Πανεπιστήμιο Κρήτης
Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών

Επαναλαμβανόμενη Διαπραγμάτευση μέσω Ηλεκτρονικού Αντιπροσώπου για Αποδοτική Επιλογή Συμβολαίου Τηλεπικοινωνιακής Υπηρεσίας

Δημήτριος Ε. Καλοφικάκης

Μεταπτυχιακή Εργασία

Ηράκλειο, Φεβρουάριος 2000

Πανεπιστήμιο Κρήτης
Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών

Επαναλαμβανόμενη Διαπραγμάτευση μέσω Ηλεκτρονικού Αντιπροσώπου για Αποδοτική Επιλογή Συμβολαίου Τηλεπικοινωνιακής Υπηρεσίας

Εργασία που υποβλήθηκε από τον
Δημήτριο Ε. Καλοφικάκη
ως μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για την απόκτηση
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Συγγραφέας:

____
Δημήτριος Ε. Καλοφικάκης
Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών
Πανεπιστήμιο Κρήτης

Εισηγητική Επιτροπή:

____
Γεώργιος Δ. Σταμούλης, Επίκουρος Καθηγητής, Επόπτης

____
Απόστολος Τραγανίτης, Αναπληρωτής Καθηγητής, Μέλος

____
Ευάγγελος Μαρκάτος, Επίκουρος Καθηγητής, Μέλος

Δεκτή:

____
Πάνος Κωνσταντόπουλος, Καθηγητής
Πρόεδρος Επιτροπής Μεταπτυχιακών Σπουδών

Φεβρουάριος 2000

στην οικογένειά μου

στους συνεργάτες μου

Επαναλαμβανόμενη Διαπραγμάτευση μέσω Ηλεκτρονικού Αντιπροσώπου για Αποδοτική Επιλογή Συμβολαίου Τηλεπικοινωνιακής Υπηρεσίας

Δημήτριος Ε. Καλοψικάκης

Μεταπτυχιακή Εργασία

Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών
Πανεπιστήμιο Κρήτης

Περίληψη

Η αγορά τηλεπικοινωνιών καθίσταται συνεχώς πιο ανταγωνιστική λόγω τόσο τεχνολογικών όσο και θεσμικών εξελίξεων. Επίσης, η ευρεία διάδοση και ο βαθμός παραμετροποίησης των υπηρεσιών έχουν καταστήσει εφικτή από τους καταναλωτές την απόκτησή τους σε προσιτές τιμές. Όμως, η επιλογή της βέλτιστης υπηρεσίας μπορεί να αποδειχθεί εξαιρετικά πολύπλοκη, ιδιαίτερα όταν υπάρχουν πολλές παράμετροι που πρέπει να καθοριστούν. Το έργο αυτό μπορεί να το αναλάβει ένας ηλεκτρονικός αντιπρόσωπος ο οποίος, με βάση τις προτιμήσεις του χρήστη, διαπραγματεύεται την επιλογή (ή/και επανεπιλογή) της υπηρεσίας εκ μέρους του.

Στην εργασία αυτή αναλύεται ένας αποδοτικός ευριστικός αλγόριθμος επιλογής συμβολαίου τηλεπικοινωνιακής υπηρεσίας επιπέδου εφαρμογής (π.χ. παροχή ειδήσεων κατ' απαίτηση) βασισμένος σε προτιμήσεις του χρήστη, που κωδικοποιούνται σε μια προσέγγιση της συνάρτησης χρησιμότητας του χρήστη. Η βασική έμφαση της εργασίας δίδεται στην εφαρμογή του αλγορίθμου αυτού σε περιπτώσεις όπου η διαπραγμάτευση μεταξύ χρήστη και παροχέα είναι επαναλαμβανόμενη.

Αρχικά, διερευνάται η δυνατότητα επαναδιαπραγμάτευσης ή επανεπιλογής συμβολαίου υπηρεσίας. Ο βασικός στόχος είναι να βρεθούν κάποιες απλές συνθήκες με βάση τις οποίες να μπορεί ο αντιπρόσωπος να αποφασίζει είτε για το νέο αποτέλεσμα της επανεπιλογής είτε ότι πρέπει να επανεκτελέσει τον αλγόριθμο επιλογής. Η

διερεύνηση αυτής της προσέγγισης έδειξε ότι, υπό ρεαλιστικές υποθέσεις, υπάρχουν απλές συνθήκες βάσει των οποίων μπορεί να αποφευχθεί η επανεκτέλεση του αλγορίθμου σε διάφορες ενδιαφέρουσες περιπτώσεις.

Στη συνέχεια ο αλγόριθμος επιλογής εμπλουτίζεται με μια διαδικασία εκμάθησης με σκοπό την δυνατότητα προσαρμογής του ηλεκτρονικού αντιπροσώπου σε συνήθκες που μεταβάλλονται, όπως "ασταθείς"(ως προς τις προτιμήσεις τους) χρήστες ή μεταβαλλόμενο κόστος αγοράς. Η ιδέα της προσέγγισης αυτής είναι να δοθεί η δυνατότητα στο χρήστη να εκφράσει τη διαφορετική του προτίμηση από αυτή του αντιπροσώπου. Με βάση αυτή την πληροφορία γίνονται κατάλληλες προσαρμογές στο εσωτερικό μοντέλο που διατηρεί ο αντιπρόσωπος και σταδιακά προσεγγίζονται καλύτερα οι επιθυμίες του χρήστη. Η αποτίμηση αυτής της διαδικασίας εκμάθησης, γίνεται με την ανάπτυξη ενός περιβάλλοντος προσομοίωσης και τα πειραματικά αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι ο χρήστης προσεγγίζεται καλύτερα τουλάχιστον ως προς την επιλογή συνδυασμού υπηρεσίας ύστερα από επαναλαμβανόμενες χρήσεις.

Στο τέλος της εργασίας μελετώνται οι δυνατότητες εφαρμογής των παραπάνω ιδεών σε συγκεκριμένες τεχνολογίες δικτύων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή της υπηρεσίας υπό επιλογή. Ειδικότερα εξετάζονται οι περιπτώσεις των IPv4, IPv6, Diffserv, ATM και Frame Relay και καταδεικνύεται η καταλληλότητα της προσέγγισης επιλογής μέσω ηλεκτρονικών αντιπροσώπων για καθεμιά από αυτές.

Επόπτης: Γεώργιος Δ. Σταμούλης
Επίκουρος Καθηγητής Επιστήμης Υπολογιστών
Πανεπιστήμιο Κρήτης

Repeated Agent-Baed Negotiation for Efficient Contract Selection of Telecommunication Service

Dimitrios E. Kalopsikakis

Master of Science Thesis

Computer Science Department
University of Crete

Abstract

Telecommunications markets are becoming increasingly competitive due to both technological and regulatory changes. Moreover, the wide diversity and the level of customization of services have already made it possible for users to buy affordable services matching well their preferences. However, the optimal service selection, may prove a very complicated task in case there are several "degrees of freedom" involved. On the other hand, this task is appropriate for a software agent that will negotiate (and/or re-negotiate) with service retailers on behalf of the user.

In the present Master's Thesis, we analyze an efficient heuristic algorithm for selecting the contract for an application-level telecommunications service (e.g. News-on-Demand) based on user preferences reflected in an approximation of the user utility function. Our work emphasizes on the application of this algorithm to cases that negotiation between user and service retailer is repeated.

First, we analyse the case of re-negotiation or re-selection of service contract. The main purpose is to find some computationally simple conditions based on which the agent can either decide for the new outcome of the selection or decide to re-execute the selection algorithm. This analysis showed that, under realistic assumptions, there can be established simple conditions under which the re-execution of the selection algorithm can be avoided in various interesting cases.

In the sequel, the selection algorithm is enriched with a learning process aiming at adaptation of the agent to varying conditions, such as unstable (with respect to their preferences) users or randomly varying charging. The main idea is to offer the user the ability to express a preference that is possibly different from the agent's recommendation. This information is exploited by means of adjustments performed to the internal utility model that is maintained by the agent. As a result, the approximation of user's actual preferences improves. We then present an assessment of this learning process by means of a simulation environment. The experimental results show that the user after a number of successive selections is indeed approximated well by the agent, at least, with respect to his service contract selections.

Finally, we study the applicability of the above ideas with certain technologies of the underlying network. In particular, we examine the cases of IPv4, IPv6, Diffserv, ATM and Frame Relay, and we argue that the proposed approach is indeed applicable to all of them.

Supervisor: George D. Stamoulis
Assistant Professor of Computer Science
University of Crete

Ευχαριστίες

Φθάνοντας στο τέλος αυτής της εργασίας, δεν μπορώ να μην εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου σε όσους στήριξαν αυτή την προσπάθεια. Πριν από όλους ευχαριστώ τον επόπτη αυτής της εργασίας κ. Γιώργο Σταμούλη του οποίου η συμβολή και η καθοδήγηση ήταν καθοριστικές για την επιτυχή ολοκλήρωσή της. Επίσης ευχαριστώ τα μέλη της εισηγητικής επιτροπή κκ. Απόστολο Τραγανίτη και Ευάγγελο Μαρκάτο οι οποίοι με τις παρατηρήσεις τους συνέβαλαν ουσιαστικά στην ποιοτική βελτίωση της εργασίας. Ευχαριστώ ιδιαίτερα την πολύτιμη φίλη Άννα Κυρίκολγου, καθώς μέσω της στενής και δημιουργικής συνεργασίας μαζί της προέκυψαν οι περισσότερες από τις ιδέες που προτείνονται στην παρούσα εργασία. Ευχαριστώ, επίσης το Ινστιτούτο Πληροφορικής του Ιδρύματος Τεχνολογίας και Έρευνας για την υλικοτεχνική υποδομή που μου παρείχε και ιδιαίτερα τα μέλη της ομάδας Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων. Ευχαριστώ το Πανεπιστήμιο Κρήτης και το Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών χωρίς το οποίο δε θα μπορούσε να γίνει αυτή η εργασία. Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου που με ανέχτηκε και με στήριξε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Δημήτρης Καλοφικάκης

Περιεχόμενα

Κατάλογος Σχημάτων

Κατάλογος Πινάκων

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Η αγορά τηλεπικοινωνιών καθίσταται συνεχώς πιο ανταγωνιστική λόγω τόσο τεχνολογικών όσο και θεσμικών εξελίξεων. Επίσης, η ευρεία διάδοση και ο βαθμός παραμετροποίησης των υπηρεσιών έχουν καταστήσει εφικτή από τους καταναλωτές την απόκτησή τους σε προσιτές τιμές. Οι νέες εφαρμογές που εμφανίζονται απαιτούν από την υφιστάμενη τηλεπικοινωνιακή υποδομή να μπορεί να προσφέρει εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας και παραμετροποίηση των υπηρεσιών. Οι παροχείς που θα μπορέσουν πρώτοι να προσφέρουν αυτές τις δυνατότητες θα έχουν σημαντικό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα. Λόγω του μεγάλου ανταγωνισμού και των δυνατοτήτων των νέων τεχνολογιών οι δυνατές επιλογές ενός χρήστη είναι πολλές και μπορούν να ικανοποιήσουν πολύ καλά τις ανάγκες του. Όμως, η επιλογή της βέλτιστης υπηρεσίας μπορεί να αποδειχθεί εξαιρετικά πολύπλοκη, ιδιαίτερα όταν υπάρχουν πολλές παράμετροι που πρέπει να καθοριστούν. Το έργο αυτό μπορεί να το αναλάβει ένας ηλεκτρονικός αντιπρόσωπος ο οποίος, με βάση τις προτιμήσεις του χρήστη, διαπραγματεύεται την επιλογή (ή/και επανεπιλογή) της υπηρεσίας εκ μέρους του.

1.1 Συνεισφορά της Εργασίας

Στην εργασία αυτή, ορίστηκε ένα αθροιστικό μοντέλο που κωδικοποιεί τις προτιμήσεις του χρήστη σχετικά με τις υπηρεσίες που επιθυμεί να αποκτήσει. Ο ορισμός του βασίστηκε στην υπόθεση ότι τα επιμέρους αγαθά που αποκτάει ο χρήστης είναι ανεξάρτητα. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του κριτηρίου επιλογής συνδυασμού υπηρεσίας. Το κριτήριο επιλογής μπορεί να είναι η μεγιστοποίηση της χρησιμότητας, ελαχιστοποίηση του κόστους αγοράς, ή η μεγιστοποίηση του καθαρού οφέλους.

Για την περίπτωση του συνολικού οφέλους, αναπτύχθηκε ένας ευριστικός αλγόριθμος διαπραγμάτευσης, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιείται από το ηλεκτρονικό αντιπρόσωπο του χρήστη για την επιλογή συνδυασμού υπηρεσίας και παροχέα. Ο αλγόριθμος δίνει έμφαση στους συνδυασμούς υπηρεσίας με μεγαλύτερη χρησιμότητα και είναι πολύ αποδοτικός ως προς την προσέγγιση της ιδανικής επιλογής υπηρεσίας για το χρήστη. Το τελευταίο συμπέρασμα προκύπτει τόσο από θεωρητική όσο και από πειραματική μελέτη της απόδοσής του.

Το παραπάνω μοντέλο και ο αλγόριθμος αναπτύχθηκαν στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού έργου ACTS MONTAGE (AC325) [1], ενώ υπήρξε στενή συνεργασία με την κ. Αννα Κυρίκογλου, η οποία έχει επίσης εκπονήσει διατριβή μεταπτυχιακού διπλώματος ειδίκευσης με σχετικό θέμα [2]. Το έργο MONTAGE έχει ως στόχο την εκμετάλλευση τεχνολογιών ηλεκτρονικών αντιπροσώπων για την αποδοτική παροχή υπηρεσιών σε χρήστες σταθερούς ή μετακινούμενους, σε συνθήκες ανταγωνισμού μεταξύ τηλεπικοινωνιακών φορέων.

Ο παραπάνω αλγόριθμος αναλύθηκε, επίσης, ως προς την υπολογιστική του πολυπλοκότητα, η οποία αποδεικνύεται ότι είναι πολυωνυμική παρά το εκθετικό μέγεθος του αριθμού όλων των δυνατών συνδυασμών υπηρεσίας.

Ως επέκταση της παραπάνω προσέγγισης, διερευνήθηκαν περιπτώσεις επαναδιαπραγμάτευσης της υπηρεσίας. Ο βασικός στόχος είναι να βρεθούν κάποιες απλές συνθήκες με βάση τις οποίες να μπορεί ο αντιπρόσωπος να αποφασίζει είτε για το νέο αποτέλεσμα της επανεπιλογής είτε ότι πρέπει να επανεκτελέσει τον αλγόριθμο επιλογής. Η διερεύνηση αυτής της προσέγγισης έδειξε ότι, υπό ρεαλιστικές υποθέσεις, υπάρχουν απλές συνθήκες βάσει των οποίων μπορεί να αποφευχθεί η επανεκτέλεση του αλγορίθμου σε διάφορες ενδιαφέρουσες περιπτώσεις.

Καθώς το μοντέλο χρησιμότητας που ορίστηκε για το χρήστη είναι προσεγγιστικό και βασίζεται σε εμπειρία από άλλους χρήστες, προκύπτει η ανάγκη για την εισαγωγή κάποιας διαδικασίας εκμάθησης. Η διαδικασία αυτή έχει σκοπό την προσαρμογή του ηλεκτρονικού αντιπροσώπου σε συνθήκες που μεταβάλλονται, όπως "ασταθείς"(ως προς τις προτιμήσεις τους) χρήστες ή μεταβαλλόμενο κόστος αγοράς. Η ιδέα της προσέγγισης αυτής είναι να δοθεί η δυνατότητα στο χρήστη να εκφράσει τη διαφορετική του προτίμηση από αυτή του αντιπροσώπου. Με βάση αυτή την πληροφορία γίνονται κατάλληλες προσαρμογές στο εσωτερικό μοντέλο που διατηρεί ο αντιπρόσωπος και σταδιακά προσεγγίζονται καλύτερα οι επιθυμίες του χρήστη. Η κύρια διαδικασία εκμάθησης αναπτύχθηκε μέσα στα πλαίσια του έργου MONTAGE και κυρίως από την Αννα Κυρίκογλου.

Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε ένα περιβάλλον προσομοίωσης. Σε αυτό το, αποτιμήθηκε η διαδικασία εκμάθησης και πειραματικά αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι ο χρήστης προσεγγίζεται καλύτερα τουλάχιστον ως προς την επιλογή συνδυασμού υπηρεσίας ύστερα από επαναλαμβανόμενες χρήσεις. Επίσης, έγιναν ορισμένες βελτιώσεις στη διαδικασία εκμάθησης ύστερα από παρατηρήσεις των πειραματικών αποτελεσμάτων.

1.2 Σχετική Έρευνα

Οι ιδέες της παραπάνω προσέγγισης, κυρίως ως προς τον αλγόθριμο, επιλογής και τη διαδικασία εκμάθησης, διερευνήθηκαν ως προς την εφαρμογή τους στην περίπτωση επιλογής συνδυασμένης υπηρεσίας Frame Relay [2]. Επιπλέον, στην εργασία αυτή προτείνεται ένας αποδοτικός τρόπος χρέωση των υπηρεσιών Frame Relay με χρήση ισοδύναμου εύρους ζώνης για την περίπτωση εγγυημένης υπηρεσίας και ογκοχρέωση για την περίπτωση υπηρεσίας βέλτιστης εφικτής ποιότητας (best effort).

Αθροιστικό μοντέλο χρησιμοποίησης του χρήστη, παρόμοιο με αυτό που ορίστηκε στην παρούσα εργασία, έχει χρησιμοποιηθεί και σε άλλες εργασίες, όπως το WebTP [3] που αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο του Berkeley και η υποβοήθηση ταξιδιωτών [4]. Στις δύο αυτές περιπτώσεις το μοντέλο χρησιμότητας είναι εξειδικευμένο για της ανάγκες της συγκεκριμένης εφαρμογής. Ωστόσο, για τα μοντέλα αυτά δεν αναπτύχθηκε κάποιος αλγόριθμος για αποδοτική διαπραγμάτευση.

Ειδικότερα, το WebTP είναι ένα Web πρωτόκολλο μεταφοράς, καθοδηγούμενο από το χρήστη, το οποίο βελτιστοποιεί τις μεταδόσεις Web με σκοπό τη μεγιστοποίηση της χρησιμότητας του χρήστη. Αρχικά, ο χρήστης λαμβάνει μία περιγραφή της σελίδας Web από τον αποστολέα, η οποία περιλαμβάνει πληροφορίες όπως ο τύπος και το μέγεθος της σελίδας, η "αξία" της και οι αποδεκτές καθυστερήσεις για όλα τα αντικείμενα που περιέχονται. Ο παραλήπτης αυτής της πληροφορίας, μεταβάλλει αυτά τα στοιχεία με βάση τις προτιμήσεις του χρήστη. Επίσης, στην πλευρά του χρήστη γίνεται εκτίμηση της κατάστασης του δικτύου, με σκοπό την πρόβλεψη των χρόνων αφίξεων των αντικειμένων της σελίδας. Για κάθε αντικείμενο, η χρησιμότητα του χρήστη είναι μηδέν αν ο χρόνος άφιξης υπερβεί τη μέγιστη αποδεκτή καθυστέρηση. Ως συνάρτηση χρησιμότητας υπολογίζεται το άθροισμα των επιμέρους χρησιμοτήτων, σταθμισμένο ως προς τις υπολογισμένες "αξίες" τους. Η χρησιμοποίηση του χρήστη μεγιστοποιείται επιλέγοντας την κατάλληλη σειρά αφίξεων των αντικειμένων της σελίδας. Αξίζει να σημειωθεί ότι στο WebTP δε λαμβάνεται υπόψη το πιθανό κόστος αγοράς της υπηρεσίας.

Στην περίπτωση της αυτόματης ταξιδιωτικής βοήθειας, υπάρχει ένας ηλεκτρονικός αντιπρόσωπος ο οποίος προτείνει ένα σύνολο υποψήφιων "λύσεων" από τις οποίες επιλέγει ο χρήστης. Οι προτιμήσεις του χρήστη εκφράζονται ως βάρη διαφορετικών στοιχείων που μπορούν να είναι το κόστος της υπηρεσίας, ο τόπος και χρόνος αναχώρησης και άφιξης, η ημερομηνία κλπ. Από τις προτεινόμενες "λύσεις", ο χρήστης είτε επιλέγει μια από αυτές, είτε μεταβάλλει κάποιο περιορισμό, ή αλλάζει το βάρος ενός περιορισμού. Με αυτό τον τρόπο ο χρήστης μετά από επαναλαμβανόμενες χρήσεις προσεγγίζει καλύτερα τις προτιμήσεις του.

Όσο αφορά στην επαναδιαπραγμάτευση το μεγαλύτερο μέρος της σχετικής έρευνας αναφέρεται σε εφαρμογές μετάδοσης ακολουθιών εικόνων (video) με σκοπό την καλύτερη δυνατή ποιότητα στον τελικό χρήστη [5][6]. Επίσης, μια προσέγγιση για επαναδιαπραγμάτευση συμβολαίου συσσωρευμένης κίνησης σε μακροχρόνιες συνδέσεις περιγράφεται στο [7]. Εκεί προτείνεται ένας ευριστικός αλγόριθμος επαναλαμβανόμενης διαπραγμάτευσης για το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης (peak rate) με βάση παρατηρήσεις κίνησης. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε αυτή την προσέγγιση δε χρησιμοποιείται κάποιο μοντέλο χρησιμότητας του χρήστη. Τέλος, στο [8], προτάθηκε ένας ευφυής ηλεκτρονικός αντιπρόσωπος ο οποίος διαπραγματεύεται επαναλαμβανόμενα για το εύρος ζώνης που λαμβάνει ο χρήστης από μια σύνδεση ABR για παροχή υπηρεσίας video [9]. Η διαπραγμάτευση γίνεται με βάση ένα απλό μοντέλο χρησιμότητας για το χρήστη το οποίο εξαρτάται από την ποιότητα της υπηρεσίας, δηλαδή το λαμβανόμενο εύρος ζώνης.

1.3 Οργάνωση της Εργασίας

Όσον αφορά στη δομή της υπόλοιπης εργασίας, στο Κεφάλαιο 2 περιγράφεται συνοπτικά το υπόβαθρο γνώσεων που χρειάζεται για την περιγραφή των ιδεών που προτείνονται. στο Κεφάλαιο 3 ορίζεται το πλαίσιο της προτεινόμενης προσέγγισης. Ορίζεται ο μοντέλο του χρήστη και καθορίζονται οι βασικές υποθέσεις. Κατόπιν, στο Κεφάλαιο 4 περιγράφεται λεπτομερώς ένας αλγόριθμος διαπραγμάτευσης που προτείνεται από την παρούσα εργασία, μαζί με τη θεωρητική και πειραματική τεκμηρίωσή του. Ο αλγόριθμος αυτός επεκτείνεται, στο Κεφάλαιο 5, προς την κατεύθυνση της επαναδιαπραγμάτευσης και διερευνώνται οι διάφορες περιπτώσεις. Στο Κεφάλαιο 6 περιγράφεται μια διαδικασία εκμάθησης που έχει ως σκοπό τη βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς του αντιπροσώπου ως προς τις *πραγματικές* προτιμήσεις του χρήστη. Η διαδικασία αυτή αξιολογείται πειραματικά με την ανάπτυξη ενός κατάλληλου περιβάλλοντος προσομοίωσης. Στο Κεφάλαιο 7 γίνεται μια μελέτη για τις δυνατότητες εφαρμογής της προτεινόμενης προσέγγισης σε διάφορες τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών. Τέλος, στο Κεφάλαιο 8 αναφέρονται τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτή την εργασία, καθώς και ορισμένες κατευθύνσεις για μελλοντικές επεκτάσεις.

Κεφάλαιο 2

Υπόβαθρο

2.1 Συνάρτηση Ικανοποίησης και Μεγιστοποίηση Ευημερίας

Μια από τις βασικότερες έννοιες στη μικροοικονομική θεωρία είναι η συνάρτηση χρησιμότητας ενός χρήστη [10]. Έστω ότι ένας χρήστης πρόκειται να επιλέξει ένα "διάνυσμα" $z = (z_1, \ldots, z_n)$ από n καταναλωτικά αγαθά. Συγκεκριμένα, το z_i εκφράζει την ποσότητα του αγαθού i. Για παράδειγμα, ένας πελάτης που πηγαίνει σε ένα κατάστημα και θέλει να αγοράσει ψωμί, γάλα, αυγά κλπ. Για το σύνολο αυτών των πρέπει να επιλέξει τον καλύτερο συνδυασμό ποιότητας, ποσότητας και κόστους. Επίσης, μπορεί να να επιλέξει να αγοράσει τα αγαθά αυτά από το κατάστημα του οποίου η προσφορά θα είναι συμφερότερη. Αυτές τις επιλογές ο πελάτης θα τις κάνει με βάση ορισμένα κριτήρια που αφορούν τόσο στις ανάγκες και τις προτιμήσεις του, όσο και στους οικονομικούς του περιορισμούς.

Οι ανάγκες και οι προτιμήσεις ενός καταναλωτή, μπορούν να κωδικοποιηθούν μέσω της *συνάρτησης χρησιμότητας* $u()$. Ο όρος χρησιμότητα στην περίπτωση αυτή μπορεί να σημαίνει το χρηματικό κέρδος του χρήστη ή την προσωπική του ικανοποίηση. Γενικότερα, έχει την έννοια της βελτίωσης του βιοτικού επιπέδου (και άρα της ευημερίας) του χρήστη. Κατά συνέπεια η συνάρτηση χρησιμότητας δεν μπορεί να αντιστοιχηθεί ακριβώς σε κάποια ποσοτικοποιημένη έννοια. Αυτό συμβαίνει διότι η *επιλογή* ενός αγαθού γίνεται μετά από σύγκριση με όλα τα διαθέσιμα. Κατά συνέπεια, αυτό που έχει σημασία είναι η *διάταξη* των διανυσμάτων z ποσοτήτων αγαθών ως προς την χρησιμότητας του χρήστη. Η βασική ιδιότητα της συνάρτησης $u\left(\right)$ είναι ότι $u\left(z\right) > u\left(z'\right)$ αν και μόνο αν ο συνδυασμός αγαθών (ή υπηρεσιών) z προτιμάται από τον z'.

Είναι διαισθητικά φανερό ότι η χρησιμότητας του καταναλωτή γίνεται μέγιστη όταν το κόστος αγοράς γίνει ίσο με το μέγιστο χρηματικό ποσό που επιτρέπει ο προϋπολογισμός του. Ωστόσο, σε πολλές περιπτώσεις είναι πιο λογικό να υποθέσουμε ότι η εξοικονόμηση χρημάτων είναι σημαντική απαίτηση για τον καταναλωτή. Σε αυτές τις περιπτώσεις σκοπός του καταναλωτή είναι η μεγιστοποίηση του καθαρού οφέλους (Net Benefit):

$$NB\left(z\right) = u\left(z\right) - c\left(z\right) \tag{2.1}$$

όπου $c\left(z\right)$ είναι το κόστος αγοράς του z.

Ουσιαστικά η συνάρτηση καθαρού οφέλους είναι μία συνάτρηση χρησιμότητας μερικώς γραμμική (quasilinear) που ορίζεται ως εξής:

$$\mathcal{U}\left(x, z\right) = x + u\left(z\right), \tag{2.2}$$

όπου x είναι το χρηματικό υπόλοιπο του χρήστη μετά την αγορά των z. Η συνάρτηση αυτή είναι γραμμική ως προς τα χρήματα που εξοικονομεί ο χρήστης. Αυτό, όμως, δεν είναι απαραίτητο για την $u\left(z\right)$. Με βάση αυτό τον ορισμό, το πρόβλημα του χρήστη είναι η μεγιστοποίηση της χρησιμότητας $\mathcal{U}\left(x, z\right)$, δεδομένου ότι $x + c\left(z\right) = w$, όπου w είναι το μέγιστο διαθέσιμο ποσό που μπορεί να πληρώσει ο χρήστης. Αντικαθιστώντας το x στην εξίσωση (2.2), το πρόβλημα βελτιστοποίησης του χρήστη γίνεται

$$\max u\left(z\right) + w - c\left(z\right). \tag{2.3}$$

Η μεγιστοποίηση αυτής της ποσότητας δεν εξαρτάται από τη σταθερά w. Αυτό σημαίνει ότι το πρόβλημα του χρήστη ανάγεται στη μεγιστοποίηση της ποσότητας $u\left(z\right) - c\left(z\right)$ που είναι το καθαρό όφελος που αναφέρθηκε παραπάνω.

2.2 Κωδικοποίηση Προτιμήσεων Χρηστών

Μια συνάρτηση χρησιμότητας μπορεί να έχει διαφορετική μορφή ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του καταναλωτή και των διαθέσιμων αγαθών. Με άλλα λόγια κάθε καταναλωτής έχει μία μοναδική συνάρτηση χρησιμότητας, η οποία μπορεί να μεταβάλλεται καθώς περνάει ο χρόνος. Λόγω αυτών των ιδιαιτεροτήτων, ένα από τα δυσκολότερα προβλήματα στη μοντελοποίηση χρηστών είναι η μαθηματική ή αλγοριθμική έκφραση της συνάρτησης χρησιμότητας. Ιδανικά, θα έπρεπε για κάθε χρήστη να δημιουργείται ένα αντίστοιχο μοντέλο, κάτι το οποίο είναι πρακτικά ανέφικτο. Στην πράξη έχουν αναπτυχθεί τεχνικές σε διάφορους τομείς, όπως τεχνητή νοημοσύνη, εκπαίδευση, ψυχολογία, επικοινωνία ανθρώπου μηχανής κ.α. Κάθε τεχνική χρησιμοποιεί διαφορετικούς τρόπους αναπαράστασης των χαρακτηριστικών ενός χρήστη και κατά συνέπεια διαφορετικές μεθόδους αποκωδικοποίησης της απαιτούμενης πληροφορίας. Οι προσεγγίσεις αυτές μπορούν να διαχωριστούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- *Τεχνικές Θεωρίας Αποφάσεων*· στις περισσότερες από αυτές τις τεχνικές οι προτιμήσεις του χρήστη εκφράζονται με ιδιότητες και βάρη [11]. Οι ιδιότητες κωδικοποιούν χαρακτηριστικά του χρήστη με βάση τα οποία λαμβάνεται μια απόφαση. Σε κάθε ιδιότητα αντιστοιχείται ένα βάρος που δηλώνει πόσο σημαντική είναι η ιδιότητα αυτή στην όλη διαδικασία. Αυτή η τεχνική έχει εφαρμοστεί σε συστήματα που μπορούν να προσαρμόζονται στη συμπεριφορά του χρήστη με βάση προσωπικές προτιμήσεις [12]. Παρόμοια τεχνική έχει εφαρμοστεί για αυτοματοποίηση ταξιδιωτικών επιλογών[4].

- *Μοντέλα Νευρωνικών Δικτύων*· τα νευρωνικά δίκτυα [13] αποτελούνται από συνδεδεμένους κόμβους, όμοιους με τους νευρώνες του νευρικού συστήματος του

  ανθρώπου. Ένα τέτοιο δίκτυο μιμείται τον άνθρωπο, μαθαίνοντας από εμπειρία. Έχουν εφαρμοστεί σε πολλά προβλήματα με σημαντική πολυπλοκότητα, όπως αναγνώριση προτύπων, προβλέψεις, μοντελοποίηση συστημάτων, προσομοίωση ανθρώπινου σώματος και προβλήματα ελέγχου.

- *Μέθοδοι Bayes*· η βασική υπόθεση αυτών των τεχνικών είναι ότι οι ποσότητες που είναι κρίσιμες για τη λήψη απόφασης επηρεάζονται από κατανομές τυχαίων μεταβλητών και κατά συνέπεια οι αποφάσεις λαμβάνονται ύστερα από αξιολόγηση τόσων των σχετικών πιθανοθεωρητικών μεγεθών όσο και των παρατηρούμενων δεδομένων. Τέτοιες μέθοδοι έχουν εφαρμοστεί κυρίως για μοντελοποίηση και πρόβλεψη συμπεριφοράς, όπως για παράδειγμα για πρόβλεψη της αντίδρασης μαθητών στη λύση προβλημάτων [14].

- *Λογικές Μέθοδοι*· σε αυτές τις τεχνικές γίνεται αναπαράσταση πληροφορίας μέσω λογικών γλωσσών και εφαρμόζεται εκμάθηση χρησιμοποιώντας κανόνες πρόβλεψης. Η *ασαφής λογική* (fuzzy logic) είναι μια ευρέως διαδεδομένη λογική μέθοδος κατά την οποία οι κανόνες πρόβλεψης βασίζονται περισσότερο σε *διαβαθμίσεις αλήθειας* παρά στην απόλυτη λογική Boole [15][16]. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές 0 και 1 δίνονται ως ακραίες περιπτώσεις αλήθειας, ενώ υπάρχουν και ενδιάμεσες διαβαθμίσεις.

- *Στερεοτυπικές Τεχνικές* (Stereotype-Based)· οι τεχνικές αυτές δημιουργούν μοντέλα χρηστών με βάση κάποια *στερεότυπα* (stereotypes), δηλαδή υποθέσεις σχετικά με τα χαρακτηριστικά των χρηστών (π.χ. τουρίστες, επαγγελματίες κλπ). Τέτοιες τεχνικές εφαρμόζονται όταν είναι εφικτός ο καθορισμός των στερεοτύπων [17][18].

- *Εξειδικευμένες Τεχνικές*· τέτοιες τεχνικές έχουν αναπτυχθεί για δυσλεκτικούς χρήστες [19] ή για μοντελοποίηση της συμπεριφοράς ενός χρήστη που περιηγείται στον παγκόσμιο δικτυακό ιστό [20].

2.3 Τεχνολογία Ηλεκτρονικών Αντιπροσώπων

Ένας *ηλεκτρονικός αντιπρόσωπος* (software agent) είναι λογισμικό που ενεργεί αυτόνομα, αλληλεπιδρώντας με άλλους ηλεκτρονικούς αντιπροσώπους. Ένας ευφυής ηλεκτρονικός αντιπρόσωπος (intelligent agent) διαχειρίζεται σημαντικές πληροφορίες, έχει δυνατότητες εκμάθησης και μπορεί να δρα έξυπνα όταν επικοινωνεί με άλλες οντότητες (αντιπροσώπους ή χρήστες). Ένας *μετακινούμενος ηλεκτρονικός αντιπρόσωπος* (mobile agent) μπορεί να μεταβαίνει από υπολογιστή σε υπολογιστή μέσω της υφιστάμενης τηλεπικοινωνιακής υποδομής και να εκτελείται ως πρόγραμμα εκεί.

Ένα παράδειγμα από την καθημερινή ζωή ενός ευφυούς και μετακινούμενου αντιπροσώπου είναι ένας ταξιδιωτικός πράκτορας. Τα καθήκοντά του είναι να ελέγχει σχέδια ταξιδιών (δηλ. να καθορίζει την υπηρεσία που θα λάβει ο πελάτης-χρήστης) με βάση κάποιες απαιτήσεις που έχει εκφράσει ο πελάτης. Αρχικά ο ταξιδιωτικός πράκτορας, παίρνει από τον πελάτη μια σειρά από απαιτήσεις, όπως προορισμός ταξιδιού, ημερομηνία και ώρα αναχώρησης και ίσως κάποιους οικονομικούς περιορισμούς. Κατόπιν προσπαθεί να βρει ένα *συνδυασμό* από *υπηρεσίες*, που να ταιριάζουν καλύτερα με τις δεδομένες απαιτήσεις. Για παράδειγμα μπορεί να αναζητήσει να βρει την αεροπορική εταιρεία που προσφέρει το φθηνότερο εισιτήριο ή που τα δρομολόγιά της γίνονται σε ώρες κοντά στις απαιτούμενες. Επίσης, ο ταξιδιωτικός πράκτορας μπορεί να μετακινείται για να *διαπραγματευθεί* με τους παροχείς των υπηρεσιών ως αντιπρόσωπος του πελάτη. Επομένως, είναι ένας ευφυής αντιπρόσωπος.

