
11.	Με τους τύπους υπολογισμού & τις προσομοιωμένες ακε	1	0,87
12.	Με τους τύπους υπολογισμού & την αυτόματη λειτουργία της μέτρησης	3	2,63
13.	Με αυτόματους μετασχηματισμούς & προσομοιωμένες ακε & τη λειτουργία της μέτρησης & με τύπους υπολογισμού σε συνδυασμό με τον εγκλεισμό του πολυγ.		
	Σύνολο	114	100

[18] Στρατηγικές επίλυσης

Το δείγμα καταγεγραμμένων αρχείων πληκτρολογήσεων από τη διεξαγωγή του πειράματος χρήσης του C.AR.ME. στο οποίο στηρίχθηκε η έρευνα είναι 114, τα οποία στην συνέχεια αναλύθηκαν. Στα περισσότερα από αυτά είχαν καταχωρηθεί σχόλια που περιέγραφαν την στρατηγική που ακολούθησε ο μαθητής, ενώ παράλληλα είχε καταγραφεί και ένα στιγμιότυπο της διεπιφάνειας εργασίας για επαλήθευση του σεναρίου αλληλεπίδρασης που ακολουθήθηκε. Τα δεδομένα αυτά αναλύθηκαν με την βοήθεια εργαλείου που αναπτύχθηκε για υποβοήθηση

ντίστοιχα τη σχεδίαση ενός γεωμετρικού σχήματος, εξαρτώνται μεταξύ τους όχι μως και με το κύριο σώμα του δικτύου.

Επίσης, έχουν καταγραφεί ακόμα τέσσερις (4) μεταβλητές στα αρχεία ελεγχόμενων, οι UnitIteration, Erase, Clear και Symmetry που προκύπτουν ανεξάρτητες από οποιαδήποτε άλλη μεταβλητή και για το λόγο αυτό δεν συμπεριλαμβάνονται στον κόμβο.

Το τελικό αποτέλεσμα με τη χρήση της μεθόδου αυτής ήταν 84,07% (+6,75% στο $p < 0.05$) ορθών προβλέψεων από τα σύνολα ελέγχου.

Ακολούθως, το πείραμα επανελήφθη με χρήση των διαδομένων μηχανικής μάθησης decision tables, J48 PART και Naive Bayes, οι οποίες έχουν ενσωματωθεί στο περιβάλλον αυτόματης εκμάθησης. Στόχος του πειράματος αυτού ήταν η συγκριτική αποτίμηση της αποτελεσματικότητας της μεθόδου BBN σε σχέση και με τις τεχνικές αυτές. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Μέθοδος	Bayesian networks	Naive Bayes	Decision Tables	J48 PART
% επιτυχία	84,07%	72,56%	63,71%	64,60%
Δείκτης ¹	10	8,63	7,57	7,68

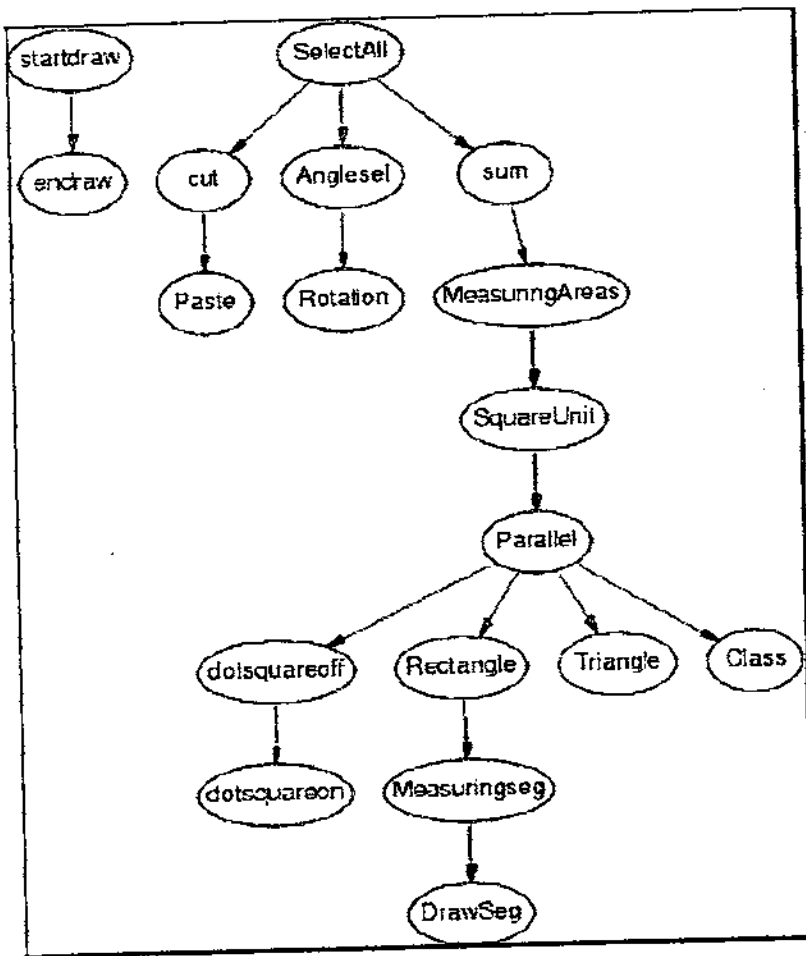
[18] Σύγκριση απόδοσης τεχνικών κατηγοριοποίησης

