

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

Μεταπτυχιακή Διατριβή στα Πληροφοριακά Συστήματα



**«Αναπαράσταση πραγματικών προτιμήσεων χρηστών
σε δίκτυα προτιμήσεων υπό συνθήκη»**

Ζήτης Κωνσταντίνος

Επιβλέπων Καθηγητής Λοΐζος Μιχαήλ

Δεκέμβριος 2018

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

**«Αναπαράσταση πραγματικών προτιμήσεων χρηστών
σε δίκτυα προτιμήσεων υπό συνθήκη»**

Ζήτης Κωνσταντίνος

Επιβλέπων Καθηγητής Λοΐζος Μιχαήλ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε
προς τελική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση

μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών
στα Πληροφοριακά Συστήματα

από τη Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών
του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου

Δεκέμβριος 2018

Περίληψη

Αναζητώντας την έννοια της λέξης «προτίμηση» στα λεξικά της Ελληνικής γλώσσας, ο ενδιαφερόμενος θα βρει ορισμούς όπως: «άποψη για το ποιος ή κάτι είναι καλύτερο από κάποιον ή κάτι άλλο και η επιλογή που γίνεται υπέρ αυτού» ή «το να ξεχωρίζει κάποιος από ένα σύνολο το καλύτερο ή να αποφασίζει ανάμεσα σε διαφορετικές δυνατότητες» και ακόμη «το ένα είναι καλύτερο από το άλλο σε μια επιλογή διαλέγματος». Στην κοινή γλώσσα, ο όρος "προτίμηση" έχει διαφορετικές έννοιες, συμπεριλαμβανομένης της σύγκρισης, της αξιολόγησης, της ιεράρχησης ή της ευνοϊκής μεταχείρισης, και της επιλογής κατάταξης. Οι προτιμήσεις είναι ένας φυσικός τρόπος, για να εκφράσει κάποιος μια αρεστή επιλογή έναντι άλλης ή άλλων επιλογών. Προτίμηση μας μπορεί να είναι τα άνετα και όχι τα κομψά ρούχα. Μπορούμε να έχουμε προτίμηση στο γλυκό φαγητό σε σχέση με το πικάντικο.

Οι προτιμήσεις υπό συνθήκη, οι οποίες είναι γνωστές και με τον λατινικό όρο «*ceteris paribus*», που σημαίνει «όλα τα άλλα πράγματα είναι ίσα» ή «με αμετάβλητα τα λοιπά στοιχεία», αναφέρονται σε εκείνες τις προτιμήσεις που εξαρτώνται από την επίδραση συγκεκριμένων μεταβλητών σε αυτές, χωρίς απαραίτητα να ληφθούν υπόψη όλες οι άλλες πιθανές μεταβλητές.

Κεντρικός στόχος της παρούσης εμπειρικής έρευνας είναι να δειχθεί ή να απορριφθεί το κατά πόσο τα δίκτυα προτιμήσεων που αναπαρίστανται με γραφικό τρόπο, μπορούν να αποτυπώσουν σωστά τα δεδομένα προτιμήσεων που δίνονται από ανθρώπους χρήστες και κατά πόσο οι επιλογές τους σε ένα σύνολο προτιμήσεων που συνεπάγονται διαφανώς, αντικατατροπτίζουν πράγματι την δημιουργία του δικτύου τους και με ποια ακρίβεια. Σε αυτή την κατεύθυνση, η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή αυτή, ερεύνησε και μελέτησε κατά πόσο μπορεί ένας άνθρωπος με χρήση εύχρηστων εργαλείων πληροφορικής που αναπαριστούν ένα δίκτυο προτίμησης υπό συνθήκη, να αναπαραστήσει και να αποτυπώσει ηλεκτρονικά, τον τρόπο και τον συλλογισμό με τον οποίο καταλήγει σε μια προτίμηση του έναντι μιας άλλης, σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο επιλογών. Παράλληλα, στα πλαίσια της διατριβής, αναπτύχθηκαν πρότυπες εξειδικευμένες ηλεκτρονικές εφαρμογές και μηχανισμοί, δίνοντας την ευκαιρία αφενός να εξαχθούν διάφορα συμπεράσματα για τα παραπάνω, αφ' εταίρου να διασταυρωθούν και να αξιολογηθούν τόσο τα αποτελέσματα της έρευνας όσο και η χρησιμότητα των ίδιων των εργαλείων που υλοποιήθηκαν.

Summary

Searching for the meaning of the word "preference" in the Greek language dictionaries, a person concerned will find definitions such as: "a view of who or something is better than someone or something else and the choice made for it" or "distinguishing someone from a whole better or decide between different possibilities "and even" one is better than another in a selection of dialects ".

In the common language, the term "preference" has different meanings, including comparison, evaluation, hierarchy or favoring, and ranking selection. Preferences are a natural way for someone to like a choice against another or other choices. Our preference can be the comfortable and not the elegant clothes. We can have a taste of sweet food in relation to spicity.

Conditional preferences, which are also known by the Latin term "ceteris paribus", meaning "all other things are equal," or "unchanged the other elements," refer to those preferences that depend on the influence of specific variables in these, without necessarily taking into account all other possible variables.

The central objective of this empirical dissertation, is to show or reject whether the graphically represented preference networks can accurately capture the preferences data given by human users and whether their choices in a set of preferences that are transparent entailed, they actually repress the creation of their network and with what precision.

In this direction, this present dissertation has investigated and researched whether a person can use easy-to-use IT tools to represent a preferential network of preferences, to represent and imprint electronically, the way and the reasoning with which he concludes preference to one another in a specific context of choices.

At the same time, within the framework of the dissertation, specialized digital applications and mechanisms were developed, giving the opportunity to draw various conclusions on the above, on the other hand to cross-check and evaluate both the results of the research and the utility of the tools themselves.

Ευχαριστίες

Με την ευκαιρία της ολοκλήρωσης της μεταπτυχιακής μου διατριβής θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Λοΐζο Μιχαήλ, ο οποίος με υπομονή, κατανόηση, ενθάρρυνση, απaráμιλλο ενδιαφέρον και με την επιστημονική του καθοδήγηση, συνέβαλε αποφασιστικά στην ολοκλήρωση της.

Ακόμη, ένα μεγάλο ευχαριστώ αξίζει το Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου για τη βοήθεια που πρόσφεραν στις περιπτώσεις που κρίθηκε απαραίτητη και την απαραίτητη γνωστική κατάρτιση που μου παρείχαν μέσω των μαθημάτων του μεταπτυχιακού μου.

Επίσης πολλές ευχαριστίες αξίζουν στην οικογένεια μου καθώς και στην γυναίκα μου για την ηθική συμπαράσταση και υποστήριξη που μου πρόσφεραν όλο αυτό το διάστημα.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1	8
Εισαγωγή.....	8
Κεφάλαιο 2	11
Θεωρητικό Υπόβαθρο	11
2.1 Προτιμήσεις και Λογική της προτίμησης	11
2.1.1 Η έννοια της σύγκρισης προτιμήσεων.....	12
2.1.2 Η έννοια της πληρότητας στις προτιμήσεις	13
2.1.3 Η έννοια της μεταβατικότητας στις προτιμήσεις	14
2.1.4 Η έννοια της διάταξης στις προτιμήσεις.....	15
2.1.5 Η έννοια των συνδυαστικών προτιμήσεων.....	16
2.1.6 Η έννοια των προτιμήσεων υπό συνθήκη.....	16
2.1.7 Η έννοια του ορθολογισμού στις προτιμήσεις	18
2.2 Αναπαράσταση Προτιμήσεων.....	18
2.2.1 Ποιοτική και Ποσοτική προσέγγιση	19
2.2.2 Θεωρία Χρησιμότητας και Συναρτήσεις Χρησιμότητας	20
2.2.3 Πλαίσιο Περιγραφής Πόρων (RDF)	24
2.2.4 Αναπαράσταση προτιμήσεων σε Βάσεις Δεδομένων.....	28
2.2.4.1 Αναπαράσταση προτιμήσεων σε Β.Δ. – Ποιοτική προσέγγιση	31
2.2.4.2 Αναπαράσταση προτιμήσεων σε Β.Δ. – Ποσοτική προσέγγιση.....	33
Κεφάλαιο 3	36
Γραφικά μοντέλα αναπαράστασης προτιμήσεων.....	36
3.1 Γραφικά μοντέλα αναπαράστασης προτιμήσεων γενικά.....	36
3.2 CP δίκτυα αναπαράστασης προτιμήσεων υπό συνθήκη.....	38
3.2.1 Εμπλουτισμένα CP δίκτυα	41
3.2.2 GAI Δίκτυα (Generalized Additive Independence networks).....	42

Κεφάλαιο 4	44
Υφιστάμενοι αλγόριθμοι, πειράματα και εφαρμογές δημιουργίας CP δικτύων	44
4.1 Υφιστάμενοι αλγόριθμοι μάθησης CP δικτύων	44
4.1.1 Αλγόριθμος μάθησης διαχωρισμένων δικτύων.	44
4.1.2 Αλγόριθμος μάθησης δικτύων με ερωτήσεις	45
4.1.3 Αλγόριθμοι μάθησης που υλοποιήθηκαν από την Παπαγεωργίου.....	45
4.2 Υφιστάμενα πειράματα ελέγχου συμβατότητας των CP δικτύων με δεδομένα χρηστών.....	46
4.3 Υφιστάμενες εφαρμογές δημιουργίας CP δικτύων με γραφικό τρόπο	48
4.3.1 CP Net visualizer.....	48
4.3.2 Αξιολόγηση της χρήσης του CP Net visualizer	50
Κεφάλαιο 5	52
Πείραμα και Μεθοδολογία	52
5.1 Καταγραφή βημάτων του πειράματος.....	52
5.2 Εφαρμογή αποτύπωσης ενός CP δικτύου με γραφικό τρόπο	53
5.2.1 Περιβάλλον εφαρμογής	53
5.2.2 Λειτουργικότητα εφαρμογής	55
5.2 Προετοιμασία δεδομένων πειράματος	58
5.2.1 Σύνολο εικόνων, χαρακτηριστικά και τιμές χαρακτηριστικών.....	58
5.2.1 Πίνακας παρουσίασης συνολικών χαρακτηριστικών	59
5.3 Εφαρμογή παρουσίασης εικόνων σε χρήστες προς επιλογή των προτιμότερων.....	61
5.3.1 Περιβάλλον εφαρμογής	61
5.3.1 Λειτουργικότητα εφαρμογής παρουσίασης εικόνων	62
5.4 Διεξαγωγή αποτύπωσης CP δικτύων και καταγραφή προτιμήσεων από χρήστες.....	63
5.4.1 Χρήστες και τρόπος που συμμετείχαν στο πείραμα	63
5.4.2 Ρυθμίσεις εφαρμογής αποτύπωσης CP δικτύων.....	64

5.5 Δημιουργία εφαρμογής συλλογισμού και λοιπά εργαλεία	65
Κεφάλαιο 6	67
Παρουσίαση, ανάλυση αποτελεσμάτων και συμπεράσματα.....	67
6.1. Παρουσίαση συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων.....	67
6.2 Τα CP δίκτυα που δημιούργησαν οι χρήστες.....	71
6.3 Ανάλυση των αποτελεσμάτων και συμπεράσματα.....	84
Κεφάλαιο 7	98
Επίλογος	98
Βιβλιογραφία	100

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Αναζητώντας την έννοια της λέξης «προτίμηση» στα λεξικά της Ελληνικής γλώσσας, ο ενδιαφερόμενος θα βρει ορισμούς όπως: «άποψη για το ποιος ή κάτι είναι καλύτερο από κάποιον ή κάτι άλλο και η επιλογή που γίνεται υπέρ αυτού» ή «το να ξεχωρίζει κάποιος από ένα σύνολο το καλύτερο ή να αποφασίζει ανάμεσα σε διαφορετικές δυνατότητες» και ακόμη «το ένα είναι καλύτερο από το άλλο σε μια επιλογή διαλέγματος». Στην κοινή γλώσσα, ο όρος "προτίμηση" έχει διαφορετικές έννοιες, συμπεριλαμβανομένης της σύγκρισης, της αξιολόγησης, της ιεράρχησης ή της ευνοϊκής μεταχείρισης, και της επιλογής κατάταξης. Οι προτιμήσεις είναι ένας φυσικός τρόπος, για να εκφράσει κάποιος μια αρεστή επιλογή έναντι άλλης ή άλλων επιλογών [4]. Προτίμηση μας μπορεί να είναι τα άνετα και όχι τα κομψά ρούχα. Μπορούμε να έχουμε προτίμηση στο γλυκό φαγητό σε σχέση με το πικάντικο.

Στο επιχειρηματικό μάρκετινγκ, με κύριο εργαλείο την έρευνα αγοράς, καταβάλλονται οργανωμένες προσπάθειες να ικανοποιηθούν οι ανάγκες και οι επιθυμίες των καταναλωτών, σύμφωνα με τις προτιμήσεις τους σε κάποια αγαθά έναντι άλλων. Στα κοινωνικά δίκτυα όπως στο Facebook για παράδειγμα, αποθηκεύονται και αναλύονται οι προτιμήσεις και οι επιλογές των χρηστών [3], εξάγονται συμπεράσματα και προωθούνται τεχνικές, ώστε τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης, να προωθούν εξατομικευμένα προϊόντα και να επηρεάζουν τις προτιμήσεις των καταναλωτών. Η επιστήμη γενικότερα, σε διάφορους τομείς της και κλάδους αυτών, ασχολείται οργανωμένα και μεθοδικά με την ανάλυση των προτιμήσεων των ανθρώπων.

Στην πληροφορική, η εξαγωγή προτιμήσεων και η ανάλυση τους, διερευνάται στους κλάδους της θεωρίας αποφάσεων και της τεχνητής νοημοσύνης. Η θεωρία αποφάσεων ασχολείται κατά βάση με την μοντελοποίηση των προτιμήσεων και η τεχνητή νοημοσύνη ασχολείται με τον σχεδιασμό γλωσσών αναπαράστασης προτιμήσεων, καθώς και τον σχεδιασμό αλγορίθμων εκμαίευσης προτιμήσεων. Ένα βασικό εργαλείο της τεχνητής ευφυίας που χρησιμοποιείται και θα μας απασχολήσει

στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, είναι «το δίκτυο προτιμήσεων υπό συνθήκη» [5].

Οι προτιμήσεις υπό συνθήκη, οι οποίες είναι γνωστές και με τον λατινικό όρο «*ceteris paribus*», που σημαίνει «όλα τα άλλα πράγματα είναι ίσα» ή «με αμετάβλητα τα λοιπά στοιχεία», αναφέρονται σε εκείνες τις προτιμήσεις που εξαρτώνται από την επίδραση συγκεκριμένων μεταβλητών σε αυτές, χωρίς απαραίτητα να ληφθούν υπόψη όλες οι άλλες πιθανές μεταβλητές. Οι εμπειρογνώμονες χρησιμοποιούν την έννοια του «*ceteris paribus*» για να εξηγήσουν τη θεωρία πίσω από τους νόμους της οικονομίας και της φύσης [6]. Αυτό σημαίνει ότι «τις περισσότερες φορές, κάτι θα συμβεί ως αποτέλεσμα κάποιου άλλου».

Εφόσον οι πληροφορίες σχετικά με τις προτιμήσεις των χρηστών διαδραματίζουν βασικό ρόλο στην αυτόματη λήψη αποφάσεων, σε πολλούς τομείς είναι επιθυμητό να αξιολογηθούν τόσο αυτές οι προτιμήσεις με ποιοτικό ή ποσοτικό τρόπο, όσο και μηχανισμός που παρέχεται για την εκμαίευσης τους. Επιπλέον, οι προτιμήσεις και οι λογικές τους ιδιότητες έχουν επίσης κεντρικό ρόλο στη θεωρία της ορθολογικής επιλογής, ένα θέμα που με τη σειρά του διαπερνά τη σύγχρονη οικονομία, καθώς και άλλους κλάδους της επίσημης κοινωνικής επιστήμης.

Κεντρικός στόχος της παρούσης εμπειρικής έρευνας είναι να δειχθεί ή να απορριφθεί το κατά πόσο τα δίκτυα προτιμήσεων που αναπαρίστανται με γραφικό τρόπο, μπορούν να αποτυπώσουν σωστά τα δεδομένα προτιμήσεων που δίνονται από ανθρώπους χρήστες και κατά πόσο οι επιλογές τους σε ένα σύνολο προτιμήσεων που συνεπάγονται διαφανώς, αντικατατροπίζουν πράγματι την δημιουργία του δικτύου τους και με ποια ακρίβεια. Σε αυτή την κατεύθυνση, η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή αυτή, ερεύνησε και μελέτησε κατά πόσο μπορεί ένας άνθρωπος με χρήση εύχρηστων εργαλείων πληροφορικής που αναπαριστούν ένα δίκτυο προτίμησης υπό συνθήκη, να αναπαραστήσει και να αποτυπώσει ηλεκτρονικά, τον τρόπο και τον συλλογισμό με τον οποίο καταλήγει σε μια προτίμηση του έναντι μιας άλλης, σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο επιλογών. Παράλληλα, στα πλαίσια της διατριβής, αναπτύχθηκαν πρότυπες εξειδικευμένες ηλεκτρονικές εφαρμογές και μηχανισμοί, δίνοντας την ευκαιρία αφενός να εξαχθούν διάφορα συμπεράσματα για τα παραπάνω, αφ' εταίρου να διασταυρωθούν και να αξιολογηθούν τόσο τα αποτελέσματα της έρευνας όσο και η χρηστικότητα των ίδιων των εργαλείων που υλοποιήθηκαν.

Η υπόλοιπη μεταπτυχιακή διατριβή διαμορφώνεται ως εξής: Στο κεφάλαιο 2 περιγράφεται το θεωρητικό υπόβαθρο στα πλαίσια του οποίου αναπτύχθηκε η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, στο Κεφάλαιο 3 περιγράφονται τα γραφικά μοντέλα αναπαράστασης προτιμήσεων γενικά και ειδικά. Στο Κεφάλαιο 4 περιγράφονται οι υφιστάμενοι αλγόριθμοι, τα υφιστάμενα πειράματα και οι υφιστάμενες εφαρμογές δημιουργίας δικτύων υπό συνθήκη. Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται το πείραμα και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε κατά την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσης μεταπτυχιακής διατριβής στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του πειράματος καθώς και η ανάλυση αυτών και τέλος στο κεφάλαιο 7 γίνεται παρουσίαση των συμπερασμάτων του πειράματος.

Κεφάλαιο 2

Θεωρητικό Υπόβαθρο

Στα πλαίσια της εκπόνησης της παρούσης μεταπτυχιακής διατριβής, στο κεφάλαιο αυτό, περιγράφεται το θεωρητικό υπόβαθρο στα πλαίσια του οποίου αναπτύχθηκε η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή.

2.1 Προτιμήσεις και Λογική της προτίμησης

Σύμφωνα με τους Hansson, Ove και Yanoff, οι προτιμήσεις είναι αξιολογήσεις, δηλαδή αφορούν θέματα αξίας, συνήθως σε σχέση με την πρακτική συλλογιστική, δηλαδή ερωτήσεις σχετικά με το τι πρέπει να γίνει [2]. Αυτό διακρίνει την έννοια της προτίμησης από εκείνες τις έννοιες που αφορούν τα πραγματικά γεγονότα. Επιπλέον, οι προτιμήσεις είναι υποκειμενικές, καθώς η αξιολόγηση αποδίδεται συνήθως σε έναν παράγοντα, όπου αυτός ο παράγοντας μπορεί να είναι είτε ατομικός είτε συλλογικός. Αυτό τις διακρίνει από εκείνες τις δηλώσεις, όπως για παράδειγμα ότι το “Α είναι καλύτερο από το Β”, με αντικειμενική έννοια. Η έννοια “*λογική της προτίμησης*” χρησιμοποιείται συχνά και για να αντιπροσωπεύει τέτοιες αντικειμενικές εκτιμήσεις [1], αλλά η ουσιαστική έννοια της προτίμησης περιλαμβάνει αυτό το υποκειμενικό στοιχείο. Επίσης, οι προτιμήσεις είναι συγκριτικές στο ότι εκφράζουν την αξιολόγηση ενός στοιχείου Α σε σχέση με ένα άλλο στοιχείο Β. Αυτό τις ξεχωρίζει από τις μοναδικές έννοιες όπως “καλό”, “επιθυμητό” κ.λπ., οι οποίες αξιολογούν μόνο ένα στοιχείο.

Ήδη από τις αρχές του εικοστού αιώνα διάφοροι φιλόσοφοι έχουν μελετήσει τη δομή των προτιμήσεων με λογικά εργαλεία. Οι Sören Halldén και Georg Henrik von Wright, το 1957 και το 1963 αντίστοιχα, πρότειναν τα πρώτα πλήρη συστήματα *λογικής της προτίμησης* [8][9]. Το θέμα αυτό έχει επίσης ρίζες στη θεωρία *χρησιμότητας* (utility theory) [14] και στη θεωρία των *παιγνίων και των αποφάσεων* [15]. Στη λογική των προτιμήσεων, οι προτιμήσεις που μελετώνται, είναι συνήθως οι προτιμήσεις των λογικών ατόμων, αν και η λογική προτιμήσεων χρησιμοποιείται επίσης στην

ψυχολογία όπως και στη συμπεριφορική οικονομία, όπου δίνεται έμφαση στις “πραγματικές προτιμήσεις” όπως αυτές αποκαλύπτονται στη συμπεριφορά τους.

2.1.1 Η έννοια της σύγκρισης προτιμήσεων

Υπάρχουν δύο βασικές έννοιες συγκριτικής αξίας, δηλαδή “καλύτερη” (αυστηρή προτίμηση) και “ίση σε αξία” (αδιαφορία) [8]. Αυτοί οι όροι χρησιμοποιούνται για να εκφράσουν τις επιθυμίες των ανθρώπων και επίσης χρησιμοποιούνται και για άλλους σκοπούς, όπως για παράδειγμα, για να εκφράσουν αντικειμενική ή ισχυρή επιθυμία, που δεν συμπίπτει με το πρότυπο των επιθυμιών οποιουδήποτε ατόμου.

Οι σχέσεις προτιμήσεων και αδιαφορίας μεταξύ εναλλακτικών λύσεων A και B , συμβολίζονται συνήθως με τα σύμβολα $>$ και $\sim$ ή εναλλακτικά με P και I . Σύμφωνα με μια μακρόχρονη φιλοσοφική παράδοση, το $A > B$ θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει το “ A είναι καλύτερο από το B ” καθώς επίσης και το “ B είναι χειρότερο από το A ”.

Τα αντικείμενα των προτιμήσεων αντιπροσωπεύονται από την σχέση προτίμησης τους (για παράδειγμα: τα A και B στο $A > B$). Κάθε σχέση προτιμήσεων θεωρείται ότι εξαρτάται από ένα καθορισμένο σύνολο αναφορών. Στις περισσότερες εφαρμογές, οι αναφορές θεωρείται ότι είναι αμοιβαία αποκλειόμενες, δηλαδή καμία από αυτές δεν είναι συμβατή με ή περιλαμβάνεται, σε καμία από τις άλλες.

Οι προτιμήσεις σε ένα σύνολο αμοιβαία αποκλειόμενων αναφορών αναφέρονται ως προτιμήσεις αποκλεισμού. Όταν το σύνολο τους είναι αμοιβαία αποκλειόμενο, ονομάζονται και ως ένα εναλλακτικό σύνολο ή σύνολο εναλλακτικών λύσεων.

Οι ακόλουθες τέσσερις ιδιότητες των συγκριτικών σχέσεων εκλαμβάνονται συνήθως ως αναπόσπαστο μέρος της έννοιας των (αυστηρών) προτιμήσεων και αδιαφορίας [8]:

(1) $A > B \rightarrow \neg (B > A)$ (ασυμμετρία προτίμησης)

(2) $A \sim B \rightarrow B \sim A$ (συμμετρία αδιαφορίας)

(3) $A \sim A$ (αντανακλαστικότητα αδιαφορίας)

(4) $A > B \rightarrow \neg (A \sim B)$ (ασυμβατότητα της προτίμησης και της αδιαφορίας)

Από την ιδιότητα (1) προκύπτει ότι η αυστηρή προτίμηση είναι *μη αντανakλαστική*, δηλαδή ότι $\neg (A > A)$.

Η σχέση $\succcurlyeq$, "τουλάχιστον τόσο καλή όσο" (ή πιο συγκεκριμένα: "καλύτερη ή ίση ως προς την αξία"), ορίζεται ως εξής:

$$A \succcurlyeq B \leftrightarrow A > B \vee A \sim B \quad (\text{ασθενής προτίμηση})$$

(Αρκετά συχνά, αντί για τον τελεστή $\succcurlyeq$, χρησιμοποιείται η εναλλακτική σημείωση R).

Η ασθενής προτίμηση, συνήθως για λόγους ευκολίας, θεωρείται ως η πρωταρχική σχέση της λογικής προτιμήσεων. Σε αυτή την περίπτωση και η (αυστηρή) προτίμηση και η αδιαφορία εισάγονται ως παράγωγες σχέσεις, ως εξής:

$$A > B \text{ αν και μόνο αν } A \succcurlyeq B \text{ και } \neg (B \succcurlyeq A)$$

$$A \sim B \text{ αν και μόνο αν } A \succcurlyeq B \text{ και } B \succcurlyeq A$$

(Το $>$ είναι το αυστηρό μέρος του $\succcurlyeq$ και του συμμετρικού του τμήματος).

2.1.2 Η έννοια της πληρότητας στις προτιμήσεις

Στην λογικής προτιμήσεων και στις εφαρμογές της, είναι απαραίτητο να ισχύει η παρακάτω ιδιότητα, που ονομάζεται *πληρότητα*:

$$A \succcurlyeq B \vee B \succcurlyeq A$$

που μπορεί να εκφραστεί και ισοδύναμα ως:

$$A > B \vee A \sim B \vee B > A$$

Επίσης η "ασθενέστερη" εκδοχή αυτής της ιδιότητας είναι κάποιες φορές χρήσιμη:

$$\text{Αν } A \neq B, \text{ τότε } A \succcurlyeq B \vee B \succcurlyeq A \quad (\text{αδύναμη / ασθενής / χαλαρή πληρότητα})$$

(Η *πληρότητα* διατηρείται αν και μόνο εάν ισχύει και η *αδύναμη πληρότητα* και η *αντανakλαστικότητα της αδιαφορίας*).

Η ιδιότητα της πληρότητας (που μπορεί να εννοηθεί και ως συνάφεια) υπονοείται ως δεδομένη σε πολλές εφαρμογές της, ιδιαίτερα στην οικονομία [2]. Ωστόσο, σε πολλές καθημερινές περιπτώσεις, δεν χρειάζεται να έχουμε "ολοκληρωμένες" προτιμήσεις. Για παράδειγμα, ένας άνθρωπος που πρέπει να επιλέξει μεταξύ πέντε

αντικειμένων A, B, Γ, Δ και E , στην περίπτωση που γνωρίζει ότι προτιμά το A από τα υπόλοιπα, δεν χρειάζεται να αποφασίσει για τη επιθυμητή κατάταξη των υπολοίπων B, Γ, Δ και E .

2.1.3 Η έννοια της μεταβατικότητας στις προτιμήσεις

Η πιο σύνηθες λογική ιδιότητα των προτιμήσεων είναι η εξής [8]:

$$A \succcurlyeq B \wedge B \succcurlyeq C \rightarrow A \succcurlyeq C \quad (\text{μεταβατικότητα της αδύναμης προτίμησης})$$

Αναλόγως ορίζονται οι αντίστοιχες ιδιότητες των άλλων δύο σχέσεων:

$$A \sim B \wedge B \sim C \rightarrow A \sim C \quad (\text{μεταβατικότητα αδιαφορίας})$$

$$A \succ B \wedge B \succ C \rightarrow A \succ C \quad (\text{μεταβατικότητα της αυστηρής προτίμησης})$$

Μια ασθενής σχέση προτιμήσεων $\succcurlyeq$ ονομάζεται *ημι-μεταβατική*, αν το αυστηρό μέρος της είναι μεταβατικό.

Παράλληλα, έχουν οριστεί και αρκετές ακόμη ιδιότητες που σχετίζονται με την ιδιότητα της μεταβατικότητας. Ως πιο σημαντικές από αυτές, αξίζει να αναφερθούν οι παρακάτω τρεις:

$$A \sim B \wedge B \succ C \rightarrow A \succ C \quad (IP \text{ μεταβατικότητα})$$

$$A \succ B \wedge B \sim C \rightarrow A \succ C \quad (PI \text{ μεταβατικότητα})$$

$$\text{Δεν υπάρχει ακολουθία } A_1, \dots, A_n \text{ εναλλακτικών λύσεων, έτσι ώστε } A_1 \succ \dots \succ A_n \succ A_1 \quad (\text{ακυκλικότητα})$$

Τα προηγούμενα αφορούν αποδυναμώσεις της μεταβατικότητας του $\succcurlyeq$. Δηλαδή, αν το $\succcurlyeq$ ικανοποιεί την μεταβατικότητα, τότε το $\succ$ και το $\sim$ είναι επίσης μεταβατικό και επιπλέον, η IP-μεταβατικότητα, η PI-μεταβατικότητα και η ακυκλικότητα διατηρούνται.

Επίσης εάν το $\succcurlyeq$ είναι μεταβατικό, τότε είναι πιθανό να μην υπάρχουν κύκλοι που περιέχουν το $\succ$, δηλαδή δεν υπάρχουν A και B έτσι ώστε $A \succ^* B \succ A$. Οι προτιμήσεις με τέτοιο $\succ$ που περιέχει κύκλο ονομάζονται *κυκλικές προτιμήσεις*.

(Σημείωση: το $>^*$ σημαίνει ότι το $>$ επαναλαμβάνει “την ίδια σχέση”, σε πεπερασμένες και μη μηδενικές φορές. Για παράδειγμα: $A >^* C$ δηλώνει ότι είτε $A > C$, είτε υπάρχουν $B_1 \dots B_n$ έτσι ώστε $A > B_1 \wedge B_1 > B_2 \wedge \dots B_{n-1} > B_n \wedge B_n > C$).

2.1.4 Η έννοια της διάταξης στις προτιμήσεις

Μια προτίμηση που δηλώνεται από έναν άνθρωπο μέσω των χαρακτηριστικών των αντικειμένων μιας δεδομένης συλλογής, έχει ως αποτέλεσμα τη διάταξη των αντικειμένων με βάση την προτίμηση αυτή. Συνεπώς, η έννοια της διάταξης παίζει ιδιαίτερο ρόλο, τόσο για την αναπαράσταση των προτιμήσεων πάνω στις τιμές των εμπλεκόμενων χαρακτηριστικών, όσο και για την τελική κατάταξη των διαθέσιμων αντικειμένων [18][19][20].

Συστήνεται επίσης, ακόμη μια ιδιότητα των σχέσεων προτίμησης. Μια σχέση είναι *αντισυμμετρική* εάν ισχύει ότι:

$$A \succcurlyeq B \wedge B \succcurlyeq A \rightarrow A = B \quad (\text{αντισυμμετρία προτιμήσεων})$$

Σύμφωνα με τον Sen [10], ο παρακάτω πίνακας, παρουσιάζει συνοπτικά τις κατηγορίες διάταξης που χρησιμοποιούνται συνήθως ώστε να εκφραστούν οι σχέσεις προτίμησης που ικανοποιούν ορισμένες λογικές ιδιότητες:

Ιδιότητες	Κατηγορία
1. αντανakλαστική, μεταβατική	Preorder, Quasi-order
2. αντανakλαστική, μεταβατική, αντισυμμετρική	Partial order
3. μη αντανakλαστική, μεταβατική	Strict partial order
4. αντανakλαστική, μεταβατική, πλήρης	Total preorder, Complete quasi-ordering, Weak ordering
5. αντανakλαστική, μεταβατική, πλήρης, αντισυμμετρική	Chain, Linear ordering, Complete ordering
6. ασύμμετρη, μεταβατική, χαλαρά συνδεδεμένη	Strict total order, Strong ordering

Πίνακας 1: Κατηγορίες διάταξης και λογικές ιδιότητες σε σχέσεις προτίμησης

2.1.5 Η έννοια των συνδυαστικών προτιμήσεων

Στα προηγούμενα υποκεφάλαια σχετικά με τις προτιμήσεις, εξετάστηκαν οι αποκλειόμενες προτιμήσεις, δηλαδή εκείνες οι προτιμήσεις που αφορούν ένα σύνολο αμοιβαία αποκλειόμενων εναλλακτικών επιλογών. Πολλές φορές όμως οι άνθρωποι έχουν προτιμήσεις που μεταξύ τους δεν αλληλοαποκλείονται απαραίτητως [2]. Αυτές ονομάζονται *συνδυαστικές προτιμήσεις*.

Οι σχέσεις συνδυαστικών προτιμήσεων συνήθως δεν καθορίζονται αρκετά ώστε να αποκλείονται αμοιβαία. Λέγοντας ότι κάποιος προτιμά να έχει ένα άνετο ρούχο από ότι κομψό αφαιρούμε την πιθανότητα ότι κάποιος μπορεί να έχει και τα δύο ταυτόχρονα. Ανάλογα με τον τρόπο που κάποιος ερμηνεύει μια έκφραση προτιμήσεων μπορούν να εννοηθούν αρκετά διαφορετικά συμπεράσματα. Μπορεί να σημαίνει ότι κάποιος προτιμά ένα άνετο (και κομψό ρούχο) από ότι μόνο άνετο (και όχι κομψό ρούχο). Επίσης αν κάποιος έχει ήδη αρκετά κομψά ρούχα, μπορεί να σημαίνει ότι κάποιος προτιμά να έχει άνετα πλέον ρούχα από ότι μόνο κομψά ρούχα.

Οι συνδυαστικές προτιμήσεις θεωρούνται συνήθως ως καταστάσεις υποθέσεων και αντιπροσωπεύονται από λογικές προτάσεις στην *προτασιακή λογική*, όπου ισχύει ότι λογικά ισοδύναμες εκφράσεις μπορούν να αντικατασταθούν μεταξύ τους [2]. Ιδιότητες όπως η πληρότητα, η μεταβατικότητα και η ακυκλικότητα μπορούν να μεταβούν από αποκλειόμενες, σε συνδυαστικές προτιμήσεις. Επιπλέον, υπάρχουν ενδιαφέρουσες λογικές ιδιότητες που μπορούν να εκφραστούν με συνδυαστικές προτιμήσεις, αλλά όχι με αποκλειόμενες προτιμήσεις.

2.1.6 Η έννοια των προτιμήσεων υπό συνθήκη

Θεωρητικά, για τη λήψη μια απόφασης σε ένα σύνολο από επιλογές, μια τακτική θα ήταν όλες οι επιλογές να τοποθετηθούν σε διατεταγμένη σειρά έτσι ώστε, μια πιο επιθυμητή επιλογή να προηγείται μιας λιγότερο προτιμητέας. Όμως, ο αριθμός των πιθανών επιλογών είναι εκθετικός του συνόλου των μεταβλητών και ο αριθμός των προτιμήσεων που προκύπτουν από τις επιλογές είναι δύο φορές εκθετικός του συνόλου των μεταβλητών. Αυτό σημαίνει ότι μια τέτοια τακτική είναι εξαιρετικά μη αποτελεσματική και μερικές φορές είναι ακόμη και αδύνατη η τοποθέτηση των επιλογών σε διατεταγμένη σειρά. Για την επίλυση του πιο πάνω προβλήματος χρησιμοποιούνται οι *προτιμήσεις υπό συνθήκη*.

Μια υπό συνθήκη (ή αλλιώς υπό όρους) προτίμηση, όπως ο Stirling δίνει τον ορισμό της [11], είναι μια προτίμηση που επηρεάζεται από πληροφορίες σχετικά με τις προτιμήσεις των (καθορισμένων) άλλων. Επίσης αναφέρει ότι κατά τη λήψη αποφάσεων σε ένα κοινωνικό περιβάλλον, είναι φυσικό για ένα άτομο να λαμβάνει υπόψη τις απόψεις των άλλων όταν διαμορφώνει τις απόψεις του. Δηλαδή, τα άτομα μπορούν να επηρεαστούν από τις προτιμήσεις των άλλων για πολλούς λόγους: μπορεί να τους αρέσει (ή να μην τους αρέσει) οι άλλοι που εμπλέκονται, να εκτιμούν τις απόψεις των άλλων ή να έχουν μια υπάρχουσα σχέση με άλλους (οικογενειακή, φιλική ή επαγγελματική) [12].

