

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

**ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ
ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΩΝ
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ ΣΕ
ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ**

Υπό
ΝΤΕΓΙΑΝΝΗ ΣΤΑΥΡΟ

Χανιά, 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ	2
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	2
2.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ.....	2
2.3 ΓΕΝΙΚΟ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ.....	3
2.4 ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ.....	5
2.4.1 Μεθοδολογικό πλαίσιο της πολυκριτήριας ανάλυσης.....	7
2.5 ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	8
2.5.1 Η Μέθοδος UTADIS.....	8
2.5.2 Η Μέθοδος ELECTRE TRI.....	11
2.5.2.1 Περιγραφή της μεθόδου ELECTRE TRI.....	12
2.5.2.2 Διαφορικός εξελικτικός αλγόριθμος.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ ΣΕ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ	17
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	17
3.2 ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	17
3.2.1 Περιγραφή δεδομένων.....	17
3.2.2 Αποτελέσματα-Σύγκριση	20
3.3 ΤΕΧΝΗΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	23
3.3.1 Περιγραφή δεδομένων.....	23
3.3.2 Αποτελέσματα-Σύγκριση	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	37
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	39

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πολυκριτήρια ανάλυση αποτελεί ένα εργαλείο λήψης αποφάσεων που αναπτύχθηκε για να περιορίσει τη σύγχυση που προκαλείται σε περιπτώσεις που εμπλέκονται μεταξύ τους πολλά και διαφορετικής φύσεως κριτήρια που αφορούν συγκεκριμένες επιλογές. Μέσω των πολυκριτήριων μεθόδων επιτυγχάνεται η σύνθεση ενός μεγάλου όγκου πληροφοριών διατηρώντας παράλληλα τους στόχους και τις προτιμήσεις του εκάστοτε λήπτη της απόφασης.

Κατά την προσπάθεια όμως εξέτασης όλων των παραμέτρων ενός προβλήματος και των κριτηρίων/παραγόντων που επηρεάζουν τη λήψη της κατάλληλης απόφασης, γεννάται ένα ιδιαίτερα σημαντικό πρόβλημα το οποίο αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί η σύνθεση όλων των παραμέτρων ώστε να επιτευχθεί η λήψη ορθολογικών αποφάσεων. Η αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού οδήγησε στην ανάπτυξη κάποιων πολυκριτήριων μεθοδολογιών.

Μια διαδεδομένη τυπολογία προβλημάτων λήψης αποφάσεων αφορά την ταξινόμηση ενός συνόλου εναλλακτικών επιλογών σε προκαθορισμένες κατηγορίες. Το πρόβλημα της ταξινόμησης παρουσιάζει σημαντικές εφαρμογές στη διοίκηση, τα χρηματοοικονομικά, το μάρκετινγκ, αλλά και στην επιστήμη του μηχανικού. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η συγκριτική αξιολόγηση δύο εκ των πιο διαδεδομένων πολυκριτήριων μεθοδολογιών ταξινόμησης, της μεθόδου ELECTRE TRI και της μεθόδου UTADIS. Η σύγκριση των δυο προαναφερθέντων πολυκριτήριων μεθοδολογιών ταξινόμησης βασίζεται τόσο σε πραγματικά όσο και πειραματικά δεδομένα. Ο πειραματικός σχεδιασμός επιτρέπει την πραγματοποίηση της σύγκρισης σε δεδομένα με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και επιτρέπει την εξαγωγή εκτιμήσεων όσον αφορά την αναμενόμενη αποτελεσματικότητα των εξεταζόμενων μεθόδων στην αντιμετώπιση προβλημάτων ταξινόμησης, σε σχέση με τα χαρακτηριστικά των δεδομένων που αναλύονται.

Στο Κεφάλαιο 2, γίνεται μία εισαγωγή στο γνωστικό πεδίο της λήψης αποφάσεων, με έμφαση στο πρόβλημα της ταξινόμησης και περιγράφονται οι δύο πολυκριτήριες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην εργασία.

Στο Κεφάλαιο 3, αρχικά παρατίθενται τα πραγματικά δεδομένα και στη συνέχεια περιγράφεται η διαδικασία με τη οποία προέκυψαν τα πειραματικά δεδομένα. Στη συνέχεια πραγματοποιείται η σύγκριση και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προήλθαν από την εφαρμογή των προαναφερθέντων πολυκριτήριων μεθοδολογιών ταξινόμησης. Η ανάλυση και για τα δύο είδη δεδομένων πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον MATLAB.

Τέλος, στο κεφάλαιο 4, συνοψίζονται τα συμπεράσματα της εργασίας και αναφέρονται πιθανές μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό, σε πρώτη φάση, παρουσιάζεται ο ορισμός της ταξινόμησης, η σημασία της καθώς επίσης το γενικό περίγραμμα των μεθοδολογιών αυτής. Εν συνεχεία γίνεται η παρουσίαση των βασικών αρχών του πολυκριτήριου προβλήματος. Στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζονται δύο από τις σημαντικότερες μεθοδολογίες της πολυκριτήριας ταξινόμησης, η UTADIS και η ELECTRE TRI.

2.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

Η ταξινόμηση είναι μια συλλογιστική διαδικασία. Πολύ συχνά κρίνονται ή παίρνονται αποφάσεις αφού πρώτα ο αποφασίζων έχει διακρίνει στο μυαλό του κατηγορίες, με βάση συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Κάθε κατηγορία προδιαθέτει την μονάδα να την αντιμετωπίσει με διαφορετικό τρόπο. Επομένως με βάση την ιδέα της ταξινόμησης θα μπορούσε να διευκολυνθεί ο τρόπος λήψης αποφάσεων. Οι εναλλακτικές δράσεις κατηγοριοποιούνται και έτσι το πρόβλημα απόφασης δεν είναι πλέον η επιλογή μίας εκ των εναλλακτικών αλλά το πώς θα αντιμετωπισθεί κάθε κατηγορία.

Ένας αυστηρός και περιεκτικός ορισμός της ταξινόμησης δόθηκε από τον Mirkin (1998) και είναι ο εξής:

“ Ταξινόμηση είναι η ρεαλιστική ή ιδεατή τοποθέτηση μαζί παρόμοιων αντικειμένων, και ο διαχωρισμός των αντικειμένων τα οποία διαφέρουν με απώτερο σκοπό:

1. Τη διαμόρφωση, οργάνωση και διατήρηση της γνώσης,
2. Την ανάλυση της δομής του φαινομένου που εξετάζεται,
3. Τη συσχέτιση των διαφόρων πλευρών του υπό εξέταση φαινομένου.”

Στη ξένη βιβλιογραφία χρησιμοποιούνται τρεις όροι που βασίζονται στην ιδέα της ταξινόμησης και οι οποίοι εμφανίζουν μικρές διαφοροποιήσεις μεταξύ τους. Αυτοί είναι:

- Discrimination (διάκριση)
- Classification (ταξινόμηση)
- Sorting (διατεταγμένη ταξινόμηση).

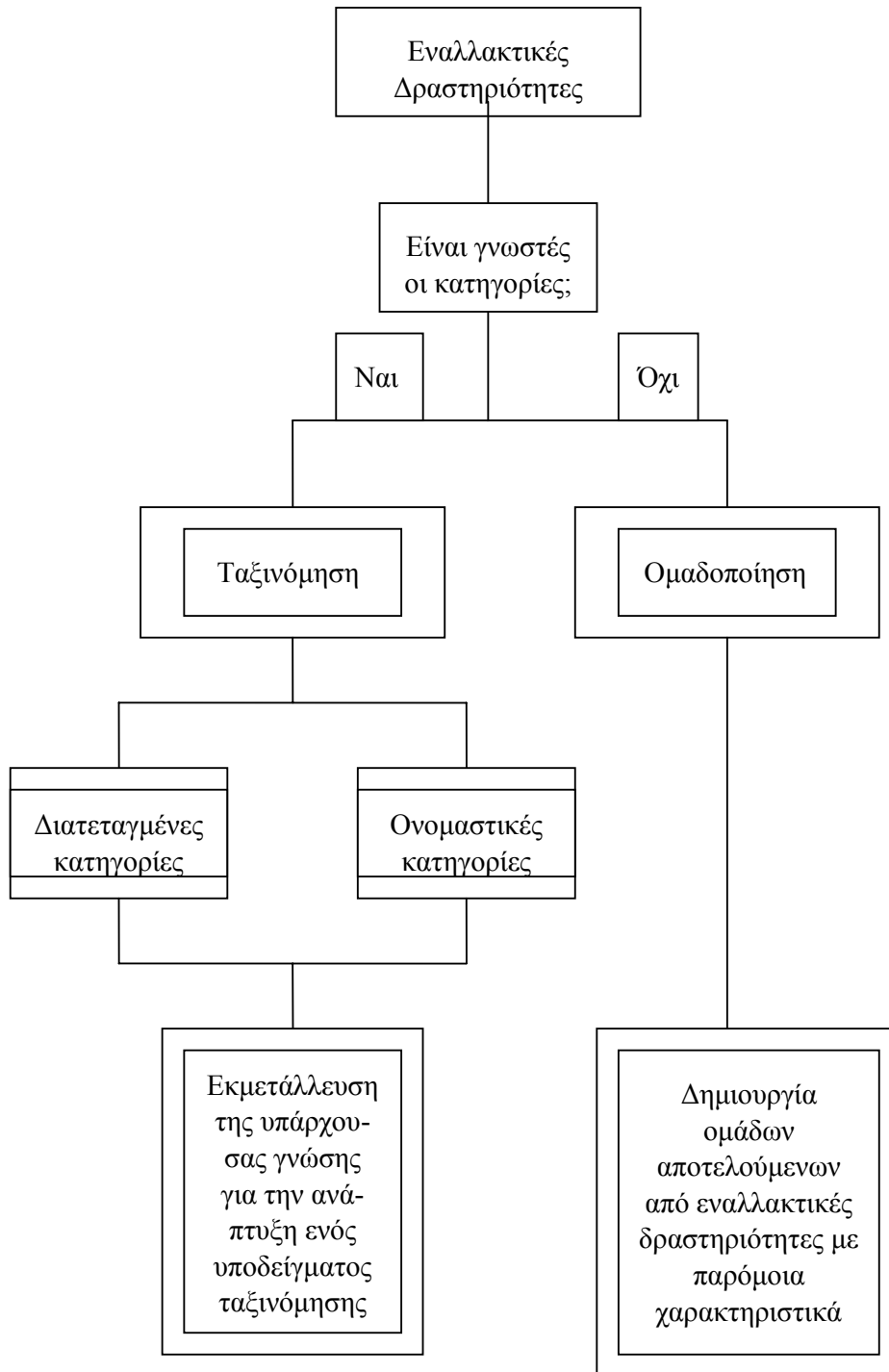
Οι δύο πρώτοι όροι περιγράφουν την ένταξη των εναλλακτικών δραστηριοτήτων σε κατηγορίες που ορίζονται με ονομαστικό τρόπο (nominal categories). Κατά συνέπεια οι εναλλακτικές δραστηριότητες που εντάσσονται σε αυτές τις κατηγορίες παρουσιάζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά από τις υπόλοιπες (Zorounidis and Doumpos, 2002). Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι δυνατόν να συγκριθούν ως προς το αν είναι καλύτερες ή χειρότερες ούτε είναι δυνατόν να ορίσουμε για αυτές μία διατεταγμένη σειρά προτίμησης. Αντίθετα η διατεταγμένη ταξινόμηση μας προσφέρει ακριβώς αυτή την δυνατότητα: οι εναλλακτικές δραστηριότητες είναι ταξινομημένες σε κατηγορίες που μπορούν να διαταχθούν και έτσι γίνεται δυνατός ο ορισμός μιας σειράς προτίμησης.

Στο σημείο αυτό αξίζει να τονιστεί και η διαφορά της ταξινόμησης από το παρόμοιο πρόβλημα της ομαδοποίησης. Η κύρια διαφορά των δύο αυτών προβλημάτων συνίσταται στο γεγονός ότι ενώ στην προβληματική της ταξινόμησης οι κατηγορίες στις οποίες θα πρέπει να τοποθετηθούν οι εναλλακτικές είναι εκ των προτέρων γνωστές, στο πρόβλημα της ομαδοποίησης σκοπός είναι ο σχηματισμός ομάδων αποτελούμενων από εναλλακτικές δραστηριότητες με παρόμοια χαρακτηριστικά. Συνεπώς ενώ κατά την ταξινόμηση υπάρχει μία εκ των προτέρων γνώση της μορφής του αποτελέσματος, στην ομαδοποίηση πραγματοποιείται διαμόρφωση αυτής της γνώσης.

Στο σχήμα 2.1 συνοψίζονται όλες οι παραπάνω παρατηρήσεις σχετικά με το πρόβλημα της ταξινόμησης και τη διαφορά του από το πρόβλημα της ομαδοποίησης.

2.3 ΓΕΝΙΚΟ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

Η επίλυση του προβλήματος της ταξινόμησης συνίσταται στην ανάπτυξη ενός υποδείγματος της μορφής $f(g) \rightarrow \hat{C}$, το οποίο θα αποδίδει την ταξινόμηση των εναλλακτικών δραστηριοτήτων συναρτήσει των χαρακτηριστικών τους όπως αυτά αποτυπώνονται στο διάνυσμα g (το διάνυσμα g συμβολίζει το σύνολο των ανεξάρτητων μεταβλητών). Η ανάπτυξη του υποδείγματος αυτού θα πρέπει να πραγματοποιηθεί έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί ένα μέτρο των διαφορών που εντοπίζονται μεταξύ της εκτιμώμενης ταξινόμησης \hat{C} , και της δεδομένης ταξινόμησης. Εφεξής, η εξαρτημένη μεταβλητή που υποδηλώνει την ταξινόμηση των εναλλακτικών δραστηριοτήτων θα συμβολίζεται ως C ενώ οι κατηγορίες θα συμβολίζονται ως C_1, C_2, \dots, C_q , όπου q είναι το πλήθος των κατηγοριών. Το δείγμα των παρατηρήσεων (C, g) που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη των υποδειγμάτων ταξινόμησης ονομάζεται δείγμα εκπαίδευσης.