Από τον πίνακα 2 η προτεινόμενη μέθοδος BBN φαίνεται να υπερτερεί των άλλων μεθόδων αν και όπως περιγράφηκε στην ενότητα 3, άλλες τεχνικές παρουσιάζουν πλεονεκτήματα όσον αφορά την πολυπλοκότητα εφαρμογής τους.

6.2.1. Πλεονεκτήματα & Διαφορές των συστημάτων Bayesian Belief networks

Η προσέγγιση του προβλήματος της αυτόματης καταγραφής των στρατηγικών επίλυσης προβλημάτων ενός μαθητή με τη χρήση BBN φαίνεται να οδηγεί σε συμπαγή και πολυπλεύρως αξιοποιήσιμα αποτελέσματα. Ένα πλεονέκτημα της τεχνικής BBN, σε σχέση με άλλους αλγόριθμους μηχανικής μάθησης, είναι η δυνατότητα εισαγωγής πρότερης γνώσης που αφορά στις ακολουθίες ενεργειών των μαθητών όταν αυτές είναι γνωστές στον εκπαιδευτικό και στον

η διαδικασία αξιολόγησης εκπαιδευτικού λογισμικού αντίστοιχου τύπου, του Usability Analyzer. Στο εργαλείο αυτό ο αξιολογητής έχει τη δυνατότητα να ερευνήσει αναλυτικά την αλληλεπίδραση του μαθητή με το περιβάλλον μάθησης, μέσω της ταυτόχρονης παρουσίασης του αρχείου πληκτρολογήσεων, των σχετικών σχολίων που καταγράφηκαν στη φάση διεξαγωγής του πειράματος καθώς επίσης και αποθηκευμένων στιγμιότυπων από το χώρο εργασίας του μαθητή.



[18] Το Bayesian δίκτυο πεποίθησης που κατασκευάστηκε για τον πιθανοτικό συμπερασμό της ακολουθούμενης στρατηγικής από τα αρχεία πληκτρολογήσεων.

Το σύνολο των δεδομένων αυτών τροφοδότησε τη διαδικασία κατασκευής του BBN, διαγραμματική αναπαράσταση του οποίου φαίνεται στο σχήμα 1. Γενικά, ένα BBN είναι ικανό να υπολογίζει την κατανομή πιθανότητας για οποιοδήποτε υποσύνολο μεταβλητών, δεδομένων των τιμών οποιουδήποτε υποσυνόλου των υπόλοιπων μεταβλητών.

Από τη δομή του δικτύου βλέπουμε ότι οι μεταβλητές startdraw και enddraw που είναι τα γεγονότα που δημιουργούνται όταν ο μαθητής ξεκινά ή τελειώνει

σχεδιαστή του συστήματος. Το ποσοστό επιτυχίας της τεχνικής αυτής συγκρινόμενο ενδεικτικά και με άλλες μεθόδους κατηγοριοποίησης είναι ιδιαίτερα υψηλό, δεδομένου ότι το πλήθος των μειρήσεων του πειράματος που περιγράφηκε είναι ιδιαίτερα μικρό.

