



Πανεπιστήμιο Πειραιώς – Τμήμα Πληροφορικής
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Προηγμένα Συστήματα Πληροφορικής»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τίτλος Διατριβής	Ανάπτυξη πολυκριτηριακού μοντέλου για αυτόματη έγκριση - απόρριψη δανειακών αιτήσεων στον τραπεζικό τομέα. Development of a multicriteria model for the automatic approval – rejection of loan applications in the banking sector.
Όνοματεπώνυμο Φοιτητή	Παναγής Λουκάτος του Γεράσιμου
Αριθμός Μητρώου	ΜΠΣΠ/15048
Κατεύθυνση	Επιχειρηματική Ευφυΐα
Επιβλέπων	Δημήτρης Κ. Δεσπότης, Καθηγητής

Ημερομηνία παράδοσης: Μάρτιος 2018

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Δημήτρης Κ. Δεσπότης	Δημήτρης Αποστόλου	Κωνσταντίνος Μεταξιώτης
Καθηγητής	Αναπληρωτής Καθηγητής	Αναπληρωτής Καθηγητής

Περίληψη

Η διαδικασία ελέγχου της πιστοληπτικής ικανότητας ενός δανειολήπτη αποτελεί μία από τις κυριότερες λειτουργίες των σύγχρονων τραπεζικών ιδρυμάτων. Η πολιτική διαχείρισης πιστωτικού κινδύνου απαιτεί την αξιολόγηση των δανειακών αιτήσεων με βάση πολλαπλά κριτήρια όπου για το καθένα έχουν οριστεί συγκεκριμένα κατώφλια έγκρισης ή απόρριψης της αίτησης. Η διαδικασία επίσης απαιτεί την χειροκίνητη αξιολόγηση αιτήσεων όταν οι τιμές τους στα κριτήρια βρίσκονται οριακά κοντά στα καθορισμένα κατώφλια (γκρίζα ζώνη). Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο εκάστοτε αποφασίζων, με υποκειμενική και μη προκαθορισμένη βαρύτητα μεταξύ των κριτηρίων, κρίνει την έγκριση ή την απόρριψη της αίτησης. Στην παρούσα εργασία, αναπτύσσουμε ένα μοντέλο πολυκριτηριακού γραμμικού προγραμματισμού με την μέθοδο UTADIS με στόχο την προσομοίωση του μοντέλου προτίμησης και αξιολόγησης των αιτήσεων στην «γκρίζα ζώνη» από τους αποφασίζοντες. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω ενός συνόλου δανειακών αιτήσεων για τις οποίες γνωρίζουμε τις τιμές στα κριτήρια καθώς και την τελική απόφαση, που φέρουν την υποκειμενική αποτίμηση της μερικής αξίας του κάθε κριτηρίου από τον εκάστοτε αποφασίζων.

Abstract

The process of customer screening and risk evaluation in loan origination, is one of the most important business processes for today's financial institutions. This process demands the evaluation of loan applications, based on multiple criteria for which there are predefined thresholds for approving or rejecting the loan application. This process also demands the manual evaluation of loan applications whose criteria values are very close to the predefined thresholds (Grey zone). In such cases, the analysts decide for the approval or the rejection of the application based on subjective and non-predefined weights among the criteria. In this current work a multiple criteria linear programming model is developed with UTADIS (UTilités Additives DIScriminantes) method, that simulates the overall preferential model and the evaluation of the loan applications in the "Grey zone". This is achieved through a set of loan applications with known values in the criteria and final decision, depicting the subjective evaluation of each criterion by the decision makers.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	8
1. Η διαδικασία αξιολόγησης πελατών/αιτήσεων.....	9
1.1. Εισαγωγή στην δημιουργία δανειακών αιτήσεων (Loan Origination)	9
1.2. Βαθμολόγηση αιτήσεων, πελατών και δείκτες	10
1.3. Η επιχειρησιακή διεργασία Έγκρισης - Απόρριψης δανειακών αιτήσεων και σημασία της ανθρώπινης παρέμβασης.	11
2. Η Πολυκριτηριακή Ανάλυση αποφάσεων	13
2.1. Εισαγωγή	13
2.2. Η προσέγγιση σύνθεσης - ανάλυσης κριτηρίων.	15
2.3. Μέθοδος UTA	17
2.4. UTASTAR	20
2.5. UTADIS	22
3. Μοντελοποίηση Συστήματος Έγκρισης/Απόρριψης δανειακών αιτήσεων	25
3.1. Ανάλυση κριτηρίων.....	26
3.2. Προετοιμασία δεδομένων.....	28
3.2.1. Προετοιμασία δεδομένων εισόδου.	28
3.2.2. Καθορισμός παραμέτρων εκπαίδευσης.	31
3.3. Επίλυση μοντέλου	35
3.4. Ανάλυση αποτελεσμάτων	36
3.5. Αποτελέσματα προσομοιώσεων.....	38
3.5.1. Με διαφορετικά τμήματα κριτηρίων.....	38
3.5.2. Με διαφορετική κατανομή στα σύνολα των εγκεκριμένων αιτήσεων.....	39
3.5.3. Με αλλαγές στο ϵ	41
3.6. Μεταβελτιστοποίηση	43
4. Ανάλυση και εφαρμογή του μοντέλου στην διαδικασία της αξιολόγησης.....	45
5. Συμπεράσματα	47
6. Μελλοντικές προτάσεις	48
7. Βιβλιογραφία	49

Εικόνες

Εικόνα 1. Τυπικό διάγραμμα ροής ελέγχου δανειακής αίτησης.....	12
Εικόνα 2. Ανάλυση των συνεπειών για την διαμόρφωση των κριτηρίων.	14
Εικόνα 3 Το μοντέλο σύνθεσης – ανάλυσης στην Πολυκριτηριακή ανάλυση αποφάσεων	15
Εικόνα 4 Η προσέγγιση σύνθεσης – ανάλυσης έναντι άλλων πολυκριτηριακών μεθόδων	16
Εικόνα 5 Η συνάρτηση χρησιμότητας του εκάστοτε κριτηρίου.....	17
Εικόνα 6 Η κατά τμήματα γραμμική συνάρτηση χρησιμότητας για 2 τμήματα.	18
Εικόνα 7 Το γραμμικό πρόγραμμα της UTA.....	19
Εικόνα 8 Τα σφάλματα υπερεκτίμησης και υποεκτίμησης της κάθε απόφασης.	20
Εικόνα 9 Η ταξινόμηση των επιλογών στις δύο κλάσεις με το σφάλμα $\sigma(\alpha)$ κοντά στο κατώφλι.....	22
Εικόνα 10. Το γραμμικό πρόγραμμα της μεθόδου UTADIS.....	24
Εικόνα 11. Η ροή εργασιών για την ετοιμασία των αποτελεσμάτων στην Αναλυτική δεδομένων.....	25
Εικόνα 12 Η εκτέλεση του προγράμματος στο σύστημα του εργαστηρίου με τους χρόνους της κάθε φάσης.	34
Εικόνα 13. Γραφική αναπαράσταση άμβλυνσης του κατωφλίου κατά 5% με τα αντίστοιχα ποσοστά ακρίβειας.....	46

Πίνακες

Πίνακας 1. Δείγμα της τελική μορφής των δεδομένων εισόδου.	30
Πίνακας 2. Δείγμα του πίνακα με τις αιτήσεις που έχουν τις ακραίες τιμές να είναι στις πρώτες θέσεις.	31
Πίνακας 3. Δείγμα διαμοιρασμού των τιμών του κάθε κριτηρίου στα αντίστοιχα γραμμικά τμήματά του.	32
Πίνακας 4. Η αποτύπωση των πιθανών σφαλμάτων υποεκτίμησης και υπερεκτίμησης και το συνολικό σφάλμα.	32
Πίνακας 5. Η αποτύπωση του κατωφλίου ως μεταβλητή.	33
Πίνακας 6. Το διάνυσμα των αξιών του κάθε κριτηρίου ανά διάστημα για το παράδειγμα των 2 τμημάτων ανά κριτήριο.	35
Πίνακας 7. Τα σφάλματα για τις πρώτες 5 αιτήσεις.	36
Πίνακας 8. Ο συγκεντρωτικός έλεγχος του αποτελέσματος της επίλυσης συγκριτικά με την αρχική απόφαση.	37
Πίνακας 9 Ο κώδικας επίλυσης των δώδεκα γραμμικών προγραμμάτων.	43
Πίνακας 10. Ο πίνακας μεταβελτιστοποίησης με τον μέσο όρο των κριτηρίων.	43
Πίνακας 11. Το αποτέλεσμα της μεταβελτιστοποίησης.	44
Πίνακας 13. Απόδοση αυτόματης απόφασης σε σχέση με το ποσοστό άμβλυνσης του κατωφλίου.	45

Εισαγωγή

Η διαδικασία ελέγχου της πιστοληπτικής ικανότητας του υποψήφιου δανειολήπτη αποτελεί μία σαφώς καθορισμένη επιχειρησιακή διεργασία στην οποία, μετά την συλλογή των απαραίτητων πληροφοριών, καλείται ο αποφασίζων να εγκρίνει ή να απορρίψει μία δανειακή αίτηση. Τα κριτήρια στα οποία στηρίζεται η αξιολόγηση δανειακών αιτήσεων, περιγράφονται λεπτομερώς στην πολιτική διαχείρισης πιστωτικών κινδύνων του ιδρύματος. Παρ' όλα αυτά, η πιστοληπτική πολιτική του ιδρύματος, ενώ καθορίζει με σαφήνεια τα ανώτατα και κατώτατα επιτρεπτά όρια (κατώφλια) στις τιμές των κριτηρίων της δανειακής αίτησης, δεν περιγράφει με ακρίβεια τον τρόπο αξιολόγησης αιτήσεων για τις οποίες οι τιμές στα κριτήρια βρίσκονται κοντά στα όρια ή ελάχιστα έξω από αυτά καθώς και τη σχετική βαρύτητα των κριτηρίων.

Οι αιτήσεις αυτές οι οποίες ανήκουν στην κοινώς επονομαζόμενη «γκρίζα ζώνη» πρέπει πλέον να αξιολογηθούν χειροκίνητα από το αντίστοιχο τμήμα στα κεντρικά του ιδρύματος όπου εκπαιδευμένοι υπάλληλοι, επί τη βάση της εκάστοτε πολιτικής της τράπεζας και της υποκειμενικής τους αποτίμησης, αποφασίζουν για την έγκριση ή απόρριψη τους.

Η παρούσα εργασία έχει σκοπό να παρουσιάσει τη χρήση πολυκριτηριακού γραμμικού προγραμματισμού και την μέθοδο UTADIS για την δημιουργία ενός μοντέλου όπου θα εντάξει την υποκειμενικότητα της αποτίμησης της μερικής αξίας του κάθε κριτηρίου. Αυτό θα επιτευχθεί μέσω ενός συνόλου δανειακών αποφάσεων με γνωστές τιμές και αποτελέσματα, όπου απεικονίζει το συνολικό μοντέλο προτίμησης και αξιολόγησης των αιτήσεων στην «γκρίζα ζώνη» από τους αποφασίζοντες.

Πιο συγκεκριμένα στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται με λεπτομέρεια η επιχειρησιακή διεργασία της δημιουργίας και αξιολόγησης μίας δανειακής αίτησης καθώς και τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για αυτήν. Η καλή κατανόηση των κριτηρίων και της σημασίας που έχουν για τον εκάστοτε αποφασίζοντα από τον αναλυτή, θα οδηγήσει σε καλύτερη ενσωμάτωση των εκάστοτε αξιών των αιτήσεων στο μοντέλο. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται η μέθοδος πολυκριτηριακής ανάλυσης αποφάσεων με σύνθεση – ανάλυση κριτηρίων. Θα αναλυθεί η μέθοδος UTA (UTilités Additives) με έμφαση στην παραλλαγή της, UTADIS (UTilités Additives DIScriminantes), με την οποία θα αναπτύχθει το γραμμικό πρόγραμμα για την προσομοίωση των επιλογών του αποφασίζοντα. Στο τρίτο κεφάλαιο θα παρουσιαστεί βήμα-βήμα η δημιουργία του μοντέλου γραμμικού προγραμματισμού και πως μετατρέπεται η UTADIS σε εντολές Matlab και συγκεκριμένα του προσαρτήματος LPSolve. Θα εκτελεστεί η εκπαίδευση του μοντέλου προσομοίωσης με διαφορετικές παραμέτρους και θα αναλυθούν τα αποτελέσματα για το πως επηρεάζονται τα μοντέλα. Τέλος θα δειχθεί η

διαδικασία μεταβελτιστοποίησης του μοντέλου. Στο τέταρτο κεφάλαιο θα αναλυθούν κάποιοι χρήσιμοι δείκτες αποτελεσμάτων και οι πιθανές στρατηγικές χρήσης του μοντέλου από τον οργανισμό. Στο πέμπτο κεφάλαιο θα διατυπωθούν τα συμπεράσματα της προσομοίωσης και της συμπεριφοράς του μοντέλου και στο έκτο κεφάλαιο θα αναλυθούν μελλοντικές προτάσεις και εφαρμογές.

1. Η διαδικασία αξιολόγησης πελατών/αιτήσεων

1.1.Εισαγωγή στην δημιουργία δανειακών αιτήσεων (Loan Origination)

Μία από τις κυριότερες λειτουργίες των σύγχρονων τραπεζικών ιδρυμάτων αποτελεί, εκτός της παροχής καταθετικών και αποταμιευτικών επιλογών, η χρηματοδότηση νοικοκυριών και επιχειρήσεων με σκοπό την επίτευξη των επενδυτικών και αναπτυξιακών τους στόχων. Για την εύρυθμη λειτουργία του ιδρύματος αλλά και του τραπεζικού συστήματος, η διαδικασία αυτή προϋποθέτει την εμπρόθεσμη επιστροφή του κεφαλαίου συμπεριλαμβανομένων και των τόκων μέσα στο καθορισμένο συνολικό διάστημα (Τσούμας, 2006). Οι τόκοι συμπεριλαμβανομένων των εξόδων και προμηθειών, αποτελούν το βασικό έσοδο του τραπεζικού ιδρύματος και ως τέτοιο δηλώνεται λεπτομερώς και απαραίτητως στον ισολογισμό του ιδρύματος καθώς και στις προβλέψεις - εκθέσεις των οικονομικών περιόδων προς τους μετόχους (Ψυχομάνης, 2001). Το πιο σημαντικό στοιχείο στην ακρίβεια αυτών των στοιχείων παραμένει η δυνατότητα είσπραξης των δόσεων εμπρόθεσμα ώστε οι προβλέψεις εσόδων να είναι εντός των στόχων, όπου βοηθάει στον καλύτερο οικονομικό σχεδιασμό και προγραμματισμό του ιδρύματος.

Είναι προφανές ότι η είσπραξη των δόσεων είναι συνυφασμένη με την δυνατότητα καταβολής τους από τον δανειολήπτη. Βασικός στόχος του τραπεζικού ιδρύματος λοιπόν είναι να μπορέσει να χρησιμοποιήσει όλα τα σύγχρονα εργαλεία και τις στατιστικές μεθόδους εκείνες όπου θα του επιτρέψουν να αξιολογήσει την πιστοληπτική ικανότητα του κάθε πελάτη. Μέσα από αυτή την διαδικασία θα μπορεί να προβλέψει τον βαθμό φερεγγυότητας του δανειολήπτη και κατά συνέπεια την πιθανότητα της εμπρόθεσμης επιστροφής του κεφαλαίου αλλά και της πληρωμής των τόκων που περιλαμβάνονται σε μία δανειακή δόση (Αθανασίου, 2006).