Σχήμα 2.1: Τα προβλήματα της ταξινόμησης και της ομαδοποίησης (Πηγή: Δούμος και Ζοπουνίδης, 2001)

Το περίγραμμα της γενικής διαδικασίας ανάπτυξης που ακολουθείται από την πλειοψηφία των υπαρχόντων μεθοδολογικών προσεγγίσεων παρουσιάζεται στο σχήμα 2.2.

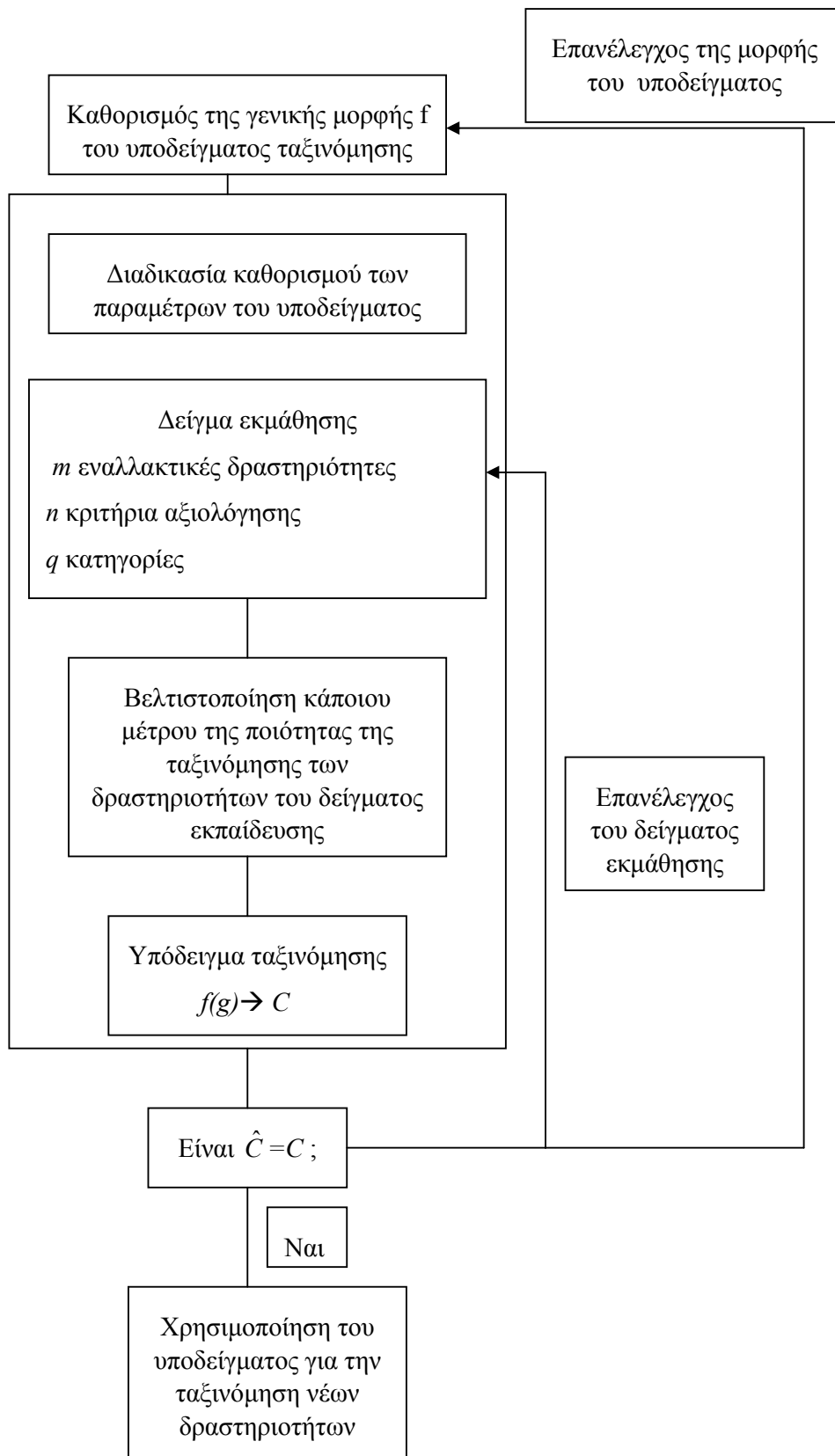
Ουσιαστικά η χρησιμότητα της διαδικασίας, που εμφανίζεται στο σχήμα 2.2 βασίζεται στην εκμετάλλευση της υπάρχουσας γνώσης, όπως αυτή αναπαριστάται στο δείγμα εκπαίδευσης, με σκοπό την μοντελοποίηση και αναπαράστασή της σε ένα υπόδειγμα ταξινόμησης, το οποίο θα διαθέτει την απαραίτητη ικανότητα γενίκευσης.

2.4 ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Σκοπός της πολυκριτήριας λήψης αποφάσεων είναι να διευκολυνθούν οι αποφασίζοντες, οι οποίοι συνήθως δυσκολεύονται να διαχειριστούν έναν μεγάλο όγκο δεδομένων με συνεπή τρόπο. Χρησιμοποιώντας την τεχνική του «διαίρει και βασίλευε» ένα σύνθετο πρόβλημα απόφασης διασπάται σε απλούστερα υποπροβλήματα και στο τέλος τα αποτελέσματα συνδυάζονται ώστε να δώσουν την τελική λύση. Όλες οι μέθοδοι της πολυκριτήριας ανάλυσης βασίζονται στην ίδια ιδέα: το πρόβλημα απόφασης περιγράφεται από κριτήρια, καθορίζονται οι εναλλακτικές δραστηριότητες και οι επιδόσεις τους στα κριτήρια, προσδιορίζονται διαβαθμίσεις των κριτηρίων που χαρακτηρίζουν τις επιδόσεις και τέλος, τα βάρη των κριτηρίων. Οι διαφοροποιήσεις των μεθόδων εντοπίζονται στον τρόπο συλλογής και συνδυασμού των δεδομένων ώστε να προκύψει το αποτέλεσμα.

Η πολυκριτήρια ανάλυση προσφέρει ένα σύνολο μεθόδων οι οποίες ιεραρχούν τις εναλλακτικές δραστηριότητες που επιλύουν ένα πρόβλημα, συναρτήσε των επιδόσεων τους σε συγκεκριμένα κριτήρια. Κάθε εναλλακτική δραστηριότητα ικανοποιεί σε διαφορετικό βαθμό τα κριτήρια, ενώ είναι πρακτικά αδύνατο να υπάρχει μία εναλλακτική δραστηριότητα η οποία να ικανοποιεί όλα τα κριτήρια στο βέλτιστο επιθυμητό επίπεδο.

Ένα βασικό χαρακτηριστικό της πολυκριτήριας λήψης αποφάσεων είναι ότι δίνεται ιδιαίτερη σημασία στην κρίση της ομάδας των αποφασιζόντων σε όλα τα στάδια της διαδικασίας: στην επιλογή των αντικειμενικών στόχων και των κριτηρίων στον υπολογισμό των βαρών των κριτηρίων αλλά και των διαβαθμίσεων της επίδοσης σε κάθε κριτήριο. Η υποκειμενικότητα της κρίσης κάθε αποφασίζοντα είναι ένας παράγοντας που δεν μπορεί να αγνοηθεί. Ωστόσο, η δυνατότητα που δίνεται σε κάθε αποφασίζοντα να ελέγχει και να δίνει τα δικά του δεδομένα σε κάθε στάδιο της διαδικασίας επιλογής της εναλλακτικής καθιστά τις μεθόδους της πολυκριτήριας ανάλυσης ως τις πιο δημοφιλείς και αποδεκτές.

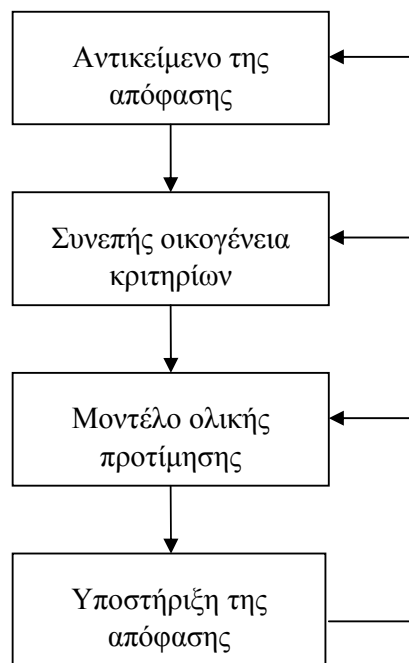


Σχήμα 2.2: Γενικό περίγραμμα της διαδικασίας ανάπτυξης υποδειγμάτων ταξινόμησης (Πηγή: Δούμπος και Ζοπουνίδης, 2001)

2.4.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Όπως προαναφέρθηκε κύριο αντικείμενο της πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων και κοινό στοιχείο όλων των μεθοδολογικών προσεγγίσεων του χώρου είναι η ανάπτυξη και χρήση υποδειγμάτων σύνθεσης όλων των βασικών παραμέτρων ενός προβλήματος. Στόχος είναι να υποστηριχθεί ο αποφασίζων στη λήψη ορθολογικών αποφάσεων με βάση το σύστημα αξιών και προτιμήσεων που τον διέπει. Ο στόχος αυτός είναι μία ιδιαίτερη σύνθετη διαδικασία που δεν οδηγεί στις βέλτιστες αλλά στις πιο ικανοποιητικές αποφάσεις.

Ο Roy (1985) παρουσίασε ένα γενικό πλαίσιο αντιμετώπισης προβλημάτων λήψης αποφάσεων. Το πλαίσιο αυτό (Σχήμα 2.3) χαρακτηρίζει απόλυτα τη φιλοσοφία όλων των μεθοδολογιών του χώρου.



Σχήμα 2.3: Η διαδικασία της λήψης αποφάσεων στα πλαίσια της πολυκριτήριας ανάλυσης (Roy 1985)

Το πρώτο στάδιο αφορά τον προσδιορισμό του προβλήματος που απαιτεί λήψη απόφασης. Ταυτόχρονα ο αποφασίζων καθορίζει ποια συγκεκριμένα πολυκριτήρια τεχνική θα εφαρμοστεί.

Στο δεύτερο στάδιο γίνεται η ανάλυση των επιπτώσεων των εναλλακτικών δράσεων και ανάπτυξη των κριτηρίων. Συζητείται το κατά πόσο ο τρόπος μοντελοποίησης

του προβλήματος θα επηρεάσει τελικά την απόφαση. Ερευνάται το πώς κάθε απόφαση συσχετίζεται με τους αντικειμενικούς στόχους και με το σύστημα αξιών του αποφασίζοντα, το πως μπορούν οι επιπτώσεις κάθε δράσης να μοντελοποιηθούν και κατά πόσο αυτό θα βοηθήσει στην διασαφήνιση της απόφασης μέσα σε μια διαδικασία που υπάρχουν ανακρίβειες, αμφιβολίες, αναποφασιστικότητα και τέλος, το πώς μπορούν να αναπτυχθούν κριτήρια κάτω από αυτές τις συνθήκες.

Στο τρίτο στάδιο γίνεται περιεκτική μοντελοποίηση των προτιμήσεων του αποφασίζοντα και προσπάθεια για σύνθεση τους. Δεδομένου ότι επιλέχθηκε ένα σύνολο κριτηρίων που αντανάκλα το εύρος των συνεπειών που θα έχει η απόφαση της ομάδας, κάθε μέλος προτιμά διαφορετικές επιδόσεις σε κάθε κριτήριο. Η σύνθεση των επιδόσεων σε κάθε κριτήριο θα κατευθύνει την επιλογή του αποφασίζοντα προς την σωστή εναλλακτική δράση.

Στο τέταρτο στάδιο πραγματοποιείται διερεύνηση και αξιολόγηση της απόφασης. Επιπλέον κρίνεται η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για να λυθεί το πρόβλημα όσον αφορά στην επιλογή προβληματικής αλλά και στον τρόπο σύνθεσης των προτιμήσεων.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα τέσσερα στάδια δεν είναι διαδοχικά και είναι δυνατό να συνδυαστούν με οποιαδήποτε σειρά.

2.5 ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

Δύο από τις σημαντικότερες τεχνικές ταξινόμησης είναι η UTADIS και η ELECTRE TRI. Σύμφωνα με τα όσα αναγράφονται στο βιβλίο των Δούμπος και Ζοπουνίδης (2001) η τεχνική UTADIS ανήκει στον χώρο της αναλυτικής συνθετικής προσέγγισης ενώ η τεχνική ELECTRE TRI βασίζεται στην θεωρία των σχέσεων υπεροχής (Roy, 1991). Η θεωρία των σχέσεων υπεροχής, ουσιαστικά συνθέτει τα δεδομένα ενός προβλήματος ώστε να καταλήξει στο τελικό αποτέλεσμα, ενώ, αντίθετα η αναλυτική συνθετική προσέγγιση (Jacquet-Lagrèze and Siskos, 1982) αναλύει τα υπάρχοντα δεδομένα ώστε να εντοπίσει το υπόδειγμα που αναπαριστά όσο πιο πιστά γίνεται το σύστημα αξιών και προτιμήσεων του αποφασίζοντα.