Βέβαια, πιθανόν το δίκτυο να αντιμετωπίζει δυσκολία στην αναγνώριση στρατηγικών που εμφανίστηκαν με πολύ μικρή συχνότητα στο δείγμα αναφοράς, κάτι στο οποίο η μελέτη δεν εστίασε. Πιθανά περαιτέρω εμπλουτισμός με περισσότερα πειραματικά δεδομένα θα συμβάλλει στην ευρωστία και μη πόλωση των αποτελεσμάτων.

Από παιδαγωγική σκοπιά, η αυτόματη καταγραφή στρατηγικών σε ανοικτά περιβάλλοντα μάθησης υποστηρίζει και εμπλουτίζει την εκπαιδευτική διαδικασία καθώς οδηγεί στην ταχεία αναγνώριση της υιοθέτησης ή όχι από τους μαθητές συγκεκριμένων στρατηγικών που μεγιστοποιούν την μάθηση, ενώ η εφαρμογή τους σε πραγματικό χρόνο ιδίως σε συστήματα από απόσταση εκπαίδευσης μπορεί να είναι μεγάλη για την διάγνωση και αξιολόγηση του μαθησιακού αποτελέσματος.

Σημαντικό επίσης πλεονέκτημα της προτεινόμενης μεθόδου αποτελεί ο παραγόμενος γράφος, ο οποίος παρέχει μια αναπαράσταση των μεταβλητών που καθορίζουν την φύση της αλληλεπίδρασης χρήστη-συστήματος. Η αναπαράσταση αυτή αποτελεί επίσης μια εύληπτη και κατανοητή μορφή περιγραφής της αλληλεπίδρασης αυτής. Η μελέτη του γράφου μπορεί να μας οδηγήσει σε βελτίωση του περιβάλλοντος. Αναγνωρίζοντας ανά πάσα στιγμή το σημείο στο οποίο βρίσκεται ο χρήστης είναι δυνατή π.χ. η παρουσίαση επίκαιρης βοήθειας με προτεραιότητα σε πιο χρήσιμες συμβουλές ή η παρουσίαση των πλέον πιθανών να ακολουθήσουν επιλογών που σχετίζονται με την τρέχουσα κατάσταση του διαλόγου.

Από παιδαγωγική σκοπιά, η αυτόματη καταγραφή στρατηγικών σε ανοικτά περιβάλλοντα μάθησης υποστηρίζει και εμπλουτίζει την εκπαιδευτική διαδικασία καθώς οδηγεί στην ταχεία αναγνώριση της υιοθέτησης ή όχι από τους μαθητές συγκεκριμένων στρατηγικών που μεγιστοποιούν την μάθηση, ενώ η εφαρμογή τους σε πραγματικό χρόνο ιδίως σε συστήματα από απόσταση εκπαίδευσης μπορεί να είναι μεγάλη για την διάγνωση και αξιολόγηση του μαθησιακού

6.2.2. Εφαρμογές του Bayes (& παραδείγματα)

Η θεωρία απόφασης του Bayes αποτελεί μια από τις σημαντικότερες στατιστικές προσεγγίσεις για το πρόβλημα της ταξινόμησης προτύπων. Βασίζεται στη σύγκριση μεταξύ διαφόρων αποφάσεων ταξινόμησης με βάση τις πιθανότητες και τα κόστη που σχετίζονται με τις αποφάσεις αυτές. Θεωρεί ότι το πρόβλημα απόφασης εκφράζεται με πιθανοθεωρητικούς όρους και ότι όλες οι σχετικές πιθανότητες είναι γνωστές.

Έστω ότι πρέπει να σχεδιαστεί ένας ταξινομητής για το διαχωρισμό δύο ειδών ψαριού: πέρκας και σολομού. Έστω, επίσης, ότι ένας παρατηρητής, ο οποίος παρατηρεί τα ψάρια που μεταφέρονται στον κινούμενο μάντα, δεν είναι σε θέση να προβλέπει το είδος ψαριού που εμφανίζεται κάθε φορά και το ότι η ακολουθία με την οποία εμφανίζονται τα ψάρια είναι εντελώς τυχαία.