Οι μετακινούμενοι ηλεκτρονικοί αντιπρόσωποι προτάθηκαν για προβλήματα απόδοσης σε κατανεμημένα συστήματα. Σε ένα μοντέλο πελάτη-εξυπηρετητή (client-server) οι πελάτες και οι εξυπηρετητές μπορεί να βρίσκονται σε διαφορετικούς κόμβους του δικτύου. Το πρόβλημα εντοπίστηκε στην διόγκωση της πληροφορίας που χρειάζεται να μεταδοθεί λόγω της επικοινωνίας των οντοτήτων του παραπάνω μοντέλου. Ο όγκος αυτής της πληροφορίας μπορεί να ελαττωθεί αν οι εξυπηρετούμενες οντότητες, αντί να διαπραγματεύονται από μακριά με τον εξυπηρέτη, μετακινούνται στον κόμβο του εξυπηρέτη και "συνομιλούν" μαζί του τοπικά ή αν δε μετακινούνται οι ίδιες να στέλνουν έναν ηλεκτρονικό αντιπρόσωπο με την ελάχιστη απαραίτητη πληροφορία. Αυτό, εκτός από τη μείωση του όγκου της πληροφορίας που χρειάζεται να μεταδοθεί μέσω κάποιου δικτύου επικοινωνίας, περιορίζει την επίδραση προβλημάτων, όπως σφάλματα μετάδοσης ή καταστάσεις συμφόρησης.

Πότε, όμως, ένας ηλεκτρονικός αντιπρόσωπος λέγεται ευφυής; Η απάντηση σε αυτό το ερώτημα δεν είναι προφανής. Παρ' όλα αυτά ευφυής μπορεί να χαρακτηριστεί ένας ηλεκτρονικός αντιπρόσωπος όταν διακρίνεται από τις παρακάτω ιδιότητες:[21]

- *προσαρμοστικότητα*(reactivity)· ένας ευφυής ηλεκτρονικός αντιπρόσωπος πρέπει να έχει τη δυνατότητα να παρακολουθεί τις μεταβολές των συνθηκών κάτω από τις οποίες λειτουργεί.

- *πρόληψη* (pro-activeness)·ένας ευφυής αντιπρόσωπος πρέπει να μπορεί να λαμβάνει μέτρα εκ των προτέρων για να αντιμετωπίσει πιθανές μελλοντικές καταστάσεις.

- "*κοινωνικότητα*"(social ability): ένας ευφυής αντιπρόσωπος πρέπει να μπορεί να επικοινωνεί με άλλους αντιπροσώπους ή/και ανθρώπους.

Καθεμιά από αυτές τις ιδιότητες δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες δυσκολίες. Η σχεδίαση ενός ευφυούς αντιπροσώπου γίνεται πολύπλοκη όταν μαζί με το περιβάλλον λειτουργίας μεταβάλλονται και οι σκοποί που πρέπει να εκπληρώσει ο αντιπρόσωπος ή όταν η επικοινωνία με άλλους αντιπροσώπους παίρνει τη μορφή της διαπραγμάτευσης.

Οι εφαρμογές των ηλεκτρονικών αντιπροσώπων καλύπτουν σχεδόν όλο το φάσμα των εφαρμογών της επιστήμης υπολογιστών. Ενδεικτικά αναφέρουμε μερικά παραδείγματα:

- *Τηλεπικοινωνίες*: ο αυξανόμενος όγκος πληροφορίας που διακινείται μέσω όλων των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων έχει δημιουργήσει την ανάγκη για τη χρήση ηλεκτρονικών αντιπροσώπων με σκοπό είτε την απλοποίηση και βελτιστοποίηση της χρήσης [22, 23, 24] των υπηρεσιών ή/και την καλύτερη εσωτερική κατανομή των διαθέσιμων πόρων[25, 26].

- *Ηλεκτρονικό Εμπόριο*: οι δυνατότητες που προσφέρει η τεχνολογία των ηλεκτρονικών αντιπροσώπων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αυτοματοποιήσουν τις χρονοβόρες διαδικασίες αγοραπωλησιών[27], ενώ έχει προταθεί ένα σύστημα (ksabah [28]) στο οποίο οι καταναλωτές δημιουργούν ηλεκτρονικούς αντιπροσώπους που διαπραγματεύονται για αγοραπωλησίες αγαθών. Επίσης, η χρήση των αντιπροσώπων μπορεί να επεκταθεί [29] και στον καθορισμό της τιμολογιακής πολιτικής που ακολουθεί ένας πωλητής αγαθών.

- *Βιομηχανία*: ένα από τα πρώτα συστήματα που αναπτύχθηκαν ήταν το YAMS [30] (Yet Another Manufacturing System). Ήταν ένα σύστημα πολλαπλών αντιπροσώπων για τη βέλτιστη κατανομή των λειτουργιών ανάμεσα στους τομείς μίας βιομηχανίας. Επίσης, για τον έλεγχο λειτουργιών (π.χ. διαχείριση μετάδοσης ηλεκτρικού ρεύματος) αναπτύχθηκε η πλατφόρμα ARCHON [31] που δίνει τη δυνατότητα ανάπτυξης συστημάτων πολλαπλών αντιπροσώπων.

- *Υποστήριξη Αποφάσεων*: πρόσφατα έχουν προταθεί αρχιτεκτονικές ηλεκτρονικών αντιπροσώπων για υποστήριξη αποφάσεων [32] χρησιμοποιώντας θεωρία ψηφοφοριών.

Κεφάλαιο 3

Ορισμός και Ανάλυση του Προβλήματος Επιλογής

Στο κεφάλαιο αυτό ορίζεται το πρόβλημα επιλογής συνδυασμού υπηρεσίας από το χρήστη. Καθορίζονται λεπτομερώς οι βασικές παράμετροι που εμπλέκονται και προδιαγράφεται η χρήση των ηλεκτρονικών αντιπροσώπων για την αποδοτική αντιμετώπισή του. Περιγράφεται η μορφή της παρεχόμενης υπηρεσίας που πρέπει να αποτελεί σύνολο αγαθών με διακριτά επίπεδα ποιότητας. Ο χρήστης επιλέγει αυτή την υπηρεσία, λαμβάνοντας υπόψη και τις προσωπικές προτιμήσεις του, οι ο οποίες κωδικοποιούνται στο αρχείο προσωπικών προτιμήσεων. Η κωδικοποίηση συνδυάζεται με ένα προσεγγιστικό μοντέλο της συνάρτησης χρησιμότητας του χρήστη. Ο τρόπος επιλογής της υπηρεσίας μπορεί να σκοπεύει στη βελτιστοποίηση του καθαρού οφέλους, στη μεγιστοποίηση της χρησιμότητας, ή στην ελαχιστοποίηση του κόστους αγοράς. Γενικά, είναι εξαιρετικά πολύπλοκο να γίνει από το χρήστη,η βέλτιστη επιλογή υπηρεσίας, οπότε επιστρατεύεται η χρήση ενός ηλεκτρονικού αντιπροσώπου. Στο επόμενο κεφάλαιο περιγράφεται πώς ο ηλεκτρονικός αντιπρόσωπος αντιμετωπίζει το πρόβλημα επιλογής της υπηρεσίας, ενώ στο κεφάλαιο 5 αντιμετωπίζονται θέματα επαναδιαπραγμάτευσης της υπηρεσίας κατά τη διάρκεια παροχής της.

3.1 Περιγραφή Ενδεικτικού Σεναρίου

Ο ορισμός και η ανάλυση του εξεταζόμενου προβλήματος απαιτεί τον καθορισμό σαφών και ρεαλιστικών υποθέσεων μέσα στα πλαίσια των οποίων είναι εφαρμόσιμες και ικανοποιητικές οι προτεινόμενες λύσεις. Υποθέτουμε, λοιπόν, ένα σενάριο στο οποίο υπάρχουν καταναλωτές και πωλητές αγαθών. Αγαθό θεωρούμε ότι είναι μία *ηλεκτρονική υπηρεσία* (βλ. παρ. 3.2). Με αυτό τον όρο εννοούμε κάθε υπηρεσία που μπορεί να παρασχεθεί με κάποιο ηλεκτρονικό μέσο (υπολογιστή, τηλεόραση, ραδιόφωνο, κλπ) και να μεταδοθεί ενσύρματα ή ασύρματα. Ένα απλό παράδειγμα είναι η παροχή video. Η πηγή μίας ηλεκτρονικής υπηρεσίας γενικά βρίσκεται μακριά από τον καταναλωτή, οπότε είναι απαραίτητη η ύπαρξη κάποιας τηλεπικοινωνιακής υποδομής για τη μεταφορά της υπηρεσίας από την πηγή στους τελικούς καταναλωτές.

Τους καταναλωτές τους ονομάζουμε εφεξής *χρήστες* , καθώς η κατανάλωση των ηλεκτρονικών υπηρεσιών προϋποθέτει τη *χρήση* ενός ηλεκτρονικού μέσου και ίσως κάποιας τηλεπικοινωνιακής υπηρεσίας. Κάθε χρήστης διαθέτει ένα τερματικό μέσο ηλεκτρονικής τεχνολογίας με δυνατότητα σύνδεσης και επιθυμεί να λάβει μία υπηρεσία μέσω του τερματικού του. Την υπηρεσία αυτή μπορεί να την αγοράσει από πολλούς εναλλακτικούς πωλητές. Στόχος του είναι να βελτιστοποιήσει είτε τη *χρησιμότητα*, είτε την *τιμή αγοράς*, είτε ένα συνδυασμό αυτών. Για να είναι αυτό εφικτό και μη τετριμμένο είναι απαραίτητη η ποικιλία των αγαθών τόσο ως προς την ποιότητα όσο και ως προς την τιμή πώλησης.

Οι πωλητές, προμηθεύονται τις υπηρεσίες από άλλους μεταπωλητές ή από τις πηγές δημιουργίας της κάθε υπηρεσίας. Μπορεί να μην διαθέτουν την απαραίτητη τηλεπικοινωνιακή υποδομή και να χρεώνονται τη μεταφορά των απαιτούμενων υπηρεσιών από τους αρμόδιους παροχείς σύνδεσης. Στο σενάριο που περιγράφουμε, όμως, ο χρήστης έχει κεντρική σημασία και δε μας ενδιαφέρει πώς προμηθεύεται ο πωλητής την υπηρεσία. Θεωρούμε ότι οι πωλητές είναι οι παροχείς υπηρεσιών οι οποίοι ανταγωνίζονται μεταξύ τους και διαπραγματεύονται με τους χρήστες, με στόχο τη βελτιστοποίηση των κερδών τους.

Οι διαπραγματεύσεις μεταξύ παροχέων και χρηστών μπορούν να διευκολυνθούν και να γίνουν πιο αποτελεσματικές με τη χρήση *ηλεκτρονικών αντιπροσώπων* (agents) τους οποίους μπορούν να διαθέτουν τόσο οι παροχείς όσο και οι χρήστες.

Οι ηλεκτρονικοί αντιπρόσωποι (βλ. Κεφ. 2) αποτελούν αυτόνομα προγράμματα με στοιχεία τεχνητής ευφυΐας και δυνατότητες εκμάθησης. Συγκεκριμένα για τους χρήστες, γνωρίζοντας ή *μαθαίνοντας* τις προτιμήσεις τους, μπορούν να ποσοτικοποιήσουν καλύτερα το όφελος από τη λήψη της υπηρεσίας και να κάνουν την επιθυμητή βελτιστοποίηση αρκετά αποτελεσματικά. Επίσης, έχουν τη δυνατότητα να αντιδρούν καλύτερα και ταχύτερα σε αλλαγές της κατάστασης του δικτύου μεταφοράς της υπηρεσίας ή των τιμών που επιβάλλουν οι παροχείς. Οι ηλεκτρονικοί αντιπρόσωποι μπορούν να έχουν δυνατότητα μετακίνησης ελαχιστοποιώντας το μέγεθος της πληροφορίας που απαιτείται να μεταφερθεί πάνω από το δίκτυο. Οι δυνατότητες αυτές μπορούν να βοηθήσουν σημαντικά τη διαδικασία επιλογής της βέλτιστης υπηρεσίας.

Αντίστοιχους ηλεκτρονικούς αντιπροσώπους μπορούν να διαθέτουν και οι παροχείς για τη διαπραγμάτευση με τους αντιπροσώπους των χρηστών. Συγκεκριμένα, οι αντιπρόσωποι μπορούν να εφαρμόζουν αυτόματες τιμολογιακές πολιτικές ή να εκτιμούν την κατάσταση του δικτύου, να κάνουν αντιπροσφορές στους αντιπροσώπους των χρηστών κλπ, με στόχο τη μεγιστοποίηση των κερδών τους.

Παρ' όλα αυτά, οι ηλεκτρονικοί αντιπρόσωποι δεν αποτελούν ιδανική λύση για όλα τα προβλήματα διαπραγμάτευσης για οποιαδήποτε υπηρεσία. Στην επόμενη παράγραφο, θα προσπαθήσουμε να περιγράψουμε ένα είδος υπηρεσιών για τις οποίες έχει νόημα η εφαρμογή των ιδεών που προτείνουμε.

3.2 Η Προσφερόμενη Υπηρεσία

Η βασική προϋπόθεση για να είναι εφαρμόσιμες η προτεινόμενη ιδέα είναι ότι κάθε υπηρεσία αποτελείται από ένα σύνολο αγαθών, που ονομάζουμε *μέσα* (media) και καθένα από τα οποία μπορεί να διαφοροποιείται ως προς την ποιότητά του. Η διαφοροποίηση αυτή πρέπει να οδηγεί σε ένα *διατάξιμο*[1] σύνολο επιπέδων ποιότητας (χάρις σε αυτή τη διάταξη θα είναι εφικτή η ποσοτικοποίηση της ποιότητας των μέσων). Γενικά το σύνολο των επιπέδων ποιότητας μπορεί να μην είναι διακριτό. Για παράδειγμα, αν η ποιότητα μιας υπηρεσίας εκφράζεται μέσω του εύρους ζώνης (bandwidth), τότε το σύνολο των επιπέδων ποιότητας αντιστοιχεί στο συνεχές σύνολο όλων

[1]Ένα παράδειγμα μη διατάξιμου συνόλου επιπέδων ποιότητας θα μπορούσε να είναι ένα σύνολο διαφορετικών χρωμάτων. Αν ένα εργοστάσιο παράγει χαρτί A4 σε χρώματα κίτρινο και λευκό, τότε δεν είναι σαφές ποιο από τα δύο είδη είναι προτιμότερο.

των δυνατών τιμών που μπορεί να πάρει το εύρος ζώνης. Αυτό μπορεί να κάνει το πρόβλημα επιλογής υπηρεσίας απαγορευτικά πολύπλοκο.

Γι' αυτό θεωρούμε ότι για κάθε μέσο υπάρχει ένα διακριτό σύνολο επιπέδων ποιότητας. Αυτή η απλοποίηση δεν είναι περιοριστική. Στην πράξη οι καταναλωτές επιλέγουν υπηρεσίες λαμβάνοντας υπόψη προσεγγιστικά διακριτά επίπεδα ποιότητας. Για να γίνει αυτό πιο σαφές, ας πάρουμε το παράδειγμα του εύρους ζώνης . Για έναν χρήστη δεν υπάρχει ουσιαστική διαφοροποίηση αν στο τερματικό του λαμβάνει ρυθμό λήψης δεδομένων 50kbps ή 48kbps. Θα παρατηρήσει, όμως, σημαντική διαφορά αν από 50kbps, λάβει 40kbps. Αυτό σημαίνει ότι είναι ρεαλιστικό να υποθέσουμε το σύνολο των επιπέδων ποιότητας ότι είναι διακριτό.

Μία επιπλέον απλούστευση που κάνουμε είναι ότι για όλα τα μέσα υπάρχει ένα ενιαίο και αφηρημένο διακριτό σύνολο επιπέδων ποιότητας (π.χ. το σύνολο των χαρακτηρισμών {*άριστη, πολύ καλή, καλή, μέτρια*}). Αυτό είναι λογικό αφού σχεδόν για οποιοδήποτε αγαθό μπορούν να εισαχθούν διακριτοί χαρακτηρισμοί της ποιότητάς του. Φυσικά η απεικόνιση του αφηρημένου συνόλου επιπέδων ποιότητας σε παραμέτρους δικτύου ή κωδικοποίησης του μέσου διαφέρει από μέσο σε μέσο και στη γενική περίπτωση μπορεί να μην είναι τετριμμένη.

Χωρίς να ξεφεύγουμε από την πραγματικότητα υποθέτουμε ότι υπάρχει άμεσος τρόπος τέτοιας απεικόνισης για όλους τους παροχείς. Αυτό στην πράξη ισχύει και μπορεί να αποσαφηνιστεί με το παράδειγμα των σταθερών εικόνων. Η ποιότητα στις σταθερές εικόνες αποτελείται από στοιχεία όπως οι διαστάσεις, ο αριθμός των διαφορετικών χρωμάτων που απεικονίζονται, κλπ. Αυτά μπορούν να μεταφραστούν άμεσα σε μέγεθος δεδομένων, έστω και προσεγγιστικά, ανάλογα με την τεχνολογία κωδικοποίησης (jpeg, bmp, κλπ). Το πρόβλημα, όμως, που ανακύπτει είναι ότι μπορεί ο κάθε παροχέας να απεικονίζει με διαφορετικό τρόπο τα διακριτά επίπεδα ποιότητας σε παραμέτρους δικτύου ή παραμέτρους κωδικοποίησης των μέσων.

Για να υπερβούμε αυτή τη δυσκολία, εισάγουμε ακόμα μία απλούστευση. Υποθέτουμε ότι για κάθε μέσο υπάρχει κοινός (από τους παροχείς) τρόπος απεικόνισης των διακριτών επιπέδων ποιότητας σε χαρακτηριστικά δικτύου ή κωδικοποίησης μέσου. Για παράδειγμα, εικόνες άριστης ποιότητας από δύο διαφορετικούς παροχείς πρέπει να είναι μη διαφοροποιήσιμες. Αυτό, αν και δεν είναι απόλυτα ακριβές, μπορεί να προσεγγίσει την πραγματικότητα αν θεωρήσουμε ότι όλοι οι παροχείς υπηρεσιών έχουν φτάσει περίπου στα ίδια επίπεδα τεχνολογίας. Αυτό είναι λογικό, αφού στη σύγχρονη εποχή υπάρχει ανταγωνιστικό περιβάλλον παροχής υπηρεσιών και ευρεία διάδοση της γνώσης και της τεχνολογίας. Στο παράδειγμα του εύρους ζώνης, αυτό σημαίνει ότι όλοι οι παροχείς μπορούν να προσφέρουν τα ίδια άνω και κάτω όρια για το ρυθμό λήψης δεδομένων. Αρα, η περιοχή τιμών στην οποία απεικονίζονται τα διακριτά επίπεδα ποιότητας είναι η ίδια για όλους τους παροχείς. Για να γίνει ακόμα πιο ξεκάθαρο, στο παράδειγμα των σταθερών εικόνων, αν όλοι οι παροχείς διαθέτουν τις πιο σύγχρονες τεχνολογίες κωδικοποίησης (jpeg, κλπ) και παρουσίασης (οθόνες υψηλής ανάλυσης), τότε, όπως και με το εύρος ζώνης, η εν λόγω απεικόνιση μπορεί να είναι κοινή για όλους. Αρα, μπορούμε να θεωρήσουμε εφικτή την κοινή απεικόνιση των διακριτών επιπέδων ποιότητας σε παραμέτρους δικτύου ή κωδικοποίησης των μέσων.

Στη μέχρι τώρα περιγραφή δεν έχει αναφερθεί η απαίτηση για τις υπηρεσίες να είναι ηλεκτρονικές. Ένα παράδειγμα μη ηλεκτρονικής υπηρεσίας για την οποία είναι εφαρμόσιμες οι προτεινόμενες ιδέες, είναι η δέσμευση δωματίων για διανυκτέρευση. Η δέσμευση αυτή μπορεί να γίνεται από μακριά μέσω κάποιου ηλεκτρονικού δικτύου πληροφοριών. Το δωμάτιο μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σύνολο από επιμέρους στοιχεία τα οποία διαφοροποιούν την ποιότητα της προσφερόμενης υπηρεσίας. Τέτοια στοιχεία μπορεί να είναι η τοποθεσία του δωματίου, οι διαστάσεις του, ο εξοπλισμός του, κλπ. Επίσης, αυτού του είδους η υπηρεσία μπορεί να προσφέρεται από πολλούς ανταγωνιζόμενους παροχείς. Μπορεί να δει κανείς ότι οι απλοποιήσεις που εισάγαμε παραπάνω είναι εφαρμόσιμες και σε αυτή την περίπτωση. Αν και αυτή η υπηρεσία δεν είναι ηλεκτρονική, η *διαπραγμάτευσή* της μπορεί να γίνει ηλεκτρονικά, με τη χρήση αντιπροσώπων. Επιπλέον, η ύπαρξη διακριτών κατηγοριών ποιότητας διευκολύνουν τη σύγκριση των συνδυασμών και τη διαπραγμάτευση μέσω αντιπροσώπων.

Οι υπηρεσίες, λοιπόν, στις οποίες αναφερόμαστε στο εξής, είναι ηλεκτρονικές, εννοώντας ότι μπορούν να παρουσιασθούν μέσω κάποιου ηλεκτρονικού μέσου (π.χ. υπολογιστή) και να μεταδοθούν μέσω κάποιας τηλεπικοινωνιακής υποδομής ηλεκτρονικής τεχνολογίας (Internet, ATM, κλπ). Επίσης, θεωρούμε ως διακριτό σύνολο επιπέδων ποιότητας των μέσων, το σύνολο των χαρακτηρισμών {*άριστη, πολύ καλή, καλή, μέτρια*}. Τα επίπεδα αυτά αφορούν επίπεδα κωδικοποίησης των μέσων (π.χ. ανάλυση εικόνας, αριθμός χρωμάτων, κλπ). Ένα μέσο μπορεί να είναι ακολουθία εικόνων (video) συνοδευόμενη από ήχο, ήχος, σταθερή εικόνα ή απλό κείμενο (text).

Μέσο	**Επίπεδο Ποιότητας**
Video	*καλή*
Ήχος	*πολύ καλή*
Εικόνα	*άριστη*

Πίνακας 3.1: Ηλεκτρονική Υπηρεσία

Μία *ηλεκτρονική υπηρεσία* αποτελείται από ένα σύνολο αγαθών που ονομάζουμε *μέσα* καθένα από τα οποία μπορεί να διαφοροποιείται ως προς την ποιότητά του. Η ποιότητα ενός μέσου θεωρούμε ότι έχει διακριτές διαβαθμίσεις, όπως το σύνολο των χαρακτηρισμών {*άριστη, πολύ καλή, καλή, μέτρια*}. Επίσης, μπορεί να ληφθεί από τον άνθρωπο μέσω ενός ηλεκτρονικού μέσου (π.χ. υπολογιστή) και να μεταφερθεί πάνω από κάποια τηλεπικοινωνιακή υποδομή (Internet, ATM, κλπ).

Στη γενική περίπτωση μέσα θα μπορούσαν να θεωρηθούν και άλλα στοιχεία, όπως, για παράδειγμα, τα “java script” στις υπηρεσίες τύπου “Web”. Μπορεί κάποιος χρήστης να απαιτήσει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά για το μέγεθός τους, τι επιτρέπεται να κάνουν ή ακόμα να απαγορεύσει την εκτέλεσή τους. Παρ’ όλα αυτά, θα περιοριστούμε στα μέσα που αναφέραμε παραπάνω, αφού, αφενός είναι τα συνηθέστερα μέσα που συναντάμε στην πράξη, αφετέρου δεν μας ενδιαφέρουν τα ειδικά χαρακτηριστικά του κάθε μέσου, αλλά η δυνατότητα διαβάθμισης της ποιότητάς τους. Στον πίνακα 3.1 φαίνεται ένα παράδειγμα μίας υπηρεσίας με συγκεκριμένα απαιτούμενα επίπεδα ποιότητας για κάθε μέσο. Επιπλέον, υποθέτουμε ότι η υπηρεσία που λαμβάνει ο χρήστης είναι εγγυημένη ως προς την ποιότητά της.

Επίσης, υπάρχει και η δυνατότητα για απαίτηση διαφορετικού συνδυασμού για διαφορετικό περιεχόμενο υπηρεσίας. Εφεξής θεωρούμε ότι η εν λόγω υπηρεσία είναι ειδήσεις, όταν ο χρήστης να απαιτεί διαφορετικό συνδυασμό μέσων και ποιότητας για κάθε θεματική περιοχή, π.χ. γι πολιτική επικαιρότητα και για αθλητικά.

Ο πίνακας 3.1 μπορεί να είναι μέρος της κωδικοποίησης των προτιμήσεων του χρήστη που καταγράφονται στο *αρχείο προσωπικών προτιμήσεών* του, όπως θα δούμε στην υποπαράγραφο 3.3.3. Με βάση την πληροφορία που περιέχεται σε αυτό το αρχείο, ο ηλεκτρονικός αντιπρόσωπος μπορεί να *γνωρίζει* και να *μαθαίνει* τη συμπεριφορά του χρήστη για να μπορεί να τον μιμηθεί, έστω και προσεγγιστικά, κατά τη διαπραγμάτευση. Το πρόβλημα που προκύπτει τότε, είναι η εξεύρεση του καλύτερου δυνατού και ρεαλιστικού τρόπου κωδικοποίησης της συμπεριφοράς του χρήστη στο αρχείο προσωπικών προτιμήσεων. Αυτό το πρόβλημα εξετάζουμε στην επόμενη παράγραφο.

3.3 Ο Χρήστης

Οι χρήστες έχουν κεντρική σημασία στο πρόβλημα που εξετάζουμε. Καθένας από αυτούς όπως ορίσαμε το ενδεικτικό σενάριο (βλ. παρ. 3.1) λαμβάνει μία ηλεκτρονική υπηρεσία μέσω ενός τερματικού τοπικά ή από απόσταση με τη βοήθεια κάποιας τηλεπικοινωνιακής υποδομής. Την υπηρεσία την αγοράζει από τους κατάλληλους παροχείς. Η επιλογή του συνδυασμού της υπηρεσίας και του παροχέα, γίνεται με βάση κάποιο κριτήριο. Το κριτήριο αυτό μπορεί να είναι η μεγιστοποίηση της χρησιμότητας, η ελαχιστοποίηση του κόστους ή η μεγιστοποίηση του καθαρού οφέλους. Το καθαρό όφελος, γενικά, ενδεικνύει το βαθμό χρησιμότητας του χρήστη από την υπηρεσία που λαμβάνει σε σχέση με το κόστος αγοράς της. Αυτή ποσοτικοποιείται και εκφράζεται σε χρηματικές μονάδες, οπότε και ορίζεται ως το καθαρό κέρδος του χρήστη από τη λήψη της υπηρεσίας:

$$NB\left(S\right) = Utility\left(S\right) - TC\left(S\right),$$

όπου το $NB\left(S\right)$ (Net Benefit) συμβολίζει το καθαρό όφελος ως συνάρτηση του συνδυασμού υπηρεσίας S και $Utility\left(S\right)$, είναι η χρησιμότητα (εκφρασμένη σε χρηματικές μονάδες) που εκφράζει (βλ. κεφ. 2) την ικανοποίηση του χρήστη από τη λήψη του συνδυασμού υπηρεσίας S, ανεξάρτητα από το κόστος αγοράς της το οποίο συμβολίζεται ως $TC\left(S\right)$ (Total Charge) . Από αυτά τα μεγέθη, πρέπει να καθοριστεί η χρησιμότητα. $Utility\left(S\right)$. Στις επόμενες υποπαραγράφους θα ορίσουμε ένα προσεγγιστικό μοντέλο για τις ανάγκες του σεναρίου που ορίσαμε.

3.3.1 Ιδανική Συνάρτηση Χρησιμότητας

Η συμπεριφορά του χρήστη κωδικοποιείται (βλ. κεφ. 2), με τη *συνάρτηση χρησιμότητας*, η οποία στην ιδανική περίπτωση μπορεί να αποτελεί μία λίστα από συνδυασμούς υπηρεσίας, ταξινομημένη ως προς την προτίμηση του χρήστη για κάθε συνδυασμό. Εναλλακτικά, θα μπορούσε σε κάθε συνδυασμό να απεικονισθεί ένας αριθμός που εκφράζει το βαθμό της προτίμησης του χρήστη. Αν το κριτήριο επιλογής του χρήστη είναι η μεγιστοποίηση του καθαρού οφέλους, τότε ο αριθμός αυτός πρέπει να ισούται με τα χρήματα που είναι διατεθειμένος να δώσει ο χρήστης για τον κάθε συνδυασμό υπηρεσίας.

Η παραπάνω ιδανική περίπτωση, αν και απεικονίζει ακριβώς τις προτιμήσεις του χρήστη, ενέχει δυσκολίες που την καθιστούν ανεφάρμοστη. Κατ΄αρχήν, στην περίπτωση που οι *βαθμοί ελευθερίας* του προβλήματος, δηλαδή τα μέσα και οι διαφοροποιήσεις στην ποιότητά τους, είναι αρκετοί, τότε η επιλογή του βέλτιστου συνδυασμού γίνεται εξαιρετικά πολύπλοκη, αφού ο αριθμός όλων των δυνατών συνδυασμών εξαρτάται εκθετικά από το πλήθος των βαθμούς ελευθερίας. Τέτοιο μέγεθος πληροφορίας είναι απαγορευτικό. Ιδιαίτερα για έναν ηλεκτρονικό αντιπρόσωπο, ο οποίος μπορεί να είναι μετακινούμενος, αυξάνει σημαντικά το κόστος μεταφοράς δεδομένων και την καθυστέρηση στη διαχείριση της ταξινομημένης λίστας[2]. Επιπλέον, για την κατασκευή αυτής της λίστας είναι απαραίτητη η συνδρομή του χρήστη ως προς τον καθορισμό του μεγέθους της χρησιμότητας (σε χρηματικές μονάδες ή απλά σε βαθμό προτίμησης) για κάθε συνδυασμό υπηρεσίας με σχετικές ερωτήσεις.

Δεν είναι, όμως, το μέγεθος της πληροφορίας το μόνο πρόβλημα. Αν υποθέσουμε ότι εισάγεται ένα νέο μέσο, τότε η λίστα θα πρέπει να επανακατασκευαστεί και να υπολογιστούν οι νέοι συνδυασμοί από την αρχή. Αυτό που είναι ακόμα πιο δύσκολο, στην περίπτωση αυτή, είναι η απεικόνιση της λίστας στις προτιμήσεις του χρήστη(εκφρασμένες σε χρηματικές μονάδες), αφού πρέπει να ερωτηθεί ο ίδιος ο χρήστης για κάθε συνδυασμό ξεχωριστά έτσι ώστε να προκύψει η ταξινόμηση.

Ακόμα και αν ήταν δυνατός ο καθορισμός της χρησιμότητας κάθε μέσου, θα ήταν ανέφικτο για τον ίδιο το χρήστη να γνωρίζει ακριβώς τις προτιμήσεις του, αφού θα έπρεπε να δοκιμάσει όλους τους δυνατούς συνδυασμούς. Μπορούμε, λοιπόν, να θεωρήσουμε ότι δεν είναι δόκιμη η χρησιμοποίηση του ιδανικού σχήματος για τη

[2]Γενικά, δεν είναι απόλυτα απαραίτητο να υπάρχει ταξινόμηση των συνδυασμών. Για παράδειγμα, αντί για ταξινομημένη λίστα μπορεί να χρησιμοποιηθεί φίλτρο επιλογής μεγίστου[?], το οποίο δεν ταξινομεί τα στοιχεία του, αλλά δίνει σε χρόνο $O(1)$ το *μέγιστο* σύμφωνα με κάποιο *κριτήριο*. Παρ' όλα αυτά δεν θα είχαμε ουσιαστική βελτίωση. Στην περίπτωση που αναζητείται ο συνδυασμός με το βέλτιστο όφελος υπάρχει ο κίνδυνος να εξετασθούν όλα τα στοιχεία της δομής, αφού κάθε παροχέας μπορεί να επιβάλλει διαφορετικές τιμές και άρα να πρέπει να επανακατασκευάζεται η δομή. Επομένως δεν είναι, στην περίπτωσή μας, τόσο σημαντικός ο τρόπος οργάνωσης των συνδυασμών.

συνάρτηση χρησιμότητας, επιτάσσοντας την ανάγκη για ένα *προσεγγιστικό μοντέλο*, που είναι περισσότερο ρεαλιστικό.

3.3.2 Προσεγγιστικό Μοντέλο

Όπως έχει ήδη αναφερθεί (παρ. 3.2) ένας συνδυασμός υπηρεσίας μπορεί να περιέχει διάφορες θεματικές περιοχές (όπως πολιτικά ή αθλητικά) και καθεμία από αυτές μπορεί να παρέχεται με ένα σύνολο από μέσα (π.χ. video[3], ήχος, κλπ). Κάθε μέσο διαβαθμίζεται ως προς την ποιότητά του υποθέτωντας την ύπαρξη ενός συνόλου διακριτών επιπέδων ποιότητας.

Η χρησιμότητα του χρήστη για έναν τέτοιο συνδυασμό προφανώς εξαρτάται από όλα τα παραπάνω στοιχεία. Αν θεωρήσουμε ότι τα εμπλεκόμενα μέσα είναι *ανεξάρτητα*, τότε μπορούμε να ορίσουμε ένα αθροιστικό μοντέλο ως προς τα εμπλεκόμενα μέσα για τη συνάρτηση χρησιμότητας του χρήστης. Αυτό σημαίνει ότι αρκεί ο χρήστης να ερωτηθεί μόνο για κάθε μέσο και όχι για κάθε δυνατό συνδυασμό για τον καθορισμό των προτιμήσεών του. Το άθροισμα αυτό μπορεί να εκφραστεί, για ένα συγκεκριμένο είδος περιεχομένου c, ως εξής:

$$u_c = \sum_{m \in M_c} \rho_m^c u_m\left(q_m\right) \tag{3.1}$$

όπου m είναι ένα μέσο που ανήκει στο σύνολο των μέσων M_c και $u_m\left(q_m\right)$ είναι η χρησιμότητα του μέσου m ως συνάρτηση της ποιότητάς του q_m. Τα ρ_m^c αποτελούν τα βάρη του αθροίσματος και εξαρτώνται από το πόσο σημαντικό είναι για το χρήστη το μέσο m στο είδος περιεχομένου c.

Για να υπολογιστεί η συνολική χρησιμότητα, $u\left(S\right)$, ενός συνδυασμού S, αθροίζουμε όλα τα u_c, θέτοντας κατάλληλα βάρη, k_c, για κάθε θεματική περιοχή:

$$u\left(S\right) = \sum_c k_c u_c = \sum_c k_c \sum_{m \in M_c} \rho_m^c u_m\left(q_m\right) \tag{3.2}$$

Το βάρος k_c εκφράζει πόσο σημαντικό είναι το συγκεκριμένο είδος περιεχομένου για το χρήστη και είναι σε μορφή ποσοστού με $\sum_c k_c = 1$.