2.5.1 Η ΜΕΘΟΔΟΣ UTADIS

Η μέθοδος UTADIS (Devaud et al., 1980, Jacquet-Lagrèze, 1985, Jacquet-Lagrèze and Siskos, 1982, Zorounidis and Doumpos, 1999) αποτελεί μια προσαρμογή της μεθόδου UTA στην περίπτωση όπου σκοπός δεν είναι η κατάταξη των εναλλακτικών δραστηριοτήτων, αλλά η ταξινόμηση τους σε προκαθορισμένες ομοιογενείς κατηγορίες. Οι κατηγορίες αυτές είναι διατεταγμένες από τις καλύτερες προς τις χειρότερες υπό την παρακάτω μορφή:

$$C_1 \succ C_2 \succ C_3 \succ \dots \succ C_q$$

Η προσθετική συνάρτηση χρησιμότητας έχει τη μορφή:

$$U(g) = \sum_{i=1}^n p_i u_i(g_i)$$

Όπου:

$g = (g_1, g_2, \dots, g_n)$ είναι το διάνυσμα των n κριτηρίων αξιολόγησης

p_i είναι η σημαντικότητα του κριτηρίου g_i και ισχύει $\sum_{i=1}^n p_i = 1$

$u_i(g_i)$ είναι η συνάρτηση μερικής χρησιμότητας του κριτηρίου g_i

Όλες οι χρησιμότητες, ολικές και μερικές, ανήκουν στο διάστημα $[0,1]$. Στη περίπτωση q κατηγοριών η ταξινόμηση γίνεται βάσει των ακόλουθων κανόνων:

$$U(g_j) \geq u_1 \Rightarrow x_j \in C_1$$

$$u_2 \leq U(g_j) < u_1 \Rightarrow x_j \in C_2$$

.....

$$u_k \leq U(g_j) < u_{k-1} \Rightarrow x_j \in C_k$$

.....

$$U(g_j) < u_{q-1} \Rightarrow x_j \in C_q$$

όπου u_1, u_2, \dots, u_{q-1} είναι τα όρια διαχωρισμού των κατηγοριών.

Έχοντας ως δεδομένη την ταξινόμηση των εναλλακτικών δραστηριοτήτων του συνόλου αναφοράς, σκοπός της μεθόδου είναι η ανάπτυξη ενός υποδείγματος σύνθεσης των κριτηρίων αξιολόγησης το οποίο θα ταξινομεί τις εναλλακτικές δραστηριότητες με το μικρότερο δυνατό σφάλμα ταξινόμησης.

Το σφάλμα προσδιορίζεται ως εξής:

$$\gamma = \frac{1}{q} \sum_{k=1}^q \frac{1}{m_k} \sum_{\forall x_j \in C_k} E_j$$

όπου

$$E_j = \begin{cases} 0, & \text{εάν και μόνο εάν } \hat{C}_j = C_j \\ 1, & \text{εάν και μόνο εάν } \hat{C}_j \neq C_j \end{cases}$$

και m_k το πλήθος των εναλλακτικών στο σύνολο αναφοράς που ανήκουν στην κατηγορία C_k .

Ουσιαστικά για την επίλυση του προβλήματος (εύρεση συνάρτησης προσθετικής χρησιμότητας) πρέπει να ελαχιστοποιηθεί το σφάλμα ταξινόμησης. Για να γίνει αυτό πρέπει να εφαρμοστούν τεχνικές ακέραιου μαθηματικού προγραμματισμού, πράγμα που σημαίνει μεγάλος υπολογιστικός φόρτος.

Για το λόγο αυτό προτείνεται η προσέγγιση της συνάρτησης σφάλματος η οποία διατυπώνεται ως εξής:

$$\gamma = \frac{1}{q} \sum_{k=1}^q \frac{1}{m_k} \sum_{\forall x_j \in C_k} \sigma_j$$

όπου

$$\sigma_j = \begin{cases} =0, & \text{εάν και μόνο εάν } \hat{C}_j = C_j \\ >0, & \text{εάν και μόνο εάν } \hat{C}_j \neq C_j \end{cases}$$

Οι μεταβλητές σ_j αναπαριστούν το βαθμό του σφάλματος που πραγματοποιείται κατά την ταξινόμηση της κάθε εναλλακτικής δραστηριότητας και ορίζεται ως εξής:

$$\sigma_j^+ = \max \{0, u_k - U(g_j)\}, \quad \forall x_j \in C_k, k = 1, 2, \dots, q-1$$

$$\sigma_j^- = \max \{0, U(g_j) - u_{k-1}\}, \quad \forall x_j \in C_k, k = 1, 2, \dots, q$$

Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθεί πως δεν είναι δυνατή η εμφάνιση και των δύο μορφών σφαλμάτων για την ίδια εναλλακτική δραστηριότητα. Αυτό σημαίνει $\sigma^+ \sigma^- = 0$. Επομένως το σφάλμα ταξινόμησης μιας εναλλακτικής δραστηριότητας x_j είναι $\sigma_j = \sigma_j^+ + \sigma_j^-$

Ενσωματώνοντας τα σφάλματα στους κανόνες ταξινόμησης διαμορφώνονται οι ακόλουθοι περιορισμοί:

$$\begin{aligned}
U(g_j) + \sigma_j^+ &\geq u_1, & \forall x_j \in C_1 \\
U(g_j) + \sigma_j^+ &\geq u_k, & \forall x_j \in C_k (k = 2, 3, \dots, q-1) \\
U(g_j) - \sigma_j^- &< u_{k-1}, & \forall x_j \in C_k (k = 2, 3, \dots, q-1) \\
U(g_j) - \sigma_j^- &< u_{q-1}, & \forall x_j \in C_q
\end{aligned}$$

Τελικά με βάση τους περιορισμούς αυτούς το πρόβλημα (ελαχιστοποίηση του σφάλματος) ανάγεται σε πρόβλημα μαθηματικού προγραμματισμού το οποίο έχει την ακόλουθη μορφή.

$$\text{Min } \gamma' = \frac{1}{q} \sum_{k=1}^q \frac{1}{m_k} \sum_{\forall x_j \in C_k} \sigma_j \Leftrightarrow \text{Min } \sum_{k=1}^q \frac{1}{m_k} \sum_{\forall x_j \in C_k} (\sigma_j^+ + \sigma_j^-)$$

Υπό τους περιορισμούς :

$$\begin{aligned}
U(g_j) - u_1 + \sigma_j^+ &\geq \delta, & \forall x_j \in C_1 \\
U(g_j) - u_k + \sigma_j^+ &\geq \delta, & \forall x_j \in C_k (k = 2, 3, \dots, q-1) \\
U(g_j) - u_{k-1} - \sigma_j^- &\leq -\delta, & \forall x_j \in C_k (k = 2, 3, \dots, q-1) \\
U(g_j) - u_{q-1} - \sigma_j^- &\leq -\delta, & \forall x_j \in C_q \\
U(g^*) &= 1 \\
U(g_*) &= 0 \\
u_k - u_{k+1} &\geq s & \forall k = 1, 2, \dots, q-2 \\
\sigma_j^+ \geq 0, \sigma_j^- &\geq 0 & \forall j = 1, 2, \dots, m
\end{aligned}$$

Η σταθερά $\delta \geq 0$ χρησιμοποιείται για την αποφυγή περιπτώσεων όπου $U(g_j) = u_k$ όταν $x_j \in C_k$.

2.5.2 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ELECTRE TRI

Η ELECTRE TRI (Roy and Bouyssou, 1993, Yu, 1992) είναι μία μέθοδος που βασίζεται στην θεωρία των σχέσεων υπεροχής. Πριν την πλήρη ανάπτυξη της μεθόδου αναγκαίο είναι να επισημανθούν κάποια βασικά στοιχεία του κύριου αυτού θεωρητικού ρεύματος της πολυκριτήριας ανάλυσης.

Στόχος της θεωρίας σχέσεων υπεροχής είναι η ανάπτυξη ενός μεθοδολογικού πλαισίου που επιτρέπει την πραγματοποίηση διμερών συγκρίσεων μεταξύ των εναλλακτικών δραστηριοτήτων και ορίζεται ως εξής:

Ως σχέση υπεροχής S ορίζεται μια διμερής σχέση στο σύνολο των εναλλακτικών δραστηριοτήτων, τέτοια ώστε:

$$x' S x'' \Leftrightarrow \text{η εναλλακτική } x' \text{ είναι τουλάχιστον εξίσου καλή όσο η } x''$$

Κύριο χαρακτηριστικό της σχέσης υπεροχής είναι ότι δεν είναι απαραίτητα πλήρης (πλήρη αξιολόγηση όλων των εναλλακτικών και κατάταξή τους) ή μεταβατική. Επιπλέον επιτρέπει την εισαγωγή στην ανάλυση της σχέσης ασυγκριτικότητας.

Τέλος, όλες οι μέθοδοι της θεωρίας των σχέσεων υπεροχής λειτουργούν σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο αναπτύσσεται η σχέση υπεροχής βάσει των πληροφοριών που παρέχει ο αποφασίζοντας ενώ στο δεύτερο στάδιο χρησιμοποιούνται ευρετικές διαδικασίες για την αξιοποίηση της σχέσης υπεροχής με σκοπό την αξιολόγηση των εναλλακτικών δραστηριοτήτων.

2.5.2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ELECTRE TRI

Όπως προαναφέρθηκε η μέθοδος ELECTRE TRI βασίζεται στην θεωρία των σχέσεων υπεροχής. Σκοπός της μεθόδου είναι η ταξινόμηση ενός συνόλου ενός συνόλου εναλλακτικών $A = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ σε q προκαθορισμένες κατηγορίες C_1, C_2, \dots, C_q . Η κατηγορία C_1 είναι η περισσότερο προτιμητέα ενώ η κατηγορία C_q η λιγότερο προτιμητέα. Κάθε εναλλακτική δραστηριότητα x_j αναπαριστάται μέσω του διανύσματος $g_j = (g_{j1}, g_{j2}, \dots, g_{jn})$ το οποίο περιλαμβάνει τις επιδόσεις της δραστηριότητας x_j στο σύνολο των κριτηρίων αξιολόγησης g .

Ο διαχωρισμός των κατηγοριών γίνεται μέσω του προτύπου αναφοράς $r_k = (r_{1k}, r_{2k}, \dots, r_{nk})$.

Η σύγκριση κάθε εναλλακτικής δραστηριότητας με τα πρότυπα αναφοράς είναι αυτή που οδηγεί και στη λήψη των αποφάσεων και βασίζεται στους ελέγχους συμφωνίας και ασυμφωνίας.

Ο έλεγχος συμφωνίας πραγματοποιείται μέσω του υπολογισμού του ολικού δείκτη συμφωνίας:

$$C(x_j, r_k) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i c_i(x_j, r_{ik})}{\sum_{i=1}^n w_i} \in [0, 1]$$

Ως w_i συμβολίζονται τα βάρη των κριτηρίων, τα οποία καθορίζονται από τον αποφασίζοντα και $c_i(x_j, r_{ik})$ ο μερικός δείκτης συμφωνίας για κάθε κριτήριο. Απαραίτη-

τη προϋπόθεση για την εύρεση του μερικού δείκτη συμφωνίας είναι ο καθορισμός των κατωφλιών προτίμησης και αδιαφορίας.

Με βάση τα όσα ειπώθηκαν παραπάνω, ο μερικός δείκτης υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Εάν } g_{ji} \leq r_{ik} - p_{ik} \text{ , τότε } c_i(x_j, r_{ik}) = 0$$

$$\text{Εάν } r_{ik} - p_{ik} < g_{ji} \leq r_{ik} - q_{ik} \text{ , τότε } c_i(x_j, r_{ik}) = \frac{p_{ik} - (r_{ik} - g_{ji})}{p_{ik} - q_{ik}}$$

$$\text{Εάν } g_{ji} > r_{ik} - q_{ik} \text{ , τότε } c_i(x_j, r_{ik}) = 1$$

Ο έλεγχος ασυμφωνίας πραγματοποιείται μέσω του υπολογισμού του δείκτη ασυμφωνίας. Απαραίτητη προϋπόθεση για τον υπολογισμό του δείκτη ασυμφωνίας είναι ο καθορισμός του κατωφλιού βέτο v_{ik} . Αναλυτικά:

$$\text{Εάν } g_{ji} \geq r_{ki} - p_{ik} \text{ , τότε } D_i(x_j, r_{ik}) = 0$$

$$\text{Εάν } r_{ik} - v_{ik} < g_{ji} \leq r_{ik} - p_{ik} \text{ , τότε } D_i(x_j, r_{ik}) = \frac{r_{ik} - g_{ji} - p_{ik}}{v_{ik} - p_{ik}}$$

$$\text{Εάν } g_{ji} \leq r_{ki} - v_{ik} \text{ , τότε } D_i(x_j, r_{ik}) = 1$$

Στην συνέχεια της διαδικασίας γίνεται ο συνδυασμός των παραπάνω δεικτών. Ο συνδυασμός αυτός πραγματοποιείται μέσω του υπολογισμού ενός δείκτη αξιοπιστίας $\sigma_s(x_j, r_k)$:

$$\sigma_s(x_j, r_k) = C(x_j, r_k) \cdot \prod_{g_i \in F} \frac{1 - D_i(x_j, r_k)}{1 - C(x_j, r_k)} \in [0, 1]$$

όπου

F είναι το σύνολο των κριτηρίων για τα οποία ισχύει:

$$F = \{\forall g_i / D_i(x_j, r_k) > C(x_j, r_k)\}$$

$$\text{Εάν } F = \emptyset \Rightarrow \sigma_s(x_j, r_k) = C(x_j, r_k)$$

Προκειμένου να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι μια εναλλακτική x_j υπερέχει του προτύπου r_k ο αναλυτής εισάγει ένα όριο λ το οποίο πρέπει να είναι μικρότερο από τον δείκτη αξιοπιστίας. Έτσι προκύπτουν τρία πιθανά αποτελέσματα:

$$\text{Αδιαφορία (I)} : x_j I r_k \Leftrightarrow (x_j S r_k) \wedge (r_k S x_j)$$

$$\text{Προτίμηση (P)} : x_j P r_k \Leftrightarrow (x_j S r_k) \wedge (\text{οχι } r_k S x_j)$$

$$\text{Ασυγκριτικότητα (R)} : x_j R r_k \Leftrightarrow (\text{οχι } x_j S r_k) \wedge (\text{οχι } r_k S x_j)$$

Βάσει αυτών των τριών σχέσεων η εκμετάλλευση της σχέσης υπεροχής βασίζεται στην χρησιμοποίηση δύο διαδικασιών ταξινόμησης, της αισιόδοξης και της απαισιόδοξης. Οι δύο διαδικασίες ξεκινούν συγκρίνοντας κάθε εναλλακτική x_j με το πρότυπο r_{q-1} . Εάν $x_j P r_{q-1}$ τότε πραγματοποιείται η σύγκριση με το επόμενο κατά σειρά πρότυπο. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να εμφανιστεί μία από τις ακόλουθες δύο περιπτώσεις:

$$(x_j P r_k) \wedge (r_{k-1} P x_j) \vee (x_j I r_{k-1})$$

$$(x_j P r_k) \wedge (x_j R r_{k-1}) \wedge (x_j R r_{k-2}) \wedge \dots \wedge (x_j R r_{k-l}) \wedge (r_{k-l-1} P x_j)$$

Στην πρώτη περίπτωση τόσο η αισιόδοξη, όσο και η απαισιόδοξη διαδικασία οδηγούν στη ταξινόμηση της x_j στην κατηγορία C_k ενώ στην δεύτερη περίπτωση η απαισιόδοξη διαδικασία θα ταξινομήσει τη δραστηριότητα στην κατηγορία ενώ η αισιόδοξη θα την ταξινομήσει στην κατηγορία C_{k-l} .