Προφανώς οι περιπτώσεις που μπορούν να συμβαίνουν είναι δύο: κάθε ψάρι που έρχεται μπορεί να είναι είτε πέρκα είτε σολομός. Έστω ότι με ω συμβολίζεται η κατάσταση της φύσης, με $\omega = \omega_1$ για την πέρκα και $\omega = \omega_2$ για τον σολομό. Επειδή προφανώς η κατάσταση της φύσης είναι εντελώς απρόβλεπτη, το ω θεωρείται ως μία μεταβλητή που πρέπει να περιγραφεί πιθανοτικά. Εάν ο αριθμός των περκών, συνολικά, είναι ίδιος με τον αριθμό των σολομών, θα μπορούσε κάποιος να ισχυριστεί ότι το επόμενο ψάρι έχει την ίδια πιθανότητα να είναι είτε πέρκα είτε σολομός. Πιο γενικά, μπορούμε να ισχυριστούμε ότι υπάρχει κάποια εκ των προτέρων (a priori) πιθανότητα $P(\omega_1)$ ότι το επόμενο ψάρι θα είναι πέρκα, και κάποια εκ των προτέρων πιθανότητα $P(\omega_2)$ ότι το επόμενο ψάρι θα είναι σολομός. Θεωρώντας ότι δεν υπάρχουν άλλα ήδη ψαριών στην συγκεκριμένη περίπτωση, το άθροισμα των πιθανοτήτων $P(\omega_1)$ και $P(\omega_2)$ ισούται προφανώς με το ένα. Αυτές οι εκ των προτέρων πιθανότητες δείχνουν τη εκ των προτέρων γνώση που έχουμε για το τι ψάρι είναι πιθανόν να εμφανιστεί προτού την πραγματική εμφάνισή του. Αυτή η γνώση, για παράδειγμα, επηρεάζεται από την εποχή του χρόνου που γίνεται η παρατήρηση ή το θαλάσσιο χώρο που έγινε το ψάρεμα.

Έστω λοιπόν ότι σε κάποια χρονική στιγμή πρέπει να πάρουμε απόφαση για το τι ψάρι πρόκειται να εμφανιστεί χωρίς φυσικά να είμαστε σε θέση να το δούμε. Αρχικά, θα μπορούσε κάποιος να ισχυριστεί ότι οποιαδήποτε λανθασμένη απόφαση εμπεριέχει το ίδιο κόστος και ότι η μοναδική πληροφορία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απόφαση είναι οι εκ των προτέρων πιθανότητες. Εάν

πομένως η απόφαση θα έπρεπε να παρθεί υπό αυτές τις συνθήκες, το πιο λογικό θα ήταν να χρησιμοποιηθεί ο παρακάτω κανόνας απόφασης: Αποφάσισε ω_1 εάν $P(\omega_1) > P(\omega_2)$, διαφορετικά αποφάσισε ω_2 .

Ο κανόνας αυτός έχει νόημα εάν πρέπει να παρθεί απόφαση για ένα μόνο ψάρι. Εάν όμως πρέπει να αποφασίσουμε για πολλά ψάρια, ο κανόνας αυτός δεν θα είναι λογικός. Η απόφαση κάθε φορά θα είναι η ίδια εάν και από πριν είναι γνωστό ότι τα είδη των ψαριών που μπορεί να εμφανιστούν είναι δύο. Η απόδοση αυτού του κανόνα απόφασης εξαρτάται αποκλειστικά από τις τιμές των εκ των προτέρων πιθανοτήτων.

Εάν η $P(\omega_1)$ είναι πολύ μεγαλύτερη από την $P(\omega_2)$, τότε η απόφαση υπέρ της ω_1 θα είναι σχεδόν πάντα σωστή. Εάν $P(\omega_1) = P(\omega_2)$ τότε η πιθανότητα σωστής απόφασης θα είναι 50%. Γενικά, η πιθανότητα λάθους είναι ίση με την μικρότερη πιθανότητα από τις $P(\omega_1)$ και $P(\omega_2)$ και όπως θα δούμε και παρακάτω u965 υπό αυτές τις προϋποθέσεις κανένας άλλος κανόνας δεν μπορεί να επιτύχει μεγαλύτερη πιθανότητα σωστής απόφασης. Ευτυχώς, στις περισσότερες περιπτώσεις η διαθέσιμη πληροφορία είναι πολύ μεγαλύτερη. Στο παράδειγμα ταξινόμησης ψαριών, για τη βελτίωση του ταξινομητή, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η φωτεινότητα του δέρματος των ψαριών x . Διαφορετικό είδος ψαριού εμφανίζει και διαφορετική φωτεινότητα στο δέρμα.