Όσο αφορά στους συντελεστές ρ_m^c, όπως είπαμε παραπάνω, εκφράζουν ουσιαστικά την προτίμηση του χρήστη για το μέσο m στο συγκεκριμένο είδος

[3] Για το video υποθέτουμε ότι υποθέτουμε ότι εμπεριέχει και ήχο στην κωδικοποίησή του.

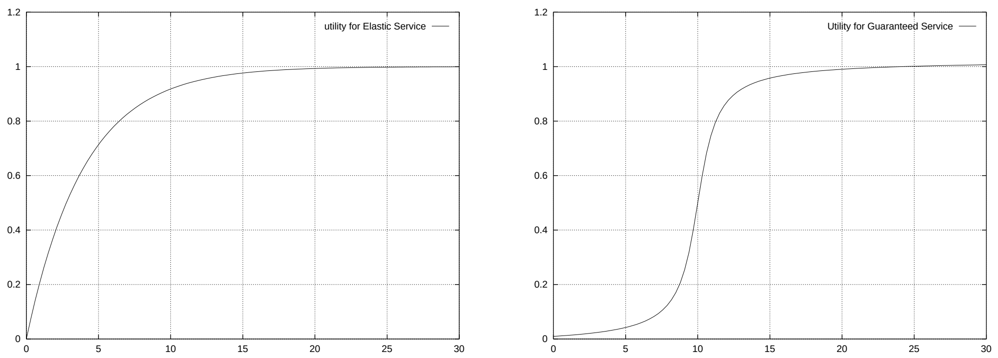
Μέσο	**Σχετική Χρησιμότητα**
Video	70%
Ήχος	15%
Εικόνα	5%
Κείμενο	10%

Πίνακας 3.2: Σχετική Χρησιμότητα r_m^c

Ο συντελεστής σχετικής χρησιμότητας r_m^c δείχνει την προτίμηση του (στατιστικά) μέσου χρήστη για το μέσο m που συμπεριλαμβάνεται σε έναν συνδυασμό υπηρεσίας για κάποιο είδος περιεχομένου c. Στον παραπάνω πίνακα φαίνονται μερικές ενδεικτικές τιμές για αθλητική επικαιρότητα.

περιεχομένου c. Επομένως, ιδανικά, θα μπορούσαν να καθοριστούν με ερωτήσεις προς το χρήστη, κατά τη διάρκεια κατασκευής του αρχείου προσωπικών προτιμήσεων. Αντί για αυτό, ο καθορισμός των ρ_m^c μπορεί να γίνει μέσω της *σχετικής χρησιμότητας* r_m^c ανά μέσο για τον (στατιστικά) μέσο χρήστη. Τα r_m^c μπορούν να εξαχθούν με σχετικές στατιστικές μελέτες [33]. Με βάση αυτές, καθώς και με την καθημερινή εμπειρία μπορούμε να καθορίσουμε κάποιες λογικές τιμές (Πίνακας 3.2) για τα r_m^c για τα μέσα που σχετίζονται με το περιεχόμενο αθλητικής επικαιρότητας. Χωρίς απώλεια της γενικότητας θεωρούμε ότι τα r_m^c είναι κανονικοποιημένα, δηλαδή $\sum_{m\in M_c} r_m^c = 1$.

Για το χρήστη οι συντελεστές ρ_m^c πρέπει να εκφράζουν και την προσωπική του προτίμηση για το μέσο m. Οι προτιμήσεις θεωρούμε ότι κωδικοποιούνται σε τέσσερα επίπεδα: *απαίτηση*, *επιθυμία*, *αδιαφορία*, *απόρριψη*. Τα επίπεδα *απαίτηση* και *απόρριψη* αποτελούν μη διαπραγματεύσιμες επιλογές, ενώ τα άλλα δύο εκφράζουν ελαστικές απαιτήσεις. Τα ρ_m^c προκύπτουν από τη συσχέτιση των επιπέδων προτίμησης με τους συντελεστές r_m^c. Στην περίπτωσή μας είναι λογικό να θεωρήσουμε ότι για το μέγιστο επίπεδο ποιότητας $\rho_m^c = r_m^c$. Αυτό σημαίνει ότι αντιστοιχούμε το επίπεδο προτίμησης *απαίτηση* στον αριθμό 1. Για τα υπόλοιπα επίπεδα, μπορούμε να ορίσουμε $\rho_m^c = \left(\frac{2}{3}\right) r_m^c$ για το επίπεδο *επιθυμία* και $\rho_m^c = \left(\frac{1}{3}\right) r_m^c$ για το επίπεδο *αδιαφορία*, ενώ για το επίπεδο *απόρριψη* θέτουμε $\rho_m^c = 0$. Κατόπιν γίνεται ξανά κανονικοποίηση έτσι ώστε $\sum \rho_m^c = 1$. Αυτές οι τιμές αποτελούν ουσιαστικά την αρχικοποίηση αυτών των συντελεστών. Ο ηλεκτρονικός αντιπρόσωπος θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να προσαρμόζει αυτές τις τιμές ανάλογα με τη χρήση που εφαρμόζει ο τελικός



(α) Ελαστική Υπηρεσία (β) Εγγυημένη Υπηρεσία

Σχήμα 3.1: Καμπύλες Χρησιμότητας.

Στο σχήμα αυτό φαίνονται οι δύο γενικές κατηγορίες συναρτήσεων χρησιμοτήτων για υπηρεσίες (α)*ελαστικές* και (β)*εγγυημένες*. Η καμπύλη για τις ελαστικές υπηρεσίες είναι κοίλη γιατί ο ρυθμός αύξησης της χρησιμότητας του χρήστη μειώνεται όσο αυξάνει η ποιότητα. Αντίστοιχα, στις εγγυημένες υπηρεσίες η καμπύλη προσεγγίζει τη βηματική συνάρτηση, αφού κάτω από ένα όριο ο χρήστης απορρίπτει την υπηρεσία ενώ πάνω από αυτό η χρησιμότητα του είναι σχεδόν σταθερή.

καταναλωτής (βλ. Κεφάλαιο 6).

Εκτός από τους συντελεστές ρ_m^c, πρέπει να καθοριστεί και η εξάρτηση της επιμέρους χρησιμότητας u_m (εξίσωση 3.1), για ένα μέσο m, από το αντίστοιχο επίπεδο ποιότητας. Γενικά υποθέτουμε ότι υπάρχουν δύο κατηγορίες συναρτήσεων χρησιμότητας που σχετίζονται με το είδος της προσφερόμενης υπηρεσίας αν είναι *ελαστική*[4] ή *εγγυημένης ποιότητας*. Για μία ελαστική υπηρεσία, η μορφή της συνάρτησης είναι προσεγγιστικά αύξουσα και κοίλη (Σχήμα 3.1α), ενώ για μία εγγυημένης ποιότητας υπηρεσία η μορφή της προσεγγίζει τη βηματική συνάρτηση (Σχήμα 3.1β).

Όταν ένας χρήστης λαμβάνει μία ελαστική υπηρεσία, η χρησιμότητά του αρχικά αυξάνει σημαντικά με επιπλέον εύρος ζώνης, αλλά αυτή η αύξηση μειώνεται όσο συνεχίζεται η αύξηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης. Η συνάρτηση χρησιμότητας του χρήστη για μια τέτοια υπηρεσία είναι, λοιπόν, κοίλη αφού ο ρυθμός αύξησης της χρησιμότητας μειώνεται όσο αυξάνει η ποιότητα. Ένα κλασσικό παράδειγμα ελαστικής

[4]Υπενθυμίζεται ότι χάριν απλότητας θεωρούμε ότι έχουμε μόνο εγγυημένες υπηρεσίες. Παρ' όλα αυτά, αναφερόμαστε και στις ελαστικές υπηρεσίες, γιατί συμπεριλαμβάνονται στο ίδιο μοντέλο συνάρτησης χρησιμότητας.

υπηρεσίας είναι η μεταφορά αρχείων μέσω του πρωτοκόλλου FTP [34].

Στην περίπτωση των εγγυημένων υπηρεσιών, ο χρήστης δεν ανέχεται μείωση της ποιότητας, έστω και λίγο, κάτω από ένα ελάχιστο απαιτούμενο όριο, ενώ πάνω από αυτό η χρησιμότητά του είναι σχεδόν σταθερή. Αυτό απεικονίζει άμεσα μια προσέγγιση της βηματικής συνάρτησης. Ένα παράδειγμα τέτοιας υπηρεσίας είναι η εικονοακουστική συνδιάσκεψη(video conference).

Για να μπορούμε να συγκρίνουμε τη χρησιμότητα διαφορετικών μέσων πρέπει να δώσουμε κατάλληλες τιμές στη συνάρτηση u_m για τα διάφορα επίπεδα ποιότητας q_m. Θεωρούμε, λοιπόν, ότι για το υψηλότερο επίπεδο ποιότητας (*άριστη* στην περίπτωσή μας) ισχύει $u_m(q_m) = 1$ για όλα τα διαθέσιμα μέσα. Για χαμηλότερα επίπεδα ποιότητας, η τιμή της συνάρτησης μειώνεται. Ιδανικά, θα έπρεπε η μείωση να ακολουθεί την καμπύλη της συνάρτησης χρησιμότητας του χρήστη για το μέσο m. Χωρίς να ξεφεύγουμε ιδιαίτερα από αυτό, υποθέτουμε ότι όταν η ποιότητα μειώνεται από *άριστη* σε *πολύ καλή* το u_m πολλαπλασιάζεται με 0.9, από *πολύ καλή* σε *καλή* πολλαπλασιάζεται επιπλέον με 0.833 (οπότε $u_m(q_m) = 0.833 \times 0.9 = 0.75$) και από *καλή* σε *μέτρια* με 0.67.

Αυτές οι ενδεικτικές τιμές συμβαδίζουν με τη φιλοσοφία των καμπυλών του σχήματος 3.1. Στις ελαστικές υπηρεσίες ταιριάζουν αφού μειώνονται όλο και περισσότερο καθώς χειροτερεύει η ποιότητα και επομένως ακολουθούν κοίλη συμπεριφορά. Από την άλλη μεριά, για τις εγγυημένες υπηρεσίες, αν παρατηρήσουμε το σχήμα 3.1β, βλέπουμε ότι η καμπύλη είναι κοίλη στην περιοχή που αποδέχεται ο χρήστης, έχοντας κάνει την υπόθεση ότι η ελάχιστα αποδεκτή ποιότητα βρίσκεται στο σημείο που αλλάζει πρόσημο η δεύτερη παράγωγος της συνάρτησης χρησιμότητας. Αρα, ανεξάρτητα από το είδος της υπηρεσίας, η συνάρτηση χρησιμότητας στην περιοχή αποδοχής είναι κοίλη. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η μη αποδεκτή περιοχή της συνάρτησης χρησιμότητας, που είναι κυρτή, στερείται ουσιαστικού ενδιαφέροντος. Αυτό συμβαίνει διότι ο ρυθμός αύξησης της χρησιμότητας του χρήστη αυξάνει πολύ γρήγορα με την αύξηση της ποιότητας οδηγώντας τον χρήστη να απαιτεί όλο και καλύτερη ποιότητα, με αποτέλεσμα να εγκαταλείπεται, τελικά, αυτή η περιοχή (δηλαδή, ουσιαστικά να απορρίπτεται). Είναι, λοιπόν, σαφές γιατί αυτές οι τιμές είναι σύμφωνες με τις ιδιότητες των δυο ειδών συναρτήσεων χρησιμότητας. Επίσης, οι τιμές αυτές, όπως και οι τιμές που τέθηκαν για τα ρ_m^c, είναι αρχικές και προσαρμόζονται από τον ηλεκτρονικό αντιπρόσωπο ύστερα από παρατήρηση της συμπεριφοράς του χρήστη.

Για να μπορέσουμε να χειριστούμε το προσεγγιστικό μοντέλο της συνάρτησης χρησιμότητας θα πρέπει να το μετατρέψουμε σε χρηματικές μονάδες. Αυτό μπορεί να γίνει αν υποθέσουμε ότι ο χρήστης δηλώνει ένα άνω όριο W_{max} στο ποσό των χρημάτων που είναι διατεθειμένος να πληρώσει. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι ο χρήστης είναι διατεθειμένος να δώσει W_{max} χρήματα για τον ευρύτερο δυνατό συνδυασμό υπηρεσίας S_{max}. Ο συνδυασμός αυτός περιέχει όλα τα μέσα που δεν έχουν αποκλειστεί, με κάθε νέο στην υψηλότερη δυνατή ποιότητα. Είναι, επίσης, φανερό ότι ο συνδυασμός αυτός αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη τιμή χρησιμότητας, τόσο στην πραγματικότητα όσο και στο μοντέλο που περιγράφουμε. Η μετατροπή, λοιπόν, σε μονάδες χρημάτων γίνεται με βάση τη σχέση

$$utility\left(S_{max}\right) = W_{max}. \tag{3.3}$$

Συνεπώς για οποιονδήποτε συνδυασμό, S, η χρησιμότητά του (σε μονάδες χρημάτων) είναι

$$utility\left(S\right) = W_{max} \times \frac{u\left(S\right)}{u\left(S_{max}\right)}, \tag{3.4}$$

όπου το $u\left(\right)$ υπλογίζεται μέσω της εξίσωσης (3.2). Αν, όμως, παρατηρήσουμε την εξίσωση (3.2), θα δούμε ότι $u\left(S_{max}\right) = 1$, αφού όλες οι παράμετροι είναι κανονικοποιημένες κατάλληλα. Έτσι, η (3.4) γίνεται

$$utility\left(S\right) = W_{max} \times u\left(S\right). \tag{3.5}$$

Η μετατροπή αυτή είναι χρήσιμη, για να μπορέσει να επιλυθεί σωστά το πρόβλημα του χρήστη, το οποίο θα δούμε στην υποπαράγραφο 3.3.4.

Το μοντέλο του χρήστη που έχουμε περιγράψει μέχρι τώρα, συμπληρώνεται με το *αρχείο προσωπικών προτιμήσεων* που περιγράφουμε στην επόμενη υποπαράγραφο. Ο ηλεκτρονικός αντιπρόσωπος λαμβάνει όλη την απαραίτητη πληροφορία από αυτό το αρχείο, για να μπορέσει να διαπραγματευθεί με τους παροχείς για τη βέλτιστη επιλογή υπηρεσίας. Επίσης, παρατηρώντας τη συμπεριφορά του χρήστη ενημερώνει τις κατάλληλες παραμέτρους σε αυτό το αρχείο ώστε να προσεγγιστούν καλύτερα οι πραγματικές προτιμήσεις του χρήστη.

3.3.3 Αρχείο Προσωπικών Προτιμήσεων

Όπως έχουμε αναφέρει ο χρήστης αγοράζει ένα συνδυασμό υπηρεσίας από κάποιον παροχέα, τον οποίο επιλέγει από ένα σύνολο ανταγωνιζόμενων παροχέων. Σε αυτή την επιλογή, καθώς και στην επιλογή του συνδυασμού υπηρεσίας, παίζει αποφασιστικό ρόλο ο ηλεκτρονικός αντιπρόσωπος, ο οποίος κάνει την επιλογή με βάση τις προτιμήσεις του χρήστη. Οι προτιμήσεις αυτές είναι κωδικοποιημένες σε ένα αρχείο που ονομάζεται *αρχείο προσωπικών προτιμήσεων*. Το αρχείο αυτό μπορεί να περιέχει διάφορες πληροφορίες για το χρήστη. Γενικά, οι πληροφορίες αυτές μπορεί να είναι τριών ειδών:

- προσωπικές πληροφορίες, όπως όνομα, διεύθυνση, ταυτότητα, κλπ.

- πληροφορίες σχετικά με τις προτιμήσεις του χρήστη για την απαιτούμενη υπηρεσία. Αυτού του είδους η πληροφορία είναι που κωδικοποιεί τη συμπεριφορά του χρήστη και μας ενδιαφέρει περισσότερο από τις άλλες δύο κατηγορίες.

Όσον αφορά στις προτιμήσεις του χρήστη, αυτές πρέπει να είναι κωδικοποιημένες σύμφωνα με το μοντέλο της συνάρτησης χρησιμότητας που περιγράψαμε παραπάνω. Ειδικότερα, η πληροφορία που είναι καταχωρημένη πρέπει να περιλαμβάνει:

- τις προτιμήσεις του χρήστη για τα μέσα που εμπλέκονται στο συνδυασμό της απαιτούμενης υπηρεσίας, ποια μέσα αποκλείονται, ποια απαιτούνται, κλπ.

- τα είδη περιεχομένου της υπηρεσίας και το επίπεδο προτίμησης για καθένα από αυτά.

- το W_{max}. Δηλαδή, πόσα χρήματα, το πολύ, είναι διατεθειμένος να δώσει ο χρήστης για την εν λόγω υπηρεσία. Για υπηρεσίες πραγματικού χρόνου[5], το W_{max} μπορεί να εκφράζει το μέγιστο ρυθμό χρημάτων ανά μονάδα χρόνου.

Ένα παράδειγμα αρχείου προσωπικών προτιμήσεων φαίνεται στον πίνακα 3.3. Στον πίνακα αυτό, εκτός από αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω, υπάρχει και η δήλωση για μέγιστη επιτρεπτή ποιότητα. Αυτό συμβαίνει γιατί μπορεί το τερματικό

[5] Η υπηρεσία πραγματικού χρόνου παρέχεται στο χρήστη τη στιγμή της δημιουργίας του περιεχομένου της. Ένα παράδειγμα τέτοιας υπηρεσίας είναι η απ' ευθείας μετάδοση ενός ποδοσφαιρικού αγώνα.

ή η σύνδεση του τελικού χρήστη να έχει περιορισμένες δυνατότητες και να μην υποστηρίζεται η παρουσίαση ενός μέσου σε υψηλότερη ποιότητα. Αν για παράδειγμα ο χρήστης διαθέτει μία ασπρόμαυρη οθόνη δεν έχει νόημα να λάβει έγχρωμες σταθερές εικόνες. Ειδική περίπτωση αποτελεί το απλό κείμενο, για το οποίο υποθέτουμε ότι δεν υπάρχουν διαβαθμίσεις ποιότητας. Πρέπει, επίσης, να σημειωθεί ότι ο χρήστης μπορεί να δηλώσει απεριόριστα μεγάλο W_{max}.

Η τελευταία παράμετρος που φαίνεται στον πίνακα 3.3 είναι και η βασικότερη για την επίλυση του προβλήματος του χρήστη, αφού καθορίζει το κριτήριο επιλογής της απαιτούμενης υπηρεσίας. Στην επόμενη υποπαράγραφο αναφερόμαστε αναλυτικότερα σε αυτό το ζήτημα.

3.3.4 Το Πρόβλημα Βελτιστοποίησης του Χρήστη

Σκοπός του χρήστη είναι να κάνει την καλύτερη δυνατή επιλογή με βάση κάποιο κριτήριο. Θεωρούμε τρία ενδεχόμενα κριτήρια επιλογής:

(α) *μεγιστοποίηση της χρησιμότητας*. Αυτό το κριτήριο αναφέρεται σε χρήστες που δεν τους ενδιαφέρει καθόλου το κόστος αγοράς της υπηρεσίας , αλλά μόνο η ποιότητά της. Π.χ. μετάδοση video από εγχείριση καρδιάς.

(β) *ελαχιστοποίηση του κόστους αγοράς*. Ένας χρήστης έχει οικονομικό πρόβλημα και τον ενδιαφέρει να λάβει την υπηρεσία με το ελάχιστο δυνατό κόστος.

(γ) *μεγιστοποίηση του καθαρού οφέλους*. Με αυτό το κριτήριο ένας χρήστης προσπαθεί να βελτιστοποιήσει την χρησιμότητα της λαμβανόμενης υπηρεσίας σε συνδυασμό με το κόστος αγοράς της.

Ιδανικά, για να βρει ο χρήστης τον επιθυμητό συνδυασμό, με βάση ένα από αυτά τα κριτήρια, θα πρέπει να υπολογίσει την κρίσιμη παράμετρο (χρησιμότητα, κόστος αγοράς, ή καθαρό όφελος) για κάθε συνδυασμό και για κάθε παροχέα και να επιλέξει αυτόν για τον οποίο επιτυγχάνεται το αντίστοιχο κριτήριο.

Για τα δύο πρώτα κριτήρια, η διαδικασία είναι σχετικά απλή. Για τη μεγιστοποίηση της χρησιμότητας αρκεί να εξετασθούν οι προσφορές μόνο για τον ευρύτερο συνδυασμό,S_{max}, λόγω μονοτονικότητας της χρησιμότητας που έχουμε

Επιλογή Περιεχομένου			
Περιεχόμενο		*Συντελεστής Προτίμησης* (k_c)	
Πολιτικά		70%	
Αθλητικά		30%	
Πολιτιστικά		0%	
Παράμετροι Μέσων για Πολιτικά			
Τύπος Μέσου	*Επίπεδο Προτίμησης*	*Μέγιστη Ποιότητα*	*Ελάχιστη Ποιότητα*
Ακολουθία Εικόνων	Απαιτείται	Αριστη	Καλή
Σταθερή Εικόνα	Επιθυμείται	Αριστη	Πολύ Καλή
Ήχος	Αποκλείεται	——	——
Κείμενο	Αδιάφορο	Δεν έχει Διαβαθμίσεις	
Παράμετροι Μέσων για Αθλητικά			
Τύπος Μέσου	*Επίπεδο Προτίμησης*	*Μέγιστη Ποιότητα*	*Ελάχιστη Ποιότητα*
Ακολουθία Εικόνων	Απαιτείται	Αριστη	Μέτρια
Σταθερή Εικόνα	Επιθυμείται	Πολύ Καλή	Καλή
Ήχος	Αδιάφορο	Καλή	Μέτρια
Κείμενο	Απαιτείται	Δεν έχει Διαβαθμίσεις	
Μέγιστο Πληρωτέο Ποσό (W_{max})			
1000δρχ			
Κριτήριο Επιλογής			
Μεγιστοποίηση Καθαρού Οφέλοους			

Πίνακας 3.3: Αρχείο Προσωπικών Προτιμήσεων

Στον πίνακα αυτό, φαίνεται ένα παράδειγμα ενός αρχείου προσωπικών προτιμήσεων του χρήστη για την απαιτούμενη υπηρεσία. Ο χρήστης μπορεί να απαιτεί διαφορετικό συνδυασμό υπηρεσίας για κάθε είδος περιεχομένου. Επίσης, για κάθε εμπλεκόμενο μέσο, θέτει μέγιστο επιτρεπτό επίπεδο ποιότητας, αφού μπορεί το τερματικό του να έχει περιορισμένες δυνατότητες παρουσίασης. Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα για άπειρο W_{max}.

υποθέσει[6]. Αντίστοιχα, για το κριτήριο ελαχιστοποίησης του κόστους αγοράς, είναι λογικό να υποθέσουμε ότι ο συνδυασμός με τη μικρότερη χρησιμότητα είναι ο φθηνότερος. Αυτό προϋποθέτει ότι οι παροχείς χρεώνουν την υψηλή ποιότητα ακριβότερα από τη χαμηλή, κάτι που επίσης είναι λογικό. Ακόμα και αυτή η πολυπλοκότητα μπορεί να μην είναι ανεκτή για το χρήστη, όταν πρέπει να ζητήσει και να συγκρίνει προσφορές από πολλούς παροχείς[7].

[6]Η υπόθεση αυτή είναι πολύ λογική αφού είναι πολύ συνηθισμένο στην πράξη οι ακριβώτεροι συνδυασμοί να είναι καλύτεροι.

[7]Ο αριθμός των παροχέων μπορεί να είναι πάρα πολύ μεγάλος, όπως για παράδειγμα οι σταθμοί μετάδοσης ήχου σε πραγματικό χρόνο (real audio).

Το τρίτο κριτήριο είναι σχετικά πιο πολύπλοκο. Ορίζουμε, κατ' αρχήν, το καθαρό όφελος ενός συνδυασμού S που παρέχεται από τον παροχέα P στο χρήστη, με χρησιμότητα $Utility\left(S\right)$, με τιμή αγοράς $TC_P\left(S\right)$, ως

$$NB_P\left(S\right) = Utility\left(S\right) - TC_P\left(S\right). \tag{3.6}$$

Στόχος του χρήστη είναι η μεγιστοποίηση του καθαρού οφέλους $NB_P\left(S\right)$. Με άλλα λόγια το πρόβλημα που πρέπει να λύσει ο χρήστης είναι

$$\max_{S,P}\left\{NB_P\left(S\right)\right\} = \max_{S,P}\left\{Utility\left(S\right) - TC_P\left(S\right)\right\}. \tag{3.7}$$

Για αυτό το πρόβλημα δεν είναι προφανώς εφαρμόσιμες, προσεγγίσεις όπως αυτές για τα άλλα δύο κριτήρια. Εδώ ο βέλτιστος συνδυασμός μπορεί να είναι οποιοσδήποτε. Ακόμα και στην περίπτωση που οι συναρτήσεις χρησιμότητας και κόστους αγοράς είναι μονότονες ως προς την ποιότητα, το αντίστοιχο καθαρό όφελος μπορεί να μην είναι, αφού το κόστος αγοράς της υπηρεσίας μπορεί να καθορίζεται αυθαίρετα από τους παροχείς. Αυτό, όμως, καθιστά την επιλογή εξαιρετικά κοπιαστική και χρονοβόρα για το χρήστη, αφού ο αριθμός τόσο των συνδυασμών όσο και των παροχέων μπορεί να είναι μεγάλος(εκθετικού μεγέθους). Το πρόβλημα αυτό το εξετάζουμε αλγοριθμικά στο κεφάλαιο 4.

Γίνεται, λοιπόν, φανερό ότι ο χρήστης ουσιαστικά αδυνατεί να επιλέξει βέλτιστα με βάση τα παραπάνω κριτήρια. Η αδυναμία αυτή γίνεται μεγαλύτερη όταν οι εμπλεκόμενοι παροχείς είναι απομακρυσμένοι. Τότε η καθυστέρηση της κάθε διαπραγμάτευσης αυξάνει σημαντικά, με αποτέλεσμα να μειώνεται η χρησιμότητα του χρήστη και άρα η *χρησιμότητα* του για την απαιτούμενη υπηρεσία.

Οι δυσκολίες αυτές, μπορούν να ξεπεραστούν με τη χρήση ενός *ηλεκτρονικού αντιπροσώπου*, ο οποίος μπορεί να κάνει τη ζητούμενη βελτιστοποίηση καλύτερα. Όπως θα δούμε στο Κεφάλαιο 4 μπορεί να αντιμετωπίσει πολύ αποτελεσματικά το πρόβλημα βελτιστοποίησης (3.7). Στην επόμενη παράγραφο περιγράφουμε συνοπτικά τα χαρακτηριστικά ενός τέτοιου ηλεκτρονικού αντιπροσώπου.

3.4 Ο Ηλεκτρονικός Αντιπρόσωπος

Ο ηλεκτρονικός αντιπρόσωπος, όπως έχουμε δει (βλ. κεφ. 2), αποτελεί ένα αυτόνομο πρόγραμμα που, στην προκειμένη περίπτωση, έχει ως στόχο να αντιπροσωπήσει το χρήστη στην επιλογή της βέλτιστης υπηρεσίας. Οι ιδιότητες που μπορεί να έχει διευκολύνουν και κάνουν πολύ πιο αποτελεσματική τη διαδικασία επιλογής συνδυασμού υπηρεσίας και παροχέα. Μπορεί να υπολογίσει γρήγορα τους συνδυασμούς με βάση τις προτιμήσεις του χρήστη και να διαπραγματευθεί παράλληλα με όλους τους παροχείς, π.χ., δημιουργώντας πολλές παράλληλες υποδιεργασίες καθεμιά από τις οποίες ενεργεί ανεξάρτητα. Επιπλέον, μπορεί να υπάρχει η δυνατότητα αυτές οι υποδιεργασίες να μετακινούνται στις τοποθεσίες των παροχέων ως πιστά αντίγραφα του *πατρικού* αντιπροσώπου και να διαπραγματεύονται τοπικά την παροχή της υπηρεσίας.

Η σχεδίαση του αντιπροσώπου πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μη δημιουργούνται νέα σημαντικά προβλήματα. Κατ' αρχήν, ως λογισμικό, καταναλώνει πόρους στον κόμβο του παροχέα και θα χρεωθεί για αυτό. Η χρέωση αυτή πρέπει να είναι αμελητέα σε σχέση με το κόστος της παροχής του περιεχομένου υπηρεσίας. Επίσης, πρέπει οι λειτουργίες του αντιπροσώπου να μην επηρεάζουν την χρησιμότητα του χρήστη. Πρέπει, δηλαδή να επιτυγχάνεται η βέλτιστη επιλογή του συνδυασμού υπηρεσίας χωρίς να εισάγονται σημαντικές καθυστερήσεις. Τέλος, είναι απαραίτητο ο αντιπρόσωπος να γνωρίζει τις προτιμήσεις του χρήστη και ανάλογα με τη συμπεριφορά του, να προσαρμόζει τις κατάλληλες παραμέτρους στο αρχείο προσωπικών προτιμήσεων.

Στο 4ο κεφάλαιο περιγράφουμε μία προσέγγιση για μία σχεδόν βέλτιστη επιλογή συνδυασμού υπηρεσίας με βάση το κριτήριο μεγιστοποίησης του καθαρού οφέλους, ενώ στο κεφάλαιο 5 εξετάζουμε την περίπτωση επαναδιαπραγμάτευσης της ήδη παρεχόμενης υπηρεσίας με δυνατότητα αναπροσαρμογής του συνδυασμού ή ακόμα και διακοπής της.

Κεφάλαιο 4

Διαδικασία Επιλογής Συνδυασμού Υπηρεσίας

4.1 Διαδικασία Επιλογής

Η διαδικασία επιλογής της απαιτούμενης υπηρεσίας περιλαμβάνει διαδοχικές ερωτήσεις και απαντήσεις μεταξύ του ηλεκτρονικού αντιπροσώπου και των παροχέων της υπηρεσίας. Για να μπορεί να *διαπραγματεύεται* ταυτόχρονα με όλους τους παροχείς, ο αντιπρόσωπος δημιουργεί ένα θυγατρικό αντιπρόσωπο για κάθε έναν από αυτούς. Οι θυγατρικοί αντιπρόσωποι μπορεί να είναι αντίγραφα του πατρικού. Σε περίπτωση που δεν είναι, πρέπει να διαθέτουν την ελάχιστη απαιτούμενη πληροφορία για να μπορεί να γίνει η διαπραγμάτευση. Επίσης, μπορούν να έχουν τη δυνατότητα να μεταναστεύουν στις τοποθεσίες των παροχέων χωρίς αυτό είναι απόλυτα απαραίτητο. Αυτό θα βοηθούσε στον περιορισμό του μεγέθους πληροφορίας που απαιτείται να μεταφερθεί μέσω δικτύου, ειδικά σε περιπτώσεις που η διαπραγμάτευση διαρκεί αρκετά.

Κάθε θυγατρικός αντιπρόσωπος, ύστερα από τη διαπραγμάτευση επιλέγει έναν προτεινόμενο βέλτιστο συνδυασμό από τον αντίστοιχο παροχέα. Η διαπραγμάτευση αυτή είναι ενδιαφέρουσα μόνο όταν το κριτήριο επιλογής είναι η βελτιστοποίηση του καθαρού οφέλους. Στις άλλες δύο περιπτώσεις ο βέλτιστος συνδυασμός είναι γνωστός άμεσα (αυτός με τη μεγαλύτερη χρησιμότητα, ή αυτός με το μικρότερο κόστος αγοράς).

Η βασική ιδέα του αλγορίθμου έχει ως εξής: αρχικά υπολογίζεται το καθαρό όφελος, για κάποιο συνδυασμό υπηρεσίας ο οποίος θεωρείται το αρχικό σημείο της διαδικασίας. Αν ο συνδυασμός αυτός ικανοποιεί κάποια συνθήκη, ως προς το κριτήριο που έχει θέσει ο χρήστης, τότε αυτός προτείνεται ως βέλτιστος και επιστρέφεται στον πατρικό αντιπρόσωπο. Αλλιώς, συνεχίζεται η διαπραγμάτευση με κάποιον άλλο συνδυασμό. Οι συνδυασμοί που επιστρέφονται από τους θυγατρικούς αντιπροσώπους συγκεντρώνονται από τον πατρικό αντιπρόσωπο ο οποίος αποφασίζει τον συνδυασμό (ή τους συνδυασμούς) που θα προταθεί στον τελικό χρήστη ως βέλτιστος. Στις επόμενες παραγράφους αναφερόμαστε μόνο στην περίπτωση που το κριτήριο επιλογής είναι η μεγιστοποίηση του καθαρού οφέλους.

4.2 Επιλογή Συνδυασμού Μέγιστης Ωφελιμότητας

Η ανεύρεση του βέλτιστου συνδυασμού, για την περίπτωση μεγιστοποίησης του καθαρού οφέλους, θα μπορούσε να επιτευχθεί με τη χρήση του εξαντλητικού αλγορίθμου. Σε αυτή την περίπτωση, ο αντιπρόσωπος (δηλαδή, οι θυγατρικοί του) ζητάει από τους παροχείς τιμές για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς και με βάση αυτές τις τιμές, υπολογίζει τα καθαρά οφέλη των συνδυασμών. Κατόπιν, επιλέγει το συνδυασμό με το μεγαλύτερο καθαρό όφελος.

Ο αλγόριθμος αυτός δίνει τον καλύτερο δυνατό συνδυασμό χωρίς, όμως, να είναι αποδοτικός *υπολογιστικά*. Η καθυστέρηση για τον υπολογισμό όλων των δυνατών συνδυασμών μπορεί να μην είναι αποδεκτή από τον τελικό χρήστη. Επίσης, διαισθητικά, φαίνεται να είναι σημαντική σπατάλη αυτός ο υπολογισμός, αφού μόνο ένας από τους συνδυασμούς θα επιλεγεί τελικά. Ακόμα, όμως, και αν χρησιμοποιήσουμε τον εξαντλητικό αλγόριθμο το ερώτημα που τίθεται είναι αν έχει νόημα να αναζητούμε το βέλτιστο συνδυασμό.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο είδαμε ότι δεν είναι δυνατό να γνωρίζουμε το ακριβές μοντέλο για τη συνάρτηση χρησιμότητας του χρήστη και ορίσαμε ένα αντίστοιχο *προσεγγιστικό*. Αυτό σημαίνει ότι το καλύτερο που μπορεί να κάνει ένας μηχανισμός επιλογής είναι να βρει έναν *προσεγγιστικά βέλτιστο*. Εξάλλου αυτό συμβαίνει και όταν ο χρήστης "διαπραγματεύεται" χωρίς τη βοήθεια ηλεκτρονικού αντιπροσώπου καθώς είναι δύσκολο να εκτιμήσει ακριβώς τις προτιμήσεις του. Αυτό, μπορεί να το κάνει μόνο ύστερα από μακροχρόνια χρήση με πολλές δοκιμές, οπότε ο χρήστης *μαθαίνει* και *συγκλίνει* προς το πραγματικά βέλτιστο (και πάλι χωρίς απόλυτη ακρίβεια). Κατά την ίδια έννοια και ο ηλεκτρονικός αντιπρόσωπος μπορεί να διαθέτει κάποια διαδικασία εκμάθησης (βλ. κεφ 6) και να *συγκλίνει* προς τον πραγματικά βέλτιστο συνδυασμό παρακολουθώντας τη συμπεριφορά του χρήστη.