Στην παρούσα εργασία η ανάπτυξη των μοντέλων ταξινόμησης της μεθόδου ELECTRE TRI πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας την διαδικασία εξελικτικής βελτιστοποίησης που αναπτύχθηκε πρόσφατα από τους Doumpos et al. (2009). Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιεί τον διαφορικό εξελικτικό αλγόριθμο (differential evolution algorithm, DE) και επιτρέπει την εκτίμηση όλων των παραμέτρων των μοντέλων της ELECTRE TRI (βάρη κριτηρίων, κατώφλια προτίμησης/αδιαφορίας/βέτο, διαχωριστικά πρότυπα) από τα δεδομένα ενός συνόλου αναφοράς, ακολουθώντας την φιλοσοφία της αναλυτικής-συνθετικής προσέγγισης.

2.5.2.2 ΔΙΑΦΟΡΙΚΟΣ ΕΞΕΛΙΚΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ

Ο διαφορικός εξελικτικός αλγόριθμος έχει ως σκοπό την εύρεση της καλύτερης λύσης από ένα αρχικό σύνολο τυχαίων λύσεων θέτοντας σε εφαρμογή τρεις λειτουργίες (μετάλλαξη, διασταύρωση, επιλογή). Θεωρώντας μία γενιά G η οποία αποτελείται από P λύσεις ο διαφορικός εξελικτικός αλγόριθμος περιγράφεται ως εξής:

- Μετάλλαξη: Για κάθε λύση g_i^G της τρέχουσας γενιάς ($i=1, \dots, P$) προκύπτει μία λύση g_i^{mut} μέσω μετάλλαξης, ως εξής :

$$g_i^{mut} = g_i^G + m_c (g_{best}^G - g_i^G) + m_c (g_h^G - g_s^G)$$

όπου $m_c > 0$ είναι η σταθερά μετάλλαξης, g_{best}^G είναι η καλύτερη λύση της τρέχουσας γενιάς και g_h^G, g_s^G είναι τυχαίες λύσεις της τρέχουσας γενιάς.

- Διασταύρωση: Με σκοπό να αυξηθεί η ποικιλία των λύσεων εισάγεται η λειτουργία της διασταύρωσης η οποία περιγράφεται στο σχήμα 2.4. Αρχικά επιλέγεται τυχαία ένας δείκτης $l \in \{1, \dots, N\}$ από το διάνυσμα λύσης (από μετάλλαξη) και ορίζονται τυχαίοι αριθμοί $\beta_{l+1}, \dots, \beta_N$ οι οποίοι έχουν προκύψει από την ομοιόμορφη κατανομή στο $[0, 1]$. Τότε, το στοιχείο j της λύσης που προκύπτει μετά την διασταύρωση καθορίζεται ως εξής:

$$g_{ij}^{CR} = \begin{cases} g_{ij}^{mut}, & \text{εάν } l \leq j \leq l^* - 1 \\ g_{ij}^G, & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

όπου g_{ij}^{mut} είναι το j -οστό στοιχείο της λύσης g_i^{mut} και j^* ο πρώτος δείκτης για το οποίο ισχύει $\beta_{j^*} > CR$, όπου $CR \in [0, 1]$ είναι μια πιθανότητα που έχει καθοριστεί από τον χρήστη. Στην περίπτωση όπου $\beta_{j^*} < CR$, τότε $g_i^{CR} = (g_{i1}^G, g_{i2}^G, \dots, g_{i,l-1}^G, g_{il}^{mut}, g_{i,l+1}^{mut}, \dots, g_{iN}^{mut})$.

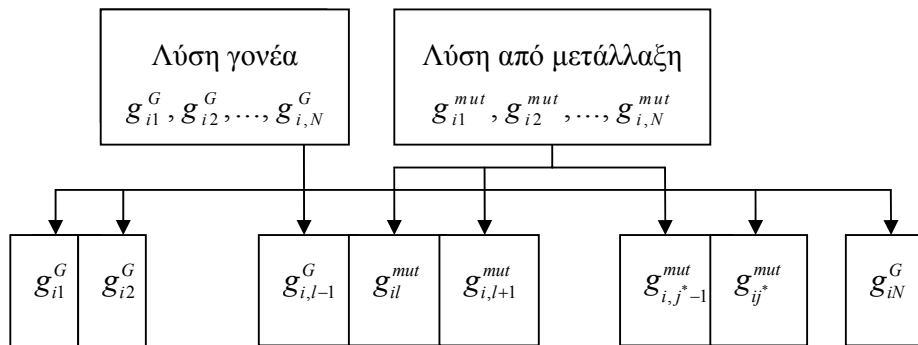
- Επιλογή: Μετά τη λειτουργία της μετάλλαξης και της διασταύρωσης ακολουθεί η διαδικασία της επιλογής. Δεδομένης μίας λύσης γονέα g_i^G από την τρέχουσα γενιά και της αντίστοιχης λύσης g_i^{CR} , το i -οστό μέλος της επόμενης γενιάς καθορίζεται ως εξής:

$$g_i^{G+1} = \begin{cases} g_i^{CR}, & \text{εάν } f(g_i^{CR}) < f(g_i^G) \\ g_i^G, & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

όπου f είναι η αντικειμενική συνάρτηση η οποία ορίζεται ως ακολούθως:

$$f = 1/2(CA + AUC)$$

όπου CA είναι η ακρίβεια ταξινόμησης του μοντέλου και AUC είναι το εμβαδόν της περιοχής κάτω από την καμπύλη ROC (Fawcett, 2006).



Σχήμα 2.4: Λειτουργία διασταύρωσης του εξελικτικού αλγορίθμου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι η σύγκριση και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προήλθαν από την εφαρμογή των δύο προαναφερθέντων πολυκριτήριων μεθοδολογιών ταξινόμησης, της UTADIS και ELECTRE TRI, χρησιμοποιώντας πραγματικά και πειραματικά δεδομένα με τη βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού Matlab. Σε πρώτη φάση ορίζονται τα πραγματικά δεδομένα. Στη συνέχεια αναφέρεται ο τρόπος προέλευσης των πειραματικών δεδομένων. Τέλος πραγματοποιείται η σύγκριση και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που αποτελεί και το αντικείμενο της εργασίας αυτής.

3.2 ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

3.2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προς ανάλυση και αξιολόγηση αφορούν τον πιστωτικό κίνδυνο και τον κίνδυνο χώρας.

- Πιστωτικός κίνδυνος είναι ο κίνδυνος οικονομικής ζημίας λόγω ενδεχόμενης αδυναμίας ή απροθυμίας του αντισυμβαλλόμενου να εκπληρώσει τις συμβατικές του υποχρεώσεις με συνέπεια την απώλεια κεφαλαίου και κέρδους.

Στην συγκεκριμένη ανάλυση τα δεδομένα που αφορούν τον πιστωτικό κίνδυνο περιλαμβάνουν:

α) 13358 Ελληνικές επιχειρήσεις, κατά τη διάρκεια της περιόδου 1998-2003, οι οποίες ταξινομούνται σε 2 κατηγορίες με βάση την συνέπεια ή μη των επιχειρήσεων απέναντι στις τράπεζες (Douprios et al., 2007). Τα διαθέσιμα δεδομένα της χρονικής περιόδου 1998-2001 χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του μοντέλου και της χρονικής περιόδου 2002-2003 για την επαλήθευσή του. Το δείγμα εκπαίδευσης περιλαμβάνει 2024 επιχειρήσεις και το δείγμα ελέγχου 11334 επιχειρήσεις. Τα κριτήρια

(g_1, g_2, \dots, g_8) με βάση τα οποία έγινε η εκτίμηση του πιστωτικού κινδύνου των επιχειρήσεων είναι οι παρακάτω χρηματοοικονομικοί δείκτες :

g_1 : Πωλήσεις

g_2 : Ίδια Κεφάλαια / Ενεργητικό

g_3 : Κέρδη Προ Τόκων και Φόρων / Ενεργητικό

g_4 : Βραχυπρόθεσμες Υποχρεώσεις

g_5 : Χρηματοοικονομικά Έξοδα

g_6 : Πωλήσεις / Ενεργητικό

g_7 : Αποσβέσεις / Καθαρό Πάγιο Ενεργητικό

g_8 : Απαιτήσεις

β) 1328 επιχειρήσεις κατά την περίοδο 1999-2001 οι οποίες δραστηριοποιούνται στη Μεγάλη Βρετανία και ταξινομούνται σε 5 κατηγορίες ως ακολούθως (Douprios and Pasiouras, 2004):

- Κατηγορία χαμηλού κινδύνου, περιλαμβάνει εταιρείες για τις οποίες η αποτυχία αποτελεί ασυνήθιστο φαινόμενο και προκύπτει μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις αλλαγών στην επιχειρηματική αγορά.
- Κατηγορία η οποία περιλαμβάνει εταιρείες για τις οποίες η αποτυχία είναι σπάνιο φαινόμενο και προκύπτει μόνο σε περιπτώσεις μειζόνων αλλαγών στην αγορά.
- Κατηγορία η οποία περιλαμβάνει εταιρείες στις οποίες παρατηρείται ισορροπία μεταξύ επιτυχιών και αποτυχιών.
- Κατηγορία η οποία αποτελείται από επιχειρήσεις για τις οποίες υπάρχει σημαντικός κίνδυνος αποτυχίας.
- Κατηγορία υψηλού κινδύνου η οποία αποτελείται από επιχειρήσεις οι οποίες αδυνατούν να συνεχίσουν την επιχειρηματική τους δραστηριότητα.

Τα δεδομένα της χρονικής περιόδου 1999-2000 αποτελούν το δείγμα εκπαίδευσης και περιλαμβάνει 882 επιχειρήσεις ενώ τα δεδομένα της χρονικής περιόδου 2000-2001 αποτελούν το δείγμα ελέγχου και περιλαμβάνει 446 επιχειρήσεις. Ο αριθμός των κριτηρίων που έχει καθοριστεί για τα δύο δείγματα είναι 10 και είναι οι ακόλουθοι χρηματοοικονομικοί δείκτες:

g_1 : Γενική Ρευστότητα

g_2 : Άμεση Ρευστότητα

g_3 : Δανειακή Επιβάρυνση

g_4 : Καθαρό Περιθώριο Κέρδους

- g₅ : Βιομηχανική Αποδοτικότητα
- g₆ : Κάλυψη Χρηματοοικονομικών Εξόδων
- g₇ : Μέση Περίοδος Αποπληρωμής Πιστωτών
- g₈ : Μικτό Περιθώριο Κέρδους
- g₉ : Κέρδη Προ Τόκων και Φόρων / Πωλήσεις
- g₁₀ : Κέρδη Προ Αποσβέσεων Τόκων και Φόρων / Πωλήσεις

- Κίνδυνος χώρας: Πρόκειται για δεδομένα που αποκτήθηκαν από την Παγκόσμια Τράπεζα. Περιλαμβάνουν 161 χώρες κατά την περίοδο 1996-2000 (Doumros and Zorounidis, 2002). Για την παρούσα ανάλυση η Παγκόσμια Τράπεζα ταξινομεί τις χώρες σε 4 κατηγορίες ως ακολούθως:
 - Χώρες υψηλού εισοδήματος
 - Χώρες λιγότερο υψηλού εισοδήματος
 - Χώρες μικρομεσαίου εισοδήματος
 - Χώρες χαμηλού εισοδήματος

Τα κριτήρια με βάση τα οποία έγινε η εκτίμηση του κινδύνου είναι οι παρακάτω οικονομικοί δείκτες :

- g₁ : Ισοζύγιο Τρεχουσών Συναλλαγών
- g₂ : Εξαγωγές Προϊόντων και Υπηρεσιών
- g₃ : Ξένες Άμεσες Επενδύσεις
- g₄ : Ακαθάριστη Διαμόρφωση Κεφαλαίου
- g₅ : Πληθωρισμός
- g₆ : Παιδική Θνησιμότητα
- g₇ : Βραχυπρόθεσμο Χρέος / Συνολικό Χρέος
- g₈ : Εξυπηρέτηση Χρέους / Εξαγωγές
- g₉ : Εξυπηρέτηση Χρέους / Ακαθάριστο Εθνικό Εισόδημα
- g₁₀ : Εσωτερικό Χρέος / ΑΕΠ
- g₁₁ : Εξωτερικό Χρέος / ΑΕΠ
- g₁₂ : Εξυπηρέτηση Χρέους / Ακαθάριστα Διεθνή Αποθεματικά

Για την ανάπτυξη του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα του έτους 2000 ενώ για την επαλήθευσή του χρησιμοποιήθηκε το cross validation. Το cross validation (Stone,1974) είναι μια ιδιαίτερη διαδεδομένη διαδικασία για τον έλεγχο της αποτελε-

σματικότητας υποδειγμάτων ταξινόμησης. Στόχος της διαδικασίας είναι η πραγματοποίηση αξιόπιστων εκτιμήσεων για τη αποτελεσματικότητα των εξεταζόμενων υποδειγμάτων χρησιμοποιώντας ένα κοινό δείγμα τόσο για την ανάπτυξη των υποδειγμάτων όσο και για τον έλεγχό τους. Η διαδικασία πραγματοποιείται επαναληπτικά σε k στάδια. Η πλέον διαδεδομένη επιλογή για το πλήθος k των επαναλήψεων είναι 10, αλλά συχνά εφαρμόζεται και η επιλογή των m επαναλήψεων, όπου m είναι το πλήθος των εξεταζόμενων εναλλακτικών στο σύνολο αναφοράς. Αντίστοιχα, η διαδικασία ονομάζεται 10-fold cross validation ή leave-out-out cross validation (LOO-CV, m-fold cross validation). Ανάλογα με το πλήθος k των επαναλήψεων και δεδομένου ενός συνόλου αναφοράς A αποτελούμενου από m εναλλακτικές, η διαδικασία υλοποιείται ως εξής:

1. Το σύνολο A χωρίζεται κατά τυχαίο τρόπο σε k αλληλοαποκλειόμενα υποσύνολα A_1, A_2, \dots, A_k , καθένα αποτελούμενο από περίπου m/k εναλλακτικές.
2. Για κάθε $i=1,2,\dots,k$:
 - 2α: Χρησιμοποιείται το σύνολο $A \setminus A_i$ για την ανάπτυξη ενός υποδείγματος V_i .
 - 2β: Το μοντέλο V_i χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των εναλλακτικών του συνόλου A_i και μετράται η αποτελεσματικότητα του a_i σύμφωνα με κάποιο μέτρο αξιολόγησης a .
3. Υπολογίζεται η αναμενόμενη αποτελεσματικότητα της μεθόδου ως:

$$E(a) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k a_i$$

Από την επαναληπτική αυτή διαδικασία μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα από την στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων τόσο όσον αφορά την αποτελεσματικότητα της χρησιμοποιούμενης μεθόδου όσο και την ευστάθεια που παρουσιάζεται στις παραμέτρους του αναπτυσσόμενου υποδείγματος.