Θεωρούμε ότι το x είναι μια συνεχής τυχαία μεταβλητή της οποίας η συνάρτηση κατανομής εξαρτάται από την κατάσταση της φύσης και ισούται με $p(x/\omega)$. Αυτή είναι η υπό συνθήκη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας, δηλαδή η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για το x δεδομένου ότι η κατάσταση της φύσης είναι ω .

Έστω ότι είναι γνωστές τόσο οι εκ των προτέρων πιθανότητες $P(\omega_j)$ όσο και οι υπό συνθήκη συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας $p(x/\omega_j)$, $j=1,2$. Έστω επίσης ότι μετά από τη μέτρηση της φωτεινότητας του δέρματος ενός ψαριού αυτή βρίσκεται ίση με x . Πως μπορεί να επηρεάσει η μέτρηση αυτή την απόφασή μας για το είδος στο οποίο ανήκει στην πραγματικότητα το ψάρι; Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας να βρεθεί ένα ψάρι το οποίο να ανήκει στην κατηγορία ω_j και να έχει τιμή x για το χαρακτηριστικό της φωτεινότητας ισούται με $p(\omega_j/x) = P(\omega_j/x) \cdot p(x) = p(x/\omega_j) \cdot P(\omega_j)$.

Έτσι, μπορούμε να καταλήξουμε στον παρακάτω τύπο απόφασης του Bayes:

$$P(\omega_j/x) = \frac{p(x/\omega_j) \cdot P(\omega_j)}{p(x)}$$

Ο τύπος απόφασης του Bayes δηλώνει ότι με την βοήθεια της παρατήρησης της τιμής του x είναι δυνατόν να μετατραπεί η εκ των προτέρων πιθανότητα $P(\omega_j)$ στην εκ των υστέρων πιθανότητα $P(\omega_j/x)$, δηλαδή την πιθανότητα η κατάσταση της φύσης να είναι η ω_j δεδομένου ότι έχει μετρηθεί η τιμή x για το χαρακτηριστικό.

Η δυνατότητα χρήσης περισσότερων του ενός χαρακτηριστικών γνωρισμάτων απαιτεί την αντικατάσταση του βαθμωτού x από ένα διάνυσμα χαρακτηριστικών x , όπου το x ανήκει σε έναν d -διάστατο Ευκλείδειο χώρο R^d , ο οποίος καλείται χώρος χαρακτηριστικών. Από την άλλη, η ύπαρξη περισσότερων από δύο καταστάσεων της φύσης μας δίνει τη δυνατότητα να γενικεύσουμε τα συμπεράσματά μας. Η δυνατότητα για επιλογή ενέργειας διαφορετικής από την επιλογή κατάστασης της φύσης (ταξινόμηση-κατηγοριοποίηση δειγμάτων) επιτρέπει τη δυνατότητα της απόρριψης, δηλαδή τη δυνατότητα να μην γίνει κατηγοριοποίηση για κάποια δείγματα. Αυτή η επιλογή είναι αρκετά χρήσιμη στην περίπτωση που η μη κατηγοριοποίηση έχει σχετικά χαμηλό κόστος. Η συνάρτηση κόστους δηλώνει ξεκάθαρα πόσο κοστίζει η κάθε ενέργεια και χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον για την μετατροπή του καθορισμού μιας πιθανότητας σε απόφαση για ενέργεια. Οι συναρτήσεις κόστους επιτρέπουν την επιτυχή αντιμετώπιση περιπτώσεων όπου κάποια λάθη ταξινόμησης έχουν μεγαλύτερο κόστος από κάποια άλλα.