Ο Hansson [2] επίσης αναφέρει ότι οι άνθρωποι ως επί το πλείστον, εκφράζουν τους προτιμήσεις τους υπό κάποια ή κάποιες συνθήκες. Ένα παράδειγμα που παρουσιάζει είναι: ένα στρογγυλό τραπέζι είναι καλύτερο από ένα τετράγωνο - με αυτό δεν εννοείται ότι ανεξάρτητα από τις άλλες ιδιότητες του, κάθε στρογγυλό τραπέζι είναι καλύτερο από κάθε τετράγωνο τραπέζι. Αντίθετα, εννοείται ότι κάθε στρογγυλό τραπέζι είναι καλύτερο (για το σαλόνι) από οποιοδήποτε τετράγωνο τραπέζι που δεν διαφέρει σημαντικά στα άλλα χαρακτηριστικά του, όπως το ύψος, το είδος του ξύλου, το φινιρίσμα, η τιμή, κλπ. Οι περισσότερες από τις προτιμήσεις που εκφράζουμε ή ενεργούμε, φαίνεται να είναι αυτού του είδους.

Όπως αναφέρει η Ε. Παπαγεωργίου [13], η έννοια της προτίμησης υπό συνθήκη προϋποθέτει ότι οι επιλογές είναι ένα σύνολο από δυαδικά χαρακτηριστικά. Τα χαρακτηριστικά αυτά, είναι ικανά να περιγράψουν όλες τις πιθανές επιλογές που δημιουργούνται κατά τη διαδικασία λήψης μιας απόφασης. Οι προτιμήσεις επιλογών, που περιγράφονται από τα χαρακτηριστικά, σε σχέση άλλων επιλογών γίνεται με βάση τις δηλώσεις των προτιμήσεων υπό συνθήκη.

Στην συνέχεια, σημειώνονται μερικές διευκρινιστικές έννοιες σχετικά με τις προτιμήσεις υπό συνθήκη.

Έστω ότι S όλα τα χαρακτηριστικά μιας επιλογής και A ένα υποσύνολο των χαρακτηριστικών.

Το υποσύνολο A είναι ανεξάρτητα προτιμητέο από το υποσύνολο $B = S - A$ αν για όλες τις μεταβλητές $a_1, a_2 \in \text{dom}(A)$, $b_1, b_2 \in \text{dom}(B)$ ισχύει: $a_1b_1 \geq a_2b_1$ και $a_1b_2 \geq a_1b_2$.

Σε αυτές τις περιπτώσεις σημαίνει ότι η τιμή a_1 προτιμάται από την τιμή a_2 όταν οι τιμές των άλλων μεταβλητών παραμένουν οι ίδιες.

Με a_1b_1 συμβολίζεται μια επιλογή στην οποία το υποσύνολο των χαρακτηριστικών A ισούνται με a_1 και το υποσύνολο των χαρακτηριστικών B ισούται με b_1 . Αντίστοιχα οι a_2b_1 , a_1b_2 και a_2b_2 είναι άλλες διαφορετικές επιλογές.

Έστω ότι S όλα τα χαρακτηριστικά μιας επιλογής και A , B και C τρία υποσύνολα των χαρακτηριστικών.

Το υποσύνολο A είναι ανεξάρτητα προτιμητέο υπό συνθήκη του υποσυνόλου B , όταν το υποσύνολο C έχει την τιμή c , αν για όλες τις μεταβλητές $a_1, a_2 \in \text{dom}(A)$, $b_1, b_2 \in \text{dom}(B)$ ισχύει: $a_1b_1c \geq a_2b_1c$ και $a_1b_2c \geq a_2b_2c$.

Σε αυτές τις περιπτώσεις σημαίνει ότι το A είναι ανεξάρτητα προτιμητέο υπό συνθήκη του B , για οποιαδήποτε ανάθεση τιμών στο C .

2.1.7 Η έννοια του ορθολογισμού στις προτιμήσεις

Η έννοια του ορθολογισμού αναφορικά με τις προτιμήσεις συνοψίζεται ως εξής [16]:

Η σχέση προτίμησης $\succsim$ είναι ορθολογική εάν είναι πλήρης και μεταβατική.

Αυτό σημαίνει ότι με κάθε δύο εναλλακτικές λύσεις, το άτομο μπορεί να καθορίσει αν μια από αυτές του αρέσει τουλάχιστον όσο και κάποια άλλη (πληρότητα) και καμία ακολουθία επιλογών ανά ζεύγη δεν καταλήγει σε κύκλο (μεταβατικότητα).

2.2 Αναπαράσταση Προτιμήσεων

Όπως προαναφέρθηκε, οι προτιμήσεις έχουν παραδοσιακά μελετηθεί στη φιλοσοφία, την ψυχολογία και την οικονομία και έχουν εφαρμοστεί σε προβλήματα λήψης αποφάσεων. Καθοδηγούν την ανθρώπινη λήψη αποφάσεων από την πρώιμη παιδική ηλικία (π.χ. "ποιο παιχνίδι προτιμούμε;") μέχρι πολύπλοκες επαγγελματικές και οργανωτικές αποφάσεις (π.χ. "ποια επενδυτικά κεφάλαια θα επιλέξουμε;"). Οι προτιμήσεις μας μπορούν να είναι πολλών και διαφορετικών ειδών όπως επίσης μπορούμε να έχουμε και συνδυασμούς διαφορετικών προτιμήσεων.

Οι προτιμήσεις μας, εξ' ορισμού, δεν είναι δυνατόν να εκφράζονται με απόλυτο τρόπο, καθώς σε αυτή την περίπτωση θα εκφυλίζονταν σε αυστηρούς περιορισμούς. Αποτελούν ένα μέτρο σύγκρισης και αν και τα διαφορετικά συστήματα αναπαράστασης προτιμήσεων έχουν επικεντρωθεί σε διαφορετικές πτυχές ανάλογα με το είδος του εκάστοτε προβλήματος ο κύριος άξονας γύρω από τον οποίο κινούνται είναι το αν η σύγκριση αυτή θα είναι *ποιοτική* ή *ποσοτική*. Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι προσεγγίσεις σύγκρισης και αναπαράστασης των προτιμήσεων.

2.2.1 Ποιοτική και Ποσοτική προσέγγιση

Η *ποιοτική προσέγγιση* [21] [22] [23], εκφράζει τις προτιμήσεις συγκρίνοντας τα στοιχεία, για παράδειγμα ("μου αρέσουν οι ταινίες δράσης καλύτερα από τις ρομαντικές ταινίες"), δηλαδή οι προτιμήσεις αντιμετωπίζονται ως δυαδικές σχέσεις.

Δεδομένης μιας τέτοιας σχέσης, ένα αντικείμενο α είναι προτιμότερο ενός αντικειμένου β , εάν το α προηγείται του β με βάση τη σχέση αυτή.

Βέβαια, η αποτίμηση όλων των επαγόμενων προτιμήσεων, αλλά και η αναζήτηση των σχετικών με ένα δοθέν ερώτημα δεν είναι εύκολη, καθώς η εκφραστικότητα μιας τέτοιας προσέγγισης είναι απεριόριστη. Μάλιστα, το πρόβλημα της πλήρους επαγόμενης γνώσης χρησιμοποιώντας κανόνες λογικής είναι NP-complete πρόβλημα [26]. Βελτιώσεις στην πολυπλοκότητα μπορεί να γίνουν περιορίζοντας την εκφραστικότητα των προτιμήσεων, ενώ εναλλακτικά μπορεί να γίνει προσέγγιση του προβλήματος με μη ντετερμινιστικό τρόπο.

Η *ποσοτική προσέγγιση* [18] [24], είναι εκείνη όπου μια συγκεκριμένη προτίμηση για ένα στοιχείο εκφράζεται ως βαθμός ενδιαφέροντος για αυτό το στοιχείο ("το ενδιαφέρον μου σε ταινίες δράσης είναι 0,9 και σε ρομαντικές ταινίες 0,3"), δηλαδή οι προτιμήσεις καθορίζονται μέσω αντίστοιχων συναρτήσεων βαθμολόγησης (scoring functions) οι οποίες αποδίδουν έναν αριθμό - βαθμό σε κάθε στοιχείο ενός συνόλου.

Δεδομένης μιας τέτοιας συνάρτησης, ένα αντικείμενο α είναι προτιμότερο ενός αντικειμένου β εάν ο βαθμός του α είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο βαθμό του β .

Αυτή η προσέγγιση καθιστά συχνά εύκολη τη σύγκριση αντικειμένων που έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό και τα υπόλοιπα διαφορετικά.

Οι ποιοτικές προσεγγίσεις είναι πιο εκφραστικές από τις ποσοτικές [25] διότι, ενώ μπορούμε να αναπαραστήσουμε οποιαδήποτε συνάρτηση βαθμολόγησης μέσω μιας αντίστοιχης δυαδικής σχέσης προτίμησης (θέτοντας μέσω της σχέσης αυτής ότι ένα αντικείμενο α προηγείται ενός αντικειμένου β εάν ο βαθμός του α με βάση τη συνάρτηση βαθμολόγησης είναι μεγαλύτερος από τον ομόλογο βαθμό του β), δεν είναι πάντοτε δυνατό κάθε σχέση προτίμησης να αναπαρασταθεί από μια συνάρτηση βαθμολόγησης.

Οι ποσοτικές προσεγγίσεις έχουν όμως δύο διαφορετικά πλεονεκτήματα. Το πρώτο είναι η ευκολία στην αποτίμηση των βαθμολογιών, οι οποίες έχουν πολύ μικρό κόστος υλοποίησης και δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Το δεύτερο είναι πως δε δίνουν απλά μια εποπτική εικόνα του ποια επιλογή είναι προτιμότερη αλλά και κατά πόσο είναι προτιμότερη. Δεν υπάρχει λοιπόν ένας σαφώς καλύτερος τρόπος προσέγγισης, αλλά το κάθε σύστημα αναπαράστασης που θα αξιοποιήσει μια τέτοια προσέγγιση πρέπει να εξετάζει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που το επηρεάζουν.

2.2.2 Θεωρία Χρησιμότητας και Συναρτήσεις Χρησιμότητας

Η έννοια της χρησιμότητας χρησιμοποιείται συχνά στη μικροοικονομία και αναφέρεται στο επίπεδο ικανοποίησης που απολαμβάνει κάποιος για μια επιλογή του σαν αποτέλεσμα της πράξης που συνεπάγεται η επιλογή του αυτή. Η θεωρία της χρησιμότητας έχει ευρύ πεδίο εφαρμογών. Μπορεί να εφαρμοστεί σε αποφάσεις τυχερών παιγνίων, όπου κάθε επιλογή συνοδεύεται από ανάλογο κίνδυνο, σε αποφάσεις που οδηγούν στην άριστη (μεγιστοποιητική) συμπεριφορά του καταναλωτή, ο οποίος έχει δεδομένο εισόδημα και δεδομένες τις τιμές των αγαθών, σε αποφάσεις κυβερνητικής πολιτικής κατανομής δαπανών υπό το περιορισμό του κρατικού προϋπολογισμού, ως και σε θέματα κοινωνικής χρησιμότητας (οικονομική της ευημερίας).

Ο Daniel Bernoulli εισήγαγε την έννοια της *αναμενόμενης χρησιμότητας* [42], που χρησίμευσε σαν βάση στη θεωρία “*zero sum two players game*” που ανέπτυξαν οι John von Neumann και Oscar Morgenstern το 1944 [43]. Η θεωρία της Αναμενόμενης

Χρησιμότητας (expected utility theory) κυριάρχησε ως περιγραφικό υπόδειγμα οικονομικής συμπεριφοράς και του τρόπου με τον οποίο τα άτομα παίρνουν αποφάσεις υπό συνθήκες αβεβαιότητας [44].

Ιδιαίτερα, η έννοια της «αναμενόμενης χρησιμότητας» έγινε γνωστή μέσα από τα έργα του John von Neumann, οπότε η κατάταξη των προτιμήσεων με την αντίστοιχη χρησιμότητα, συνδυάστηκε με τη θεωρία των πιθανοτήτων. Δεν αρκούμαστε πλέον να ταξινομούμε και να ιεραρχούμε τις προσδοκώμενες χρησιμότητες. Ο Neumann «εισήγαγε» και το ερώτημα «με ποια πιθανότητα» ταξινομείται η «προσδοκία χρησιμότητας». Οι προτιμήσεις δηλαδή είναι κάτι παραπάνω από μια σειρά διάταξης, είναι μια κατανομή πιθανοτήτων ανάμεσα στα διάφορα ενδεχόμενα.

Οι συναρτήσεις χρησιμότητας περιγράφουν τη σειρά προτίμησης ανάμεσα στις εναλλακτικές επιλογές που έχει για παράδειγμα κάποιος άνθρωπος και στα διάφορα αποτελέσματα που προκύπτουν από την επιλογή τους. Βασικό στοιχείο της θεώρησης αυτής είναι ότι αυτός ο άνθρωπος είναι λογικός στις προτιμήσεις του, δηλαδή πως έχει συγκεκριμένες προτιμήσεις και πως πάντα επιλέγει σύμφωνα με τις προτιμήσεις του. Αυτή η θεωρητική παραδοχή αποδίδεται τεχνικά με μια σειρά προτιμήσεων, εφόσον μόνο έτσι μπορεί να επιτευχθεί ανάλυση και να εξαχθούν συμπεράσματα για τον τρόπο με τον οποίο ικανοποιείται και τις επιλογές που τον κάνουν να καταλήξει εκεί.

Μια συνάρτηση χρησιμότητας που περιγράφει ένα συγκεκριμένο σύνολο σχέσεων προτιμήσεως δεν είναι μοναδική. Κάθε συνάρτηση που τοποθετεί τα στοιχεία επιλογών στην επιθυμητή σειρά, είναι υποψήφια για συνάρτηση χρησιμότητας. Συνεπώς, πρώτα πρέπει να γίνει αναγνώριση στις σχέσεις προτιμήσεων σε κάποιο πρόβλημα και έπειτα η περιγραφή μιας συνάρτησης χρησιμότητας που ικανοποιεί την εκάστοτε δομή. Στην συνέχεια προσεγγίζεται ο μαθηματικός φορμαλισμός για την συνάρτηση χρησιμότητας.

Έστω ένα σύνολο εναλλακτικών επιλογών X . Μια συνάρτηση χρησιμότητας $u(x)$ εκχωρεί μια αριθμητική τιμή στο $x \in X$, έτσι ώστε να διατηρείται η σειρά ταξινόμησης αυτών των εναλλακτικών επιλογών. Πιο τυπικά, ακολουθεί ο παρακάτω ορισμός [45]:

Μία συνάρτηση $u : X \rightarrow \mathbb{R}$ είναι μια συνάρτηση χρησιμότητας που αντιπροσωπεύει σχέση προτιμήσεων $\succsim$ αν ισχύει το εξής για όλα τα $x, y \in X : x \succsim y \Leftrightarrow u(x) \geq u(y)$.

Υπάρχουν πολλές λειτουργίες χρησιμότητας που μπορούν να αντιπροσωπεύουν την ίδια σχέση προτιμήσεων. Σημείωση ότι οι προτιμήσεις είναι κανονικές, δηλαδή, καθορίζουν την κατάταξη των εναλλακτικών επιλογών, αλλά όχι πόσο απέχουν μεταξύ τους (ένταση). Οι *ιδιότητες cardinal* είναι αυτές που δεν διατηρούνται υπό αυστηρά αυξανόμενους μετασχηματισμούς.

Για παράδειγμα, επειδή η συνάρτηση εκχωρεί αριθμητικές τιμές σε διάφορες εναλλακτικές επιλογές, το μέγεθος τυχόν διαφορών στην χρησιμότητα μεταξύ δύο εναλλακτικών επιλογών είναι *cardinal*. Χρησιμοποιούμε τη συνάρτηση χρησιμότητας επειδή αντί να εξετάσουμε τις συνθήκες υπό τις οποίες οι σχέσεις προτίμησης παράγουν τα μέγιστα στοιχεία για μια σειρά εναλλακτικών επιλογών, είναι ευκολότερο να προσδιοριστεί η αριθμητική αναπαράσταση και στη συνέχεια να εφαρμόσουμε τυπικές τεχνικές βελτιστοποίησης για την εύρεση της μέγιστης. Έτσι, οι "καλύτερες" επιλογές από το σύνολο X είναι ακριβώς οι επιλογές που έχουν την μέγιστη χρησιμότητα.

Αν θέλουμε να γνωρίζουμε πότε μια δεδομένη σειρά προτιμήσεων μπορεί να αποτυπωθεί ως μια αριθμητική αναπαράσταση, το αποτέλεσμα συνδέεται στενά με τον ορθολογισμό [45].

Μια σχέση προτίμησης $\succsim$ μπορεί να αναπαρασταθεί από μια συνάρτηση χρησιμότητας μόνο αν είναι λογική.

Για την απόδειξη αυτής την πρότασης, πρέπει να δείξουμε ότι ο ορθολογισμός είναι απαραίτητη προϋπόθεση για αναπαραστασιμότητα. Με άλλα λόγια, αν υπάρχει μια συνάρτηση χρησιμότητας που αντιπροσωπεύει την προτίμηση $\succsim$, τότε το $\succsim$ πρέπει να είναι *πλήρες και μεταβατικό*. Για την απόδειξη αυτής της πρότασης, θεωρούμε ότι το u $\square$ αντιπροσωπεύει το $\succsim$, τότε:

- *Πληρότητα*: Επειδή το u $(\cdot)$ είναι μια συνάρτηση πραγματικής αποτίμησης που ορίζεται στο X ,

για κάθε $x, y \in X$, είτε $u(x) \geq u(y)$ ή $u(y) \geq u(x)$.

Επειδή η $\square$ είναι μια συνάρτηση χρησιμότητας που αντιπροσωπεύει τη σχέση $\succsim$, αυτό σημαίνει ότι είτε $x \succsim y$ είτε $y \succsim x$. Ως εκ τούτου, $\succsim$ πρέπει να είναι πλήρης.

- *Μεταβατικότητα*: Ας υποθέσουμε ότι $x \succsim y$ και $y \succsim z$. Επειδή το u $\square$ αντιπροσωπεύει το $\succsim$,

έχουμε $u(x) \geq u(y)$ και $u(y) \geq u(z)$. Επομένως, $u(x) \geq u(z)$, που με τη σειρά του συνεπάγεται $x \succsim z$.

Μπορεί κανείς να αναρωτηθεί εάν οποιαδήποτε ορθολογική κατάταξη $\succsim$ μπορεί να εκπροσωπηθεί από κάποια συνάρτηση χρησιμότητας. Σε γενικές γραμμές, η απάντηση είναι όχι. Ωστόσο, εάν το X είναι πεπερασμένο, τότε μπορούμε πάντα να το αντιπροσωπεύουμε με μια διάταξη ορθολογικής προτίμησης και συνεπώς με μια συνάρτηση χρησιμότητας. Η ακόλουθη πρόταση συνοψίζει την παράγραφο αυτή:

Αν το σύνολο X στο οποίο ορίζεται το $>$ είναι πεπερασμένο, τότε το $>$ αποδέχεται μια αριθμητική αναπαράσταση, εάν και μόνο εάν είναι ασύμμετρο και αρνητικά μεταβατικό.

Πρέπει να δείξουμε την αναγκαιότητα: το $>$ αποδέχεται μια αριθμητική αναπαράσταση μόνο εάν είναι ασύμμετρο και αρνητικά μεταβατικό. και την επάρκεια: αν το $>$ είναι ασύμμετρο και αρνητικά μεταβατικό και το X είναι πεπερασμένο, τότε το $>$ αποδέχεται μια αριθμητική αναπαράσταση.

Ήδη αποδείξαμε την αναγκαιότητα για το $\succsim$, έτσι αυτό το βήμα είναι ανάλογο και δεν απαιτεί περιορισμό, εφόσον το X είναι πεπερασμένο. Για την απόδειξη της επάρκειας, αρκεί να εξεταστούν οι προτιμήσεις σχετικά με οποιεσδήποτε δύο εναλλακτικές επιλογές, και στην συνέχεια να γενικευτεί, το οποίο μπορεί να επιτευχθεί επειδή το X είναι πεπερασμένο. Έτσι, δεδομένης μιας ορθολογικής προτίμησης με ένα πεπερασμένο σύνολο εναλλακτικών επιλογών στο οποίο μπορεί να γίνει διάταξη, μπορεί να βρεθεί πάντα μια συνάρτηση χρησιμότητας έτσι ώστε να αντιπροσωπεύει αυτήν την διάταξη. Εναλλακτικά, αν μια συνάρτηση χρησιμότητας αντιπροσωπεύει μια διάταξη εναλλακτικών επιλογών μιας προτίμησης, τότε αυτή η διάταξη πρέπει να είναι ορθολογική.

Ολοκληρώνοντας το υποκεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά σε ακόμη δύο έννοιες. Την έννοια της *απόλυτης* δηλαδή της *μετρήσιμης χρησιμότητας* [47], η οποία αναφέρεται στη χρησιμότητα σαν ένα μέγεθος το οποίο μπορεί να μετρηθεί, για παράδειγμα, ένα μήλο έχει τόση χρησιμότητα μετρούμενη σε κάποια φανταστική μονάδα που να είναι απόλυτη για όλους τους ανθρώπους και επομένως δεν μπορεί να συγκριθεί μεταξύ 2 διαφορετικών προσώπων (interpersonal utility, διαπροσωπική χρησιμότητα). Η άποψη αυτή υποστηρίχθηκε από τη Σχολή των Ωφελιμιστών (Utilitarianism) και

ιδιαίτερα από τον Jeremy Bentham [46] πλην όμως συγκέντρωσε τα πυρά όλων των τότε "τάξεων".

Τέλος, η έννοια της *διατακτικής, δηλαδή ταξινομικής χρησιμότητας* [48], αφορά τη κατάταξη, ταξινόμηση των "προτιμήσεων" ενός και μόνον προσώπου σε μια φανταστική κλίμακα, η οποία του δίνει τον "αντίστοιχο" βαθμό ωφέλειας ή χρησιμότητας. Με απλά λόγια, η "ωφέλεια" είναι μια καθαρά προσωπική υπόθεση. Για παράδειγμα, ένα πορτοκάλι μπορεί να είναι ψηλά στις προτιμήσεις ενός ανθρώπου, όμως το ίδιο να είναι τελευταίο στις προτιμήσεις ενός άλλου ανθρώπου που δεν προτιμά τα πορτοκάλια γενικότερα.

2.2.3 Πλαίσιο Περιγραφής Πόρων (RDF)

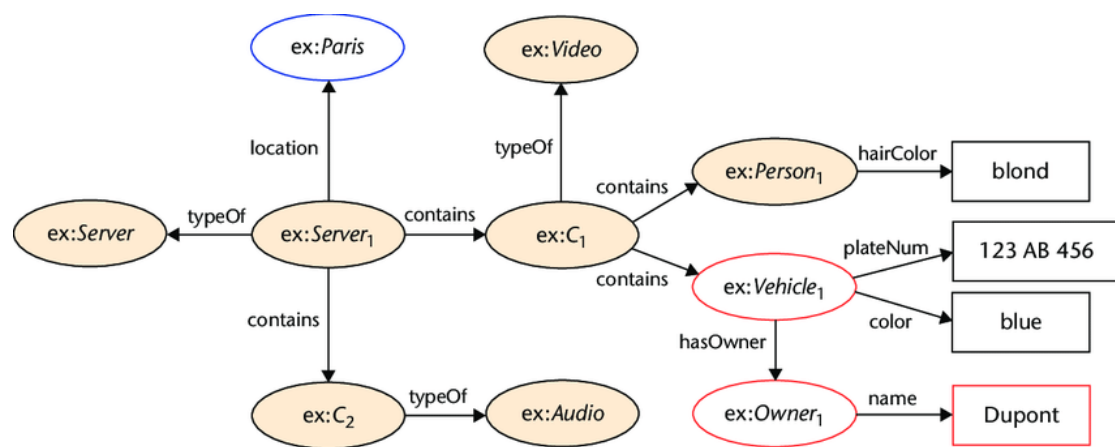
Το *Πλαίσιο Περιγραφής Πόρων* (Resource Description Framework ή RDF) [27] είναι μια γλώσσα για την περιγραφή, ανταλλαγή και επεξεργασία μεταδεδομένων στον παγκόσμιο ιστό, η οποία ικανοποιεί ανάγκες πολλών και διάφορων εφαρμογών, όπως για παράδειγμα, η ανακάλυψη πόρων, η καταλογοποίηση δεδομένων και η περιγραφή νοημόνων πρακτόρων λογισμικού. Το μοντέλο δεδομένων του RDF (RDF Data Model) [27] είναι ένα μοντέλο που περιγράφει του πόρους και τις σχέσεις μεταξύ τους του παγκόσμιου ιστού και είναι ανεξάρτητο από τα πεδία ενδιαφέροντος (domain independent) των εκάστοτε εφαρμογών του.

Το μοντέλο αυτό χαρακτηρίζεται από τους παρακάτω τύπους δεδομένων:

Πόροι (RDF Resources): Κάθε τι που περιγράφεται από εκφράσεις σε RDF αναφέρεται ως πόρος. Ένας πόρος μπορεί να προσπελαστεί από τον ιστό άμεσα, όπως για παράδειγμα μια ηλεκτρονική ιστοσελίδα, ή έμμεσα, όπως για παράδειγμα ένα τυπωμένο βιβλίο. Ο κάθε πόρος χαρακτηρίζεται με ένα μοναδικό και συγκεκριμένο *καθολικό αναγνωριστικό πόρου* (URI - Uniform Resource Identifier) [28].

Ιδιότητες (RDF Properties): Μια ιδιότητα αποτελεί μια ειδική περίπτωση πόρου, δηλαδή είναι ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό, ένα γνώρισμα, ή μια σχέση που χρησιμοποιείται για να περιγράψει έναν πόρο. Μια ιδιότητα έχει πάντα μια συγκεκριμένη σημασία και παράλληλα ορίζει τις επιτρεπτές τιμές της, τους τύπους των πόρων που περιγράφει καθώς και πιθανές σχέσεις της με άλλες ιδιότητες.

Δηλώσεις (RDF Statements): Μια δήλωση χαρακτηρίζεται από α) έναν συγκεκριμένο πόρο (υποκείμενο) μαζί με β) το όνομα της ιδιότητας του (κατηγορήμα) καθώς και γ) την τιμή της ιδιότητας αυτής (αντικείμενο) για τον συγκεκριμένο πόρο. Το αντικείμενο μιας δήλωσης μπορεί να είναι ένας πόρος ή μια λεκτική σταθερά, δηλαδή ένα απλό αλφαριθμητικό, ή στιγμιότυπο κάποιου βασικού τύπου δεδομένων, όπως για παράδειγμα ένας ακέραιος, ή δεκαδικός αριθμός, μια ημερομηνία κλπ. Κάθε δήλωση χαρακτηρίζεται αποκλειστικά και μοναδικά από τα προαναφερόμενα αυτά τρία μέρη.



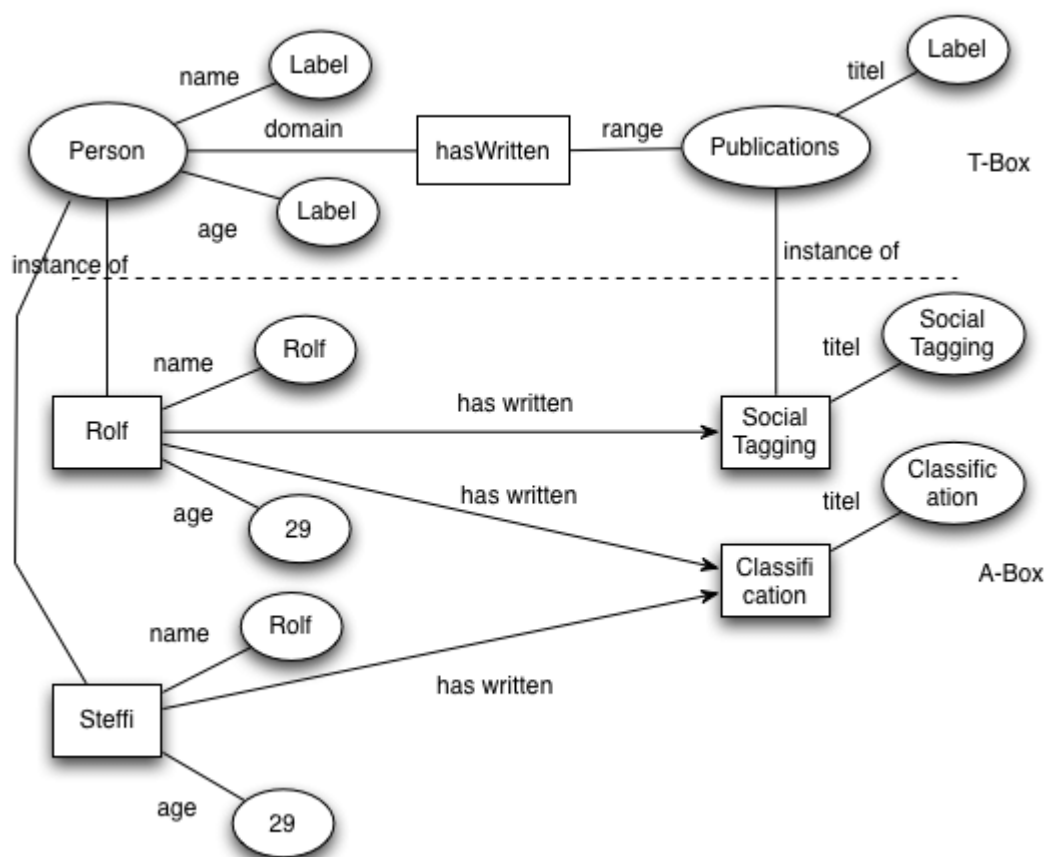
Σχήμα 1: Πλαίσιο Περιγραφής Πόρων (Resource Description Framework)

Επίσης, το RDF πλαίσιο ορίζει κατάλληλα λεξιλόγια για τη δημιουργία κοινώς αποδεκτών περιγραφών πόρων (Resource Descriptions) για την επεξεργασία και ανταλλαγή RDF μεταδεδομένων μεταξύ των χρηστών του παγκόσμιου ιστού. Τα λεξιλόγια αυτά αφορούν επεκτάσεις του RDF μοντέλου δεδομένων και ονομάζονται RDF Σχήματα (RDF Schemes ή RDF/S) [29].

Τα RDF σχήματα απαρτίζονται από:

Κλάσεις: Ως κλάσεις εννοούνται τα είδη των αντικειμένων που περιγράφονται σε ένα RDF σχήμα. Η έννοια αυτή είναι αντίστοιχη με την έννοια των κλάσεων στις γλώσσες του αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού, όπως για παράδειγμα στην C++, Python ή Java. Οι κλάσεις χρησιμοποιούνται για την περιγραφή οποιουδήποτε τύπου ή κατηγορίας αντικειμένων του κόσμου μας, όπως είναι οι άνθρωποι, οι ηλεκτρονικές ιστοσελίδες αλλά επίσης και οι αφαιρετικές έννοιες. Εκείνοι οι πόροι ενός RDF

σχήματος που ανήκουν σε μια συγκεκριμένη κλάση ονομάζονται και στιγμιότυπα της κλάσης αυτής.



Σχήμα 2: RDF/S με δύο στιγμιότυπα

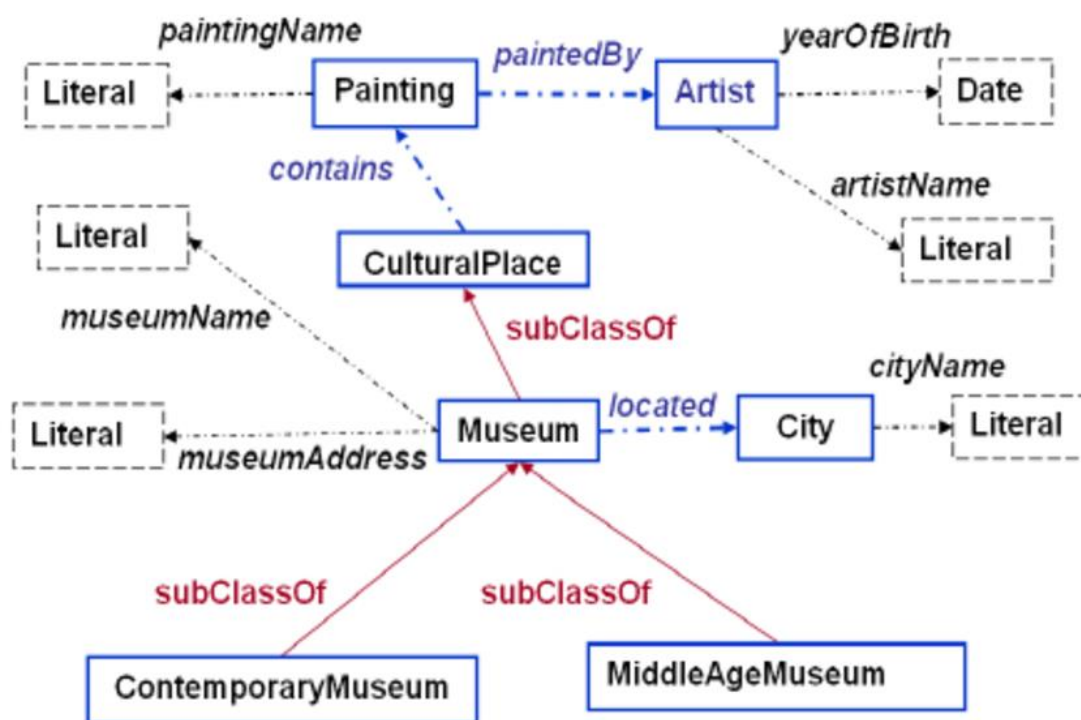
Τύπους Λεκτικών Σταθερών: Όπως ήδη προαναφέρθηκε, οι τύποι λεκτικών σταθερών, αποτελούν βασικούς τύπους δεδομένων, για παράδειγμα ένας ακέραιος, ή δεκαδικός αριθμός, μια ημερομηνία, ένα αλφαριθμητικό κλπ.

Ιδιότητες των κλάσεων: Σε ένα RDF σχήμα, οι ιδιότητες των κλάσεων περιγράφουν σαφώς ορισμένα χαρακτηριστικά τους. Μια ιδιότητα περιγράφεται από α) το πεδίο ορισμού, δηλαδή την κλάση του σχήματος που περιγράφει η ιδιότητα αυτή και από β) το πεδίο τιμών στο οποίο ανήκουν οι πιθανές τιμές της, και το οποίο μπορεί να αποτελεί μια κλάση του σχήματος ή ένας τύπος λεκτικών σταθερών.

Ιεραρχίες μεταξύ κλάσεων ή και ιδιοτήτων: σε ένα σχήμα και με βάση συγκεκριμένων ιδιοτήτων που παρέχει το RDF, μπορεί να αποτυπωθεί η έκφραση, ότι μια κλάση είναι υποκλάση μιας άλλης κλάσης, όπως επίσης και ότι μια ιδιότητα είναι υπο-ιδιότητα μιας άλλης ιδιότητας στο ίδιο σχήμα. Έτσι, αποτυπώνονται σχέσεις μεταξύ κλάσεων

και ιδιοτήτων, οι οποίες και ορίζουν αντίστοιχες ιεραρχίες στο σχήμα αυτό. Οι υποκλάσεις μιας κλάσης ενός σχήματος κληρονομούν τη συμπεριφορά της, για παράδειγμα τις ιδιότητες της.

Σε μια γραφική αναπαράσταση ενός RDF, οι κλάσεις ενός σχήματος αναπαρίστανται ως ελλειπτικοί κόμβοι με ετικέτα το αντίστοιχο όνομα τους, και οι τύποι λεκτικών σταθερών αναπαρίστανται ως ορθογώνιοι κόμβοι με ετικέτα τον αντίστοιχο τύπο τους. Παράλληλα, οι ιδιότητες αναπαρίστανται στο σχήμα ως ακμές με ετικέτα το όνομα τους, με αφετηρίες τους αντίστοιχους κόμβους που αποτελούν το πεδίο ορισμού τους και κόμβους λήξης τους τις κλάσεις ή τους τύπους λεκτικών σταθερών που αποτελούν το πεδίο τιμών τους. Οι σχέσεις ιεραρχίας σε ένα σχήμα μεταξύ των κλάσεων αναπαρίστανται ως πλατιά βέλη ενώ μεταξύ των ιδιοτήτων, ως διακεκομμένα βέλη αντίστοιχα.