3.2.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΓΚΡΙΣΗ

Με την εφαρμογή των δύο πολυκριτήριων μεθόδων ταξινόμησης προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στους Πίνακες 3.1 και 3.2.

Από τον παρακάτω πίνακα, όσον αφορά την ακρίβεια ταξινόμησης του δείγματος εκπαίδευσης, η μέθοδος ELECTRE TRI DE (τόσο η αισιόδοξη όσο και η απαισιόδοξη διαδικασία) φαίνεται να ταξινομεί με μεγαλύτερη ακρίβεια τα δεδομένα πιστωτικού κινδύνου που αφορούν τις ελληνικές επιχειρήσεις από την μέθοδο UTADIS. Όσον αφορά την ακρίβεια ταξινόμησης για το δείγμα ελέγχου δεν υπάρχει ξεκάθαρη υπεροχή.

Πίνακας 3.1: Αποτελέσματα ταξινόμησης

	Δεδομένα	Διαδικασία Ταξινόμησης	Συνολική Ακρίβεια		
			Δείγμα Εκπαίδευσης	Δείγμα Ελέγχου	
ELECTRE TRI DE	Πιστωτικός Κίνδυνος	Ελληνικές Επιχειρήσεις	Αισιόδοξη	0.779	0.689
			Απαισιόδοξη	0.778	0.691
		Ξένες Επιχειρήσεις	Αισιόδοξη	0.738	0.643
			Απαισιόδοξη	0.717	0.623
	Κίνδυνος Χώρας		Αισιόδοξη	0.849	0.681
			Απαισιόδοξη	0.885	0.681
UTADIS	Πιστωτικός Κίνδυνος	Ελληνικές Επιχειρήσεις	-	0.750	0.690
		Ξένες Επιχειρήσεις	-	0.690	0.724
	Κίνδυνος Χώρας		-	0.808	0.700

Επιπλέον, για τα δεδομένα που περιλαμβάνουν τις επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται στη Μεγάλη Βρετανία παρατηρείται σημαντική υπεροχή της UTADIS όσον αφορά την ακρίβεια ταξινόμησης του δείγματος ελέγχου, ενώ αντίθετα όσον αφορά την ακρίβεια ταξινόμησης του δείγματος εκπαίδευσης η μέθοδος ELECTRE TRI DE είναι καλύτερη. Επίσης για τα δεδομένα που έχουν ταξινομηθεί σε πολλές κατηγορίες (Πιστωτικός κίνδυνος-Ξένες επιχειρήσεις) φαίνεται ότι η διαφορά υπέρ της UTADIS αυξάνει.

Τέλος, για τα δεδομένα που αφορούν τον κίνδυνο χώρας, όπως και προηγούμενα, η μέθοδος ELECTRE TRI DE υπερέχει της μεθόδου UTADIS σε ότι αφορά την ακρίβεια ταξινόμησης για το δείγμα εκπαίδευσης. Αντίθετα όσον αφορά την ακρίβεια ταξινόμησης για το δείγμα ελέγχου παρατηρείται υπεροχή της UTADIS.

Σε ότι αφορά τα βάρη κριτηρίων σύμφωνα με τον Πίνακα 3.2 τόσο για τον κίνδυνο χώρας όσο και για τον πιστωτικό κίνδυνο δεν παρατηρείται, στο σύνολό τους, μεγάλη απόκλιση μεταξύ των τιμών των βαρών των κριτηρίων για την κάθε μέθοδο χωρίς αυτό να σημαίνει πως δεν υπάρχουν μερικές διαφοροποιήσεις. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η μέθοδος UTADIS, σε ότι αφορά τον πιστωτικό κίνδυνο των ελληνικών επιχειρήσεων, αποδίδει μεγάλη βαρύτητα στο κριτήριο g_8 , σχεδόν το μισό της συνολικής βαρύτητας των κριτηρίων. Σε ότι αφορά τον πιστωτικό κίνδυνο των ξένων επιχειρήσεων παρατηρείται πως το άθροισμα των βαρών των κριτηρίων g_3 , g_4 ξεπερνά το 50% της συνολικής βαρύτητας των κριτηρίων.

Πίνακας 3.2: Βάρη Κριτηρίων

	Κριτήρια	Αποτελέσματα UTADIS	Αποτελέσματα ELECTRE TRI DE		
			Αισιόδοξη	Απαισιόδοξη	
Πιστωτικός Κίνδυνος	g ₁	0.151	0.264	0.229	
	g ₂	0.033	0.030	0.078	
	g ₃	0.163	0.197	0.186	
	Ελληνικές Επιχειρήσεις	g ₄	0.024	0.104	0.192
		g ₅	0.022	0.065	0.055
		g ₆	0.060	0.037	0.025
		g ₇	0.115	0.164	0.094
		g ₈	0.433	0.140	0.141
Ξένες Επιχειρήσεις	g ₁	0.054	0.097	0.074	
	g ₂	0.062	0.092	0.114	
	g ₃	0.389	0.192	0.239	
	g ₄	0.240	0.172	0.179	
	g ₅	0.014	0.056	0.090	
	g ₆	0.030	0.036	0.022	
	g ₇	0.015	0.063	0.071	
	g ₈	0.005	0.017	0.013	
	g ₉	0.122	0.162	0.106	
		g ₁₀	0.069	0.114	0.094
Κίνδυνος Χώρας	g ₁	0.072	0.071	0.060	
	g ₂	0.004	0.081	0.054	
	g ₃	0.069	0.080	0.060	
	g ₄	0.067	0.035	0.071	
	g ₅	0.040	0.045	0.085	
	g ₆	0.232	0.179	0.171	
	g ₇	0.002	0.005	0.014	
	g ₈	0.067	0.054	0.050	
	g ₉	0.003	0.030	0.051	
	g ₁₀	0.082	0.199	0.200	
	g ₁₁	0.267	0.171	0.132	
		g ₁₂	0.095	0.051	0.051

3.3 ΤΕΧΝΗΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Η σύγκριση των δυο προαναφερθέντων πολυκριτήριων μεθοδολογιών ταξινόμησης δεν βασίζεται μόνο σε πραγματικά δεδομένα αλλά και σε ένα πειραματικό σχεδιασμό. Ο σχεδιασμός αυτός επιτρέπει την πραγματοποίηση της σύγκρισης σε δεδομένα με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και επιτρέπει την εξαγωγή εκτιμήσεων όσον αφορά την αναμενόμενη αποτελεσματικότητα των εξεταζόμενων μεθόδων στην αντιμετώπιση προβλημάτων ταξινόμησης, σε σχέση με τα χαρακτηριστικά των δεδομένων που αναλύονται.

3.3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η εκτέλεση των πολυκριτήριων μεθοδολογιών ταξινόμησης (ELECTRE TRI DE, UTADIS) αξιολογείται μέσα από μία εκτεταμένη ανάλυση τεχνητών δεδομένων τα οποία έχουν προκαθορισμένα χαρακτηριστικά. Πρόκειται για δύο ειδών δεδομένα:

α) Δεδομένα που έχουν ταξινομηθεί σύμφωνα με την μέθοδο ELECTRE TRI

Η ανάλυση περιλαμβάνει ποσοτικά δεδομένα τα οποία προέκυψαν από την ομοιόμορφη κατανομή $[0,100]$. Στην περίπτωση αυτή δύο ομάδες δεδομένων διαμορφώθηκαν τυχαία, όπου η κάθε μια αποτελείται από 5000 εναλλακτικές. Η πρώτη ομάδα χρησιμοποιείται για να κατασκευαστεί το δείγμα εκπαίδευσης και η δεύτερη για να κατασκευαστεί το δείγμα ελέγχου. Ο αριθμός των εναλλακτικών του δείγματος ελέγχου έχει ρυθμιστεί στις 500. Αντιθέτως, διαφορετικά μεγέθη έχουν καθοριστεί για το δείγμα εκπαίδευσης και αυτά είναι 100, 500 και 1000 εναλλακτικές. Σε όλες τις περιπτώσεις κάθε κατηγορία περιλαμβάνει τον ίδιο αριθμό εναλλακτικών. Όσον αφορά τα κριτήρια, δύο σενάρια αυτών έχουν καθοριστεί, το ένα περιλαμβάνει 5 κριτήρια και το δεύτερο 10. Με αυτά τα δεδομένα (αριθμός εναλλακτικών και κριτηρίων) είναι δυνατόν να γίνει η ανάλυση της επίδρασης του μεγέθους των δεδομένων στο τελικό αποτέλεσμα. Οι εναλλακτικές σε κάθε δείγμα έχουν καθοριστεί σε 2-4 κατηγορίες σύμφωνα με τη μέθοδο ELECTRE TRI. Η ταξινόμηση των δεδομένων γίνεται τόσο με την αισιόδοξη όσο και με την απαισιόδοξη διαδικασία της μεθόδου ELECTRE TRI. Για κάθε συνδυασμό των παραγόντων του πειράματος (αριθμός εναλλακτικών, αριθμός κριτηρίων, αριθμός κατηγοριών, αισιόδοξη-απαισιόδοξη διαδικασία), πραγματοποιούνται 20 επαναλήψεις του πειράματος. Σε όλες τις περιπτώσεις τα κατώφλια προτίμησης, αδιαφορίας και βέτο είναι 5, 10 και 20 αντιστοίχως ενώ τα πρότυπα αναφοράς είναι I) διαχωρισμός δύο κατηγοριών $r_1=50$, II) διαχωρισμός τριών κατηγοριών $(r_1, r_2)=(66, 33)$, III) διαχωρισμός τεσσάρων κατηγοριών $(r_1, r_2, r_3)=(75, 50, 25)$ (Doumpos et al., 2009).

β) Δεδομένα που έχουν ταξινομηθεί σύμφωνα με μια προσθετική συνάρτηση αξίας

Όπως και προηγούμενα η ανάλυση περιλαμβάνει ποσοτικά δεδομένα τα οποία προέκυψαν από την ομοιόμορφη κατανομή, αυτή τη φορά στο διάστημα $[0,1]$. Όπως και πριν διαμορφώνονται δύο ομάδες δεδομένων (τυχαία), όπου η κάθε μια αποτελείται από 5000 εναλλακτικές. Η πρώτη ομάδα χρησιμοποιείται για να κατασκευαστεί το δείγμα εκπαίδευσης και η δεύτερη για να κατασκευαστεί το δείγμα ελέγχου. Όσον αφορά τα κριτήρια, δύο σεντ αυτών έχουν καθοριστεί, το ένα περιλαμβάνει 5 και το άλλο 10 κριτήρια.

Οι εναλλακτικές κάθε ομάδας αξιολογούνται σύμφωνα με μια προσθετική συνάρτηση αξίας όπου οι συντελεστές παραχώρησης των κριτηρίων w_1, \dots, w_n θεωρούνται ως τυχαίες μεταβλητές. Κάθε μερική συνάρτηση αξίας $u_i(g_i)$ διαμορφώνεται ως εξής:

$$u_i(g_i) = \frac{1 - \exp(-g_i \gamma_i)}{1 - \exp(-\gamma_i)}$$

όπου γ_i είναι μια παράμετρος που καθορίζει τον τύπο της συνάρτησης. Αρνητικές τιμές της παραμέτρου γ_i ορίζουν μία κοίλη μορφή της συνάρτησης ενώ θετικές τιμές της παραμέτρου ορίζουν μία κυρτή μορφή της συνάρτησης. Τέλος τιμές της παραμέτρου κοντά στο μηδέν ορίζουν σχεδόν μία γραμμική μορφή της συνάρτησης.

Ουσιαστικά, η μορφή των συναρτήσεων μερικών αξιών καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο ο αποφασίζοντας αξιολογεί τις εξεταζόμενες εναλλακτικές δραστηριότητες στο κάθε κριτήριο αξιολόγησης.

Η προσθετική συνάρτηση αξίας η οποία κατασκευάστηκε τυχαία σύμφωνα με την παραπάνω διαδικασία καθορίζει τις ολικές αξίες των εναλλακτικών. Αυτές οι ολικές αξίες χρησιμοποιούνται για να ταξινομηθούν οι εναλλακτικές στις προκαθορισμένες κατηγορίες. Όπως και προηγούμενα οι εναλλακτικές ταξινομούνται σε 2, 3 και 4 κατηγορίες.