Έστω $\{\omega_1, \dots, \omega_c\}$ το πεπερασμένο σύνολο c διαφορετικών καταστάσεων της φύσης («κατηγορίες») και a_1, \dots, a_c το πεπερασμένο σύνολο των a πιθανών ενεργειών. Η συνάρτηση κόστους $\lambda(a_i/\omega_j)$ περιγράφει το κόστος που αντιστοιχεί στην ενέργεια a_i όταν η κατάσταση της φύσης είναι η ω_j . Έστω ότι το διάνυσμα των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων x είναι μια d -διάστατη τυχαία μεταβλητή και

$p(x/\omega_j)$ είναι υπό συνθήκη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για το x , δηλαδή η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για το x υπό τη συνθήκη ότι η $P(\omega_j/x)$ είναι η πραγματική κατάσταση της φύσης. Φυσικά, με $P(\omega_j)$ παριστάνεται η εκ των προτέρων πιθανότητα ότι η κατάσταση της φύσης είναι η ω_j . Επομένως, η εκ των $P(\omega_j/x)$ υστέρων πιθανότητα πορεί να υπολογιστεί από την $P(x/\omega_j)$ με βάση τον

τύπο του Bayes:

$$P(\omega_j / \mathbf{x}) = \frac{p(\mathbf{x} / \omega_j) \cdot P(\omega_j)}{p(\mathbf{x})}$$

6.3 Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, αυτό που θα πρέπει να αναφέρουμε επιγραμματικά είναι οι κατηγορίες των μεθόδων διαχείρισης της αβεβαιότητας. Οι μέθοδοι χωρίζονται σε πέντε κατηγορίες οι οποίες είναι :

- ⊙ Πιθανοτικές μέθοδοι
 - Θεωρήματα του Bayes
- ⊙ Σχεδόν πιθανοτικές μέθοδοι
 - Υποκειμενική μέθοδος Bayes
 - Μέθοδος συντελεστών βεβαιότητας
- ⊙ Επεκτειαμένες πιθανοτικές μέθοδοι
 - Θεωρήματα Dempster-Shafer
- ⊙ Δικτυακά μοντέλα
- ⊙ Μέθοδοι ασαφούς λογικής

Όλες οι μέθοδοι διαχειρίζονται την αβεβαιότητα. Ο νόμος του Bayes είναι μια καλά θεμελιωμένη θεωρία και οι συντελεστές βεβαιότητας χαρακτηρίζονται από απλότητα, αλλά η ασαφής λογική παρουσιάζει σημαντικότερα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις άλλες 2 μεθόδους.

Στην ασαφή λογική υπάρχει μια ευκολία στην αναπαράσταση της γνώσης του εμπειρογνώμονα καθώς και ανεκτικότητα εκεί που παρατηρείται ανακριβής γνώση. Στο δεύτερο κεφάλαιο που αναλύονται οι μέθοδοι είχαμε αναφέρει πως η θεωρία των πιθανοτήτων επιφέρει υψηλό κόστος και πως την λύση σε αυτό την δίνει ο νόμος του Bayes. Αυτό δεν σημαίνει πως ο νόμος του Bayes δεν έχει μειονεκτήματα. Κάποια από αυτά είναι ότι εφαρμόζεται σε περιορισμένα πεδία, δεν ισχύουν πάντα οι υποθέσεις και είναι δύσκολο να υπολογιστούν όλες οι πιθανότητες.

Παρόλη την απλότητα που χαρακτηρίζει τους συντελεστές βεβαιότητας, θα πρέπει να σημειωθεί πως δεν στηρίζονται σε αυστηρή θεωρητική θεμελίωση αλλά ούτε και σημαντική συμβολή στο διαγνωστικό αποτέλεσμα. Επιπλέον, είναι δύσκολο να εκφραστεί η γνώση σε περιπτώσεις όπου υπάρχει μεγάλος αριθμός περιπτώσεων.

Η ασαφής λογική είναι η μέθοδος, η οποία υπερτερεί στα πλεονεκτήματα έναντι των υπολοίπων αλλά αυτό δεν σημαίνει πως δεν παρουσιάζει μειονεκτήματα έναντι άλλων μεθόδων. Η λιγότερη αποδοτικότητα, η δυσκολία στον καθορισμό συναρτήσεων καθώς και η έλλειψη αυστηρού τρόπου εγκυροποίησης αποτελούν τα μειονεκτήματα της.

Υστερα από την ερευνητική δραστηριότητα που αναπτύχθηκε κατά την διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής, η θετική μας γνώμη για την καλύτερη διαχείριση της αβεβαιότητας τείνει στην μέθοδο της ασαφούς λογικής. Αναλυτικότερα, επιλέγεται αυτή η μέθοδος λόγω της ευρωστίας που παρουσιάζει στις έννοιες. Δηλαδή, δεν περιορίζεται σε μια έννοια. Το υπερσύνολο που χαρακτηρίζει την ασαφή λογική της δίνει το πλεονέκτημα έναντι των υπολοίπων.