Η διαδικασία ελέγχου της πιστοληπτικής ικανότητας του υποψήφιου δανειολήπτη αποτελεί μία προκαθορισμένη επιχειρησιακή διεργασία στην οποία μετά την συλλογή των

απαραίτητων πληροφοριών, καλείται ο αποφασίζων να εγκρίνει η να απορρίψει μία δανειακή αίτηση.

1.2.Βαθμολόγηση αιτήσεων, πελατών και δείκτες

Οι τράπεζες ακολουθούν λίγο έως πολύ κάποιες κοινές αρχές προκειμένου να προχωρήσουν στη δανειοδότηση. Μετά την αρχική αίτηση του ενδιαφερόμενου και τον έλεγχο των βασικών χαρακτηριστικών του, ο έλεγχος επεκτείνεται σε μία βαθύτερη ανάλυση που περιλαμβάνει εκτός των άλλων και την διερεύνηση και εκτίμηση των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών που αφορούν την αίτηση σαν σύνολο (Ferrary, 2003). Ένα χαρακτηριστικό βήμα στον έλεγχο αυτόν είναι και η φάση «Γνώση του πελάτη» γνωστή και ως KYC (Know Your Customer). Η Γνώση του πελάτη εξετάζει:

- Αξιοπιστία και φερεγγυότητα.
- Επαγγελματική σταθερότητα
- Συνέπεια στις πληρωμές στο παρελθόν
- Ηλικία
- Αίσθηση εμπιστοσύνης που δημιουργεί η συνομιλία μαζί του.
- Σκοπό της χορήγησης
- Δυνατότητα αποπληρωμής
- Εξασφαλίσεις

και προσδίδει τα περισσότερα από τα απαραίτητα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Για τα ποσοτικά τέλος, ο υπάλληλος ανατρέχει στα έγγραφα φορολογίας εισοδήματος και τίτλους ιδιοκτησίας.

Όλα τα παραπάνω οδηγούν στην δημιουργία συγκεκριμένων δεικτών οι οποίοι χρησιμοποιούνται από ένα αυτοματοποιημένο σύστημα αξιολόγησης ώστε να συγκριθούν με τα προκαθορισμένα κατώφλια. Η πορεία της αίτησης πλέον ακολουθεί την προδιαγραφή της επιχειρησιακής διεργασίας όπως αυτή έχει καθοριστεί από το τμήμα διαχείρισης πιστωτικού κινδύνου.

Ενδεικτικά αναφέρονται ορισμένοι σημαντικοί δείκτες:

- DTI (Debt to Income ratio): Ο λόγος οφειλών προς το εισόδημα του πελάτη. Στις περισσότερες χώρες, απαγορεύεται δια νόμου να ξεπεράσει συγκεκριμένα κατώφλια ανεξαρτήτως ύψους εισοδήματος.
- SCORE: η βαθμολογία του πελάτη σε μία κλίμακα αξιολόγησης όπου λαμβάνονται υπ' όψιν τα δημογραφικά στοιχεία του, από το φύλο ή την

καταγωγή έως και τον ταχυδρομικό κώδικα σε αντιπαραβολή με στατιστικά στοιχεία συνέπειας πληρωμών για την κάθε κατηγορία.

- Ηλικία.
- Χρόνος από την τελευταία καθυστέρηση πληρωμής.
- Ιστορικά μέγιστα καθυστερήσεων σε ημέρες.
- Ιστορικά μέγιστα καθυστερήσεων σε ποσό.
- Αναφορά σε μαύρες λίστες (τρομοκρατών, απατεώνων, καταζητούμενων κλπ.).

και άλλοι δείκτες ανάλογα με το ισχύον κανονιστικό πλαίσιο της χώρας και την πολιτική διαχείρισης πιστωτικών κινδύνων του οργανισμού.

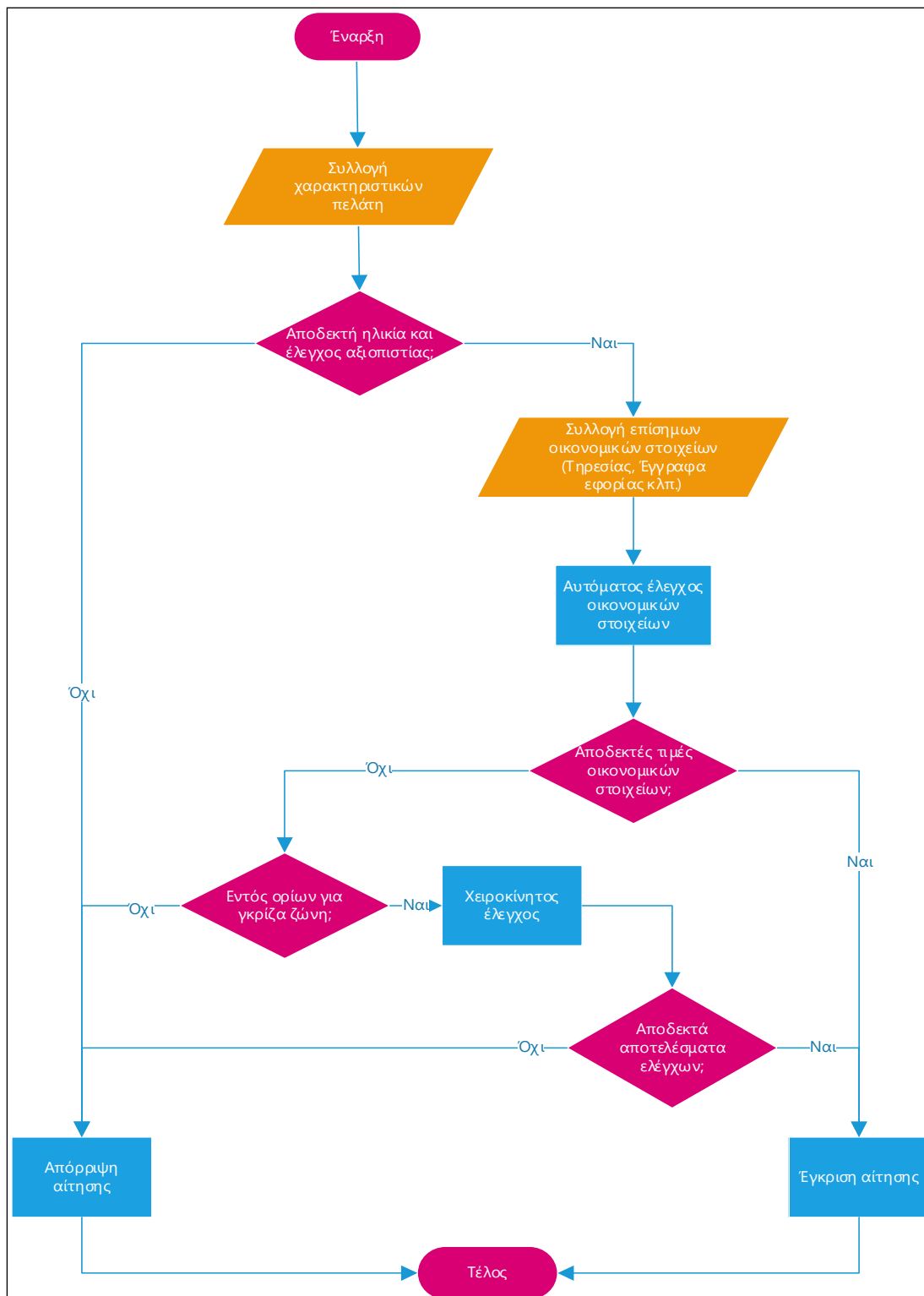
1.3.Η επιχειρησιακή διεργασία Έγκρισης - Απόρριψης δανειακών αιτήσεων και σημασία της ανθρώπινης παρέμβασης.

Μία συνήθης διαδικασία δανειοδότησης περιγράφεται στο διάγραμμα ροής που φαίνεται στην Εικόνα 1. Εάν μία αίτηση δεν ξεπερνάει τα κατώφλια για αυτόματη έγκριση ή απόρριψη λαμβάνει σήμανση για χειροκίνητο έλεγχο. Η αίτηση ανατίθεται σε κάποιον υπάλληλο ο οποίος θα εφαρμόσει και άλλα κριτήρια πέραν των αυστηρά ποσοτικών ή της ιστορικής συνέπειας του πελάτη.

Η δυσκολία που δημιουργεί στους αναλυτές το στοιχείο της γνώσης του πελάτη οφείλεται στο ότι κάποια από τα χαρακτηριστικά που το αποτελούν δεν είναι εύκολο να βαθμολογηθούν μέσω κάποιας κλίμακας. Ένα κλασικό παράδειγμα αποτελεί το στοιχείο αναφορικά με το πόσα χρόνια εργάζεται ο δανειολήπτης στον ίδιο εργοδότη ή το πλήθος των ετών στην ίδια κατοικία όπου δεν μπορεί κάποιος να ορίσει συγκεκριμένα εύρη στις πιθανές επιλογές και να τα αποδώσει σε αντίστοιχες βαθμολογίες.

Ένα άλλο παράδειγμα αποτελεί ο χαρακτήρας του δανειολήπτη και η εντύπωση που δίνει στον υπάλληλο του οργανισμού κατά τη συμπλήρωση της αίτησης. Σε αντίθεση με τα χρόνια εργασίας ή το εισόδημα όπου αποτελούν ποσοτικά κριτήρια, το κριτήριο του χαρακτήρα μπορεί να οδηγήσει από μόνο του σε απόρριψη της αίτησης. Στα δείγματα που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία, έχει παρατηρηθεί κωδικός απόρριψης «Bad Impression» δηλαδή κακής εντύπωσης ο οποίος έχει την μορφή σήμανσης. Τα δείγματα αυτά απορρίφθηκαν όλα παρ' όλο που μερικοί πελάτες είχαν άριστα χαρακτηριστικά. Ο χαρακτήρας

του δανειολήπτη θεωρήθηκε ως το πιο σημαντικό κριτήριο δανειοδότησης από υπεύθυνους δανείων στις ΗΠΑ (Green, Kwong, & Tigges, 1995).



Εικόνα 1. Τυπικό διάγραμμα ροής ελέγχου δανειακής αίτησης

2. Η Πολυκριτηριακή Ανάλυση αποφάσεων

2.1.Εισαγωγή

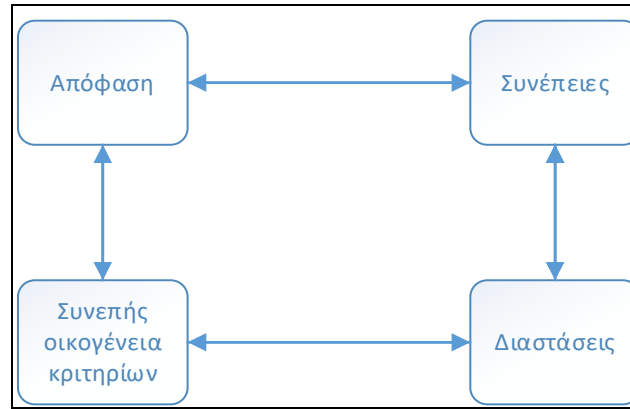
Με τον όρο «Πολυκριτηριακή ανάλυση» έχουν αναπτυχθεί δύο προσεγγίσεις. Η πρώτη αφορά το σύνολο των μεθόδων ή μοντέλων που επιτρέπουν την σύνθεση πολλαπλών κριτηρίων αξιολόγησης για την επιλογή μίας ή περισσότερων επιλογών από το σύνολο A και η δεύτερη αφορά την υποστήριξη απόφασης με ένα σαφώς καθορισμένο πλαίσιο, από έναν αποφασίζοντα, άτομο ή οργανισμό. Και στις δύο περιπτώσεις, το σύνολο των πιθανών επιλογών ή αποφάσεων A , αναλύεται σε πολλαπλά κριτήρια ώστε να προσομοιάσει όλες τις επιπτώσεις και τα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με το A . Ο Bernard Roy (Roy, 1985), περιγράφει μία γενική μεθοδολογία σχεδίασης προβλημάτων λήψης απόφασης, η οποία περιλαμβάνει τέσσερα βήματα:

1. Ορισμός αντικειμένου απόφασης συμπεριλαμβανομένου του ορισμού του συνόλου των πιθανών επιλογών – αποφάσεων A και τον καθορισμό μίας προβληματικής πάνω στο A .
2. Μοντελοποίηση ενός συνεπούς συνόλου κριτηρίων των οποίων οι αξίες είναι αύξουσες συναρτήσεις πεπερασμένων πραγματικών αριθμών.
3. Ανάπτυξη ενός γενικού μοντέλου προτίμησης το οποίο θα συνθέσει τις μερικές προτιμήσεις των κριτηρίων.
4. Υποστήριξη απόφασης στηριζόμενη στα αποτελέσματα του βήματος 3 και στην προβληματική που τέθηκε στο βήμα 1.

Για το πρώτο βήμα διακρίνονται τέσσερις ενδεικτικές προβληματικές όπου η κάθε μία δεν αποκλείει τις υπόλοιπες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξεχωριστά ή συμπληρωματικά. Οι τέσσερις προβληματικές είναι:

- Προβληματική α. Επιλογή μίας εκ των αποφάσεων από το σύνολο A .
- Προβληματική β. Ταξινόμηση των αποφάσεων σε προκαθορισμένη κλάση προτίμησης.
- Προβληματική γ. Κατάταξη των αποφάσεων από την καλύτερη στην χειρότερη.
- Προβληματική δ. Περιγραφή των αποφάσεων σε σχέση με τις επιδόσεις τους σε επί μέρους κριτήρια.

Για το δεύτερο βήμα, ο αναλυτής πρέπει να καταλήξει σε μία συνεπή οικογένεια κριτηρίων $\{g_1, g_2, \dots, g_n\}$.



Εικόνα 2. Ανάλυση των συνεπειών για την διαμόρφωση των κριτηρίων.

Κάθε κριτήριο είναι αύξουσα συνάρτηση πραγματικών αριθμών ορισμένη στο σύνολο A όπως φαίνεται παρακάτω:

$$g_i : A \rightarrow [g_i^*, g_i^*] \subset \mathbb{R} / a \rightarrow g(a) \in \mathbb{R}$$

Όπου $[g_i^*, g_i^*]$ είναι η κλίμακα αξιολόγησης των κριτηρίων και g_i^*, g_i^* αποτελούν την χειρότερη και την καλύτερη τιμή του i -οστού κριτηρίου αντίστοιχα, $g_i(a)$ είναι η αποτίμηση της επιλογής a στο i -οστό κριτήριο και $g(a)$ είναι το διάνυσμα των επιδόσεων της επιλογής a για το κάθε ένα από τα n κριτήρια. Τα κριτήρια πρέπει να πληρούν τις παρακάτω προϋποθέσεις:

1. Πληρότητα: $g_i(a) = g_i(a') \quad \forall i = 1, 2, \dots, n \Rightarrow a I a'$ (αδιάφορο)
2. Μονοτονία: $g_i(a) = g_i(a') \quad \forall i \neq k \text{ και } g_k(a) > g_k(a') \Rightarrow a P a'$ (προτίμηση)
3. Μη πλεονασμός: Εάν ο αποκλεισμός ενός κριτηρίου από ένα σύνολο το οποίο ικανοποιεί τις συνθήκες Πληρότητας και Μονοτονίας το οδηγεί στο να μην τις ικανοποιεί πλέον, τότε το αρχικό σύνολο είναι μη πλεονάζον και αντίστροφα.