4.2.1 Προτεινόμενη Διαδικασία Επιλογής

Στην παρούσα εργασία προτείνεται ένας αλγόριθμος ο οποίος δεν εξετάζει όλους τους δυνατούς συνδυασμούς. Εξετάζει με ευρεστικό τρόπο μόνο ορισμένους ελπίζοντας να φτάσει πολύ σύντομα στο βέλτιστο ή σε κάποιον *σχεδόν* βέλτιστο. Ο αλγόριθμος αυτός αναπτύχθηκε στα πλαίσια του έργου MONTAGE [1], σε συνεργασία με την Αννα Κυρίκογλου. Η διαδικασία ξεκινάει από ένα συνδυασμό και μεταβαίνει προς *γειτονικούς* όσο βελτιώνεται το καθαρό όφελος. Με αυτόν τον τρόπο, ουσιαστικά ο αλγόριθμος τερματίζει μόλις συναντήσει ένα τοπικό μέγιστο του καθαρού οφέλους καθώς εξετάζει τους συνδυασμούς. Υπάρχει, όμως, περίπτωση να υπάρχουν και άλλα τοπικά μέγιστα. Παρ' όλα αυτά, η αποτίμηση της επίδοσης του αλγορίθμου έχει δείξει ότι στις περισσότερες από αυτές τις περισσότερες περιπτώσεις θα δώσει ένα συνδυασμό κοντά στο βέλτιστο.

Το αρχικό σημείο της διαδικασίας είναι ο ευρύτερος δυνατός συνδυασμός. Αυτός ο συνδυασμός έχει τη μεγαλύτερη χρησιμότητα. Υποθέτουμε ότι μεταξύ δύο συνδυασμών με το ίδιο καθαρό όφελος, ο χρήστης προτιμάει αυτή με τη μεγαλύτερη χρησιμότητα. Αρα ο συνδυασμός στον οποίο θα σταματήσει ο αλγόριθμος θα έχει σίγουρα τη μεγαλύτερη χρησιμότητα από αυτούς με το ίδιο καθαρό όφελος. Ουσιαστικά, αυτή η υπόθεση σημαίνει ότι η χρησιμότητα έχει μεγαλύτερο "βάρος" από το κόστος αγοράς.

Ξεκινώντας, λοιπόν, ο αλγόριθμος από τον ευρύτερο δυνατό συνδυασμό, προσπαθεί να μεταβεί σε ένα *γειτονικό* μειώνοντας μοναδιαία το διακριτό επίπεδο ποιότητας ενός από τα εμπλεκόμενα μέσα. Αν αυτή η μετάβαση οδηγήσει σε βελτίωση του καθαρού οφέλους , τότε επιχειρείται περαιτέρω μείωση της ποιότητας. Η όλη διαδικασία σταματάει όταν δεν υπάρχει τοπικά βελτίωση του καθαρού οφέλους.

Ο αλγόριθμος, χωρίς να δίνει πάντα το βέλτιστο συνδυασμό είναι αρκετά γρήγορος αφού εξετάζει ένα μικρό υποσύνολο όλων των δυνατών συνδυασμών. Η εκτέλεσή του μπορεί να επιταχυνθεί ακόμα περισσότερο, αν τεθεί μία οριακή τιμή για το καθαρό όφελος, πάνω από την οποία ο αντίστοιχος συνδυασμός θεωρείται ικανοποιητικός. Ένα τέτοιο κατώφλι μπορεί να καθοριστεί στατιστικά παρατηρώντας τις επιλογές του χρήστη. Στην παράγραφο που ακολουθεί περιγράφεται αναλυτικότερα ο προτεινόμενος αλγόριθμος επιλογής.

4.3 Λεπτομερής Περιγραφή του Αλγορίθμου για την Επιλογή Συνδυασμού Μέγιστης Ωφελιμότητας

Ο αλγόριθμος για την επιλογή συνδυασμού εκτελείται από τους θυγατρικούς αντιπροσώπους, οι οποίοι μόλις δημιουργηθούν αρχίζουν τη διαδικασία διαπραγμάτευσης με τους παροχείς. Αρχικά, λοιπόν, υπολογίζεται ο συνδυασμός με τη μεγαλύτερη χρησιμότητα. Αυτός, όπως αναφέραμε παραπάνω, είναι το σημείο εκκίνησης του αλγορίθμου. Ο παροχέας λαμβάνει μία αίτηση για προσφορά υπηρεσίας και ανακοινώνει στον αντίστοιχο θυγατρικό αντιπρόσωπο ένα συνολικό κόστος αγοράς. Στην περίπτωση υπηρεσιών πραγματικού χρόνου, ο παροχέας μπορεί να ανακοινώνει ρυθμό κόστους, καθώς δεν είναι γνωστή η ακριβής διάρκεια της υπηρεσίας.

Η ανακοίνωση του κόστους αγοράς της υπηρεσίας, δίνει στον αντιπρόσωπο-αντίγραφο τη δυνατότητα να υπολογίσει το καθρό όφελος που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο συνδυασμό. Αν ο συνδυασμός αυτός είναι ικανοποιητικός, τότε δίνει αυτόν ως πρόταση στον πατρικό αντιπρόσωπο. Στην περίπτωση που το καθαρό όφελος αυτού του συνδυασμού δεν είναι αρκετά ικανοποιητική, υπολογίζονται όλοι οι γειτονικοί συνδυασμοί ανάμεσα στους οποίους αναζητείται κάποιος που έχει μεγαλύτερο καθαρό όφελος από τον αρχικό συνδυασμό.

Το χαρακτηριστικό στοιχείο της *μετάβασης* από ένα συνδυασμό σε ένα γειτονικό του είναι η μείωση της χρησιμότητας του συνδυασμού. Αυτό μπορεί να γίνει είτε μειώνοντας το διακριτό επίπεδο ποιότητας κάποιου μέσου, είτε απαλοίφοντας ένα μέσο από το συνδυασμό. Οπως είδαμε στο πρηγούμενο κεφάλαιο τα επίπεδα προτίμησης για ένα μέσο μπορεί να είναι διαπραγματεύσιμα (*επιθυμία, αδιαφορία*) ή όχι (*απαίτηση, αποκλεισμός*). Η αφαίρεση ενός μέσου μπορεί να γίνει μόνο αν η προτίμηση του χρήστη για αυτό είναι διαπραγματεύσιμη.

Οι δύο αυτές περιπτώσεις ελάττωσης της χρησιμότητας, μας οδηγούν στον ορισμό δύο κατηγοριών γειτονικών συνδυασμών. Η μία κατηγορία αναφέρεται στη μείωση των διακριτών επιπέδων ποιότητας και τους αντίστοιχους συνδυασμούς τους ονομάζουμε *γείτονες πρώτης τάξης*. Για να μπορεί να χαρακτηριστεί ένας συνδυασμός, A, γείτονας πρώτης τάξης ενός άλλου, B, θα πρέπει να διαθέτει ακριβώς τα *ίδια* μέσα στα *ίδια* διακριτά επίπεδα ποιότητας εκτός από ένα και μοναδικό μέσο στο οποίο η ποιότητα να διαφέρει κατά ένα επίπεδο από το αντίστοιχο του συνδυασμού B. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η μείωση σε κάποιο επίπεδο ποιότητας μπορεί να γίνει μόνο εφόσον δεν παραβιάζεται το κατώτερο επιτρεπτό όριο ποιότητας που έχει ορίσει ο χρήστης. Αντίστοιχα, στην περίπτωση απαλοιφής ενός μέσου ο συνδυασμός που προκύπτει ονομάζεται *γείτονας δεύτερης τάξης*.

Με βάση αυτόν το διαχωρισμό, ο αλγόριθμος ορίστηκε έτσι ώστε να εκτελείται σε δύο διαφορετικές καταστάσεις, την *κατάσταση μείωσης ποιότητας* και την *κατάσταση αφαίρεσης μέσου*. Για λόγους απλότητας θα τις αναφέρουμε ως κατάσταση ποιότητας (QoS mode) και κατάσταση μέσου (media mode), αντίστοιχα:

κατάσταση ποιότητας: Ο αλγόριθμος αρχικά βρίσκεται σε κατάσταση ποιότητας. Αυτό σημαίνει ότι όταν θεωρηθεί ο τρέχων συνδυασμός μη ικανοποιητικός, τότε επιχειρείται η μείωση της ποιότητας ενός μέσου κατά ένα διακριτό επίπεδο. Όταν γίνει αυτό, προκύπτει ένας νέος συνδυασμός υπηρεσίας ο οποίος είναι *γείτονας πρώτης τάξης* ως προς τον προηγούμενο. Αν αυτός ο συνδυασμός δεν έχει σημαντικά μεγαλύτερο καθαρό όφελος από την αντίστοιχη του προηγούμενου, τότε αναζητείται ένας άλλος γείτονας πρώτης τάξης. Σε περίπτωση που κανένας από αυτούς δεν οδηγεί σε βελτίωση του καθαρού οφέλους, τότε ο αλγόριθμος αναχωρεί από την κατάσταση ποιότητας και *μεταβαίνει* σε κατάσταση μέσου. Η μετάβαση αυτή γίνεται, επίσης, όταν δεν μπορεί να μειωθεί άλλο η ποιότητα κανενός μέσου.

Η σειρά με την οποία εξετάζονται οι γείτονες πρώτης τάξης βασίζεται στην υπόθεση που έχουμε κάνει, θεωρώντας ότι από δύο συνδυασμούς με ίσα καθαρά οφέλη προτιμάται αυτός με τη μεγαλύτερη χρησιμότητα. Προσπαθώντας ο αλγόριθμος να μειώσει όσο το δυνατό λιγότερο τη χρησιμότητα της υπηρεσίας, ταξινομεί κατά φθίνουσα σειρά τους γείτονες ως προς τη χρησιμότητα και τους εξετάζει έναν προς έναν, ζητώντας αντίστοιχες προσφορές. Μόλις, βρεθεί κάποιος γείτονας που βελτιώνει το καθαρό όφελος, τότε επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία με αρχικό συνδυασμό τον τρέχοντα.

κατάσταση μέσου: Με παρόμοιο τρόπο, υπολογίζονται πρώτα όλοι οι γείτονες δεύτερης τάξης του τρέχοντος συνδυασμού. Αν η αφαίρεση οποιουδήποτε μέσου δεν οδηγήσει σε βελτίωση της χρησιμότητας, τότε ο αλγόριθμος τερματίζεται επιστρέφοντας τον τρέχοντα συνδυασμό αν αυτός έχει *θετική συνολικό καθαρό όφελος*. Αν ο συνδυασμός έχει αρνητικό καθαρό όφελος, τότε δε δίνεται καμία προσφορά στον πατρικό αντιπρόσωπο. Αρνητικό καθαρό όφελος σημαίνει ότι το κόστος αγοράς του συνδυασμού είναι ασύμφορο για το χρήστη. Αν βρεθεί κάποιος γείτοντας δεύτερης τάξης οποίος έχει μεγαλύτερο καθαρό όφελος από τον τρέχοντα, τότε ο αλγόριθμος μεταβαίνει ξανά σε κατάσταση αφαίρεσης επιπέδου ποιότητας και εκτελείται με αρχικό σημείο τον τρέχοντα συνδυασμό.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα αυτού του αλγορίθμου είναι το ότι δε χρειάζεται να υπολογιστούν οι χρησιμότητες όλων των εξεταζόμενων συνδυασμών και ζητά προσφορές για γειτονικούς συνδυασμούς μόνο αν δεν έχει βρεθεί κάποιος που να βελτιώνει το καθαρό όφελος. Αυτό συμβαίνει γιατί ο αλγόριθμος ξεκινά από τον ευρύτερο δυνατό συνδυασμό ο οποίος "εμπεριέχει" όλους τους υπόλοιπους υπό την έννοια ότι μπορούν να παραχθούν από αυτόν με μία σειρά μοναδιαίων μειώσεων διακριτών επιπέδων ποιότητας ή απαλοιφών μέσων.

Αξίζει να σημειώσουμε ότι αν η χρέωση είναι αθροιστική ως προς τα μέσα και τα επίπεδα ποιότητας, τότε το μέγιστο καθαρό όφελος μπορεί να εξαχθεί μεγιστοποιώντας τα επιμέρους οφέλη των μέσων. Ο συνδυασμός που θα προτεινόταν θα ήταν ο καλύτερος δυνατός. Αυτή, όμως, η προσέγγιση δεν είναι σωστή καθώς προϋποθέτει ότι ο αντιπρόσωπος γνωρίζει το μηχανισμό χρέωσης του παροχέα. Επιπλέον, ο παροχέας μπορεί να εφαρμόζει κάποια πολιτική εκπτώσεων και άρα να μην εφαρμόζεται κάποιο αθροιστικό μοντέλο χρέωσης. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος λειτουργεί ανεξάρτητα από τα σχήματα χρέωσης των παροχέων, κάτι που τον καθιστά εξαιρετικά ευέλικτο. Στο Παράρτημα ?? παρατίθεται η αυστηρή περιγραφή του αλγορίθμου σε ψευδοκώδικα με όλους τους απαραίτητους ορισμούς.

Κάθε θυγατρικός αντιπρόσωπος εκτελεί τον παραπάνω αλγόριθμο και επιστρέφει ένα συνδυασμό υπηρεσίας ο οποίος είναι σχεδόν βέλτιστος για τον αντίστοιχο παροχέα. Ο πατρικός αντιπρόσωπος συγκεντρώνει τις προτάσεις των θυγατρικών του και επιλέγει το συνολικά βέλτιστο συνδυασμό. Αν υπάρχουν και άλλοι συνδυασμοί (από αυτούς που συνέλεξε) που έχουν τη μέγιστη τιμή καθαρού οφέλους, τότε επιλέγεται αυτός με τη μέγιστη χρησιμότητα, αφού όπως έχουμε αναφέρει, η χρησιμότητα θεωρούμε ότι έχει μεγαλύτερο "βάρος" από το κόστος αγοράς της υπηρεσίας. Στις επόμενη παράγραφο συζητείται η θεωρητική και η πειραματική αξιολόγηση του προτεινόμενου αλγορίθμου.

4.4 Θεωρητική Αξιολόγηση

Στην παράγραφο αυτή γίνεται θεωρητική αξιολόγηση του προτεινόμενου αλγορίθμου. Αποδεικνύεται ότι είναι σχετικά γρήγορος (πολυωνυμικός) και η απόφασή του, κάτω από ρεαλιστικές υποθέσεις, ταυτίζεται με την βέλτιστη επιλογή.

4.4.1 Ιδιότητες

Ορίζουμε μια σχέση διάταξης στο σύνολο των συνδυασμών υπηρεσίας. Ορίζουμε ότι ο συνδυασμός x *κυριαρχεί*[1] του συνδυασμού y (συμβ. $x \geq y$) όταν, για κάθε διαφορετικό περιεχόμενο υπηρεσίας, ο x περιέχει όλα τα μέσα που περιέχει και ο y (για το ίδιο περιεχόμενο) σε διακριτά επίπεδα ποιότητας τα οποία *δεν είναι* "χειρότερα" από τα αντίστοιχα του συνδυασμού y.

Επίσης, κάνουμε την υπόθεση ότι η χρέωση που εφαρμόζεται από τους παροχείς έχει τις παρακάτω ιδιότητες αν $x \geq y$:

- Ένα οποιοδήποτε μέσο (το οποίο δεν εμπεριέχεται στους x, y) κοστίζει περισσότερο όταν συμπεριληφθεί στο συνδυασμό y από όσο στον x.
- Για ένα μέσο το οποίο ανήκει και στον x και στον y, κοστίζει περισσότερο η αναβάθμιση της ποιότητας του στο συνδυασμό y από όσο στον x.

Πολύ συχνά στην πράξη εφαρμόζονται τέτοιου είδους πολιτικές από τους παροχείς δίνοντας έτσι κίνητρα στους πελάτες να αγοράσουν μεγαλύτερες υπηρεσίες.

[1]Η έννοια της κυριαρχίας προκύπτει από το ότι ο *κυρίαρχος* συνδυασμός "περιέχει" τον αντίστοιχο κυριαρχούμενο, κατά την έννοια ότι ο δεύτερος μπορεί να δημιουργηθεί από τον πρώτο με μια σειρά από μοναδιαίες μειώσεις της χρησιμότητας του πρώτου.

Έχει αποδειχθεί [35] ότι αν όλα τα μέσα είναι *απαιτούμενα* (δηλ. απαγορεύεται να απαλοιφθεί κάποιο κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου), τότε ο συνδυασμός υπηρεσίας που επιλέγει ο προτεινόμενος αλγόριθμος *κυριαρχεί* του αντίστοιχου συνδυασμού που επιλέγει ο εξαντλητικός αλγόριθμος.

Η δεύτερη ιδιότητα του αλγορίθμου προϋποθέτει ότι ο παροχείς εφαρμόζουν αθροιστική χρέωση ως προς τα μέσα και τα διαφορετικά τμήματα περιεχομένων. Αυτό είναι μια ειδική περίπτωση των ιδιοτήτων της χρέωσης που αναφέρονται παραπάνω. Αποδεικνύεται [35] ότι ο συνδυασμός που επιλέγει ο προτεινόμενος αλγόριθμος *ταυτίζεται* με το βέλτιστο.

4.4.2 Το Πρόβλημα

Στη γενική περίπτωση, όπου δε γίνεται καμία υπόθεση για τη χρέωση που εφαρμόζουν οι παροχείς, το πρόβλημα επιλογής του συνδυασμού υπηρεσίας με το μέγιστο καθαρό όφελος περιέχει εκθετικό πλήθος τιμών καθαρού οφέλους που πρέπει (στη χειρότερη περίπτωση) να ελεγχθούν όλοι. Αυτό συμβαίνει γιατί δε γνωρίζουμε εκ των πρωτέρων κανένα στοιχείο ή ιδιότητα για τον τρόπο που τίθεται το κόστος αγοράς μιας υπηρεσίας. Ο μόνος τρόπος να το μάθουμε είναι να ρωτήσουμε τον παροχέα για κάθε συνδυασμό υπηρεσίας.

Στην περίπτωση που υποθέτουμε ότι η χρέωση που εφαρμόζουν οι παροχείς είναι αθροιστική και ότι το καθαρό όφελος είναι αμφίτονο ως προς τα επίπεδα ποιότητας, τότε όπως αναφέρθηκε παραπάνω ο αλγόριθμος προτείνει πάντα το βέλτιστο συνδυασμό. Αυτό σημαίνει σε αυτή την περίπτωση το πρόβλημα έχει πολυωνυμική πολυπλοκότητα και μάλιστα γραμμική, $O\left(c\mu q\right)$, ως προς τον αριθμό των θεματικών περιοχών, των εμπλεκομένων μέσων και των επιπέδων ποιότητας. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι στη χειρότερη περίπτωση ο βέλτιστος συνδυασμός θα προκύψει από τη διαδοχική ελάττωση όλων των επιπέδων ποιότητας για όλα τα μέσα.

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος έχει περίπου τετραγωνική πολυπλοκότητα (βλ. παρακάτω) γιατί δε λαμβάνει υπόψη καμία από τις παραπάνω υποθέσεις, με αποτέλεσμα να πρέπει να κάνει περισσότερες πράξεις.

4.4.3 Ο Αλγόριθμος και η Πολυπλοκότητά του

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζεται ο προτεινόμενος αλγόριθμος σε μορφή ψευδικώδικα καθώς και η ανάλυση της πολυπλοκότητάς του ως προς τη χειρότερη δυνατή περίπτωση.

Ορισμός 4.4.1 (Διαδικασία Υπολογισμού Χρησιμότητας) Για ένα συνδυασμό $x \in C$ ορίζεται η διαδικασία (πρόγραμμα) **ComputeUtility**(x), η οποία υπολογίζει τη χρησιμότητα του συνδυασμού x.

Ορισμός 4.4.2 (Ανακοίνωση Κόστους Αγοράς) Για ένα συνδυασμό $x \in C$ ορίζεται η διαδικασία (πρόγραμμα) **TakeCharge**(x), κατά την οποία ο αντιπρόσωπος λαμβάνει από τον παροχέα μία τιμή αγοράς για το συνδυασμό υπηρεσίας x. Για την περάτωση αυτής της διαδικασίας απαιτείται η δυνατότητα επικοινωνίας του αντιπροσώπου με τον παροχέα.

Ορισμός 4.4.3 (Υπολογισμός Γειτόνων) Για ένα συνδυασμό $x \in C$ και μία μεταβλητή $Mode \in \{QoS, Media\}$ ορίζεται η διαδικασία (πρόγραμμα) **ComputeNeighbors**($x, u(x), Mode$). Αν $Mode = QoS$, τότε υπολογίζονται οι γείτονες πρώτης τάξης του x, αλλιώς υπολογίζονται οι γείτονες δεύτερης τάξης του x. Η διαδικασία αυτή επιστρέφει μία λίστα από συνδυασμούς. Επίσης, υπολογίζει τη χρησιμότητα κάθε γειτονικό συνδυασμό και επιστρέφει ένα πίνακα P με τις αντίστοιχες τιμές για κάθε γειτονικό συνδυασμό. Εδώ η χρησιμότητα κάθε γειτονικού συνδυασμού υπολογίζεται εύκολα με βάση τη χρησιμότητα του συνδυασμού x που είναι ήδη γνωστή.

Ορισμός 4.4.4 Για ένα σύνολο συνδυασμών $N \subseteq C$ ορίζεται η διαδικασία **MinUDNeighb**(N), η οποία επιστρέφει το συνδυασμό $x \in N$ με τη μεγαλύτερη χρησιμότητα.

<u>Αλγόριθμος</u>

A = **Widest**(**Προτιμήσεις Χρήστη**);

u(A) = **ComputeUtility**(A);

c(A) = **TakeCharge**(A);

NB(A) = **u**(A) - **c**(A);

Mode = "QoS";

forever

begin

if (A is not "considered") **then**

Flag A as "considered";

[Neighbors, **u**] = **ComputeNeighbors**(A, **u**(A), Mode);

found = "FALSE";

while (Neighbors is not empty) **do**

begin

B = **MinUDNeighb**(Neighbors);

c(B) = **TakeCharge**(B);

NB(B) = **u**(B) - **c**(B);

if (**NB**(B) > **NB**(A)) **then**

begin

found = "TRUE";

break;

end

end while

if (found == "TRUE") **then**

begin

A = B;

Mode = "QoS";

end

else if (Mode == "QoS") **then**

Mode = "Media"

else

break;

end forever

Ανάλυση Πολυπλοκότητας

Για την ανάλυση της επίδοσης του προτεινόμενου αλγορίθμου θεωρούμε την χειρότερη δυνατή περίπτωση, κατά την οποία οι προτιμήσεις του χρήστη περιλαμβάνουν όλα τα δυνατά μέσα σε διαπραγματεύσιμη μορφή (δηλ. μη *απαιτούμενα*) με όλα τα διακριτά επίπεδα ποιότητας να είναι επιτρεπτά.

Έστω μ ο αριθμός όλων των εμπλεκόμενων μέσων ανά θεματική περιοχή, c ο αριθμός όλων των περιεχομένων και q ο αριθμός όλων των διακριτών επιπέδων ποιότητας των μέσων πλην του κειμένου. Κατ' αρχήν, αξίζει να σημειώσουμε ότι ο εξαντλητικός αλγόριθμος θα εξέταζε όλους τους δυνατούς συνδυασμούς. Ο αριθμός αυτών των συνδυασμών είναι εκθετικός, $q^{c\mu}$, άρα και η πολυπλοκότητα του εξαντλητικού αλγορίθμου είναι εκθετική.

Έχουμε, λοιπόν, τα εξής σημεία:

- Ο υπολογισμός της χρησιμότητας του ευρύτερου δυνατού συνδυασμού απαιτεί $O\left(c \times \mu\right)$ πράξεις (προσθέσεις και πολλαπλασιασμούς). Αυτό προκύπτει άμεσα από τον ορισμό της συνάρτησης χρησιμότητας για ένα συνδυασμό x:

  $$u\left(x\right) = W_{max} \times \sum_{c} k_c \sum_{m} \rho_m^c u_m\left(q_m\right)$$

  Για να υπολογιστεί η εν λόγω χρησιμότητα, υπολογίζεται το παραπάνω διπλό άθροισμα. Ο υπολογισμός του $u_m\left(q_m\right)$ μπορούμε να υποθέσουμε ότι γίνεται σε $O\left(1\right)$ αφού έχουμε υποθέσει ότι η απεικόνιση στα διακριτά επίπεδα ποιότητας είναι ανεξάρτητη από τον εκάστοτε συνδυασμό και άρα μπορούμε να θεωρήσουμε ότι έχει προϋπολογιστεί.

- Ο υπολογισμός των γειτόνων (**ComputeNeighbors**$(A, \mathbf{u}(A), Mode)$) έχει πολυπλοκότητα $O\left(c \times \mu\right)$. Κατ' αρχήν οι υπολογισμοί της χρησιμότητας ενός γείτονα μπορούν να γίνουν σε "χρόνο" $O\left(1\right)$ αφού αρκεί να υπολογιστεί το υπόλοιπο που προκύπτει από την μοναδιαία διαφορά τους από το συνδυασμό A, του οποίου τη χρησιμότητα γνωρίζουμε ήδη. Επίσης, αφού η μοναδιαία μείωση της χρησιμότητας ενός συνδυασμού έχει πολυπλοκότητα $O\left(1\right)$, η απόδοση αυτής της διαδικασίας είναι ανάλογη του αριθμού των πιθανών γειτόνων του A. Αν ο αλγόριθμος βρίσκεται σε κατάσταση αφαίρεσης ποιότητας ($Mode = QoS$) τότε υπολογίζονται οι γείτονες πρώτης τάξης. Αυτοί είναι *το πολύ* τόσοι όσος είναι ο αριθμός όλων των μέσων για κάθε είδος περιεχομένου, δηλαδή $c \times \mu$.

Αν ο αλγόριθμος βρίσκεται σε κατάσταση αφαίρεσης μέσου ($Mode = Media$) τότε υπολογίζονται οι γείτονες δεύτερης τάξης. Εδώ ο αριθμός των γειτόνων είναι όλες οι δυνατές περιπτώσεις αφαίρεσης ενός και μόνο μέσου για κάθε είδος περιεχομένου. Αυτός ο αριθμός είναι και πάλι *το πολύ* $c \times \mu$. Αρα, ο υπολογισμός των γειτόνων έχει πολυπλοκότητα $O\left(c \times \mu\right)$. Τέλος για λόγους απόδοσης οι συνδυασμοί που παράγονται ταξινομούνται ως προς τη χρησιμότητά τους. Αρα η πολυπλοκότητα αυτής της διαδικασίας είναι $O\left(c\mu log\left(c\mu\right)\right)$.

- Η ανεύρεση του γείτονα με τη μεγαλύτερη χρησιμότητα (**MinUDNeighb**($Neighbors$)) μπορεί να υπολογιστεί σε χρόνο $O\left(1\right)$, καθώς το σύνολο των συνδυασμών είναι ταξινομημένο.

- Το πλήθος των επαναλήψεων του εσωτερικού $while$ είναι το πολύ όσο και το πλήθος των γειτόνων που υπολογίστηκαν από την **ComputeNeighbors**($A, \mathbf{u}(A), Mode$), δηλαδή $O\left(c \times \mu\right)$.

- Ο αριθμός των επαναλήψεων $forever$ είναι το πολύ $q \times \mu \times c$. Αυτό συμβαίνει διότι στη χειρότερη περίπτωση η επανάληψη θα διακοπεί όταν έχουν απαλοιφθεί όλα τα μέσα από όλα τα είδη περιεχομένων (τα οποία είναι $\mu \times c$) και επιπλέον για καθένα από αυτά έχουν γίνει το πολύ q μειώσεις επιπέδων ποιότητας.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου είναι

$$O\left(q \times \left(\mu c\right)^2 log\left(\mu c\right)\right).$$

4.5 Πειραματική Αξιολόγηση

Η πειραματική αξιολόγηση του προτεινόμενου αλγόριθμου έγινε δημιουργώντας ένα περιβάλλον προσομοίωσης υλοποιημένο σε γλώσσα PERL. Οι βασικοί στόχοι των πειραμάτων είναι αφενός ο έλεγχος της ακρίβειας της απόφασης του αντιπροσώπου σε σχέση με την ιδανική και αφετέρου οι επιρροές διαφόρων συνθηκών (προτιμήσεις χρήστη και πολιτικές χρέωσης από τους παροχείς) στην απόφαση αυτή.

Για το σκοπό αυτό προσομοιώθηκαν παροχείς με διάφορες ενδεικτικές πολιτικές χρέωσης. Ο υπολογισμός του κόστους για κάθε παροχέα δίνεται από τη σχέση:

$$C = F_C + S_C + T_C,$$

όπου $C(Charge)$ είναι το συνολικό κόστος αγοράς της υπηρεσίας, F_C (Federation Charge) είναι το κόστος που προκύπτει από τις διάφορες συνεργασίες του παροχέα με άλλους φορείς για την τελική προσφορά της υπηρεσίας και T_C είναι το κόστος μεταφοράς της υπηρεσίας μέσω κάποιας τηλεπικοινωνιακής υποδομής. Η διαφοροποίηση των παροχέων αφορά στην πολιτική χρέωσης αυτού του κόστους T_C, το οποίο υπολογίζεται αθροιστικά ως προς τα εμπλεκόμενα μέσα. Το επιμέρους κόστος καθενός από αυτά τα μέσα εξαρτάται από το διακριτό επίπεδο ποιότητάς τους. Επιπλέον, μπορεί να υπεισέλθει και κάποιος παράγοντας έκπτωσης. Πιο συγκεκριμένα

$$T_C = \alpha \times Discount\,(\alpha)$$

όπου

$$\alpha = \sum_m \beta_m \gamma_m\,(QoS)$$

α είναι το καθαρό κόστος μεταφοράς της υπηρεσίας και εξαρτάται αθροιστικά από το βασικό κόστος μεταφοράς β_m κάθε μέσου m και το κόστος γ_m της ποιότητας του μέσου. Το κόστος της ποιότητας μπορεί να διαφέρει από παροχέα σε παροχέα και έχει υλοποιηθεί έτσι ώστε να μπορεί να είναι συνάρτηση κυρτή, κοίλη ή γραμμική ως προς το διακριτό επίπεδο ποιότητας. Για τις ανάγκες των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν αντίστοιχα οι συναρτήσεις $\left(\frac{x}{2}\right)^2$, $2\sqrt{x}$ και x. Για αυτές τις τρεις περιπτώσεις υπάρχουν άλλες τρεις αντίστοιχες για τις οποίες έχει προστεθεί στις αρχικές τιμές κάποια τυχαιότητα στη χρέωση των επιπέδων ποιότητας (με ομοιόμορφη κατανομή εύρους $(-0.5, 0.5)$). Επίσης, ο παράγοντας έκπτωσης ($Discount$) μπορεί κυμαίνεται στο διάστημα $(0.8, 1)$, δηλαδή, κάθε παροχέας μπορεί να κάνει έκπτωση το πολύ 20%. Η εξάρτηση του $Discount$ από το καθαρό κόστος α μπορεί να είναι κοίλη, κυρτή ή γραμμική. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν οι συναρτήσεις $(1-d) + e^{-\frac{4\alpha d}{\mu}}$, $1 - d\left(\frac{\alpha}{\mu}\right)^{-4}$ και $1 - d\frac{\alpha}{\mu}$, όπου d είναι το μέγιστο επιτρεπτό όριο έκπτωσης (0.2) και μ είναι το κόστος του ευρύτερου δυνατού συνδυασμού με βάση όλα τα μέσα και όλα τα διακριτά επίπεδα ποιότητας.

Κόστος	**Έκπτωση**	**Ταύτιση**	**Εκπρ. ">" Εξ.**
Κοίλο	—-	100.00%	0.00%
Γραμμικό	—-	100.00%	0.00%
Κυρτό	—-	100.00%	0.00%
Κοίλο	Κοίλη	100.00%	0.00%
Γραμμικό	Κοίλη	100.00%	0.00%
Κυρτό	Κοίλη	100.00%	0.00%
Κοίλο	Γραμμική	100.00%	0.00%
Γραμμικό	Γραμμική	99.96%	0.04%
Κυρτό	Γραμμική	99.99%	0.01%
Κοίλο	Κυρτή	99.98%	0.02%
Γραμμικό	Κυρτή	99.98%	0.02%
Κυρτό	Κυρτή	99.99%	0.01%

Πίνακας 4.1: Πειραματική Αξιολόγηση του Αλγορίθμου Επιλογής σε Σύγκριση με τον Εξαντλητικό.

Στον πίνακα αυτό παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα της πειραματικής αξιολόγησης του προτεινόμενου αλγορίθμου επιλογής. Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν τις θεωρητικές ιδιότητες, ενώ δείχνουν ότι ταύτιση αποφάσεων συμβαίνει σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν. Επιπλέον, ακόμα και στις περιπτώσεις που δεν υπάρχει ταύτιση, η επιλογή του προτεινόμενου αλγορίθμου *κυριαρχεί* του βέλτιστου συνδυασμού.

Με βάση τα παραπάνω προκύπτουν 24 διαφορετικές περιπτώσεις τρόπων χρέωσης που μπορούν να εξεταστούν. Για κάθε τέτοια περίπτωση συγκρίθηκε η απόφαση του προτεινόμενου αλγορίθμου με την βέλτιστη επιλογή έχοντας υπολογίσει όλες τις δυνατές περιπτώσεις προτιμήσεων[2] του χρήστη. Τα πειράματα εκτελέστηκαν για ένα είδος περιεχομένου δημιουργώντας 2196 περιπτώσεις προτιμήσεων χρήστη για κάθε περίπτωση σχήματος χρέωσης.

Στον Πίνακα 4.1 φαίνονται τα συνοπτικά αποτελέσματα των πειραμάτων για τις περιπτώσεις χωρίς τυχαιότητα[3]. Παρατηρούμε ότι σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις χρέωσης που εξετάστηκαν, ο συνδυασμός υπηρεσίας που επιλέγει ο αντιπρόσωπος ταυτίζεται με αυτόν που επιλέγει ο εξαντλητικός αλγόριθμος, ενώ στις περιπτώσεις που υπάρχει διαφορά, ο πρώτος *υπερισχύει* του δεύτερου. Τα αποτελέσματα αυτά

[2] Έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 3 η υπόθεση ότι υπάρχουν τέσσερα διακριτά επίπεδα ποιότητας για κάθε μέσο, πλην του κειμένου, (*ακολουθία εικόνων*, *ήχος*, *σταθερή εικόνα* και *κείμενο*).

[3] Τα αποτελέσματα με τυχαιότητα παρουσιάζουν απλά μια μικρή αλλοίωση των παραπάνω.

επιβεβαιώνουν τις ιδιότητες που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο και επιπλέον δείχνουν ότι η ταύτιση των αποφάσεων γίνεται και σε περιπτώσεις που δεν έχουν τεκμηριωθεί θεωρητικά. Αυτό φαίνεται κυρίως από τις περιπτώσεις στις οποίες υπάρχει πολιτική έκπτωσης και δεν είναι απαραίτητα αμφίτονο το καθαρό όφελος ως προς τα διακριτά επίπεδα ποιότητας. Επίσης, είναι φανερό ότι η σταθερότητα ως προς την απόφαση του προτεινόμενου αλγορίθμου είναι σχεδόν τόση όση και του εξαντλητικού.