Σχήμα 3: Ενδεικτικό RDF/S με θέμα μουσεία και καλλιτέχνες

Η φύση των προτιμήσεων που μπορεί να εκφραστεί μέσω της αναπαράστασης της πληροφορίας με βάση το RDF Μοντέλο Δεδομένων μπορεί να ποικίλει, αναλόγως την ίδια την πληροφορία που φέρει η εκάστοτε προτίμηση, αλλά και από τη δομή της πληροφορίας που θα χρησιμοποιηθεί στην ανάλογη διάταξη. Το συνολικό εύρος των

διαφορετικών ειδών προτιμήσεων που μπορούν να αποτυπωθούν σε ένα RDF σχήμα, φιλτράρεται στις παρακάτω τρεις ομάδες [30]:

α) Προτιμήσεις πάνω στους πόρους ως στιγμιότυπα μιας συγκεκριμένης κλάσης ενός σχήματος, με βάση τις τιμές τους μέσω των ιδιοτήτων (properties) που χαρακτηρίζουν την κλάση αυτή. Σε ένα στιγμιότυπο του προηγούμενου σχήματος, ένα παράδειγμα μιας τέτοιας προτίμησης θα μπορούσε να είναι: “Από τα μέρη που εκθέτουν καλλιτέχνες ζωγράφους και έργα τους, προτιμώ περισσότερο τα μουσεία και ιδιαίτερα αυτά που βρίσκονται στο Παρίσι.”

β) Προτιμήσεις πάνω σε μονοπάτια ίδιου μήκους ενός στιγμιότυπου σε ένα σχήμα, τα οποία χαρακτηρίζονται από την ίδια ακολουθία ιδιοτήτων, με βάση τους πόρους που περιέχουν, καθώς και τις τιμές των πόρων αυτών μέσω των ιδιοτήτων. Σε ένα στιγμιότυπο του προηγούμενου σχήματος, ένα παράδειγμα μιας τέτοιας προτίμησης θα μπορούσε να είναι: “Από τα μονοπάτια painting → <painted by> artist → <year of birth> date τους, προτιμώ περισσότερο εκείνων των καλλιτεχνών που έχουν γεννηθεί την περίοδο της Αναγέννησης θεωρώντας σημαντικότερα τα έργα του Λεονάρντο ντα Βίντσι.”

γ) Προτιμήσεις που σχετίζονται με την κατηγοριοποίηση των πόρων-κόμβων ενός στιγμιότυπου σε ένα σχήμα, στις κλάσεις του σχήματος μέσω της ιδιότητας typeOf, με βάση τις σχέσεις ιεραρχίας μεταξύ των κλάσεων που μπορεί να υπάρχουν στο σχήμα αυτό. Σε ένα στιγμιότυπο του προηγούμενου σχήματος, ένα παράδειγμα μιας τέτοιας προτίμησης θα μπορούσε να είναι: “Από τα έργα ζωγραφικής, προτιμώ περισσότερο εκείνα που εκθέτονται σε μουσεία του Μεσαίωνα.”

2.2.4 Αναπαράσταση προτιμήσεων σε Βάσεις Δεδομένων

Στις βάσεις δεδομένων, το ενδιαφέρον για τις προτιμήσεις προκλήθηκε με την παρατήρηση των περιορισμών στο μοντέλο *Boolean απαντήσεων* (*Boolean database answer model*) [31] [32], όπου τα κριτήρια ενός ερωτήματος (query) θεωρούνται “απόλυτα” από προεπιλογή και μια απάντηση επιστρέφεται μόνο εάν ικανοποιεί όλα τα κριτήρια του ερωτήματος, ειδάλλως επιστρέφεται μια κενή απάντηση.

Σε ένα τέτοιο πλαίσιο, ένας χρήστης μπορεί να έρθει αντιμέτωπος με ένα από εξής προβλήματα: α) το πρόβλημα της κενής απάντησης, όπου οι συνθήκες του ερωτήματος είναι υπερβολικά περιοριστικές ή τα δεδομένα δεν μπορούν να

ταιριάζουν ακριβώς στο ερώτημα ή β) το πρόβλημα των πολλών απαντήσεων, όπου ταιριάζουν πολλά αποτελέσματα στο ερώτημα. Είναι δύσκολο να αντιμετωπιστούν αυτά τα προβλήματα, ιδιαίτερα αν ο χρήστης δεν είναι εξοικειωμένος με μια δομημένη γλώσσα σύνταξης ερωτημάτων (queries) για να διατυπώσει ακριβή ερωτήματα και ακόμη περισσότερο, όταν γίνεται πρόσβαση δεδομένων σε βάσεις δεδομένων του παγκόσμιου ιστού, των οποίων η μορφή και το περιεχόμενο είναι άγνωστα.

Η ενσωμάτωση *χαλαρών κριτηρίων* ή προτιμήσεων σε ένα ερώτημα, μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων. Το πρόβλημα της κενής απάντησης, μπορεί να αντιμετωπιστεί με τη χαλάρωση μερικών από τις αυστηρούς περιορισμούς στο ερώτημα, δηλαδή θεωρώντας τους ως χαλαρούς ή αντικαθιστώντας τους με περιορισμούς που καταγράφουν τις προτιμήσεις που σχετίζονται με το δεδομένο ερώτημα. Στην συνέχεια, τα αποτελέσματα που επιστρέφονται ταξινομούνται ανάλογα με το πόσο καλά ταιριάζουν με αυτό το τροποποιημένο ερώτημα. Το πρόβλημα των πάρα πολλών απαντήσεων, μπορεί να αντιμετωπιστεί με την ενίσχυση του ερωτήματος, δηλαδή με πρόσθετες προτιμήσεις για την κατάταξη και ενδεχομένως την εστίαση των αποτελεσμάτων του ερωτήματος.

Η μελέτη των ερωτημάτων προτιμήσεων σε βάσεις δεδομένων, ξεκίνησε με τους Lacroix και Lavency [33], οι οποίοι πρότειναν μια απλή επέκταση του σχεσιακού λογισμού, στην οποία μπορούν να εκφραστούν προτιμήσεις σε πλειάδες που ικανοποιούν δεδομένες λογικές συνθήκες. Για παράδειγμα, κάποιος χρήστης μπορεί να ορίσει: “επέλεξε τις πλειάδες του R που ικανοποιούν $Q \wedge P_1 \wedge P_2$. Αν το αποτέλεσμα είναι άδειο, επέλεξε τις πλειάδες που ικανοποιούν $Q \wedge P_1 \wedge \neg P_2$. Αν το αποτέλεσμα είναι άδειο, επέλεξε τις πλειάδες που ικανοποιούν $Q \wedge \neg P_1 \wedge P_2$ ”.

Οι Gaasterland και Lobo [34] εισήγαγαν έναν απλό φορμαλισμό, όπου ο χρήστης παρέχει ένα πλέγμα τιμών, με ανεξάρτητα πεδία ορισμού, που ορίζουν τις προτιμήσεις και ένα σύνολο περιορισμών για συγκεκριμένους τομείς που είναι κατάλληλοι με αυτές τις τιμές. Οι περιορισμοί ενσωματώνονται αυτόματα σε μια σχεσιακή ή επαγωγική βάση δεδομένων, μέσω μιας σειράς συντακτικών μετασχηματισμών, που παράγει μια *σχολιασμένη επαγωγική βάση δεδομένων (annotated deductive database)*. Στη συνέχεια και με ελάχιστες τροποποιήσεις, χρησιμοποιούνται διαδικασίες απάντησης ερωτημάτων για τέτοιες βάσεις

δεδομένων, ώστε να ληφθούν σχολιασμένες απαντήσεις σε ερωτήματα. Μετά από αυτό, σχεδόν μια δεκαετία αργότερα, ο παγκόσμιος ιστός έχει κάνει τις πληροφορίες ευκολότερα προσβάσιμες από πριν και ανανεώνεται εκ νέου το ενδιαφέρον για τις προτιμήσεις, ώστε να καταστούν οι βάσεις δεδομένων στον ιστό, πιο φιλικές προς τον χρήστη.

Οι προσεγγίσεις εκπροσώπησης προτιμήσεων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες διαστάσεις [35]: α) *Σύνθεση*: Οι προτιμήσεις διατυπώνονται ποιοτικά ή ποσοτικά. β) *Διακριτότητα*: Οι προτιμήσεις μπορούν να εκφράζονται σε διαφορετικά επίπεδα, δηλαδή για πλειάδες, σχέσεις, σχέσεις και ιδιότητες. γ) *Πλαίσιο*: Οι προτιμήσεις μπορούν να είναι ελεύθερες από το περιβάλλον ή μπορούν να διατηρηθούν υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Δ) *Πτυχές*: Οι προτιμήσεις μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με την ένταση, την ελαστικότητα, την πολυπλοκότητα τους και άλλες πτυχές.

Με δεδομένο ένα σύνολο προτιμήσεων προς ένα σύνολο πλειάδων, μπορούν να εφαρμοστούν διαφορετικοί μηχανισμοί σύνθεσης προτιμήσεων [35], για να συμπεράνουμε προτιμήσεις (για παράδειγμα: σιωπηρές προτιμήσεις), να συνδυάσουμε προτιμήσεις (για παράδειγμα: συνδυάζοντας τις λειτουργίες βαθμολόγησης) ή να παρακάμψουμε προτιμήσεις (για παράδειγμα: δομή προτεραιότητας προτιμήσεων) και τέλος, να αποκομίσουμε μια κατάταξη των πλειάδων με βάση το πώς ταιριάζουν με αυτές τις προτιμήσεις.

Οι μηχανισμοί σύνθεσης των προτιμήσεων μπορούν να διακριθούν στις ακόλουθες κατηγορίες: α) *Ποιοτική σύνθεση*: Αυτοί οι μηχανισμοί συνδυάζουν προτιμήσεις που οδηγούν σε σχετική (π.χ. ποιοτική) διάταξη των πλειάδων. β) *Ποσοτική σύνθεση*: Αυτοί οι μηχανισμοί συνδυάζουν προτιμήσεις με την ανάθεση τελικών βαθμολογιών στις πλειάδες, οι οποίες έτσι ταξινομούνται ποσοτικά. γ) *Ετερογενής σύνθεση*: Αυτοί οι μηχανισμοί χρησιμοποιούνται για να συνδυάσουν τις προτιμήσεις διαφορετικών λεπτομερειών τους, για παράδειγμα, προτιμήσεις για σχέσεις μεταξύ πλειάδων με προτιμήσεις για χαρακτηριστικά πλειάδων.

Οι προτιμήσεις χρησιμοποιούνται επίσης στην επεξεργασία ερωτημάτων για να παρέχουν στους χρήστες προσαρμοσμένα αποτελέσματα, συνήθως μέσω κατάταξης. Υπάρχουν χονδρικά δύο διαφορετικές μέθοδοι εκμετάλλευσης των προτιμήσεων κατά την επεξεργασία ερωτημάτων[35]: α) *Μέσω διεύρυνσης ερωτημάτων βάσης δεδομένων*: αυτές οι μέθοδοι υποθέτουν την ύπαρξη αριθμού στις προτιμήσεις των

χρηστών και επαναδημιουργούν κατάλληλα τα κανονικά ερωτήματα της βάσης δεδομένων, με στόχο την ενσωμάτωση τους. Αυτή η διαδικασία αναφέρεται συχνά ως *εξατομίκευση ερωτημάτων*. β) *Με χρήση προνομιούχων αλγόριθμων*: αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούν ειδικούς αλγόριθμους βάσεων δεδομένων (για παράδειγμα: top-k ή skyline [36]) για να εκφράσουν ρητά προτιμήσεις μέσα στα ερωτήματα.

Στην ποιοτική προσέγγιση, οι προτιμήσεις μεταξύ πλειάδων μιας βάσης δεδομένων ορίζονται άμεσα, όπου γίνεται χρήση δυαδικών σχέσεων προτίμησης. Μπορούν να καθοριστούν σχέσεις προτίμησης χρησιμοποιώντας λογικούς τύπους [19] ή ειδικούς κατασκευαστές προτιμήσεων [37]. Στην ποσοτική προσέγγιση, οι προτιμήσεις εκφράζονται με την ανάθεση αριθμητικών βαθμολογιών σε πλειάδες μιας βάσης δεδομένων. Σε αυτή την περίπτωση, μια πλειάδα t_i προτιμάται από μια πλειάδα t_j , αν και μόνο αν, το σκορ της είναι υψηλότερο από το σκορ της t_j . Βαθμολογίες μπορούν να αποδοθούν μέσω *συναρτήσεων προτιμήσεων (Preference functions)* [38] ή ως *βαθμοί ενδιαφέροντος* που συνδέονται με συγκεκριμένες συνθήκες που πρέπει να ικανοποιηθούν [39].

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, δεν παράσχει μια εξαντλητική ανασκόπηση για τις παραπάνω ειδικές κατηγορίες προτιμήσεων, τις μεθόδους και την αναπαράσταση τους στις βάσεις δεδομένων, αναφέρεται όμως σε θεωρητικό επίπεδο στα επόμενα δύο υποκεφάλαια στην ποιοτική και ποσοτική προσέγγιση για την έκφραση των προτιμήσεων σε αυτές και θα δοθεί και ένας μαθηματικός φορμαλισμός με θεωρία συνόλων για να τις περιγράψει.

2.2.4.1 Αναπαράσταση προτιμήσεων σε Β.Δ. – Ποιοτική προσέγγιση

Δίνεται ο εξής μαθηματικός φορμαλισμός [35] [40]:

Με $R(A_1, \dots, A_n)$ θα συμβολίζεται το σχεσιακό σχήμα μιας βάσης δεδομένων, όπου $A_1, \dots, A_n$ τα διαφορετικά χαρακτηριστικά και $\text{dom}(A_1), \dots, \text{dom}(A_n)$ τα πεδία ορισμού τους. Έστω $A = \{A_1, \dots, A_n\}$ το σύνολο χαρακτηριστικών του R , $\text{dom}(A) = \text{dom}(A_1) \times \dots \times \text{dom}(A_n)$ το σύνολο τιμών του R και r μια πλειάδα του R . Για κάθε υποσύνολο B του A θα ορίζεται $t[B]$ η προβολή της πλειάδας t στο σύνολο χαρακτηριστικών B . Τέλος, το P θα συμβολίζει μια προτίμηση.

Στις ποιοτικές προσεγγίσεις, η εφαρμογή στις πλειάδες γίνεται συγκρίνοντας τις αντίστοιχες τιμές και δίνοντας προτεραιότητα στις πλειάδες που έχουν

χαρακτηριστικά (attributes) τα οποία έχει δηλώσει ένας χρήστης ως προτιμητέα σε σχέση με άλλα. Για να οριστεί ο φορμαλισμός για αυτή την προσέγγιση χρησιμοποιείται η έννοια της δυαδικής σχέσης πάνω στο σύνολο S ,

όπου κάθε τέτοια σχέση B εκφράζει ένα υποσύνολο του γινομένου $S \times S$ και για κάθε $\alpha \in S, b \in S$, θα ισχύει πως $\alpha B b$ αν και μόνο αν το $(\alpha, b) \in B$.

Επεκτείνοντας τα προηγούμενα, η P μπορεί να δοθεί ως μια δυαδική σχέση $> P$, η οποία αποτελεί υποσύνολο του $\text{dom}(A) \times \text{dom}(A)$, δηλαδή μπορεί να συγκρίνει οποιεσδήποτε τιμές οποιωνδήποτε χαρακτηριστικών.

Αν $r_i > P r_j$, με τα r_i, r_j να μην παραβιάζουν τους κανόνες συνέπειας της R , τότε το r_i είναι προτιμότερο από το r_j με βάση την P , ή επικρατεί του r_j ως προς την P .

Μια τέτοια δυαδική σχέση μπορεί να χαρακτηριστεί με βάση ορισμένες ιδιότητες που έχει, δηλαδή:

α) Ως *κατάταξη*, αν είναι ανακλαστική και μεταβατική (δηλαδή $r > P r$ και $t > P r$ και $r > P s \rightarrow t > P s$). Αν επιπλέον είναι και αντισυμμετρική (δηλαδή $r > P t$ και $t > P r \rightarrow r = t$), τότε είναι *μερική κατάταξη*.

β) Ως *αυστηρή μερική κατάταξη*, αν είναι μη ανακλαστική, μη συμμετρική (δηλαδή $r > P t$ συνεπάγεται πως δεν ισχύει $t > P r$) και μεταβατική.

γ) Ως *ολική κατάταξη*, αν είναι αυστηρή μερική κατάταξη και ισχύει ότι οποιαδήποτε δύο r και t μπορούν να συγκριθούν με βάση αυτή (δηλαδή ισχύει $r > P t$ ή $t > P r$ ή $t = r$ για δύο οποιαδήποτε έγκυρα r, t).

Δ) Ως *ασθενής κατάταξη*, αν είναι αυστηρή μερική κατάταξη και επιπλέον είναι αρνητικά μεταβατική (δηλαδή αν το $\neg(r > P t)$ και $\neg(t > P s)$ τότε $\neg(r > P s)$).

Μια προτίμηση που έχει οριστεί με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να αποτυπωθεί με έναν κατευθυνόμενο γράφο, όπου θα υπάρχει ακμή από το r στο t αν και μόνο αν $r > P t$. Επιπλέον, αν η $> P$ είναι μεταβατική, τότε θα χρησιμοποιούμε το μεταβατικό κλείσιμο του γράφου, στο οποίο διαγράφουμε τις περιττές ακμές, δηλαδή αν $r > P t$ και $t > P s$, τότε δεν υπάρχει ακμή από το r προς το s , αν και $r > P s$. Αν η προτίμηση αποτελεί και μερική κατάταξη, τότε ο αντίστοιχος γράφος λέγεται διάγραμμα Hasse.

Στην περίπτωση που δεν κρίνεται σκόπιμο να αποτυπωθούν όλες οι πιθανές σχέσεις μεταξύ πλειάδων μια προς μια, τότε μπορεί μια προτίμηση να οριστεί με βάση μιας

συνάρτησης PF, η οποία θα είναι αληθής για τα r, t αν και μόνο αν $r > P_t$. Η συνάρτηση αυτή προσδιορίζει την προτίμηση ως *εσωτερική* ή *εξωτερική*. Μια εσωτερική προτίμηση αποτιμάται χρησιμοποιώντας μόνο τα χαρακτηριστικά των συγκρινόμενων πλειάδων, ενώ μια εξωτερική απαιτεί τη χρήση επιπλέον πληροφοριών.

Για παράδειγμα, αν μια προτίμηση μας δίνει την πληροφορία πως ο χρήστης προτιμά τους πίνακες του Βίνσεντ Βαν Γκογκ από του Κλωντ Μονέ, τότε για να συγκριθούν δύο πίνακες αρκεί να ελεγχθεί το πεδίο του καλλιτέχνη. Αν όμως ο χρήστης πει πως προτιμά πίνακες από καλλιτέχνες που έχουν δημιουργήσει τα περισσότερα έργα, τότε θα πρέπει να ανακτηθούν από τη βάση όλες οι πλειάδες που έχουν τις συγκεκριμένες τιμές στο πεδίο καλλιτέχνη, και να καταμετρηθούν.

Μια εξωτερική προτίμηση δεν είναι ανεξάρτητη από την κατάσταση της βάσης δεδομένων, καθώς μια εισαγωγή ενός νέου καλλιτέχνη μπορεί να αλλάξει τη σειρά προτίμησης στο δοθέν παράδειγμα. Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός πως οι κανονικές προτιμήσεις μπορούν να εκφραστούν σε DNF (disjunction normal form ή κανονική διαζευκτική μορφή), δηλαδή ως μια διάζευξη συζεύξεων πάνω στα χαρακτηριστικά των δύο συγκρινόμενων πλειάδων.

2.2.4.2 Αναπαράσταση προτιμήσεων σε Β.Δ. – Ποσοτική προσέγγιση

Οι ποσοτικές προσεγγίσεις, οι οποίες εκφράζουν την προτίμηση ως ένα μέτρο αρέσκειας ή δυσαρέσκειας για κάποιες επιλογές, όπως για παράδειγμα “Δεν μου αρέσουν πίνακες στυλ Μπαρόκ” ή “Απεχθάνομαι πίνακες του Ρεμπράντ”, μας δίνουν μια ποσοτική εκτίμηση για το πόσο προτιμά ένας χρήστης την επιλογή, με βάση κάποιο χαρακτηριστικό αυτής της επιλογής, δηλαδή ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό (ή περισσότερα από ένα). Στο προηγούμενο παράδειγμα, εκφράζεται λεκτικά μια σαφώς πιο έντονη δυσαρέσκεια, η οποία μπορεί να μεταφραστεί σε έναν αριθμό. Σε αυτές τις προσεγγίσεις, για κάθε πλειάδα που μπορεί να δοθεί ως αποτέλεσμα στο ερώτημα του χρήστη, με βάση όλες τις προτιμήσεις που αναφέρονται σε κάποιο από τα χαρακτηριστικά της πλειάδας, γίνεται μια συνάθροιση των διαφορετικών μέτρων προτίμησης, ώστε να προκύψει μια τελική βαθμολογία για την πλειάδα, η οποία και χρησιμοποιείται ως απόλυτο μέτρο για την ταξινόμηση των αποτελεσμάτων.

Υπάρχουν προτιμήσεις οι οποίες είναι αδύνατον να εκφραστούν σωστά με αυτή τη μέθοδο, (αναφορικά αυτές που δεν αποτελούν κατάταξη) όμως καθιστά συχνά εύκολη τη σύγκριση αντικειμένων που έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό και τα υπόλοιπα διαφορετικά. Αν για παράδειγμα ένας χρήστης θέλει να διαλέξει ανάμεσα σε διαφορετικούς τρόπους ζωγραφικής, τότε μπορεί με βάση τις προτιμήσεις του να βαθμολογηθούν όλοι οι διαφορετικοί χώροι ζωγραφικής, όπως πινέλο, γραφίδα, μολύβι, κάρβουνο, σε χαρτί, σε ύφασμα κλπ., χωρίς ο χρήστης να χρειαστεί να έχει δηλώσει ειδικές προτιμήσεις που να τα συγκρίνουν μεταξύ τους.

Για να οριστεί μια προτίμηση με ποσοτικό τρόπο χρησιμοποιείται η έννοια της συνάρτησης βαθμολόγησης $f_p, \text{dom}(A) \rightarrow \mathbb{R}$, η οποία δίνει σε κάθε πλειάδα μια τιμή με βάση την προτίμηση p . Θετικές τιμές ορίζεται να δείχνουν αρέσκεια, αρνητικές δυσαρέσκεια, ενώ μηδενικές αδιαφορία ή αδυναμία εφαρμογής της προτίμησης. Με βάση αυτή την αναπαράσταση, κάθε προτίμηση P μπορεί να εκφραστεί με ένα ζευγάρι (συνθήκη p , βαθμολογία p), όπου η συνθήκη p καθορίζει τις πλειάδες στις οποίες αναφέρεται η προτίμηση με ένα Conjunctive Normal Form (CNF), στο οποίο δίνονται τιμές για τα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει η πλειάδα ώστε να επηρεάζεται.

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά έχουν τελεστές = και $\neq$, ενώ τα ποσοτικά (δηλαδή αυτά που επιδέχονται σύγκρισης) έχουν επιπλέον και τους τελεστές σύγκρισης $<$, $>$, $\leq$, $\geq$. Η συνθήκη p μπορεί να είναι για παράδειγμα συνθήκη $p_1 = (\text{Έτος} > 1500) \wedge (\text{Προέλευση} = \text{«Ελλάδα»}) \wedge (\text{Ζωγράφος} = \text{«Δομήνικος Θεοτοκόπουλος»})$. Η βαθμολογία είναι ένας αριθμός από κάποιο προκαθορισμένο εύρος. Για να επεκταθεί αυτός ο τρόπος έκφρασης ώστε να μπορούν να εκφραστούν οι εξωτερικές προτιμήσεις που εξετάστηκαν νωρίτερα με αυτόν, θα πρέπει η συνθήκη p να μπορεί να είναι όχι απλά μια CNF, αλλά μια οποιαδήποτε επιλογή πάνω στη βάση, με τη χρήση joins.

Με αυτή τη μέθοδο κάθε πλειάδα μπορεί να έχει πολλές διαφορετικές βαθμολογίες, μια για κάθε προτίμηση της οποίας τη συνθήκη ικανοποιεί. Η τελική κατάταξη προκύπτει συναθροίζοντας αυτές τις βαθμολογίες. Ο τρόπος με τον οποίο θα γίνει αυτό στη γενική του μορφή οδηγεί σε ένα ακόμα NP-complete πρόβλημα, αυτό της συνολικής κατάταξης m αντικειμένων που υπάρχουν σε n ταξινομημένες λίστες, όπου η καθεμία έχει προκύψει με βάση διαφορετικά κριτήρια. Για να δοθεί μια πιο απλή λύση, χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι συνάθροισης, αξιοποιώντας επιπλέον πληροφορίες. Παραδείγματος χάριν, σε κάθε προτίμηση μπορεί να δοθεί ένας

συντελεστής εμπιστοσύνης (C), ο οποίος θα χρησιμοποιείται ως βάρος για τη συνάθροιση των διαφορετικών βαθμολογιών.

Έτσι, αν σε μια πλειάδα δίνεται βαθμολογία 0.6 από μια προτίμηση με εμπιστοσύνη 1 και βαθμολογία 0.8 από μια προτίμηση με εμπιστοσύνη 0.7, τότε η τελική βαθμολογία θα είναι $(1 \cdot 0.6 + 0.8 \cdot 0.7) / 2 = 0.58$. Εναλλακτικά, μπορεί να δοθεί μια κατάταξη για τις προτιμήσεις, όπου μόνο η 1^η προτίμηση που αναφέρεται στην πλειάδα θα έχει σημασία. Μια τρίτη προσέγγιση θα ήταν να συγκρίνονται οι πλειάδες με βάση την κάθε προτίμηση και να βαθμολογούνται υψηλότερα αυτές που υπερτερούν με βάση περισσότερες προτιμήσεις.

Κεφάλαιο 3

Γραφικά μοντέλα αναπαράστασης προτιμήσεων

3.1 Γραφικά μοντέλα αναπαράστασης προτιμήσεων γενικά

Η αναπαράσταση προτιμήσεων σε μια συμπαγή δομή παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Με στόχο να διευκολύνουν την εξαγωγή πληροφοριών και συμπερασμάτων, παρουσιάζουν κάποια μορφή ανεξαρτησίας και χρησιμεύουν ως βάση για την επίλυση ερωτημάτων βελτιστοποίησης σχετικά με τις επιλογές προτιμήσεων [49]. Κεντρικά ζητήματα για κάθε προσέγγιση αναπαράστασης προτιμήσεων με γραφικό τρόπο, είναι η εκφραστικότητα των παραμέτρων και ρυθμίσεων που εκπροσωπεί, καθώς και η πολυπλοκότητα των απαντήσεων σε ερωτήματα (queries). Επιπλέον, οι γραφικές αναπαραστάσεις διευκολύνουν την εξαγωγή προτιμήσεων, καθώς και την κατασκευή μιας σειράς κατάταξης αυτών. Η χρήση της αναπαράστασης προτιμήσεων με γραφικό τρόπο, έχει εμπνευστεί από την επιτυχία των Bayesian δικτύων που λειτουργούν ως μια υπολογιστική εκθετική συσκευή αναπαράστασης γνώσης [50].

Στη βιβλιογραφία, έχουν προταθεί διάφορα μοντέλα γραφικής απεικόνισης για την αναπαράσταση των προτιμήσεων ή την εξαγωγή προτιμήσεων με διαισθητικό τρόπο, τα οποία μπορούμε να διακρίνουμε σε δύο βασικές κατηγορίες: α) *ποιοτικά μοντέλα*: όπου οι προτιμήσεις εκφράζονται με τις συγκρίσεις των τιμών των χαρακτηριστικών τους. Από αυτά, τα πιο δημοφιλή είναι τα CP-δίκτυα [53] (δίκτυα προτιμήσεων υπό συνθήκη) τα οποία παρέχουν μια συμπαγή αναπαράσταση των προτιμήσεων και τα β) *ποσοτικά μοντέλα*: στα οποία μπορεί να υπολογιστεί μια αριθμητικής τιμής συνάρτηση, για τη σύγκριση όλων των δυνατών επιλογών, όπως τα δίκτυα GAI [55], τα δίκτυα UCP [52] ή τα οριακά δίκτυα χρησιμότητας [54]. Αυτά τα μοντέλα προτιμούνται συνήθως για την ευκολία που παρέχουν στην εξαγωγή προτιμήσεων, αν και μερικά από αυτά υποφέρουν από διάφορα μειονεκτήματα, όπως αναπαράσταση υπό περιορισμούς ή περίπλοκη αναπαράσταση προτιμήσεων,

ή ακόμη ότι οι απαντήσεις σε ερωτήματα μπορεί να απαιτούν δαπανηρούς αλγορίθμους συλλογισμού (reasoning algorithms).

Ο μαθηματικός φορμαλισμός για τα ποιοτικά μοντέλα στην συνέχεια, έχει ως εξής [51]:

Έστω $V = \{A_1, \dots, A_n\}$ είναι ένα σύνολο n μεταβλητών. Κάθε μεταβλητή A_i έχει ένα πεδίο ορισμού $D(A_i)$ έτσι ώστε, με a_i να δηλώνεται οποιαδήποτε τιμή του A_i και με $\Omega = \{\omega_1, \dots, \omega_{|\Omega|}\}$ να εννοείται το καρτεσιανό γινόμενο όλων των μεταβλητών πεδίων ορισμού στο V .

Κάθε στοιχείο $\omega_i \in \Omega$ ονομάζεται *επιλογή (ή διαμόρφωση)*. Αντιστοιχεί σε ένα πλήρες σύνολο των παραστάσεων (instances) των μεταβλητών στο V .

Αν $X \subseteq V$, τότε με $D(X)$ αναφέρεται το καρτεσιανό γινόμενο των πεδίων ορισμού των μεταβλητών στο X και το $\omega[X]$ δηλώνει τον περιορισμό της μεταβλητής ω σε μεταβλητές στο X . Σημασιολογικά οι προτιμήσεις καθορίζονται από μια διάταξη μεταξύ των επιλογών:

Έστω $\succsim$ είναι μια δυαδική σχέση στο Ω τέτοια ώστε $x \succsim y$, αυτό σημαίνει ότι το x είναι τουλάχιστον το ίδιο προτιμητέο όπως το y .

Άλλες σχέσεις που μπορούν να προκύψουν από το $\succsim$ ως συνήθως είναι:

$\omega_i \sim \omega_j$ αν και μόνο αν $\omega_i \succsim \omega_j$, $\omega_i \succ \omega_j$ αν και μόνο αν $\omega_i \succsim \omega_j$ αλλά όχι $\omega_j \succsim \omega_i$ και επίσης $\omega_i \perp \omega_j$ εάν κανένα $\omega_i \succsim \omega_j$ ούτε $\omega_j \succsim \omega_i$ (μη συγκρισιμότητα).

Επίσης έχουμε αναφερθεί αναλόγως στα προηγούμενα κεφάλαια, ότι η κατάταξη των σχέσεων μπορεί να είναι συνολική (δηλαδή μπορούμε να συγκρίνουμε οποιεσδήποτε δύο επιλογές) ή μερική, αυστηρή (δηλαδή ασύμμετρη) ή αδύναμη. Σχέσεις προτιμήσεων μεταξύ των διαφορετικών επιλογών $\omega_i \in \Omega$ μπορούν να εκφραστούν μέσω ορισμένων σχέσεων προτίμησης από υποσύνολα των μεταβλητών και να επωφεληθούν από την ύπαρξη ή μη ύπαρξη εξαρτήσεων που υπάρχουν μεταξύ των μεταβλητών ή υποσυνόλων των μεταβλητών.

Ακόμη, ως $Pa(A_i)$ δηλώνεται το σύνολο των γονέων του A_i , ως ui οποιαδήποτε παράσταση των $Pa(A_i)$ και $Y(A_i) = \{Y_1, \dots, Y_n\}$ το σύνολο των παιδιών του. Με $Dn(A_i)$ δηλώνουμε τους απογόνους και με $Co(A_i) = V / (Dn(A_i) \cup Pa(A_i) \cup A_i)$ δηλώνουμε το σύνολο των μη απογόνων.

Σε ένα μοντέλο προτιμήσεων χρησιμοποιούνται συνήθως δύο τύποι ερωτημάτων: α) *ερωτήματα βελτιστοποίησης*, για την ανεύρεση των βέλτιστων επιλογών, δηλαδή εκείνων που δεν “κυριαρχούνται” από άλλες) και β) *ερωτήματα δεσπόζουσας θέσης* για τη σύγκριση επιλογών. Ουσιαστικά, σκοπός είναι η ανάδειξη εκείνου του μοντέλου, για την κατασκευή ενός γραφήματος με στόχο την εξαγωγή των προτιμήσεων των χρηστών. Τα περισσότερο χρησιμοποιούμενα γραφικά μοντέλα είναι τα ποιοτικά, δεδομένου ότι είναι εύκολο να εξαχθούν και τα πιο σημαντικά είναι τα *CP δίκτυα* και η επέκτασή τους, τα *εμπλουτισμένα CP δίκτυα*.

Βέβαια, αρκετές φορές είναι προτιμότερο να εκφράζονται οι προτιμήσεις με αριθμητικούς όρους, εφόσον αυτό επιτρέπει μια εύκολη σύγκριση των πιθανών επιλογών. Συνεπώς, είναι σημαντικό να αναφερθούμε και στα ποσοτικά γραφικά μοντέλα προτιμήσεων. Τα τελευταία βασίζονται γενικότερα σε συναρτήσεις χρησιμότητας που αναπαριστούν μια αντιστοίχιση από το καρτεσιανό γινόμενο των πεδίων ορισμού των μεταβλητών σε αριθμητικές τιμές, δηλαδή: $u: \Omega \mapsto \mathbb{R}$. Αυτές οι συναρτήσεις χρησιμότητας βοηθούν σε μια συνολική κατάταξη επιλογών, παραδείγματος χάρι για δύο επιλογές ω και ω' ισχύει:

$\omega \succ \omega'$ (αντίστοιχα $\omega \sim \omega'$) αν και μόνο αν $u(\omega) > u(\omega')$ (αντίστοιχα $u(\omega) = u(\omega')$)

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα βασικά ποιοτικά και ποσοτικά μοντέλα για την εκπροσώπηση προτιμήσεων με γραφικό τρόπο δίνοντας έμφαση στα κύρια χαρακτηριστικά τους.

3.2 CP δίκτυα αναπαράστασης προτιμήσεων υπό συνθήκη

Στην τεχνητή νοημοσύνη, τα δίκτυα προτιμήσεων υπό συνθήκη, έχουν αναδειχθεί για τη μοντελοποίηση και τη συλλογιστική σχετικά με τους τομείς συνδυαστικών αποφάσεων [2]. Βασίζονται συχνά σε μια προτιμησιακή σχέση ανεξαρτησίας που αναφέρεται ως παραδοχή *Ceteris Paribus* έτσι ώστε να προτιμάται μια μερική επιλογή από κάποια άλλη και “ότι άλλο είναι ίσο”.

Δηλαδή ως εργαλεία, αναπαριστούν προτιμήσεις υπό συνθήκη καθώς και του συλλογισμού μέσω αυτών των προτιμήσεων. Ένα δίκτυο προτιμήσεων είναι ένα γραφικό μοντέλο που αντιπροσωπεύει τις δηλώσεις ποιοτικών προτιμήσεων,

συμπεριλαμβανομένων των υπό όρους προτιμήσεων, όπως για παράδειγμα της λογικής στην έκφραση: «προτιμώ το X από το Y όταν είναι δεδομένο το Z». Επίσημα, ορίζεται ως εξής [51]:

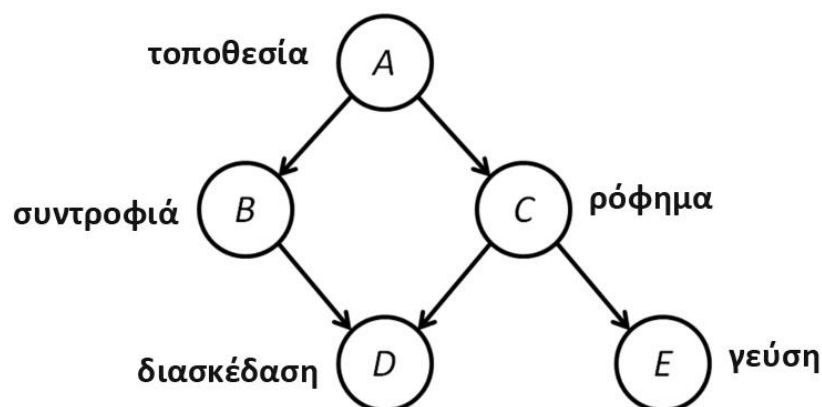
Ανεξαρτησία προτιμήσεων: Έστω V είναι ένα σύνολο μεταβλητών και W είναι ένα υποσύνολο του V .

Το W λέγεται ότι είναι κατά προτίμηση ανεξάρτητο από το συμπλήρωμα του $Z = V \setminus W$ εάν και μόνο αν για τυχόν στιγμιότυπα, z, z', w, w' έχουμε: $(w, z) \succ (w', z) \Leftrightarrow (w, z') \succ (w', z')$

Η ανεξαρτησία προτιμήσεων είναι ασύμμετρη. Δηλαδή, μπορεί να συμβεί, π.χ., για διαφορετικά σύνολα μεταβλητών X, Y και Z , το X με δεδομένο το Z μπορεί να είναι ανεξάρτητο από το Y , χωρίς το Y να είναι ανεξάρτητο από το X .