Ως διαχωριστικό όριο στην περίπτωση όπου η ταξινόμηση των εναλλακτικών πραγματοποιείται σε δύο κατηγορίες ορίζεται η διάμεσος της ολικής αξίας των εναλλακτικών της πρώτης ομάδας (5000 εναλλακτικές), δηλαδή, κάθε κατηγορία αποτελείται από 2500 εναλλακτικές. Στις άλλες δύο περιπτώσεις όπου οι εναλλακτικές ταξινομούνται σε τρεις και τέσσερις κατηγορίες ισχύει: περίπου 1667 και 1250 εναλλακτικές σε κάθε κατηγορία αντίστοιχα. Τα διαχωριστικά όρια των κατηγοριών που προκύπτουν από αυτή τη διαδικασία χρησιμοποιούνται και για την ταξινόμηση των 5000 εναλλακτικών της δεύτερης ομάδας.

Από τα δεδομένα της πρώτης ομάδας διαμορφώνεται (μέσω τυχαίας επιλογής) το δείγμα εκπαίδευσης, λαμβάνοντας υπόψη τα ακόλουθα εναλλακτικά σενάρια :

- 3 σενάρια για τον αριθμό των εναλλακτικών (100, 500, 1000 εναλλακτικές). Σε κάθε περίπτωση οι εναλλακτικές του δείγματος εκπαίδευσης επιλέγονται τυχαία από το σύνολο των 5000 εναλλακτικών της πρώτης ομάδας έτσι ώστε να υπάρχει (περίπου) ίσος αριθμός εναλλακτικών σε κάθε κατηγορία.
- 2 σενάρια για τον αριθμό των κριτηρίων, 5 και 10 κριτήρια
- 3 σενάρια για τον αριθμό των κατηγοριών (2, 3, 4 κατηγορίες) ταξινόμησης των εναλλακτικών

Το δείγμα ελέγχου διαμορφώνεται από το σύνολο των 5000 εναλλακτικών της δεύτερης ομάδας και περιλαμβάνει τον ίδιο αριθμό κατηγοριών, τα ίδια σενάρια για τον αριθμό των κριτηρίων αλλά διαφορετικό σενάριο για τον αριθμό των εναλλακτικών (500 εναλλακτικές). Για κάθε συνδυασμό των παραγόντων το πείραμα επαναλαμβάνεται 20 φορές (Doumpos and Zorounidis, 2007).

Η ανάλυση και για τα δύο είδη δεδομένων πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον MATLAB.

3.3.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΓΚΡΙΣΗ

Όπως προαναφέρθηκε, η εκτέλεση του εξελικτικού αλγορίθμου αξιολογείται μέσα από μία εκτεταμένη ανάλυση τεχνητών δεδομένων. Στο υποκεφάλαιο αυτό σε πρώτη φάση σχολιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν μετά από την εφαρμογή της μεθόδου ELECTRE TRI DE και στη συνέχεια τα αποτελέσματα της μεθόδου UTADIS. Τέλος, ακολουθεί η σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο πολυκριτήριων μεθοδολογιών ταξινόμησης.

Αποτελέσματα μεθόδου ELECTRE TRI DE

Ο διαφορικός εξελικτικός αλγόριθμος εκτελέστηκε όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 2. Οι παράμετροι επιλέχθηκαν μετά από μερικές δοκιμές, είναι ίδιες και για τα δύο είδη δεδομένων και είναι οι ακόλουθες:

-σταθερά μετάλλαξης (m_c) : 0.6

-πιθανότητα διασταύρωσης (CR) : 0.6

Σε πρώτη φάση στους πίνακες 3.3 και 3.4 παρουσιάζονται λεπτομερώς όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί των παραγόντων του πειράματος (αριθμός εναλλακτικών, αριθμός κριτηρίων, αριθμός κατηγοριών, αισιόδοξη απαισιόδοξη διαδικασία). Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι κατά τη φάση της επεξεργασίας των δεδομένων πραγμα-

τοποιήθηκαν 20 επαναλήψεις. Στους πίνακες 3.3, 3.4 αναγράφεται ο μέσος όρος αυτών. Εκτός από την συνολική ακρίβεια των δειγμάτων εκπαίδευσης και ελέγχου που παρουσιάζεται στους πίνακες 3.3 και 3.4, αξιολογείται επίσης και η μέση απόλυτη διαφορά $|w_i - \widehat{w}_i|$ μεταξύ των πραγματικών βαρών και των βαρών που βρίσκει το μοντέλο (εκτιμώμενα βάρη).

Για κάθε συνδυασμό των παραμέτρων το μοντέλο θεωρείται επιτυχημένο όταν τα αποτελέσματα πλησιάζουν τις άριστες τιμές. Η άριστη τιμή της ακρίβειας για τα δείγματα ελέγχου και εκπαίδευσης είναι η μονάδα ενώ για τη διαφορά των βαρών είναι το μηδέν.

Στον πίνακα 3.3 όπως και στον πίνακα 3.4 παρατηρείται πως τόσο η συνολική ακρίβεια του δείγματος εκπαίδευσης όσο και η συνολική ακρίβεια του δείγματος ελέγχου βρίσκονται πολύ κοντά στην άριστη τιμή. Φυσικά, καθώς ο παράγοντας ‘αριθμός εναλλακτικών’ αυξάνεται, παρατηρείται μείωση της ακρίβειας του δείγματος εκπαίδευσης και αύξηση της ακρίβειας του δείγματος ελέγχου. Στην περίπτωση της αύξησης της πολυπλοκότητας του προβλήματος (μεγαλύτερος αριθμός κριτηρίων, μεγαλύτερος αριθμός κατηγοριών) παρατηρείται μείωση της συνολικής ακρίβειας. Και στις δύο περιπτώσεις τα αποτελέσματα συνεχίζουν να είναι πολύ κοντά στην άριστη τιμή. Επιπλέον τα αποτελέσματα για την απαισιόδοξη διαδικασία είναι καλύτερα από αυτά της αισιόδοξης για τον πίνακα 3.3, σε αντίθεση με τον πίνακα 3.4 όπου συμβαίνει το ακριβώς αντίθετο. Τέλος, όσον αφορά τη διαφορά μεταξύ των βαρών των κριτηρίων καθώς αυξάνεται ο αριθμός των κριτηρίων παρατηρείται μείωση της τιμής.

Ενώ για κάποιους συνδυασμούς των παραμέτρων το μοντέλο φαίνεται να αξιολογεί σωστά τα πράγματα -δηλαδή ακρίβεια κοντά στην άριστη τιμή- για το δείγμα εκπαίδευσης και ελέγχου, παρατηρείται μεγάλη απόκλιση της τιμής της διαφοράς των βαρών από την άριστη τιμή. Αυτό συμβαίνει γιατί μπορεί για ένα πρόβλημα να υπάρχουν πολλές σωστές λύσεις αλλά για ένα συγκεκριμένο συνδυασμό δεδομένων ενός προβλήματος μία από τις σωστές λύσεις να είναι η κατάλληλη. Έτσι λοιπόν μπορεί το μοντέλο να αξιολογεί σωστά (σύμφωνα με την ακρίβεια των δειγμάτων) αλλά να μην είναι σε απόλυτη συμφωνία με τις επιμέρους παραμέτρους (π.χ βάρη κριτηρίων) που καθορίζουν την πολιτική λήψης αποφάσεων του αποφασίζοντα.

Πίνακας 3.3: Αποτελέσματα ταξινόμησης δεδομένων που έχουν ταξινομηθεί σύμφωνα με την ELECTRE TRI

Αριθμός Εναλλακτικών	Αριθμός Κριτηρίων	Διαδικασία Ταξινόμησης	Αριθμός Κατηγοριών	Συνολική Ακρίβεια		
				Δείγμα Εκπαίδευσης	Δείγμα Ελέγχου	$ w_i - \widehat{w}_i $
100	5	Αισιόδοξη	2	1.000	0.953	10.508
			3	0.998	0.936	8.755
			4	0.995	0.891	9.140
		Απαισιόδοξη	2	1.000	0.967	9.949
			3	0.999	0.941	12.994
			4	0.990	0.905	13.285
	10	Αισιόδοξη	2	1.000	0.925	6.082
			3	0.995	0.867	5.767
			4	0.995	0.847	3.823
		Απαισιόδοξη	2	1.000	0.930	5.998
			3	0.995	0.886	5.059
			4	0.988	0.846	4.335
500	5	Αισιόδοξη	2	0.999	0.988	7.799
			3	0.997	0.978	8.319
			4	0.991	0.964	6.622
		Απαισιόδοξη	2	1.000	0.990	9.363
			3	0.999	0.981	8.900
			4	0.988	0.959	11.382
	10	Αισιόδοξη	2	0.997	0.972	5.456
			3	0.990	0.951	3.963
			4	0.986	0.930	2.346
		Απαισιόδοξη	2	1.000	0.982	3.675
			3	0.995	0.954	3.268
			4	0.983	0.934	2.970
1000	5	Αισιόδοξη	2	0.998	0.991	7.583
			3	0.994	0.980	7.162
			4	0.993	0.975	7.749
		Απαισιόδοξη	2	1.000	0.994	6.378
			3	0.998	0.987	7.473
			4	0.988	0.977	9.968
	10	Αισιόδοξη	2	0.998	0.986	4.653
			3	0.993	0.971	2.512
			4	0.977	0.941	2.193
		Απαισιόδοξη	2	0.998	0.983	3.849
			3	0.995	0.972	1.638
			4	0.987	0.953	2.148
Μέσος Όρος				0.994	0.950	6.474

Πίνακας 3.4: Αποτελέσματα ταξινόμησης δεδομένων που έχουν ταξινομηθεί σύμφωνα με μια προσθετική συνάρτηση αξίας

Αριθμός Εναλλακτικών	Αριθμός Κριτηρίων	Διαδικασία Ταξινόμησης	Αριθμός Κατηγοριών	Συνολική Ακρίβεια		$ w_i - \widehat{w}_i $
				Δείγμα Εκπαίδευσης	Δείγμα Ελέγχου	
100	5	Αισιόδοξη	2	0.984	0.854	7.929
			3	0.905	0.727	5.761
			4	0.860	0.632	5.204
		Απαισιόδοξη	2	0.959	0.828	5.958
			3	0.877	0.704	8.131
			4	0.829	0.607	6.028
	10	Αισιόδοξη	2	0.994	0.800	4.576
			3	0.924	0.643	3.452
			4	0.878	0.533	3.340
		Απαισιόδοξη	2	0.970	0.795	4.630
			3	0.905	0.626	4.230
			4	0.860	0.514	3.485
500	5	Αισιόδοξη	2	0.960	0.906	6.082
			3	0.855	0.765	5.699
			4	0.767	0.676	5.678
		Απαισιόδοξη	2	0.925	0.884	6.250
			3	0.850	0.778	6.200
			4	0.745	0.657	4.960
	10	Αισιόδοξη	2	0.949	0.816	2.400
			3	0.840	0.707	2.590
			4	0.734	0.584	2.016
		Απαισιόδοξη	2	0.940	0.850	2.523
			3	0.818	0.690	2.434
			4	0.728	0.597	2.632
1000	5	Αισιόδοξη	2	0.944	0.907	5.129
			3	0.829	0.767	4.274
			4	0.729	0.664	4.610
		Απαισιόδοξη	2	0.940	0.909	4.747
			3	0.869	0.757	4.315
			4	0.728	0.661	5.335
	10	Αισιόδοξη	2	0.935	0.872	2.038
			3	0.805	0.724	1.742
			4	0.718	0.615	1.835
		Απαισιόδοξη	2	0.919	0.862	2.191
			3	0.791	0.713	2.385
			4	0.691	0.579	2.045
Μέσος Όρος				0.860	0.728	4.245

Αποτελέσματα μεθόδου UTADIS

Ξεκινώντας από την ακρίβεια του δείγματος εκπαίδευσης καθώς ο αριθμός των εναλλακτικών του προβλήματος αυξάνεται, παρατηρείται μείωση αυτής ενώ αντίθετα η ακρίβεια του δείγματος ελέγχου αυξάνεται. Όσον αφορά την διαφορά μεταξύ των βαρών των κριτηρίων παρατηρείται μείωση καθώς αυξάνεται ο αριθμός των εναλλακτικών χωρίς να πλησιάζουν ιδιαίτερα την άριστη τιμή, παρά μόνο τα δεδομένα που έχουν ταξινομηθεί σύμφωνα με μια προσθετική συνάρτηση αξίας.