Η δεύτερη κατά σειρά πλεονεκτημάτων είναι ο νόμος του Bayes. Γενικότερα αυτός ο νόμος, υπολογίζει περισσότερες πιθανότητες έναντι των υπολοίπων μεθόδων μας βοηθάει στην μείωση του κόστους και μας δίνει περισσότερο βέβαια αποτελέσματα έναντι των υπολοίπων.

Επιπλέον, παρατηρήσαμε την χρησιμότητα που παρέχουν τα έμπειρα συστήματα στην καθημερινότητα. Η εξέλιξη τους, θα βοηθήσει αρκετά στο μέλλον, είτε σε προβλήματα μικρής σημασίας, αλλά και σε θέματα σημαντικότερα, αρκεί οι ειδικοί να τα εκμεταλλευτούν σωστά.

Αξίζει να σημειωθεί πως τα τελευταία χρόνια τα έμπειρα συστήματα δεν παρουσιάζουν την αποδοχή που περιμέναμε. Από την ερευνητική μας δραστηριότητα, βρήκαμε στοιχεία για τον αριθμό εμπειρών συστημάτων μέχρι το 1992. Η μόνη πληροφορία που έχουμε [3], είναι πως μετά το 1992 η δημοτικότητα των εμπειρών συστημάτων παρουσίασε απότομη πτώση. Τα τελευταία χρόνια όμως, επέστρεψαν πάλι για να μας θυμίσουν την σημαντική τους χρησιμότητα.

Οι πιθανοί λόγοι για τους οποίους παρουσιάστηκε αυτή η πτώση του ενδιαφέροντος είναι οι εξής:

- ❖ Η συντήρηση των εμπειρών συστημάτων είναι εξαιρετικά δύσκολη, καθώς η τροποποίηση ή η προσθήκη κάποιου κανόνα επηρεάζει άλλους κανόνες.
- ❖ Η αδυναμία των Ε.Σ. να εφαρμοσθούν σε τομείς όπου δεν υπάρχει τυποποιημένη γνώση
- ❖ Η απροθυμία των προγραμματιστών να αποκτήσουν εξειδικευμένη γνώση, έτσι ώστε να ενσωματώσουν την τεχνολογία των Ε.Σ στα προγράμματα τους.
- ❖ Η απροθυμία των ειδικών, μπροστά στον κίνδυνο να χάσουν τις δουλειές τους. Συνήθως κάθε νέα τεχνολογία πλήττει τους εργαζομένους κατωτέρων στρωμάτων, αυτή όμως η τεχνολογία θα έπληπε τους ειδικούς.
- ❖ Δεν υπάρχει ξεκαθαρισμένο επιχειρησιακό όφελος για κάθε επιχείρηση. Παραπάνω αναφέρθηκαν αρκετά έμπειρα συστήματα χωρίς όμως να αποδεικνύεται το όφελος τους.

Τα πλεονεκτήματα των Ε.Σ. είναι πολλά και αρκετά χρήσιμα. Αυτό που θα θέλαμε να αναφέρουμε, κλείνοντας την πτυχιακή μας, είναι πως μετά την πώση ενδιαφέροντος για τα Ε.Σ. η πρόοδος συνέχισε σε άλλους τομείς συστημάτων γνώσεως όπως τα Νευρονικά Δίκτυα (neural networks), γενετικοί αλγόριθμοι (genetic algorithms), προγράμματα επαγωγής κανόνων (rule induction programs), και συλλογιστική βάση περιπτώσεων (cased based reasoning).