Ένα CP δίκτυο αποτελείται από ένα κατευθυνόμενο γράφημα $G = (V, E)$ όπου V είναι το σύνολο των κόμβων και το E το σύνολο των ακμών. Ένας κόμβος αντιστοιχεί σε μια μεταβλητή. Οι ακμές αντιπροσωπεύουν τις εξαρτήσεις προτιμήσεων μεταξύ των μεταβλητών.

Σε αντίθεση με τα Bayesian δίκτυα, τα CP δίκτυα μπορούν να είναι κυκλικά (χωρίς απαραίτητα να κωδικοποιούν ασυνεπείς προτιμήσεις). Ακολουθεί ένα παράδειγμα:



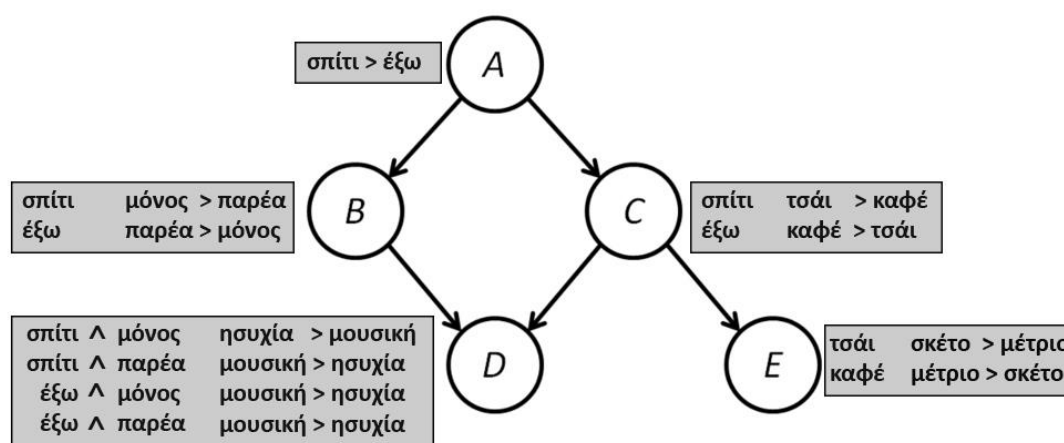
Παράδειγμα 1: CP δίκτυο με απλή αναφορά στα ονόματα των μεταβλητών

Στο προηγούμενο παράδειγμα οι κόμβοι, δηλαδή οι μεταβλητές (εδώ με ονόματα: τοποθεσία, συντροφιά, διασκέδαση κλπ.) συνδέονται με κατευθυνόμενες ακμές μεταξύ τους με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε οι προτιμήσεις των τιμών των μεταβλητών

με εισερχόμενες ακμές να εξαρτώνται από τις τιμές των γονικών κόμβων τους. Για παράδειγμα οι προτιμήσεις στην μεταβλητή «ρόφημα» εξαρτώνται από τις τιμές στην μεταβλητή «τοποθεσία».

Σε κάθε μεταβλητή A_i συνδέουμε έναν πίνακα προτιμήσεων υπό συνθήκη, που αντιστοιχεί σε μια συνολική διάταξη μεταξύ των τιμών του A_i , $\forall u_i$.

Για παράδειγμα:



Παράδειγμα 2: CP δίκτυο με πίνακες προτιμήσεων υπό συνθήκη

Οι προτιμήσεις τιμών μιας μεταβλητής εξαρτώνται μόνο από το γονικό περιβάλλον, και είναι ανεξάρτητες από τις υπόλοιπες μεταβλητές. Στο προηγούμενο παράδειγμα, κάθε μεταβλητή συνδέεται με ένα πίνακα *ceteris paribus* (που δηλώνεται ως CPT (X)) ή πίνακας προτιμήσεων υπό συνθήκη) που εκφράζει την απεικόνιση των τιμών του με εξάρτηση «προς τα επάνω», δηλαδή τις διαφορετικές τιμές του X που εξαρτώνται από το σύνολο των τιμών των γονέων του. Όταν ένας κόμβος έχει έναν μόνο γονέα (στο δίκτυο προτιμήσεων του προηγούμενου παραδείγματος, ο κόμβος B έχει γονέα μόνο τον κόμβο A), αυτό σημαίνει ότι, ελλείψει περαιτέρω στοιχείων, η προτίμηση εξαρτάται από την τιμή του A . Όταν ένας κόμβος έχει περισσότερους από έναν γονικούς κόμβους (ο κόμβος D έχει γονικούς κόμβους τους B και C), τότε για κάθε συνδυασμό των τιμών των γονέων του δηλώνεται η προτίμηση για τις τιμές του.

Χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες στους πίνακες προτιμήσεων στις μεταβλητές και εφαρμόζοντας την αρχή του *Ceteris Paribus*, όταν κάποιος αλλάζει (*flip*) την τιμή μιας μεταβλητής που ανήκει σε μια επιλογή, μπορεί να αποκτήσει είτε μια βελτιωμένη επιλογή είτε μια χειρότερη. Αυτά τα ζεύγη ανταλλαγής τιμών μπορούν να

οργανωθούν σε μια συλλογή από επιδεινούμενα (κατευθυνόμενα) μονοπάτια με μοναδική ρίζα που αντιστοιχεί στην καλύτερη επιλογή και όπου τα άλλα άκρα διαδρομής είναι τα χειρότερα.

Ένα CP δίκτυο ονομάζεται *ικανοποιήσιμο* εάν υπάρχει τουλάχιστον μία μερική διάταξη επιλογών που το ικανοποιούν. Κάθε CP δίκτυο που δεν περιέχει κύκλους, είναι ικανοποιήσιμο.

Τα CP δίκτυα έχουν μοναδική βέλτιστη επιλογή. Για να βρεθεί, σημαίνει ότι γίνεται αναζήτηση εκείνης της επιλογής όπου όλες οι προτιμήσεις υπό όρους ικανοποιούνται καλύτερα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με απλή διαδικασία σάρωσης όπου, για κάθε κόμβο, εκχωρούμε την πιο προτιμώμενη τιμή σύμφωνα με το πλαίσιο των γονέων του. Για τα άκυκλα CP δίκτυα, αυτή η διαδικασία είναι γραμμική σε σχέση με τον αριθμό των μεταβλητών [53].

Αν και τα CP δίκτυα δεν επιλύουν ολοκληρωτικά το πρόβλημα εξαγωγής προτιμήσεων για σύνθετες και χρονοβόρες περιπτώσεις, έχουν αναμφισβήτητα αναδειχθεί ως μια δημοφιλής γλώσσα ικανή να αντιπροσωπεύει τις συνηθισμένες σχέσεις προτίμησης με έναν συμπαγή και δομημένο τρόπο. Η εξαγωγή πληροφοριών προτίμησης από τους χρήστες είναι γενικά μια επίπονη διαδικασία και οι αναλυτές έχουν αναπτύξει εξελιγμένες τεχνικές για να βοηθήσουν στην εξαγωγή αυτών των πληροφοριών [41]. Ένας βασικός στόχος στη μελέτη της υποστήριξης αποφάσεων με βάση τον υπολογιστή, είναι η κατασκευή εργαλείων που επιτρέπουν την αυτοματοποίηση της διαδικασίας προτίμησης, είτε μερικώς είτε πλήρως. Βασικές προϋποθέσεις κατά την εξαγωγή της πληροφορίας στα CP δίκτυα μεταξύ άλλων, είναι να είναι εγγυούνται την πρόβλεψη σε νέες καταστάσεις, να εξασφαλίζουν την παθητική μάθηση των προτιμήσεων του χρήστη χωρίς την άμεση συμμετοχή του και επίσης να είναι αποτελεσματικά με πολυωνυμικό χρόνο εκμάθησης στα πλαίσια ενός προβλήματος και των παραμέτρων του.

3.2.1 Εμπλουτισμένα CP δίκτυα

Όπως προαναφέρθηκε, η εκφραστική ισχύς των δικτύων CP είναι περιορισμένη. Συγκεκριμένα, δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε τις σχέσεις σπουδαιότητας μεταξύ των μεταβλητών, εκτός από εκείνες που εμμέσως τίθενται μεταξύ κόμβων γονέων και κόμβων παιδιών. Τα εμπλουτισμένα CP δίκτυα

(Tradeoffs-enhanced CP δίκτυα) [56] είναι μια επέκταση των CP δικτύων που προσθέτει μια έννοια της σπουδαιότητας μεταξύ των μεταβλητών με τον εμπλουτισμό του δικτύου με τόξα. Αυτά τα τόξα εκφράζουν σχέσεις σπουδαιότητας για τη δήλωση της προτεραιότητας ενός κόμβου έναντι ενός άλλου (δηλαδή, η προτίμηση για τις τιμές του X είναι πιο σημαντική από την προτίμηση για τις τιμές του Y "). Τέτοιες δηλώσεις προτεραιότητας μπορεί να εξαρτώνται από τις τιμές άλλων μεταβλητών, π.χ. "αν η μεταβλητή Z έχει τιμή z , η προτίμηση για τις τιμές του X είναι πιο σημαντική από την προτίμηση για τις τιμές του Y ". Επίσης, τα TCP δίκτυα είναι σχολιασμένα γραφήματα με τρεις τύπους ακμών και ορίζονται ως παρακάτω [51].

Ένα TCP δίκτυο G' σε ένα σύνολο V μεταβλητών είναι ένα CP δίκτυο $G = (V, E)$ επαυξημένο με δύο τύπους τόξων:

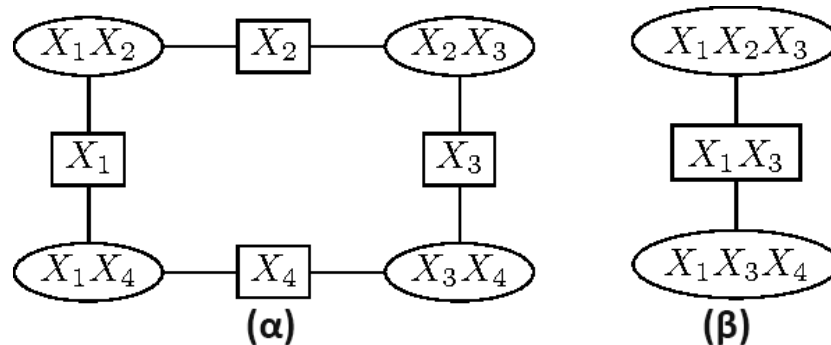
1. Ένα σύνολο κατευθυνόμενων i -τόξων (όπου το i σημαίνει σημασία). Ένα i -τόξο $\langle A_i \rightarrow A_j \rangle$ ανήκει στο G' εάν το A_i είναι πιο σημαντικό από το A_j , το οποίο δηλώνεται με $A_i \prec A_j$.
2. Ένα σύνολο μη κατευθυνόμενων ci -τόξων (όπου το ci αντιπροσωπεύει υπό συνθήκη σπουδαιότητα). Ένα ci -τόξο (A_i, A_j) ανήκει στο G' εάν και μόνο αν η σχετική σπουδαιότητα των A_i και A_j είναι υπό συνθήκη στο Z έτσι ώστε $Z \subseteq V \setminus \{A_i, A_j\}$. Κάθε τόξο (A_i, A_j) αντιστοιχεί σε ένα υποσύνολο του $D(Z)$ από τις συνολικές διατάξεις του συνόλου $\{A_i, A_j\}$.

Τα TCP δίκτυα υπακούουν στις δηλώσεις προτιμήσεων που επάγονται από το *Ceteris Paribus*, δεδομένου ότι οι διατάξεις που αποκτήθηκαν αποτελούν βελτιώσεις των διατάξεων των CP δικτύων.

3.2.2 GAI Δίκτυα (Generalized Additive Independence networks)

Τα δίκτυα GAI [55] είναι ένα από τα πρώτα μοντέλα αναπαράστασης ποσοτικών προτιμήσεων με γραφικό τρόπο. Βασίζονται στη γενικευμένη ανεξαρτησία αποσύνθεσης (GAI αποσύνθεση, εν συντομία) [63]. Αυτή η ανεξαρτησία επιτρέπει την αναπαράσταση προτιμήσεων από μια συνάρτηση χρησιμότητας που μπορεί να χωριστεί σε μικρότερα σύνολα τοπικών συναρτήσεων χρησιμότητας. Κάθε τέτοιο

μικρότερο σύνολο συναρτήσεων, αφορά ένα υποσύνολο μεταβλητών (κλίκες) και αντιπροσωπεύει μια συνολική διάταξη μεταξύ των πιθανών καταστάσεων τους.



Παράδειγμα 3: Δίκτυο GAI πριν (α) και μετά την αποσύνθεση (β)

Επιπλέον, μπορεί να υπάρξουν ορισμένες αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών των τοπικών συναρτήσεων χρησιμότητας, δεδομένου ότι τα υποσύνολα των μεταβλητών που αφορούν σε αυτές μπορεί να μην είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Έτσι, αυτές οι GAI αποσυνθέσεις μπορούν να εκφράσουν κάποιες γενικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών ενώ διατηρείται η αποσύνθεση του μοντέλου.

Η γραφική δομή των δικτύων GAI είναι παρόμοια με την έννοια του δένδρου διασταύρωσης (junction tree) που χρησιμοποιείται για τα Bayesian δίκτυα [64], και η βελτιστοποίηση για τα δίκτυα GAI αντιστοιχεί σε μια προσαρμογή του αλγόριθμου που χρησιμοποιείται στα Bayesian δίκτυα και η πολυπλοκότητα του είναι εκθετική στον αριθμό των μεταβλητών του μεγαλύτερου συνόλου αποσύνθεσης (δηλαδή συνόλου με τοπικές συναρτήσεις χρησιμότητας).

Κλείνοντας το κεφάλαιο αυτό, αξίζει να αναφερθεί ονομαστικά ότι σε αυτή την οικογένεια των CP δικτύων υπάρχουν τα δίκτυα χρησιμότητας (UCP δίκτυα) που αποτελούν επέκταση των CP δικτύων που αντικαθιστούν τις συνηθισμένες σχέσεις προτίμησης με συναρτήσεις χρησιμότητας, συνδυάζοντας δηλαδή τις πτυχές και των CP δικτύων και τον GAI δικτύων.

Κεφάλαιο 4

Υφιστάμενοι αλγόριθμοι, πειράματα και εφαρμογές δημιουργίας CP δικτύων

Σε αυτό το κεφάλαιο καταγράφονται τα αποτελέσματα της έρευνας που πραγματοποιήθηκε στο διαδίκτυο για την ανακάλυψη των υφιστάμενων αλγόριθμων μάθησης CP δικτύων, των προηγούμενων πειραμάτων που έχουν διεξαχθεί σε αυτή την κατεύθυνση και τυχόν υλοποιημένων ηλεκτρονικών εφαρμογών που με την βοήθειά τους, ένας χρήστης μπορεί να δημιουργήσει με γραφικό τρόπο ένα δίκτυο προτιμήσεων υπό συνθήκη και να αναπαραστήσει τις πληροφορίες του.

4.1 Υφιστάμενοι αλγόριθμοι μάθησης CP δικτύων

Υπάρχουν δύο κατηγορίες που μπορούμε να εντάξουμε τους αλγόριθμους μάθησης για CP δίκτυα: α) οι *ενεργοί αλγόριθμοι μάθησης*, όπου οι χρήστες αλληλοεπιδρούν διαδραστικά κατά την διαδικασία μάθησης και β) οι *παθητικοί αλγόριθμοι μάθησης* όπου δεν υπάρχει αλληλοεπίδραση με τους χρήστες και οι αλγόριθμοι μαθαίνουν με την καταγραφή και αξιολόγηση των επιλογών των χρηστών.

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου οι χρήστες μπορούν να συμπεριφερθούν τυχαία στις επιλογές τους ή να προκύψουν λανθασμένες επιλογές για διάφορους λόγους, με αποτέλεσμα το σύνολο προτιμήσεων που προκύπτει να περιέχει *θόρυβο*. Στην συνέχεια παρουσιάζονται διάφορες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί στα πλαίσια της μάθησης των CP δικτύων.

4.1.1 Αλγόριθμος μάθησης διαχωρισμένων δικτύων.

Ως διαχωρισμένα CP δίκτυα, εννοούνται εκείνα τα δίκτυα τα οποία κάθε χαρακτηριστικό τους, δηλαδή κάθε κόμβος τους, δεν εξαρτάται από κάποιο άλλο χαρακτηριστικό, δηλαδή δεν έχει γονικό κόμβο. Συνεπώς ένα τέτοιο δίκτυο δεν έχει

ακμές και οι προτιμήσεις στις τιμές των χαρακτηριστικών του είναι ανεξάρτητες από τις προτιμήσεις στις τιμές των υπολοίπων χαρακτηριστικών.

Οι Lang and Mengin [57] προτείνουν έναν τέτοιο αλγόριθμο ο οποίος προσεγγίζει απλοποιημένα την μάθηση ενός δικτύου, παράλληλα όμως και περιοριστικός ως προς την δομή που πρέπει να έχει ένα τέτοιο CP δίκτυο. Στην έρευνα τους πρότειναν τρεις διαφορετικές μορφές συμβατότητας μεταξύ ενός διαχωρίσιμου CP δικτύου και ενός συνόλου παραδειγμάτων, όπου στην κάθε μια εντόπισαν την πολυπλοκότητα για τον υπολογισμό της κάθε μιας, ώστε να ταιριάζει καλύτερα σε αυτό το σύνολο.

4.1.2 Αλγόριθμος μάθησης δικτύων με ερωτήσεις

Με χρήση του μοντέλου μάθησης με ερωτήσεις, οι Koriche και Zanuttini [58] προτείνουν έναν αλγόριθμο, όπου μέσω μιας ακολουθίας ερωτημάτων σε συγκεκριμένη σειρά, οι χρήστες συμμετέχουν ενεργά για την ανάθεση τιμών στα χαρακτηριστικά των CP δικτύων.

Στην έρευνα τους καταλήγουν ότι η μάθηση CP δικτύων που δεν περιέχουν κύκλους μπορεί να γίνει αποδοτικότερα μέσω μη ισοδύναμων ερωτήσεων, οι οποίες ερωτήσεις παρέχονται με μια συγκεκριμένη σειρά και καθοδηγούν τους χρήστες με στόχο την εξαγωγή προτιμήσεων, έτσι ώστε κάθε επόμενη ερώτηση να εξαρτάται από την γνώση που εξάχθηκε από την προηγούμενη και τα παρεχόμενα παραδείγματα να μην περιορίζονται απλά σε ανταλλαγές (swaps) μεταξύ τους.

4.1.3 Αλγόριθμοι μάθησης που υλοποιήθηκαν από την Παπαγεωργίου

Η Έλενα Παπαγεωργίου υλοποίησε και παρουσίασε στην διατριβή της [13], τρεις αλγόριθμους μάθησης, εκ των οποίων ο ένας προτάθηκε από Dimopoulos et al. [60] όπου παρέχεται και ο ψευδοκώδικας του αλγορίθμου και οι άλλοι δύο προτάθηκαν από την ίδια.

Όπως επίσης αναφέρει η ίδια, ο πρώτος αλγόριθμος διαφαίνεται ως «πιθανώς κατά προσέγγιση σωστός» [61] με αποτελεσματική εκτέλεση και εγγυημένη απόδειξη για την απόδοση ενός CP δικτύου που μπορεί να δημιουργηθεί μέσω της μάθησης. Η εγγύηση στην ακρίβεια ισχύει για τις περιπτώσεις όπου οι προτιμήσεις συνεπάγονται διαφανώς από ένα CP δίκτυο (*transparent entailed*).

Η δεύτερη υλοποίηση της, αφορά έναν αλγόριθμο μάθησης βασισμένο στην δυαδική αναζήτηση, στις περιπτώσεις όπου δεν συνεπάγονται διαφανώς όλες οι προτιμήσεις μάθησης όπως συμβαίνει με τον προηγούμενο αλγόριθμο. Ο αλγόριθμος αυτός, ελέγχει αν υπάρχει μια αποτίμηση αλήθειας που να ικανοποιεί όσο το δυνατόν περισσότερες προτάσεις και επιστρέφει πάντα μια ανάθεση τιμών.

Το πρόβλημα της ικανοποιησιμότητας μιας λογικής έκφρασης [62], ελέγχει αν υπάρχει μια αποτίμηση αληθείας που να ικανοποιεί κάθε πρόταση της έκφρασης αυτής. Επιπλέον, θα πρέπει να καθοριστεί αν δεν υπάρχει μια ανάθεση τιμών που να ικανοποιεί την έκφραση αυτή. Αν ισχύει αυτό, τότε αυτή η λογική έκφραση αναφέρεται ως *μη ικανοποιήσιμη*. Υπάρχει πλήθος αλγορίθμων που επιλύουν αποδοτικά μεγάλο αριθμό λογικών εκφράσεων και αναφέρονται ως SAT Solvers (για παράδειγμα 2-Sat, Max-Sat κλπ.) [63].

Η τρίτη υλοποίηση της, αφορά έναν αλγόριθμο μάθησης βασισμένο στην καλύτερη απόδοση ως επέκταση του προηγούμενου, μετά από παρατήρηση ότι ο προηγούμενος αλγόριθμος είναι χρονοβόρος και δεν επέστρεφε πάντα το αποτέλεσμα με την καλύτερη απόδοση. Ο λόγος είναι ότι ο δεύτερος αλγόριθμος, ελέγχει πρώτα το ποσοστό των προτάσεων που ικανοποιούνται και στην συνέχεια εκμεταλλεύεται εκείνα τα χαρακτηριστικά που δίνουν το μεγαλύτερο ποσοστό. Ο τρίτος αλγόριθμος που υλοποίησε επιλύει το πρόβλημα αυτό με τον περιορισμό των προτάσεων που θα ελεγχθούν συναρτήσει του πλήθους των γονικών κόμβων που μπορεί να έχει ένας κόμβος σε ένα CP δίκτυο.

4.2 Υφιστάμενα πειράματα ελέγχου συμβατότητας των CP δικτύων με δεδομένα χρηστών.

Η Έλενα Παπαγεωργίου, στην μεταπτυχιακή διατριβής της [13], καταγράφει με εμπειρική έρευνα την δυνατότητα εκμάθησης των CP δικτύων, φροντίζοντας για την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητα και την παθητική διαδικασία μάθησης ενός δικτύου.

Μέσω της πρώτης κατηγορίας των πειραμάτων που εκτελέστηκαν, όπως η ίδια αναφέρει συμπερασματικά, απέδειξε ότι τα CP δίκτυα που δημιουργούνται με παθητική μάθηση και η μάθηση πραγματοποιείται μόνο με προτιμήσεις που

συνεπάγονται διαφανώς, τότε σε ένα νέο σύνολο προτιμήσεων που θα αποτιμήσουν, έχουν αρκετά καλή δυνατότητα πρόγνωσης.

Επίσης με δεύτερη κατηγορία πειραμάτων έδειξε ότι τα CP δίκτυα που δημιουργούνται στις περιπτώσεις όπου η μάθηση πραγματοποιείται με σύνολα προτιμήσεων που μπορεί να περιέχουν προτιμήσεις που δε συνεπάγονται διαφανώς, τότε έχουν επίσης μια καλή δυνατότητα πρόγνωσης, όταν το σύνολο προτιμήσεων μάθησης είναι μεγαλύτερο σε πλήθος από εκείνα τα δίκτυα που δημιουργούνται με προτιμήσεις που συνεπάγονται διαφανώς.

Στην επόμενη κατηγορία πειραμάτων που διεξάχθηκαν από την ίδια και αυτήν την φορά με προτιμήσεις που δίνονται από ανθρώπους, ανακάλυψε ότι η απόδοση του αλγορίθμου μάθησης ήταν αρκετά πιο χαμηλή. Συμπέρανε ότι αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι οι χρήστες δεν επιλέγουν πάντα με συνέπεια τις επιλογές τους από τα σύνολα προτιμήσεων που τους παρέχονται. Στην περίπτωση όπου οι χρήστες κλήθηκαν να συμμετέχουν στην ίδια έρευνα και δεύτερη φορά, τότε δεν έγιναν οι ίδιες επιλογές όπως την προηγούμενη φορά.

Αναφέρθηκε επίσης ότι ένας επιπλέον λόγος που μπορεί να επηρέασε τα αποτελέσματα αυτά, είναι ότι ο αλγόριθμος τυχαίας δημιουργίας και παρουσίας, συχνά παρουσίαζε εικόνες που αν και δημιουργήθηκαν με βάση διαφορετικών επιλογών, έμοιαζαν ιδιαίτερα μεταξύ τους με αποτέλεσμα μια τέτοια περίπτωση να «μπέρδευε» τον χρήστη. Διεγνώσθη, ότι αυτό συνέβαινε επειδή κάποιες μεταβλητές επικαλύπτονταν. Ακόμη ένας λόγος που αναφέρει είναι ότι η επιλογή των παραμέτρων ίσως να μην ήταν η καταλληλότερη, εφόσον με μια αλλαγή σε μόνο μια από τις παραμέτρους στα πειράματα της, έδειξε καλύτερα αποτελέσματα. Ακόμη καλύτερα αποτελέσματα υπήρχαν και όταν τα πειράματα της έγιναν μόνο σε εκείνες τις απαντήσεις των χρηστών που ήταν σύμφωνες με τις προηγούμενες που είχαν δώσει και στις οποίες υπήρχε μεγαλύτερη συνέπεια.

Τέλος, καταλήγει μέσω της μελέτης της, ότι η μάθηση CP δικτύων μέσω προτιμήσεων που συμμετέχουν χρήστες είναι εφικτή και παροτρύνει την διερεύνηση των αλγορίθμων μάθησης με πραγματικές προτιμήσεις χρηστών, αντικείμενο που ασχολήθηκε, μελέτησε και αξιολόγησε η παρούσα εργασία στο επόμενο κεφάλαιο 5.

4.3 Υφιστάμενες εφαρμογές δημιουργίας CP δικτύων με γραφικό τρόπο

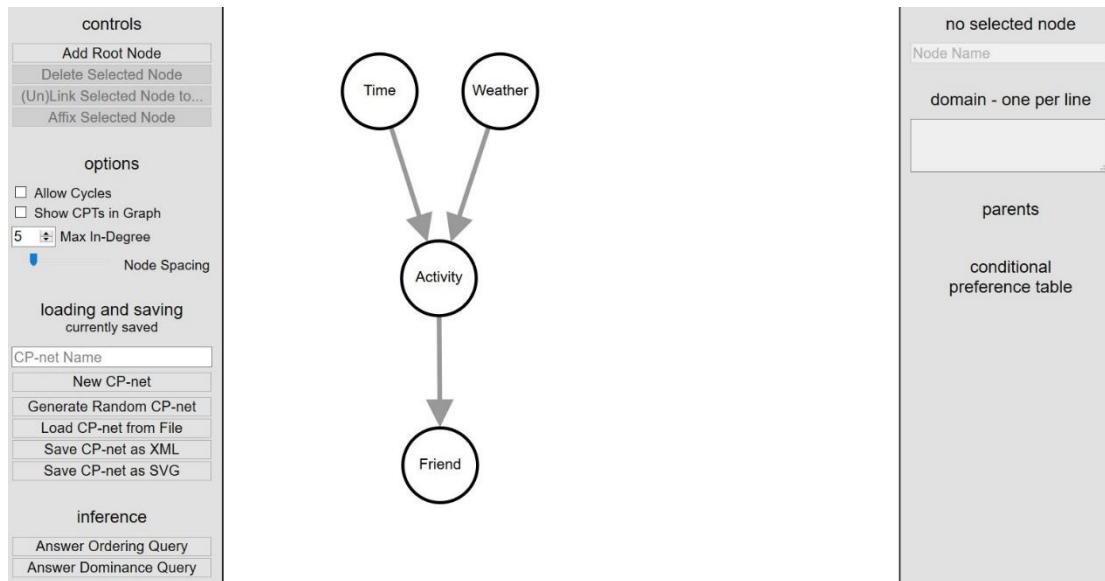
Αν και λαβαίνοντας υπόψη ότι τα αποτελέσματα των μηχανών αναζήτησης δεν αντανakλούν όλα τα πιθανά ευρήματα μιας αναζήτησης, εφόσον η προσβασιμότητα των δικτυακών ιστότοπων και η σχετικότητά τους κρίνονται από πολλούς ή σύνθετους αλγόριθμους και περιορίζονται από νομοθεσίες και κρατικές επιλογές [7], παρά ταύτα πραγματοποιήθηκε μακρόχρονη και επανειλημμένη διερεύνηση στο διαδίκτυο και δεν βρέθηκε παρά μόνο μια ικανή ηλεκτρονική εφαρμογή που δίνει την δυνατότητα σε κάποιον χρήστη να υλοποιήσει ένα CP δίκτυο με γραφικό τρόπο, η οποία παρουσιάζεται στην συνέχεια .

4.3.1 CP Net visualizer.

Η συγκεκριμένη εφαρμογή διατίθεται προς χρήστες ώστε να κατασκευάζουν δίκτυα προτιμήσεων υπό συνθήκη, με οπτικοποίηση των παραγόμενων CP δικτύων και για το ευρύ κοινό που θέλει να μάθει περισσότερα σχετικά με τη μοντελοποίηση των προτιμήσεων.

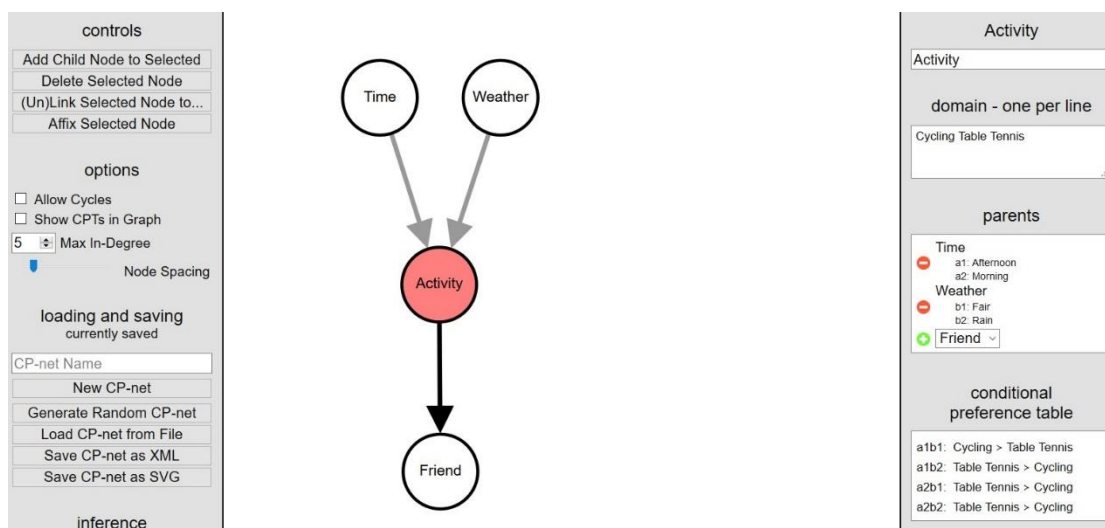
Έχει μια διεπαφή που αποτελείται από τρία κάθετα πλαίσια. Στα αριστερά υπάρχει ένας πίνακας ελέγχου για τη διαχείριση ολόκληρου του δικτύου και επί του παρόντος έχει υποστήριξη για εισαγωγή και εξαγωγή σε μορφή αρχείου επέκτασης XML, εξαγωγής της πληροφορίας ως SVG -για συμμετοχή σε έγγραφα ή κοινή χρήση με άλλους- και επεξεργασία της δομής του γραφήματος του CP δικτύου προσθέτοντας, αφαιρώντας ή συνδέοντας χαρακτηριστικά (δηλαδή κόμβους).

Υπάρχουν επίσης επιλογές για την επιβολή της ακυκλικότητας του παραγόμενου γραφήματος και για τον περιορισμό του πλήθους των κόμβων στο γράφημα, περιορίζοντας ουσιαστικά το μήκος των CP δικτύων που μπορούν να δημιουργηθούν.



Εικόνα 1: Το περιβάλλον του CP Net visualizer

Στο κέντρο, εμφανίζεται το CP δίκτυο και οι κόμβοι του μπορούν να επανατοποθετηθούν χειροκίνητα ή να επιτραπεί η αυτόματη τοποθέτηση. Αν επιλεγεί ένας κόμβος, εμφανίζεται χρωματισμένος ενώ οι ακμές επισημαίνονται με αποχρώσεις του γκρι εάν ένας κόμβος δεν εξαρτάται από την τιμή ενός γονικού κόμβου.



Εικόνα 2: λειτουργίες του CP Net visualizer

Ο δεξιός πίνακας επιτρέπει την επεξεργασία δεδομένων για έναν επιλεγμένο κόμβο, συμπεριλαμβανομένου του ονόματος, των τιμών του κόμβου, των γονέων και του ίδιου του CP δικτύου. Ο αρχικός πίνακας των προτιμήσεων δημιουργείται αυτόματα και σε κάθε σειρά μπορεί κάποιος να επεξεργαστεί τις τιμές που θέλει.

Το πρόγραμμα είναι γραμμένο σε JavaScript και μπορεί να εκτελεστεί ως ιστοσελίδα σε έναν φυλλομετρητή. Χρησιμοποιεί τρίτες βιβλιοθήκες JavaScript ανοικτού κώδικα, συμπεριλαμβανομένων των βιβλιοθηκών D3 και WebCoLa. Το D3 παρέχει δυνατότητες εμφάνισης διανυσματικών γραφικών (Scalable Vector Graphic - SVG) και το WebCoLa παρέχει τη μηχανή «φυσικής» με βάση τον περιορισμό που χρησιμοποιείται για τη θέση των κόμβων στο γράφημα. Παρέχεται δωρεάν υπό την άδεια MIT, όπως και οι περισσότερες βιβλιοθήκες τρίτων που χρησιμοποιεί.

Η εφαρμογή αυτή θα μπορούσε να αποδειχθεί χρήσιμη για τις ανάγκες της παρούσης έρευνας και μελέτης, όπως αυτή παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 4, συνεπώς ήταν λογικό να γίνει η αξιολόγηση της, η οποία καταγράφεται στο επόμενο υποκεφάλαιο.

4.3.2 Αξιολόγηση της χρήσης του CP Net visualizer

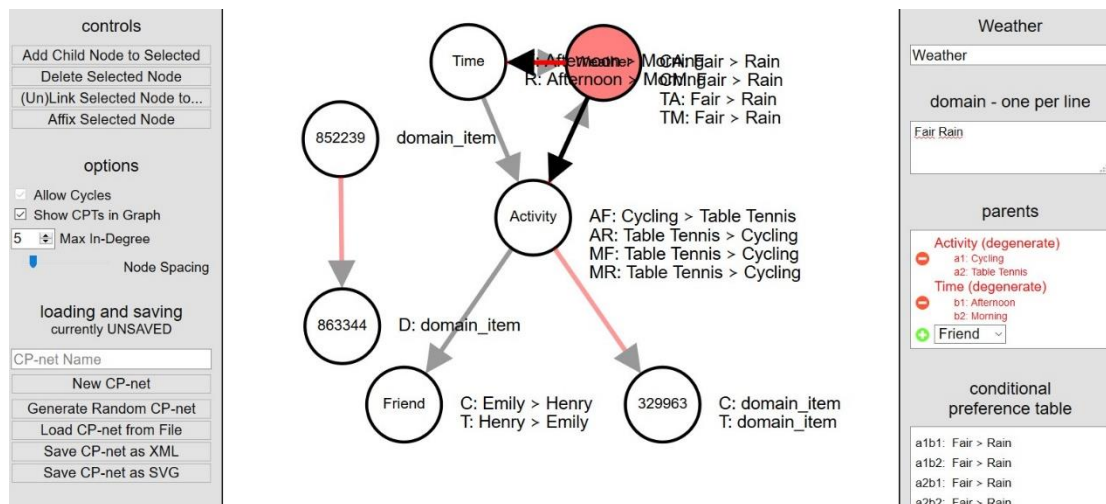
Σε επόμενο στάδιο, έγιναν εκτεταμένες δοκιμές χρήσης τόσο από τον συγγραφέα της παρούσης διατριβής όσο και από πέντε εθελοντές χρήστες χωρίς ιδιαίτερες γνώσεις για τις τρέχουσες λειτουργίες της εφαρμογής CP Net Visualizer, που συμπεριελάμβαναν α) την ευχρηστία του στην απεικόνιση ανθρώπινων προτιμήσεων, β) την απρόσκοπτη λειτουργία του καθώς και γ) την κατανοητή απεικόνιση των παραγόμενων CP δικτύων.