Κεφάλαιο 5

Επαναδιαπραγμάτευση Κατά τη Διάρκεια Παροχής της Υπηρεσίας

5.1 Ορισμός του Προβλήματος

Σε ένα περιβάλλον ελεύθερης οικονομίας, όπου κάθε οντότητα της αγοράς ενεργεί αυτόνομα, ο στόχος ενός καταναλωτή είναι η βελτιστοποίηση της ευημερίας του. Ειδικότερα, ένας χρήστης τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών, επιθυμεί τη μεγιστοποίηση του καθαρού οφέλους από τη λαμβανόμενη υπηρεσία. Ο ηλεκτρονικός αντιπρόσωπος με τον αλγόριθμο επιλογής που αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο 4 επιλέγει εκ μέρους του χρήστη ένα συνδυασμό υπηρεσίας που στις περισσότερες περιπτώσεις είναι βέλτιστος ως προς το κριτήριο του καθαρού οφέλους.

Η επιλογή, όμως, αυτή έγινε με βάση κάποιο συγκεκριμένο ή εκτιμώμενο συνολικό κόστος για όλη την υπηρεσία. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια παροχής της υπηρεσίας, η χρέωση και οι προτιμήσεις του χρήστη μπορούν να μεταβληθούν. Σε αυτή την περίπτωση, για να ικανοποιηθεί η απαίτηση του χρήστη για μεγιστοποίηση του καθαρού οφέλους του, είναι απαραίτητη η επανεξέταση της κατάστασης της παροχής της υπηρεσίας και αν κριθεί απαραίτητο να γίνει επανεπιλογή. Επίσης, αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο σε περιπτώσεις υποβάθμισης της παροχόμενης ποιότητας, π.χ. λόγω βλάβης του δικτύου. Είναι προφανές ότι η επανεπιλογή θα ήταν ένα πολύπλοκο καθήκον, τουλάχιστον για ένα μη ειδικό χρήστη. Επομένως θα ήταν χρήσιμο την *επαναδιαπραγμάτευση* αυτή να την εκτελέσει ο ηλεκτρονικός αντιπρόσωπος.

Η επαναδιαπραγμάτευση για μια ήδη λαμβανόμενη υπηρεσία πρέπει γίνεται μόλις ανιχνευθεί κάποια σημαντική μεταβολή του καθαρού οφέλους, της οποίας το μοντέλο έχει οριστεί (Κεφ. 3) ως

$$NB(S) = U(S) - C(S) \tag{5.1}$$

όπου S είναι ο συνδυασμός υπηρεσίας που λαμβάνει ο χρήστης. Κατά τη διάρκεια παροχής της υπηρεσίας είναι πιθανό να μεταβληθεί το καθαρό όφελος NB λόγω μεταβολής είτε της χρησιμότητας $U(S)$ του χρήστη είτε του κόστους αγοράς $C(S)$ του συνδυασμού υπηρεσίας S. Μόλις γίνει αντιληπτή μια τέτοια μεταβολή, ο αντιπρόσωπος πρέπει να εξετάσει το ενδεχόμενο επανεπιλογής συνδυασμού υπηρεσίας.

Μια πρώτη σκέψη μας οδηγεί στην απλή λύση της επανεκτέλεσης του αλγορίθμου επιλογής (Κεφ. 4) από την αρχή. Αυτό δεν επιβαρύνει σημαντικά το υπολογιστικό κόστος της διαδικασίας αφού, όπως έχουμε δει, ο αλγόριθμος επιλογής είναι αρκετά σύντομος. Παρ' όλα αυτά διαισθητικά φαίνεται να γίνεται κάποια υπολογιστική σπατάλη, καθώς η επανεκτέλεση του αλγορίθμου σημαίνει ότι θα εξετασθούν συνδυασμοί υπηρεσίας που έχουν ήδη εξετασθεί. Επομένως, ένα ερώτημα που τίθεται είναι αν υπάρχει τρόπος επανεπιλογής χωρίς να εκτελεστεί ο αλγόριθμος ή τουλάχιστο να μην εκτελεστεί όλος. Με άλλα λόγια, τι πληροφορία μπορεί να αποθηκεύει ο αντιπρόσωπος από την αρχική διαπραγμάτευση, έτσι ώστε να μπορεί με κάποιες απλές συνθήκες να μπορεί να επιλέξει άμεσα έναν νέο συνδυασμό υπηρεσίας ή να αποφασίσει ότι πρέπει να διατηρήσει αυτόν που έχει ήδη. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι αν ο ηλεκτρονικός αντιπρόσωπος είναι μετακινούμενος θα απαιτηθεί επαναμετακίνησή του.

Οι υπηρεσίες για τις οποίες διαπραγματεύεται ο αντιπρόσωπος μπορούν να διακριθούν σε αυτές με γνωστή (ή τουλάχιστον προβλέψιμη) χρονική διάρκεια και/ή συνολικό όγκο πληροφορίας και στις υπόλοιπες. Για για να προκύψουν ενδιαφέροντα αποτελέσματα στη δεύτερη περίπτωση υποθέτουμε ότι το κόστος αγοράς της υπηρεσίας μπορεί να εκφράζεται σε τιμή ανά μονάδα χρόνου (π.χ. 10δρχ/sec) και/ή τιμή ανά μονάδα όγκου (π.χ. 15δρχ/byte). Με την ίδια λογική η συνάρτηση χρησιμότητας και το καθαρό ;οφελος του χρήστη εκφράζονται σε ρυθμό ανά χρόνο ή όγκο. Επομένως, εδώ η επαναδιαπραγμάτευση γίνεται λόγω μεταβολής του ρυθμού χρέωσης είτε του ρυθμού χρησιμότητας του χρήστη.

Αν, όμως, είναι γνωστές αυτές οι παράμετροι, τόσο το κόστος αγοράς όσο και η χρησιμότητα του χρήστη εξαρτώνται από το χρόνο και τον όγκο πληροφορίας που έχει παρέλθει από την έναρξη παροχής της υπηρεσίας. Στην περίπτωση αυτή, για την επαναδιαπραγμάτευση, ο αντιπρόσωπος πρέπει να λάβει υπόψη του το ποσοστό της υπηρεσίας που έχει ήδη λάβει ο χρήστης και το υπολειπόμενο κόστος. Για να γίνει αυτό, υποθέτουμε ότι ο αντιπρόσωπος διατηρεί ένα προσεγγιστικό μοντέλο καθαρού οφέλους όπως το (5.1)

$$NB\,(S,t,v) = U\,(S,t,v) - C\,(S,t,v) \tag{5.2}$$

όπου t είναι ο χρόνος που έχει παρέλθει από τη στιγμή έναρξης παροχής της υπηρεσίας και v είναι ο όγκος πληροφορίας της υπηρεσίας που έχει ήδη λάβει ο χρήστης. Με βάση αυτό, η επαναδιαπραγμάτευση θα γίνει όταν το υπολειπόμενο κόστος διαφοροποιηθεί από αυτό που ήδη έχει εκτιμηθεί ή συμβεί το ίδιο με την υπολειπόμενη χρησιμότητα του χρήστη.

Έχοντας υπόψη τα παραπάνω, τα ερωτήματα που τίθενται σχετικά με την επαναδιαπραγμάτευση, δεδομένης μιας μεταβολής του καθαρού οφέλους NB είναι:

(α) υπό ποιες απλές (υπολογιστικά) συνθήκες μπορεί ο αντιπρόσωπος να αποφασίσει να διατηρήσει το συνδυασμό υπηρεσίας που έχει ήδη επιλέξει; Με άλλα λόγια υπό ποιες συνθήκες ο αλγόριθμος επιλογής θα πρότεινε τον ίδιο συνδυασμό υπηρεσίας;

(β) ποια είναι η ελάχιστη πληροφορία που μπορεί να κρατάει ο αντιπρόσωπος κατά την αρχική εκτέλεση του αλγρίθμου επιλογής έτσι ώστε να μπορέσει να πάρει μια τέτοια απόφαση;

(γ) αν πρέπει να εκτελεστεί από την αρχή ο αλγόριθμος επιλογής, η εξέταση των συνδυασμών πρέπει να ξεκινήσει από τον ευρύτερο δυνατό (βλ. 4) ή από κάποιον άλλο συνδυασμό στον οποίο θα έφτανε ούτως ή άλλως ο αλγόριθμος;

Στις επόμενες παραγράφους διαχωρίζουμε το πρόβλημα σε δύο περιπτώσεις. Στην πρώτη, υποθέτουμε ότι ο παροχέας εφαρμόζει αθροιστική χρέωση ανεξάρτητη για κάθε μέσο που περιέχεται στο συνδυασμό υπηρεσίας, ενώ στη δεύτερη το σχήμα χρέωσης είναι άγνωστο στον αντιπρόσωπο.

5.2 Επαναδιαπραγμάτευση με Αθροιστική Χρέωση

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η επαναδιαπραγμάτευση της παρεχόμενης υπηρεσίας ενεργοποιείται όταν μεταβληθεί το καθαρό όφελος NB. Αυτό μπορεί να συμβεί λόγω μεταβολής της χρησιμότητας του χρήστη ή λόγω μεταβολής του κόστους αγοράς. Στην παράγραφο αυτή υποθέτουμε ότι ο παροχέας εφαρμόζει πολιτική χρέωσης τέτοια που το κόστος κάθε μέσου που εμπλέκεται στο συνδυασμό είναι ανεξάρτητο από τα υπόλοιπα. Σε αυτή την περίπτωση και το συνολικό κόστος της υπηρεσίας προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους κοστών και αυτό είναι γνωστό στον ηλεκτρονικό αντιπρόσωπο.

Επίσης, αρχικά υποθέτουμε την απλή περίπτωση που η συνάρτηση χρησιμότητας του χρήστη δε μεταβάλλεται. Αυτό είναι λογικό για την περίπτωση όπου η διάρκεια και ο όγκος της υπηρεσίας δεν είναι γνωστά, οπότε και αναφερόμαστε σε σταθερό "ρυθμό" χρησιμότητας. Στην περίπτωση που είναι γνωστά αυτά τα μεγέθη, η χρησιμότητα του χρήστη για την υπολειπόμενη υπηρεσία συνεχώς ελαττώνεται.

5.2.1 Σταθερή Συνάρτηση Ικανοποίησης

Έστω, λοιπόν, ότι ο ηλεκτρονικός αντιπρόσωπος έχει επιλέξει, εκ μέρους του χρήστη, από τον παροχέα ένα συνδυασμό υπηρεσίας της μορφής $\{(m, QoS)\}$, δηλαδή, ένα σύνολο ζευγών καθένα από τα οποία δηλώνει ένα μέσο (π.χ. video) και το αντίστοιχο διακριτό επίπεδο ποιότητας. Για λόγους απλότητας και χωρίς απώλεια της γενικότητας θεωρούμε την περίπτωση μίας θεματικής περιοχής. Κατά τη διάρκεια παροχής της υπηρεσίας γίνεται κάποια μεταβολή στις τιμές χρέωσης ορισμένων από τα ζεύγη του παραπάνω συνόλου. Για να απαντήσουμε το ερώτημα (α) που τέθηκε στην παράγραφο 5.1, θα εξετάσουμε αρχικά την απλή περίπτωση που η μεταβολή αυτή γίνεται σε **ένα** διακριτό επίπεδο ποιότητας **ενός** μέσου.

Όπως έχουμε δεί (Κεφ. 4) ο αλγόριθμος επιλογής όπως έχει οριστεί αρχίζει από ένα αρχικό συνδυασμό και ελαττώνοντας σταδιακά τα επίπεδα ποιότητας των εμπλεκόμενων μέσων ελέγχει τη μεταβολή του καθαρού οφέλους του χρήστη. Ο τερματισμός του αλγορίθμου γίνεται όταν δε βελτιωθεί περαιτέρω το καθαρό όφελος. Μετά τη αλλαγή στην τιμή ενός μέσου, ο αλγόριθμος θα πάρει την ίδια απόφαση αν δε μεταβληθούν οι ενδιάμεσες αποφάσεις στα προηγούμενα βήματα. Για να συμβαίνει αυτό αρκεί οι διαφορές καθαρού οφέλους που "συναντά" ο αλγόριθμος σε κάθε βήμα να διατηρήσουν το *ίδιο πρόσημο*. Άρα αρκεί ο αντιπρόσωπος να υπολογίσει εκ νέου όλες τα οφέλη των συνδυασμών που εξέτασε και να ελέγξει και πάλι τις διαφορές των καθαρ;ων οφέλων των διαδοχικών συνδυασμών. Αυτό προϋποθέτει ότι ο αντιπρόσωπος έχει αποθηκεύση όλους τους συνδυασμούς που εξετάστηκαν κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου.

Στην περίπτωση, όμως, που εξετάζουμε αυτό δεν είναι απαραίτητο. Εφόσον υποθέσαμε ότι η χρέωση είναι αθροιστική ως προς τα εμπλεκόμενα μέσα το κόστος αγοράς ενός συνδυασμού S έχει τη μορφή

$$C\left(S\right) = \sum_{m \in S} c_m\left(q_m\right) \tag{5.3}$$

όπου c_m είναι το κόστος αγοράς του μέσου m στο διακριτό επίπεδο ποιότητας q_m. Επιπλέον, αν θυμηθούμε ότι το μοντέλο χρησιμότητας που διατηρεί ο αντιπρόσωπος για το χρήστη είναι επίσης αθροιστικό ως προς τα μέσα,

$$u\left(S\right) = \sum_{m \in S} \rho_m u_{qos}\left(q_m\right) \tag{5.4}$$

προκύπτει ότι και καθαρό όφελος του χρήστη από το συνδυασμό S είναι επίσης αθροιστική ως προς τα μέσα m:

$$NB\left(S\right) = \sum_{m \in S} NB_m\left(q_m\right) = \sum_{m \in S} \rho_m^c\left[u_{qos}\left(q_m\right) - c_m\left(q_m\right)\right] \tag{5.5}$$

Με άλλα λόγια το συνολικό όφελος $NB\left(S\right)$ του συνδυασμού S μπορεί να αναλυθεί τα "επιμέρους" καθαρά οφέλη NB_m των μέσων m.

Έχοντας υπόψη τα παραπάνω, εκμεταλευόμαστε ότι τα βήματα του αλγορίθμού γίνονται μεταξύ γειτονικών κόμβων (Κεφ. 4). Οι γείτονες πρώτης τάξης περιέχουν τα ίδια μέσα στα ίδια επίπεδα ποιότητας εκτός από ένα μέσο στο οποίο διαφέρουν κατά **ένα και μοναδικό** διακριτό επίπεδο ποιότητας. Αυτό σημαίνει ότι η διαφορά καθαρού οφέλους μεταξύ δύο γειτόνων πρώτης τάξης είναι ίση με τη διαφορά των επιμέρους οφέλων NB_m των μέσων. Η διαφορά, όμως, αυτή εξαρτάται μόνο από τη μεταβολή ΔP της τιμής ενός μέσου.

Αρα, αν ο παροχέας ανακοινώσει μεταβολή στην τιμή ενός μέσου m_j στο επίπεδο ποιότητας q_i, αρκεί να ελεγχθούν οι διαφορές καθαρού οφέλους ΔNB που επηρεάζονται από τη μεταβολή ΔP. Ο αντιπρόσωπος μπορεί να διατηρεί ένα πίνακα,

	$q_4 \to q_3$	$q_3 \to q_2$	$q_2 \to q_1$	$q_4 \to q_0$	$q_3 \to q_0$	$q_2 \to q_0$	$q_1 \to q_0$
m_1	$\Delta_{43}^{(1)}$	$\Delta_{32}^{(1)}$	$\Delta_{21}^{(1)}$			$\Delta_{20}^{(1)}$	
m_2	$\Delta_{43}^{(2)}$	$\Delta_{32}^{(2)}$			$\Delta_{30}^{(2)}$		
m_3							
m_4							$\Delta_{10}^{(4)}$

Πίνακας 5.1: Επαναδιαπραγμάτευση με Αθροιστική Χρέωση και Σταθερή Συνάρτηση Ικανοποίησης

όπως ο Πίκανας 5.1, στου οποίου τις κατάλληλες θέσεις συμπληρώνει τις διαφορές καθαρού οφέλους που παρατηρούνται σε κάθε μετάβαση του αλγορίθμου επιλογής. Κάθε γραμμή του Πίνακα 5.1 αντιστοιχεί σε ένα μέσο (συμβολικά m_1, m_2, κλπ) και κάθε στήλη αντιστοιχεί σε ελάττωση επιπέδου ποιότητας (συμβολικά q_1, q_2, κλπ) ή σε απόρριψή του (q_0). Οι κενές θέσεις αντιστοιχούν σε μεταβάσεις που δεν ελέγχθηκαν κατά τη διαδικασία του αλγορίθμου. Έχοντας αυτή την πληροφορία, ο αντιπρόσωπος μπορεί να συμπεράνει ο αλγόριθμος επιλογής θα έπαιρνε την ίδια απόφαση αν εκτελούνταν από την αρχή αν ισχύουν **και** οι τρεις παρακάτω συνθήκες:

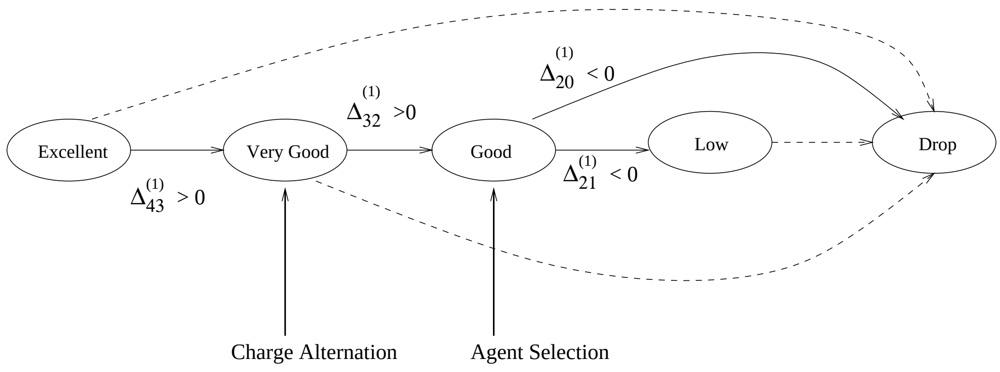
$$sgn\left(\Delta_{i+1,i}^{(j)}\right) = sgn\left(\Delta_{i+1,i}^{(j)} - \Delta P\right) \tag{5.6}$$

$$sgn\left(\Delta_{i,i-1}^{(j)}\right) = sgn\left(\Delta_{i,i-1}^{(j)} + \Delta P\right) \tag{5.7}$$

$$sgn\left(\Delta_{i,0}^{(j)}\right) = sgn\left(\Delta_{i,0}^{(j)} + \Delta P\right) \tag{5.8}$$

Η συνθήκη (5.6) εξασφαλίζει ότι η μετάβαση από το αμέσως μεγαλύτερο επίπεδο ποιότητας σε αυτό στο οποίο έγινε η μεταβολή της τιμής παραμένει αποδεκτή (δηλαδή $\Delta_{i+1,i} > 0$). Η (5.7) εξασφαλίζει ότι η αμέσως επόμενη μετάβαση παραμένει όπως και πριν, ενώ η (5.8) ελέγχει το ενδεχόμενο απόρριψης του μέσου m_j. Αν έστω και μία από αυτές τις συνθήκες δεν ισχύει, τότε η απόφαση του αλγορίθμου *μπορεί* να είναι διαφορετική.

Αξίζει να σημειωθεί ότι μπορεί να μην ορίζονται και οι τρεις παραπάνω συνθήκες. Για να γίνει αυτό πιο κατανοητό, ας δούμε μία συγκεκριμένη περίπτωση (Σχήμα 5.1) ενός μέσου. Έστω ότι οι μεταβάσεις μέχρι και το επίπεδο *καλή ποιότητα* βελτιώνουν το καθαρό όφελος του συνδυασμού που περιέχει το εξεταζόμενο μέσο, ενώ η μετάβαση



Σχήμα 5.1: Παράδειγμα μεταβάσεων για το μέσο m_1 του Πίνακα 5.1.

σε *μέτρια ποιότητα* δίνουν αρνητική διαφορά καθαρού οφέλους όπως και η πιθανή απόρριψη του μέσου. Αυτό σημαίνει ότι στον τελικό συνδυασμό το μέσο αυτό θα βρίσκεται σε επίπεδο *καλής ποιότητας*.

Έστω, επίσης, ότι ο παροχέας μεταβάλλει την τιμή των μέσων για το επίπεδο *πολύ καλή ποιότητα*. Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.1, η μετάβαση Δ_{30} που αντιστοιχεί στη συνθήκη (5.8) δεν έχει ελεγχθεί από τον αλγόριθμο και κατά συνέπεια δεν υπάρχει κάποια παρατηρούμενη διαφορά καθαρού οφέλους. Οι λόγοι για τους οποίους δεν έχει εξετασθεί αυτή η μετάβαση μπορούν να είναι δύο:

(α) ο αλγόριθμος όταν έφτασε στο επίπεδο *πολύ καλής ποιότητας* βρισκόταν σε *κατάσταση ελάττωσης ποιότητας* (βλ. Κεφ. 4).

(β) ο αλγόριθμος ήταν σε κατάσταση *αφαίρεσης μέσου* αλλά υπήρχε κάποιο άλλο μέσο με μικρότερη επιμέρους χρησιμότητα, το οποίο απορρίφθηκε. Μετά από κάθε απόρριψη μέσου ο αλγόριθμος επιστρέφει σε *κατάσταση ελάττωσης ποιότητας*.

Για την πρώτη περίπτωση, αν ισχύουν οι συνθήκες (5.6) και (5.7), τότε αν εκτελούνταν ο αλγόριθμός από την αρχή η απόφασή του θα παρέμενε η ίδια αφού δε θα υπήρχε λόγος να μεταβεί σε κατάσταση *αφαίρεσης μέσου*. Αρα αρκεί να εξετασθούν οι συνθήκες (5.6) και (5.7). Στη δεύτερη περίπτωση η απόρριψη κάποιου άλλου μέσου m_κ με μικρότερη χρησιμότητα σημαίνει ότι για εκείνο το μέσο η μετάβαση $\Delta_{l0}^{(\kappa)}$ έδωσε θετική διαφορά καθαρού οφέλους (όπου κ είναι το επίπεδο ποιότητας του m_κ). Είναι δυνατό μετά την αλλαγή τιμής για το μέσο m να αλλάξει η απόφαση για το m_κ; Αυτό δεν μπορεί να γίνει διότι εφόσον τα μέσα έχουν ανεξάρτητα επιμέρους καθαρά οφέλη, η μετάβαση $\Delta_{l0}^{(\kappa)}$ δεν επηρεάζεται από οποιαδήποτε μεταβολή της τιμής ενός διακριτού επιπέδου οποιουδήποτε άλλου μέσου. Αρα για το συγκεκριμένο παράδειγμα, η μετάβαση $\Delta 30$ δε θα εξετασθεί ακόμα και αν εκτελεστεί ο αλγόριθμος από την αρχή.

Επομένως, σε κάθε περίπτωση, ο αλγόριθμος θα εξετάζει τις συνθήκες (5.6), (5.7) και (5.8), για όσες μεαβάσεις ελέγχθηκαν κατά την τελευταία εκτέλεση του αλγορίθμου. Αν έστω και μία από αυτές παραβιάζεται, τότε πρέπει να γίνει επαναδιαπραγμάτευση της παρεχόμενης υπηρεσίας. Αν η μεταβολή της τιμής έγινε σε κάποιο επίπεδο ποιότητας το οποίο δεν επηρεάζει το μονοπάτι που ακολούθησε ο αλγόριθμος κατά την τελευταία εκτέλεσή του, τότε καμία από τις παραπάνω συνθήκες δεν ορίζονται και επομένως δεν μπορούν να εξετασθούν. Σε αυτή την περίπτωση, όμως, ο αλγόριθμος αν επανεκτελούνταν θα έπαιρνε την ίδια απόφαση με πριν. Επομένως, δε χρειάζεται να εκτελεστεί από την αρχή.

Ας υποθέσουμε, τώρα, ότι *παραβιάζεται* κάποια από τις (5.6), (5.7), (5.8). Αν για την αντίστοιχη μετάβαση η διαφορά καθαρού οφέλους ήταν πριν θετική, η παραβίαση της σχετικής συνθήκης σημαίνει ότι τώρα είναι αρνητική και επομένως, ο αλγόριθμος, αν εκτελούνταν από την αρχή, θα άλλαζε σε εκείνο το σημείο απόφαση. Αν, λοιπόν, η παραβίαση αυτή αφορά σε μετάβαση από το αμέσως μεγαλύτερο επίπεδο q_{i+1} ποιότητας από το επίπεδο q_i στο οποίο γίνεται η μεταβολή κόστους (συνθήκη (5.6)), τότε επανεκτελείται ο αλγόριθμος επιλογής με αρχικό σημείο το επίπεδο ποιότητας q_{i+1}, αλλιώς (συνθήκες (5.7),(5.8)) τίθεται αρχικό σημείο το επίπεδο q_i. Αυτό συμβαίνει διότι η μεταβολή της τιμής στο επίπεδο q_i δεν επηρεάζει τις μεταβάσεις μέχρι το επίπεδο q_{i+1}. Τέλος αν παραβιάζονται και οι τρεις συνθήκες, ως αρχικό σημείο του αλγορίθμου τίθεται το επίπεδο q_{i+1}.

Αν ο παροχέας ανακοινώσει αλλαγή τιμών σε περισσότερα από ένα μέσο, τότε εξετάζονται οι ίδιες συνθήκες για κάθε μέσο. Αυτό μπορεί να γίνει αφού έχουμε υποθέσει ότι εφαρμόζεται αθροιστική χρέωση και κατά συνέπεια κάθε μέσο είναι ανεπηρέαστο από τα τα υπόλοιπα. Αν παραβιαστεί έστω και μία συνθήκη για κάποια από τα μέσα τότε πρέπει να επανεκτελεστεί ο αλγόριθμος επιλογής με το κατάλληλο αρχικό σημείο.

5.2.2 Μεταβαλλόμενη Συνάρτηση Ικανοποίησης

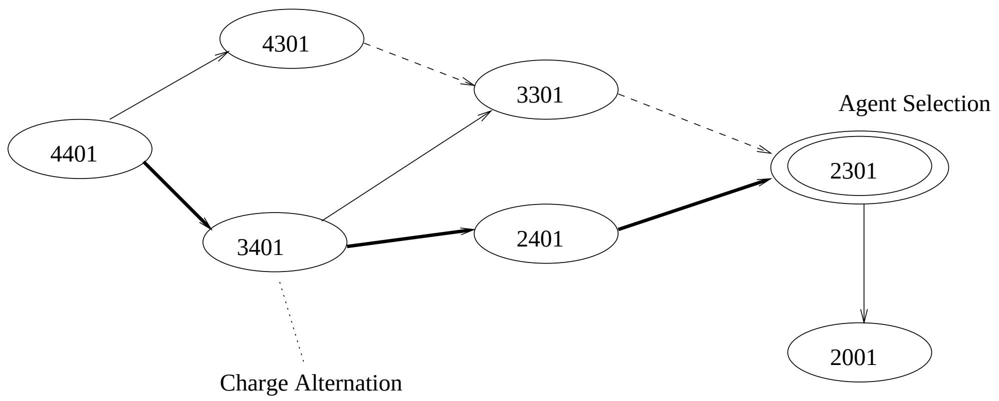
Η ανάλυση της προηγούμενης υποπαραγράφου βασίστηκε στο γεγονός ότι η διαφορά καθαρού οφέλους δύο διαδοχικών (ως προς την εκτέλεση του αλγορίθμου) συνδυασμών επηρεάζεται μόνο από τη μεταβολή της τιμής σε κάποιο επίπεδο ποιότητας. Αν μεταβάλλεται και η χρησιμότητα του χρήστη (ως προς το χρόνο ή όγκο πληροφορίας), τότε οι διαφορές που είδαμε στον Πίνακα 5.1 εξαρτώνται και από τη μεταβολή της χρησιμότητας. Στην περίπτωση αυτή ο αντιπρόσωπος πρέπει να αποθηκεύει όλους τους συνδυασμούς που εξετάστηκαν κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου επιλογής, τις χρησιμότητες και τα κόστη τους. Σε κάποια μεταβολή τιμής ΔP ενός μέσου, μπορούν εύκολα να υπολογιστούν τα νέα κόστη αφού θα διαφέρουν από τα προηγούμενα μόνο ως προς το ΔP.

Όταν, λοιπόν, ο παροχέας ανακοινώσει μία μεταβολή τιμής σε κάποιο επίπεδο ποιότητας ενός μέσου, τότε ο αντιπρόσωπος ελέγχει όλες τις μεταβάσεις που έγιναν κατά την τελευταία εκτέλεση του αλγορίθμου επιλογής. Σε περίπτωση που κάποιες από τις μεταβάσεις παύουν να ισχύουν, επανεκτελείται ο αλγόριθμος επιλογής με αρχικό σημείο τον πρώτο συνδυασμό για τον οποίο "ακυρώνεται" η μετάβαση από αυτόν σε ένα γειτονικό του.

5.3 Επαναδιαπραγμάτευση με Αυθαίρετη Χρέωση

Όταν έχουμε μη αθροιστική χρέωση, υποθέτουμε ότι ο παροχέας ανακοινώνει ένα ενιαίο κόστος αγοράς για την παρεχόμενη υπηρεσία, το οποίο υπολογίζει αυθαίρετα. Για παράδειγμα μπορεί να εφαρμόζει κάποια τιμολογιακή πολιτική με γνώμονα περισσότερο το ανταγωνιστικό περιβάλλον στο οποίο ενεργεί και λιγότερο την ίδια την υπηρεσία (π.χ. μπορεί να εφαρμόζει πολιτική εκπτώσεων για να προσεγγίσει πελάτες). Σε αυτή την περίπτωση το καθαρό όφελος ενός συνδυασμού δεν μπορεί να αναλυθεί στα επιμέρους καθαρά οφέλη των εμπλεκόμενων μέσων αφού η κάθε μία μπορεί να εξαρτάται από τις υπόλοιπες.

Επίσης, η μεταβολή του κόστους αγοράς έχει τη μορφή της νέας προσφοράς για κάποιο συνδυασμό υπηρεσίας. Η επαναπροσφορά μπορεί να γίνει είτε πριν την έναρξη της υπηρεσίας είτε ακόμα και κατά τη διάρκεια παροχής της. Τότε αυτή αφορά στην υπολειπόμενη υπηρεσία. Με δεδομένη αυτή την "αντιπροσφορά" ο αντιπρόσωπος



Σχήμα 5.2: Σενάριο Επιλογής Συνδυασμού .

πρέπει να εκτιμήσει την απόφαση του αλγορίθμου αν εκτελούνταν από την αρχή. Όπως και στην προηγούμενη παράγραφο, αρχικά θα εξετάσουμε την περίπτωση που η συνάρτηση χρησιμότητας του χρήστη μένει αμετάβλητη.

Έστω ότι ο αλγόριθμος επιλογής έχει εκτελεστεί ακολουθώντας τα βήματα που φαίνονται στο Σχήμα 5.2. Στο σχήμα αυτό φαίνονται οι συνδυασμοί που εξέτασε ο αλγόριθμος επιλογής κατά την εκτέλεσή του. Για λόγους ευκολίας παρουσίασης οι συνδυασμοί παριστάνονται με τέσσερα ψηφία, ένα για κάθε μέσο, που εκφράζουν τα επίπεδα ποιότητας των μέσων. Για παράδειγμα το 4 σημαίνει επίπεδο *άριστης ποιότητας* ενώ το 0 σημαίνει απόρριψη του αντίστοιχου μέσου. Υποθέτουμε, λοιπόν, ότι ο αλγόριθμος έχει επιλέξει το συνδυασμό 2301. Οι μεταβάσεις με πιο έντονες γραμμές βελτίωναν το καθαρό όφελος του χρήστη, οπότε και έγιναν αποδεκτές, οι λεπτές γραμμές αντιστιχούν σε μεταβάσεις που απορρίφθηκαν και οι διακεκομμένες γραμμές σε μεταβάσεις που δεν εξετάστηκαν.

Έστω ότι μετά την εκλογή του συνδυασμού 2301, ο παροχέας ανακοινώνει μία "αντιπροσφορά" για το συνδυασμό 3401 μεταβάλλοντας το συνολικό κόστος αυτού του συνδυασμού κατά ΔC. Αυτό σημαίνει ότι οι διαφορές καθαρού οφέλους των μεταβάσεων προς τους συνδυασμούς 3301 και 2401 θα μεταβληθούν κατά ΔC, ενώ για τις αντίστοιχες μεταβάσεις προς τον 3401, θα μεταβληθούν κατά $-\Delta C$[1]. Επομένως,

[1] Αν αυξηθεί το κόστος του 3401, τότε η διαφορά καθαρού οφέλους με τον προηγούμενο συνδυασμό θα ελαττωθεί, άρα η μεταβολή είναι$-\Delta C$

ο αντιπρόσωπος θα πρέπει να εξετάσει τις μεταβάσεις από και προς το συνδυασμό για τον οποίο έγινε "αντιπροσφορά", ως προς τα πρόσημα των νέων διαφορών καθαρού οφέλους. Αν οι νέες διαφορές έχουν τα ίδια πρόσημα με τις προηγούμενες, τότε ο αντιπρόσωπος μπορεί να συμπεράνει ότι δε χρειάζεται επανεκτέλεση του αλγορίθμου επαναδιαπραγμάτευσης. Αυτός ο έλεγχος είναι παρόμοιος με τις συνθήκες (5.6), (5.7) και (5.8).

Αν προκύψει το συμπέρασμα ότι χρειάζεται επαναδιαπραγμάτευση, τότε εκτελείται ο αλγόριθμος επιλογής με αρχικό συνδυασμό αυτόν για τον οποίο έγινε αντιπροσφορά (3401) ή τον προηγούμενό του (4401). Με βάση αυτά, γίνεται φανερό, ότι η πληροφορία που χρειάζεται να αποθηκεύη ο αντιπρόσωπος περιλαμβάνει όλους τους συνδυασμούς που εξετάστηκαν κατά την τελευταία εκτέλεση του αλγορίθμου επιλογής μαζί με τις χρησιμότητές τους και τα κόστη αγοράς τους.

Εδώ αξίζει, επίσης, να σημειωθεί ότι στην περίπτωση που αυξηθεί το κόστος αγοράς ενός συνδυασμού, διαφορετικού από αυτόν που επέλεξε ο αντιπρόσωπος, τότε μπορεί να μην επανεκτελεστεί ο αλγόριθμος επιλογής με το σκεπτικό ότι με την αύξηση της τιμής του συγκεκριμένου συνδυασμού η επιλογή του αντιπροσώπου εξακολουθεί να έχει μεγαλύτερο καθαρό όφελος. Από την άλλη πλευρά, όμως, ο αλγόριθμος θα μπορούσε με την επανεκτέλεση να ακολουθήσει διαφορετικό μονοπάτι συνδυασμών και να καταλήξει σε κάποιον με ακόμα μεγαλύτερο καθαρό όφελος για το χρήστη. Η επιλογή ενός από τα δύο ενδεχόμενα μπορεί να γίνει ανάλογα με τις συνθήκες που αντιμετωπίζονται.

Παρόμοια με την περίπτωση της αθροιστικής χρέωσης, αν μεταβληθεί και η συνάρτηση χρησιμότητας του χρήστη, τότε σε κάθε μεταβολή είτε του κόστους του συνδυασμού είτε της χρησιμότητας του χρήστη, πρέπει να υπολογίζονται από την αρχή τα καθαρά οφέλη όλων των συνδυασμών που εξετάσθηκαν και να ελέγχονται οι μεταβάσεις από συνδυασμό σε συνδυασμό όπως στις προηγούμενες περιπτώσεις.