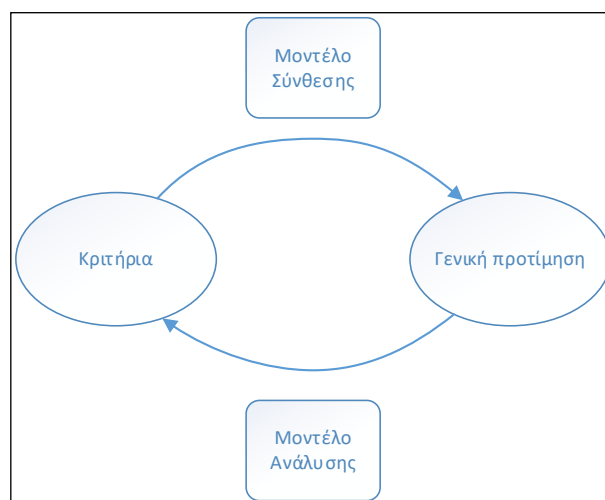
Από τον παραπάνω ορισμό διαμορφώνονται οι παρακάτω καταστάσεις προτίμησης:

$$\begin{cases} g_i(a) > g_i(b) \Leftrightarrow a P b \text{ (} a \text{ προτιμάται του } b \text{)} \\ g_i(a) = g_i(b) \Leftrightarrow a I b \text{ (} a \text{ αδιάφορο του } b \text{)} \end{cases}$$

όπου έχοντας πλέον μία δομή ασθενούς προτίμησης από ένα σύνολο επιλογών, το μόνο που απομένει είναι να προσαρμοστεί η αξία ή οι συναρτήσεις χρησιμότητας ως προς τα κριτήρια, με τέτοιο τρόπο ώστε η δομή να είναι συνεπής με την αρχική (Siskos, Grigoroudis, & Matsatsinis, UTA Methods, 2016).

2.2. Η προσέγγιση σύνθεσης - ανάλυσης κριτηρίων.

Στην παραδοσιακή μελέτη με σύνθεση κριτηρίων, το μοντέλο σύνθεσης των επί μέρους κριτηρίων είναι γνωστό εκ των προτέρων ενώ η ολική προτίμηση είναι άγνωστη. Από την άλλη μεριά, στην μελέτη με ανάλυση κριτηρίων η ολική προτίμηση είναι γνωστή και αναζητείται το μοντέλο προτίμησης των επί μέρους κριτηρίων.



Εικόνα 3 Το μοντέλο σύνθεσης – ανάλυσης στην Πολυκριτηριακή ανάλυση αποφάσεων

(Jacquet-Lagrèze & Siskos, 2001)

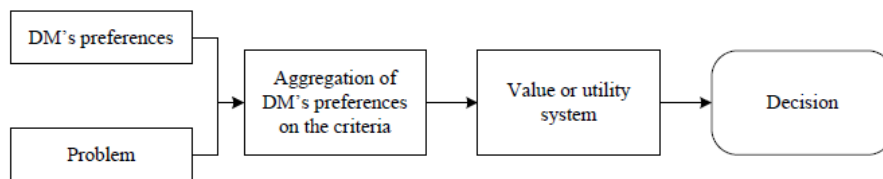
Η αναλυτική – συνθετική μέθοδος (Jacquet-Lagrèze and Siskos, 1982; 2001; Siskos, 1980; Siskos and Yannacopoulos, 1985; Siskos et al., 1993) στοχεύει στην ανάλυση της συμπεριφοράς και εμπειρίας που έχει ο αποφασίζων. Μέσω μίας επαναληπτικής διαδικασίας, τα συστατικά του προβλήματος και οι γενικές προτιμήσεις του αποφασίζοντα αναλύονται και ενσωματώνονται σε ένα σύστημα αξιολόγησης με σκοπό να μπορέσει ο αποφασίζων να βελτιώσει την γνώση του για τις επιπτώσεις των κριτηρίων σε κάθε περίπτωση και να διατυπώσει καλύτερα τις προτιμήσεις του ώστε να είναι πιο συνεπείς οι αποφάσεις.

Για να μπορέσει να αποτιμηθεί η γενική προτίμηση, οι Jacquet-Lagrèze και Siskos (Jacquet-Lagrèze & Siskos, 2001) προτείνουν ότι η αποτίμηση της γενικής προτίμησης του αποφασίζοντα απαιτεί ένα σύνολο αναφοράς από αποφάσεις A_R . Το σύνολο αυτό μπορεί να είναι:

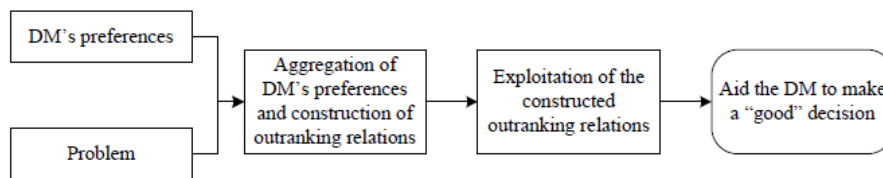
1. Ένα σύνολο από προηγούμενες αποφάσεις.

2. Ένα υποσύνολο από προηγούμενες αποφάσεις όταν το σύνολο είναι πολύ μεγάλο.
3. Ένα σύνολο από πλασματικές αποφάσεις αποτελούμενες από αποτιμήσεις κριτηρίων όπου ο αποφασίζων θεωρεί ότι μπορεί εύκολα να αναπαραστήσει την γενική προτίμηση από αυτά.

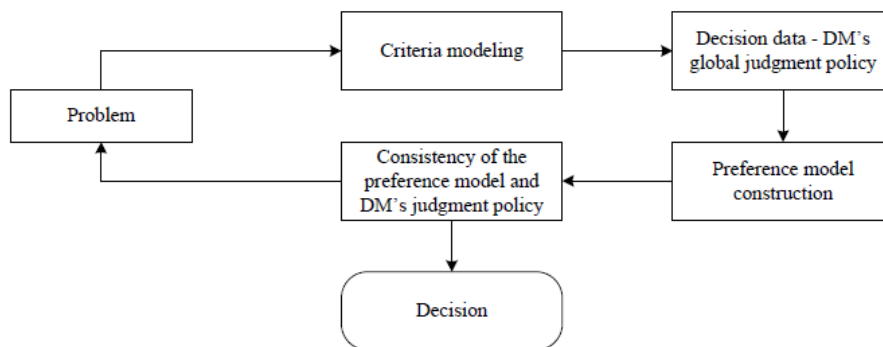
Σε κάθε περίπτωση, ο αποφασίζων καλείται να επιβεβαιώσει τη γενική προτίμηση σε σχέση με τις αποτιμήσεις των κριτηρίων.



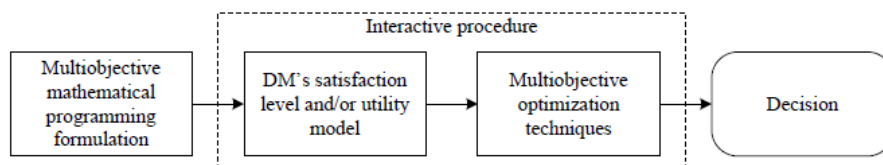
(a) The value system approach



(b) The outranking relation approach



(c) The disaggregation-aggregation approach



(d) The multiobjective optimization approach

Εικόνα 4 Η προσέγγιση σύνθεσης – ανάλυσης έναντι άλλων πολυκριτηριακών μεθόδων

(Siskos & Spyridakos, 1999)

2.3.Μέθοδος UTA

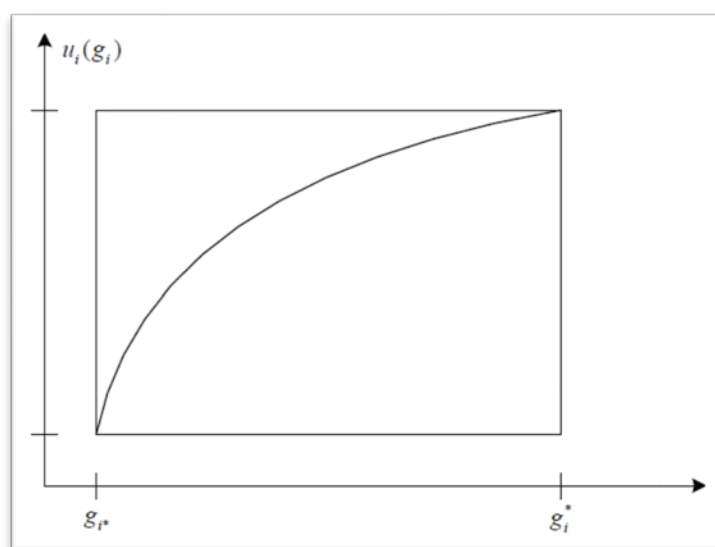
Η μέθοδος UTA (UTilités Additives) που προτάθηκε από τους Jacquet-Lagrèze και Siskos (Jacquet-Lagrèze & Siskos, 1982) στοχεύει στην εξαγωγή συναρτήσεων αθροιστικής χρησιμότητας (additive value functions) από την ταξινόμηση ενός συνόλου αναφοράς A_R . Η μέθοδος χρησιμοποιεί τεχνικές γραμμικού προγραμματισμού για τον εντοπισμό αυτών των συναρτήσεων ώστε η αξιολόγηση που θα γίνει να είναι όσο το δυνατόν πιο συνεπής με το δείγμα. Το μοντέλο σύνθεσης κριτηρίων στην UTA ορίζεται ως μία συνάρτηση αθροιστικής χρησιμότητας της μορφής:

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

με τους περιορισμούς:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n u_i(g_i^*) = 1 \\ u_i(g_i^*) = 0, \quad \forall i = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

όπου $u_i, i = 1, 2, \dots, n$ είναι οι μερικές συναρτήσεις χρησιμότητας του κάθε κριτηρίου όπου είναι αύξουσες πραγματικές συναρτήσεις και g_i^*, g_i^* είναι η ελάχιστη και μέγιστη τιμή του i -οστού κριτηρίου. Επίσης, και η μερική αλλά και η ολική συνάρτηση χρησιμότητας είναι μονότονες όπως η τιμή του εκάστοτε κριτηρίου.



Εικόνα 5 Η συνάρτηση χρησιμότητας του εκάστοτε κριτηρίου.

Ισχύει επομένως ότι όπως και σε επίπεδο κριτηρίων, έτσι και σε επίπεδο ολικής συνάρτησης χρησιμότητας των δύο επιλογών a και b θα ισχύει:

$$\begin{cases} u[g(a)] > u[g(b)] \Leftrightarrow a \succ b \text{ (προτίμηση)} \\ u[g(a)] = u[g(b)] \Leftrightarrow a \sim b \text{ (αδιάφορο)} \end{cases}$$

Με βάση τα παραπάνω, η τιμή της κάθε εναλλακτικής $a \in A$ μπορεί να γραφεί και ως:

$$u'[g(a)] = \sum_{i=1}^n u_i[g_i(a)] + \sigma(a), \quad \forall a \in A_R$$

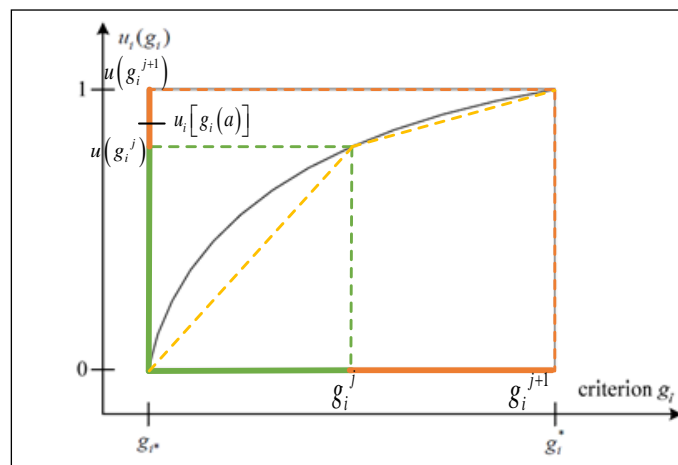
με $\sigma(a)$ να αποτελεί το σφάλμα της αποτίμησης $u'[g(a)]$. Παράλληλα, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5, η μερική συνάρτηση χρησιμότητας του κάθε κριτηρίου, δεν είναι πάντα γραμμική.

Για την αντιμετώπιση του ζητήματος της μη γραμμικότητας της μερικής αξίας, οι Jacquet-Lagrèze και Siskos (1982) προτείνουν την ανάλυση της αξίας σε τμήματα έτσι ώστε να προσεγγιστεί καλύτερα η καμπύλη. Σε αυτήν την περίπτωση γίνεται «κατά τμήματα γραμμική» και μπορεί να υπολογιστεί η μερική αξία του κάθε εύρους για το κάθε κριτήριο. Ο διαχωρισμός γίνεται με γραμμική παρεμβολή χωρίζοντας το εύρος του κριτηρίου $[g_i^*, g_i^*]$ σε $(k_i - 1)$ ίσα τμήματα με τα σημεία g_i^j που τα ορίζουν, να καθορίζονται από τον τύπο:

$$g_i^j = g_i^* + \frac{j-1}{k_i-1} (g_i^* - g_i^*) \quad \forall j = 1, 2, \dots, k_i$$

Έτσι η μερική αξία της επιλογής a για κάθε κριτήριο $g_i(a) \in [g_i^j, g_i^{j+1}]$ είναι:

$$u_i[g_i(a)] = u_i(g_i^j) + \frac{g_i(a) - g_i^j}{g_i^{j+1} - g_i^j} [u_i(g_i^{j+1}) - u_i(g_i^j)]$$



Εικόνα 6 Η κατά τμήματα γραμμική συνάρτηση χρησιμότητας για 2 τμήματα.

Μετά την ανάλυση αυτή, το σύνολο αναφοράς με τις επιλογές $A_R = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ αναταξινομείται σε σχέση με την νέα συνολική αξία της κάθε επιλογής a και επειδή ισχύει ασθενής προτίμηση, για κάθε ζεύγος επιλογών (a_k, a_{k+1}) ισχύει ότι είτε $a_k \succ a_{k+1}$ (προτίμηση) είτε $a_k \sim a_{k+1}$ (αδιάφορο) και επομένως η διαφορά μεταξύ των δύο επιλογών $\Delta(a_k, a_{k+1}) = u'[g(a_k)] - u'[g(a_{k+1})]$ θα είναι είτε $\Delta(a_k, a_{k+1}) \geq \delta$, όπου δ είναι ένας πολύ μικρός θετικός αριθμός, είτε $\Delta(a_k, a_{k+1}) = 0$. Επίσης, λόγω της μονοτονίας θα ισχύει και για τα επί μέρους τμήματα χρησιμότητας στο κάθε κριτήριο:

$$u_i(g_i^{j+1}) - u_i(g_i^j) \geq s_i \quad \forall j = 1, 2, \dots, a_i - 1, i = 1, 2, \dots, n$$

με $s_i \geq 0$ δηλαδή η αξία είναι αύξουσα από σημείο σε σημείο με μέγιστο στο g_i^* .