Βιβλιογραφία

- [1] Adrian M., Bernaro J., Smith F., "Bayesian theory", John Wiley & sons, 1994
- [2] Bandemer H., "Fuzzy sets & fuzzy logic fuzzy methods", John Wiley & sons, 1995
- [3] Basileiadis, N., Blaxabas, I., Kefalas P., Kokkoras F., Sakellariou I., "Artificial Intelligence", Publishing Gartagani , Salonica 2002
- [4] Carlin P., B., "Bayes & empirical bayes methods for data analysis", Thomas a louis, chapman & hall, 1996
- [5] Charniak E., Mc Dermott D., "Introduction to Artificial Intelligence", Addison Wesley Publishing Company", 1985
- [6] Chen C., H., "Fuzzy logic & Neural network handbook", Mc Graw Hill Inc , 1996
- [7] Dimitriadis A., " Management Information Systems" Publisher New Technology, Athens 1998
- [8] Dixit A., "Investment under uncertainty", Princeton university press, 1994
- [9] Freiburger P., Mc Neil D., "FUZZY LOGIC the revolutionary technology that is changing our world" , Touchstone Rockfeiller center, 1993
- [10] Golub A., L., " Decision Analysis, An integrated approach", John Wiley & Sons, 1997
- [11] King R., E., "The Computerized Intelligence to control the systems", Publisher Traylos P., 1998
- [12] Kosko B., "Fuzzy thinking", Synalma , 1993
- [13] Lowen R., Roubens M., "FUZZY LOGIC, state of the art" Kluwer Academic Publishers, 1993
- [15] Mageirou E., "Notes to Decision making" Athens University press, Academic notes, 2002
- [16] Nguyen H., T., Walker E., A., "A first course in Fuzzy logic", Chapman & Hall, crg, 2000

[17] Schneider M., Kandel A., Langolz G., Chew G., "Fuzzy expert system tools", Wiley 1997

[18] Tsakalidis A., Xatziligeroudis I., "Artificial Intelligence & Expert Systems", Patras University press, Academic notes, 2000

Πρόσθετη Συμπληρωματική Βιβλιογραφία

[a] Avouris N., "Automatic accusation strategies solution problems from students with Bayesian Belief networks", Patras University Press, 2002

[b] Tzafesta G. Spyrou, "Computerized intelligence" (tome B'), National Metsoveio Polytechnic Athens, 2002

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

- a) <http://www.strategic.gr/It/ardouni.htm>
- b) <http://www.serresbiz.com/attach/BP.htm>
- c) <http://www.istoselides.gr/pro/html/article.php?sid=830>
- d) http://hyperion.math.upatras.gr/courses/soctech/thefoit/erg99/theodorou_etal/
- e) <http://www.fuzzy-logic.com/Ch1.htm>
- f) <http://www.mathematics.gr/forum/thread.asp?PostID=13&ForumId=22>
- g) <http://paroutsas.jmc.gr/glossol/kef4.htm>
- h) www.omega.com/techref/fuzzylogic.html
- i) <http://cati.csufresno.edu/upda/95/winter/story1.html>
- j) <http://www.fuzzy-logic.com/Ch2.htm>
- k) <http://aibook.csd.auth.gr/>
- l) <http://hyperion.math.upatras.gr/courses/soctech/thefoit/erg99/hatzinakis/>
- m) <http://mlab.csd.auth.gr/mathind/Greek/0-Introduction/IndMath/Applications.html>
- n) <http://www.extremes.gr/investor/1>
- o) www.hri.org/E/2001/01-0109.dir/keimena/economy/fin6.htm
- p) <http://www.dpem.tuc.gr/fel/finclas.htm>
- q) <http://www.liaison.tuc.gr/TUCLabs/8.html>
- r) www.dpem.tuc.gr/staff/DEP/matsatsinis/pub.htm
- s) <http://www.dbai.tuwien.ac.at/marchives/fuzzymail95/0957.html>
- t) <http://www.kpsplc.com/pages/expertplant.htm>
- u) <http://www.chrisnaylor.co.uk/Title.html>

- v) <http://www.attar.com/tutor/configuration.htm>
- w) <http://members.aol.com/wsiler/chap01.htm>
- x) http://developer.com/java/other/article.php/10936_1475381_2
- y) <http://ford.nmt.edu:8080/feet.jsp>
- z) http://baervan.nmt.edu/research_groups/REACT/expert/fuzzyimp.html
- aa) <http://www.cs.vu.nl/~ksprac/2002/doc/fuzzyJDocs/FuzzyJess.html>
- bb) <http://iit-iti.nrc-cnrc.gc.ca/iit-publications-iti/docs/NRC-44882.pdf>
- cc) <http://ubicomp.lancs.ac.uk/~kristof/research/notes/clipsvsjess/index.html>