Κεφάλαιο 6

Διαδικασία Εκμάθησης

6.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο 3 ορίστηκε το προτεινόμενο μοντέλο του χρήστη με βάση το οποίο ο ηλεκτρονικός αντιπρόσωπος επιλέγει την καλύτερη δυνατή προσφερόμενη υπηρεσία και τον αντίστοιχο παροχέα. Το μοντέλο αυτό είναι προσεγγιστικό και βασίζεται στην έννοια της χρησιμότητας του χρήστη (παρ. 3.3.2). Οι παράμετροι που περιέχονται σε αυτό το μοντέλο έχουν καθοριστεί με βάση τα συνήθη χαρακτηριστικά ενός μέσου χρήστη και τις τιμές που καταγράφονται στο *αρχείο προσωπικών προτιμήσεων*. Στην πραγματικότητα, όμως, κανένας χρήστη δε συμπίπτει με το *μέσο χρήστη* και άρα το προσεγγιστικό μοντέλο της συνάρτησης χρησιμότητας αποκλίνει από τη συμπεριφορά καθενός συγκεκριμένου χρήστη. Επιπλέον, οι παράμετροι του *αρχείου προσωπικών προτιμήσεων* μπορεί να μην είναι ακριβείς καθώς οι εναλλακτικές επιλογές που παρέχονται από τον ηλεκτρονικό αντιπρόσωπο μπορεί να μην περιέχουν την πραγματική προτίμηση του χρήστη ή ο ίδιος ο χρήστης ενδέχεται να μην μπορεί να εκφράσει επιτυχώς τις προτιμήσεις του για τον ακριβή συνδυασμό υπηρεσίας που επιθυμεί να λάβει. Αν συνυπολογίσουμε και την πιθανότητα μεταβολής των προτιμήσεων του χρήστη με το χρόνο (π.χ. έλλειψη ενδιαφέροντος από το χρήστη ή μεταβολή του W_{max} ή αύξηση των απαιτήσεων σε ποιότητα) γίνεται σαφής η ανάγκη για κάποια διαδικασία εκμάθησης με στόχο την περαιτέρω προσέγγιση των πραγματικών προτιμήσεων του εξυπηρετούμενου χρήστη στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

Η προτεινόμενη διαδικασία εκμάθησης με αρχικές τιμές αυτές που έχουν ήδη καθοριστεί (παρ. 3.3.2) προσαρμόζει τις παραμέτρους του μοντέλου χρησιμότητας u μετά από κάθε διαπραγμάτευση ανάλογα με την τελική επιλογή του χρήστη. Οι παράμεροι στις οποίες εφαρμόζεται αυτή η προσαρμογή είναι αυτές που εκφράζουν τις προτιμήσεις του χρήστη. Με βάση τον ορισμό της χρησιμότηταςu για κάποιο συνδυασμό υπηρεσίας S,

$$u\left(S\right) = W_{max} \times \sum_{c} k_c \sum_{m \in M_c} \rho_m^c u_{qos}^m \left(q_m\right) \tag{6.1}$$

οι τροποποιήσιμες παράμετροι είναι τα ρ_m^c που εκφράζουν τη σχετική χρησιμότητας για το μέσο m στη θεματική περιοχή c και η επιμέρους συνάρτηση χρησιμότητας $u_{qos}^m\left(q_m\right)$ ως προς τα διακριτά επίπεδα ποιότητας. Το W_{max}, όπως έχουμε δει (παρ. 3.3.2), εκφράζει το μέγιστο επιτρεπτό κόστος αγοράς για οποιοδήποτε συνδυασμό υπηρεσίας και μπορεί να τροποιηθεί μόνο άμεσα από το χρήστη. Επιπλέον, όμως, εκφράζει και την εκτίμηση που έχει ο χρήστης στα χρήματα σε σχέση με την ικανοποίησή όταν λάβει ένα συνδυασμό υπηρεσίας. Αν, για παράδειγμα, επιλέγει συνεχώς ακριβότερη υπηρεσία τότε ο αντιπρόσωπος μπορεί να συμπεράνει ότι πρέπει να αυξήσει το εσωτερικά χρησιμοποιούμενο W_{max}. Παρ'όλα αυτά, ο χρήστης δεν μπορεί να αποδεχτεί ένα συνδυασμό υπηρεσίας του οποίου το κόστος υπεβαίνει το W_{max} που έχει δηλώσει στο *αρχείο προσωπικών προτιμήσεων*.

Για να επιτευχθεί ο σκοπός της διαδικασίας είναι απαραίτητη η συνδρομή του χρήστη με *επιπρόσθετη πληροφορία*. Γι' αυτό πρέπει να τού δοθεί η δυνατότητα να εκφράσει την πιθανή διαφωνία του με την απόφαση του αντιπροσώπου με τέτοιο τρόπο ώστε να ενδεικνύονται τουλάχιστον οι επιμέρους παράμετροι που πρέπει να προσαρμοστούν. Επιπλέον, η διαδικασία εκμάθησης πρέπει να είναι απλή τόσο ως προς τις ενέργειες του χρήστη όσο και ως προς την απαιτούμενη υπολογιστική πολυπλοκότητα. Η πρώτη απαίτηση αποσκοπεί στο να προστατέψει το χρήστη από πολύπλοκα καθήκοντα που θα προκαλούσαν τη δυσαρέσκειά του και ίσως θα επηρέαζαν την ορθότητα της τελικής του επιλογής. Η δεύτερη απαίτηση στοχεύει στην ελάχιστη δυνατή επιβάρυνση του ηλεκτρονικού αντιπροσώπου έτσι ώστε να μην επηρεαστεί αρνητικά η χρονική διάρκεια της διαπραγμάτευσης.

Κατά την προτεινόμενη διαδικασία εκμάθησης, ο ηλεκτρονικός αντιπρόσωπος δίνει στο χρήστη μία λίστα από προτεινόμενους συνδυασμούς υπηρεσίας με τα αντίστοιχα κόστη αγοράς τους. Από αυτή τη λίστα ο χρήστης επιλέγει την καλύτερη υπηρεσία σύμφωνα με τις δικές του προτιμήσεις, οι οποίες μπορεί να είναι διαφορετικές από τις παραμέτρους του μοντέλου που διαθέτει ο αντιπρόσωπος. Όπως είδαμε στο κεφάλαιο 4 ο αντιπρόσωπος επιλέγει ένα συνδυασμό υπηρεσίας και αυτόν προτείνει στο χρήστη. Με τη προσθήκη της διαδικασίας εκμάθησης, ο αντιπρόσωπος πρέπει να βρει ένα σύνολο από "καλούς" υποψήφιους συνδυασμούς, δηλαδή συνδυασμούς που έχουν περισσότερες πιθανότητες να επιλεγούν από άλλους. Αφού ο χρήστης επιλέξει ένα συνδυασμό υπηρεσίας από την προτεινόμενη λίστα, ο αντιπρόσωπος μπορεί να συμπεράνει ότι οι υπόλοιποι συνδυασμοί έχουν μικρότερο καθαρό όφελος από αυτόν. Η διαδικασία αυτή περιγράφεται λεπτομερώς στην συνέχεια.

6.2 Η Διαδικασία

Ο κύριος σκοπός της διαδικασίας εκμάθησης είναι η προσαρμογή του μοντέλου χρησιμότητας του χρήστη ώστε να προσεγγιστούν οι πραγματικές του προτιμήσεις. Με βάση τις επιλογές του χρήστη στο αρχείο προσωπικών προτιμήσεων, ο αντιπρόσωπος δημιουργεί ένα σύνολο αρχικών τιμών για τις παραμέτρους που εμπλέκονται. Το σύνολο αυτών των τιμών αποτελεί την αρχική κατάσταση της διαδικασίας εκμάθησης.
Οι βασικές λειτουργίες της διαδικασίας είναι

1. η προσαρμογή των παραμέτρων του μοντέλου χρησιμότητας χρήστη για τα μέσα στα οποία υπάρχει διαφοροποίηση μεταξύ του προτεινόμενου συνδυασμού και αυτού που επέλεξε ο χρήστης, και

2. η μεταβολή του W_{max} έτσι ώστε να προσεγγιστεί η πραγματική εκτίμηση των χρημάτων από το χρήστη. Αυτή η μεταβολή δεν μπορεί να γίνει στην παράμετρο που δηλώνει ο χρήστης στο *αρχείο προσωπικών προτιμήσεων* αφού αυτό είναι το αυστηρό άνω φράγμα για το κόστος αγοράς οποιουδήποτε συνδυασμού υπηρεσίας. Ο ηλεκτρονικός αντιπρόσωπος μπορεί να διατηρεί κάποια αντίστοιχη εσωτερική μεταβλητή που να αντικαθιστά το W_{max} στον υπολογισμό της εκτιμώμενης χρησιμότητας του χρήστη.

Με δεδομένους αυτούς τους στόχους ο αντιπρόσωπος ενεργεί σε δύο φάσεις:

- κατασκευάζειτη λίστα με τους προτεινόμενους συνδυασμούς και
- με βάση την τελική επιλογή του χρήστη μεταβάλει κατάλληλα τις παραμέτρους του μοντέλου χρησιμότητας.

6.2.1 Λίστα Προτεινόμενων Συνδυασμών

Όπως έχουμε δει στο κεφάλαιο 4 η διαπραγμάτευση με τους παροχείς υπηρεσιών γίνεται με τη δημιουργία θυγατρικών αντιπροσώπων (που μπορεί να είναι αντίγραφα του πατρικού) καθένας από τους οποίους διαπραγματεύεται με έναν παροχέα. Με βάση τον αλγόριθμο διαπραγμάτευσης (παρ. 4.3) ο θυγατρικός αντιπρόσωπος διατρέχει ένα σύνολο από συνδυασμούς μέχρι να φτάσει στο, κατ' εκτίμηση, βέλτιστο. Με την εισαγωγή της διαδικασίας εκμάθησης, ο θυγατρικός αντιπρόσωπος πρέπει να επιστρέφει στον πατρικό περισσότερους από ένα συνδυασμούς υπηρεσίας. Αυτό γίνεται επιλέγοντας κατάλληλα δύο επιπλέον συνδυασμούς εκτός από τον προτεινόμενο. Η επιλογή γίνεται από αυτούς που εξετάστηκαν κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου επιλογής. Οι συνδυασμοί που εξετάστηκαν μπορούν να χωριστούν σε δύο υποσύνολα·στους *προηγούμενους* και στους *επόμενους*. Οι *προηγούμενοι* συνδυασμοί είναι αυτοί που κατά την εξέλιξη του αλγορίθμου βελτίωσαν το καθαρό όφελος του χρήστη, ενώ οι *επόμενοι* είναι οι γείτονες του προτεινόμενου συνδυασμού οι οποίοι απορρίφθηκαν καθώς είχαν όφελος μικρότερο από αυτό του προτεινόμενου συνδυασμού. Τελικά από τους "προηγούμενους" επιλέγονται οι δύο που είχαν εξεταστεί πιο πρόσφατα και από τους "επόμενους" οι δύο με το μεγαλύτερο καθαρό όφελος. Επίσης οι συνδυασμοί αυτοί πρέπει να είναι εμφανώς διαφορετικοί από τον προτεινόμενο. Αυτό συμβαίνει γιατί μας ενδιαφέρει να βρούμε περιπτώσεις που υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση στο μοντέλο που διαθέτει ο αντιπρόσωπος από το χρήστη.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο θυγατρικός αντιπρόσωπος θα μπορούσε να επιστρέφει όλους τους συνδυασμούς που εξέτασε, δίνοντας έτιτσι, περισσότερες εναλλακτικές επιλογές στο χρήστη. Αυτό, όμως, θα επιβάρυνε τον μετακίνούμενο θυγατρικό αντιπρόσωπο ως προς το μέγεθος της μεταφερόμενης πληροφορίας. Επιπλέον, αν ο αριθμός των μέσων και των επιπέδων ποιότητας είναι μεγάλος τότε το πρόβλημα αυτό γίνεται εντονότερο. Γι' αυτό το λόγο περιορίζουμε τον αριθμό των συνδυασμών που επιστρέφει ο αντιπρόσωπος σε πέντε το πολύ.

Αφού, λοιπόν, ο θυγατρικός αντιπρόσωπος επιστρέψει τους προτεινόμενους συνδυασμούς, ο αντίστοιχος πατρικός κατασκευάζει μία συνολική λίστα από συνδυασμούς η οποία παρουσιάζεται στο χρήστη για να επιλέξει έναν από αυτούς. Το πρώτο που γίνεται για την κατασκευή αυτής της λίστας είναι η απαλοιφή ίδιων συνδυασμών με διαφορετικά κόστη αφήνοντας μόνο τον φθηνότερο. Από τους συνδυασμούς όλης της λίστας επιλέγεται ο συνδυασμός με τη μέγιστο καθαρό όφελος και τίθεται ως ο *προτεινόμενος* συνδυασμός. Οι υπόλοιποι χωρίζονται σε δύο τμήματα. Το πρώτο τμήμα αποτελείται από συνδυασμούς που δίνουν (σύμφωνα με το μοντέλο) μεγαλύτερη χρησιμότητα στο χρήστη απ' ό,τι ο προτεινόμενος, σε αντίθεση με το δεύτερο τμήμα του οποίου οι συνδυασμοί δίνουν μικρότερη χρησιμότητα. Κατόπιν, ο πατρικός αντιπρόσωπος ταξινομεί ως προς το καθαρό όφελος τα δύο τμήματα κατά αύξουσα σειρά το πρώτο και κατά φθίνουσα σειρά το δεύτερο. Τελικά στο χρήστη παρουσιάζονται τρεις συνδυασμοί· ο *προτεινόμενος* και από τα δύο τμήματα από δύο συνδυασμοί με το μεγαλύτερο καθαρό όφελος. Οι συνδυασμοί αυτοί ενδέχεται να μην είναι όλοι διαθέσιμοι, οπότε επιστρέφονται λιγότεροι από πέντε.

6.2.2 Προσαρμογή Παραμέτρων

Από τους τρεις συνδυασμούς που παρουσιάζονται στο χρήστη επιλέγεται τελικά ο ένας. Η προσαρμογή των παραμέτρων του μοντέλου που διαθέτει ο αντιπρόσωπος ενεργοποιείται στην περίπτωση που η τελική επιλογή του χρήστη δεν είναι ο *προτεινόμενος* συνδυασμός. Σε αυτή την περίπτωση ανάλογα με τις διαφορές που παρατηρούνται μεταξύ του *προτεινόμενου* και του επιλεγμένου συνδυασμού τροποποιούνται οι κατάλληλες παράμετροι έτσι ώστε να βελτιωθεί η χρησιμότητα του επιλεγμένου συνδυασμού. Στην περίπτωση που ο χρήστης επιλέξει τον *προτεινόμενο* συνδυασμό, τότε ο αντιπρόσωπος δεν κάνει καμία προσαρμογή.

Ας θεωρήσουμε την περίπτωση που ο χρήστης επιλέγει ένα συνδυασμό διαφορετικό από τον *προτεινόμενο*. Αυτό σημαίνει ότι, σύμφωνα με τις πραγματικές προτιμήσεις του, ο χρήστης ωφελείται περισσότερο από το συνδυασμό που επέλεξε παρά από τους άλλους δύο. Κατά συνέπεια ο αντιπρόσωπος πρέπει να μεταβάλλει το μοντέλο χρησιμότητας έτσι ώστε η συνολικό καθαρό όφελος του *επιλεγμένου* συνδυασμού να είναι *μεγαλύτερο* από τους άλλους δύο. Αυτό το κάνει συγκρίνοντας τα καθαρά οφέλη των συνδυασμών. Από τις δύο συγκρίσεις που γίνονται μεταξύ του επιλεγμένου συνδυασμού και των άλλων δύο προκύπτουν δύο περιπτώσεις μεταβολής του μοντέλου χρησιμότητας. Αν και οι δύο περιπτώσεις τείνουν να αυξήσουν ή να μειώσουν μία παράμετρο (δηλαδή έχουν το ίδιο πρόσημο) τότε εφαρμόζουμε τη μεγαλύτερη. Στην αντίθετη περίπτωση, εφαρμόζουμε το άθροισμα των μεταβολών. Με αυτό τον τρόπο οι επιμέρους προσαρμογές που προκύπτουν από τις δύο συγκρίσεις περιέχονται στη συνολική μεταβολή.

Ας δούμε πώς ακριβώς γίνεται αυτή η προσαρμογή με βάση τη μία από τις δύο συγκρίσεις. Έστω sel (selected) ο συνδυασμός που επέλεξε ο χρήστης και sug (suggested) ο *προτεινόμενος* συνδυασμός. Σύμφωνα με το μοντέλο που έχει ο αντιπρόσωπος πριν την προσαρμογή ισχύει

$$NB\left(sug\right) > NB\left(sel\right). \tag{6.2}$$

Η τροποποίηση που θα γίνει πρέπει να είναι τέτοια ώστε με τις νέες χρησιμότητες, να προκύπτει

$$NB'\left(sel\right) = \epsilon + NB'\left(sug\right), \tag{6.3}$$

όπου NB' είναι το νέο καθαρό όφελος του χρήστη και ϵ είναι ένας θετικός αριθμός.

Αναλύοντας την τελευταία εξίσωση έχουμε ισοδύναμα

$$\Delta u' = u'\left(sel\right) - u'\left(sug\right) = \epsilon + c\left(sel\right) - c\left(sug\right),$$

και τελικά

$$\Delta u' = \sum_{c} k_c \left(\sum_{m \in M_c^{sel}} \rho'_m u'_m \left(q_m^{sel}\right) - \sum_{m \in M_c^{sug}} \rho'_m u'_m \left(q_m^{sug}\right) \right) = \frac{\epsilon + c\left(sel\right) - c\left(sug\right)}{W_{max}}. \tag{6.4}$$

Για κάθε θεματική περιοχή η διαφορά αυτή πρέπει να *κατανεμηθεί* στους όρους που αντιστοιχούν σε διαφοροποίηση ανάμεσα στην επιλογή του χρήστη και την πρόταση του αντιπροσώπου. Αυτό συμβαίνει γιατί οι όροι που αντιστοιχούν σε ταύτιση του χρήστη με τον αντιπρόσωπο απαλοίφονται. Για να γίνει σωστά η κατανομή οι όροι του παραπάνω αθροίσματος χωρίζονται σε αυτούς που συνεισφέρουν θετικά και σε αυτούς που συνεισφέρουν αρνητικά στο $\Delta u'$. Πιο συγκεκριμένα κατανέμουμε τη θετική συνεισφορά του αθροίσματος στους όρους που αντιστοιχούν σε μέσα με επίπεδα ποιότητας μεγαλύτερα στον επιλεγμένο συνδυασμό απ' ότι στον προτεινόμενο (για τα οποία πρέπει να τροποποιηθεί μόνο το u_{qos} σε u'_{qos}, ενώ το ρ) καθώς και σε αυτούς που αντιστοιχούν σε μέσα που περιέχονται μόνο στον επιλεγμένο από το χρήστη συνδυασμό (για τα οποία πρέπει να τροποποιηθεί το ρ σε ρ') . Αντίστοιχα κατανέμεται και το αρνητικό μέρος. Επομένως, η διαφορά $\Delta u'$ εκφράζεται ως

$$\Delta u' = \sum_c k_c \left(\Delta_c^+ - \Delta_c^-\right) = \frac{\epsilon + c\,(sel) - c\,(sug)}{W_{max}}, \tag{6.5}$$

όπου

$$\Delta_c^+ = \sum_{m \in M_c^{sel} - M_c^{sug}} \rho'_m + \sum_{m: q_m^{sel} > q_m^{sug}} \rho_m \left[u'_{qos}\left(q_m^{sel}\right) - u'_m\left(q_m^{sug}\right)\right] \tag{6.6}$$

$$\Delta_c^- = \sum_{m \in M_c^{sug} - M_c^{sel}} \rho'_m + \sum_{m: q_m^{sug} > q_m^{sel}} \rho_m \left[u'_{qos}\left(q_m^{sug}\right) - u'_m\left(q_m^{sel}\right)\right]. \tag{6.7}$$

Στις παραπάνω εξισώσεις $M_c^{sel} - M_c^{sug}$ ορίζεται ως η διαφορά των συνόλων (και αντίστοιχα το $M_c^{sug} - M_c^{sel}$), u' είναι η χρησιμότητα μετά την προσαρμογή του μοντέλου. Η συνάρτηση χρησιμότητας πρέπει να προσαρμοστεί έτσι ώστε η διαφορά των δύο συνδυασμών να είναι $\Delta u'$ που δίδεται από την (6.4). Αν οριστούν τα Δ_c^+ και Δ_c^-, τότε από τις (6.6) και (6.7) προκύπτουν εξισώσεις με αγνώστους τα ρ' και u'.

Πριν, όμως, από αυτό η ποσότητα $\Delta u'$ πρέπει να κατανεμηθεί σε όρους αντίστοιχους με τις θεματικές περιοχές. Πιο συγκεκριμένα, σε κάθε περιεχόμενο αντιστοιχείται η ποσότητα

$$\Delta_c = \frac{k_c}{\sum_{\gamma \in MC} k_\gamma} \Delta u', \tag{6.8}$$

όπου k_c είναι το επίπεδο προτίμησης της θεματικής περιοχής c και MC (Mismathcing Contents) είναι το σύνολο των θεματικών περιοχών για τις οποίες εμφανίστηκε διαφορά μεταξύ της επιλογής του χρήστη και της απόφασης του αντιπροσώπου. Η ποσότητα αυτή χωρίζεται σε δύο μέρη, Δ_c^+ και Δ_c^-, τα οποία κατανέμονται στους όρους του αθροίσματος (6.4) που συνεισφέρουν θετικά και αρνητικά αντίστοιχα. Ο υπολογισμός των Δ_c^+ και Δ_c^- μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Για παράδειγμα, θα μπορούσαμε να κατανέμουμε όλο το Δ_c στους όρους με θετική συνεισφορά (δηλ. $\Delta_c^+ = \Delta_c$ και $\Delta_c^- = 0$). Αυτό σημαίνει ότι ενισχύουμε την επιλογή του χρήστη για τα επιμέρους μέσα, που έχουν καλύτερη ποιότητα από την πρόταση του αντιπροσώπου ή δεν περιέχονται σε αυτήν. Αυτή είναι μια πολύ απλή προσέγγιση που δίνει προσαρμογές παραμέτρων προς τη σωστή κατεύθυνση. Ωστόσο, στις περιπτώσεις που η επιλογή του χρήστη είναι χαμηλότερης ποιότητας από την πρόταση του αντιπροσώπου ουσιαστικά δε θα εφαρμόζεται η διαδικασία εκμάθησης. Επιπλέον, αν οι επιμέρους διαφορές είναι μεγαλύτερες για τα μέσα που έχουν καλύτερη ποιότητα στην πρόταση του αντιπροσώπου απ' ότι τα αντίστοιχα στην επιλογή του χρήστη, δε θα ήταν αποδοτικό να μεταβληθούν οι μόνο οι παράμετροι που αντιστοιχούν στα δεύτερα.Αν, για παράδειγμα, στον προτεινόμενο συνδυασμό περιέχεται *video* σε καλύτερη ποιότητα και *σταθερή εικόνα* σε χαμηλότερη ποιότητα από ότι στην επιλογή του χρήστη, τότε η θα τροποποιηθεί μόνο η παράμετρος που αντιστοιχεί στη *σταθερή εικόνα*. Αυτό, όμως, δεν είναι απόλυτα σωστό γιατί η διαφορά οφέλους που αντιλαμβάνεται ο χρήστης για το *video* είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή που αντιλαμβάνεται για τη *σταθερή εικόνα*.

Στην προσέγγισή μας, ο υπολογισμός των Δ_c^+ και Δ_c^- γίνεται με βάση τα βάρη του αθροίσματος (6.4). Η ιδέα αυτή βασίζεται στο ότι διαφορετικά μέσα έχουν διαφορετική χρησιμότητα για το χρήστη και επομένως οι προσαρμογές των αντίστοιχων παραμέτρων πρέπει να είναι ανάλογες της προτίμησης του χρήστη. Για το λόγο αυτό υπολογίζουμε δύο βάρη *ανάλογα* των παραμέτρων *προτίμησης* του χρήστη για το θετικό και το αρνητικό μέρος του αθροίσματος 6.4. Τα βάρη αυτά υπολογίζονται ως:

$$B^+ = \frac{\sum_{m \in M_c^{sel} - M_c^{sug} \text{ ή } m:\, q_m^{sel} > q_m^{sug}} \rho_m^c}{\sum_{m \in M_c} \rho_m^c},\ B^- = \frac{\sum_{m \in M_c^{sug} - M_c^{sel} \text{ ή } m:\, q_m^{sug} > q_m^{sel}} \rho_m^c}{\sum_{m \in M_c} \rho_m^c}, \qquad (6.9)$$

όπου τα αθροίσματα στους αριθμητές διατρέχουν τα σύνολα των μέσων που εμφανίζονται στις ειξισώσεις (6.6) και (6.7). Με βάση αυτά τα βάρη υπολογίζονται τα Δ_c^+, Δ_c^-:

$$\Delta_c^+ = \frac{B^+}{|B^+ - B^-|} \times \Delta_c,\ \Delta_c^- = \frac{B^-}{|B^+ - B^-|} \times \Delta_c \qquad (6.10)$$

Για να υπολογίσουμε το μέγεθος της προσαμογής για κάθε εμπλεκόμενο μέσο, κατανέμουμε τις ποσότητες Δ_c^+ και Δ_c^- στα επιμέρους μέσα ανάλογα με τους συντελεστές προτίμησης ρ_m^c:

$$\Delta Medium\left(m_c\right) = \left\{ \begin{array}{lcl} \frac{\rho_m^c}{\sum_{n \in M_c^{sel} - M_c^{sug} \text{ ή } n:\, q_n^{sel} > q_n^{sug}} \rho_n^c} \Delta_c^+ & , & \text{αν } q_m^{sel} > q_m^{sug} \\ \frac{\rho_m^c}{\sum_{n \in M_c^{sug} - M_c^{sel} \text{ ή } n:\, q_n^{sug} > q_n^{sel}} \rho_n^c} \Delta_c^- & , & \text{αν } q_m^{sug} > q_m^{sel} \end{array} \right\}, \quad (6.11)$$

όπου και πάλι ελήφθει υπόψη το σύνολο των μέσων που συνεισφέρουν στο Δ_c^+ και Δ_c^-, αντίστοιχα.

Η προσαρμογή των παραμέτρων του μοντέλου χρησιμότητας γίνεται με βάση τα $\Delta Medium\left(m_c\right)$ που υπολογίστηκαν παραπάνω. Όπως ήδη προαναφέρθ εδώ υπάρχουν δύο περιπτώσεις:

- Αν το μέσο m_c στο οποίο υφίσταται η διαφορά περιέχεται στον ένα και όχι στον άλλο συνδυασμό τότε πρέπει να μεταβληθεί η παράμετρος ρ_m^c. Με βάση τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτει

$$\rho'_{m_c} = \frac{\Delta Medium\left(m_c\right)}{u_{qos}\left(q_{m_c}\right)}, \quad (6.12)$$

  όπου $u_{qos}\left(q_{m^c}\right)$ είναι η επιμέρους χρησιμότητα του διακριτού επιπέδου ποιότητας q_{m^c}.

- Αν το μέσο m_c στο οποίο υφίσταται η διαφορά περιέχεται και στους δύο συνδυασμούς sel και sug, τότε πρέπει να μεταβληθεί η αντίστοιχη συνάρτηση u_{qos} που αναφέρεται στα διακριτά επίπεδα ποιότητας. Η προσαρμογή πρέπει να γίνει έτσι ώστε να διατηρηθεί η κανονικοποιημένη μορφή της διαβάθμισης των επιπέδων (δηλαδή το μέγιστο να αντιστοιχεί στο 1). Έστω κ το επίπεδο ποιότητας που επέλεξε ο χρήστης και λ το αντίστοιχο επόπεδο που πρότεινε ο αντιπρόσωπος. Αρχικά θεωρούμε ότι $\kappa > \lambda$. Με βάση τις εξισώσεις (6.6), (6.7) και (6.11) προκύπτει ότι η διαφορά χρησιμότητας των επιπέδων κ και λ πρέπει να είναι ίση με $\frac{\Delta Medium(m_c)}{\rho_m^c}$. Για να διατηρηθεί η μονοτονία της συνάρτησης χρησμότητας $u_{qos}\left(q_{m^c}\right)$, στις ενδιάμεσες τιμές γίνεται μια αναλογική κατανομή της διαφοράς αυτής, ξεκινώντας από το λ και προχωρώντας προς το κ. Συγκεκριμένα οι νέες τιμές χρησιμότητας u'_{qos} καθορίζονται ως εξής:

$$u'_{qos}(q_m) = \left\{ \begin{array}{ll} u_{qos}(q_m), & \text{για } q_m \leq \lambda \\ u'_{qos}(q_m - 1) + \frac{u_{qos}(q_m)}{\sum_{\lambda < q_n < \kappa} u_{qos}(q_n)} \times \frac{\Delta Medium(m_c)}{\rho^c_m}, & \text{για } \lambda < q_m < \kappa \\ u'_{qos}(\lambda) + \frac{\Delta Medium(m_c)}{\rho^c_m}, & \text{για } q_m = \kappa \\ u_{qos}(q_m) + \left[u'_{qos}(\kappa) - u_{qos}(\kappa)\right], & \text{για } q_m > \kappa \end{array} \right\}. \tag{6.13}$$

Στην περίπτωση που $\kappa < \lambda$ η προσαρμογή των επιπέδων ποιότητας γίνεται ανάλογα. Τέλος, μετά την εφαρμογή των παραπάνω προσαρμογών, γίνεται κανονικοποίηση των επιμέρους χρησιμοτήτων των επιπέδων ποιότητας έτσι ώστε το μέγιστο επίπεδο να αντιστοιχείται στο 1.

Με παρόμοιο τρόπο γίνονται αντίστοιχοι υπολογισμοί συγκρίνοντας το συνδυασμό που επέλεξε ο χρήστης με αυτόν που δεν έχει ακόμα εξεταστεί. Από τις δύο συγκρίσεις προκύπτουν δύο περιπτώσεις προσαρμογής του μοντέλου. Τελικά, για κάθε παράμετρο αν οι δύο εκδοχές είναι προς την ίδια κατεύθυνση (δηλαδή έχουν το ίδιο πρόσημο), τότε εφαρμόζεται η μεγαλύτερη μεταβολή, αλλιώς εφαρμόζεται το αλγεβρικό άθροισμα των μεταβολών.

Τέλος αναφερόμαστε στην ενδεχόμενη προσαρμογή του W_{max}. Αυτό συμβαίνει όταν ο χρήστης επιλέγει για τρεις συνεχόμενες φορές φθηνότερη (ή αντίστοιχα ακριβότερη) προσφορά από αυτή που προτείνει ο αντιπρόσωπος. Για το σκοπό αυτό ο αντιπρόσωπος αποθηκεύει τις διαφορές στα κόστη αγοράς των τριών τελευταίων διαπραγματεύσεων. Με βάση αυτή την πληροφορία η προσαρμογή του W_{max} γίνεται

$$W'_{max} = W_{max} + \frac{\sum_{i=1,2,3}\left[c(sel) - c(sug)\right]}{3}. \tag{6.14}$$

Παρ' όλα αυτά σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να η προσφορά του αντιπροσώπου να έχει κόστος μεγαλύτερο από το άνω όριο κόστους που έχει θέσει ο χρήστης στο *αρχείο προσωπικών προτιμήσεων* και επιπλέον, *μόνο* αυτός έχει δικαίωμα να το τροποποιήσει.

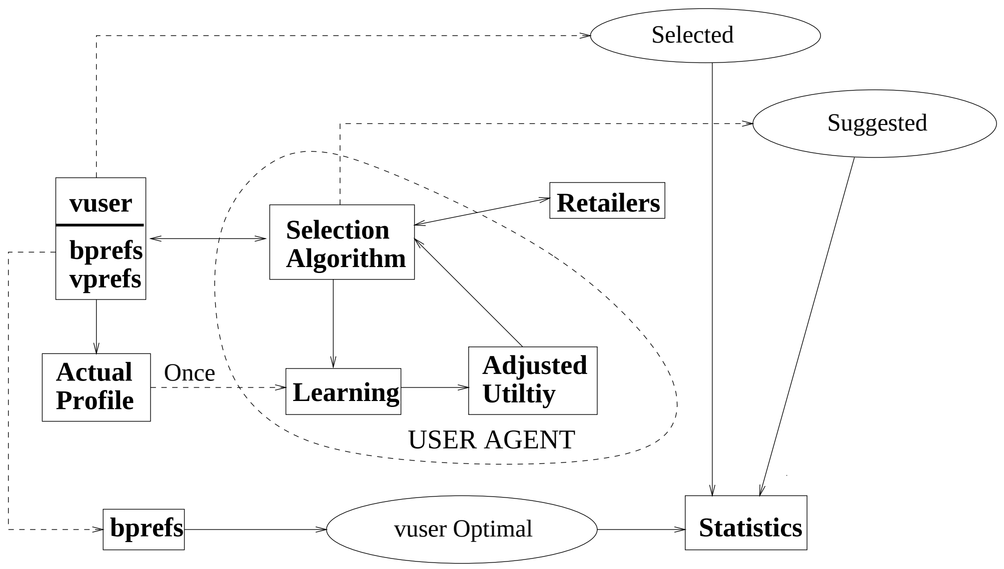
6.3 Πειραματική Αξιολόγηση

Ιδανικά, στοχεύοντας σε μια πλήρη και ακριβή αξιολόγηση της διαδικασίας εκμάθησης, θα ήταν απαραίτητη η παρατήρηση μιας μεγάλης ποικιλίας από κατηγορίες πραγματικών χρηστών που λαμβάνουν συνδυασμούς πραγματικών υπηρεσιών καθώς αλληλεπιδρούν με τον αντιπρόσωπο. Αυτό, όμως, δεν είναι εφικτό. Για να μπορέσουμε να εξετάσουμε τη σύγκλιση της διαδικασίας της εκμάθησης με τη συμπεριφορά του χρήστη θα πρέπει να υπάρχουν συνθήκες "πραγματικού κόσμου", όπως χρέωση, προσφορά εμπορικών υπηρεσιών και χρήστες με υπαρκτούς οικονομικούς περιορισμούς. Αυτό δεν μπορεί να συμβεί γιατί αφενός η προτεινόμενη προσέγγιση αναπτύχθηκε για ερευνητικούς σκοπούς και αφετέρου το κόστος μιας τέτοιας προσπάθειας θα ήταν απαγορευτικό.

Εξαιτίας αυτού καταφεύγουμε σε μια σειρά από προσομοιώσεις, με στόχο μια πληρη εξέταση της προτεινόμενης ιδέας. Μέσα σε ένα ελεγχόμενο περιβάλλον προσομοίωσης, όπως αυτό που περιγράφεται παρακάτω, μπορούμε να ελέγξουμε αποδοτικά την αλληλεπίδραση μεταξύ πολλών διαφορετικών *εικονικών* χρηστών με τον αντιπρόσωπο καθώς και την συμπεριφορά της διαδικασίας εκμάθησης υπό διαφορετικά σχήματα χρέωσης που εφαρμόζονται από τους παροχείς υπηρεσιών. Επιπλέον, η προσομοίωση της διαδικασίας της εκμάθησης μπορεί να συνδυαστεί με την προσομοίωση του αλγορίθμου επιλογής (κεφ. 4), παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα για μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση των λειτουργιών του αντιπροσώπου που αναπτύσεται στην παρούσα εργασία. Στις επόμενες παραγράφους υπάρχει λεπτομερής περιγραφή του περιβάλλοντος προσομοίωσης, τα πειραματικά αποτελέσματα και η αξιολόγησή τους.