Οι μερικές χρησιμότητες τελικά υπολογίζονται με το παρακάτω γραμμικό πρόγραμμα και με τις παραπάνω σχέσεις ως περιορισμούς. Η αντικειμενική συνάρτηση βασίζεται στο $\sigma(a)$ και δείχνει την ολική απόκλιση σε σχέση με το σύνολο αναφοράς:

$$\left\{ \begin{array}{l} [\min] F = \sum_{a \in A_R} \sigma(a) \\ s.t. \\ \Delta(a_k, a_{k+1}) \geq \delta, \text{ if } a_k \succ a_{k+1} \\ \Delta(a_k, a_{k+1}) = 0, \text{ if } a_k \sim a_{k+1} \\ u_i(g_i^{j+1}) - u_i(g_i^j) \geq 0, \forall i \text{ and } j \\ \sum_{i=1}^n u_i(g_i^*) = 1 \\ u_i(g_i^*) = 0, u_i(g_i^j) \geq 0, \sigma(a) \geq 0 \quad \forall a \in A_R \text{ and } \forall i \text{ and } j \end{array} \right.$$

Εικόνα 7 Το γραμμικό πρόγραμμα της UTA

2.4.UTASTAR

Η μέθοδος UTASTAR που προτάθηκε από τους Siskos, Y. και Yannacopoulos, D. (Siskos & Yannacopoulos, 1985) αποτελεί μία βελτίωση της UTA και προσθέτει ένα ακόμα σφάλμα αποτίμησης στην εναλλακτική $a \in A_R$. Η αρχική υλοποίηση της UTA δεν μπορούσε να ελαχιστοποιήσει το σφάλμα για κάποια σημεία όπου βρίσκονται γύρω από την καμπύλη της ολικής αξίας και συγκεκριμένα εκείνα τα οποία βρίσκονται δεξιά της καμπύλης και χρειάζονται μείωση της αξίας τους.



Εικόνα 8 Τα σφάλματα υπερεκτίμησης και υποεκτίμησης της κάθε απόφασης.

Η αθροιστική συνάρτηση χρησιμότητας γίνεται πλέον:

$$u'[g(a)] = \sum_{i=1}^n u_i [g_i(a)] - \sigma^+(a) + \sigma^-(a), \forall a \in A_R$$

με την ολική αξία δηλαδή να είναι το άθροισμα των μερικών αξιών των κριτηρίων της κάθε επιλογής μείον το σφάλμα υπερεκτίμησης $\sigma^+(a)$ συν το σφάλμα υποεκτίμησης $\sigma^-(a)$.

Επίσης, οι περιορισμοί για την μονοτονία των αξιών για τα επί μέρους κατώφλια χρησιμότητας στο κάθε κριτήριο, αντικαθίστανται με τον περιορισμό των θετικών μεταβλητών w_{ij} για $s_i = 0$

$$w_{ij} = u_i(g_i^{j+1}) - u_i(g_i^j) \geq 0, \forall j = 1, 2, \dots, a_i - 1, i = 1, 2, \dots, n$$

Κατά συνέπεια, ο αλγόριθμος της UTASTAR συνοψίζεται στα παρακάτω βήματα:

1. Ορισμός της ολικής αξίας της κάθε επιλογής $u[g(a_k)]$, $\forall k=1,2,\dots,m$ πρώτα σε μερικές αξίες ανά κριτήριο $u_i(g_i)$ και μετά σε σχέση με τις μεταβλητές w_{ij} μέσω των παρακάτω σχέσεων:

$$\begin{cases} u(g_i^1) = 0, \forall i = 1, 2, \dots, n \\ u(g_i^j) = \sum_{t=1}^{j-1} w_{it}, \forall i = 1, 2, \dots, n, j = 2, 3, \dots, a_i - 1 \end{cases}$$

2. Ενσωμάτωση των μεταβλητών σφάλματος $\sigma^+(a)$ και $\sigma^-(a)$ στην συνάρτηση διαφοράς αξίας μεταξύ διαδοχικών αποφάσεων:

$$\Delta(a_k, a_{k+1}) = u[g(a_k)] - \sigma^+(a_k) + \sigma^-(a_k) - u[g(a_{k+1})] + \sigma^+(a_{k+1}) - \sigma^-(a_{k+1})$$

3. Επίλυση του παρακάτω γραμμικού προγράμματος:

$$\begin{cases} [\min] z = \sum_{a \in A_R} [\sigma^+(a_k) + \sigma^-(a_k)] \\ s.t. \\ \left. \begin{aligned} \Delta(a_k, a_{k+1}) &\geq \delta, \text{ if } a_k \succ a_{k+1} \\ \Delta(a_k, a_{k+1}) &= 0, \text{ if } a_k \sim a_{k+1} \end{aligned} \right\} \forall k \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{a_i-1} w_{ij} = 1 \\ \sigma^+(a_k) \geq 0, \sigma^-(a_k) \geq 0, w_{ij} \geq 0, \forall i, j \text{ and } k \end{cases}$$

4. Μεταβελτιστοποίηση, σε περίπτωση που δεν υπάρχει μοναδική λύση στο γραμμικό πρόγραμμα. Η μεταβελτιστοποίηση επιτυγχάνεται επιλύοντας μια σειρά γραμμικών προγραμμάτων (όσο είναι και το πλήθος των κριτηρίων) όπου σε κάθε γραμμικό πρόγραμμα μεγιστοποιείται η μερική αξία του κάθε κριτηρίου g_i μέσω της αντικειμενικής συνάρτησης :

$$u_i(g_i^*) = \sum_{j=1}^{a_i-1} w_{ij} \quad \forall i = 1, 2, \dots, n$$

με τον νέο περιορισμό $\sum_{k=1}^m [\sigma^+(a_k) + \sigma^-(a_k)] \leq z^* + \varepsilon$ θέτοντας ως z^* την βέλτιστη τιμή του

αρχικού γραμμικού προγράμματος (βήμα 3) και ε έναν πολύ μικρό θετικό αριθμό. Η τελική και αντιπροσωπευτική βέλτιστη λύση μπορεί να προκύψει από τον γραμμικό κυρτό συνδυασμό των n βέλτιστων λύσεων.

2.5.UTADIS

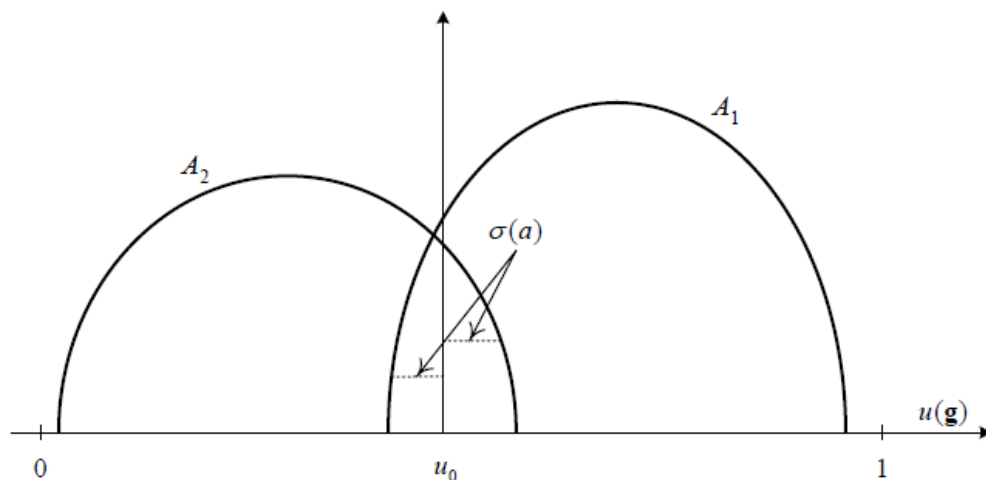
Η παραλλαγή της UTA που θα χρησιμοποιήσουμε στην παρούσα εργασία είναι η UTADIS (UTilités Additives DIScriminantes). Η μέθοδος αυτή τέθηκε για πρώτη φορά από τους Jacquet-Lagrèze και Siskos (1982), με σκοπό την εκτίμηση της συνάρτησης χρησιμότητας u από σύνολο αναφοράς επιλύοντας προβληματικές τύπου β (ταξινόμησης).

Η UTADIS έχει χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών (Rangel, 2015 ; Pasiouras, Tanna, & Zorounidis, 2005 ; Kosmidou, Doumpos, & Zorounidis, 2008) , στον τραπεζικό τομέα αλλά και αλλού.

Στην UTADIS, για δύο διακριτές κλάσεις A_1 & A_2 ισχύει ότι:

$$\begin{cases} a \in A_1 \Leftrightarrow u[g(a)] \geq u_0 \\ a \in A_2 \Leftrightarrow u[g(a)] < u_0 \end{cases}$$

όπου u_0 είναι το κατώφλι έγκρισης/απόρριψης που πρέπει να υπολογιστεί ώστε να ταξινομηθούν οι επιλογές μεταξύ A_1 & A_2 με βάση την ολική τους αξία.



Εικόνα 9 Η ταξινόμηση των επιλογών στις δύο κλάσεις με το σφάλμα $\sigma(a)$ κοντά στο κατώφλι.

Όπως και προηγουμένως, μπορεί να εισαχθεί ένα σφάλμα εκτίμησης το οποίο θα πρέπει να ελαχιστοποιηθεί όπως φαίνεται στο παρακάτω γραμμικό πρόγραμμα:

$$\left\{ \begin{array}{l} [\min] F = \sum_{a \in A_R} [\sigma(a)] \\ s.t. \\ \sum_{i=1}^n u_i [g_i(a)] - u_0 + \sigma(a) \geq 0, \forall a \in A_1 \\ \sum_{i=1}^n u_i [g_i(a)] - u_0 - \sigma(a) < 0, \forall a \in A_2 \\ u_i(g_i^{j+1}) - u_i(g_i^j) \geq 0, \forall i \text{ and } j \\ \sum_{i=1}^n u_i(g_i^*) = 1 \\ u_i(g_i^*) = 0, u_0 \geq 0, \sigma(a) \geq 0 \forall a \in A_R, \forall i \text{ and } j \end{array} \right.$$

Γενικά, οι επιλογές κατατάσσονται σε ομογενή διαδοχικά σύνολα προτίμησης (κλάσεις) ανάλογα με την συνολική τους αξία $A_1 \succ A_2 \succ \dots \succ A_q$ με A_1 να περιέχει εκείνες τις επιλογές με την μεγαλύτερη συνολική αξία και A_q να περιέχει εκείνες με την χαμηλότερη. Η διάταξη αυτή των επιλογών είναι συνεπής με την δοθείσα από τον αποφασίζοντα όταν ισχύουν και οι παρακάτω προϋποθέσεις:

$$\left\{ \begin{array}{l} u[g(a)] \geq u_1 \quad \forall a \in A_1 \\ u_l \leq u[g(a)] \leq u_{l-1} \quad \forall a \in A_l, \quad l = 2, 3, \dots, q-1 \\ u[g(a)] \leq u_{q-1} \quad \forall a \in A_q \end{array} \right.$$

με $u_1 > u_2 > \dots > u_{q-1}$ να αποτελούν τα κατώφλια του κάθε συνόλου προτίμησης παίρνοντας τιμές από $[0,1]$ και u_l να είναι το κάτω όριο του συνόλου επιλογών A_l . Αυτή η προσέγγιση παρουσιάστηκε από τους Devaud, Groussaud and Jacquet-Lagrèze (1980), Jacquet-Lagrèze, (1995), Zorounidis and Doumpos, (1997; 2001) και Doumpos and Zorounidis (2002). Παράλληλα, κατ' αντιστοιχία με την UTASTAR, η UTADIS μπορεί να επεκταθεί ώστε να συμπεριλάβει δύο σφάλματα, ένα υπερεκτίμησης σ_k^+ όπου αντιστοιχεί στο σφάλμα μίας επιλογής να έχει υπερεκτιμηθεί και να έχει ξεπεράσει το κάτω όριο της προηγούμενης – υψηλότερης κλάσης, και ένα υποεκτίμησης σ_k^- όπου αντιστοιχεί στο σφάλμα μίας επιλογής να έχει υποτιμηθεί και να έχει ξεπεράσει το κάτω όριο της, μέσα στα όρια της επόμενης – χαμηλότερης αξίας κλάσης:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_k^+ = \max \{0, u_l - u[g(a_k)]\} \quad \forall a \in A_l, \quad l = 2, 3, \dots, q-1 \\ \sigma_k^- = \max \{0, u[g(a_k)] - u_{l-1}\} \quad \forall a \in A_l, \quad l = 2, 3, \dots, q \end{array} \right.$$

Πιο συγκεκριμένα, και για δύο διακριτές ομογενείς κλάσεις $A_1 \succ A_2$, οι ολικές αξίες των επιλογών που ανήκουν σε αυτές θα είναι:

$$\sum_{i=1}^n u_i [g_i(a)] \geq u_0 - \sigma^+(a) + \sigma^-(a) \Leftrightarrow$$

$$\boxed{\sum_{i=1}^n u_i [g_i(a)] - u_0 + \sigma^+(a) - \sigma^-(a) \geq 0}, \forall a \in A_1$$

και

$$\sum_{i=1}^n u_i [g_i(a)] \leq u_0 - \sigma^+(a) + \sigma^-(a) \Leftrightarrow$$

$$\boxed{\sum_{i=1}^n u_i [g_i(a)] - u_0 + \sigma^+(a) - \sigma^-(a) \leq 0}, \forall a \in A_2$$

Για την αντιμετώπιση των περιπτώσεων όπου η συνολική αξία μίας επιλογής είναι ίση με το κατώφλι u_0 , ένας πολύ μικρός θετικός αριθμός ε θα πρέπει να εισαχθεί ώστε διαχωρίσει τις δύο κλάσεις.

Με βάση τα παραπάνω λοιπόν, το τελικό γραμμικό πρόγραμμα διαμορφώνεται ως εξής:

$$\left\{ \begin{array}{l} [\min] z = \sum_{a \in A_R} [\sigma^+(a_k) + \sigma^-(a_k)] \\ s.t. \\ \sum_{i=1}^n u_i [g_i(a)] - u_0 + \sigma^+(a) - \sigma^-(a) \geq 0 + \varepsilon, \forall a \in A_1 \\ \sum_{i=1}^n u_i [g_i(a)] - u_0 + \sigma^+(a) - \sigma^-(a) \leq 0, \forall a \in A_2 \\ u_i(g_i^{j+1}) - u_i(g_i^j) \geq 0, \forall i \text{ and } j \\ \sum_{i=1}^n u_i(g_i^*) = 1 \\ u_i(g_i^s) = 0, u_0 \geq 0, \sigma(a) \geq 0 \forall a \in A_R, \forall i \text{ and } j \end{array} \right.$$

Εικόνα 10. Το γραμμικό πρόγραμμα της μεθόδου UTADIS.

3. Μοντελοποίηση Συστήματος Έγκρισης/Απόρριψης δανειακών αιτήσεων

Για να έχει η διαδικασία μοντελοποίησης έναν επαναληπτικό χαρακτήρα και να δύναται η γρήγορη προσαρμογή των παραμέτρων της σε κάθε φάση, θα πρέπει να κατασκευαστεί το μοντέλο με την κλασική μεθοδολογία της αναλυτικής δεδομένων (Leek, 2012).

Με αυτήν την προσέγγιση, θα πρέπει σε πρώτη φάση να αναλυθούν τα δεδομένα εισόδου ώστε να έρθουν στην μορφή όπου κάθε γραμμή του συνόλου δεδομένων αφορά μία αίτηση, με όλα τα κριτήριά της και τις πληροφορίες που αφορούν το αποτέλεσμα της. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να κατασκευαστεί ο «προπαρασκευαστικός κώδικας» ο οποίος θα μετατρέψει τα πρωτογενή δεδομένα σε αναλυτικά.