Πίνακας 3.5: Αποτελέσματα UTADIS δεδομένων που έχουν ταξινομηθεί σύμφωνα με μια προσθετική συνάρτηση αξίας

Αριθμός Εναλλακτικών	Αριθμός Κριτηρίων	Αριθμός Κατηγοριών	Συνολική Ακρίβεια			
			Δείγμα Εκπαίδευσης	Δείγμα Ελέγχου	$ w_i - \widehat{w}_i $	
100	5	2	1.000	0.939	3.326	
		3	1.000	0.917	2.210	
		4	0.999	0.897	2.265	
	10	2	1.000	0.903	2.075	
		3	1.000	0.871	1.534	
		4	1.000	0.844	1.307	
	500	5	2	0.995	0.975	2.195
			3	0.988	0.965	1.862
			4	0.980	0.960	1.141
10		2	0.997	0.958	0.931	
		3	0.987	0.954	0.639	
		4	0.978	0.940	0.529	
100	5	2	0.993	0.984	1.562	
		3	0.986	0.974	1.089	
		4	0.978	0.967	0.957	
	10	2	0.992	0.975	0.598	
		3	0.982	0.967	0.506	
		4	0.970	0.954	0.472	
Μέσος Όρος			0.990	0.941	1.400	

Πίνακας 3.6: Αποτελέσματα UTADIS δεδομένων που έχουν ταξινομηθεί σύμφωνα με την ELECTRE TRI

Αριθμός Εναλλακτικών	Αριθμός Κριτηρίων	Διαδικασία Ταξινόμησης	Αριθμός Κατηγοριών	Συνολική Ακρίβεια		$ w_i - \widehat{w}_i $
				Δείγμα Εκπαίδευσης	Δείγμα Ελέγχου	
100	5	Αισιόδοξη	2	0.997	0.945	10.782
			3	0.941	0.853	9.201
			4	0.913	0.803	9.304
		Απαισιόδοξη	2	0.998	0.948	11.912
			3	0.953	0.859	9.993
			4	0.901	0.809	10.148
	10	Αισιόδοξη	2	1.000	0.920	4.967
			3	0.967	0.794	6.479
			4	0.927	0.688	5.709
		Απαισιόδοξη	2	1.000	0.927	5.374
			3	0.968	0.794	6.467
			4	0.908	0.700	6.056
500	5	Αισιόδοξη	2	0.977	0.965	15.609
			3	0.913	0.898	9.573
			4	0.857	0.820	8.887
		Απαισιόδοξη	2	0.975	0.967	16.939
			3	0.935	0.918	7.377
			4	0.844	0.818	8.449
	10	Αισιόδοξη	2	0.978	0.966	9.340
			3	0.903	0.856	6.743
			4	0.837	0.769	6.635
		Απαισιόδοξη	2	0.988	0.972	7.957
			3	0.894	0.857	6.854
			4	0.814	0.764	6.848
1000	5	Αισιόδοξη	2	0.978	0.973	15.055
			3	0.915	0.901	9.583
			4	0.855	0.820	9.893
		Απαισιόδοξη	2	0.969	0.964	14.468
			3	0.895	0.886	11.140
			4	0.826	0.812	7.012
	10	Αισιόδοξη	2	0.985	0.979	7.830
			3	0.883	0.854	7.227
			4	0.821	0.785	6.240
		Απαισιόδοξη	2	0.983	0.977	8.949
			3	0.886	0.864	7.748
			4	0.862	0.777	6.411
Μέσος Όρος				0.923	0.867	8.866

Σύγκριση αποτελεσμάτων των δύο πολυκριτήριων μεθοδολογιών ταξινόμησης

Η σύγκριση πραγματοποιείται μεταξύ των αποτελεσμάτων των μεθόδων ELECTRE TRI DE και UTADIS των δεδομένων που έχουν ταξινομηθεί σύμφωνα με την ELECTRE TRI (σχήμα 3.1, 3.2, 3.3, 3.4) και στη συνέχεια των δεδομένων που έχουν ταξινομηθεί σύμφωνα με μια προσθετική συνάρτηση αξίας (σχήμα 3.5, 3.6, 3.7, 3.8).

Παρατηρώντας τα παρακάτω σχήματα είναι εμφανές πως η σύγκριση πραγματοποιείται κάθε φορά ως προς διαφορετικό παράγοντα (άξονας x). Ο άξονας y αποτελεί την τιμή του πηλίκου των αποτελεσμάτων της μεθόδου ELECTRE TRI DE προς τα αποτελέσματα της μεθόδου UTADIS. Στην περίπτωση όπου το πηλίκο είναι μεγαλύτερο της μονάδας για την ακρίβεια του δείγματος εκπαίδευσης και ελέγχου αυτό σημαίνει ότι η ELECTRE TRI DE υπερέρχει της UTADIS. Αντιθέτως για τη διαφορά βαρών αν το πηλίκο είναι μεγαλύτερο της μονάδας τότε υπάρχει υπεροχή της UTADIS.

Συνολικά από τα σχήματα 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 παρατηρείται καθολική υπεροχή της μεθόδου ELECTRE TRI DE σε σχέση με την UTADIS τόσο για την ακρίβεια στα δείγματα εκπαίδευσης και ελέγχου όσο και για τη διαφορά των βαρών. Αντίθετα στα σχήματα 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 παρατηρείται καθολική υπεροχή της UTADIS.

Επιπλέον θεωρώντας ενιαία (όχι διαχωρισμός δεδομένων) τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων παρατηρώντας δηλαδή τους πίνακες 3.3 και 3.4 (ως ένα ενιαίο πίνακα, πίνακας 3.7) συγκριτικά με τους πίνακες 3.5 και 3.6 (ως ένα ενιαίο πίνακα, πίνακα 3.8) βγαίνει το συμπέρασμα πως η μέθοδος UTADIS υπερέρχει της μεθόδου ELECTRE TRI DE και σε ότι αφορά την ακρίβεια ταξινόμησης αλλά και την διαφορά βαρών. Η υπεροχή της UTADIS στην ακρίβεια ταξινόμησης οφείλεται στη μικρότερη ευαισθησία που φαίνεται να παρουσιάζει τον τύπο του μοντέλου που περιγράφει την ταξινόμηση των δεδομένων. Τα σύνολα δεδομένων (1^ο και 2^ο) αποτελούν τον μέσο όρο των τιμών της συνολικής ακρίβειας ταξινόμησης των δειγμάτων εκπαίδευσης και ελέγχου και των τιμών της διαφοράς βαρών.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων για τα δεδομένα που έχουν ταξινομηθεί σύμφωνα με την μέθοδο ELECTRE TRI, όσον αφορά την ακρίβεια ταξινόμησης για τα δείγματα εκπαίδευσης και ελέγχου παρατηρείται υπεροχή της μεθόδου ELECTRE TRI DE έναντι της μεθόδου UTADIS. Αυτό συμβαίνει διότι τα δεδομένα που έχουν ταξινομηθεί σύμφωνα με την μέθοδο ELECTRE TRI συμβαδίζουν με τη λογική της μεθόδου ELECTRE TRI DE. Όσον αφορά τη διαφορά των βαρών παρατηρείται υπεροχή της μεθόδου ELECTRE TRI DE σε σχέση με την μέθοδο UTADIS. Στα δεδομένα που έχουν ταξινομηθεί σύμφωνα με μια προσθετική συνάρτηση αξίας παρατηρείται υπεροχή της μεθόδου UTADIS σε σχέση με τη μέθοδο ELECTRE TRI DE διότι η προσθετική συνάρτηση αξίας συμβαδίζει με τη λογική της μεθόδου UTADIS.

Πίνακας 3.7: Σύνοψη των αποτελεσμάτων της μεθόδου ELECTRE TRI

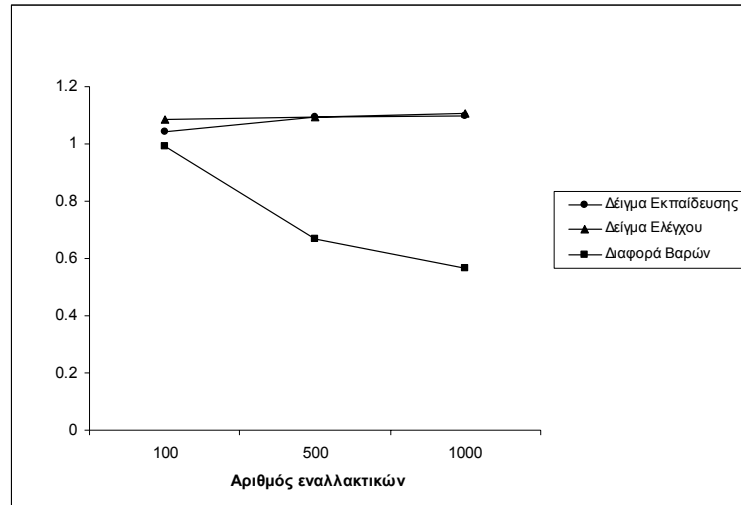
	Συνολική Ακρίβεια		$ w_i - \widehat{w}_i $
	Δείγμα Εκπαίδευσης	Δείγμα Ελέγχου	
1 ^ο σύνολο δεδομένων	0.994	0.950	6.474
2 ^ο σύνολο δεδομένων	0.860	0.728	4.245
Μέσος Όρος	0.927	0.839	5.360

Πίνακας 3.8: Σύνοψη αποτελεσμάτων της μεθόδου UTADIS

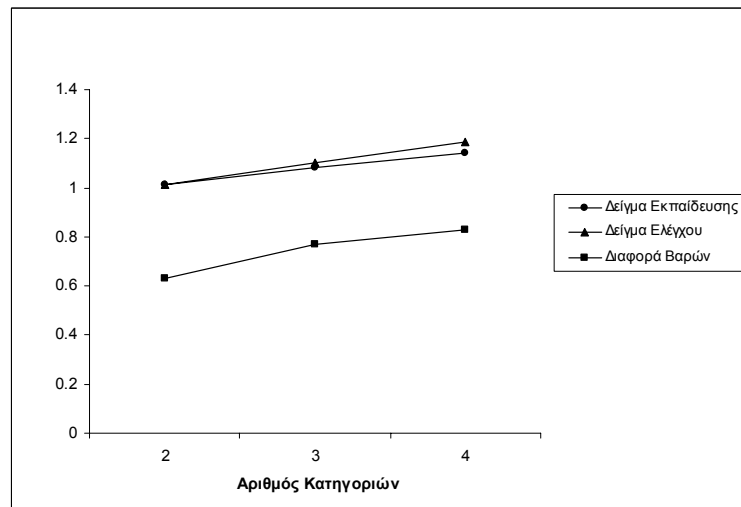
	Συνολική Ακρίβεια		$ w_i - \widehat{w}_i $
	Δείγμα Εκπαίδευσης	Δείγμα Ελέγχου	
1 ^ο σύνολο δεδομένων	0.990	0.941	1.400
2 ^ο σύνολο δεδομένων	0.923	0.867	8.866
Μέσος Όρος	0.957	0.904	5.133

Τέλος, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της μεθόδου ELECTRE TRI DE και για τα δύο είδη δεδομένων παρατηρείται ότι το μοντέλο, όσον αφορά τη διαφορά βαρών, ανταποκρίνεται καλύτερα στα δεδομένα που έχουν ταξινομηθεί σύμφωνα με μια προσθετική συνάρτηση αξίας. Το αποτέλεσμα αυτό φαίνεται μάλλον παράδοξο, θα μπορούσε όμως να εξηγηθεί λαμβάνοντας υπόψη τον τρόπο με τον οποίο επιδρά η στάθμιση των κριτηρίων σε μία σχέση υπεροχής σε σχέση με την αντίστοιχη επίδραση σε μία συνάρτηση αξίας. Ειδικότερα σε μία συνάρτηση αξίας ο τρόπος με τον οποίον επιδρούν οι συντελεστές στάθμισης των κριτηρίων είναι πιο σαφής σε σχέση με ένα μοντέλο που βασίζεται στη θεωρία των σχέσεων υπεροχής. Έτσι η εκτίμηση της σημαντικότητας των κριτηρίων είναι πιο ακριβής. Αντίθετα σε ένα μοντέλο όπως αυτό της μεθόδου ELECTRE TRI η εισαγωγή του ελέγχου ασυμφωνίας (βέτο) καθιστά δύσκολη την ακριβή εκτίμηση της βαρύτητας (επίδρασης) που έχει ένα κριτήριο στο τελικό αποτέλεσμα. Όπως και προηγούμενα για τη μέθοδο ELECTRE TRI DE, όσον αφορά τη διαφορά βαρών, έτσι και τώρα συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της μεθόδου UTADIS μεταξύ των δύο ειδών δεδομένων παρατηρείται πως το μοντέλο ανταποκρίνεται καλύτερα στα δεδομένα που έχουν ταξινομηθεί σύμφωνα με μια προσθετική συνάρτηση αξίας.

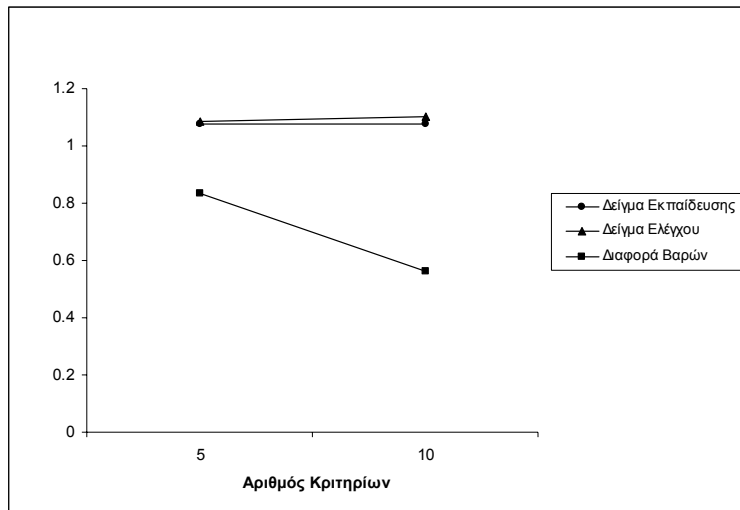
Σύγκριση αποτελεσμάτων δεδομένων που έχουν ταξινομηθεί σύμφωνα με την ELECTRE TRI



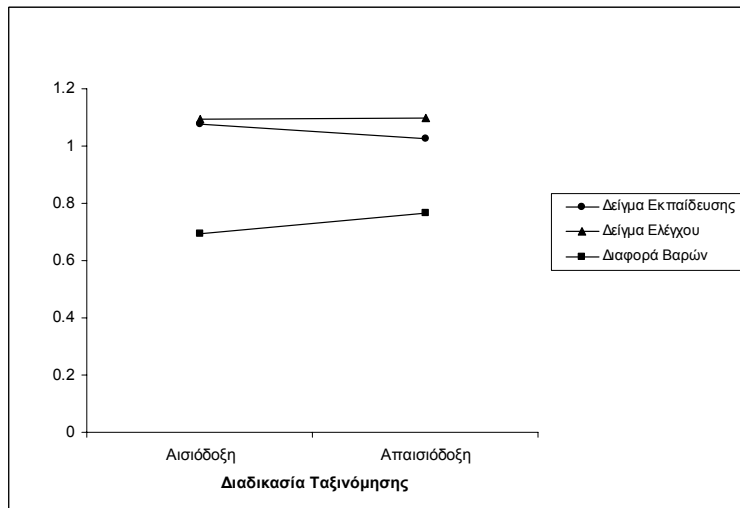
Σχήμα 3.1: Σύγκριση μεθόδων ως προς με τον αριθμό των εναλλακτικών