6.3.1 Περιγραφή Περιβάλλοντος Προσομοίωσης

Το περιβάλλον προσομοίωσης σχεδιάστηκε έτσι ώστε όλες οι κρίσιμες οντότητες που λαμβάνουν μέρος στη διαδικασία αγοράς μίας υπηρεσίας να μπορούν να παραμετροποιηθούν και να μπορεί να ενισχυθεί η δυνατότητα για την παρατήρηση της συμπεριφοράς του αντιπροσώπου με πολλές διαφορετικές συνθήκες και πολιτικές εκμάθησης. Τα βασικά μέρη της προσομοίωσης, καθώς και η αρχιτεκτονική των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων φαίνονται στο Σχήμα 6.1. Οι κυριότερες οντότητες είναι ο *εικονικός χρήστης* (virtual user - *vuser*) που συναλλάσσεται με τον ηλεκτρονικό αντιπρόσωπο και ειδικότερα με τη διαδικασία του αλγορίθμου επιλογής (selection algorithm), η διαδικασία εκμάθησης, οι παροχείς υπηρεσιών και η "γεννήτρια" του βέλτιστου συνδυασμού υπηρεσίας που θα αγόραζε ο χρήστης αν



Σχήμα 6.1: Αρχιτεκτονική Προσομοίωσης.

Στο σχήμα αυτό φαίνεται η αρχιτεκτονική του περιβάλλοντος προσομοίωσης που αναπτύχθηκε για την πειραματική αξιολόγηση της διαδικασίας εκμάθησης. Οι κυριότερες οντότητες είναι ο *εικονικός χρήστης* (virtual user - *vuser*) που συναλλάσσεται με τον ηλεκτρονικό αντιπρόσωπο και ειδικότερα με τη διαδικασία του αλγορίθμου επιλογής (selection algorithm), η διαδικασία εκμάθησης, οι παροχείς υπηρεσιών και η "γεννήτρια" του βέλτιστου συνδυασμού υπηρεσίας που θα αγόραζε ο χρήστης αν εξέταζε εξαντλητικά όλους τους συνδυασμούς με τις πραγματικές του προτιμήσεις.

εξέταζε εξαντλητικά όλους τους συνδυασμούς με τις πραγματικές του προτιμήσεις.

Ο εικονικός χρήστης είναι μια προσομοίωση ενός πραγματικού χρήστη με βάση το μοντέλο της χρησιμότητας όπως έχει καθοριστεί στην παράγραφο 3.3.2 το οποίο εκφράζεται για ένα συνδυασμό υπηρεσίας S ως εξής

$$U(S) = W_{max} \sum_{c \in C} k_c \sum_{m \in M} \rho_m^c u_{qos}^m \left(q_m^c\right). \tag{6.15}$$

Οι όροι αυτού του αθροίσματος εξηγούνται αναλυτικά στην παράγραφο 3.3.2. Γενικά είναι πιθανό ένας τυχαίος χρήστης να μην ακολουθεί αυτό το μοντέλο. Για το λόγο αυτό, θέλοντας να προσομοιώσουμε μια πιο ρεαλιστική συμπεριφορά, εισάγουμε στο παραπάνω μοντέλο κάποιου είδους αλλοίωση στις επιμέρους παραμέτρους. Υποθέτουμε ότι ο χρήστης έχει κάποιες *βασικές προτιμήσεις* (*bprefs*) που είναι σταθερές στο χρόνο και αντιστοιχούν στην πραγματική συνάρτηση χρησιμότητας του χρήστη αλλά δεν είναι απόλυτα γνωστές στο χρήστη (ή είναι δύσκολο να τις εκφράσει). Κατά συνέπεια μπορούν να είναι διαφορετικές από τις παραμέτρους που έχουν δηλωθεί στο *αρχείο προσωπικών προτιμήσεων* του χρήστη. Για λόγους απλότητας της υλοποίησης, θεωρούμε ότι οι *bprefs* μπορούν να εκφραστούν, επίσης, βάσει του μοντέλου (6.15). Ο χρήστης, καθώς δε γνωρίζει τι ακριβώς επιθυμεί, "ταλαντώνεται" τυχαία γύρω από τις $\widehat{\text{bprefs}}$ αλλά μετά από επαναλαμβανόμενες χρήσεις μαθαίνει και τελικά συγκλίνει ασυμπτωτικά στις *bprefs* με μια μικρή τελική "ταλάντωση". Η προσομοίωση αυτού του χαρακτηριστικού γίνεται με την εισαγωγή μιας τυχαίας αλλοίωσης (που μειώνεται εκθετικά ως προς το χρόνο) στις παραμέτρους ρ_m^c. Αυτό το αλλοιωμένο μοντέλο χρησιμότητας αντιστοιχεί σε κάποιες *εικονικές προτιμήσεις* (*vprefs*), βάσει των οποίων γίνεται η επιλογή από τον εικονικό χρήστη κάθε φορά. Η αλλοίωση εισάγεται με βάση την παρακάτω εξίσωση

$$\rho_m^c\left(vprefs\right) = \rho_m^c\left(bprefs\right) \times G\left(1, \sigma\right), \tag{6.16}$$

όπου $G\left(1, \sigma\right)$ είναι μια κανονική τυχαία μεταβλητή με μέση τιμή 1 και διασπορά σ^2. Η διασπορά ελαττώνεται εκθετικά ως προς την παράμετρο του χρόνου t με βάση την εξίσωση

$$\sigma^2 = \alpha + \beta e^{-\gamma t}, \tag{6.17}$$

όπου τα α, β και γ είναι θετικοί αριθμοί. Μεταβάλλοντας τα α, β και γ μπορούμε να δημιουργήσουμε διάφορα είδη χρηστών. Για παράδειγμα, αν επιλέξουμε σχετικά μεγάλη τιμή για το γ, τότε οι εικονικές προτιμήσεις *vprefs* συγκλίνουν γρήγορα στις βασικές προτιμήσεις, *bprefs*. Αυτό αντιστοιχεί σε ένα χρήστη ο οποίος μαθαίνει γρήγορα.

Το Σχήμα 6.1 δείχνει την αρχιτεκτονική του περιβάλλοντος προσομοίωσης καθώς και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των επιμέρους στοιχείων. Αρχικά ο *εικονικός χρήστης*, μετά την κατασκευή του *αρχείου προσωπικών προτιμήσεων*, ζητά από τον ηλεκτρονικό αντιπρόσωπο να διαπραγματευτεί με τους διαθέσιμους παροχείς υπηρεσιών για να λάβει έναν συνδυασμό υπηρεσίας. Οι τιμές που τίθενται στο *αρχείο προσωπικών προτιμήσεων* αποτελούν την αρχική κατάσταση του μοντέλου που διατηρεί εσωτερικά ο ηλεκτρονικός αντιπρόσωπος. Στο τέλος κάθε διαπραγμάτευσης, ο αντιπρόσωπος παρουσιάζει μια λίστα από *προτεινόμενους συνδυασμούς*, ένας από τους οποίους επιλέγεται από το χρήστη με βάση τις *εικονικές* του προτιμήσεις (vprefs). Από την πλευρά του ο αντιπρόσωπος, με βάση το εσωτερικό μοντέλο χρησιμότητας, προτείνει ένα συνδυασμό ο οποίος έχει τη μέγιστο καθαρό όφελος (σύμφωνα με τον αντιπρόσωπο). Ο *προτεινόμενος* από τον αντιπρόσωπο συνδυασμός μπορεί να διαφέρει από τον *επιλεγμένο* (από το χρήστη). Όταν συμβαίνει αυτό, ενεργοποιείται η διαδικασία εκμάθησης και εφαρμόζεται κάποια προσαρμογή των παραμέτρων του εσωτερικού μοντέλου του αντιπροσώπου όπως περιγράφεται στην παράγραφο 6.2. Παράλληλα με αυτή τη διαδικασία υπολογίζεται ο συνδυασμός με τη μέγιστο καθαρό όφελος ως προς τις *βασικές προτιμήσεις* (bprefs) του εικονικού χρήστη μεταξύ όλων των δυνατών συνδυασμών που μπορούν να προκύψουν από το *αρχείο προσωπικών προτιμήσεων*. Το συνδυασμό αυτό τον ονομάζουμε *πραγματικό βέλτιστο*.

Στο τέλος κάθε διαπραγμάτευσης, συγκρίνονται τρεις σημαντικοί συνδυασμοί: ο *επιλεγμένος* από το χρήστη, τον *προτεινόμενος* από τον αντιπρόσωπο και ο *πραγματικός βέλτιστο*. Αυτοί οι συνδυασμοί, συγκρίνονται ως προς τη μεταξύ τους σύγκλιση καθώς περνάει ο χρόνος.

Μέσα στο περιβάλλον προσομοίωσης, σκοπός του αντιπροσώπου είναι να "μάθει" τις *βασικές προτιμήσεις* του *εικονικού* χρήστη, καθώς αυτές εκφράζουν το πώς πραγματικά σκέπτεται ο χρήστης. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι επιμέρους παράμετροι που εμπλέκονται στο εσωτερικό μοντέλο χρησιμότητας που διατηρεί ο αντιπρόσωπος, δεν είναι απαραίτητο να ταυτιστούν με τις *βασικές προτιμήσεις* του χρήστη. Αρκεί η επιλογή του χρήστη να ταυτίζεται με την πρόταση του αντιπροσώπου. Ειδικότερα, η όλη προσομοίωση στοχεύει στη σύγκλιση των τριών σημαντικών συνδυασμών: του *επιλεγμένου* από το χρήστη, του *προτεινόμενου* από τον αντιπρόσωπο και του *εικονικού βέλτιστου*.

Η υλοποίηση της αρχιτεκτονικής του Σχήματος 6.1 έγινε σε MATLAB και τα πειράματα εκτελέστηκαν σε έναν υπολογιστή Sun Ultra Entreprise. Ο χρόνος εκτέλεσης[1] κάθε πειράματος, υπό κανονικές συνθήκες φόρτου του μηχανήματος, δεν υπερέβαινε τα 20min.

[1] Αυτό αναφέρεται σε πειράματα με ένα είδος περιεχομένου. Ο χρόνος εκτέλεσης με πολλά είδη περιεχομένων είναι πολύ μεγαλύτερος λόγω εκθετικής αύξησης του αριθμού των συνδυασμών

Ανεξάρτητες Μεταβλητές	**Ενδεικτικές Τιμές**			
Μέγιστο Πληρωτέο Ποσό	6000	12500	25000	98
Σφάλμα ΑΠΠ	10%	25%	50%	0
α	0.01	0.02	0.05	0
β	0.01	0.05	0.1	0
γ	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	
Εξομάλυνση	0.7	0.5	0.1	1
Τυχαιότητα Χρέωσης	10%	25%	50%	0

Πίνακας 6.1: Ανεξάρτητες Μεταβλητές

Στον πίνανα αυτό φαίνονται οι ανεξάρτητες μεταβλητές που επιλέχθηκαν και οι αντίστοιχες τιμές που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα. Οι πεντε πρώτες (Μέγιστο Πληρωτέο Ποσό, Σφάλμα *ΑΠΠ* και παράμετροι απόκλισης των *εικονικών προτιμήσεων*, α, β, γ) καθορίζουν τη συμπεριφορά του χρήστη, ενώ οι υπόλοιπες δύο αντιστοιχούν σε διάφορες πολιτικές χρέωσης και στην παράμετρο εξομάλυνσης.

6.3.2 Πειραματικά Αποτελέσματα

Για την πειραματική αξιολόγηση της διαδικασίας εκμάθησης ορίζουμε δύο ειδών μεταβλητές: τις ανεξάρτητες και τις εξαρτημένες. Οι ανεξάρτητες καθορίζουν το προσομοιωμένο σύστημα, ενώ οι εξαρτημένες δείχνουν τη συμπεριφορά του συστήματος. Στον Πίνακα 6.1 φαίνονται οι ανεξάρτητες μεταβλητές που έχουν επιλεγεί. Οι τρεις πρώτες (Μέγιστο Πληρωτέο Ποσό, Σφάλμα *ΑΠΠ*[2] από τις *bprefs* και η απόκλιση των *εικονικών προτιμήσεων*) καθορίζουν τη συμπεριφορά του χρήστη, ενώ οι υπόλοιπες δύο αντιστοιχούν σε διάφορες πολιτικές χρέωσης και στην παράμετρο εξομάλυνσης (βλ. παρακάτω).

Για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή έχουν επιλεγεί τέσσερις ενδεικτικές τιμές. Οι δύο από αυτές (*μικρή*, *μεγάλη*) είναι ακραίες τιμές ως προς την επίδραση που προκαλούν, ενώ η μεσαία προκαλεί κάποια επίδραση ενδιάμεσου μεγέθους. Η τέταρτη τιμή είναι τέτοια ώστε η το σύστημα να συμπεριφέρεται σαν να μην υπήρχε η αντίστοιχη παράμετρος. Για την παράμετρο εξομάλυνσης η τιμή "ανυπαρξίας" είναι ίση με 1. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο αριθμός όλων των δυνατών πειραμάτων, που μπορούν να εκτελεστούν με βάση τις ενδεικτικές τιμές του Πίνακα 6.1, είναι υπερβολικά

[2] Αρχείο Προσωπικών Προτιμήσεων

μεγάλος. Κατά συνέπεια, επιλέχθηκε ένα υποσύνολο αυτών των πειραμάτων.

Όσο αφορά στην παράμετρο εξομάλυνσης που αναφέρθηκε παραπάνω, αυτή καθορίζει το πόσο συντηρητική είναι η προσαρμογή του εσωτερικού μοντέλου χρησιμότητας που διατηρεί ο ηλεκτρονικός αντιπρόσωπος. Ειδικότερα, αν η προσαρμοστέα παράμετρος είναι η p, τότε μόνο ένα ποσοστό θ της μεταβολής εφαρμόζεται με βάση τη σχέση

$$p_{new} = p_{old} + \theta \times \Delta p \tag{6.18}$$

Για την παράμετρο αυτή η τιμή "ανυπαρξίας" είναι ίση με 1. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων παριστάνονται μέσω των *εξαρτημένων μεταβλητών*. Αυτές έχουν επιλεγεί με βάση τους στόχους της προσομοίωσης και είναι

- η *απόσταση* μεταξύ των τριών σημαντικών συνδυασμών που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, δηλαδή του *επιλεγμένου* από το χρήστη, του *προτεινόμενου* από τον αντιπρόσωπο και του *εικονικού βέλτιστου*. Η απόσταση δύο συνδυασμών είναι το άθροισμα των διαφορών των επιπέδων ποιότητας για κάθε μέσο.

- οι διαφορές καθαρού οφέλους των τριών συνδυασμών που αναφέρθηκαν παραπάνω. Στην περίπτωση αυτή, ένα ερώτημα που μπορεί να τεθεί είναι το πώς πρέπει να μετρηθούν οι διαφορές. Θα ήταν ανεπιτυχές αν μετρούσαμε τις απόλυτες τιμές των διαφορών καθώς για "μεγάλους" συνδυασμούς θα παρατηρούνταν μεγάλες αλλαγές και για "μικρότερους" πολύ μικρότερες. Από την άλλη μεριά, οι ποσοστιαίες διαφορές μπορούν να μεγενθύνουν τις διαφορές των "μικρών" συνδυασμών υπηρεσίας. Για παράδειγμα, ο συνδυασμός με καθαρό όφελος ίση με 1 έχει 100% διαφορά από ένα συνδυασμό με καθαρό όφελος 2, ενώ στην πράξη και οι δύο δίνουν πολύ μικρό καθαρό όφελος για το χρήστη. Στην προσέγγισή μας αυτό που έχει σημασία είναι αυτό που αντιλαμβάνεται ο χρήστης. Αυτό ουσιαστικά ποσοτικοποιείται από την παράμετρο του ανώτατου ορίου κόστους αγοράς που καθορίζεται από τον ίδιο το χρήστη. Για παράδειγμα ένας χρήστης με δυνατότητα πληρωμής 100δρχ δεν αντιλαμβάνεται σημαντική διαφορά σε συνδυασμούς με κόστος κάτω των 10δρχ, ενώ για κάποιον άλλο με άνω όριο κόστους 10δρχ δε συμβαίνει αυτό, υπό την προϋπόθεση ότι τα κόστη των διαφόρων συνδυασμών είναι της τάξης μεγέθους των 100δρχ. Επομένως, ο κατάλληλος τρόπος για να μετρηθούν οι διαφορές καθαρού οφέλους των τριών σημαντικών συνδυασμών είναι να εκφραστούν ως ποσοστά του ανώτατου ορίου, W_{max}, για το κόστος αγοράς που θέτει ο χρήστης, φροντίζοντας, όμως, η επιλογή της τιμής του W_{max} να είναι σε συμφωνία με την τάξη μεγέθους του κόστους των διαφόρων συνδυασμών.

Για την αξιολόγηση της επίδοσης της διαδικασίας, είναι σημαντικό να σημειωθεί η μέθοδος εκμάθησης που περιγράφηκε στις προηγούμενες παραγράφους είναι προσεγγιστική. Αυτό που μας ενδιαφέρει είναι η *σταδιακή* προσέγγιση των επιλογών του αντιπροσώπου με τις επιλογές του χρήστη. Επίσης, αυτή η διαδικασία εκμάθησης ενεργοποιείται μετά από την εκτέλεση του αλγορίθμου επιλογής ο οποίος, όπως είδαμε, είναι ήδη σχεδόν βέλτιστος. Αυτό σημαίνει, ότι αν ο χρήστης δεν έχει εισάγει σημαντικό σφάλμα στο *ΑΠΠ* ως προς τις προτιμήσεις του ο αλγόριθμος επιλογής θα εξακολουθεί να προτείνει συνδυασμούς σχεδόν βέλτιστους και άρα δε θα καλείται συχνά η διαδικασία εκμάθησης. Για να μπορέσουμε να αξιολογήσουμε τη πραγματική λειτουργία της προτεινόμενης διαδικασίας πρέπει να δημιουργήσουμε περιβάλλον με σχετικά "αντίξοες συνθήκες", δηλαδή με "ασταθείς" χρήστες με σημαντικό σφάλμα στον καθορισμό του αρχείου προσωπικών προτιμήσεων και με παροχείς υπηρεσιών που εφαρμόζουν τυχαία χρέωση.

Τα πειράματα οργανώθηκαν με βάση τις ανεξάρτητες μεταβλητες του Πίνακα 6.1. Για κάθε μία από αυτές εκτελέστηκαν πειράματα έχοντας σταθερές τις υπόλοιπες και διαφοροποιώντας την εξεταζόμενη μεταβλητή. Το αρχείο προσωπικών προτιμήσεων που υποθέσαμε ότι συμπλήρωσε ο χρήστης φαίνεται στον Πίνακα 6.2. Οι επιλογές του χρήστη είναι όλες διαπραγματεύσιμες έτσι ώστε να υπάρχουν πολλοί εναλλακτικοί συνδυασμοί υπηρεσίας. Επίσης, έχουμε υποθέσει ότι η καμπύλη της επιμέρους χρησιμότητας για τα επίπεδα ποιότητας των μέσων είναι διαφορετική από αυτή του μοντέλου που διαθέτει ο αντιπρόσωπος. Πιο συγκεκριμένα θεωρούμε ότι ο χρήστης έχει *κοίλη* καμπύλη σε αντίθεση με τον αρχικό μοντέλο που υποθέτει για τον κάθε χρήστη κυρτή καμπύλη. Επίσης, έγιναν πειράματα σύγκρισης της διαδικασίας εκμάθησης με μια απλούστερη διαδικασία εκμάθησης που προσαρμόζει *μόνο* την παράμετρο του ανώτατου επιτρεπτού κόστους αγοράς καθώς και σύγκριση με την περίπτωση απουσίας διαδικασίας εκμάθησης.

Επιλογή Περιεχομένου			
Περιεχόμενο		*Συντελεστής Προτίμησης* (k_c)	
Πολιτικά		100%	
Παράμετροι Μέσων για Πολιτικά			
Τύπος Μέσου	*Επίπεδο Προτίμησης*	*Μέγιστη Ποιότητα*	*Ελάχιστη Ποιότητα*
Ακολουθία Εικόνων	Επιθυμείται	Αριστη	Μέτρια
Σταθερή Εικόνα	Επιθυμείται	Αριστη	Μέτρια
Ήχος	Επιθυμείται	Αριστη	Μέτρια
Κείμενο	Επιθυμείται	Δεν έχει Διαβαθμίσεις	
Μέγιστο Πληρωτέο Ποσό (W_{max})			
12500δρχ			
Κριτήριο Επιλογής			
Μεγιστοποίηση Καθαρού Οφέλους			

Πίνακας 6.2: Πειραματικό Αρχείο Προσωπικών Προτιμήσεων

Στον πίνακα αυτό φαίνεται το αρχείο προσωπικών προτιμήσεων που υποτίθεται ότι συμπλήρωσε ο χρήστης. Όλες οι επιλογές είναι διαπραγματεύσιμες έτσι ώστε να υπάρχουν πολλοί εναλλακτικοί συνδυασμοί υπηρεσίας. Επίσης, το κριτήριο επιλογής έχουμε υποθέσει ότι είναι η μεγιστοποίηση του καθαρού οφέλους του χρήστη.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η εξομάλυνση έχει νόημα να εξετασθεί μόνο για την περίπτωση ασταθούς χρήστη. Αν ο χρήστης ξέρει τι θέλει και δεν ταλαντεύεται, τότε η εξομάλυνση απλώς επιβραδύνει τη σύγκλιση των επιλογών του χρήστη με τον αντιπρόσωπο. Στην περίπτωση του ασταθούς χρήστη οι αρχικές λανθασμένες επιλογές μπορούν να οδηγήσουν τον αντιπρόσωπο σε προσαρμογές παραμέτρων που είναι αντίθετες προς τη σωστή κατεύθυνση. Αυτό το σφάλμα το ελαττώνει η εφαρμογή της εξομάλυνσης. Στις επόμενες υποπαραγράφους περιγράφονται αναλυτικά τα πειραματικά αποτελέσματα για κάθε περίπτωση.

6.3.2.1 Μέγιστο Πληρωτέο Ποσό

Σκοπός αυτής της σειράς πειραμάτων είναι να φανεί η επιρροή της συμπεριφοράς του όλου συστήματος από τις διάφορες τιμές του ανώτατου ορίου του κόστους αγοράς μιας υπηρεσίας. Έχουμε υποθέσει ότι ο χρήστης έχει κάνει σημαντικό σφάλμα στη συμπλήρωση του αρχείου προσωπικών προτιμήσεων. Πιο συγκεκριμένα, υποθέτουμε ότι ενώ έχει δηλώσει "επιθυμία" για όλα τα μέσα, κάτι που σημαίνει ότι ο αντίστοιχος συντελεστής του μοντέλου χρησιμότητας είναι $\frac{2}{3}$ (βλ. Κεφ. 3), στην πραγματικότητα η επιθυμία του είναι κατά 50% μικρότερη για το απλό κείμενο και για τις σταθερές εικόνες και κατά 50% μεγαλύτερη για το video και τον ήχο και το ίδιο ισχύει για τους αντίστοιχους συντελεστές. Επίσης, θεωρούμε ότι ο χρήστης είναι σταθερός ως προς το χρόνο, δηλαδή ενώ έχει συμπληρώσει εσφαλμένα το αρχείο προσωπικών προτιμήσεων, επιλέγει σύμφωνα με τις "πραγματικές" του προτιμήσεις[3]. Αυτό σημαίνει ότι με βάση τις παραμέτρους της εξίσωσης (6.17), έχουμε $\sigma^2 = \alpha = \beta = 0$.

Από τους έξι προσομοιούμενους παροχείς οι τρεις, όπως έχουμε αναφέρει, εφαρμόζουν χρέωση με κάποια τυχαιότητα. Στην περίπτωση αυτή, το τυχαίο κόστος αγοράς κυμαίνεται ομοιόμορφα γύρω από τη μέση τιμή του κατά 25%.

Στο Σχήμα 6.2 φαίνονται τα αποτελέσματα ενός πειράματος με άνω όριο κόστους αγοράς 12500. Αναλυτικά, τα μεγέθη που φαίνονται στα γραφήματα αυτά είναι:

(α) η απόσταση μεταξύ του προτεινόμενου από τον αντιπρόσωπο συνδυασμού και του συνδυασμού που τελικά επέλεξε ο χρήστης.

(β) η απόσταση του συνδυασμού που επέλεξε ο χρήστης από τον ιδανικό συνδυασμό.

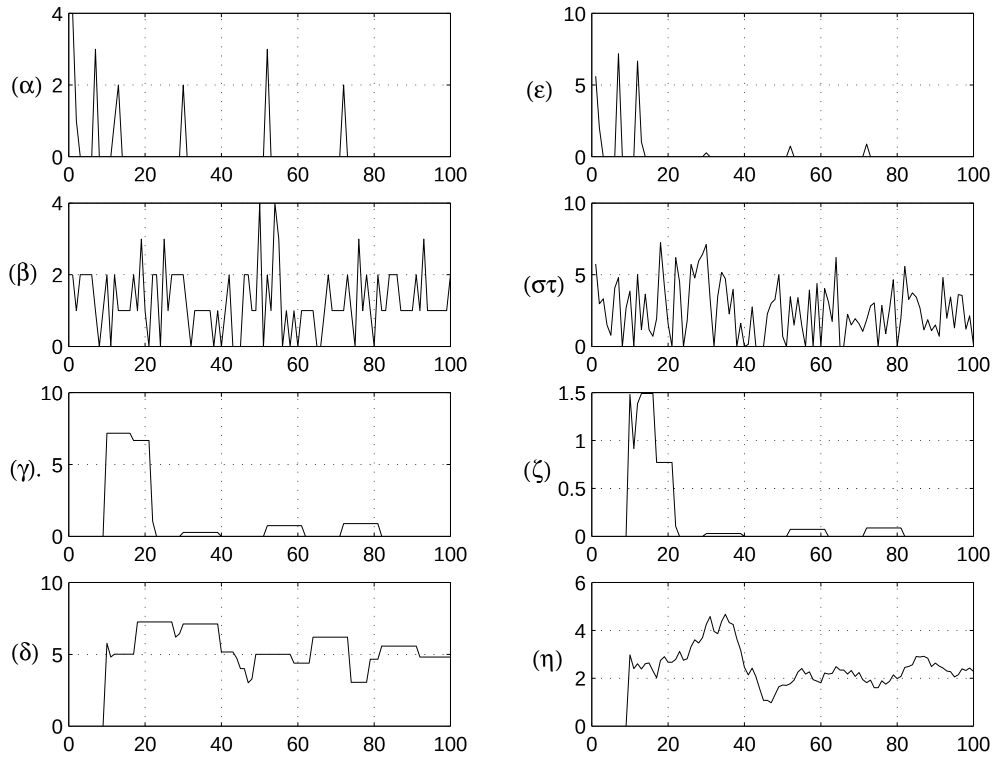
(ε) οι διαφορές καθαρού οφέλους μεταξύ του προτεινόμενου από τον αντιπρόσωπο συνδυασμού και του συνδυασμού που τελικά επέλεξε ο χρήστης ως ποσοστό του ανώτατου ορίου για το κόστος αγοράς.

(στ) όμοια με το προηγούμενο γράφημα εκτός του ότι οι συνδυασμοί είναι ο επιλεγμένος από το χρήστη και ο βέλτιστος.

(γ) έχοντας ένα κυλιόμενο "παράθυρο" μεγέθους 10 κάθε σημείο του γραφήματος παριστάνει τη μέγιστη τιμή της διαφοράς καθαρού οφέλους μεταξύ του προτεινόμενου από τον αντιπρόσωπο συνδυασμού και του συνδυασμού που τελικά επέλεξε ο χρήστης εκφρασμένη ως ποσοστό του ανώτατου ορίου για το κόστος αγοράς.

(δ) με το ίδιο κυλιόμενο "παράθυρο", κάθε σημείο του γραφήματος δείχνει τη μέγιστη τιμή της διαφοράς καθαρού οφέλους μεταξύ του συνδυασμού που επέλεξε ο χρήστης και του βέλτιστου συνδυασμού.

[3]Με άλλα λόγια υποθέτουμε ότι ο χρήστης υποσυνείδητα γνωρίζει τι θέλει, απλά έχει συμπληρώσει λάθος το profile



Σχήμα 6.2: Παράδειγμα Μετρήσεων.

Στο σχήμα αυτό φαίνονται τα αποτελέσματα ενός πειράματος με μέγιστο πληρωτέο ποσό 12500. Σκοπός είναι η παρουσίαση των μετρήσεων που γίνονται. Από τα μεγέθη αυτά, τα σημαντικότερα είναι αυτά που δείχνουν τις διαφορές καθαρού οφέλους ((ε),(στ)) και τις αντίστοιχες μέσες τιμές ((ζ),(η)).

(ζ), (η) όμοια με τα γραφήματα (γ),(δ) με τη διαφορά ότι υπολογίζεται η μέση τιμή στο παράθυρο και όχι η μέγιστη.

Από τα μεγέθη αυτά, τα σημαντικότερα είναι αυτά που δείχνουν τις διαφορές καθαρού οφέλους ((ε),(στ)) και τις αντίστοιχες μέσες τιμές((ζ),(η)). Στην περίπτωσή μας η απόσταση δεν είναι αντιπροσωπευτικό μέτρο. Αυτό συμβαίνει γιατί μπορεί, για παράδειγμα, ο προτεινόμενος συνδυασμός να περιέχει σταθερές εικόνες σε άριστο επίπεδο ποιότητας και ο επιλεγμένος από το χρήστη σε μέτριο επίπεδο. Η διαφορά αυτών των συνδυασμών είναι τουλάχιστον 3. Ωστόσο, η διαφορά τους ως προς το καθαρό όφελος μπορεί να μην είναι μεγάλη, αφού στο μοντέλο χρησιμότητας που ορίσαμε (Κεφ. 3) η σχετική χρησιμότητα των σταθερών εικόνων για ένα μέσο χρήστη έχει πολύ μικρή τιμή. Εξάλλου αυτό που έχει σημασία είναι η διαφοροποίηση που αντιλαμβάνεται ο ίδιος ο χρήστης. Για το λόγο αυτό, στο εξής τα πειραματικά αποτελέσματα θα παρουσιάζονται μόνο με διαφορές καθαρού οφέλους.

Για το συγκεκριμένο πείραμα, τώρα, μπορούμε να παρατηρήσουμε τα εξής:

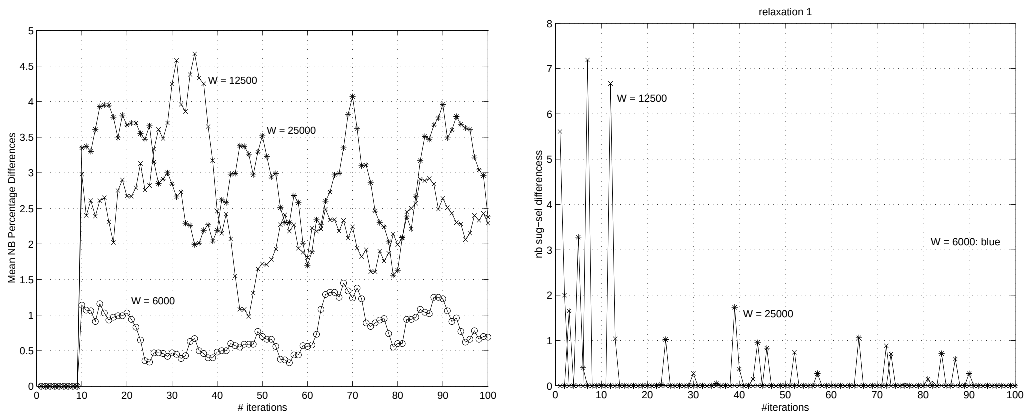
- σε εκατό περίπου διαπραματεύσεις του εικονικού χρήστη με τους παροχείς μέσω του ηλεκτρονικού αντιπροσώπου γύρω στις 6 φορές (Σχήμα 6.2α) υπήρξε διαφορά ανάμεσα στην επιλογή του χρήστη και στην επιλογή του αντιπροσώπου. Οι διαφορές αυτές οφείλονται στις τυχαίες μεταβολές των τιμών που επιβάλλουν οι παροχείς.

- μετά από κάθε εμφανιζόμενη διαφορά ενεργοποιείται η διαδικασία εκμάθησης και προσαρμόζει κατάλληλα τις εσωτερικές παραμέτρους. Από τα γραφήματα φαίνεται ότι η διαδικασία εκμάθησης εφαρμόζει σωστές προσαρμογές με αποτέλεσμα αμέσως μετά από κάθε διαφορά να υπάρχει ταύτιση της επιλογής του χρήστη και του αντιπροσώπου.

- φαίνεται καθαρά (Σχ.6.2ζ) ότι οι διαφορές κθαρού οφέλους της επιλογής του χρήστη από το βέλτιστο είναι της τάξης του 2-5% και οι διαφορές του προτεινόμενου από τον επιλεγμένο συνδυασμό είναι της τάξης του 1% (Σχ.6.2στ). Με άλλα λόγια αν ο αλγόριθμος επιλογής ήταν ο εξαντλητικός η βελτίωση που παρατηρούσε ο χρήστης θα ήταν ελάχιστη.

- στην αρχή του πειράματος έγιναν μερικές κλήσεις της διαδικασίας εκμάθησης, χωρίς να φανεί ελάττωση της διαφοράς της επιλογής του χρήστη από το βέλτιστο (Σχ.6.2ζ). Αυτό συνέβει λίγο αργότερα που με μία μικρή διαφοροποίηση του χρήστη έγινε μια μικρή προσαρμογή στις εσωτερικές παραμέτρους[4] και η διαφορά του επιλεγμένου συνδυασμού από το ιδανικό χυμαίνεται γύρω από το 2% από την επανάληψη περίπου 40 και μετά (Σχ.6.2ζ). Αυτό έγινε γιατί οι πρώτες προσαρμογές δεν ήταν αρκετές για να μπορέσει ο αντιπρόσωπος να πλησιάσει στο βέλτιστο, αλλά ήταν στο όριο αυτής της μεταβολής. Οπότε μία επιπλέον μικρή διαφοροποίηση προκάλεσε την ελάττωση της διαφοράς.

[4] Το μέγεθος της προσαρμογής μιας παραμέτρου εξαρτάται από την ποσοστιαία διαφορά καθαρού οφέλους της επιλογής του χρήστη από τον προτεινόμενο



(α) (β)

Σχήμα 6.3: Διαφοροποίηση Μέγιστου Πληρωτέου Ποσού W

Στο σχήμα αυτό φαίνονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων που εκτέλστηκαν με διαφοροποιημένες (6000, 12500 και 25000) τιμές για το μέγιστο πληρωτέο ποσό. Στο αριστερό γράφημα φαίνεται η μέση ποσοστιαία διαφορά καθαρού οφέλους του επιλεγόμενου συνδυασμού από τον αντίστοιχο ιδανικό, ενώ στο δεξιό, η αντίστοιχη διαφορά του επιλεγόμενου από τον προτεινόμενο.