Μετά την δημιουργία του συνόλου δεδομένων από τα πρωτογενή, θα πρέπει να κατασκευαστεί ο «Αναλυτικός Κώδικας» όπου θα υλοποιήσει την μέθοδο UTADIS στο Matlab®. Ο κώδικας αυτός θα μετατρέψει τα αναλυτικά δεδομένα σε αναλυτικά αποτελέσματα.

Τέλος, τα αποτελέσματα θα χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο, τη μεταβελτιστοποίηση και την εφαρμογή του μοντέλου για την αξιολόγηση των μελλοντικών αιτήσεων. Έτσι, σε κάθε φάση μπορεί να γίνει διόρθωση, μετά από νέα συνεργασία με το τμήμα πιστωτικού κινδύνου, σε κάθε φάση του έργου.



Εικόνα 11. Η ροή εργασιών για την ετοιμασία των αποτελεσμάτων στην Αναλυτική δεδομένων.

3.1.Ανάλυση κριτηρίων

Τα ποσοτικά κριτήρια που χρησιμοποιεί το τμήμα πιστωτικού κινδύνου εκτός από την τιμή τους έχουν το κάθε ένα και το κατώφλι του. Ορισμένα κριτήρια έχουν άνω και κάτω κατώφλι ενώ άλλα είναι δυαδικές τιμές αληθείας. Σε κάθε περίπτωση, χρειάζεται η βοήθεια των αναλυτών της τράπεζας για την ερμηνεία του κάθε μεγέθους ώστε να αποδοθούν σωστά οι συναρτήσεις των μεγεθών κατά τα πρότυπα της UTADIS.

Τα ποσοτικά κριτήρια είναι τα ακόλουθα:

1. Ηλικία (AGE), ακέραιος αριθμός με άνω και κάτω όριο.
2. Βαθμολογία (SCORE), πραγματικός αριθμός με κάτω όριο που προκύπτει από την βαθμολόγηση των δημογραφικών στοιχείων του πελάτη όπως περιοχή κατοικίας, οικογενειακή κατάσταση, υπηκοότητα, επίπεδο σπουδών κ.α. Οι κλίμακες βαθμολόγησης καθορίζονται από στατιστική μελέτη αποπληρωμής δανείων.
3. Δείκτης Λόγου Οφειλών/Εισοδήματος (DTI). Ο λόγος των μηνιαίων οφειλών σε δάνεια, συμπεριλαμβανομένου του αιτούμενου, προς το μηνιαίο δηλωθέν εισόδημα.
4. Εισόδημα (INCOME). Το μηνιαίο δηλωθέν εισόδημα. Πραγματικός θετικός αριθμός.
5. Τρέχουσες ιστορικές ημέρες καθυστέρησης σε δάνεια/κάρτες εντός τράπεζας. (Current Days in Delinquency, Internal). Ακέραιος αριθμός
6. Ιστορικά μέγιστες ημέρες καθυστέρησης σε δάνεια/κάρτες εντός τράπεζας. (Max Days in Delinquency - Historical, Internal). Ακέραιο αριθμός
7. Τρέχον ποσό σε καθυστέρηση σε δάνεια/κάρτες εντός τράπεζας. (Current Amount in Delinquency, Internal). Πραγματικός θετικός αριθμός.
8. Ιστορικά μέγιστο ποσό σε καθυστέρηση σε δάνεια/κάρτες εντός τράπεζας. (Max Amount in Delinquency – Historical, Internal). Πραγματικός θετικός αριθμός.
9. Τρέχουσες ιστορικές ημέρες καθυστέρησης σε δάνεια/κάρτες άλλης τράπεζας. (Current Days in Delinquency, External). Ακέραιος αριθμός.
10. Ιστορικά μέγιστες ημέρες καθυστέρησης σε δάνεια/κάρτες άλλης τράπεζας. (Max Days in Delinquency - Historical, External). Πραγματικός θετικός αριθμός.
11. Τρέχον ποσό σε καθυστέρηση σε δάνεια/κάρτες άλλης τράπεζας. (Current Amount in Delinquency, External). Πραγματικός θετικός αριθμός.
12. Ιστορικά μέγιστο ποσό σε καθυστέρηση σε δάνεια/κάρτες άλλης τράπεζας. (Max Amount in Delinquency – Historical, External). Πραγματικός θετικός αριθμός.

13. Ιστορικά μέγιστο ποσό σε καθυστέρηση σε λογαριασμό υπερανάληψης εντός τράπεζας. (Overdraft Delinquency). Πραγματικός θετικός αριθμός.

Τα Ποιοτικά χαρακτηριστικά της εκάστοτε αίτησης είναι τα ακόλουθα:

1. Τρέχουσα κατάσταση του δανειολήπτη στο γραφείο τήρησης πιστωτικών στοιχείων (Credit Bureau Status). Τιμή Boolean.
2. Ιστορική κατάσταση του δανειολήπτη στο γραφείο τήρησης πιστωτικών στοιχείων (Credit Bureau Historical Status). Τιμή Boolean.
3. Ύπαρξη συστατικής επιστολής. Τιμή Boolean.
4. Τύπος σύμβασης εργασίας. Τιμή Boolean.
5. Γενική εντύπωση του δανειολήπτη στον υπάλληλο. Τιμή Boolean.
6. Κατάσταση συν-δανειολήπτη στο γραφείο τήρησης πιστωτικών στοιχείων. Τιμή Boolean.
7. Προβληματικός εργοδότης (Έλεγχος από λίστες). Τιμή Boolean.
8. Συμπλήρωση απαραίτητων εγγράφων. Τιμή Boolean.
9. Ύπαρξη παλαιών απορριπτέων αιτήσεων. Τιμή Boolean.
10. Αποτυχία επιβεβαίωσης στοιχείων επικοινωνίας. Τιμή Boolean.
11. Εργοδότης με συνεργασία με την τράπεζα. Τιμή Boolean.
12. Οφειλές σε ασφαλιστικά ταμεία. Τιμή Boolean.

3.2. Προετοιμασία δεδομένων

3.2.1. Προετοιμασία δεδομένων εισόδου.

Για την μετατροπή των εικοσιπέντε τιμών σε συντελεστές αξίας, χρησιμοποιούνται διάφορες απεικονίσεις/μετασχηματισμοί οι οποίοι λαμβάνουν υπ' όψιν την παρατηρηθείσα τιμή και τα κατώφλια. Με αυτούς τους μετασχηματισμούς και με την κατεύθυνση του τμήματος πιστωτικού κινδύνου, μετατρέπονται στις τελικές δώδεκα μεταβλητές όπως φαίνονται παρακάτω:

1. **NORM_AGE** είναι το αποτέλεσμα της συνάρτησης που μεγιστοποιείται στο 1 όταν η ηλικία του δανειολήπτη είναι ίση με τον μέσο όρο του **MIN_AGE** & **MAX_AGE**. Όσο η ηλικία απομακρύνεται από τον μέσο όρο τόσο μειώνεται η αξία με 0 την ηλικία να είναι ακριβώς στο άνω ή κάτω κατώφλι. Αν η ηλικία είναι εκτός ορίων, η αίτηση απορρίπτεται αυτόματα.

$$\frac{mean - |mean - obs|}{mean}$$

με *obs* την ηλικία του δανειολήπτη και *mean* τον μέσο όρο μέγιστης – ελάχιστης ηλικίας του δανειακού προϊόντος όπως έχει προκύψει από στατιστικές μελέτες.

2. **SCORE_CR** είναι το αποτέλεσμα της πράξης

$$\frac{SCORE_{observed}}{MIN_SCORE}$$

δηλαδή της παρατήρησης δια το εκάστοτε κάτω όριο.

3. **DTI_CR** είναι το αποτέλεσμα της πράξης

$$\frac{MAX_DTI}{DTI_{observed}}$$

δηλαδή το εκάστοτε άνω όριο δια την παρατήρηση.

4. **INCOME_CR** είναι το αποτέλεσμα της πράξης

$$\frac{INCOME_{observed}}{MIN_INCOME}$$

δηλαδή της παρατήρησης δια το εκάστοτε κάτω όριο.

5. **CB_BAD_STATUS** παίρνει τιμή 1 όταν δεν έχει **τρέχουσα** ένδειξη κακοπληρωτή στο γραφείο τήρησης πιστωτικών στοιχείων και 0 όταν έχει.

6. CB_BAD_HIST_STATUS παίρνει τιμή 1 όταν δεν είχε ποτέ ένδειξη κακοπληρωτή στο γραφείο τήρησης πιστωτικών στοιχείων και 0 όταν είχε στο παρελθόν αλλά δεν έχει κατά την αίτηση για το νέο δάνειο/κάρτα.
7. INTERNAL_DELINQUENCY προκύπτει από τον σταθμισμένο γεωμετρικό μέσο του πλήθους τρέχουσων ημερών υπερημερίας για προϊόντα της τράπεζας σε σχέση με το τρέχον ποσό υπερημερίας του δείγματος i , δια τον μέγιστο σταθμισμένο γεωμετρικό μέσο όλων των δειγμάτων:

$$\frac{{}^{k+m}\sqrt{\text{IntDaysDelinq}_i^k \cdot \text{IntAmountDelinq}_i^m}}{\max\left({}^{k+m}\sqrt{\text{IntDaysDelinq}^k \cdot \text{IntAmountDelinq}^m}\right)}$$

Στην παρούσα εργασία οι τιμές των παραμέτρων είναι $k = 7$ και $m = 3$. Δηλαδή δίνεται περισσότερη έμφαση στις ημέρες από ότι στο ποσό υπερημερίας.

8. INTERNAL_HIST_DELINQUENCY ομοίως όπως και στο προηγούμενο αλλά για τα ιστορικά δεδομένα.
9. EXTERNAL_DELINQUENCY ομοίως για τις τρέχουσες υπερημερίες σε δάνεια άλλων τραπεζών.
10. EXTERNAL_HIST_DELINQUENCY ομοίως για τις ιστορικές υπερημερίες σε άλλες τράπεζες.
11. OV_DLNQ προκύπτει από την σχέση

$$\frac{\max(\text{OV_DLNQ}) - \text{OV_DLNQ}}{\max(\text{OV_DLNQ})}$$

δηλαδή την εκάστοτε υπερημερία σε λογαριασμού υπερανάλληψης σε σχέση με την μέγιστη υπερημερία που παρατηρείται στο σύνολο των δειγμάτων.

12. FLAG_SUM προκύπτει από το άθροισμα των τιμών που παίρνουν οι σημάνσεις των ποιοτικών κριτηρίων. Μετά από υπόδειξη του τμήματος διαχείρισης πιστωτικού κινδύνου, όλα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά έχουν την ίδια αξία μεταξύ τους επομένως, μπορούν να αθροιστούν ώστε να φτιάξουν ένα κριτήριο όπου πάλι η μεγαλύτερη τιμή εκφράζει μία καλύτερη ποιοτικά δανειακή αίτηση.

Οι παραπάνω συναρτήσεις αποτελούν συναρτήσεις μερικής αξίας του μοντέλου, είναι όλες αύξουσες ως προς την ποιότητα του εκάστοτε δείγματος και αποτελούν τον προπαρασκευαστικό κώδικα του οποίου το αποτέλεσμα φαίνεται παρακάτω:

NORM_AGE	SCORE_CR	DTI_CR	INCOME_CR	Internal Delinquency	Internal Hist Delinquency	External Delinquency	External Hist Delinquency	OV_DLNQ	CB_BAD_STAT US	CB_BAD_HIST _STATUS	NSFlagSum
0.958333333	1.27483871	2.343017807	4.375	1	1	0.996812749	0.99681029	1	1	1	7
0.583333333	1.20516129	3.510140406	1.21875	1	1	1	1	1	1	1	11
0.854166667	1.356129032	0	2.5	1	1	1	1	1	1	1	8
0.854166667	1.287741935	1.603592046	1.875	1	1	1	1	1	1	1	8
0.916666667	1.058064516	1.01010101	1.875	1	1	1	1	1	1	1	12
0.854166667	1.189677419	3.682487725	1.03125	1	1	1	1	1	1	1	11
0.583333333	1.286451613	1.129688206	1.75	1	1	1	1	1	1	1	12
0.520833333	1.186451613	1.379521766	1.8125	1	1	1	1	1	1	1	8
0.75	1.20516129	7.692307692	3.375	1	1	1	1	1	1	1	11
0.916666667	1.280645161	1.885369532	2	1	1	1	1	1	1	1	6
0.708333333	1.21483871	4.35624395	1.875	1	1	1	1	1	1	1	7
0.979166667	1.287741935	1.509206158	2.875	1	1	0.998949789	0.998900135	1	1	1	7
0.666666667	1.286451613	1.279754287	1.25	1	1	1	1	1	1	1	12
0.604166667	1.055483871	2	1.9375	1	1	0.990711677	0.990689308	1	1	1	8
0.6875	1.14	4.41014333	1.20625	1	1	1	1	1	1	1	11
0.791666667	1.2	10.46511628	3.4375	1	1	0.996812669	0.996775	1	1	1	8
0.791666667	1.337419355	0	1.875	1	1	1	1	1	1	1	8
0.625	1.08	2.869440459	3.125	1	1	1	1	1	0	0	9
0.770833333	1.307741935	1.16117046	3	1	1	1	1	1	1	1	12

Πίνακας 1. Δείγμα της τελική μορφής των δεδομένων εισόδου.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα κριτήρια που έχουν απόλυτο και καθοριστικό ρόλο για την απόρριψη μιας αίτησης, δεν έχουν συμπεριληφθεί στο μοντέλο. Ο έλεγχος των τιμών των αιτήσεων σε αυτά τα κριτήρια αποτελεί ένα δομημένο πρόβλημα το οποίο είναι εκτός πλαισίου της συγκεκριμένης μοντελοποίησης και μπορεί να επιτευχθεί σε ένα προπαρασκευαστικό στάδιο.

Συνεπώς, αιτήσεις οι οποίες απορρίφθηκαν λόγω των τιμών τους σε αυτά τα κριτήρια, δεν έχουν συμπεριληφθεί στο σύνολο των αιτήσεων. Για παράδειγμα, υπήρχαν στο σύνολο δειγμάτων αιτήσεις οι οποίες είχαν την σήμανση για κακή εντύπωση του δανειολήπτη στον υπάλληλο ή εύρεση του πελάτη σε λίστες τρομοκρατών, απατεώνων ή είχαν κάνει αίτηση για ρύθμιση δανείου η οποία απορρίφθηκε. Εφόσον όλες οι αιτήσεις που είχαν αυτές τις σημάνσεις είχαν απορριφθεί ανεξαρτήτως οικονομικών στοιχείων, αφαιρέθηκαν όλες από το σύνολο δειγμάτων και αφαιρέθηκε επομένως και τα κριτήρια από τη λίστα, απλοποιώντας το μοντέλο.

Έπειτα από όλες τις διαδικασίες επεξεργασίας του συνόλου δειγμάτων και ενώ οι αρχικές αιτήσεις ήταν 44480, το τελικό σύνολο δειγμάτων αποτελείται από 35687 δείγματα αφού αφαιρέθηκαν 6396 που αφορούν τις προαναφερθείσες περιπτώσεις πελατών. Υπήρχαν επίσης και 2397 αιτήσεις οι οποίες είτε ακυρώθηκαν μετά την εισαγωγή στο σύστημα ή είχαν προβληματικά δεδομένα κατά την εισαγωγή όπως:

- αρνητικές ηλικίες,
- αρνητικό εισόδημα
- απορρίφθηκαν αυτόματα από το σύστημα αλλά δεν είχαν τιμή (NULL) σε βασικά χαρακτηριστικά προς αξιολόγηση λόγω προβλήματος του συστήματος όπως αιτούμενο ποσό, εισόδημα κ.ο.κ.