Κεντρικός στόχος ήταν κατά πόσο οι απλοί χρήστες υπολογιστικών συστημάτων, χωρίς ιδιαίτερες γνώσεις του θεωρητικού υπόβαθρου που αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο δύο, μπορούν να αναπαραστήσουν και να αποτυπώσουν ηλεκτρονικά, τον τρόπο και τον συλλογισμό με τον οποίο καταλήγουν σε κάποιες προτιμήσεις τους έναντι κάποιων άλλων, σε ένα δοσμένο και συγκεκριμένο πλαίσιο επιλογών.

Διαπιστώθηκε άμεσα ότι, το εργαλείο αυτό αν και διέθετε ειδικές επιλογές για να μπορεί να καλύψει πιθανά σενάρια προβλημάτων, όπως κυκλικά και άκυκλα δίκτυα, εισαγωγή και αποθήκευση τιμών σε χαρακτηριστικά, είχε σοβαρά προβλήματα στον τρόπο χρήσης του, που τα κυριότερα συνοψίζονται παρακάτω:

- Η δημιουργία ενός δικτύου υπό συνθήκη απαιτούσε ιδιαίτερη προσοχή στον χειρισμό του γραφικού περιβάλλοντος, διότι πολύ εύκολα μπορούσε να διαγραφεί ολόκληρο το δίκτυο χωρίς την δυνατότητα επιστροφής σε προηγούμενη κατάσταση.

- Ο χώρος εργασίας με περισσότερους από επτά κόμβους γινόταν δυσνόητος και χαοτικός, με πληροφορίες που δεν ήταν δυνατόν να αναγνωσθούν.
- Τα πεδία εισαγωγής τιμών σε κόμβους μπορούσαν εύκολα να διαγραφούν κατά λάθος, υποχρεώνοντας τον χρήστη να ξεκινήσει από την αρχή.
- Υπήρχε σπατάλη χώρου για τις πληροφορίες χρήσης του εργαλείου, εις βάρος της παρουσίασης και δημιουργίας του δικτύου από έναν χρήστη, συνεπώς περιορισμένος χώρος αποτύπωσης του δικτύου.



Εικόνα 3: γραφικό περιβάλλον του CP Net visualizer κατά την χρήση του

Για τους προαναφερόμενους λόγους προβλημάτων που παρουσιάστηκαν αλλά και για την επιτυχημένη διεκπεραίωση της μελέτης της διατριβής που παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο, δεν προτιμήθηκε η χρήση της συγκεκριμένης εφαρμογής και γεννήθηκε η ανάγκη δημιουργίας ενός νέου εργαλείου αποτύπωσης CP δικτύων που να καλύπτει τουλάχιστον τις βασικές προδιαγραφές χρήσης χωρίς τα προβλήματα αυτά και με μεγαλύτερη ευχρηστία. Η εφαρμογή αυτή παρουσιάζεται στην συνέχεια στο υποκεφάλαιο 5.2.

Κεφάλαιο 5

Πείραμα και Μεθοδολογία

Κεντρικός στόχος της παρούσης εμπειρικής έρευνας είναι να δειχθεί ή να απορριφθεί το κατά πόσο τα δίκτυα προτιμήσεων που αναπαρίστανται με γραφικό τρόπο, μπορούν να αποτυπώσουν σωστά τα δεδομένα προτιμήσεων που δίνονται από ανθρώπους χρήστες και κατά πόσο οι επιλογές τους σε ένα σύνολο προτιμήσεων που συνεπάγονται διαφανώς, αντικατατροπτίζουν πράγματι την δημιουργία του δικτύου τους και με ποια ακρίβεια.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τόσο τα βήματα του πειράματος που αποφασίστηκε να πραγματοποιηθεί, όσο και η μεθοδολογία του σε κάθε στάδιο καθώς και τα πρότυπα εργαλεία που υλοποιήθηκαν για την επιτυχημένη ολοκλήρωση της έρευνας.

5.1 Καταγραφή βημάτων του πειράματος

Για να επιτευχθεί ο προαναφερόμενος στόχος ακολουθήθηκαν συνοπτικά τα παρακάτω βήματα:

1. Δημιουργία εφαρμογής για την αποτύπωση ενός CP δικτύου με γραφικό τρόπο, που δίνει την δυνατότητα σε χρήστες, να εισάγουν τις προτιμήσεις τους με ευκολία.
2. Προετοιμασία δεδομένων πειράματος: επιλογή μιας κατηγορίας εικόνων και ενός συνόλου χαρακτηριστικών όπως και τις τιμές αυτών τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στο βήμα 3 του πειράματος.
3. Δημιουργία νέας εφαρμογής που παρουσιάζει ένα σύνολο εικόνων στους χρήστες που αντιστοιχεί με τις επιλογές που μπορούν να έχουν στην διάθεση τους και προσαρμογή των ρυθμίσεων της εφαρμογής του βήματος 1 έτσι ώστε και οι δύο εφαρμογές να είναι σε λογική συσχέτιση μεταξύ τους.
4. Διεξαγωγή αποτύπωσης δικτύων και προτιμήσεων με την συμμετοχή από ομοιογενείς χρήστες σε δύο διαφορετικά στάδια. Στο πρώτο στάδιο

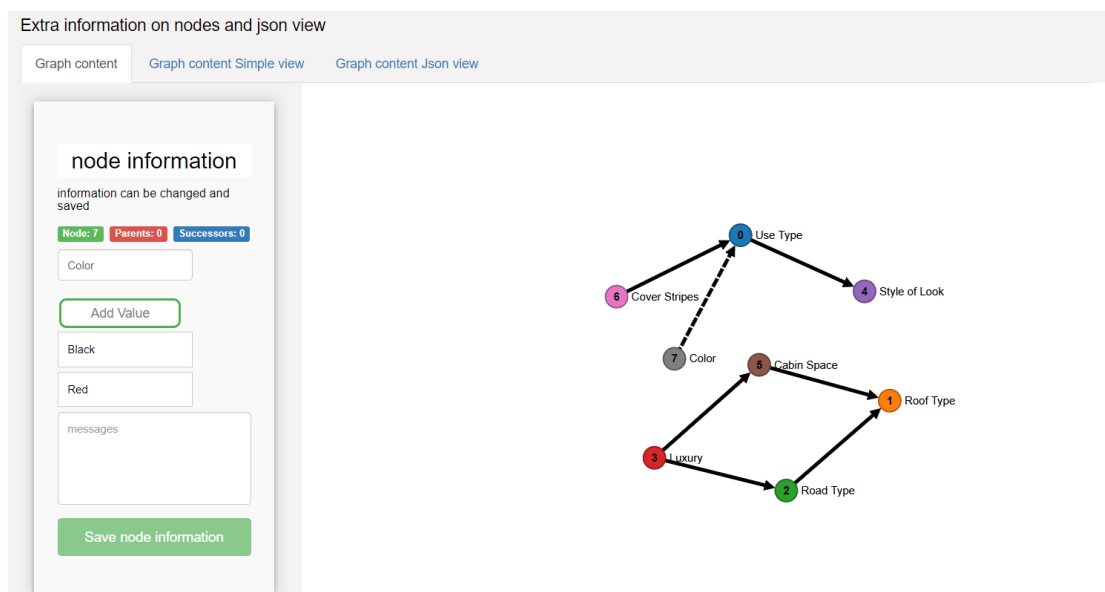
δημιούργησαν CP δίκτυα που αποτυπώνουν τις προτιμήσεις τους και στο δεύτερο στάδιο επέλεξαν από ζεύγη εικόνων εκείνες που προτιμούν.

5. Δημιουργία εφαρμογής συλλογισμού (reasoning) για δεδομένα χρηστών, όπως και λοιπά εργαλεία για τον έλεγχο, την κατηγοριοποίηση και την υποστήριξη κατά την αξιολόγηση των δεδομένων των χρηστών που αποθηκεύτηκαν από τις εφαρμογές που αναφέρθηκαν στα βήματα 1 και 3.

5.2 Εφαρμογή αποτύπωσης ενός CP δικτύου με γραφικό τρόπο

5.2.1 Περιβάλλον εφαρμογής

Για τους λόγους που αναφερθήκαν στο κεφάλαιο 4.3.3, υπήρξε ανάγκη δημιουργίας ενός νέου εργαλείου αποτύπωσης CP δικτύων που να καλύπτει τουλάχιστον τις βασικές προδιαγραφές χρήσης χωρίς προβλήματα και με στόχο την ευχρηστία. Η πρότυπη εφαρμογή αυτή δημιουργήθηκε εξολοκλήρου από την αρχή και στην συνέχεια παρουσιάζεται με έμφαση στο λειτουργικό κομμάτι που είναι σημαντικό για την επίτευξη του πειράματος και όχι τόσο στο προγραμματιστικό κομμάτι και τις βιβλιοθήκες που χρησιμοποιήθηκαν, τα οποία και αναφέρονται σε υποκεφάλαιο στο τέλος του κεφαλαίου 5. Μια εικόνα της εφαρμογής αυτής παρουσιάζεται εδώ και στην συνέχεια εξηγούνται τα επιμέρους της στοιχεία:



Σχήμα 4: το interface της εφαρμογής

Μαθαίνοντας από τα προβλήματα που εμφανίστηκαν στην εφαρμογή CP-Net-Visualizer, στο σχεδιασμό και υλοποίηση της, προβλέφθηκε η δημιουργία κόμβων και ακμών να είναι απλή με την χρήση του ποντικιού καθώς και το περιβάλλον να είναι λιτό από περιττές πληροφορίες. Η δημιουργία ενός κόμβου ή ακμής στον διαθέσιμο χώρο γίνεται με ένα κλικ, ο κάθε διαφορετικός κόμβος χρωματίζεται αυτόματα με ένα ξεχωριστό χρώμα και η πληροφορία που περιέχει είναι ένας αύξων αριθμός που επισημαίνει την χρονική σειρά δημιουργίας του κόμβου και το δίπλα του το όνομα του. Αντίστοιχα μια κατευθυνόμενη ακμή μεταξύ δύο κόμβων γίνεται με την επιλογή του ενός και «σύρσιμο» προς την κατεύθυνση του άλλου όπου συνδέονται αυτόματα μεταξύ τους μέσω της ακμής αυτής.

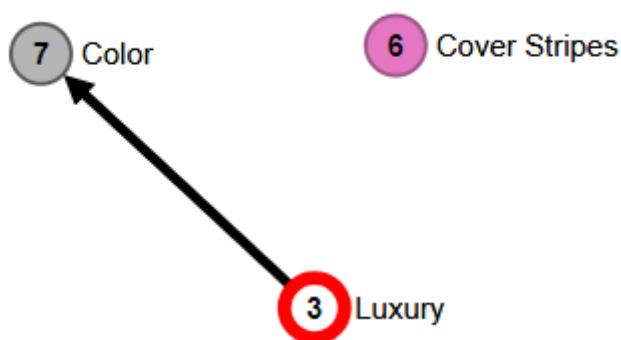
Κάθε επιλογή σε ένα κόμβο τονίζει ή αλλάζει ελαφρώς το χρώμα του και παράλληλα τονίζει με εμφανή τρόπο τους γονικούς του κόμβους (με έντονο κόκκινο περίγραμμα γύρω από αυτούς) ενώ η επιλογή σε μια ακμή την κάνει να φαίνεται διακεκομμένη. Οποιαδήποτε διαγραφή ενός κόμβου ή ακμής γίνεται απλά με το κουμπί delete.

Όλος ο παρεχόμενος χώρος είναι κάτω από συνθήκες «φυσικής» έτσι ώστε ο χρήστης να μπορεί να μεταφέρει ολόκληρο τον γράφο ή μέρος του, με drag n' drop στην θέση που τον διευκολύνει να εργαστεί, ενώ οποιαδήποτε διαγραφή και μέσω του μηχανισμού «φυσικής» που διαθέτει, προκαλεί την ανακατάταξη των αντικειμένων του γράφου. Επίσης όλα τα αντικείμενα διατηρούν από «μόνα» τους τις αποστάσεις μεταξύ τους ώστε να είναι όλα πιο ευδιάκριτα. Η εφαρμογή επιτρέπει την δημιουργία ακμών διπλής κατεύθυνσης και κύκλων μεταξύ των κόμβων ενώ μπορεί να υποστηρίξει την ευχρηστία της ακόμη και σε ένα μεγάλο πλήθος κόμβων και ακμών.

Στα αριστερά υπάρχει πλαίσιο έτσι ώστε, για κάθε επιλογή σε έναν κόμβο, ένας χρήστης να μπορεί να διαβάσει ή να εισάγει τα ονόματα των χαρακτηριστικών που επιθυμεί. Για κάθε ένα κόμβο επίσης, έχει την δυνατότητα να διαβάσει, να εισάγει, να διαγράψει, ή να αλλάξει τις τιμές ενός κόμβου και τέλος να αποθηκεύσει την κατάσταση που επιθυμεί για κάθε κόμβο ξεχωριστά. Ο χώρος της παρουσίασης και δημιουργίας δικτύων είναι σχεδόν μια «οθόνη» ανάλογα με την ανάλυση οθόνης στο κάθε σύστημα που εκτελείται. Στο επάνω και κάτω μέρος της περιοχής αυτής υπάρχουν διάφορες λειτουργίες για τις ανάγκες του πειράματος που παρουσιάζονται στο επόμενο υποκεφάλαιο ως λειτουργικότητες.

5.2.2 Λειτουργικότητα εφαρμογής

Μια λογική συσχέτιση δύο χαρακτηριστικών υλοποιείται ως συσχέτιση μεταξύ δύο κόμβων με μια κατευθυνόμενη ακμή, η οποία κατεύθυνση αυτή, ορίζει από ποιες τιμές ενός χαρακτηριστικού, εξαρτώνται οι προτιμήσεις του χρήστη για τις τιμές ενός άλλου χαρακτηριστικού που έχει στην διάθεση του. Δηλαδή, οι ακμές στο δίκτυο που αντιπροσωπεύει ο γράφος, συμβολίζουν εξάρτηση προτιμήσεων στις τιμές των χαρακτηριστικών μεταξύ τους. Έτσι η δημιουργία ακμής από έναν κόμβο Α προς έναν άλλο κόμβο Β, σημαίνει ότι οι προτιμήσεις του κόμβου Β εξαρτώνται από τις τιμές του κόμβου Α. Ένα παράδειγμα:



Σχήμα 5: Ο κόμβος 3 είναι γονικός κόμβος του 7.

Η σύνδεση στο αμέσως πιο πάνω σχήμα, σημαίνει ότι, οι προτιμήσεις στις τιμές που επιλέγει ένας χρήστης για τον κόμβο 7, εξαρτώνται από τις τιμές που περιέχει ο κόμβος 3.

Πέρα από την ευχρηστία που έπρεπε να παρέχει ένας γραφικός τρόπος κατά την δημιουργία ενός γράφου που απεικονίζει κάποια χαρακτηριστικά και τις τιμές τους, έπρεπε και υλοποιήθηκε επίσης και ένας τρόπος έτσι ώστε ο χρήστης να μπορεί να δείξει τις προτιμήσεις του. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την επιλογή του χρήστη σε έναν κόμβο και στην συνέχεια να μεταβεί χαμηλότερα στην οθόνη όπου του παρουσιάζετε ένας πίνακας για την επιλογή της προτίμησης του σε σχέση με τους γονείς που έχει ο κόμβος που επέλεξε. Αν ένας κόμβος δεν έχει γονείς, τότε μπορεί να επιλέξει τις προτιμήσεις που έχει για τις τιμές που έχει αυτός ο κόμβος.

Ο τρόπος που ο χρήστης μπορεί να αποτυπώσει τις προτιμήσεις του για κάθε κόμβο που εξαρτάται ή μη από άλλους κόμβους, παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα:

Conditional Preference Table

Node: (7) | (Color) | values:

Black | Red

Parent node: (3) | (Luxury) values:

Super Car | Affordable

Node (7) | (Color) conditional preferences:

Parent values combinations		Node preferences
1	Super Car	Red > Black
2	Affordable	Black > Red
		Save node preferences

Εικόνα 4: Πίνακας καταγραφής προτίμησης ενός χρήστη

Σύμφωνα με το προηγούμενο σχήμα που είναι απόσπασμα από το πείραμα που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα και αναπαριστά ένα δίκτυο όπου ένας χρήστης καταγράφει τον τρόπο που επιλέγει ένα όχημα από ένα άλλο, ο χρήστης επέλεξε στην γραμμή 1, ότι για το χαρακτηριστικό με όνομα Luxury όχημα και την τιμή Super Car, τότε προτιμά το όχημα να είναι κόκκινο, περισσότερο από μαύρο. Αντίστοιχα στην γραμμή 2, για το χαρακτηριστικό με όνομα Luxury, και την περίπτωση που το όχημα είναι προσιτό οικονομικά (Affordable) τότε προτιμά να είναι μαύρο, περισσότερο από κόκκινο. Στην επόμενη εικόνα:

Extra information on nodes and json view

Graph content

Graph content Simple view

Graph content Json view

Total nodes: 8

Updated nodes:

id:0 | reflexive: false | parents: [6,7] | successors: [4] | name: "Use Type" | values: ["Rally","Normal"]

> combinations: ["50","51"]

> selections: ["1","0"]

id:1 | reflexive: false | parents: [2,5] | successors: [] | name: "Roof Type" | values: ["Open roof","Hard top"]

> combinations: ["2050","2051","2150","2151"]

> selections: ["1","0","1","0"]

id:2 | reflexive: false | parents: [] | successors: [1] | name: "Road Type" | values: ["Off Road","Street"]

Εικόνα 5: παρουσίαση πληροφορίας με ευανάγνωστο τρόπο

Οι λειτουργίες που υπάρχουν στο επάνω μέρος της οθόνης, αφορούν την παρουσίαση της πληροφορίας του CP δικτύου με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε, στο πλαίσιο “Graph content simple” να δίνονται με ευανάγνωστο τρόπο και στο πλαίσιο “Graph content Json view” να φαίνονται οι τελικές πληροφορίες όπως αυτές αποθηκεύονται από την εφαρμογή.



Εικόνα 6: παρουσίασης πληροφορίας του δικτύου όπως αυτή αποθηκεύεται

Οι δοκιμές καλής ευχρηστίας και λειτουργικότητας έγιναν επαναληπτικά τόσο από τον συγγραφέα της παρούσης διατριβής όσο και από τον υπεύθυνο καθηγητή αλλά και τυχαίους χρήστες, έτσι ώστε να μειωθεί στο ελάχιστο η πιθανότητα αποτυχίας της διεξαγωγής του πειράματος λόγω προβλημάτων που μπορούν να παρουσιαστούν κατά την χρήση της από τους συμμετέχοντες στο στάδιο του πειράματος που αναφέρεται στο υποκεφάλαιο 5.3.1.

Ακολούθησε εμφανώς και με επιτυχία τις προδιαγραφές και λειτουργικότητες που πρέπει να παρέχει μια εφαρμογή δημιουργίας CP δικτύων προς χρήστες, οι οποίοι δεν χρειάζεται να έχουν ιδιαίτερη γνώση χρήσης υπολογιστικών συστημάτων ή γνώση του ίδιου του αντικειμένου που ασχολείται η μελέτη αυτή, αλλά να μπορούν απλά και εύκολα να αποτυπώσουν τον τρόπο με τον οποίο σκέφτονται όταν αποφασίζουν για τις προτιμήσεις τους μεταξύ δύο αντικειμένων.

5.2 Προετοιμασία δεδομένων πειράματος

Στην συνέχεια και κατόπιν έρευνας και καταγραφής, έγινε επιλογή μιας κατηγορίας εικόνων, του συνόλου των χαρακτηριστικών τους καθώς και του συνόλου των τιμών τους, ως δεδομένα με τα οποία πραγματοποιήθηκε το τρίτο στάδιο του πειράματος.

5.2.1 Σύνολο εικόνων, χαρακτηριστικά και τιμές χαρακτηριστικών

Πιο συγκεκριμένα και σε συσχέτιση με το επόμενο στάδιο του πειράματος, όπου οι χρήστες συμμετείχαν με την επιλογή μιας εικόνας που προτιμούν από ένα ζεύγος εικόνων που τους παρουσιαζόταν κάθε φορά, προτιμήθηκε το θέμα των εικόνων να είναι τα αυτοκίνητα. Βασικοί συντελεστές αυτής της απόφασης ήταν ότι α) στα αντικείμενα επιλογής θα πρέπει οποιοσδήποτε χρήστης-άνθρωπος να έχει μια άποψη και β) ότι οι χρήστες που προθυμοποιήθηκαν και συμμετείχαν στην διεξαγωγή του πειράματος ήταν ήδη γνωστό ότι είχαν νεαρές ηλικίες (από 18 έως 25) και ήταν ανδρικού φύλλου. Έτσι θα διασφαλιζόταν εν μέρει η ενεργή και θετική συμμετοχή σε αυτό το κρίσιμο στάδιο, η οποία θα μπορούσε να είναι πιο χαλαρή σε περιπτώσεις όπου τα αντικείμενα επιλογής θα ήταν αδιάφορα ή θα απαιτούσαν ειδικές γνώσεις.

Για τους σκοπούς της έρευνας, επιλέχθηκαν οκτώ (8) χαρακτηριστικά σε είκοσι (20) εικόνες οχημάτων και δεκαέξι (16) τιμές, δύο σε κάθε χαρακτηριστικό, έτσι ώστε κάποια χαρακτηριστικά να είναι εμφανή σε ένα όχημα περισσότερο από ένα άλλο, καθώς επίσης και κάθε εικόνα να έχει μια μοναδική ταυτότητα ως ένα σύνολο των τιμών των χαρακτηριστικών που την περιγράφουν. Δηλαδή, κάθε τιμή ενός χαρακτηριστικού προσδιορίζεται από ένα bit (0 ή 1) και μια εικόνα περιγράφεται από μια σειρά 8 bits που την καθιστά μοναδική στο σύνολο των οχημάτων που επιλέγει κάποιος χρήστης. Παράδειγμα ταυτότητας μιας εικόνας: 11010010.

Τα τελικά χαρακτηριστικά οχημάτων που επιλέχθηκαν και οι τιμές που μπορούν να πάρουν αντίστοιχα, είναι τα εξής:

1. Είδος οχήματος (κανονικό / αγωνιστικό) / Αγγλικά: *Use Type (Rally / Normal)*
2. Είδος οροφής (κάμπριο / κλειστή) / Αγγλικά: *Roof Type (Open roof / Hard top)*
3. Είδος κίνησης στον δρόμο (Εντός και εκτός δρόμου/ Εντός δρόμου) / Αγγλικά: *Road Type (Off Road / Street)*

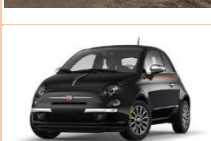
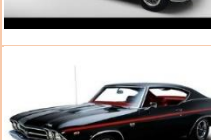
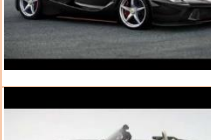
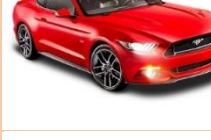
4. Κόστος οχήματος (Super Car / Προσιτό) / Αγγλικά: *Luxury (Super Car / Affordable)*
5. Στυλ εμφάνισης οχήματος (Κλασσικό / Μοντέρνο) / Αγγλικά: *Style of Look (Classic / Modern)*
6. Χώρος οχήματος (Coupe 2-πορτο / Οικογενειακό 4/5-πορτο) / Αγγλικά: *Cabin Space (Family / Coupe)*
7. Λωρίδες στο σασί (Με Λωρίδες/ Χωρίς Λωρίδες) / Αγγλικά: *Cover Stripes (With Stripes / No Stripes)*
8. Βασικό χρώμα οχήματος (Μαύρο / Κόκκινο) / Αγγλικά: *Color (Black / Red)*

Αναφέρθηκαν επιπλέον οι αγγλικές ονομασίες στα παραπάνω χαρακτηριστικά, διότι κατόπιν συμφωνίας με τον επιβλέποντα καθηγητή, η βασική γλώσσα εκτέλεσης της εφαρμογής δημιουργίας δικτύου επιλέχθηκε να είναι τα Αγγλικά με στόχο την ανάρτηση της on line και την ελεύθερη χρήση της προς όλους τους ενδιαφερόμενους επισκέπτες της πριν και μετά την ολοκλήρωση του πειράματος.

5.2.1 Πίνακας παρουσίασης συνολικών χαρακτηριστικών

Στην συνέχεια παρουσιάζεται συγκεντρωτικός πίνακας παρουσίασης όλων των τελικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτό το στάδιο της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε:

Εικόνα	Properties - Variables																
	Use Type		Roof type		Road Type		Luxury		Style		Space		Cover Stripes		Color		Total
	Rally	Normal	Open roof	Hard top	Off road	Street	Super Car	Affordable	Classic	Modern	Family 4/5-2 Doors	Yes	No	Black	Red		
		1		1		1	0			1	1		1	0		8	
		1		1	0			1		1	0		1	0		8	

	0		1	1	1	1	1	1	1	0		8
	1		1		1	1	1	0		1	0	8
	1		1	0		1	1	1		1	0	8
	1		1		1	1	1	1	0		0	8
	1	0			1	1	0		1	1	0	8
	1		1		1	1	0		1	0	0	8
	1	0			1	0		1	1	1	0	8
	1	0			1	1	1	1	1	1	0	8
	1		1		1	1	1	1	1		1	8
	1		1		1	1	1	0	0		1	8
	1		1	0		1	1	0		1	1	8

		1	0			1		1		1		1		1		8
		1	0			1		1	0			1		1		8
		1		1		1		S1		1	0			1		8
		1		1		1		1		1		1	0			8
	0			1		1		1		1		1		1		8
		1		1	0			1		1	0			1		8
		1		1		1	0			1		1		1		8

Πίνακας 2: συγκεντρωτική παρουσίαση τελικών δεδομένων σταδίου προετοιμασίας

Οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν, επιλέχθηκαν από το internet και συνοδεύονται από δικαιώματα της ελεύθερης χρήσης τους.

5.3 Εφαρμογή παρουσίασης εικόνων σε χρήστες προς επιλογή των προτιμότερων

5.3.1 Περιβάλλον εφαρμογής

Και εδώ το περιβάλλον δημιουργήθηκε με στόχο την εύκολη διεξαγωγή του σταδίου του πειράματος. Υλοποιήθηκε κατάλληλα για να εκτελείται στο web ώστε να διευκολύνει τους χρήστες να συμμετέχουν απομακρυσμένα καθώς επίσης να

διατηρηθεί η ανωνυμία τους και να ολοκληρωθεί με όσο το δυνατόν λιγότερες ενέργειες εκ μέρους τους. Μια εικόνα της εφαρμογής παρουσιάζεται εδώ:

Έρευνα - Research

5. * Ποιο όχημα θα επιλέγατε από τα παρακάτω; (r010: Normal, Hard Top, Street, Super Car, Modern, 2 Doors Coupe, No Cover Stripes, Red) / (r007: Normal, Hard Top, Street, Affordable, Modern, 2 Doors Coupe, With Cover Stripes, Red)



[r010,11101111] r007,11111101



[r007,11111101] r010,11101111

Σελίδα 3 από
381

Εικόνα 7: εφαρμογή παρουσίασης επιλογής ενός αντικειμένου που προτιμά ένας χρήστης

Τα ζεύγη εικόνων που παρουσιάζει η εφαρμογή είναι τυχαία κάθε φορά και για κάθε εκτέλεση της. Στην πάνω θέση της παρουσίασης στην οθόνη, μαζί με την τυπική ερώτηση, παρουσιάζονται οι τιμές των χαρακτηριστικών από αριστερά προς τα δεξιά και για κάθε εικόνα αντίστοιχα. Επιλέχθηκε η παροχή αυτής της πληροφορίας, διότι το συνολικό πλήθος ερωτήσεων, -δηλαδή τα συνολικά ζεύγη εικόνων που εμφανίζονται στον χρήστη- είναι 380 και η πληροφορία αυτή διευκολύνει στο συνειρμό της σκέψης και κατά συνέπεια της επιλογής του, σύμφωνα με το δίκτυο αναπαράστασης προτιμήσεων που δημιουργήσε.

Στην συνέχεια, στο κέντρο της εφαρμογής, παρουσιάζονται οι τυχαίες εικόνες με κάποιες συνοδευτικές πληροφορίες κάτω από αυτές, που αφορούν την διαφάνεια της πληροφορίας που αποθηκεύεται για κάθε επιλογή του χρήστη, όμως δεν έχουν οποιαδήποτε χρησιμότητα για τον ίδιο, πλην της ίδιας της εφαρμογής. Τέλος, στο κάτω μέρος, εμφανίζεται μια μπάρα προόδου που επισημαίνει την πρόοδο ολοκλήρωσης των ερωτήσεων του πειράματος.

5.3.1 Λειτουργικότητα εφαρμογής παρουσίασης εικόνων

Ο χρήστης, το μόνο που έχει να κάνει, είναι να επιλέξει με ένα κλικ την εικόνα που προτιμά και η εφαρμογή παρουσιάζει αυτόματα το αμέσως επόμενο τυχαίο ζεύγος.

Παράλληλα καταγράφει την προτίμηση του χρήστη, αποθηκεύοντας την πληροφορία της εικόνας σύμφωνα με την περιγραφή που δόθηκε στο υποκεφάλαιο 5.3.2 καθώς επίσης και ποια ήταν η αντίστοιχη εικόνα που παρουσιάστηκε μαζί της. Αυτό βοήθησε στην περεταίρω ανάλυση των προτιμήσεων που θα παρουσιαστεί στο κεφάλαιο 6. Ως μέτρο για την αποφυγή επιπόλαιας συμπεριφοράς του χρήστη και την όποια λανθασμένη συμμετοχή μιας πληροφορίας χωρίς νόημα στο στάδιο του συλλογισμού, αποφασίστηκε κάθε ζεύγος να παρουσιάζεται δύο φορές, δηλαδή αν ένα ζεύγος εικόνων έχει τις θέσεις A και B, τότε μια επόμενη τυχαία φορά, να παρουσιαστεί και στις θέσεις B και A.

Με την επιλογή μιας προτίμησης του χρήστη σε ένα ζευγάρι εικόνων, η εφαρμογή δεν παρέχει την δυνατότητα στον χρήστη να επιστρέψει και να αλλάξει την προτίμηση του και αυτό έγινε εσκεμμένα, ώστε να καταγραφούν τόσο οι αυθόρμητες επιλογές του όσο και για να τονιστεί η προσοχή του σε κάθε επόμενη επιλογή του. Τέλος με την ολοκλήρωση των ερωτήσεων, παρουσιάζονται οι συνολικές πληροφορίες που καταγράφηκαν προς διάθεση του αλλά και προς διάθεση της παρούσης έρευνας.

5.4 Διεξαγωγή αποτύπωσης CP δικτύων και καταγραφή προτιμήσεων από χρήστες

Στην συνέχεια, ολοκληρώθηκε το στάδιο αποτύπωσης CP δικτύων από τους χρήστες εθελοντές, με χρήση της πρώτη εφαρμογής του πειράματος και η καταγραφή των προτιμήσεων τους με χρήση της δεύτερης υλοποιημένης εφαρμογής.

5.4.1 Χρήστες και τρόπος που συμμετείχαν στο πείραμα

Οι χρήστες που συμμετείχαν σε αυτό το στάδιο του πειράματος, επιλέχθηκαν από το επαγγελματικό περιβάλλον του συγγραφέα της διατριβής και ήταν ηλικίας από 18 έως 25 με εξαίρεση ενός επιπλέον ατόμου 35 ετών. Προσκλήθηκαν να συμμετέχουν σε δύο διαφορετικά στάδια, όπου το πρώτο αφορούσε την αποτύπωση του δικτύου τους, δηλαδή τον τρόπο με τον οποίο αποφασίζουν να επιλέξουν ένα όχημα που τους αρέσει περισσότερο από ένα άλλο και το δεύτερο στάδιο αφορούσε να επιλέξουν ποιο όχημα, από ένα ζεύγος οχημάτων, τους αρέσει περισσότερο σε συνολικά 380 ερωτήσεις επιλογής, όπως αναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο 5.3.1.

Συνολικά συμμετείχαν 12 άτομα και ο χρόνος που δόθηκε για την διεξαγωγή και ολοκλήρωση των δύο σταδίων του πειράματος, ήταν 2 εβδομάδες έτσι ώστε να υπάρχει ελευθερία χρόνου τόσο στην δημιουργία του δικτύου τους όσο και στο στάδιο επιλογής εικόνων. Εφόσον οι εφαρμογές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν στο διαδίκτυο, οι χρήστες μπορούσαν να συμμετέχουν απομακρυσμένα.

Στους περισσότερους από αυτούς, έγινε μια επίδειξη λειτουργίας των εφαρμογών και σε όλους αποστάλθηκε ηλεκτρονικό ταχυδρομείο με δισέλιδη βοηθητική πληροφορία, η οποία περιείχε και παραδείγματα χρήσης των εφαρμογών. Οι χρήστες με το πέρας της συμμετοχής τους, έστειλαν με απαντητικό ηλεκτρονικό ταχυδρομείο τις τελικές πληροφορίες που αποθήκευαν και παρείχαν ελεύθερα οι εφαρμογές.

Τέλος με την αποστολή των πληροφοριών, τους έγινε σύσταση να αποσταλεί και μια μικρή συνοδευτική απάντηση για την εντύπωση τους κατά την χρήση των εφαρμογών. Για μια ακόμη φορά, στόχος όλων των παραπάνω ενεργειών ήταν να διασφαλιστεί η εύρυθμη διεξαγωγή του πειράματος ώστε να ελαχιστοποιηθούν εκείνες οι περιπτώσεις που θα επηρέαζαν τα τελικά δεδομένα και θα τα έβγαζαν εκτός πλαισίου του πειράματος. Επίσης, στα πλαίσια ελέγχου καλής εκτέλεσης των διαδικασιών του πειράματος, στις εφαρμογές καταγραφής προτιμήσεων, συμμετείχαν και ο επιβλέπων καθηγητής και ο συγγραφέας της παρούσης διατριβής αλλά τα δεδομένα τους δεν χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση των αποτελεσμάτων του κεφαλαίου 6.

5.4.2 Ρυθμίσεις εφαρμογής αποτύπωσης CP δικτύων

Για το πρώτο στάδιο της συμμετοχής των χρηστών και στα πλαίσια της λογικής συσχέτισης με το δεύτερο στάδιο, τροποποιήθηκε κατάλληλα η πρώτη εφαρμογή ώστε να περιέχει έτοιμα τα 8 χαρακτηριστικά, δηλαδή τοποθετήθηκαν από την αρχή εκείνοι οι κόμβοι στον γράφο, που αναπαριστούν τα 8 χαρακτηριστικά των οχημάτων - εικόνων που οι χρήστες επέλεξαν στο δεύτερο στάδιο. Επίσης, στον αρχικό γράφο δόθηκαν έτοιμες και οι τιμές των χαρακτηριστικών αυτών, χωρίς όμως να περιέχεται καμία ακμή. Αυτό φαίνεται στην αμέσως επόμενη εικόνα:

node information

information can not be changed or saved at this research stage

Node: 0
Parents: 0
Successors: 0

Use Type

Add Value

Rally

Normal

messages

Save node information



Εικόνα 8: αρχική κατάσταση δημιουργίας CP δικτύου για το πείραμα

Παράλληλα απενεργοποιήθηκαν οι λειτουργίες προσθήκης νέων κόμβων ή και διαγραφής των ήδη τοποθετημένων, ώστε να διασφαλιστεί η καλή λειτουργία και να αποφευχθούν περιπτώσεις κακής χρήσης. Οι λειτουργίες προσθήκης και διαγραφής ακμών παρέμειναν κανονικά, όπως επίσης και η δυνατότητα να μπορούν οι χρήστες να αλλάζουν τις προτιμήσεις που καταγράφουν στο δίκτυο τους όσες φορές θέλουν. Στο δεύτερο στάδιο της συμμετοχής των χρηστών δεν έγινε απολύτως καμία επέμβαση προετοιμασίας.