Σχήμα 3.2: Σύγκριση μεθόδων ως προς τον αριθμό των κατηγοριών

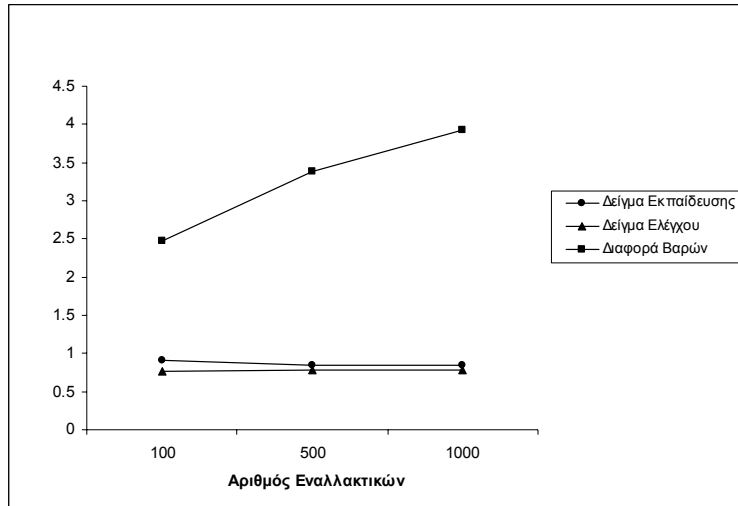


Σχήμα 3.3: Σύγκριση μεθόδων ως προς τον αριθμό των κριτηρίων

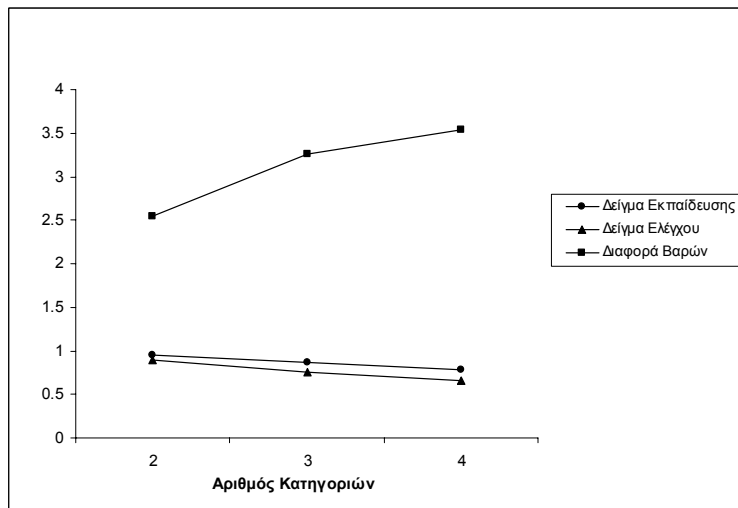


Σχήμα 3.4: Σύγκριση μεθόδων ως προς την διαδικασία ταξινόμησης

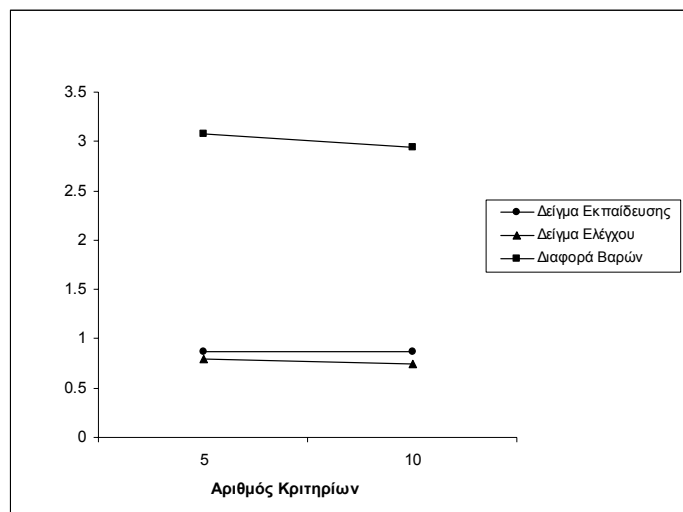
Σύγκριση αποτελεσμάτων δεδομένων που έχουν ταξινομηθεί σύμφωνα με μια προσθετική συνάρτηση αξίας



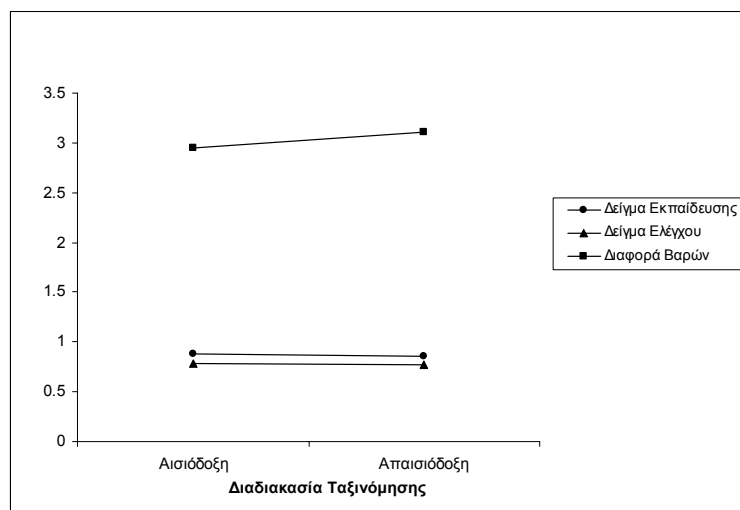
Σχήμα 3.5: Σύγκριση μεθόδων ως προς με τον αριθμό των εναλλακτικών



Σχήμα 3.6: Σύγκριση μεθόδων ως προς τον αριθμό των κατηγοριών



Σχήμα 3.7: Σύγκριση μεθόδων ως προς τον αριθμό των κριτηρίων



Σχήμα 3.8: Σύγκριση μεθόδων ως προς την διαδικασία ταξινόμησης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Χωρίς αμφιβολία η πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων τα τελευταία χρόνια έχει εξελιχθεί σημαντικά τόσο σε θεωρητικό όσο και σε επίπεδο εφαρμογών εξαιτίας της διαπίστωσης ότι η επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων λήψης αποφάσεων δεν είναι δυνατή μέσω μιας μονοδιάστατης προσέγγισης.

Στο πλαίσιο αυτό, η συγκεκριμένη εργασία, είχε ως στόχο την συγκριτική αξιολόγηση δύο εκ των σημαντικότερων μεθοδολογιών ταξινόμησης, της ELECTRE TRI και της UTADIS. Η σύγκριση των δυο προαναφερθέντων πολυκριτήριων μεθοδολογιών ταξινόμησης βασίστηκε τόσο σε πραγματικά όσο και πειραματικά δεδομένα. Ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιήθηκαν πειραματικά δεδομένα είναι διότι ο πειραματικός σχεδιασμός επιτρέπει την πραγματοποίηση της σύγκρισης σε δεδομένα με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και επιτρέπει την εξαγωγή εκτιμήσεων όσον αφορά την αναμενόμενη αποτελεσματικότητα των εξεταζόμενων μεθόδων στην αντιμετώπιση προβλημάτων ταξινόμησης, σε σχέση με τα χαρακτηριστικά των πραγματικών δεδομένων που αναλύθηκαν. Αξιολογώντας τα δεδομένα αυτά η έρευνα κατέληξε σε κάποια χρήσιμα συμπεράσματα.

Χωρίς να ληφθεί υπόψη ο διαχωρισμός των δεδομένων σε πραγματικά και πειραματικά, σε ότι αφορά τόσο την ακρίβεια ταξινόμησης όσο και τη διαφορά των βαρών των κριτηρίων, παρατηρήθηκε υπεροχή της UTADIS έναντι της ELECTRE TRI.

Επίσης έγινε σαφές ότι η απόδοση, τόσο της ELECTRE TRI όσο και της UTADIS, για την ακρίβεια ταξινόμησης και για εκτίμηση της σημαντικότητας των κριτηρίων επηρεάζεται από τον αριθμό των εναλλακτικών και τη πολυπλοκότητα του προβλήματος (αριθμός κριτηρίων και κατηγοριών).

Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι ενώ για κάποιους συνδυασμούς των παραμέτρων τα μοντέλα έδωσαν εκτιμήσεις υψηλής ακρίβειας για την ταξινόμηση των εναλλακτικών, παρατηρήθηκε ότι οι εκτιμήσεις για τη σημαντικότητα των κριτηρίων μπορούν να διαφέρουν αρκετά από την πραγματικότητα. Αυτό συνέβη γιατί μπορεί για ένα πρόβλημα να υπάρχουν πολλές σωστές λύσεις αλλά για ένα συγκεκριμένο συνδυασμό δεδομένων ενός προβλήματος μία από τις σωστές λύσεις να είναι η κατάλληλη. Έτσι λοιπόν μπορεί το μοντέλο να αξιολόγησε σωστά (σύμφωνα με την ακρίβεια ταξινόμησης των δειγμάτων) αλλά να μην ήταν σε απόλυτη συμφωνία με τις επιμέρους παραμέτρους (π.χ βάρη κριτηρίων) που καθορίζουν την πολιτική λήψης αποφάσεων του αποφασίζοντα.

Κάτι που θα πρέπει επίσης να αναφερθεί είναι ότι τα δεδομένα που ταξινομήθηκαν σύμφωνα με τη λογική της μεθόδου ELECTRE TRI εκτιμήθηκαν καλύτερα από την ELECTRE TRI DE έναντι της UTADIS ενώ δεδομένα που ταξινομήθηκαν

σύμφωνα με μια προσθετική συνάρτηση αξίας εκτιμήθηκαν καλύτερα από την UTADIS.

Τέλος, σε ότι αφορά τα βάρη των κριτηρίων έγινε σαφές ότι τόσο η μέθοδος ELECTRE TRI DE όσο και η UTADIS εκτίμησαν καλύτερα τα δεδομένα που έχουν ταξινομηθεί με μια προσθετική συνάρτηση αξίας έναντι των δεδομένων που έχουν ταξινομηθεί με την λογική της ELECTRE TRI.

Βέβαια, παρά την απάντηση σημαντικών ερωτημάτων σχετικών με τα χαρακτηριστικά και την αποτελεσματικότητα των πολυκριτήριων προσεγγίσεων ταξινόμησης που πραγματοποιήθηκε, η έρευνα στο χώρο αυτό παρουσιάζει σημαντικές μελλοντικές προοπτικές. Οι κύριες από τις προοπτικές αυτές και οι αντίστοιχες μελλοντικές κατευθύνσεις εντοπίζονται στα ακόλουθα σημεία:

1. Χρήση και άλλων πολυκριτήριων μεθόδων ταξινόμησης.
2. Σύγκριση πολυκριτήριων μεθοδολογιών με άλλες τεχνικές από τον χώρο της στατιστικής και της τεχνητής νοημοσύνης.
3. Εφαρμογή πολυκριτήριων μεθοδολογιών και σε άλλα πραγματικά δεδομένα π.χ. από πεδία marketing, με έμφαση σε ποιοτικά στοιχεία.
4. Εξέταση άλλων στοιχείων που χαρακτηρίζουν την ποιότητα των μοντέλων (π.χ. ευαισθησία/ευστάθεια).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Δούμπος, Μ. & Ζοπουνίδης, Κ. (2001), “ Πολυκριτήριες Τεχνικές Ταξινόμησης ”, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
- Devaud, J.M., Groussaud, G. and Jacquet-Lagrèze, E. (1980), “ UTADIS: Une méthode de construction de fonctions d ’ utilité additives rendant compte de jugements globaux ”, European Working Group on Multicriteria Decision Aid, Bochum.
- Doumpos, M. and Pasiouras, F. (2004), “ Developing and testing models for replicating credit ratings: A multicriteria approach ”, *Computational Economics*, 25(4), 327-341.
- Doumpos, M. and Zopounidis, C. (2002), “ On the use of a multi-criteria hierarchical discrimination approach for country risk assessment ”, *Journal of Multi-criteria Decision Analysis*, 11(4-5), 279-289.
- Doumpos, M. and Zopounidis, C. (2007), “ Regularized estimation for preference disaggregation in multiple criteria decision making ”, *Computational Optimization and Applications*, 38(1), 61-80.
- Doumpos, M., Marinakis, Y., Marinaki, M. and Zopounidis, C. (2009), “ An evolutionary approach to construction of outranking models for multicriteria classification: The case of the ELECTRE TRI method ”, *European Journal of Operational Research*, 199(2), 496-505.
- Doumpos, M., Zopounidis, C. and Golfinopoulou, V. (2007), “ Additive support vector machines for pattern classification ”, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics B*, 37(3), 540-550.
- Fawcett, T., (2006), “ An introduction to ROC analysis ”. *Pattern Recognition Letters* 27, 861-874.
- Jacquet-Lagrèze, E. (1995), “ An application of the UTA discriminant model for the evaluation of R & D projects ”, in: P.M. Pardalos, Y. Siskos, C. Zopounidis (eds.), *Advances in Multicriteria Analysis*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 203-211.
- Jacquet-Lagrèze, E., Siskos, Y. (1982), “ Assessing a set of additive utility functions for multicriteria decision making: the UTA method ”, *European Journal of Operational Research*, 10(2), 151-164.
- Mirkin, B. (1998), “ *Mathematical Classification and Clustering* ”, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Roy, B. (1985), “ *Méthodologie Multicritère d’Aide a la Décision* ”, Economica, Paris.

- Roy, B. (1991), “ The outranking approach and the foundations of ELECTRE TRI methods ”, *Theory and Decision*, 31,49-73.
- Roy, B., and Bouyssou, D. (1993), “ Aide Multicritère à la Décision: Méthodes et Cas ”, Economica, Paris.
- Stone, M. (1974), “ Cross-Validation choice and assessment of statistical predictions ”, *Journal of the Royal Statistical Society B* 36, 111-147.
- Yu, W. (1992), “ ELECTRE TRI: Aspects méthodologiques et manuel d’utilisation ”. Document du Lamsade No 74, Université de Paris-Dauphine.
- Zopounidis, C. and Doumpos, M. (1999), “ A multicriteria decision aid methodology for sorting decision problems: The case of financial distress ”, *Computational Economics*, 14(3), 197–218.
- Zopounidis, C. and Doumpos, M. (2002), “ Multicriteria classification and sorting methods: a literature review ”, *European Journal of Operational Research*, 138(2), 229-246.