3.2.2. Καθορισμός παραμέτρων εκπαίδευσης.

Η κατασκευή του αναλυτικού κώδικα ολοκληρώνεται με την δημιουργία των παρακάτω μεταβλητών και συναρτήσεων όπου θα αποτυπώσουν στο Matlab τα βήματα της μεθόδου UTADIS. Αρχικά δημιουργείται ο πίνακας D διαστάσεων $[1 \times n]$ με $n \in \mathbb{N}$. Κάθε συνιστώσα του πίνακα είναι ένας φυσικός αριθμός ο οποίος εκφράζει το πλήθος των γραμμικών τμημάτων που συνθέτουν την μερική αξία του εκάστοτε κριτηρίου. Ο αναλυτής μπορεί να πειραματιστεί με τις τιμές π.χ. $D = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 2 \ 1 \ 1 \ 2]$

Επόμενο βήμα είναι ο διαχωρισμός των απορριπτέων και εγκεκριμένων αιτήσεων σε δύο πίνακες και η εύρεση των δειγμάτων εκείνων όπου περιέχουν τις μέγιστες και ελάχιστες (ακραίες) τιμές για κάθε έναν από τους πίνακες.

Στη συνέχεια, το σύνολο των δειγμάτων διαχωρίζεται σε δύο υποσύνολα, το υποσύνολο εκπαίδευσης και το υποσύνολο ελέγχου. Ορίζεται να χρησιμοποιηθεί το 80% των αιτήσεων για εκπαίδευση και το 20% για έλεγχο. Το υποσύνολο εκπαίδευσης που αποτελείται από το 80% των υποσυνόλων των απορριπτέων και εγκεκριμένων αιτήσεων, εξασφαλίζει ότι περιέχει τις αιτήσεις με τις ακραίες τιμές.

ID	A/R	A/M	NORM_AGE	SCORE_CR	DTI_CR	INCOME_CR	Internal Delinquency	InternalHist Delinquency	External Delinquency	ExternalHist Delinquency	OV_DLNQ	CB_BAD STATUS	CB_BAD_HIS TSTATUS	NSFlagSum
21	1	0	0.5833	1.2052	3.5101	1.2188	1	1	1	1	1	1	1	11
97	1	1	0.9348	1.3047	1.7691	1.5477	1	1	1	1	1	1	1	13
116	1	0	0.7708	1.2865	4.5704	1	1	1	1	1	1	1	1	11
280	1	0	1	1.2394	1.8302	5	1	1	1	1	1	1	1	12
5013	1	0	1	1.36	1.8608	2.5769	1	1	1	1	1	1	1	7
5100	1	0	0.9583	1.2265	2.3912	22.6599	1	1	1	1	1	1	1	10
7887	1	0	0.8125	1.4277	1	2.9375	1	1	1	1	1	1	1	12
8851	1	1	0.4565	1.2836	4.2328	1.9659	1	1	1	1	1	1	1	11
9957	1	1	0.6957	1.6492	1.0173	1.5655	1	1	1	1	1	1	1	12
10412	1	0	0.8542	1	1.1662	1.6375	1	1	1	1	1	1	1	11
12884	1	0	0.7917	1.3523	42.735	9.375	1	1	1	1	1	1	1	11
13098	1	0	0.875	1.1419	1.8553	2.1875	1	1	1	1	1	1	1	12
18027	1	0	0.75	1.1516	1.004	5.2949	1	1	0.9961	0.9961	1	1	1	11
25157	1	0	0.7917	1.2174	1.1302	6.6861	0.9409	0.9231	1	1	1	1	1	11
24	1	0	0.9167	1.0581	1.0101	1.875	1	1	1	1	1	1	1	12
25	1	0	0.8542	1.1897	3.6825	1.0313	1	1	1	1	1	1	1	11
26	1	0	0.5833	1.2865	1.1297	1.75	1	1	1	1	1	1	1	12
28	1	0	0.75	1.2052	7.6923	3.375	1	1	1	1	1	1	1	11

Πίνακας 2. Δείγμα του πίνακα με τις αιτήσεις που έχουν τις ακραίες τιμές να είναι στις πρώτες θέσεις.

Έπειτα γίνεται ο διαχωρισμός του κάθε κριτηρίου, στα τμήματα που έχουν οριστεί, για την αντιμετώπιση της μη γραμμικότητας της συνάρτησης αξίας. Ο πίνακας θα χωριστεί σε τόσες στήλες όσες είναι το άθροισμα των συνιστωσών του διανύσματος D . Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα 4 πρώτα κριτήρια με δύο τμήματα, για 8 αιτήσεις (γραμμές). Οι συντελεστές εκφράζουν ποσοστό ως προς τη μέγιστη παρατηρούμενη τιμή του κάθε υποδιαστήματος του εκάστοτε κριτηρίου.

0.66656	0	1	0.461557119	0.063181806	0	0.028890074	0
1	0.79136	1	0.582221683	0.031843803	0	0.036686222	0
1	0.26656	1	0.560150376	0.082267208	0	0.023703704	0
1	1	1	0.503031773	0.032943603	0	0.118518519	0
1	1	1	0.649284502	0.033494403	0	0.061082074	0
1	0.86656	1	0.487387824	0.043041604	0	0.537123556	0
1	0.4	1	0.731384914	0.018000002	0	0.06962963	0
0.2608	0	1	0.556633519	0.076190408	0	0.046599111	0

Πίνακας 3. Δείγμα διαμοιρασμού των τιμών του κάθε κριτηρίου στα αντίστοιχα γραμμικά τμήματά του.

Έπειτα από τον καθορισμό του ποσοστού της μερικής αξίας που είχε η κάθε αίτηση στο εκάστοτε κριτήριο, πρέπει να εισαχθούν οι υπόλοιποι περιορισμοί στο γραμμικό πρόγραμμα. Για κάθε μία αίτηση λοιπόν εισάγονται κατ' αρχάς τα σφάλματα υπερεκτίμησης και υποεκτίμησης με την μορφή δύο επιπλέον στηλών με περιεχόμενο το -1 και 1. Αυτό γίνεται διότι :

- για το μεν σφάλμα υπερεκτίμησης υπάρχει αξία-χρησιμότητα η οποία αφαιρείται από την συνολική αξία του δείγματος (έχει αρνητικό πρόσημο).
- Για το δε σφάλμα υποεκτίμησης υπάρχει αξία-χρησιμότητα η οποία προστίθεται στην συνολική αξία του δείγματος.

Αν κάποιο από τα σφάλματα ή και τα δύο είναι μηδενικό τότε δεν τροποποιείται η συνολική αξία του δείγματος. Για κάθε αίτηση προστίθενται δύο στήλες στον τελικό πίνακα για την μονοσήμαντη αποτύπωση του σφάλματος της κάθε μίας όπως φαίνεται στον πίνακα 4. Η διατύπωση αυτή στο γραμμικό πρόγραμμα βοηθάει στο να μπορεί με μία γραμμή να αποτυπωθεί το συνολικό σφάλμα όλων των αιτήσεων ως άθροισμα και να φτιαχτεί η αντικειμενική συνάρτηση όπου είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού αυτού σφάλματος.

A/A αίτησης	Διαστήματα κριτηρίων	σ1+	σ1-	σ2+	σ2-	σ3+	σ3-
1	...	-1	1				
2	...			-1	1		
3	...					-1	1
Συνολικό σφάλμα:		-1	1	-1	1	-1	1

Πίνακας 4. Η αποτύπωση των πιθανών σφαλμάτων υποεκτίμησης και υπερεκτίμησης και το συνολικό σφάλμα.

Όλες αυτές οι μερικές αξίες της κάθε αίτησης, αθροίζονται σε μία συνολική αξία χρησιμότητας η οποία σύμφωνα με το μοντέλο είναι μεγαλύτερη ίση ενός κατωφλίου στην περίπτωση εγκεκριμένης αίτησης και μικρότερη αυτού στην περίπτωση της απορριπτέας. Το κατώφλι αυτό για να υπολογιστεί θα πρέπει να μεταφερθεί από την αριστερή πλευρά της

ανίσωσης ώστε να μπορέσει να υπολογιστεί η τιμή του καθώς το πρόγραμμα επίλυσης υπολογίζει τα βάρη μόνο για τις μεταβλητές που βρίσκονται στον πίνακα περιορισμών. Φέρνοντας το κατώφλι λοιπόν αριστερά προστίθεται άλλη μία στήλη στον τελικό πίνακα όπως παρακάτω:

A/A αίτησης	Διαστήματα κριτηρίων	σ1+	σ1-	σ2+	σ2-	σ3+	σ3-	Κατώφλι
1	...	-1	1					-1
2	...			-1	1			-1
3	...					-1	1	-1

Πίνακας 5. Η αποτύπωση του κατωφλίου ως μεταβλητή.

Τέλος προστίθεται ο περιορισμός που ορίζει το άθροισμα των αξιών να ισούται με την μονάδα. Αξίζει να σημειωθεί ότι μετά το τέλος της κατασκευής του πίνακα περιορισμών, ο αριθμός των στηλών n προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση:

$$n = 2m + \sum_{r=1}^j D(r) + 1$$

Όπου m είναι το πλήθος των δειγμάτων και r είναι το εκάστοτε από τα j κριτήρια με $D(r)$ το πλήθος των διαστημάτων του κάθε κριτηρίου.

Για την επίλυση του μοντέλου χρειάζεται ο καθορισμός των τελικών παραμέτρων εισόδου. Το LP-Solve χρειάζεται ως είσοδο:

- Τον πίνακα περιορισμών – μεταβλητών όπως διαμορφώνεται στον πίνακα 5.
- Την αντικειμενική συνάρτηση με τους συντελεστές στα αντίστοιχα πεδία σφαλμάτων όπως φαίνεται παρακάτω:

0.....0	1.....1	0
Συνολικά Διαστήματα Κριτηρίων	28549x2=57098 Πιθανά Σφάλματα	Κατώφλι
57123 στήλες		

- Το διάνυσμα με τους τελεστές ανίσωσης \leq , $=$ και \geq στην μορφή -1,0 και 1 αντίστοιχα, όπως περιγράφονται στην τεκμηρίωση του LP-Solve.

1.....1	-1.....-1	0
\geq	\leq	$=$

- Το διάνυσμα των αποτελεσμάτων δηλ. της δεξιάς πλευράς των ανισώσεων

$0 + \varepsilon$	0	1
n Εγκεκριμένες μεγαλύτερο ίσο του $0+\varepsilon$	k Απορριπτέες μικρότερο ίσο του 0	Άθροισμα αξιών ίσο με 1

Για το σύνολο εκπαίδευσης όπου χρειάζονται 28549 δείγματα και για σύνολο τμημάτων κριτηρίων π.χ. ίσο με 24, το σύνολο των στηλών ανέρχεται σε $28549 * 2 + 24 + 1 = 57123$. Αυτό οδηγεί σε $28588 \times 57123 = 1,633,032,324$ κελιά τύπου double. Στο Matlab ο τύπος δεδομένων double αποτελείται από 8 bytes το οποίο συνεπάγεται κατευθείαν 13,064,258,592 bytes ή αλλιώς ~13GB μνήμης. Για να εκτελεστεί λοιπόν το πρόγραμμα θα πρέπει να δοθούν οι απαραίτητοι πόροι τουλάχιστον σε μνήμη swap.

```
>> UTADIS
Preparing Dataset...
Elapsed time is 2.432891 seconds.
Sample segmentation...
Elapsed time is 9.034468 seconds.
Creating table of over/under estimations...
Elapsed time is 7.052301 seconds.
Creating constraints table...
Elapsed time is 29.614090 seconds.
Solving...
Elapsed time is 25.603453 seconds.
fx >>
```

Εικόνα 12 Η εκτέλεση του προγράμματος στο σύστημα του εργαστηρίου με τους χρόνους της κάθε φάσης.

3.3. Επίλυση μοντέλου

Η έξοδος του LPSolve είναι :

- Το διάνυσμα που περιέχει:
 - Την αύξηση της αξίας (συντελεστές) για τα επιμέρους τμήματα των 12 κριτηρίων.
 - Την τιμή του σφάλματος της κάθε αίτησης, οπουδήποτε υπάρχει.
 - Την τιμή του κατωφλίου u_0 π.χ. 0.9981
- Την ύπαρξη ή όχι βέλτιστης λύσης.
- Την ελάχιστη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης η οποία ορίζεται ως το άθροισμα των σφαλμάτων π.χ. $obj = 0.1167$.

Κριτήριο	Διάστημα	Βέλτιστη λύση
1	1	0.000100000000000000
	2	0.000200000000000000
2	3	0.000100000000000000
	4	0.000200000000000000
3	5	0.000907504222828231
	6	0.00100750422282823
4	7	0.000100000000000000
	8	0.000200000000000000
5	9	0.000401171247619361
	10	0.000501171247619362
6	11	0.000351171247619361
	12	0.000451171247619361
7	13	0.0194548381239039
	14	0.0195548381239039
8	15	0.000100000000000000
	16	0.0388096762478078
9	17	0.000100000000000000
	18	0.913614770434739
10	19	0.000100000000000000
	20	0.000200000000000000
11	21	0.000167839217824572
	22	0.000267839217824572
12	23	0.00150525259893118
	24	0.00160525259893117

Πίνακας 6. Το διάνυσμα των αξιών του κάθε κριτηρίου ανά διάστημα για το παράδειγμα των 2 τμημάτων ανά κριτήριο.

Αίτηση	Τύπος Σφάλματος	Σφάλμα
1	σ+	0
	σ-	0
2	σ+	0
	σ-	0
3	σ+	0
	σ-	0
4	σ+	0
	σ-	0
5	σ+	0,000427167154997005
	σ-	0
...

Πίνακας 7. Τα σφάλματα για τις πρώτες 5 αιτήσεις.

Το επόμενο βήμα είναι εφαρμογή των αξιών του κάθε τμήματος στο σύνολο ελέγχου. Το σύνολο ελέγχου περνάει από την ίδια διαδικασία διαχωρισμού των τιμών των κριτηρίων στα αντίστοιχα τμήματα για να αποκτήσει τον απαιτούμενο αριθμό στηλών. Έπειτα από πολλαπλασιασμό του πίνακα συνόλου ελέγχου μεγέθους π.χ. 7138x14 με το διάνυσμα αξιών που έδωσε το LP-Solve όπου είναι 14x1 λαμβάνεται το τελικό διάνυσμα συνολικής αξίας της κάθε αίτησης.