5.5 Δημιουργία εφαρμογής συλλογισμού και λοιπά εργαλεία

Τέλος για τις ανάγκες του πειράματος, δημιουργήθηκε ολοκληρωμένη εφαρμογή και υλοποιήθηκε αλγόριθμος συλλογισμού (reasoning) που πρότειναν οι Dimopoulos et al [60]. Ο ψευδοκώδικας του αλγορίθμου που υλοποιήθηκε παρουσιάζεται στο Dimopoulos et al [60] και δοκιμάστηκε με επιτυχία σε διάφορα πειραματικά δεδομένα ελέγχου πριν το στάδιο τελικής χρήσης και εφαρμογής του στα δεδομένα των χρηστών του πειράματος. Η συνολική εφαρμογή υλοποιήθηκε στην γλώσσα Java 8 και σε περιβάλλον προγραμματισμού NetBeans. Δημιουργήθηκε έτσι ώστε, να μπορεί να συνεργαστεί κατάλληλα με τα δεδομένα που παράγουν οι δύο προαναφερόμενες εφαρμογές του πειράματος. Το σύνολο των λειτουργιών που παρέχει η συνολική εφαρμογή και με την σειρά εκτέλεσης τους κατά την χρήση της, είναι:

1. Δυνατότητα εισαγωγής πληροφορίας σε μορφή Json που αντιπροσωπεύει ένα CP δίκτυο και αναπαράσταση του εσωτερικά με αντικειμενοστραφή τρόπο, με χρήση κλάσεων και αντικειμένων.
2. Δυνατότητα εισαγωγής ενός εξωτερικού αρχείου σε μορφή κειμένου που αναπαριστά ένα σύνολο από προτιμήσεις ενός χρήστη κάτω από τις προδιαγραφές που αναφέρονται στο υποκεφάλαιο 5.3.2.
3. Αλγόριθμος reasoning με δυνατότητα απάντησης –ως έξοδο σε ένα αρχείο ή την κονσόλα- για ένα ζεύγος δεδομένων εισόδου A και B που αναπαριστά τις προτιμήσεις ενός χρήστη, ως ‘true’ για την περίπτωση που σύμφωνα με το δίκτυο εισόδου, το A προτιμάται περισσότερο από το B, ως ‘false’ για την περίπτωση που σύμφωνα με το δίκτυο εισόδου το B προτιμάται περισσότερο από το A και ως ‘?’ για την περίπτωση που ο αλγόριθμος συλλογισμού δεν μπορεί να πάρει απόφαση, εφόσον για παράδειγμα οι δύο αυτές προτιμήσεις δεν συνάδουν μεταξύ τους βάση του δικτύου τους.
4. Δυνατότητα ελέγχου δεδομένων εισόδου για την πληρότητα τους και στην συνέχεια ανακάλυψη και καταγραφή δευτερευόντων σχέσεων μεταξύ των προτιμήσεων ενός χρήστη για τις ανάγκες του πειράματος, όπως αυτές θα παρουσιαστούν στο κεφάλαιο 6 με τα αναλυτικά αποτελέσματα και συμπεράσματα.
5. Δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων προτίμησης περισσότερο του ενός χρήστες και ομαδοποίηση τους, καθώς και ανακάλυψη συσχέτισης των εξαγόμενων αποτελεσμάτων ώστε να διευκολυνθεί η ανάλυση και η εξαγωγή συμπερασμάτων στο παρόν πείραμα.

Όλα τα υπόλοιπα εργαλεία που δημιουργήθηκαν αφορούσαν τον «καθαρισμό» και βασικό έλεγχο των δεδομένων των προτιμήσεων των χρηστών, -αν και οι δύο πρώτες εφαρμογές τα αποθήκευαν ήδη ως κατάλληλα-, πριν την είσοδο τους στην εφαρμογή συλλογισμού, εφόσον αυτά αποστάλθηκαν ηλεκτρονικά και για τις περιπτώσεις που δεν παρελήφθησαν στην κατάλληλη μορφή, για παράδειγμα, κατά την πράξη αντιγραφής και επικόλλησης. Αυτά τα εργαλεία όπως και οι δύο πρώτες εφαρμογές υλοποιήθηκαν από την αρχή στην γλώσσα προγραμματισμού JavaScript έκδοσης EcmaScript 2018, χωρίς την χρήση τρίτων έτοιμων βιβλιοθηκών, πλην της βιβλιοθήκης D3.js που υποστηρίζει την «φυσική» συμπεριφορά των κόμβων στην εφαρμογή αποτύπωσης ενός CP δικτύου με γραφικό τρόπο.

Κεφάλαιο 6

Παρουσίαση, ανάλυση αποτελεσμάτων και συμπεράσματα

Στην συνέχεια στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται τα δεδομένα των χρηστών ατομικά και συνολικά και αναλύονται τα αποτελέσματα του πειράματος.

6.1. Παρουσίαση συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χρηστών που έλαβαν μέρος στα προηγούμενα στάδια του πειράματος. Οι χρήστες αναφέρονται αριθμητικά για την διατήρηση της ανωνυμίας τους. Παρουσιάζεται ο πρώτος συγκεντρωτικός πίνακας όπου οι στήλες του εξηγούνται αμέσως μετά.

Συμμετ έχων	Ζεύγη εικόνων	Άκυρα (ζεύγη)	% Άκυρα ζεύγη	% Έγκυρα ζεύγη	Ζεύγη Εισόδου	Ζεύγη TRUE	Ζεύγη FALSE	Συμφωνία προς συνολικά	Συμφωνία προς T & F	Χωρίς απόφαση	Χωρίς απόφαση. (%)
1	190	14	7,37%	92,63%	176	46	18	26,14%	71,88%	112	63,64%
2	190	43	22,63%	77,37%	147	20	17	13,61%	54,05%	110	74,83%
3	190	33	17,37%	82,63%	157	31	34	19,75%	47,69%	92	58,60%
4	190	20	10,53%	89,47%	170	39	33	22,94%	54,17%	98	57,65%
5	190	37	19,47%	80,53%	153	36	23	23,53%	61,02%	94	61,44%
6	190	5	2,63%	97,37%	185	42	28	22,70%	60,00%	115	62,16%
7	190	34	17,89%	82,11%	156	21	13	13,46%	61,76%	122	78,21%
8	190	39	20,53%	79,47%	151	31	31	20,53%	50,00%	89	58,94%
9	190	19	10,00%	90,00%	171	39	29	22,81%	57,35%	103	60,23%
10	190	34	17,89%	82,11%	156	43	28	27,56%	60,56%	85	54,49%
11	190	9	4,74%	95,26%	181	40	25	22,10%	61,54%	116	64,09%
12	190	26	13,68%	86,32%	164	53	10	32,32%	84,13%	101	61,59%

Πίνακας 3: παρουσίαση συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων 1

Εξηγούνται οι στήλες από τα αριστερά προς τα δεξιά:

1. Οι χρήστες που έλαβαν μέρος στο πείραμα αναπαρίστανται με ένα νούμερο.
2. Τα συνολικά ζεύγη που παρουσιάστηκαν στους χρήστες στο δεύτερο στάδιο του πειράματος ήταν 380 και αυτό γιατί περιείχαν και το «καθρέφτισμα»

τους. Συνεπώς τα πραγματικά ζεύγη προτιμήσεων που μελετήθηκαν στο πείραμα, ήταν 190 κάθε φορά.

3. Ως «Άκυρα» ζεύγη θεωρήθηκαν εκείνα τα ζεύγη του πειράματος όπου ένας χρήστης στην παρουσίαση ενός ζεύγους A και B εικόνων, επέλεξε την A και στην συνέχεια στο «καθρέφτισμα» του ως B και A, επέλεξε την B εικόνα, ακυρώνοντας έτσι το ζεύγος αυτό από περεταίρω ανάλυση.
4. Παρουσίαση της πληροφορίας (3) σε ποσοστά.
5. Παρουσίασης της πληροφορίας των έγκυρων ζευγών συναρτήσει της πληροφορίας (4).
6. Πλήθος των ζευγών που θεωρήθηκαν έγκυρα και εισήχθησαν στην εφαρμογή συλλογισμού.
7. Πλήθος των ζευγών στα οποία ο αλγόριθμος συλλογισμού απάντησε ως 'True' σύμφωνα με την περιγραφή που έγινε στο υποκεφάλαιο 5.5.
8. Πλήθος των ζευγών στα οποία ο αλγόριθμος συλλογισμού απάντησε ως 'False' σύμφωνα με την περιγραφή που έγινε στο υποκεφάλαιο 5.5.
9. Ποσοστό συμφωνίας του αλγόριθμου συλλογισμού βάση του CP δικτύου του χρήστη και του συνολικού πλήθους απαντήσεων του αλγόριθμου (δηλαδή του συνόλου 'true', 'false' και 'χωρίς απόφαση'.
10. Ποσοστό συμφωνίας όπως στο (9) αλλά προς το συνολικό πλήθος που το δίκτυο θα μπορούσε να πάρει μια απόφαση 'true' ή 'false'.
11. Ζεύγη προτιμήσεων όπου ο αλγόριθμος συλλογισμού δεν μπόρεσε να πάρει μια απόφαση είτε ως 'true' είτε ως 'false' σύμφωνα με το δίκτυο που έδωσε ο χρήστης.
12. Ποσοστό στα πλαίσια του (11) προς το έγκυρο πλήθος ζευγών εισόδου.

Η ανάλυση του προηγούμενου καθώς και του επόμενου πίνακα παρουσιάζεται σε επόμενο κεφάλαιο, αφού πρώτα δοθούν οπτικά στον αναγνώστη όλες οι πληροφορίες των αποτελεσμάτων, ώστε να έχει μια πρώτη συνολική εικόνα αυτών. Επίσης σε μια επιπλέον σελίδα, παρουσιάζονται γειτονικά και ο προηγούμενος και ο επόμενος πίνακας για την καλύτερη απεικόνιση των δεδομένων των αποτελεσμάτων του πειράματος.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται ο δεύτερος συγκεντρωτικός πίνακας όπου οι στήλες του εξηγούνται αμέσως μετά.

Συμμετέχων	Δίκτυο			Flipping Sequence επιτυχημένων μεταβάσεων				
	Ακμές							
	Σύνολο Ακμών	Σύνολο εξερχ.	Σύνολο εισερχ.	Συνολικά flips	Min flips	Max flips	Μέσος όρος flips	Διασπορά
1	14	7	7	86	1	4	1,86957	0,79697
2	18	8	10	34	1	3	1,70000	0,71414
3	16	8	8	65	1	4	2,09677	0,96235
4	22	11	11	78	1	4	2,00000	0,87706
5	12	6	6	74	1	4	2,05556	0,91118
6	12	6	6	86	1	4	2,04762	0,89847
7	10	5	5	33	1	3	1,57143	0,65983
8	17	9	8	67	1	4	2,16129	1,08052
9	16	8	8	82	1	4	2,10256	0,90000
10	8	5	3	116	1	5	2,69767	1,17206
11	18	9	9	80	1	4	2,00000	0,89443
12	12	6	6	110	1	4	2,07547	0,92856

Πίνακας 4: παρουσίαση συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων 2

Εξηγούνται οι στήλες από τα αριστερά προς τα δεξιά:

1. Οι χρήστες που έλαβαν μέρος στο πείραμα αναπαρίστανται με ένα νούμερο.
2. Το συνολικό πλήθος ακμών του CP δικτύου που δημιούργησε ο κάθε χρήστης αντίστοιχα.
3. Το συνολικό πλήθος εξερχομένων ακμών από κόμβους του CP δικτύου που δημιούργησε ο κάθε χρήστης αντίστοιχα.
4. Το συνολικό πλήθος εισερχόμενων ακμών σε κόμβους του CP δικτύου που δημιούργησε ο κάθε χρήστης αντίστοιχα.
5. Ως Flip ορίζεται μια μετατροπή μιας τιμής (για παράδειγμα από 0 σε 1 και το αντίστροφο) μιας τιμής μιας εισόδου προτίμησης (όπως αυτή περιεγράφηκε στα υποκεφάλαια 3.2 και 5.2.1) στον αλγόριθμο συλλογισμού, ώστε να ελεγχθεί αν μπορεί να μεταβεί από μια πρώτη κατάσταση προτίμησης, σε μια δεύτερη κατάσταση προτίμησης.
6. Το ελάχιστο πλήθος των flips σύμφωνα με το (5) για κάθε χρήστη.
7. Το μέγιστο πλήθος των flips σύμφωνα με το (5) για κάθε χρήστη.
8. Ο μέσος όρος των flips σύμφωνα με το (5) για κάθε χρήστη.
9. Η διασπορά των flips σύμφωνα με το (5) για κάθε χρήστη.

Στην συνέχεια δίνεται συνολικός συγκεντρωτικός πίνακας για την καλύτερη κατανόηση των δεδομένων των αποτελεσμάτων του πειράματος:

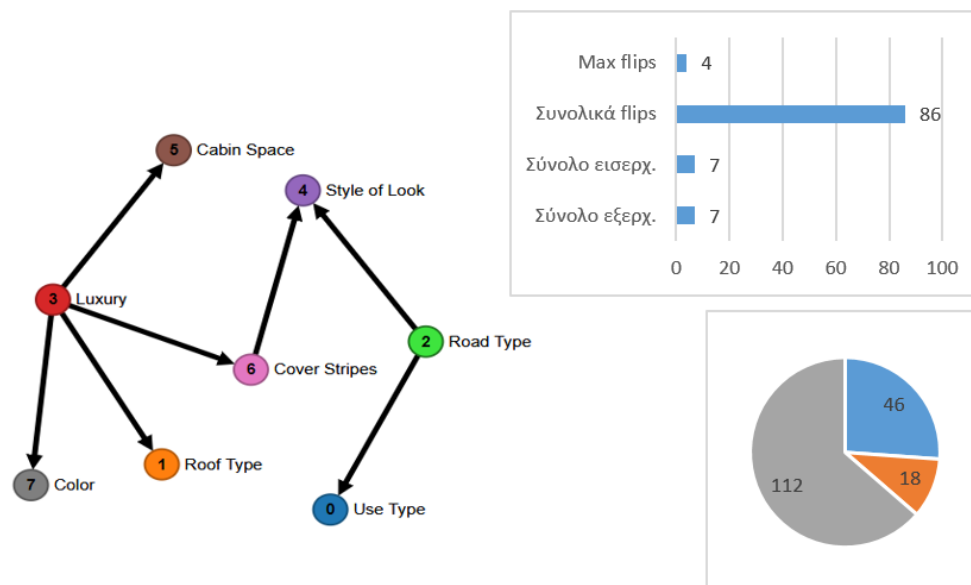
Συνολικά ζεύγη εικόνων: 380 Πραγματικά ζεύγη εικόνων: 190												Δίκτυο							
Αλγόριθμος συλλογισμού												Ακμές			Fliping Sequence επιτυχημένων μεταβάσεων				
	Ζεύγη εικόνων	Άκυρα (ζεύγη)	% Άκυρα ζεύγη	% Έγκυρα ζεύγη	Ζεύγη Εισόδου	Ζεύγη TRUE	Ζεύγη FALSE	Συμφωνία προς συνολικά	Συμφωνία προς T & F	Χωρίς απόφαση	Χωρίς απόφαση. (%)	Σύνολο Ακμών	Σύνολο εξερχ.	Σύνολο εισερχ.	Συνολικά flips	Min flips	Max flips	Μέσος όρος flips	Διασπορά
1	190	14	7,37%	92,63%	176	46	18	26,14%	71,88%	112	63,64%	14	7	7	86	1	4	1,86957	0,79697
2	190	43	22,63%	77,37%	147	20	17	13,61%	54,05%	110	74,83%	18	8	10	34	1	3	1,70000	0,71414
3	190	33	17,37%	82,63%	157	31	34	19,75%	47,69%	92	58,60%	16	8	8	65	1	4	2,09677	0,96235
4	190	20	10,53%	89,47%	170	39	33	22,94%	54,17%	98	57,65%	22	11	11	78	1	4	2,00000	0,87706
5	190	37	19,47%	80,53%	153	36	23	23,53%	61,02%	94	61,44%	12	6	6	74	1	4	2,05556	0,91118
6	190	5	2,63%	97,37%	185	42	28	22,70%	60,00%	115	62,16%	12	6	6	86	1	4	2,04762	0,89847
7	190	34	17,89%	82,11%	156	21	13	13,46%	61,76%	122	78,21%	10	5	5	33	1	3	1,57143	0,65983
8	190	39	20,53%	79,47%	151	31	31	20,53%	50,00%	89	58,94%	17	9	8	67	1	4	2,16129	1,08052
9	190	19	10,00%	90,00%	171	39	29	22,81%	57,35%	103	60,23%	16	8	8	82	1	4	2,10256	0,90000
10	190	34	17,89%	82,11%	156	43	28	27,56%	60,56%	85	54,49%	8	5	3	116	1	5	2,69767	1,17206
11	190	9	4,74%	95,26%	181	40	25	22,10%	61,54%	116	64,09%	18	9	9	80	1	4	2,00000	0,89443
12	190	26	13,68%	86,32%	164	53	10	32,32%	84,13%	101	61,59%	12	6	6	110	1	4	2,07547	0,92856

Πίνακας 5: Συνολικός πίνακας παρουσίασης συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων 3

6.2 Τα CP δίκτυα που δημιούργησαν οι χρήστες

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα CP δίκτυα, που δημιούργησαν οι δώδεκα χρήστες στην εφαρμογή του πρώτου σταδίου και από τις πληροφορίες εισόδου που έστειλαν, το πρόγραμμα συλλογισμού τα αναπαράστησε εκ νέου εσωτερικά:

Χρήστης 1:



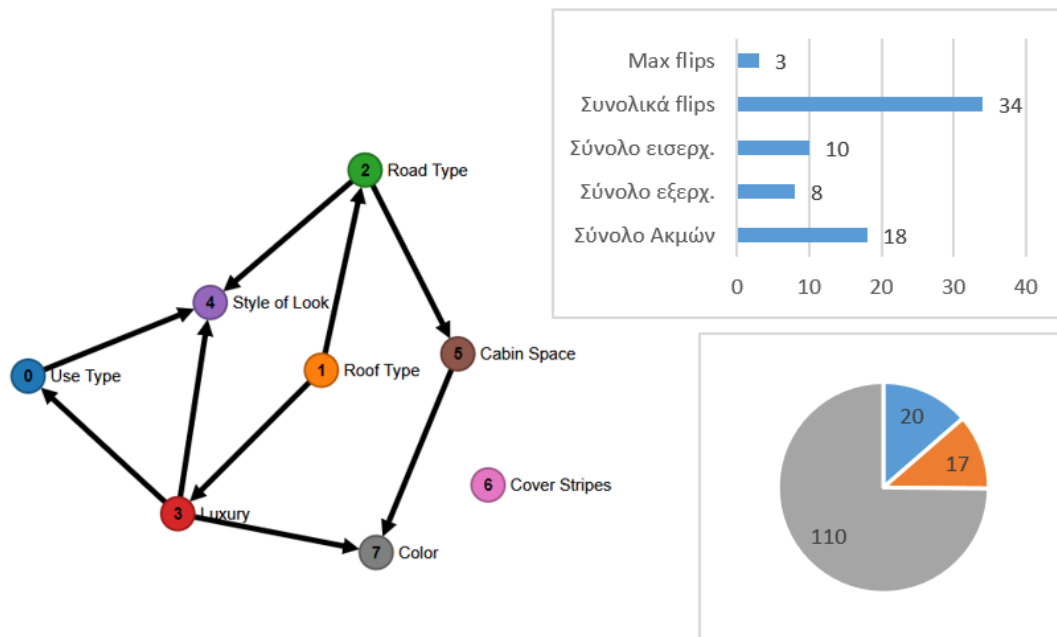
Σχήμα 6: CP δίκτυο χρήστη 1, πίνακας τιμών αλγ. συλλογισμού, πλήθος T, F, Συνολικά.

Ο χρήστης δημιούργησε ένα CP δίκτυο με 7 συνολικά ακμές (7 ως εισερχόμενες και 7 ως εξερχόμενες) και ο αλγόριθμος συλλογισμού σύμφωνα με αυτό, έλαβε 176 έγκυρα ζεύγη εισόδου συνολικά, από τα οποία στα 46 συμφώνησε με τον χρήστη, στα 18 ζεύγη έδειξε ότι ο χρήστης θα έπρεπε να διαλέξει την αντίθετη εικόνα από αυτή που επέλεξε και στα 112 δεν μπόρεσε να βγάλει μια απόφαση. Για τις συμφωνίες στις επιλογές του χρήστη και αλγόριθμου συλλογισμού χρειάστηκαν 86 flips συνολικά.

Σχετικά με τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου χρήστη, έγιναν οι εξής παρατηρήσεις:

- Ο χρήστης είχε το δεύτερο μεγαλύτερο πλήθος συμφωνίας (46 'true') των επιλογών του στις φωτογραφίες με τον αλγόριθμο συλλογισμού.
- Ο χρήστης είχε ένα ιδιαίτερο καλό ποσοστό έγκυρων ζευγών εισόδου προτιμήσεων 92,63%.

Χρήστης 2:



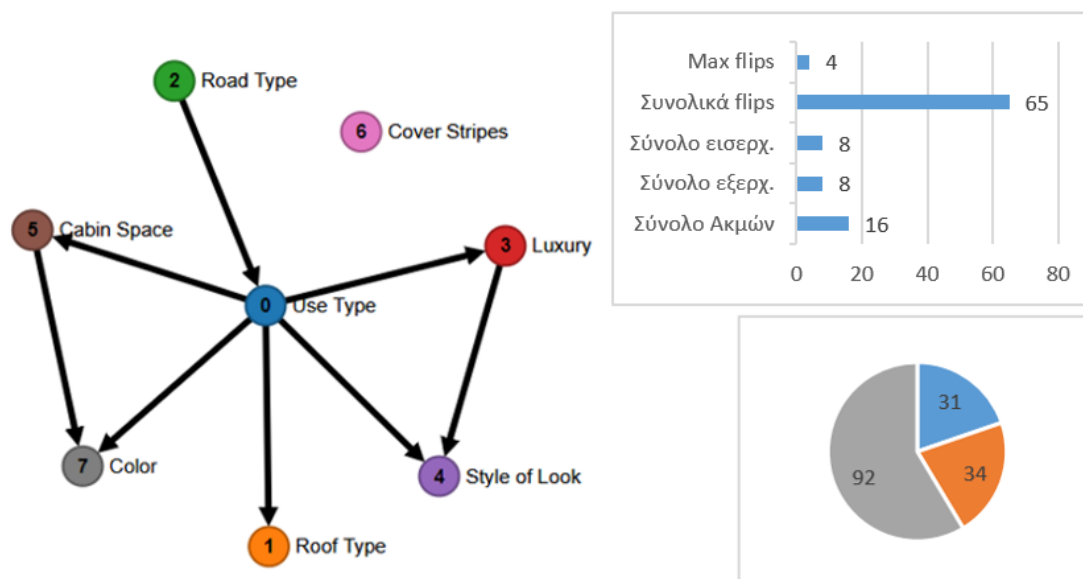
Σχήμα 7: CP δίκτυο χρήστη 2, πίνακας τιμών αλγ. συλλογισμού, πλήθος T, F, Συνολικά.

Ο χρήστης δημιούργησε ένα CP δίκτυο με 18 συνολικά ακμές (10 ως εισερχόμενες και 8 ως εξερχόμενες) και ο αλγόριθμος συλλογισμού σύμφωνα με αυτό, έλαβε 147 έγκυρα ζεύγη εισόδου συνολικά, από τα οποία στα 20 συμφώνησε με τον χρήστη, στα 17 ζεύγη έδειξε ότι ο χρήστης θα έπρεπε να διαλέξει την αντίθετη εικόνα από αυτή που επέλεξε και στα 110 δεν μπόρεσε να βγάλει μια απόφαση. Για τις συμφωνίες στις επιλογές του χρήστη και αλγόριθμου συλλογισμού χρειάστηκαν 34 flips συνολικά.

Σχετικά με τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου χρήστη, έγιναν οι εξής παρατηρήσεις:

- Ο χρήστης είχε το χαμηλότερο πλήθος συμφωνίας (20 'true') των επιλογών του στις φωτογραφίες με τον αλγόριθμο συλλογισμού.
- Ο χρήστης είχε το χαμηλότερο ποσοστό έγκυρων ζευγών εισόδου προτιμήσεων 92,63%.
- Ο χρήστης είχε ένα ιδιαίτερα μεγάλο πλήθος ζευγών προτιμήσεων στο οποίο ο αλγόριθμος συλλογισμού δεν μπόρεσε να πάρει μια απόφαση, αλλά όχι το μεγαλύτερο.

Χρήστης 3:



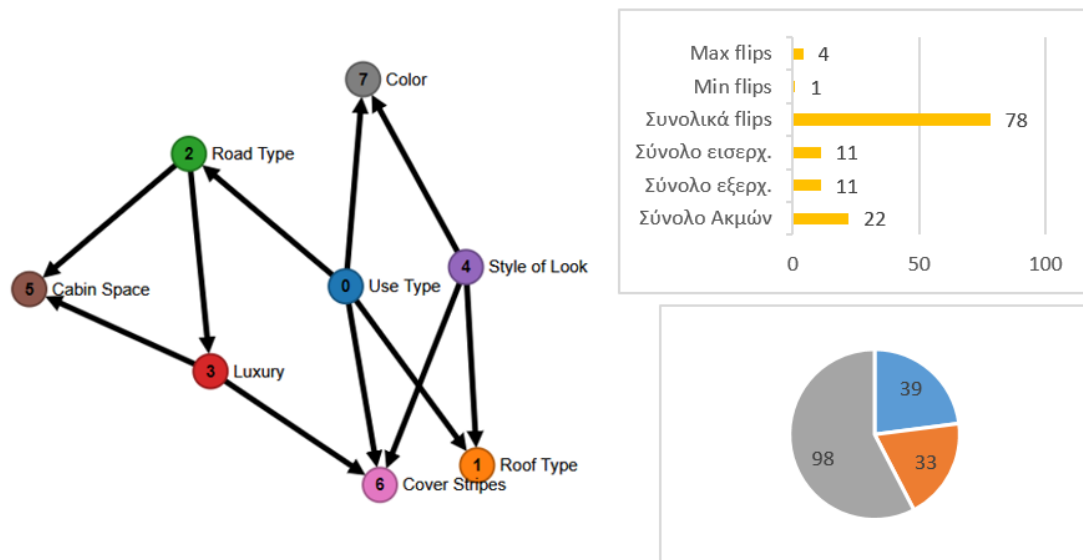
Σχήμα 8: CP δίκτυο χρήστη 3, πίνακας τιμών αλγ. συλλογισμού, πλήθος T, F, Συνολικά.

Ο χρήστης δημιούργησε ένα CP δίκτυο με 16 συνολικά ακμές (8 ως εισερχόμενες και 8 ως εξερχόμενες) και ο αλγόριθμος συλλογισμού σύμφωνα με αυτό, έλαβε 157 έγκυρα ζεύγη εισόδου συνολικά, από τα οποία στα 31 συμφώνησε με τον χρήστη, στα 34 ζεύγη έδειξε ότι ο χρήστης θα έπρεπε να διαλέξει την αντίθετη εικόνα από αυτή που επέλεξε και στα 92 δεν μπόρεσε να βγάλει μια απόφαση. Για τις συμφωνίες στις επιλογές του χρήστη και αλγόριθμου συλλογισμού χρειάστηκαν 65 flips συνολικά.

Σχετικά με τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου χρήστη, έγιναν οι εξής παρατηρήσεις:

- Ο χρήστης είχε το μεγαλύτερο πλήθος ασυμφωνίας με τον αλγόριθμο συλλογισμού και είναι ο μόνος που οι επιλογές του πήραν περισσότερες FALSE απαντήσεις από ότι TRUE απαντήσεις.
- Το δίκτυο του χρήστη περιείχε πλήθος ακμών (16) κοντά στον μέσο όρο (15) του συνόλου των ακμών των χρηστών.
- Επιπλέον τα έγκυρα ζεύγη του (82,63%) ήταν κοντά στον μέσο όρο των έγκυρων ζευγών (84,47) του συνόλου των χρηστών.
- Το δίκτυο του χρήστη είχε ένα σχετικά χαμηλό πλήθος απαντήσεων όπου ο αλγόριθμος συλλογισμού δεν μπόρεσε να πάρει μια απόφαση.

Χρήστης 4:



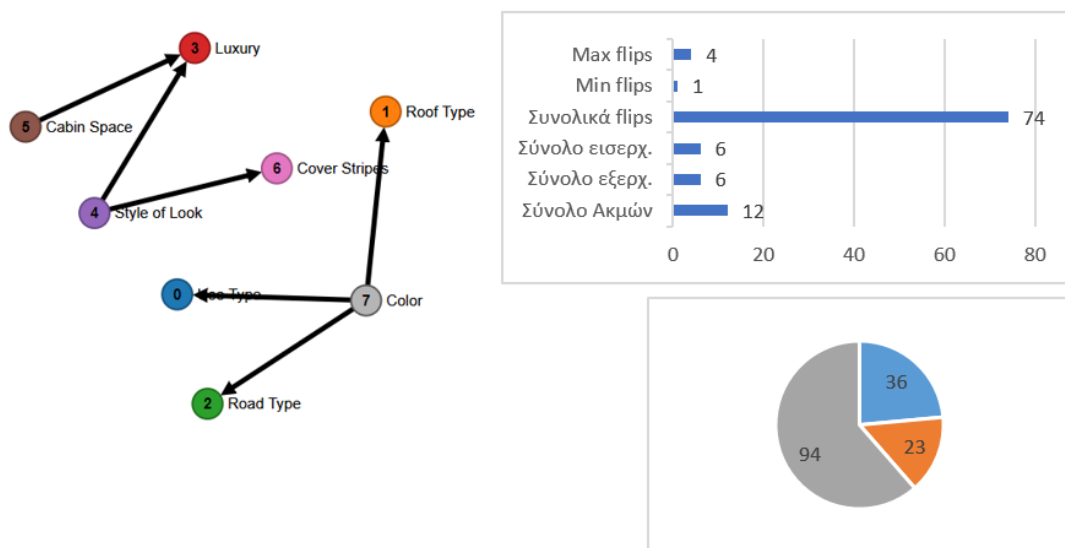
Σχήμα 9: CP δίκτυο χρήστη 4, πίνακας τιμών αλγ. συλλογισμού, πλήθος T, F, Συνολικά.

Ο χρήστης δημιούργησε ένα CP δίκτυο με 22 συνολικά ακμές (11 ως εισερχόμενες και 11 ως εξερχόμενες) και ο αλγόριθμος συλλογισμού σύμφωνα με αυτό, έλαβε 170 έγκυρα ζεύγη εισόδου συνολικά, από τα οποία στα 39 συμφώνησε με τον χρήστη, στα 33 ζεύγη έδειξε ότι ο χρήστης θα έπρεπε να διαλέξει την αντίθετη εικόνα από αυτή που επέλεξε και στα 98 δεν μπόρεσε να βγάλει μια απόφαση. Για τις συμφωνίες στις επιλογές του χρήστη και αλγόριθμου συλλογισμού χρειάστηκαν 78 flips συνολικά.

Σχετικά με τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου χρήστη, έγιναν οι εξής παρατηρήσεις:

- Ο χρήστης είχε το δεύτερο μεγαλύτερο πλήθος ζευγών όπου ο αλγόριθμος συλλογισμού απάντησε με 'false' (33) αν και το πλήθος που ο αλγόριθμος απάντησε με 'true' ήταν μεγαλύτερο από αυτό.
- Το δίκτυο του χρήστη είχε ένα σχετικά χαμηλό πλήθος απαντήσεων όπου ο αλγόριθμος συλλογισμού δεν μπόρεσε να πάρει μια απόφαση.
- Ο χρήστης είχε το μεγαλύτερο πλήθος ακμών (22) στο δίκτυο του από ότι οι άλλοι χρήστες.
- Ο χρήστης είχε ένα αρκετά καλό ποσοστό έγκυρων ζευγών προτιμήσεων εισόδου (170).

Χρήστης 5:



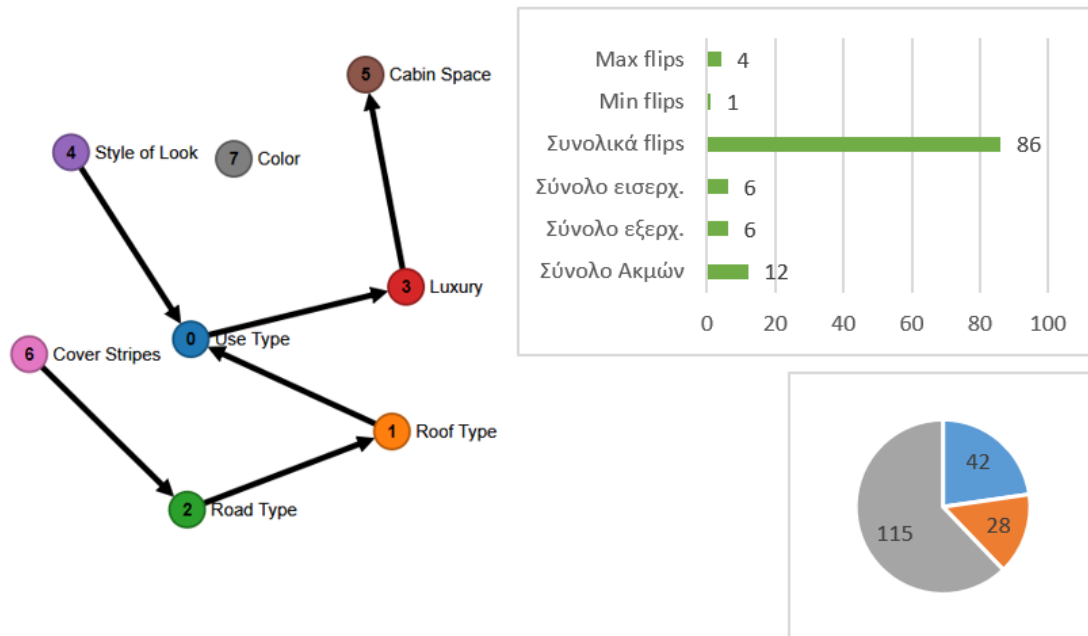
Σχήμα 10: CP δίκτυο χρήστη 5, πίνακας τιμών αλγ. συλλογισμού, πλήθος *T*, *F*, Συνολικά.

Ο χρήστης δημιούργησε ένα CP δίκτυο με 12 συνολικά ακμές (6 ως εισερχόμενες και 6 ως εξερχόμενες) και ο αλγόριθμος συλλογισμού σύμφωνα με αυτό, έλαβε 153 έγκυρα ζεύγη εισόδου συνολικά, από τα οποία στα 36 συμφώνησε με τον χρήστη, στα 23 ζεύγη έδειξε ότι ο χρήστης θα έπρεπε να διαλέξει την αντίθετη εικόνα από αυτή που επέλεξε και στα 94 δεν μπόρεσε να βγάλει μια απόφαση. Για τις συμφωνίες στις επιλογές του χρήστη και αλγόριθμου συλλογισμού χρειάστηκαν 74 flips συνολικά.

Σχετικά με τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου χρήστη, έγιναν οι εξής παρατηρήσεις:

- Ο χρήστης είχε ένα σχετικά χαμηλό πλήθος (94) ζευγών προτιμήσεων όπου ο αλγόριθμος συλλογισμού δεν μπόρεσε να δώσει απαντήσεις.
- Ο χρήστης είχε χαμηλότερο ποσοστό έγκυρων ζευγών εισόδου (80,53%) από τον μέσο όρο των χρηστών (84,47%).

Χρήστης 6:



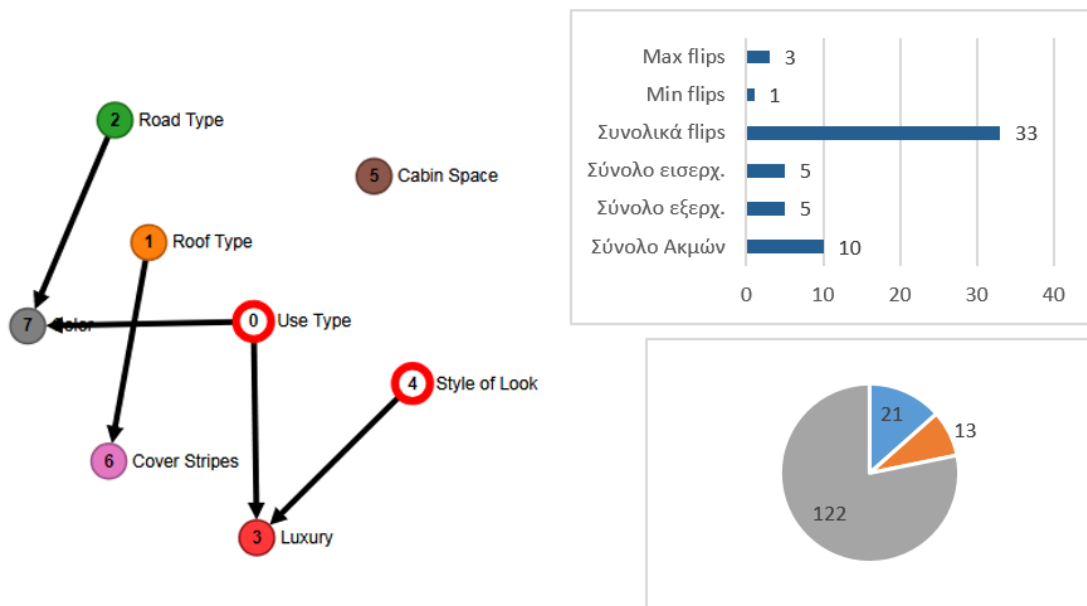
Σχήμα 11: CP δίκτυο χρήστη 6, πίνακας τιμών αλγ. Συλλογισμού, πλήθος T , F , Συνολικά.