3.4. Ανάλυση αποτελεσμάτων

Το διάνυσμα 7138x1 όπου είναι η συνολική αξία της κάθε αίτησης από το σύνολο ελέγχου συγκρίνεται με το κατώφλι. Οι αιτήσεις όπου έχουν μικρότερη αξία θεωρούνται από το μοντέλο απορριπτές και το αντίθετο. Το αποτέλεσμα βάσει του μοντέλου σε σύγκριση με το πραγματικό αποτέλεσμα δίνει το ποσοστό επιτυχίας του μοντέλου. Η σύγκριση γίνεται με την χρήση του παρακάτω αλγορίθμου:

1. Δημιουργείται ένας πίνακας όπου σε κάθε γραμμή εμφανίζεται ο σειριακός αριθμός της αίτησης καθώς και η πραγματική απόφαση του αποφασίζοντα με τιμή 0 (απορριπτέα) ή 1 (εγκεκριμένη).
2. Δημιουργείται μία στήλη η οποία περιέχει:
 - a. 0 εάν η συνολική αξία της αίτησης βάσει του LP-Solve είναι μικρότερη του κατωφλίου
 - b. 1 εάν είναι μεγαλύτερη ή ίση

3. Δημιουργείται μία στήλη με το αποτέλεσμα της σύγκρισης της τιμής του LPSolve με το πραγματικό αποτέλεσμα:
- 0 εάν το αποτέλεσμα του LPSolve είναι διάφορο του πραγματικού αποτελέσματος,
 - 1 σε άλλη περίπτωση.

Ο τρόπος υπολογισμού της απόδοσης του μοντέλου ορίζεται ως ο λόγος των επιτυχώς αποφασισμένων αιτήσεων δια του συνόλου τους.

$$\text{OverallResult} = \frac{\text{Successful Decision}}{\text{Total Applications}}$$

Πλέον μπορούν να υπολογιστούν τα ποσοστά επιτυχίας του μοντέλου και να υπολογιστεί η αποδοτικότητα του. Η διαδικασία αυτή, εκτός από την παρουσίαση του αποτελέσματος, βοηθάει και στην αναγνώριση σημαντικών λαθών κατά την μοντελοποίηση. Μία μεγάλη τιμή σφάλματος καταγράφεται μαζί με την αίτηση που το παρουσιάζει ώστε να αναγνωριστεί εάν το πρόβλημα βρίσκεται στην αίτηση δηλ. όντως ο αποφασίζων έδωσε αντίθετη απόφαση σε αίτηση, με τιμές οι οποίες αλλοιώνουν το γραμμικό πρόγραμμα, ή υπάρχει σφάλμα στην αποτύπωση των συναρτήσεων μερικής αξίας.

Αίτηση	Έγκριση	Συνολική αξία	> 0.9981	Ταύτιση με την πρωτότυπη απόφαση
34956	1	0,998382054	1	1
34961	1	0,998224156	1	1
34963	1	0,998172091	1	1
34964	1	0,998196088	1	1
34966	1	0,998383079	1	1
34973	1	0,99846654	1	1
34975	1	0,998257697	1	1
34977	1	0,998348165	1	1
34978	1	0,998421222	1	1
34979	1	0,998215212	1	1
34980	1	0,998019869	0	0
...

Πίνακας 8. Ο συγκεντρωτικός έλεγχος του αποτελέσματος της επίλυσης συγκριτικά με την αρχική απόφαση.

3.5.Αποτελέσματα προσομοιώσεων

Ακολουθούν εκτελέσεις για διάφορους συνδυασμούς παραμέτρων. Με πράσινο σημειώνονται τα καλύτερα αποτελέσματα.

3.5.1. Με διαφορετικά τμήματα κριτηρίων.

Παράμετροι εισόδου *	

Διαστήματα κριτηρίων	: 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
Διάκριση ισχυρότερων κριτηρίων	: 12/12
Κατανομή Εκπαίδευσης/Ελέγχου Εγκεκριμένες:	80/20
Κατανομή Εκπαίδευσης/Ελέγχου Απορριπτές :	80/20
Τιμή ε	: 0.0001

Αποτελέσματα *	

Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης	: 0.17956
Κατώφλι	: 0.99623
Επιτυχείς Εγκεκριμένες	: 0.9677
Επιτυχείς Απορριπτές	: 0.98553
Συνολικό ποσοστό επιτυχίας	: 0.97478

Παράμετροι εισόδου *	

Διαστήματα κριτηρίων	: 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3
Διάκριση ισχυρότερων κριτηρίων	: 12/12
Κατανομή Εκπαίδευσης/Ελέγχου Εγκεκριμένες:	80/20
Κατανομή Εκπαίδευσης/Ελέγχου Απορριπτές :	80/20
Τιμή ε	: 0.0001

Αποτελέσματα *	

Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης	: 0.27363
Κατώφλι	: 0.99417
Επιτυχείς Εγκεκριμένες	: 0.95214
Επιτυχείς Απορριπτές	: 0.98659
Συνολικό ποσοστό επιτυχίας	: 0.96582

Παράμετροι εισόδου *	

Διαστήματα κριτηρίων	: 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2
Διάκριση ισχυρότερων κριτηρίων	: 12/12
Κατανομή Εκπαίδευσης/Ελέγχου Εγκεκριμένες:	80/20
Κατανομή Εκπαίδευσης/Ελέγχου Απορριπτές :	80/20
Τιμή ε	: 0.0001

Αποτελέσματα *	

Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης	: 0.11666
Κατώφλι	: 0.99808
Επιτυχείς Εγκεκριμένες	: 0.9698
Επιτυχείς Απορριπτές	: 0.98306
Συνολικό ποσοστό επιτυχίας	: 0.97506

3.5.2. Με διαφορετική κατανομή στα σύνολα των εγκεκριμένων αιτήσεων.

Παράμετροι εισόδου *	

Διαστήματα κριτηρίων	: 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2
Διάκριση ισχυρότερων κριτηρίων	: 12/12
Κατανομή Εκπαίδευσης/Ελέγχου Εγκεκριμένες:	70/30
Κατανομή Εκπαίδευσης/Ελέγχου Απορριπτές :	70/30
Τιμή ε	: 0.0001

Αποτελέσματα *	

Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης	: 0.099479
Κατώφλι	: 0.99807
Επιτυχείς Εγκεκριμένες	: 0.96406
Επιτυχείς Απορριπτές	: 0.98306
Συνολικό ποσοστό επιτυχίας	: 0.9716

Παράμετροι εισόδου *	

Διαστήματα κριτηρίων	: 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2
Διάκριση ισχυρότερων κριτηρίων	: 12/12
Κατανομή Εκπαίδευσης/Ελέγχου Εγκεκριμένες:	80/20
Κατανομή Εκπαίδευσης/Ελέγχου Απορριπτές :	80/20
Τιμή ε	: 0.0001

Αποτελέσματα *	

Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης	: 0.11666
Κατώφλι	: 0.99808
Επιτυχείς Εγκεκριμένες	: 0.9698
Επιτυχείς Απορριπτές	: 0.98306
Συνολικό ποσοστό επιτυχίας	: 0.97506

Παράμετροι εισόδου *	

Διαστήματα κριτηρίων	: 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2
Διάκριση ισχυρότερων κριτηρίων	: 12/12
Κατανομή Εκπαίδευσης/Ελέγχου Εγκεκριμένες:	90/10
Κατανομή Εκπαίδευσης/Ελέγχου Απορριπτές :	90/10
Τιμή ε	: 0.0001

Αποτελέσματα *	

Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης	: 0.1294
Κατώφλι	: 0.99803
Επιτυχείς Εγκεκριμένες	: 0.0013941
Επιτυχείς Απορριπτές	: 1
Συνολικό ποσοστό επιτυχίας	: 0.39787

3.5.3. Με αλλαγές στο ϵ .

Παράμετροι εισόδου *	

Διαστήματα κριτηρίων	: 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2
Διάκριση ισχυρότερων κριτηρίων	: 12/12
Κατανομή Εκπαίδευσης/Ελέγχου Εγκεκριμένες:	80/20
Κατανομή Εκπαίδευσης/Ελέγχου Απορριπτές:	80/20
Τιμή ϵ	: 0.01

Αποτελέσματα *	

Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης	: 12.5866
Κατώφλι	: 0.83966
Επιτυχείς Εγκεκριμένες	: 0.96701
Επιτυχείς Απορριπτές	: 0.97953
Συνολικό ποσοστό επιτυχίας	: 0.97198

Παράμετροι εισόδου *	

Διαστήματα κριτηρίων	: 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2
Διάκριση ισχυρότερων κριτηρίων	: 12/12
Κατανομή Εκπαίδευσης/Ελέγχου Εγκεκριμένες:	80/20
Κατανομή Εκπαίδευσης/Ελέγχου Απορριπτές:	80/20
Τιμή ϵ	: 0.001

Αποτελέσματα *	

Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης	: 1.1671
Κατώφλι	: 0.98096
Επιτυχείς Εγκεκριμένες	: 0.96956
Επιτυχείς Απορριπτές	: 0.98412
Συνολικό ποσοστό επιτυχίας	: 0.97534

Παράμετροι εισόδου *	

Διαστήματα κριτηρίων	: 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2
Διάκριση ισχυρότερων κριτηρίων	: 12/12
Κατανομή Εκπαίδευσης/Ελέγχου Εγκεκριμένες:	80/20
Κατανομή Εκπαίδευσης/Ελέγχου Απορριπτές :	80/20
Τιμή ε	: 0.0001

Αποτελέσματα *	

Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης	: 0.11666
Κατώφλι	: 0.99808
Επιτυχείς Εγκεκριμένες	: 0.9698
Επιτυχείς Απορριπτές	: 0.98306
Συνολικό ποσοστό επιτυχίας	: 0.97506

Παράμετροι εισόδου *	

Διαστήματα κριτηρίων	: 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2
Διάκριση ισχυρότερων κριτηρίων	: 12/12
Κατανομή Εκπαίδευσης/Ελέγχου Εγκεκριμένες:	80/20
Κατανομή Εκπαίδευσης/Ελέγχου Απορριπτές :	80/20
Τιμή ε	: 1e-05

Αποτελέσματα *	

Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης	: 0.011666
Κατώφλι	: 0.99981
Επιτυχείς Εγκεκριμένες	: 0.9698
Επιτυχείς Απορριπτές	: 0.98306
Συνολικό ποσοστό επιτυχίας	: 0.97506

3.6.Μεταβελτιστοποίηση

Κατά την φάση της μεταβελτιστοποίησης, πρέπει να επιλυθεί το ίδιο μοντέλο με τις παρακάτω τροποποιήσεις:

- Στον υπάρχοντα πίνακα περιορισμών θα εισαχθεί ο περιορισμός όπου το άθροισμα των σφαλμάτων (δηλαδή η παλιά αντικειμενική συνάρτηση f) να είναι μικρότερο ή ίσο με την τιμή που βρέθηκε να έχει η αντικειμενική συνάρτηση.
- Δημιουργείται η νέα αντικειμενική συνάρτηση όπου μεγιστοποιείται η συνολική αξία του κάθε κριτηρίου
- Επιλύεται το γραμμικό πρόγραμμα αυτό για κάθε κριτήριο.

```

for j=1:sd2
    disp(strcat('Εκκίνηση επίλυσης για κριτήριο ',num2str(j)));
    f2 = [zeros(1,sumD(j)) ones(1,D(j)) zeros(1,sumDr(j)) zeros(1,sz-sd)]; % αντικειμενική
    f_archive(j,:) = f2(1:end-(sz-sd)); % αποθήκευση αντικειμενικών για έλεγχο
    [obj2, x2, duals2, stat2]=lp_solveMAX(f2,a,b2,e2); % επίλυση
    if stat2 == 0 % αποθήκευση αποτελέσματος μόνο εάν υπάρχει βέλτιστη λύση
        FX(j,:) = [x2(1:sd); x2(end) ; obj2];
    end
    disp(strcat('Τέλος επίλυσης κριτηρίου ',num2str(j)));
end

```

Πίνακας 9 Ο κώδικας επίλυσης των δώδεκα γραμμικών προγραμμάτων.

	Τμήματα														Κατώφλι	Αντικ.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9A	9B	10	11	12A	12B	U0	Obj.
1	0.0001	0.0001	0.0007	0.0001	0.0003	0.0002	0.0324	0.0323	0.4659	0.4660	0.0001	0.0002	0.0007	0.0008	0.9986	0.0001
2	0.0001	0.0001	0.0007	0.0001	0.0003	0.0002	0.0324	0.0323	0.4659	0.4660	0.0001	0.0002	0.0007	0.0008	0.9986	0.0001
3	0.0001	0.0001	0.0007	0.0001	0.0003	0.0002	0.0324	0.0323	0.4660	0.4661	0.0001	0.0002	0.0005	0.0008	0.9986	0.0007
4	0.0001	0.0001	0.0007	0.0001	0.0003	0.0002	0.0324	0.0323	0.0149	0.0150	0.9021	0.0002	0.0005	0.0008	0.9986	0.0001
5	0.0001	0.0001	0.0007	0.0001	0.0025	0.0001	0.0324	0.0323	0.4648	0.4649	0.0001	0.0003	0.0007	0.0008	0.9986	0.0025
6	0.0001	0.0001	0.0007	0.0001	0.0012	0.0011	0.0324	0.0323	0.4649	0.4650	0.0001	0.0003	0.0007	0.0008	0.9986	0.0011
7	0.0001	0.0001	0.0007	0.0001	0.0003	0.0002	0.0324	0.0323	0.4659	0.4660	0.0001	0.0002	0.0007	0.0008	0.9986	0.0324
8	0.0001	0.0001	0.0007	0.0001	0.0003	0.0002	0.0324	0.0323	0.0149	0.0150	0.9020	0.0002	0.0007	0.0008	0.9986	0.0323
9	0.0001	0.0001	0.0007	0.0001	0.0003	0.0002	0.0324	0.0323	0.0001	0.9319	0.0001	0.0002	0.0005	0.0008	0.9986	0.9320
10	0.0001	0.0001	0.0007	0.0001	0.0003	0.0002	0.0324	0.0323	0.0001	0.0150	0.9170	0.0002	0.0005	0.0008	0.9986	0.9170
11	0.0001	0.0001	0.0007	0.0001	0.0003	0.0002	0.0324	0.0323	0.4658	0.4659	0.0001	0.0003	0.0007	0.0008	0.9986	0.0003
12	0.0001	0.0001	0.0007	0.0001	0.0012	0.0011	0.0324	0.0323	0.0149	0.0150	0.9001	0.0003	0.0007	0.0008	0.9986	0.0016
	0.0001	0.0001	0.0007	0.0001	0.0007	0.0004	0.0324	0.0323	0.2753	0.3543	0.3018	0.0002	0.0007	0.0008	Μέσος όρος	

Πίνακας 10. Ο πίνακας μεταβελτιστοποίησης με τον μέσο όρο των κριτηρίων.

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα, κάποια κριτήρια επιδέχονται βελτίωσης και κάποια άλλα έχουν ήδη φτάσει το μέγιστο της αξίας τους. Παρ' όλα αυτά αυτό δεν σημαίνει ότι το μοντέλο θα βελτιωθεί. Το διάλυμα με τους μέσους όρους των αξιών των κριτηρίων πολλαπλασιάζεται γραμμικά με το υποσύνολο ελέγχου των αιτήσεων και με την ίδια μέθοδο υπολογίζεται το ποσοστό ευστοχίας.

Παράμετροι εισόδου *	

Διαστήματα κριτηρίων	: 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2
Διάκριση ισχυρότερων κριτηρίων	: 12/12
Κατανομή Εκπαίδευσης/Ελέγχου Εγκεκριμένες:	80/20
Κατανομή Εκπαίδευσης/Ελέγχου Απορριπτές :	80/20
Τιμή ϵ	: 0.0001

Αποτελέσματα Μεταβελτιστοποίησης *	

Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης	: 0.011666
Κατώφλι	: 0.99981
Επιτυχείς Εγκεκριμένες	: 0.9698
Επιτυχείς Απορριπτές	: 0.98306
Συνολικό ποσοστό επιτυχίας	: 0.97506

Πίνακας 11. Το αποτέλεσμα της μεταβελτιστοποίησης.

Η λύση δεν είναι η μοναδική βέλτιστη, όπως φαίνεται καθαρά και κατά την μεταβελτιστοποίηση. Υπήρχαν διαφοροποιήσεις στις επί μέρους αξίες αλλά όχι τέτοιες ώστε να μεταβληθεί το ποσοστό επιτυχίας.

4. Ανάλυση και εφαρμογή του μοντέλου στην διαδικασία της αξιολόγησης.

Με δεδομένη την αποδοχή του ποσοστού ακρίβειας του μοντέλου από το τμήμα πιστωτικού κινδύνου, το διάνυσμα αξίας του κάθε διαστήματος μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε δανειακή αίτηση της οποίας τα στοιχεία είναι συμπληρωμένα. Παρ' όλα αυτά, ο οργανισμός θα πρέπει να επιλέξει τη στρατηγική με την οποία θα ερμηνεύσει την συνολική αξία της κάθε αίτησης σε σχέση με το κατώφλι και το ποσοστό ακρίβειας του μοντέλου. Μερικές προτεινόμενες προσεγγίσεις είναι οι παρακάτω:

- **Χρήση της υπολογισθείσας αξίας ως πρόταση απόφασης.**

Με βάση την υπολογισθείσα αξία και το υπολογισμένο κατώφλι, το σύστημα μπορεί να προτείνει την απόφαση κατά την διάρκεια της χειροκίνητης αξιολόγησης. Η αξιολόγηση εξακολουθεί να γίνεται με τις ίδιες οδηγίες του τμήματος πιστωτικού κινδύνου μόνο που τώρα υπάρχει ένα σύστημα υποστήριξης της απόφασης με συμβουλευτικό όμως χαρακτήρα.

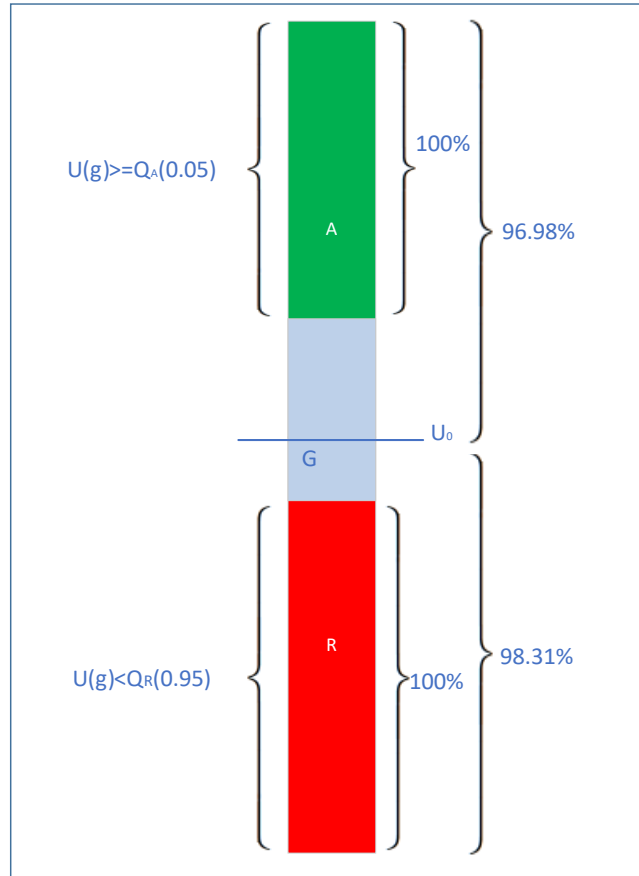
- **Αυτόματη αξιολόγηση και δημιουργία νέας γκρίζας ζώνης.**

Ο οργανισμός μπορεί να επιλέξει έναν συντελεστή άμβλυνσης του κατωφλίου προς τις δύο κατευθύνσεις ώστε να μεγιστοποιήσει την ακρίβεια του συστήματος. Όπως φαίνεται παρακάτω, με την χρήση της συνάρτησης `quantile()`, μπορεί ο χρήστης να βρει το ποσοστό επιτυχίας του μοντέλου για τις αιτήσεις όπου έχουν αξία κατά x μεγαλύτερη ή μικρότερη από το κατώφλι. Με αυτόν το τρόπο μπορεί να κρατηθεί το ποσοστό ακρίβειας σε υψηλό επίπεδο και για εκείνες τις αιτήσεις των οποίων η συνολική αξία είναι οριακή, να δημιουργηθεί δηλαδή μία νέα «Γκρίζα ζώνη» όπου θα γίνει χειροκίνητη αξιολόγηση.

Ποσοστό άμβλυνσης	0%	1%	2.5%	5%
Πλήθος αιτήσεων	7138	7067	6959	6781
Ακρίβεια μοντέλου	97,506%	98,486%	99,684%	100%
Συνολική μείωση φόρτου εργασίας		99%	97%	95%

Πίνακας 12. Απόδοση αυτόματης απόφασης σε σχέση με το ποσοστό άμβλυνσης του κατωφλίου.

Στο μοντέλο της παρούσας εργασίας, με 5% άμβλυνση της γκριζας ζώνης επετεύχθη ακρίβεια 100% για το 95% των αιτήσεων στέλνοντας δηλαδή μόνο το 5% για χειροκίνητη αξιολόγηση.



Εικόνα 13. Γραφική αναπαράσταση άμβλυνσης του κατωφλίου κατά 5% με τα αντίστοιχα ποσοστά ακρίβειας.

5. Συμπεράσματα

Η UTADIS αποτελεί μία ικανοποιητική μεθοδολογία για την αποτύπωση και αναπαράσταση του μοντέλου απόφασης των αξιολογητών. Με τη σωστή μετατροπή των ποσοτικών και ποιοτικών κριτηρίων σε αύξουσες συναρτήσεις αξίας, το σύστημα μπορεί να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα, τόσο στην υποστήριξη της απόφασης όσο και στη μη εποπτευόμενη – αυτόματη κατάταξη της δανειακής αίτησης.

Στην παρούσα εργασία έγινε μία μελέτη με ένα πλήθος δανειακών αιτήσεων πιστωτικών καρτών Mastercard των οποίων τα αποτελέσματα ήταν γνωστά. Το μοντέλο μπορεί πολύ εύκολα να επεκταθεί και σε άλλους τύπους δανειακών αιτήσεων και ταυτόχρονα να χρησιμοποιηθεί σε σενάρια προσομοίωσης για την κατάρτιση της πιστοληπτικής πολιτικής από οικονομικά ιδρύματα.

Ένα ακόμα θετικό της UTADIS είναι η διαφάνεια με την οποία μπορεί να υπολογίσει τις συναρτήσεις αξίας σε αντίθεση με τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα τα οποία λειτουργούν ως «μαύρα κουτιά» και συνεπώς δεν είναι ευδιάκριτος ο τρόπος αξιολόγησης των αιτήσεων. Η γραμμική επίλυση, δοθέντος του συνόλου περιορισμών και η εφαρμογή του διανύσματος αξιών σε μία αίτηση, αποτελεί μία ντετερμινιστική διαδικασία η οποία μπορεί να συμπεριληφθεί στην τεκμηρίωση του οργανισμού, για λόγους νομικής συμμόρφωσης και διαφάνειας με την κείμενη νομοθεσία, στην σύναψη δανειακών συμβάσεων.

Από τις δοκιμές που έγιναν, διαπιστώθηκε ότι και η UTADIS μπορεί να αντιμετωπίσει πρόβλημα με την υπερ-προσαρμογή (overfitting) όταν της δόθηκε το 90% επί συνόλου 28549 δειγμάτων για εκπαίδευση, αποδίδοντας πολύ χαμηλά ποσοστά ακρίβειας στην αποτίμηση της συνολικής αξία των αιτήσεων του συνόλου ελέγχου. Ταυτόχρονα, εξ' αιτίας του πλήθους των αιτήσεων, διαπιστώθηκε ότι ο πίνακας των περιορισμών μπορεί να οδηγήσει σε πολύ υψηλή απαίτηση υπολογιστικών πόρων λόγω της υποχρεωτικής αποτύπωσης των σφαλμάτων υπερεκτίμησης και υποεκτίμησης ως ανεξάρτητες στήλες για κάθε δείγμα, όπως φαίνεται στο κεφάλαιο 3.2.2 . Στην παρούσα εργασία, ο πίνακας των περιορισμών έφτασε τα 13GB για 28549 δείγματα.

Παράλληλα, διαμορφώθηκε ένα συγκεκριμένο σύνολο παραμέτρων και μεταβλητών οι οποίες καθορίζουν σημαντικά την απόδοση του μοντέλου όπως η παράμετρος ε η οποία καθορίστηκε τελικά σε 0.0001. Η τιμή 0.01, έδινε μεν ικανοποιητικά αποτελέσματα αλλά τροποποιούσε σε μη ρεαλιστικό βαθμό τις αξίες για κάποια κριτήρια που σημαίνει ότι το μοντέλο ήταν μεροληπτικό ενώ για 0.0001 ή 0.00001 το μοντέλο παρουσίαζε σταθερά αποτελέσματα στο διάνυσμα αξιών. Επίσης, ιδιαίτερη προσοχή χρειάστηκε η παράμετρος

NSFlags η οποία δημιουργήθηκε για την αντιμετώπιση κριτηρίων όπου λαμβάνουν δυαδικές τιμές. Μπορεί στην παρούσα εργασία να προστέθηκαν ώστε να συνθέσουν ένα νέο κριτήριο με 13 στάθμες αλλά αυτό κατέστη δυνατό λόγω της παραδοχής ότι οι σημάνσεις αυτές είχαν την ίδια αξία. Σε αντίθετη περίπτωση, θα χρειαζόταν μία επιπλέον φάση ανάλυσης για την καλύτερη αποτύπωση της αξίας της κάθε δυαδικής σήμανσης π.χ. με χρήση ερωτηματολογίων και αναλυτικής ιεράρχησης (AHP) για τα κριτήρια αυτά.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι παρά τις απαιτήσεις σε μνήμη, το μοντέλο εκπαιδεύτηκε σε ικανοποιητικό χρόνο τέτοιο ώστε να επιτρέπει την επανεκπαίδευσή του σε πραγματικό χρόνο.

6. Μελλοντικές προτάσεις

Μπορεί τα αποτελέσματα που αναφέρονται στην προηγούμενη ενότητα να είναι ικανοποιητικά, παρ' όλα αυτά περαιτέρω βελτιώσεις μπορούν να γίνουν σε όλες τις φάσεις της μελέτης και υλοποίησης.

Αρχικά, η έρευνα θα μπορούσε να εστιάσει στην ανάλυση του πλήθους των αιτήσεων που χρειάζονται για την επίτευξη ικανοποιητικών αποτελεσμάτων, με γνώμονα πάντα και την ταχύτητα εκπαίδευσης του μοντέλου. Η ταχύτερη εκπαίδευση του μοντέλου, θα μπορέσει να δώσει την δυνατότητα για ακόμα ταχύτερη επανεκπαίδευσή του σε πραγματικό χρόνο, προσδίδοντας στο σύστημα τον χαρακτήρα του «έξυπνου συστήματος αξιολόγησης» με ικανότητες αυτό-εκπαίδευσης και επικαιροποίησης της πιστοληπτικής πολιτικής.

Παράλληλα, ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα είχε η χρήση της UTADIS για την εύρεση δειγμάτων όπου η συνολική τους αξία σε σχέση με την τελική απόφαση είναι εκ διαμέτρου αντίθετες με σκοπό την αναγνώριση προβλημάτων στην διαδικασία ή στην αναγνώριση ύποπτων και μεροληπτικών αποφάσεων εντός του οργανισμού.

Κλείνοντας, περαιτέρω έρευνα θα μπορούσε να προσανατολιστεί στην εφαρμογή της UTADIS για την προσομοίωση απόδοσης δανειακών χαρτοφυλακίων, εισάγοντας και δεδομένα πληρωμών στην ανάλυση, αντικαθιστώντας τις κλάσεις απόφασης Έγκριση-Απόρριψη με περισσότερες κλάσεις κατάταξης που καθορίζουν ποιοτικά την αίτηση και το δάνειο ως προς την αποπληρωμή του.

7. Βιβλιογραφία

- Devaud, J., Groussaud, G., & Jacquet-Lagrèze, E. (1980). UTADIS: Une méthode de construction de fonctions d'utilité additives rendant compte de jugements globaux. Bochum: European Working Group on Multicriteria Decision Aid.
- Doumpos, M., & Zopounidis, C. (2002). *Multicriteria decision aid classification methods*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Ferrary, M. (2003). Trust and Social Capital in the Regulation of Lending Activities. *Journal of Socio-Economics*.
- Green, G., Kwong, T., & Tigges, L. (1995). Embeddedness and Capital Markets: Bank Financing of Business. *Journal of Socio-Economics*.
- Jacquet-Lagrèze, E. (1995). An application of the UTA discriminant model for the evaluation of R&D projects. Στο P. Pardalos, Y. Siskos, & C. Zopounidis, *Advances in multicriteria analysis* (σσ. 203–211). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- 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, 151–164.
- Jacquet-Lagrèze, E., & Siskos, Y. (2001). Preference disaggregation: 20 years of MCDA experience. *European Journal of Operational Research*, 130, 233–245.
- Kosmidou, K., Doumpos, M., & Zopounidis, C. (2008). *Country Risk Evaluation, Methods and applications*. London: Springer.
- Leek, J. (2012). *The Elements of Data Analytic Style*. LeanPub.
- Pasiouras, F., Tanna, S., & Zopounidis, C. (2005). *Series on Computers and Operations Research vol.5 : Application of Quantitative Techniques for the Prediction of Bank Acquisition Targets*. London: World Scientific Publishing Co.

- Rangel, L. D. (2015). Multicriteria Classification Of The Organizational Commitment Factors. *Electronic Journal of Management & System*, 623-632.
- Roy, B. (1985). Méthodologie Multicritère D'aide à la Décision. *Editions Economica*.
- Siskos, Y., & Spyridakos, A. (1999). Intelligent multicriteria decision support: Overview and. *European Journal of Operational Research*, 113, 236-246.
- Siskos, Y., & Yannacopoulos, D. (1985). UTASTAR: An ordinal regression method for building additive value functions. *Investigação Operacional*, σσ. 39-53.
- Siskos, Y., Grigoroudis, E., & Matsatsinis, N. (2016). UTA Methods. Στο S. Greco, M. Ehrgott, & J. Figueira, *Multiple Criteria Decision Analysis. International Series in Operations Research & Management Science*, vol 233 (σσ. 315-362). New York, NY: Springer.
- Zopounidis, C., & Doumpos, M. (1997). A multicriteria decision aid methodology for the assessment of country risk. *European Research on Management and Business Economics* 3, 13-33.
- Zopounidis, C., & Doumpos, M. (2001). A preference disaggregation decision support system for financial classification problems. *European Journal of Operation Research* 130, 402-413.
- Αθανασίου, Έ. (2006). *Προοπτικές του δανεισμού των νοικοκυριών στην Ελλάδα και η σημασία τους για την ανάπτυξη*. Αθήνα: Εκδόσεις ΚΕΠΕ.
- Τσούμας, Β. (2006). *Δάνειο και Χρησιδάνειο*. Θεσσαλονίκη: Νομική Βιβλιοθήκη.
- Ψυχομάνης, Σ. (2001). *Τραπεζικό Δίκαιο-Δίκαιο τραπεζικών συμβάσεων*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Σάκκουλα.