Ο χρήστης δημιούργησε ένα CP δίκτυο με 12 συνολικά ακμές (6 ως εισερχόμενες και 6 ως εξερχόμενες) και ο αλγόριθμος συλλογισμού σύμφωνα με αυτό, έλαβε 185 έγκυρα ζεύγη εισόδου συνολικά, από τα οποία στα 42 συμφώνησε με τον χρήστη, στα 28 ζεύγη έδειξε ότι ο χρήστης θα έπρεπε να διαλέξει την αντίθετη εικόνα από αυτή που επέλεξε και στα 115 δεν μπόρεσε να βγάλει μια απόφαση. Για τις συμφωνίες στις επιλογές του χρήστη και αλγόριθμου συλλογισμού χρειάστηκαν 86 flips συνολικά.

Σχετικά με τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου χρήστη, έγιναν οι εξής παρατηρήσεις:

- Ο χρήστης είχε το μεγαλύτερο πλήθος (185) έγκυρων ζευγών προτιμήσεων εισόδου από όλους τους χρήστες.
- Ο χρήστης είχε το δεύτερο μεγαλύτερο πλήθος (115) ζευγών εισόδου όπου ο αλγόριθμος συλλογισμού δεν μπόρεσε να αποφασίσει.
- Ο χρήστης είχε κάτω από τον μέσο όρο πλήθος ακμών στο CP δίκτυο του (12).

Χρήστης 7:



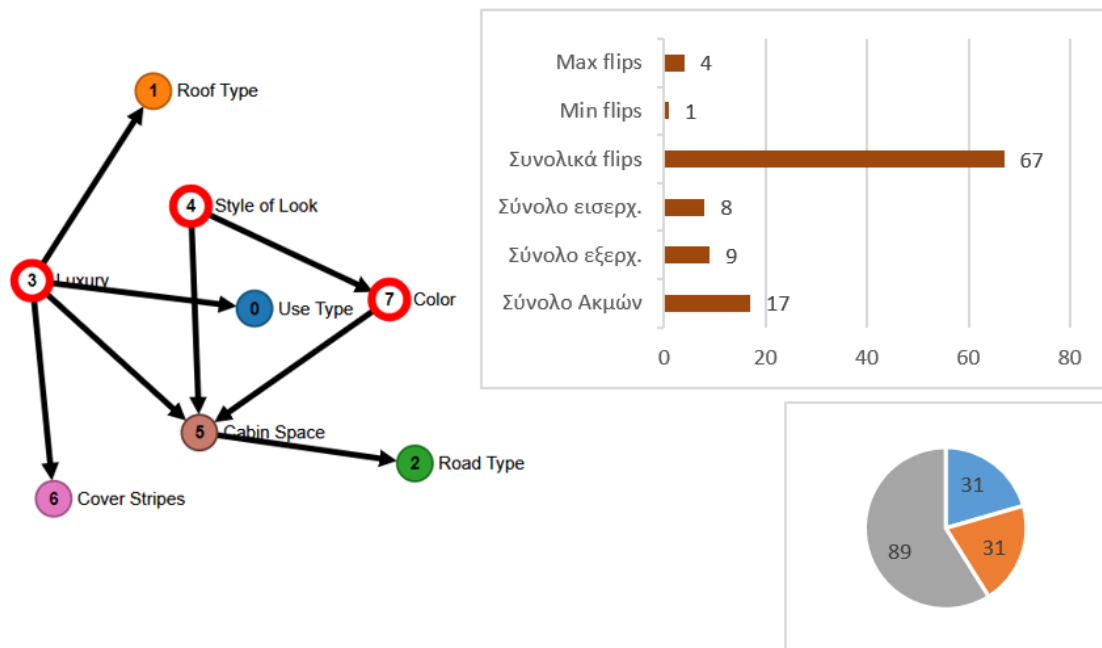
Σχήμα 12: CP δίκτυο χρήστη 7, πίνακας τιμών αλγ. Συλλογισμού, πλήθος T , F , Συνολικά.

Ο χρήστης δημιούργησε ένα CP δίκτυο με 10 συνολικά ακμές (5 ως εισερχόμενες και 5 ως εξερχόμενες) και ο αλγόριθμος συλλογισμού σύμφωνα με αυτό, έλαβε 156 έγκυρα ζεύγη εισόδου συνολικά, από τα οποία στα 21 συμφώνησε με τον χρήστη, στα 13 ζεύγη έδειξε ότι ο χρήστης θα έπρεπε να διαλέξει την αντίθετη εικόνα από αυτή που επέλεξε και στα 122 δεν μπόρεσε να βγάλει μια απόφαση. Για τις συμφωνίες στις επιλογές του χρήστη και αλγόριθμου συλλογισμού χρειάστηκαν 86 flips συνολικά.

Σχετικά με τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου χρήστη, έγιναν οι εξής παρατηρήσεις:

- Ο χρήστης είχε το δεύτερο χαμηλότερο σύνολο ακμών στο CP δίκτυο του (10).
- Ο χρήστης είχε το μεγαλύτερο πλήθος (122) ζευγών εισόδου όπου ο αλγόριθμος συλλογισμού δεν μπόρεσε να αποφασίσει.

Χρήστης 8:



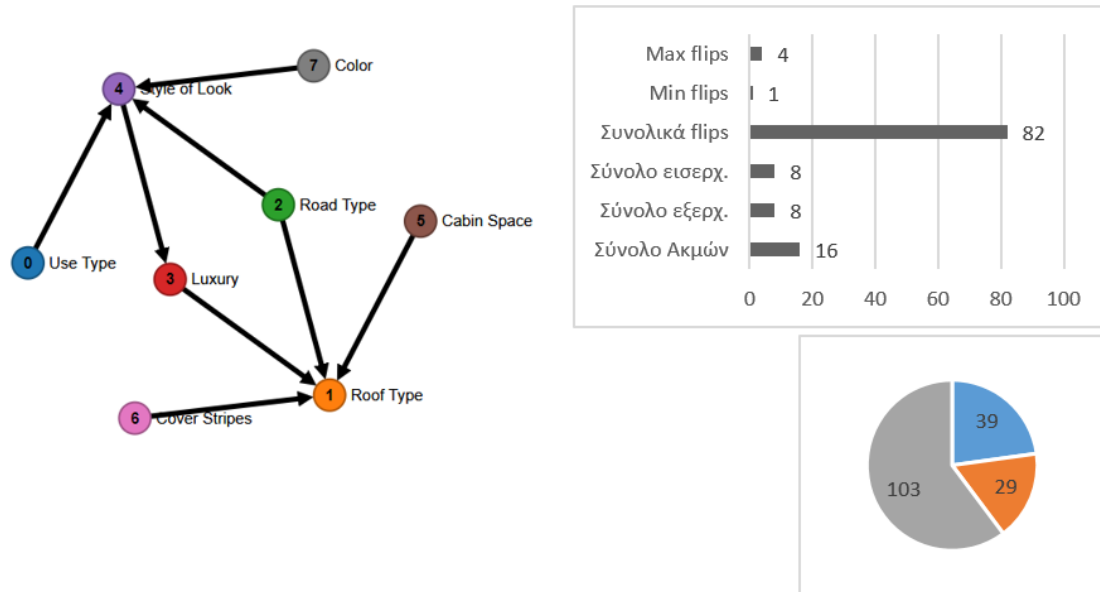
Σχήμα 13: CP δίκτυο χρήστη 8, πίνακας τιμών αλγ. Συλλογισμού, πλήθος T, F, Συνολικά.

Ο χρήστης δημιούργησε ένα CP δίκτυο με 17 συνολικά ακμές (17 ως εισερχόμενες και 9 ως εξερχόμενες) και ο αλγόριθμος συλλογισμού σύμφωνα με αυτό, έλαβε 151 έγκυρα ζεύγη εισόδου συνολικά, από τα οποία στα 31 συμφώνησε με τον χρήστη, στα 31 ζεύγη έδειξε ότι ο χρήστης θα έπρεπε να διαλέξει την αντίθετη εικόνα από αυτή που επέλεξε και στα 89 δεν μπόρεσε να βγάλει μια απόφαση. Για τις συμφωνίες στις επιλογές του χρήστη και αλγόριθμου συλλογισμού χρειάστηκαν 67 flips συνολικά.

Σχετικά με τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου χρήστη, έγιναν οι εξής παρατηρήσεις:

- Ο χρήστης είχε το τρίτο μεγαλύτερο πλήθος ακμών (17) στο CP δίκτυο του από τους υπόλοιπους χρήστες
- Ο χρήστης είχε το δεύτερο χαμηλότερο ποσοστό (79,47%) έγκυρων ζευγών εισόδου προτιμήσεων σε σχέση με τους υπόλοιπους χρήστες.
- Ο χρήστης είχε ακριβώς το ίδιο πλήθος απαντήσεων, τόσο στα 'true' (31) όσο και στα 'false' (31) ως απαντήσεις από τον αλγόριθμο συλλογισμού.

Χρήστης 9:



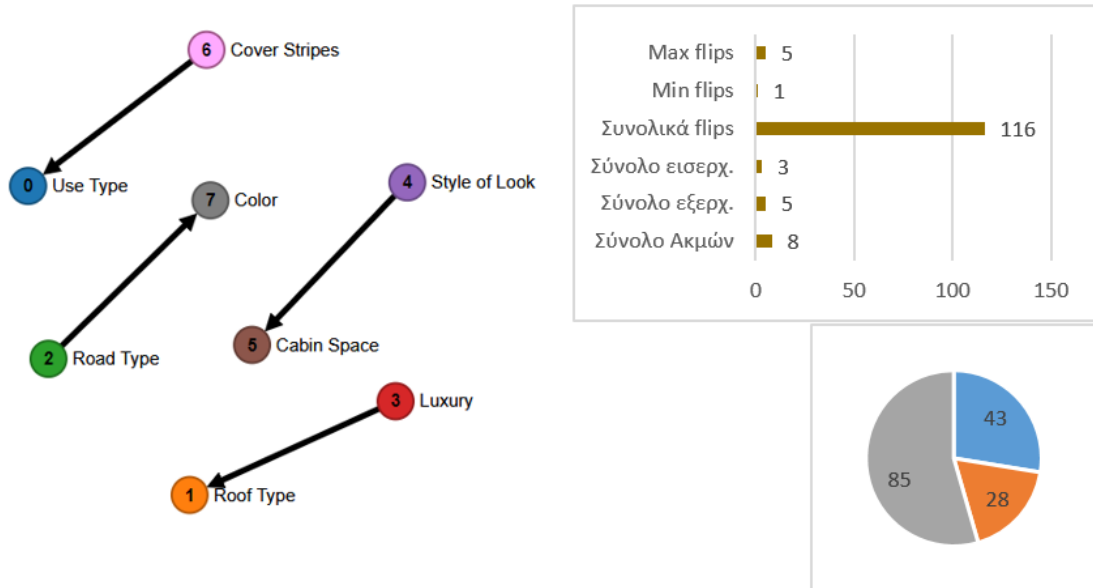
Σχήμα 14: CP δίκτυο χρήστη 9, πίνακας τιμών αλγ. Συλλογισμού, πλήθος T , F , Συνολικά.

Ο χρήστης δημιούργησε ένα CP δίκτυο με 16 συνολικά ακμές (8 ως εισερχόμενες και 8 ως εξερχόμενες) και ο αλγόριθμος συλλογισμού σύμφωνα με αυτό, έλαβε 171 έγκυρα ζεύγη εισόδου συνολικά, από τα οποία στα 39 συμφώνησε με τον χρήστη, στα 29 ζεύγη έδειξε ότι ο χρήστης θα έπρεπε να διαλέξει την αντίθετη εικόνα από αυτή που επέλεξε και στα 103 δεν μπόρεσε να βγάλει μια απόφαση. Για τις συμφωνίες στις επιλογές του χρήστη και αλγόριθμου συλλογισμού χρειάστηκαν 82 flips συνολικά.

Σχετικά με τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου χρήστη, έγιναν οι εξής παρατηρήσεις:

- Ο χρήστης είχε το τρίτο μεγαλύτερο ποσοστό (90%) έγκυρων ζευγών εισόδου προτιμήσεων από τους υπόλοιπους χρήστες.
- Ο χρήστης είχε λίγο περισσότερες ακμές (16) από τον μέσο όρο (15)

Χρήστης 10:



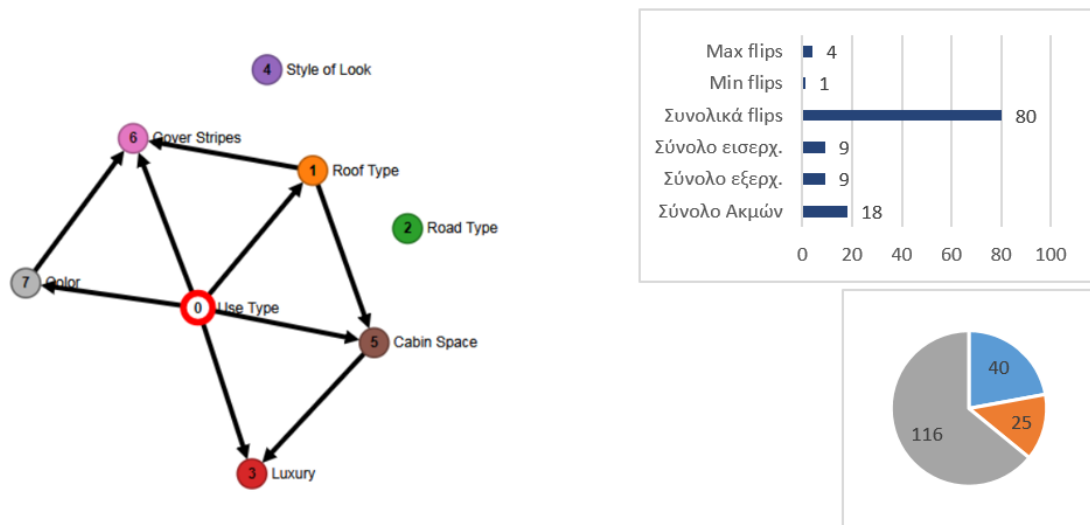
Σχήμα 15: CP δίκτυο χρήστη 10, πίνακας τιμών αλγ. Συλλογισμού, πλήθος T , F , Συνολικά.

Ο χρήστης δημιούργησε ένα CP δίκτυο με 8 συνολικά ακμές (4 ως εισερχόμενες και 4 ως εξερχόμενες) και ο αλγόριθμος συλλογισμού σύμφωνα με αυτό, έλαβε 156 έγκυρα ζεύγη εισόδου συνολικά, από τα οποία στα 43 συμφώνησε με τον χρήστη, στα 28 ζεύγη έδειξε ότι ο χρήστης θα έπρεπε να διαλέξει την αντίθετη εικόνα από αυτή που επέλεξε και στα 85 δεν μπόρεσε να βγάλει μια απόφαση. Για τις συμφωνίες στις επιλογές του χρήστη και αλγόριθμου συλλογισμού χρειάστηκαν 116 flips συνολικά.

Σχετικά με τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου χρήστη, έγιναν οι εξής παρατηρήσεις:

- Ο χρήστης είχε το χαμηλότερο πλήθος (85) ζευγών εισόδου όπου ο αλγόριθμος συλλογισμού δεν μπόρεσε να αποφασίσει.
- Ο χρήστης είχε το μικρότερο πλήθος ακμών (8) από όλους τους υπόλοιπους χρήστες.
- Ο χρήστης είχε το τρίτο μεγαλύτερο πλήθος (43) ζευγών προτιμήσεων σε συμφωνία με τον αλγόριθμο συλλογισμού.
- Ο χρήστης είχε το μεγαλύτερο πλήθος συνολικών flips (116) για την μετάβαση σε επιτυχημένες καταστάσεις.

Χρήστης 11:



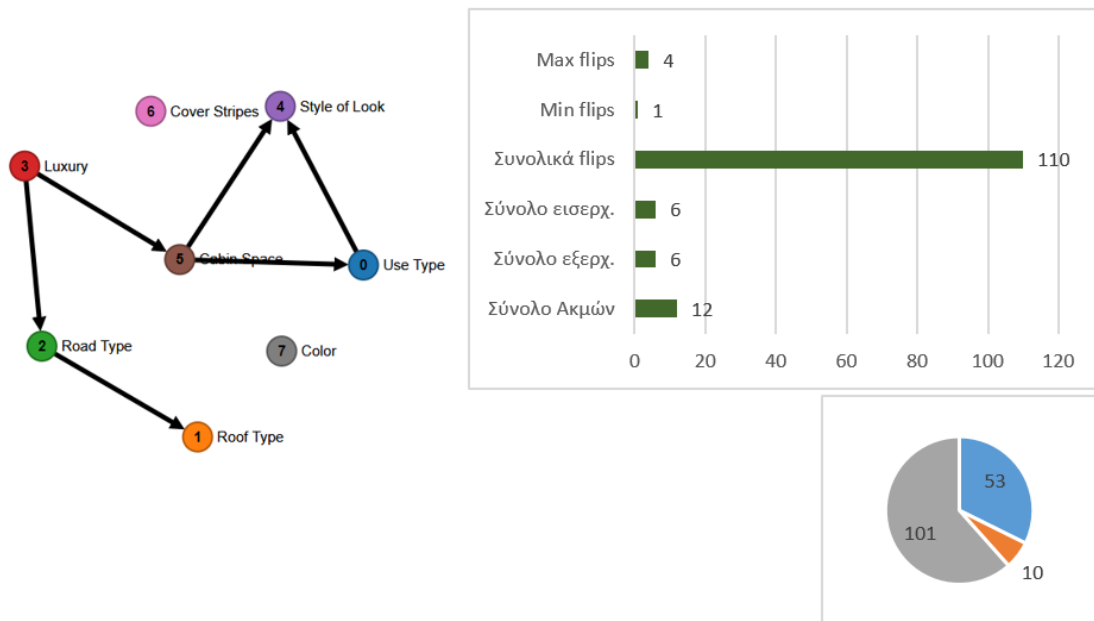
Σχήμα 16: CP δίκτυο χρήστη 11, πίνακας τιμών αλγ. Συλλογισμού, πλήθος T, F, Συνολικά.

Ο χρήστης δημιούργησε ένα CP δίκτυο με 18 συνολικά ακμές (9 ως εισερχόμενες και 9 ως εξερχόμενες) και ο αλγόριθμος συλλογισμού σύμφωνα με αυτό, έλαβε 181 έγκυρα ζεύγη εισόδου συνολικά, από τα οποία στα 25 συμφώνησε με τον χρήστη, στα 116 ζεύγη έδειξε ότι ο χρήστης θα έπρεπε να διαλέξει την αντίθετη εικόνα από αυτή που επέλεξε και στα 85 δεν μπόρεσε να βγάλει μια απόφαση. Για τις συμφωνίες στις επιλογές του χρήστη και αλγόριθμου συλλογισμού χρειάστηκαν 80 flips συνολικά.

Σχετικά με τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου χρήστη, έγιναν οι εξής παρατηρήσεις:

- Ο χρήστης είχε το δεύτερο μεγαλύτερο πλήθος ζευγών προτιμήσεων εισόδου (116) όπου ο αλγόριθμος δεν μπόρεσε να δώσει μια απάντηση.
- Ο χρήστης είχε το δεύτερο μεγαλύτερο πλήθος έγκυρων ζευγών προτιμήσεων εισόδου (181) από όλους τους χρήστες.
- Τα πλήθος των ακμών του CP δικτύου του χρήστη (18) είναι μεγαλύτερο από τον μέσο όρο (15) των υπόλοιπων χρηστών.
- Ο χρήστης είναι ο μόνος με 2 απομονωμένους (ανεξάρτητους) κόμβους στο CP δίκτυο του.

Χρήστης 12:



Σχήμα 17: CP δίκτυο χρήστη 12, πίνακας τιμών αλγ. Συλλογισμού, πλήθος T, F, Συνολικά.

Ο χρήστης δημιούργησε ένα CP δίκτυο με 12 συνολικά ακμές (6 ως εισερχόμενες και 6 ως εξερχόμενες) και ο αλγόριθμος συλλογισμού σύμφωνα με αυτό, έλαβε 164 έγκυρα ζεύγη εισόδου συνολικά, από τα οποία στα 53 συμφώνησε με τον χρήστη, στα 10 ζεύγη έδειξε ότι ο χρήστης θα έπρεπε να διαλέξει την αντίθετη εικόνα από αυτή που επέλεξε και στα 101 δεν μπόρεσε να βγάλει μια απόφαση. Για τις συμφωνίες στις επιλογές του χρήστη και αλγόριθμου συλλογισμού χρειάστηκαν 110 flips συνολικά.

Σχετικά με τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου χρήστη, έγιναν οι εξής παρατηρήσεις:

- Ο χρήστης έχει το μεγαλύτερο πλήθος συμφωνίας (53) με τον αλγόριθμο συλλογισμού από όλους τους χρήστες.
- Ο χρήστης έχει το χαμηλότερο πλήθος διαφωνίας (10) με τον αλγόριθμο συλλογισμού από όλους τους χρήστες.
- Ο χρήστης είχε το δεύτερο μεγαλύτερο πλήθος συνολικών flips (110) για την μετάβαση σε επιτυχημένες καταστάσεις.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι χρωματικοί πίνακες που μέσω αυτών έγινε η εξαγωγή των παρατηρήσεων που καταγράφηκαν πιο πάνω σε κάθε χρήστη:

Συνολικά ζεύγη εικόνων:	380
Πραγματικά ζεύγη εικόνων:	190

Αλγόριθμος συλλογισμού								
Συμμετέχων	% Έγκυρα ζεύγη	Ζεύγη Εισόδου	Ζεύγη TRUE	Ζεύγη FALSE	Συμφωνία προς συνολικά	Συμφωνία προς T & F	Χωρίς απόφαση	Χωρίς απόφαση. (%)
1	92,63%	176	46	18	26,14%	71,88%	112	63,64%
2	77,37%	147	20	17	13,61%	54,05%	110	74,83%
3	82,63%	157	31	34	19,75%	47,69%	92	58,60%
4	89,47%	170	39	33	22,94%	54,17%	98	57,65%
5	80,53%	153	36	23	23,53%	61,02%	94	61,44%
6	97,37%	185	42	28	22,70%	60,00%	115	62,16%
7	82,11%	156	21	13	13,46%	61,76%	122	78,21%
8	79,47%	151	31	31	20,53%	50,00%	89	58,94%
9	90,00%	171	39	29	22,81%	57,35%	103	60,23%
10	82,11%	156	43	28	27,56%	60,56%	85	54,49%
11	95,26%	181	40	25	22,10%	61,54%	116	64,09%
12	86,32%	164	53	10	32,32%	84,13%	101	61,59%
	84,47%	1967	441	289	22,75%	60,28%	102	61,51%

Πίνακας 6: Χρωματικός πίνακας σύγκρισης τιμών των χρηστών (Α)

Συμμετέχων	Δίκτυο							
	Ακμές			Flipping Sequence επιτυχημένων μεταβάσεων				
	Σύνολο Ακμών	Σύνολο εξερχ.	Σύνολο εισερχ.	Συνολικά flips	Min flips	Max flips	Μέσος όρος flips	Διασπορά
1	14	7	7	86	1	4	1,86957	0,79697
2	18	8	10	34	1	3	1,70000	0,71414
3	16	8	8	65	1	4	2,09677	0,96235
4	22	11	11	78	1	4	2,00000	0,87706
5	12	6	6	74	1	4	2,05556	0,91118
6	12	6	6	86	1	4	2,04762	0,89847
7	10	5	5	33	1	3	1,57143	0,65983
8	17	9	8	67	1	4	2,16129	1,08052
9	16	8	8	82	1	4	2,10256	0,90000
10	8	5	3	116	1	5	2,69767	1,17206
11	18	9	9	80	1	4	2,00000	0,89443
12	12	6	6	110	1	4	2,07547	0,92856
	15	88	87	911		4	2,051587	0,89923537

Πίνακας 7: Χρωματικός πίνακας σύγκρισης τιμών των χρηστών (Β)

6.3 Ανάλυση των αποτελεσμάτων και συμπεράσματα

Από τις προηγούμενες παρατηρήσεις και τα δεδομένα των χρηστών και των αποτελεσμάτων του αλγόριθμου συλλογισμού, γεννήθηκαν ευλόγως διάφορες ερωτήσεις που ομαδοποιήθηκαν και συγχωνεύτηκαν σε γενικότερες και συνοψίζονται ως εξής:

1. Πως συσχετίζονται τα έγκυρα ζεύγη εισόδου των χρηστών, που αντιπροσωπεύουν την προσεκτική συμμετοχή τους κατά την διεξαγωγή των 380 ερωτήσεων του δεύτερου αλγόριθμου, με τα αντίστοιχα θετικά αποτελέσματα 'true' ή αρνητικά 'false' αποτελέσματα του αλγόριθμου συλλογισμού για τα σύνολο των χρηστών;
2. Πως συσχετίζονται τα πλήθη των ακμών που αντιπροσωπεύουν σε έναν βαθμό την πολυπλοκότητα ενός CP δικτύου, δηλαδή το συνολικό πλήθος των ακμών, το συνολικό πλήθος των εισερχόμενων ακμών, το συνολικό πλήθος των εξερχόμενων ακμών, με τις θετικές απαντήσεις 'true', τις αρνητικές απαντήσεις 'false' και τις 'χωρίς απάντηση' αποφάνσεις του αλγόριθμου συλλογισμού για τα συνολικά ζεύγη εισόδου των προτιμήσεων των χρηστών;
3. Πως συσχετίζονται τα θετικά αποτελέσματα 'true' με τα αποτελέσματα 'χωρίς απάντηση' του αλγόριθμου συλλογισμού και την πολυπλοκότητα των CP δικτύων των χρηστών όπως αυτή αναφέρθηκε στο ερώτημα (2);
4. Πως συσχετίζονται τα θετικά αποτελέσματα 'true' με τον αριθμό των συνολικών flips των μεταβάσεων του αλγόριθμου συλλογισμού και την πολυπλοκότητα των CP δικτύων των χρηστών όπως αυτή αναφέρθηκε στο ερώτημα (2);

Για να δοθούν απαντήσεις στα προηγούμενα ερωτήματα, χρειάστηκε να υπολογιστούν οι συντελεστές συσχέτισης για όλα τα πλήθη τιμών στους πίνακες (A) και (B) συνδυαστικά, έτσι ώστε να εξερευνηθούν και να ανακαλυφθούν τυχόν συσχετισμοί μεταξύ αυτών. Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι αντίστοιχοι πίνακες σε τρεις διαφορετικές καταμετρήσεις (ισχυρής, μέσης και ασθενής συσχέτισης):

Υπολογίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης στα διαστήματα [-1.0, -0.7] και [0.7, 1.0] όλων των στηλών μεταξύ τους και έγινε έρευνα προς ανακάλυψη απαντήσεων, όπως φαίνεται παρακάτω:

Correlations - Συσχετίσεις																	
	Άκυρα (ζεύγη)	% Άκυρα	% Έγκυρα	Ζεύγη Εισόδου	Ζεύγη TRUE	Ζεύγη FALSE	Συμφωνία προς συνολικά	Συμφωνία προς Έγκυρα	Χωρίς απόφαση	Χωρίς απόφαση. (%)	Σύνολο Ακμών	Σύνολο εξερχ.	Σύνολο εισερχ.	Συνολικά flips	Max flips	Μέσος όρος flips	Διασπορά
Άκυρα (ζεύγη)	1																
% Άκυρα	1	1															
% Έγκυρα	-1	-1	1														
Ζεύγη Εισόδου	-1	-1	1	1													
Ζεύγη TRUE	0,593575105	0,593575105	0,593575105	0,5935751	1												
Ζεύγη FALSE	0,131448218	0,131448218	0,131448218	0,1314482	0,010361	1											
Συμφωνία προς συνολικά	0,360524674	0,360524674	0,360524674	0,3605247	0,9639598	0,029359	1										
Συμφωνία προς Έγκυρα	0,299334659	0,299334659	0,299334659	0,2993347	0,6613874	0,752872	0,6504943	1									
Χωρίς απόφαση	0,478936527	0,478936527	0,478936527	0,4789365	0,184504	0,520103	0,387222	0,2773328	1								
Χωρίς απόφαση. (%)	0,207933149	0,207933149	0,207933149	0,2079333	0,649841	0,671159	0,704031	0,0788384	0,758495	1							
Σύνολο Ακμών	0,127780708	0,127780708	0,127780708	0,1277807	-	0,4062444	0,256707	0,438363	0,010446	0,065514	1						
Σύνολο εξερχ.	0,148881091	0,148881091	0,148881091	0,1488811	0,092522	0,5319415	0,155753	0,469188	0,122849	0,232727	0,975395	1					

	-	-			-		-	-										
Σύνολο εισερχ.	0,1057324 6	0,1057324 6	0,1057324 6	0,10573 25	0,24615 2	0,28796	0,33025 8	0,39689 4	0,11964 7	0,07436 6	0,9834 37	0,9192 81	1					
	-	-							-	-		-	-					
Συνολικά flips	0,4107698 65	0,4107698 65	0,4107698 65	0,41076 99	0,93234 11	0,14365 42	0,95324 21	0,49799 33	0,42402 2	0,78137 5	-0,2985	0,1691 8	0,3938 4	1				
	-	-							-	-		-	-					
Max flips	0,2391937 8	0,2391937 8	0,2391937 8	0,23919 38	0,70621 33	0,49193 58	0,75951 57	0,09170 88	0,65212 7	0,91091 5	-0,2412	0,0644 7	0,3776 2	0,88498 82	1			
	-	-							-	-		-	-					
Mean of flips	0,0067605 4	0,0067605 4	0,0067605 4	0,00676 1	0,51859 19	0,50523 68	0,62375 94	0,04943 6	0,76642 3	0,85289 8	0,2823 3	0,1130 7	- 0,4111	0,78304 03	0,9411 82	1		
	-	-							-	-		-	-					
Διασπορά	0,0783017 63	0,0783017 63	0,0783017 63	0,07830 2	0,44485 58	0,56697 91	0,56284 66	0,14167 5	0,82263 3	0,86639 3	0,1687 5	0,0121 56	0,3112 6	0,69280 03	0,8814 28	0,9514 14	1	

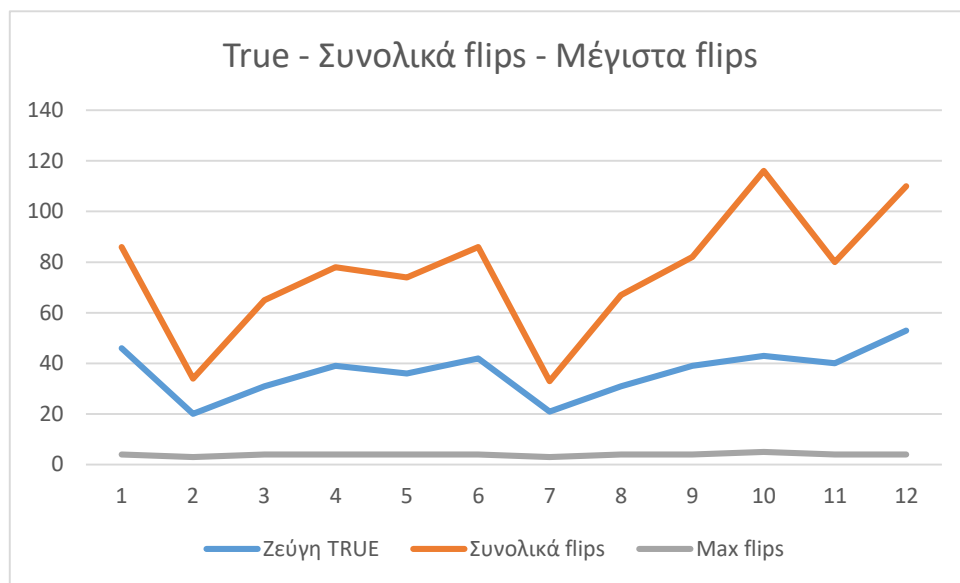
Στην συνέχεια, υπολογίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης στα διαστήματα (-0.7, -0.5] και [0.5, 0.7) όλων των στηλών μεταξύ τους και έγινε έρευνα προς ανακάλυψη απαντήσεων, όπως φαίνεται παρακάτω:

Correlations - Συσχετίσεις																	
	Άκυρα (ζεύγη)	% Άκυρα	% Έγκυρα	Ζεύγη Εισόδου	Ζεύγη TRUE	Ζεύγη FALSE	Συμφωνί α προς συνολικά	Συμφωνί α προς Έγκυρα	Χωρίς απόφασ η	Χωρίς απόφασ η. (%)	Σύνολο Ακμών	Σύνολο εξερχ.	Σύνολο εισερχ.	Συνολικά flips	Max flips	Μέσος όρος flips	Διασπο ρά
Άκυρα (ζεύγη)	1																
% Άκυρα	1	1															
% Έγκυρα	-1	-1	1														
Ζεύγη Εισόδου	-1	-1	1	1													
Ζεύγη TRUE	- 0,5935751 05	- 0,5935751 05	0,5935751 05	0,59357 51	1												
Ζεύγη FALSE	- 0,1314482 18	- 0,1314482 18	0,1314482 18	0,13144 82	- 0,01036 1	1											
Συμφωνία προς συνολικά	- 0,3605246 74	- 0,3605246 74	0,3605246 74	0,36052 47	- 0,96395 98	- 0,02935 9	1										
Συμφωνία προς Έγκυρα	- 0,2993346 59	- 0,2993346 59	0,2993346 59	0,29933 47	- 0,66138 74	- 0,75287 2	- 0,65049 43	1									
Χωρίς απόφαση	- 0,4789365 27	- 0,4789365 27	0,4789365 27	0,47893 65	- 0,18450 4	- 0,52010 3	- 0,38722 2	0,27733 28	1								
Χωρίς απόφαση. (%)	- 0,2079331 49	- 0,2079331 49	0,2079331 49	0,20793 3	- 0,64984 1	- 0,67115 9	- 0,70403 1	0,07883 84	0,7584 95	1							
Σύνολο Ακμών	- 0,1277807 08	- 0,1277807 08	0,1277807 08	0,12778 07	- 0,18048 7	0,40624 44	- 0,25670 7	- 0,43836 3	0,0104 46	0,0655 14	1						
Σύνολο εξερχ.	- 0,1488810 91	- 0,1488810 91	0,1488810 91	0,14888 11	- 0,09252 2	0,53194 15	- 0,15575 3	- 0,46918 8	- 0,1228 49	0,2327 27	0,9753 95	1					

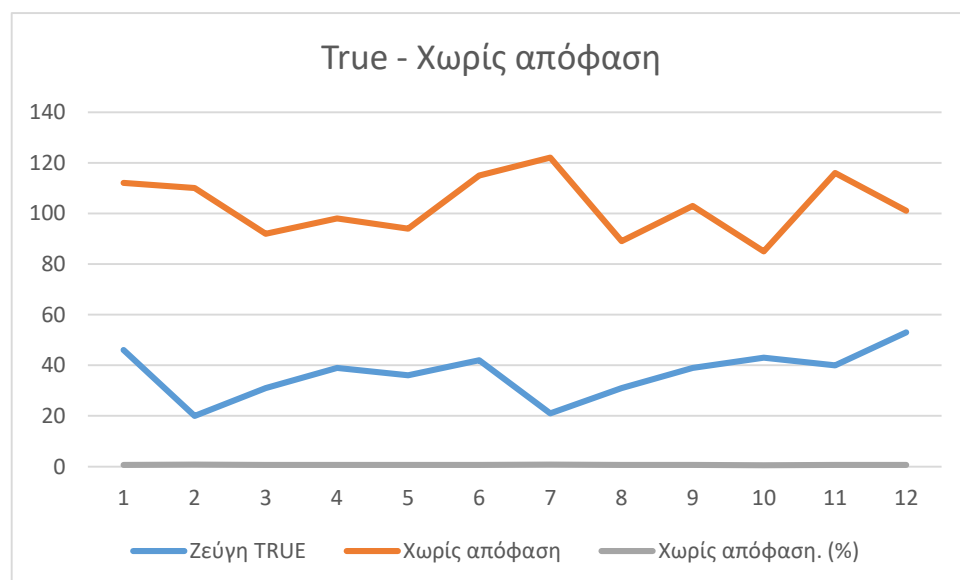
Στην συνέχεια, υπολογίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης στα διαστήματα (-0.5, -0.3] και [0.3, 0.5) όλων των στηλών μεταξύ τους και έγινε έρευνα προς ανακάλυψη απαντήσεων, όπως φαίνεται παρακάτω:

Correlations - Συσχετίσεις																	
	Άκυρα (ζεύγη)	% Άκυρα	% Έγκυρα	Ζεύγη Εισόδου	Ζεύγη TRUE	Ζεύγη FALSE	Συμφωνία προς συνολικά	Συμφωνία προς Έγκυρα	Χωρίς απόφαση	Χωρίς απόφαση. (%)	Σύνολο Ακμών	Σύνολο εξερχ.	Σύνολο εισερχ.	Συνολικά flips	Max flips	Μέσος όρος flips	Διασπο ρά
Άκυρα (ζεύγη)	1																
% Άκυρα	1	1															
% Έγκυρα	-1	-1	1														
Ζεύγη Εισόδου	-1	-1	1	1													
	-	-															
Ζεύγη TRUE	0,5935751 05	0,5935751 05	0,5935751 05	0,59357 51	1												
	-	-			-												
Ζεύγη FALSE	0,1314482 18	0,1314482 18	0,1314482 18	0,13144 82	0,01036 1	1											
	-	-			-												
Συμφωνία προς συνολικά	0,3605246 74	0,3605246 74	0,3605246 74	0,36052 47	0,96395 98	0,02935 9	1										
	-	-			-												
Συμφωνία προς Έγκυρα	0,2993346 59	0,2993346 59	0,2993346 59	0,29933 47	0,66138 74	0,75287 2	0,65049 43	1									
	-	-			-												
Χωρίς απόφαση	0,4789365 27	0,4789365 27	0,4789365 27	0,47893 65	0,18450 4	0,52010 3	0,38722 2	0,27733 28	1								
	-	-			-												
Χωρίς απόφαση. (%)	0,2079331 49	0,2079331 49	0,2079331 49	0,20793 3	0,64984 1	0,67115 9	0,70403 1	0,07883 84	0,75849 5	1							
	-	-			-												
Σύνολο Ακμών	0,1277807 08	0,1277807 08	0,1277807 08	0,12778 07	- 0,18048	0,40624 44	0,25670 7	0,43836 3	0,01044 6	0,06551 4	1						
	-	-			-												
Σύνολο εξερχ.	0,1488810 91	0,1488810 91	0,1488810 91	0,14888 11	0,09252 2	0,53194 15	0,15575 3	0,46918 8	0,12284 9	0,23272 7	0,9753 95	1					

Από ότι φαίνεται στους προηγούμενους πίνακες συντελεστών συσχετίσεων, στον πίνακα ΣΣ1 δεν βρέθηκε κάποια ισχυρή συσχέτιση που να δίνει άμεσες απαντήσεις στις προηγούμενες ερωτήσεις, πέρα των λογικών συσχετίσεων για εκείνες τις τιμές που εξαρτώνται εμφανώς μεταξύ τους, όπως οι επιτυχημένες απαντήσεις 'true' του αλγόριθμου συλλογισμού και των flips περασμάτων, ή οι σχέσεις των ακμών μεταξύ τους ή οι σχέσεις ζευγών 'true' και 'false' κλπ. Παραθέτοντας μερικά γραφήματα, είναι και οπτικά συνεπές κάτι τέτοιο:



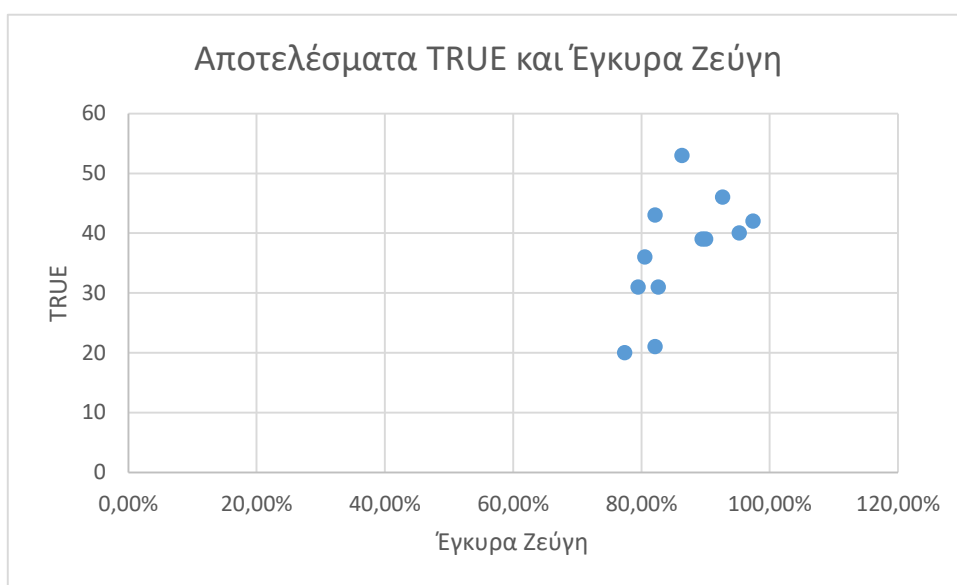
Γράφημα 1: True αποτελεσμάτων, Συνολικά και Μέγιστα flips



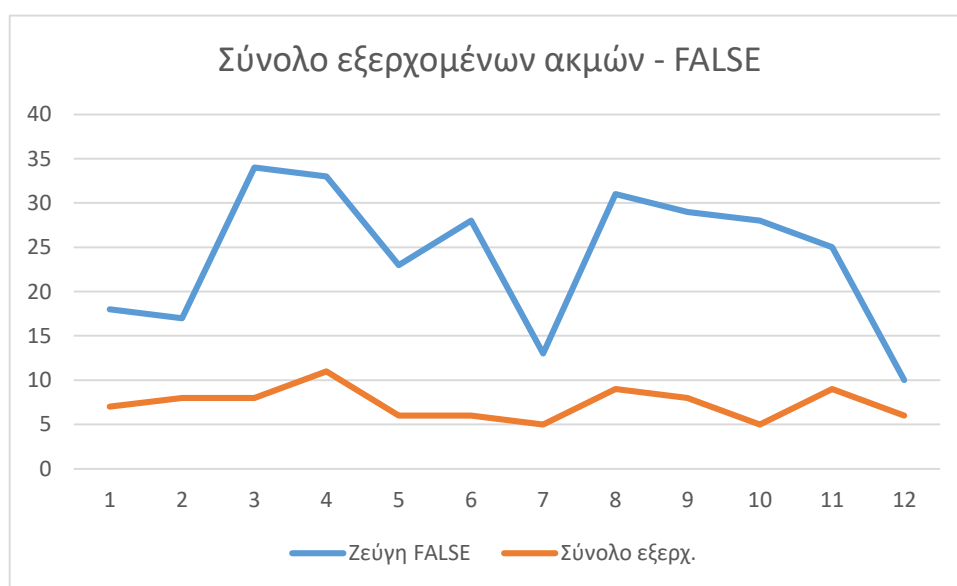
Γράφημα 2: True αποτελεσμάτων, Χωρίς απόφαση αποτελεσμάτων

Στον προηγούμενο πίνακα ΣΣ2, βρέθηκαν κάποιες μέσες συσχετίσεις -πλην των λογικών και πάλι συσχετίσεων- οι οποίες μαρκάρονται πιο έντονα. Συγκεκριμένα

φαίνεται ότι όσο μεγαλύτερο είναι το πλήθος των έγκυρων ζευγών εισόδου των προτιμήσεων των χρηστών, μεγαλώνουν ανεπαίσθητα οι θετικές απαντήσεις που συσχετίζονται πλέον με το σύνολο των flip μεταβάσεων. Επίσης μια μέση συσχέτιση, φαίνεται να υπάρχει μεταξύ των εξερχομένων ακμών με τις περιπτώσεις των 'false' αποτελεσμάτων του αλγόριθμου συλλογισμού, που ίσως δείχνει ότι οι συμμετέχοντες πιθανόν να μην έχουν κατανοήσει επαρκώς τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να συνδέσουν τα χαρακτηριστικά μεταξύ τους, ή την κατεύθυνση της ακμής στα CP δίκτυα τους, εφόσον οι επιλογές τους αντιφάσκουν όσο μεγαλώνει εν μέρη η πολυπλοκότητα. Παραθέτοντας μερικά γραφήματα, είναι και οπτικά αισθητό κάτι τέτοιο:

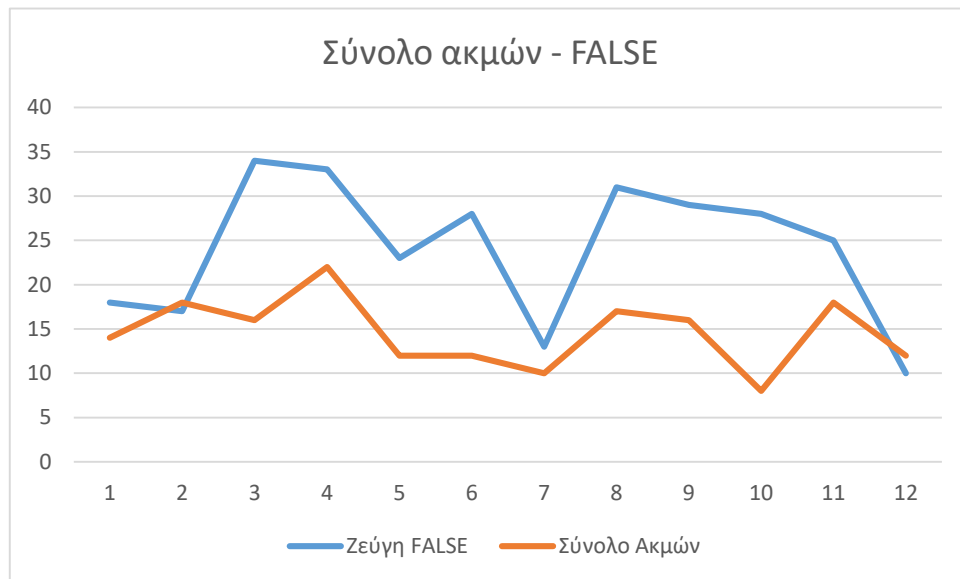


Γράφημα 3: True αποτελεσμάτων, και Έγκυρα ζεύγη εισόδου προτιμήσεων

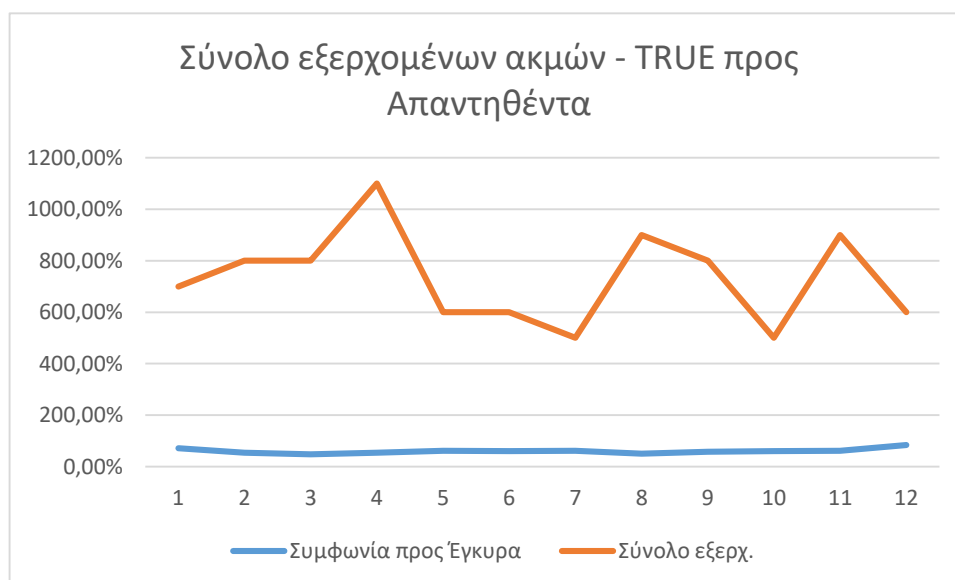


Γράφημα 4: Σύνολο εξερχομένων ακμών και False αποτελεσμάτων

Στον προηγούμενο πίνακα ΣΣ3, βρέθηκαν κάποιες ακόμη χαλαρότερες συσχετίσεις – και πάλι πλην των λογικών συσχετίσεων- οι οποίες μαρκάρονται πιο έντονα. Και εδώ η θετική συσχέτιση των συνολικών ακμών με τις περιπτώσεις των λανθασμένων επιλογών αφήνει να εννοηθεί ότι οι συμμετέχοντες δεν ακολούθησαν επαρκώς τον τρόπο καταγραφής και αποτύπωσης των προτιμήσεων τους στο CP δίκτυο ώστε να είναι συνεπές με την επιλογή τους στις εικόνες στο δεύτερο στάδιο της μελέτης. Ακολουθούν κάποια υποστηρικτικά γραφήματα:



Γράφημα 5: Σύνολο ακμών και False αποτελεσμάτων



Γράφημα 6: Σύνολο εξερχομένων ακμών και True προς Έγκυρα ζεύγη

Στην συνέχεια και όπως αναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο 5.5, η συνολική εφαρμογή συλλογισμού εκτός της υλοποίηση του αλγόριθμου συλλογισμού, περιέχει και

βοηθητικές λειτουργίες για την ανακάλυψη και καταγραφή δευτερευόντων σχέσεων μεταξύ των προτιμήσεων ενός χρήστη γενικότερα. Μια τέτοια λειτουργία ασχολήθηκε με την καταγραφή και αξιολόγηση καθώς και εξαγωγή συμπερασμάτων, σχετικά με τις εικόνες που επέλεξε κάθε χρήστης στο δεύτερο στάδιο της μελέτης.

Για όλα τα ζεύγη προτίμησης κάθε χρήστη που χαρακτηρίστηκαν ως false από τον αλγόριθμο συλλογισμού, εξερευνήθηκαν και κατηγοριοποιήθηκαν οι φωτογραφίες που συμμετείχαν στις συγκεκριμένες περιπτώσεις και ανάλογα με την θέση τους στην επιλογή του χρήστη, ομαδοποιήθηκαν σε «ίσως ελκυστικές;» δηλαδή ο χρήστης διάλεξε αυτή την εικόνα σε αντίθεση με το CP δίκτυο του γιατί του άρεσε σε σχέση με την άλλη; και «ίσως απωθητικές», δηλαδή ο χρήστης διάλεξε αυτή την εικόνα αντίθετα από το CP δίκτυο του, γιατί δεν του αρέσει η διπλανή της; και καταχωρήθηκαν σε πίνακα, ο οποίος φαίνεται στην επόμενη σελίδα.

Αποφασίστηκε να καταγραφούν ανά χρήστη μόνο εκείνες οι εικόνες με πλήθος 5 και άνω για κάθε μια κατηγοριοποίηση και όχι οι λιγότερες, θεωρώντας ότι τα μικρότερα νούμερα δεν τείνουν προς ένα συμπέρασμα. Ίσως να μπορούσε να γίνει και συνολική καταγραφή για όλα τα πλήθη με στόχο την εξαγωγή κάποιας επιπλέον γνώσης. Σε κάθε περίπτωση, οπτικά και διαισθητικά, φαίνεται να ισχύει το συμπέρασμα ότι πράγματι, πολλές φορές έγινε επιλογή από τον χρήστη μιας εικόνας σύμφωνα με την ελκυστικότητα της ή όχι. Αυτό ίσως να διαπιστωθεί και με την παρουσία των 4 επικρατέστερων από κάθε ομάδα όπως μπορεί να δει ο αναγνώστης:



Εικόνες οχημάτων: Οι 4 επικρατέστερες στην ομάδα «ίσως ελκυστικές;»

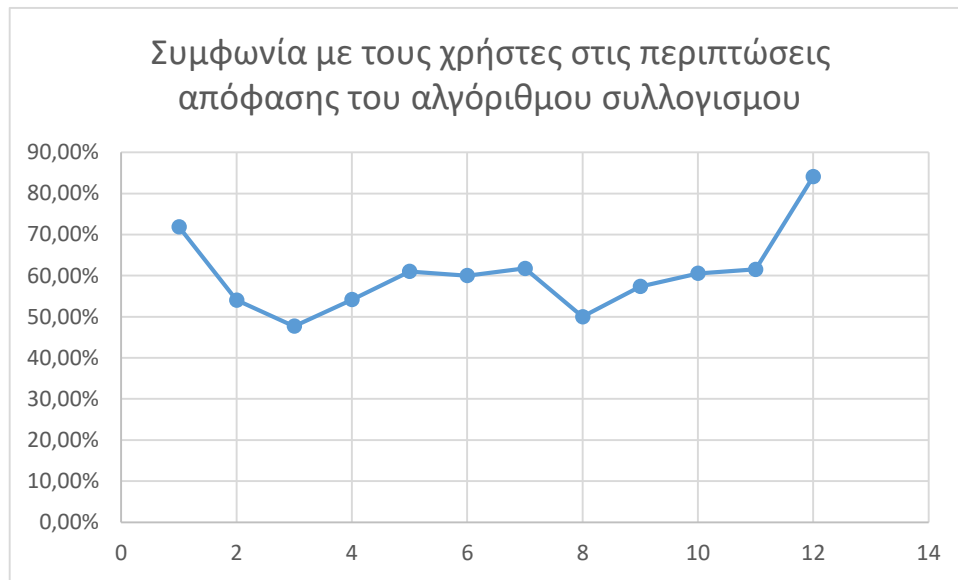


Εικόνα 9: Εικόνες οχημάτων: Οι 4 επικρατέστερες στην ομάδα «ίσως απωθητικές;»

ίσως ελκυστικές φωτογραφίες;								ίσως απωθητικές φωτογραφίες;										
b4	b5	b6	b10	r1	r3	r5	r7	b2r	b3r	b5r	b7r	b8r	r2r	r3r	r5r	r7r	r8r	r10r
						5	6				4							
												3						
	9				8				7		3						5	
				8		4		6		2					6			
5		5									5	4						
5			5											9	6			
							6			3				6				
8			5														7	
	5			6	5								5		5			
8																5		6
							7											
26	14	5	10	14	13	9	19	6	7	5	12	7	5	15	17	5	12	6
33,33%	16,67%	8,33%	16,67%	16,67%	16,67%	16,67%	25,00%	8,33%	8,33%	16,67%	25,00%	16,67%	8,33%	16,67%	25,00%	8,33%	16,67%	8,33%

Πίνακας 11: Κατηγοριοποίηση οχημάτων σε ελκυστικές και μη φωτογραφίες

Συμπερασματικά και μετά από την προηγούμενη ανάλυση δεδομένων, φαίνεται ότι το ποσοστό συμφωνίας του αλγόριθμου συλλογισμού με τις επιλογές των χρηστών δεν είναι υψηλό και συνήθως ο αλγόριθμος δεν παίρνει αποφάσεις, είναι όμως γεγονός ότι για τις περιπτώσεις που παίρνονται αποφάσεις, τότε η συμφωνία ξεπερνάει το 50% και συγκεκριμένα έχει μέσο όρο 60,28% που σημαίνει ότι αυτές οι αποφάσεις έχουν μια σχετική αξιοπιστία.



Γράφημα 8: Συμφωνία αλγόριθμου συλλογισμού και χρήστη στις περιπτώσεις απόφασης.

Στον αντίποδα, το γεγονός ότι αυτό το ποσοστό συμφωνίας δεν είναι ιδιαίτερα υψηλό, αυτό μπορεί να είναι για πολλούς λόγους που κάποιοι έχουν εντοπιστεί και αναφέρονται στην συνέχεια:

- Μπορεί η εξαγωγή προτιμήσεων με διαφανή τρόπο, να περιορίζει την απόδοση του αλγορίθμου για συγκεκριμένους λόγους που δεν ανακαλύπτονται σε αυτό το πείραμα.
- Ίσως επίσης ότι τα CP δίκτυα τελικά να μην είναι αρκετά εκφραστικά για να αναπαραστήσουν με επιτυχία τις πραγματικές προτιμήσεις των χρηστών.
- Ένα άλλο πιθανό ενδεχόμενο μπορεί να είναι ότι, παρόλο που έγινε ιδιαίτερα καλή προσπάθεια στην υλοποίηση της εφαρμογής αποτύπωσης ενός CP δικτύου ώστε να είναι όσο το δυνατόν εύχρηστη και λειτουργική, τελικά ένα τέτοιο περιβάλλον διεπαφής με τους χρήστες να μην είναι κατάλληλο για αναπαραστάσεις CP δικτύων.

- Επίσης θα μπορούσε να ισχύει ότι οι χρήστες, παρόλο που πήραν όλες τις απαραίτητες συνοδευτικές πληροφορίες, επεξηγήσεις και συνοδευτικές οδηγίες χρήσης των εφαρμογών καθώς και των σταδίων αξιολόγησης, να μην έδωσαν την απαραίτητη προσοχή κατά την διεξαγωγή του πειράματος, πιθανόν και λόγω της νεαρής ηλικίας τους με εξαίρεση του συμμετέχοντα με την μεγαλύτερη ηλικία των 35 ετών ο οποίος είχε το μεγαλύτερο ποσοστό συμφωνίας με το δίκτυο.
- Τέλος ένας άλλος λόγος θα μπορούσε να είναι ότι το σύνολο των εικόνων που επιλέχθηκαν για το δεύτερο στάδιο του πειράματος να μην ήταν το καταλληλότερο να υποστηρίξει με επιτυχία την έρευνα της παρούσης μεταπτυχιακής διατριβής.

Σε κάθε περίπτωση χρειάζεται περισσότερη πειραματική αξιολόγηση για να διαπιστωθούν οι ακριβείς αιτίες για τα χαμηλά ποσοστά στα τελικά αποτελέσματα.

Κεφάλαιο 7

Επίλογος

Κεντρικός στόχος της παρούσης εμπειρικής έρευνας ήταν να δειχθεί ή να απορριφθεί το κατά πόσο τα δίκτυα προτιμήσεων που αναπαρίστανται με γραφικό τρόπο, μπορούν να αποτυπώσουν σωστά τα δεδομένα προτιμήσεων που δίνονται από ανθρώπους χρήστες και κατά πόσο οι επιλογές τους σε ένα σύνολο προτιμήσεων που συνεπάγονται διαφανώς, αντικατατροπίζουν πράγματι την δημιουργία του δικτύου τους και με ποια ακρίβεια.

Μελέτησε κατά πόσο μπορούν οι άνθρωποι με χρήση εύχρηστων εργαλείων πληροφορικής που αναπαριστούν ένα δίκτυο προτίμησης υπό συνθήκη, να αναπαραστήσει και να αποτυπώσει ηλεκτρονικά, τον τρόπο και τον συλλογισμό με τον οποίο καταλήγει σε μια προτίμηση του έναντι μιας άλλης, σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο επιλογών.

Αναπτύχθηκαν πρότυπες εξειδικευμένες ηλεκτρονικές εφαρμογές και μηχανισμοί, δίνοντας την ευκαιρία αφενός να εξαχθούν διάφορα συμπεράσματα για τα παραπάνω, αφ' εταίρου να διασταυρωθούν και να αξιολογηθούν τόσο τα αποτελέσματα της έρευνας όσο και η χρηστικότητα των ίδιων των εργαλείων που υλοποιήθηκαν.

Με το πέρας της ανάλυσης των αποτελεσμάτων του πειράματος που εκτελέστηκε, δεν αποδείχτηκε επαρκώς κατά πόσο τα δίκτυα προτιμήσεων που αναπαρίστανται με γραφικό τρόπο, μπορούν να αποτυπώσουν σωστά τα δεδομένα προτιμήσεων που δίνονται από χρήστες και μπορούν να υπάρχουν διάφοροι λόγοι που οδήγησαν σε τέτοιο συμπέρασμα.

Μπορεί η εξαγωγή προτιμήσεων με διαφανή τρόπο, να περιορίζει την απόδοση του αλγορίθμου για συγκεκριμένους λόγους που δεν ανακαλύπτονται σε αυτό το πείραμα. Ίσως επίσης ότι τα CP δίκτυα τελικά να μην είναι αρκετά εκφραστικά για να αναπαραστήσουν με επιτυχία τις πραγματικές προτιμήσεις των χρηστών. Ένα άλλο πιθανό ενδεχόμενο μπορεί να είναι ότι, παρόλο που έγινε ιδιαίτερα καλή

προσπάθεια στην υλοποίηση της εφαρμογής αποτύπωσης ενός CP δικτύου ώστε να είναι όσο το δυνατόν εύχρηστη και λειτουργική, τελικά ένα τέτοιο περιβάλλον διεπαφής με τους χρήστες να μην είναι κατάλληλο για αναπαραστάσεις CP δικτύων.

Επίσης θα μπορούσε να ισχύει ότι οι χρήστες, παρόλο που πήραν όλες τις απαραίτητες συνοδευτικές πληροφορίες, επεξηγήσεις και συνοδευτικές οδηγίες χρήσης των εφαρμογών καθώς και των σταδίων αξιολόγησης, να μην έδωσαν την απαραίτητη προσοχή κατά την διεξαγωγή του πειράματος, πιθανόν και λόγω της νεαρής ηλικίας τους με εξαίρεση του συμμετέχοντα με την μεγαλύτερη ηλικία των 35 ετών ο οποίος είχε το μεγαλύτερο ποσοστό συμφωνίας με το δίκτυο.

Ένας άλλος λόγος θα μπορούσε να είναι ότι το σύνολο των εικόνων που επιλέχθηκαν για το δεύτερο στάδιο του πειράματος να μην ήταν το καταλληλότερο να υποστηρίξει με επιτυχία την έρευνα της παρούσης μεταπτυχιακής διατριβής.

Σε κάθε περίπτωση, αξίζει να αναφερθεί ότι οποίοι λόγοι και να συνέτρεξαν για το αποτέλεσμα, οι συμφωνίες στα αποτελέσματα φτάνουν το 68% και προτείνεται περισσότερη πειραματική αξιολόγηση για να εντοπιστεί ο λόγος των χαμηλών ποσοστών και ακόμη συστήνεται να γίνουν πιθανά νέα και βελτιωμένα πειράματα που θα έκανα πιο αξιόπιστα τα αποτελέσματα που προκύπτουν.

Βιβλιογραφία

- [1] Broom J. *"Weighing Goods"* (Oxford) Basil Backwell), 1991.
- [2] Hansson, Sven Ove and Grüne-Yanoff, Till, *"Preferences"*, The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Summer 2018 Edition), Edward N. Zalta (ed.)
- [3] Michal Kosinskia, David Stillwell, and Thore Graepel, *"Private traits and attributes are predictable from digital records of human behavior"* (5802–5805 | PNAS | vol. 110 | no. 15), April 9, 2013
- [4] M. P. Wellman, J. Doyle. *«Preferential semantics for goals»*. In *Proceedings of the Ninth National Conference of Artificial Intelligence (AAAI' 91)*, 698-703, 1991
- [5] C. Boutilier, R. I. Brafman, C. Domshlak, H. H. Hoos, D. Poole. *«CP-nets: A Tool for Representing and Conditional Ceteris Paribus Preference Statements»*. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 21, 135-191, 2004.
- [6] Stephen Schiffer *"Ceteris Paribus Laws"* Published by: Oxford University Press on behalf of the Mind Association, Jan., 1991.
- [7] Ευστράτιος Παπάνης, *«Μεθοδολογία Έρευνας και Διαδίκτυο»*, Εκδόσεις Ι. Σιδέρης, Ιανουάριος 2011.
- [8] Halldén, Sören, *«On the Logic of Better»*, Lund: Library of Theoria, 1957
- [9] von Wright, Georg H, *The Logic of Preference*, Edinburgh: Edinburgh University Press, 1963.
- [10] Sen, Amartya, *Collective Choice and Social Welfare*, San Francisco: Holden Day, Inc., 1970.
- [11] Stirling, W. *Theory of Conditional Games*. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.
- [12] Wynn C. Stirling, Teppo Felin, *"Game Theory, Conditional Preferences, and Social Influence"*, February 25, 2013

- [13] Παπαγεωργίου Έλενα, “Εμπειρική Διερεύνηση Εκμάθησης Δικτύων Προτιμήσεων υπό Συνθήκη”, Αύγουστος 2013.
- [14] James S. Dyer, Peter C. Fishburn, Ralph E. Steuer, Jyrki Wallenius, Stanley Zionts, "Multiple Criteria Decision Making, Multiattribute Utility Theory: The Next Ten Years", May 1st, 1992.
- [15] RB Myerson, "Game theory", 2013.
- [16] Branislav L. Slantchev "Game Theory: Preferences and Expected Utility". Department of Political Science, University of California – San Diego, April 19, 2005.
- [17] Nahla Ben Amor Didier Dubois H  la Gouider Henri Prade, "Graphical Models for Preference Representation: An Overview", IRIT – CNRS Toulouse Cedex 09 France.
- [18] Agrawal R., Wimmers E.L.: A Framework for Expressing and Combining Preferences. Proc. ACM SIGMOD, Dallas, May 2000, pp. 297 - 306.
- [19] Chomicki J.: Preference Formulas in Relational Queries. ACM Transactions on Database Systems, Vol. 28. No. 4, December 2003, pp. 1 - 39.
- [20] B  rzs  nyi S., Kossman D., Stocker K.: The Skyline Operator. Proc. 17th Intern. Conference on Data Engineering (ICDE), Heidelberg, April 2001.
- [21] Chomicki J.: Querying with Intrinsic Preferences. Proc. 8th Intern. Conference on Advances in Database Technology (EDBT), Prague, March 2002, pp. 34 – 51
- [22] Kießling W.: Foundations of Preferences in Database Systems. Proc. 28th Intern. Conference on Very Large Data Bases (VLDB), Hong Kong, China, 2002, pp. 311 – 322
- [23] Lacroix M., Lavency P.: Preferences: Putting More Knowledge Into Queries. Proc. 13th Intern. Conference on Very Large Data Bases (VLDB), Brighton, England, 1987, pp. 217 - 225.
- [24] Hristidis V., Koudas N., Papakonstantinou Y.: PREFER: A System for the Efficient Execution of Multiparametric Ranked Queries. Proc. ACM SIGMOD, Santa Barbara, USA, May 2001, pp. 259 - 269.

[25] Fishburn P.C.: *Utility theory for decision making*. John Wiley & Sons Inc., New York, 1970.

[26] Kyung Hoon Yang, David Olson, Jaekyung Kim, *Comparison of first order predicate logic, fuzzy logic and non-monotonic logic as knowledge representation methodology*, 2004, *Expert Systems with Applications* 27:501–519 (2004)

[27] Lacroix M., Lavency P.: *Preferences: Putting More Knowledge Into Queries*. Proc. 13th Intern. Conference on Very Large Data Bases (VLDB), Brighton, England, 1987, pp. 217 - 225.

[28] Berners-Lee T., Fielding R., Masinter L.: *Uniform Resource Identifier (URI): Generic Syntax*. RFC 2396, 1998.

[29] Brickley D., Guha R.V.: *Resource Description Framework (RDF/S) Schema Specification 1.0*. W3C Candidate Recommendation, 2000

[30] Στρατάκης Μιλτιάδης, “Τυπικό μοντέλο αναπαράστασης χρηστών για την διάταξη συλλογών αντικειμένων”, *Ηράκλειο Ιούνιος 2005*.

[31] E Sormunen, "Extensions to the STAIRS study—empirical evidence for the hypothesised ineffectiveness of Boolean queries in large full-text databases", Department of Information Studies, University of Tampere, Finland, May 24, 2001

[32] Werner Kießling, Gerhard Köstler "Preference SQL - Design, Implementation, Experiences" VLDB '02 Proceedings of the 28th international conference on Very Large Data Bases Pages 990-1001, Hong Kong, China — August 20 - 23, 2002

[33] Lacroix, M. and Lavency, P. 1987. Preferences; putting more knowledge into queries. In VLDB. 217–225

[34] Gaasterland, T. and Lobo, J. "Qualified answers that reflect user needs and preferences." In VLDB. 309–320, 1994.

[35] Kostas Stefanidis, Georgia Koutrika, Evaggelia Pitoura, “A Survey on Representation, Composition and Application of Preferences in Database Systems”, *ACM Transactions on Database Systems (TODS)* 36(3):19 (2011)

- [36] I. F. Su, Y. C. Chung, and C. Lee. "Top- k combinatorial skyline queries". In *Proc. DASFAA*, pages 79–93, 2010.
- [37] Kießling, W. "Foundations of preferences in database systems". In *VLDB*. 311–322, 2002.
- [38] Agrawal, R. and Wimmers, E. L. "A framework for expressing and combining preferences". *SIGMOD* 29, 2, 297–306, 2000.
- [39] Koutrika, G. and Ioannidis, Y. E. "Personalization of queries in database systems". In *ICDE*. 597–608, 2004.
- [40] Μαρούδα Εμμανουήλ, "Γραφικό Περιβάλλον Χρήστη για Εξατομικευμένο Σύστημα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων", Αθήνα, Ιούλιος 2012
- [41] Howard, Ronald A., James E. Matheson, "Influence diagrams", 1984/2005
- [42] Daniel Bernoulli, "Evolution and economics under risk", *Stearns SC1*, 1738.
- [43] John von Neumann, Oscar Morgenstern "Game Theory and Economic Behavior", 1944.
- [44] Daniel Bernoulli, "Exposition of a New Theory on the Measurement of Risk" *Econometrica*, Vol. 22, No. 1, pp. 23-36], Jan., 1954
- [45] Branislav L. Slantchev "Game Theory: Preferences and Expected Utility", Department of Political Science, University of California – San Diego April 19, 2005
- [46] Jeremy Bentham, "An Introduction to the Principles of Morals and Legislation" by Jeremy Bentham (1748-1832) - 1907 reprint of 1823 edition, last print June 20, 2016
- [47] Driver Julia, "The History of Utilitarianism", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2014 Edition), Edward N. Zalta (ed.), [https:// plato.stanford.edu/archives/win2014/ entries/ utilitarianism-history/](https://plato.stanford.edu/archives/win2014/entries/utilitarianism-history/).
- [48] Chiaki Hara (6 June 1998). "Revealed Preference Theory". 7th Toiro-kai meeting (1997/1998)
- [49] Goldsmith, J., Lang, J., Truszczynski, M., Wilson, N.: The computational complexity of dominance and consistency in CP-nets. *J. Artif. Intell. Res.* pp. 403–432 (2008)

- [50] Jensen, F.V., Lauritzen, S.L., Olesen, K.G.: "Bayesian updating in causal probabilistic networks by local computations". *Proc. Comput. Stat. Quarterly* 4, 269–282 (1990)
- [51] Ben Amor, Nahla and Dubois, Didier and Gouider, Hela and Prade Henri, "Graphical Models for Preference Representation: An Overview". (2016) In: *10th International Conference on Scalable Uncertainty Management (SUM 2016)*, 21 October 2016 - 23 October 2016, Nice, France.
- [52] Boutilier, C., Bacchus, F., Brafman, R.I.: "UCP-networks: A directed graphical representation of conditional utilities". In: *Proc. UAI*. pp. 56–64. Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2001.
- [53] Boutilier, C., Brafman, R., Domshlak, C., Hoos, H., Poole, D., "CP-nets: A tool for representing and reasoning with conditional ceteris paribus preference statements". *J. Artif. Intell. Res.* 21, 135–191, 2004.
- [54] Brafman, R.I., Engel, Y., "Directional decomposition of multi attribute utility functions", 2009
- [55] Gonzales, C., Perny, P., "GAI networks for decision making under certainty". In: *IJCAI– Workshop on Advances in Preference Handling*, 2005.
- [56] Brafman, R.I., Domshlak, C.: TCP-nets for preference-based product configuration. In: *The Forth Workshop on Configuration (ECAI)*. pp. 101–106 (2002)
- [57] J. Lang, J. Mengin. «The Complexity of Learning Separable Ceteris Paribus Preferences». In *Proceedings of the 21st International Joint Conference of Artificial Intelligence (IJCAI' 09)*, 848-853, 2009.
- [58] F. Koriche, B. Zanuttini. «Learning Conditional Preference Networks». *Artificial Intelligence*, 174(11), 685-703, 2010.
- [59] J. Liu, Z. Yao, Y. Xiong, W. Liu, C. Wu «Learning Conditional Preference Network from Noisy Samples using Hypothesis Testing». *Knowledge-Based Systems*, 40, 7-16, 2013.
- [60] Y. Dimopoulos, L. Michael, F. Athienitou. «Ceteris Paribus Preference Elicitation with Predictive Guarantees». In *Proceedings of the 21st International Joint Conference of Artificial Intelligence (IJCAI' 09)*, 1890-1895, 2009.

[61] L. G. Valiant. «A Theory of the Learnable». *Communications of the ACM*, 27(11), 1134-1142, 1984.

[62] David Devlin and Barry O'Sullivan "Satisfiability as a Classification Problem?" *Cork Constraint Computation Centre, Department of Computer Science, University College Cork, Ireland*

[63] Carla P. Gomes, Henry Kautz, Ashish Sabharwal, and Bart Selman "Satisfiability Solvers", Chapter 2, *Handbook of Knowledge Representation*, Elsevier, 2008

[63] Fishburn, P.C.: *Utility theory for decision making*. Tech. rep., DTIC Document, 1970

[64] Jensen, F.V., Lauritzen, S.L., Olesen, K.G.: *Bayesian updating in causal probabilistic networks by local computations*. *Proc. Comput. Stat. Quarterly* 4, 269–282, 1990