- ειναι εμφανής μια συνεχής διακύμανση της διαφοράς καθαρού οφέλους του ιδανικού από την επιλογή του χρήστη. Αυτό οφείλεται στη διακύμανση της τυχαίας χρέωσης των τριών από τους έξι παροχείς.

Για την εξέταση της επίδρασης του μέγιστου επιτρεπτού κόστους W εκτελέστηκαν πειράματα με τρεις διαφορετικές τιμές. Τα αποτελέσματα που φαίνονται στο Σχήμα 6.3 αναφέρονται σε τρία πειράματα με μέγιστο επιτρεπτό κόστος 6000, 12500 και 25000 αντίστοιχα. Στο αριστερό γράφημα του σχήματος φαίνεται η μέση ποσοστιαία διαφορά καθαρού οφέλους του επιλεγόμενου συνδυασμού από τον αντίστοιχο ιδανικό, ενώ στο δεξιό γράφημα η αντίστοιχη διαφορά του επιλεγόμενου από τον προτεινόμενο.

Από το σχήμα 6.3α είναι φανερό ότι με $W = 6000$, η διαφορά είναι μικρότερη από τις άλλες δύο περιπτώσεις. Αυτό είναι λογικό, αφού λόγω του χαμηλού μέγιστου επιτρεπτού κόστους όλοι οι συνδυασμοί υπηρεσίας με κόστος μεγαλύτερο από W απορρίπτονται από τον αντιπρόσωπο ως μη αποδεκτοί και επομένως οι διαθέσιμες επιλογές του χρήστη περιορίζονται σε αποδεκτούς συνδυασμούς οι οποίοι είναι μικρής χρησιμότητας οπότε και οι διαφορές καθαρού οφέλους μεταξύ τους είναι, επίσης, μικρές. Στις άλλες δύο περιπτώσεις ελάχιστοι συνδυασμοί απορρίπτονται και ο χρήστης έχει να επιλέξει από περισσότερους διαθέσιμους συνδυασμούς. Επομένως, δεν υπάρχει ουσιαστική διαφοροποίηση μεταξύ των περπιπτώσεων $W = 12500$ και $W = 25000$.

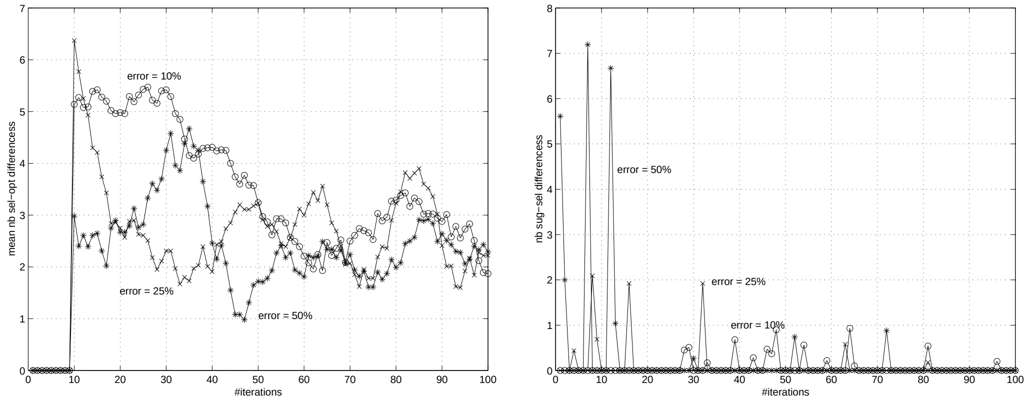
Η σύγκλιση της επιλογής του χρήστη με αυτήν του αντιπροσώπου φαίνεται στο σχήμα 6.3β. Στο γράφημα δε φαίνονται οι διαφορές για την περίπτωση ανώτατου επιτρεπτού κόστους αγοράς 6000, διότι αυτές είναι πάρα πολύ μικρές, της τάξεως του 0.01%. Αυτό που μπορεί να παρατηρήσει κανείς είναι ότι καθώς περνά ο χρόνος και καλείται η διαδικασία εκμάθησης, οι ποσοστιαίες διαφορές καθαρού οφέλους ελαττώνονται. Αυτό σημαίνει ότι οι επιλογές του αντιπροσώπου με τη βοήθεια της διαδικασίας εκμάθησης συγκλίνουν με τις επιλογές του χρήστη.

6.3.2.2 Σφάλμα Αρχείου Προσωπικών Προτιμήσεων

Η μορφή του σφάλματος συμπλήρωσης του αρχείου προτιμήσεων είναι όπως στην προηγούμενη παράγραφο, με τη διαφορά, ότι εξετάσθηκαν τρεις διαφορετικές περιπτώσεις με σφάλμα 10%, 25% και 50%. Υποθέσαμε ότι το μέγιστο πληρωτέο ποσό είναι 12500 και ότι ο χρήστης παρά το σφάλμα στη συμπλήρωση του αρχείου προσωπικών προτιμήσεων, επιλέγει συνδυαμσούς με βάση τις πραγματικές του προτιμήσεις. Επίσης, οι τρεις από τους παροχείς που εισάγουν κάποια τυχαιότητα έχουν διακύμανση στη χρέωσή κατά 25%.

Τα αποτελέσματα αυτών των πειραμάτων φαίνοται στο Σχήμα 6.4. Σε αυτή την περίπτωση όπως και στην προηγούμενη, επιτυγχάνεται σύγκλιση των επιλογών του χρήστη και του αντιπροσώπου. Όσο μεγαλύτερο είναι το σφάλμα του χρήστη, τόσο μεγαλύτερες και οι διαφορές καθαρού οφέλους χρήστη-αντιπροσώπου που παρατηρούνται (Σχ. 6.4β). Σε όλες, όμως, τις περιπτώσεις οι διαφορές συγκλίνουν σε επίπεδα κάτω του 1%. Από το Σχήμα 6.4α φαίνεται ότι και στις τρεις περιπτώσεις σφαλμάτων η επιλογή του χρήστη πλησιάζει τον ιδανικό συνδυασμό με παρόμοιες ποσοστιαίες διαφορές NB που είναι κοντά στο 2%. Αξίζει επίσης να σημειωθεί, ότι λόγω της τυχαίας διακύμανσης στη χρέωση ο ιδανικός συνδυασμός μπορεί να είναι διαφορετικός σε κάθε επανάληψη.

Στο γράφημα 6.4β φαίνεται ότι οι διαφορές οφέλους από τον ιδανικό συνδυαμό,



(α) (β)

Σχήμα 6.4: Σφάλμα Αρχείου Προσπωικών Προτιμήσεων

Στο σχήμα αυτό φαίνονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων που εκτέλστηκαν με διαφοροποιημένα (10%, 25% και 50%) σφάλματα συμπλήρωσης του αρχείου προσωπικών προτιμήσεων.Όσο μεγαλύτερο είναι το σφάλμα του χρήστη, τόσο μεγαλύτερες και οι διαφορές καθαρού οφέλους χρήστη-αντιπροσώπου που παρατηρούνται (β).Από το (α) φαίνεται ότι και στις τρεις περιπτώσεις σφαλμάτων η επιλογή του χρήστη πλησιάζει τον ιδανικό συνδυασμό με παρόμοιες ποσοστιαίες διαφορές καθαρού οφέλους που είναι κοντά στο 2%.

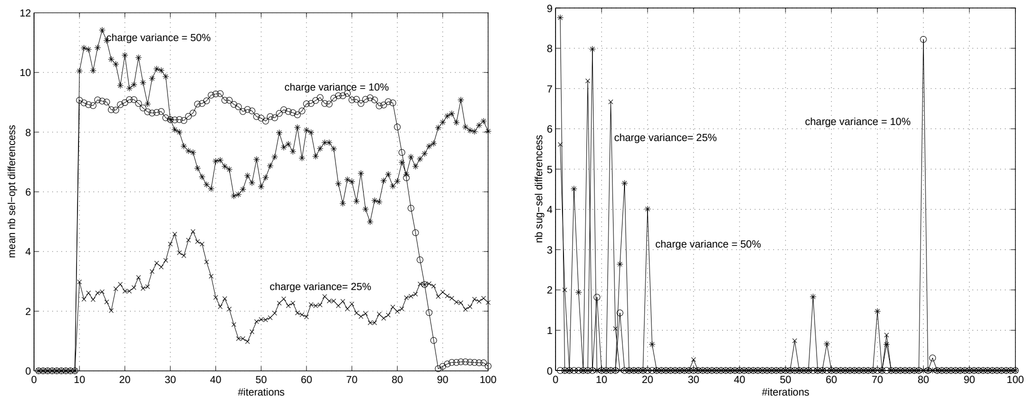
με σφάλμα 10% είναι μεγαλύτερες από ότι στις άλλες δύο στην αρχή των επαναλήψεων. Αυτό οφείλεται στο ότι στην περίπτωση μικρού σφάλματος, ο αντιπρόσωπος προτείνει κάποιο συνδυασμό που ικανοποιεί το χρήστη και επομένως δεν καλείται η διαδικασία εκμάθησης. Μόλις η επιλογή του χρήστη αποκλίνει από την πρόταση του αντιπροσώπου παρατηρείται μείωση της διαφοράς από τον ιδανικό συνδυασμό. Όπως φαίνεται από το γράφημα αυτό συμβαίνει κοντά στην 30η επανάληψη, όπου παρατηρούνται οι πρώτες διαφορές του χρήστη από τον αντιπρόσωπο και αμέσως μετά ελαττώνεται η διαφορά από τον ιδανικό συνδυασμό. Οι διαφορές αυτές οφείλονται κυρίως στην τυχαία διακύμανση της χρέωσης. Επίσης, οφείλονται και στο ότι οι θυγατρικοί αντιπρόσωποι μετά τη διαπραγμάτευσή τους με τους παροχείς επιστρέφουν στον πταρικό μόνο πέντε από τους συνδυασμούς που εξέτασαν. Αν ο θυγατρικός αντιπρόσωπος επέστρεφε όλους τους συνδυασμούς η μείωση της διαφοράς θα ξεκινούσε νωρίτερα. Αυτό, όμως, όπως έχουμε αναφέρει (παρ. 6.2.1) είναι ένας συμβιβασμός για να διατηρηθεί μικρό το μέγεθος της πληροφορίας που πρέπει να μεταφερθεί.

Στην περίπτωση που το σφάλμα συμπλήρωσης profile είναι 25%, παρατηρούμε ότι η διαφορά της επιλογής του χρήστη από τον ιδανικό συνδυασμό ελαττώνεται άμεσα από την αρχή των επαναλήψεων. Αυτό προκαλείται από τις αρχικές κλήσεις της διαδικασίας εκμάθησης που συμβαίνουν στις 20 πρώτες επαναλήψεις.

Όσον αφορά στην επίπτωση του σφάλματος 50% οι διαφορές του χρήστη από τον αντιπρόσωπο (Σχ. 6.4β) στις πρώτες επαναλήψεις είναι σημαντικά μεγαλύτερες από τις άλλες δύο περιπτώσεις, λόγω του μεγέθους του σφάλματος. Αντίθετα, στο Σχήμα 6.4α στις πρώτες επαναλήψεις η διαφορά οφέλους από τον ιδανικό συνδυασμό φαίνεται να είναι μικρότερη. Αυτό συνέβει γιατί σε αυτές τις περιπτώσεις, *έτυχε* λόγω της διακύμανσης της χρέωσης, να συμπεριληφθεί στη προτεινόμενη από τον αντιπρόσωπο λίστα ένας συνδυασμός ο οποίος είναι πιο κοντά στον ιδανικό (σύμφωνα με το χρήστη) απ' ότι ο προτεινόμενος. Αυτό το φαινόμενο εμφανίστηκε μερικές φορές, στις 15 περίπου πρώτες επαναλήψεις και προκάλεσε την κλήση της διαδικασίας εκμάθησης. Στις αμέσως επόμενες επαναλήψεις (μέχρι την 30) η διαφορά από τον ιδανικό αυξήθηκε, καθώς παρά το ότι το εσωτερικό μοντέλο χρησιμότητας που διατηρεί ο αντιπρόσωπος πλησίασε τις προτιμήσεις του χρήστη η προτεινόμενη λίστα δεν περιείχε κάποιο συνδυασμό καλύτερο από τον προτεινόμενο. Έτσι ο χρήστης επέλεξε τον προτεινόμενο.

Κοντά στην επανάληψη 30 (Σχήμα 6.4β), καλείται η διαδικασία εκμάθησης και γίνεται μια μικρή προσαρμογή η οποία, όμως, προκαλεί μεγάλη μείωση στη διαφορά της επιλογής του χρήστη από τον ιδανικό συνδυασμό (Σχήμα 6.4α). Οι μεγάλες προσαρμογές που έγιναν στις πρώτες επαναλήψεις δεν ήταν αρκετές για να μπορέσει ο αντιπρόσωπος να πλησιάσει τον ιδανικό συνδυασμό. Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι οι προσαρμογές που κάνει η διαδικασία εκμάθησης είναι συσσωρευόμενες. Στην περίπτωσή που εξετάζουμε, οι πρώτες προσαρμογές είχαν φέρει το μοντέλο κοντά σε κάποιο κρίσιμο σημείο και με τη μικρή επιπρόσθετη προσαρμογή, επήλθε η μείωση της διαφοράς.

Στο Σχήμα 6.4α, επίσης παρατηρείται μια πτώση (στο 1%) της διαφοράς κοντά στην επανάληψη 40 *χωρίς* να έχει κληθεί η διαδικασία εκμάθησης. Αυτό οφείλεται στη διακύμανση της χρέωσης και γι' αυτό η διαφορά αυξάνεται ξανά αμέσως μετά.



(α) (β)

Σχήμα 6.5: ΔιακύμανσηΧρέωσης

Στο σχήμα αυτό φαίνονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων που εκτέλστηκαν με διαφοροποιημένη (10%, 25% και 50%) διακύμανση χρέωσης από τους παροχείς που εισάγουν τυχαιότητα. Οι διαφορές των επιλογών του χρήστη τόσο από αυτές του αντιπροσώπου όσο και από τον ιδανικό συνδυασμό, είναι μεγαλύτερες για μεγαλύτερη διακύμανση χρέωσης.

6.3.2.3 Αστάθεια Χρέωσης

Η επίδραση των διαβαθμίσεων της διακύμανσης της χρέωσης από τους παροχείς εξετάστηκε για τρεις περιπτώσεις με διακυμάνσεις 10%, 25% και 50%. Το ανώτατο επιτρεπτό κόστος αγοράς είναι 12500, ενώ το σφάλμα συμπλήρωσης του αρχείου προτιμήσεων είναι 50%.

Τα αποτελέσματα αυτών των πειραμάτων φαίνονται στο Σχήμα 6.5. Οι διαφορές των επιλογών του χρήστη τόσο από αυτές του αντιπροσώπου όσο και από τον ιδανικό συνδυασμό, είναι μεγαλύτερες για μεγαλύτερη διακύμανση χρέωσης. Στην περίπτωση που η διακύμανση χρέωσης είναι μικρή (10%) η διαδικασία εκμάθησης καλείται σπάνια. Αυτό οφείλεται στο ότι οι επιλογές τόσο του χρήστη όσο και του αντιπροσώπου μένουν σχεδόν σταθερές, αφού δε μεταβάλλονται σημαντικά οι τιμές που επιβάλλουν οι παροχείς. Γι' αυτό το λόγο η διαφορά καθαρού οφέλους της επιλογής του χρήστη από τον ιδανικό συνδυασμό (Σχ. 6.5α) είναι αρχικά σχεδόν σταθερή και ελαττώνεται απότομα μόλις καλείται η διαδικασία εκμάθησης όπου εφαρμόζεται μια σχετικά μεγάλη προσαρμογή παραμέτρων. Αξίζει να σημειωθεί ότι ενώ στις αρχικές επαναλήψεις

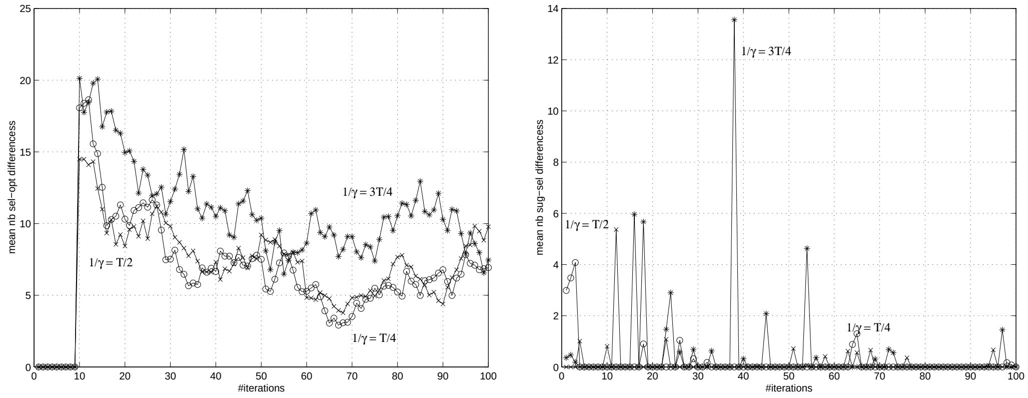
(Σχ.6.5β) έγιναν κάποιες μικρές προσαρμογές, η σύγκλιση με τον ιδανικό συνδυασμό επήλθε μόνο αφού εμφανίστηκε σχετικά μεγάλη διαφορά οφέλους. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι οι προσαρμογές των παραμέτρων εξαρτώνται ουσιαστικά από το μέγεθος της διαφοράς οφέλους (βλ. παρ. 6.2.2).

Εδώ, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, η σύγκλιση των επιλογών του χρήστη τόσο με τον ιδανικό συνδυασμό όσο και με την πρόταση του αντιπροσώπου θα ήταν γρορότερη αν οι θυγατρικοί αντιπρόσπωοι επέστρεφαν στον πατρικό περισσότερους υποψήφιους για επιλογή συνδυασμούς.

6.3.2.4 Διακύμανση Προτιμήσεων Χρήστη

Στα πειράματα αυτά εξετάζουμε διαφορετικές περιπτώσεις αστάθειας προτιμήσεων χρήστη, καθώς και την επίδραση της παραμέτρου εξομάλυνσης. Όπως έχει αναφερθεί αυτή η παράμετρος έχει νόημα να εξετασθεί μόνο σε αυτή την περίπτωση. Υποθέτουμε λοιπόν, ότι ο χρήστης έχει θέσει ανώτατο επιτρεπτό κόστος αγοράς 12500, έχει συμπληρώσει το αρχείο προτιμήσεων με σφάλμα 50%. Επίσης, η διακύμανση της χρέωσης είναι 25%. Στο πείραμα του οποίου τα αποτελέσματα φαίνονται στο Σχήμα 6.6, οι προτιμήσεις του χρήστη έχουν αρχική διασπορά $\beta + \alpha = 0.1 + 0.01$, ενώ όταν συγκλίνει προς τις προτιμήσεις του η διασπορά γίνεται $\alpha = 0.01$. Στα προηγούμενα πειράματα αυτές οι παράμετροι είχαν τιμή μηδέν. Επίσης η σύγκλιση των *vprefs* του χρήστη προς τις βασικές του προτιμήσεις (*bprefs*), γίνεται στο 1/4, 1/2 και 3/4 της συνολικής διάρκειας των επαναλήψεων. Αξίζει να σημειωθεί ότι μετά τη σύγκλιση των προτιμήσεων του χρήστη η περίπτωση είναι σχεδόν ίδια με αυτή του σταθερού χρήστη.

Από το Σχήμα 6.6α παρατηρούμε ότι αρχικά οι διαφορές των επιλογών του χρήστη από αυτές του ιδανικού συνδυασμού είναι αρκετά μεγάλες. Αυτό οφείλεται στο ότι ο ίδιος ο χρήστης αρχικά κάνει λάθος επιλογές. Αυτό, όμως, επιπλέον, προκαλεί και προσαρμογές από τη διαδικασία εκμάθησης που απομακρύνουν το εσωτερικό μοντέλο του αντιπροσώπου από το πραγματικό του χρήστη. Επομένως η αρχική μείωση των διαφορών από τον ιδανικό συνδυασμό οφείλονται στη σύγκλιση του ίδιου του χρήστη και όχι στις προσαρμογές της διαδικασίας εκμάθησης. Επίσης, η σύγκλιση προς τον ιδανικό συνδυασμό δε φαίνεται να αλλάζει ουσιαστικά από τις ταχύτητες σύγκλισης των *vprefs*. Αυτό οφείλεται στο ότι πριν τη σταθεροποίηση του χρήστη υπάρχει σύγκλιση, λόγω του ίδιου του χρήστη, ενώ μετά, η διαδικασία εκμάθησης



(α) (β)

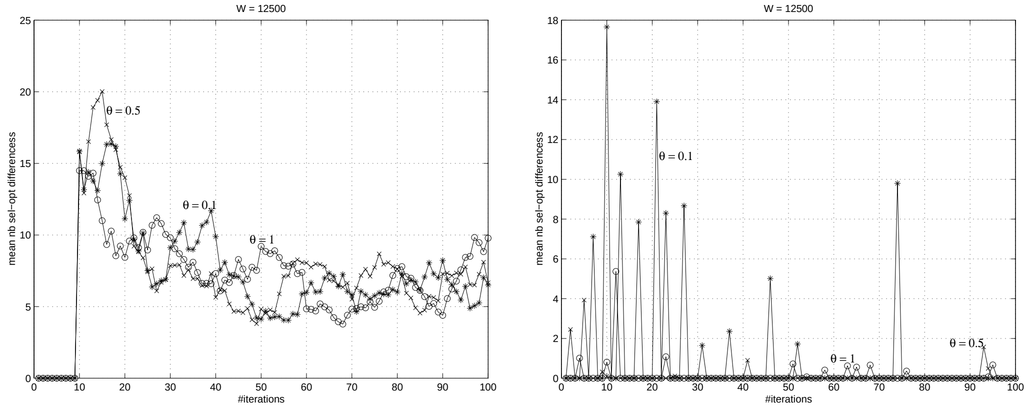
Σχήμα 6.6: Διακύμανση Προτιμήσεων Χρήστη

Στο σχήμα αυτό φαίνονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων που εκτέλστηκαν με διαφορετική ταχύτητα σύγκλισης των εικονικών προτιμήσεων (vprefs) του χρήστη. Από το σχήμα (α) παρατηρούμε ότι η σύγκλιση προς τον ιδανικό συνδυασμό δεν επηρεάζεται από τις διαφορετικές ταχύτητες σύγκλισης των vprefs. Είσης στο σχήμα (β) παρατηρούμε ότι όσο πιο αργά συγκλίνει ο χρήστης τόσο μεγαλύτερες είναι οι διαφορές οφέλους των επιλογών του χρήστη από αυτές του αντιπροσώπου.

εφαρμόζει προσαρμογές πλησιάζοντας προς τον ιδανικό συνδυασμό.

Όσο αφορά στην "ταχύτητα" σύγκλισης του χρήστη, παρατηρούμε (Σχ. 6.6β) ότι όσο πιο αργά συγκλίνει ο χρήστης τόσο μεγαλύτερες είναι οι διαφορές οφέλους των επιλογών του χρήστη από αυτές του αντιπροσώπου. Αυτό είναι λογικό, γιατί όσο ο χρήστης βρίσκεται σε ασταθή κατάσταση ο αντιπρόσωπος δε θα μπορεί να τον προσεγγίσει και οι διαφορές θα παραμένουν μεγάλες. Επιπλέον, αν ο χρήστης συγκλίνει γρήγορα, τότε διαδικασία εκμάθησης προσεγγίζει πιο γρήγορα το μοντέλο του χρήστη και έτσι εμφανίζονται μικρότερες διαφορές.

Στο Σχήμα 6.7 φαίνονται τα αποτελεσματα πειραμάτων για διάφορες τιμές της παραμέτρου εξομάλυνσης. Στα συγκεκριμένα πειράματα, οι προτιμήσεις του χρήστη "ταλαντώνοται" αρχικά έντονα και έχουν σχεδόν σταθεροποιηθεί περίπου στο μισό της διάρκειας των επαναλήψεων. Από το Σχήμα 6.7β, φαίνεται ότι για πολύ μικρή εξομάλυνση (0.1) οι διαφορές καθαρού οφέλους των επιλογών του χρήστη από αυτές του αντιπροσώπου είναι σημαντικά μεγαλύτερες από τις άλλες δύο περιπτώσεις. Αυτό οφείλεται στο ότι η πολύ μικρή εξομάλυνση ελαττώνει πάρα πολυ τις προσαρμογές της



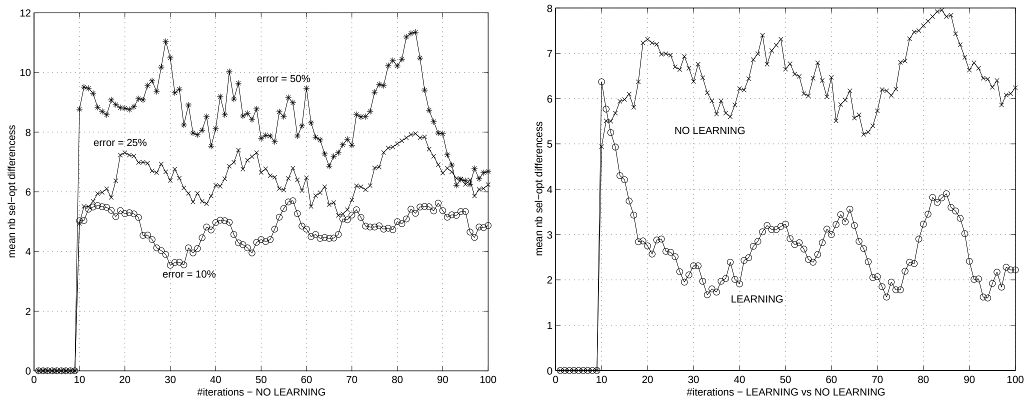
(α) (β)

Σχήμα 6.7: Εξομάλυνση θ

Σε αυτό το σχήμα φαίνονται τα αποτελεσματα πειραμάτων για διάφορες τιμές της παραμέτρου εξομάλυνσης (1, 0.5, 0.1). Από το σχήμα (α) φαίνεται ότι οι διαφορετικές τιμές της εξομάλυνσης δεν επηρεάζουν τη σύγκλιση των επιλογών του χρήστη με τον ιδανικό συνδυασμό. Από την άλλη πλευρά, μειώνει (σχ.(β)) το *σφάλμα* της διαδικασίας μαθησης στην περίοδο “αστάθειας” του χρήστη, από τη διαδικασία εκμάθησης.

διαδικασίας εκμάθησης και η προσέγγιση του χρήστη αργεί πάρα πολύ.

Από το Σχήμα 6.7α φαίνεται ότι οι διαφορετικές τιμές της παραμέτρου αυτής δεν επηρεάζουν τη σύγκλιση των επιλογών του χρήστη με τον ιδανικό συνδυασμό. Αρχικά περιμέναμε ότι στην “χρονική” περίοδο που ο χρήστης είναι ασταθής, η εφαρμογή της εξομάλυνσης θα ελάττωνε τη διαφορά από τον ιδανικό συνδυασμό. Αυτό, όμως, δε συμβαίνει διότι ο “ασταθής” (εκείνη την περίοδο) χρήστης θα εξακολουθήσει να επιλέγει αυθαίρετα ανεξάρτητα από την παράμετρο εξομάλυνσης. Η παράμετρος αυτή, απλά μειώνει το *σφάλμα* της προσαρμογής που εφαρμόζεται στην περίοδο “αστάθειας” του χρήστη, από τη διαδικασία εκμάθησης. Η μείωση του σφάλματος αυτού μπορεί να παρατηρηθεί στο Σχήμα 6.7β. Οι διαφορές οφέλους με εξομάλυνση 0.5 αν και είναι μεγαλύτερες από τις διαφορές της περίπτωσης χωρίς εξομάλνση (δηλ. 1) συγκλίνουν γρηγορότερα. Οι πρώτες συγκλίνουν περίπου στην επανάληψη 40 ενώ οι δεύτερες περίπου στην επανάληψη 70.



(α) (β)

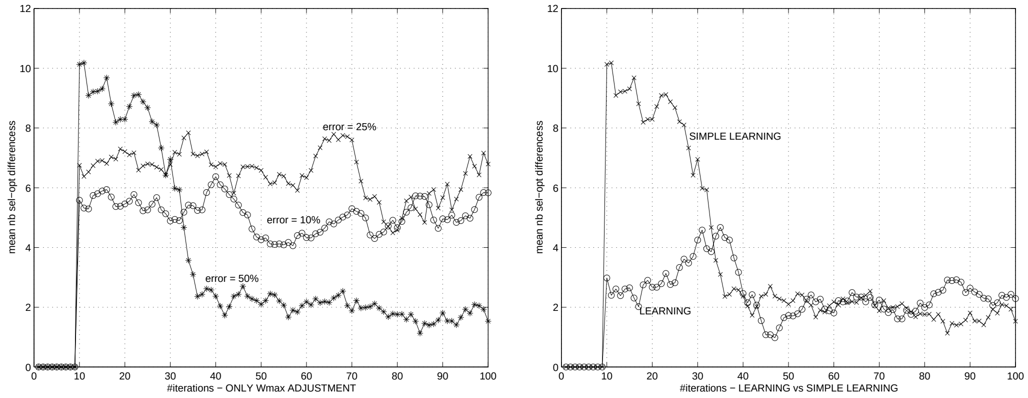
Σχήμα 6.8: Απουσία Εκμάθησης

Στο σχήμα αυτό φαίνονται τα αποτελεσματα πειραμάτων που εκτελέστηκαν χωρίς εκμάθηση (α) και η σύγκριση (για την περίπτωση σφάλματος 25%) με τα αποτελέσματα ενός πειράματος με εκμάθηση (σχ. (β)). Στο σημα (β) φαίνεται η καλύτερη επίδοση του αντιπροσώπου όταν διαθέτει την προτεινόμενη διαδικασία εκμάθησης.

6.3.2.5 Αναγκαιότητα Εφαρμογής της Διαδικασίας Εκμάθησης

Για λόγους πληρότητας της αξιολόγησης της διαδικασίας, έγιναν πειράματα *χωρίς* εκμάθηση, για να γίνει κάποια σύκγριση. Συγκεκριμένα θεωρήσαμε τις περίπτωση των αντίστοιχων πειραμάτων που περιγράφονται στην παράγραφο 6.3.2.2. Τα αποτελέσματα αυτών των πειραμάτων φαίνονται στο Σχήμα 6.8. Στο Σχήμα 6.8α φαίνονται οι τρεις περιπτώσεις σφάλματος συμπλήρωσης του αρχείου προσωπικών προτιμήσεων, που πρέπει να συγκρίθούν με την περίπτωση απουσίας εκμάθεσης. Η διαφορά παραμένει στα αρχικά επίπεδα και ταλαντεύεται λόγω της διακύμανσης της χρέωσης. Στο Σχήμα 6.8β, γίνεται σύγκριση ενός πειράματος με σφάλμα profile 25% με το αντίστοιχο πείραμα με τη διαδικασία εκμάθησης, όπου φαίνεται καθαρά η καλύτερη επίδοση του αντιπροσώπου που διαθέτει την προτεινόμενη διαδικασία εκμάθησης.

Επίσης, η προτεινόμενη διαδικασία εκμάθησης συγκρίθηκε και με μια απλούστερη έκδοσή της, κατά την οποία η προσαρμογή των παραμέτρων αφορά μόνο στο ανώτατο επιτρεπτό κόστος αγοράς. Το αποτέλεσμα αυτών των πειραμάτων φαίνεται στο Σχήμα 6.9. Στο αριστερό γράφημα (Σχ. 6.9α) φαίνονται οι τρεις περιπτώσεις που



(α) (β)

Σχήμα 6.9: Απλή Εκμάθηση

Στο σχήμα αυτό φαίνονται τα αποτελεσματα πειραμάτων που εκτελέστηκαν με μία απλή εκμάθηση (προσαρμόζει μόνο το μέγιστο πληροτέο ποσό, σχημα (α)) και η σύγκριση (για την περίπτωση σφάλματος 50%) με τα αποτελέσματα ενός πειράματος με εκμάθηση (σχ. (β)). Στο σημα (β) φαίνεται η καλύτερη επίδοση του αντιπροσώπου όταν διαθέτει την προτεινόμενη διαδικασία εκμάθησης. Εδώ αξίζει να σημειώσουμε ότι στην περίπτωση μεγάλου σφάλματος αρχείου προσωπικών προτιμήσεων, οι επιλογές του χρήστη συγκλίνουν προς το βέλτιστο και με την απλή διαδικασία εκμάθησης με μια αρχική καθυστέρηση.

εξετάστηκαν. Αυτό που μπορεί να παρατηρήσει κανείς είναι ότι για μικρά σφάλματα, ουσιαστικά δεν γίνεται προσέγγιση προς τον ιδανικό συνδυασμό. Αυτό γίνεται όταν το σφάλμα συμπλήρωσης του αρχείου προτιμήσεων έιναι μεγάλο, γιατί ο χρήστης προιμάει συνεχώς φθηνότερη (ή ακριβώτερη) υπηρεσία προκαλώντας την προσαρμογή του ανώτατου επιτρεπτού κόστους αγοράς.

Στο Σχήμα 6.9β συγκρίνεται η περίπτωση της διαδικασίας εκμάθησης, που περιγράφηκε στην παράγραφο 6.3.2.2, με την αντίστοιχη απλοποιημένη. Είναι φανερό ότι στις αρχικές επαναλήψεις ο αντιπρόσωπος με την κανονική διαδικασία εκμάθησης έχει καλύτερη επίδοση. Αξίζει επίσης να σημειωθεί από ένα σημείο και έπειτα οι δύο προσεγίσεις σχεδόν ταυτίζονται. Αυτό σημαίνει ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση οι προσαρμογές της διαδικασίας εκμάθησης είναι κυρίως προσαρμογές του ανώτατου επιτρεπτού κόστους αγοράς.

Κεφάλαιο 7

Εφαρμογή σε Τεχνολογίες Τηλεπικοινωνιών

Μία από τις κύριες υποθέεις όπου βασίζεται η προσέγγιση που περιγράφτηκε στα προηγούμενα κεφάλαια είναι ότι οι υπηρεσίες που αγοράζει ο χρήστης μπορούν να παρέχονται σε διακριτά επίπεδα ποιότητας. Αυτά αφορούν διακριτά επίπεδα κωδικοποίησης των μέσων, τα οποία και μεταφέρονται μέσω κατάλληλων συνδέσεων. Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει περιορισμός ως προς τον αριθμό των μέσων, θεματικών περιοχών ή επιπέδων ποιότητας. Προϋπόθεση για εφαρμογή της προτεινόμενης προσέγγισης, είναι η δυνατότητα παροχής διαφορετικών κλάσεων υπηρεσιών με ποιότητα διαφοροποιημένη. Αυτό αποτελεί και ικανή συθήκη, τουλάχιστον για την περίπτωση του αλγορίθμου επιλογής υπηρεσίας υποθέτοντας, όμως, ένα περιβάλλον ανταγωνισμού μεταξύ των παροχέων.

7.1 Ασύγχρονος Τρόπος Μετάδοσης: ATM

Η τεχνολογία ATM [9] παρέχει υπηεσίες μεταφοράς με σύνδεση και κατηγοριοποίηση ως προς τις εγγυήσεις ποιότητας. Η σύνδεση δημιουργείται μέσω *εικονικών κυκλωμάτων* (VC - Virtual Circuit). Όλα τα πεκέτα είναι σταθερού μεγέθους 53byte και ονομάζονται κύτταρα (cell). Όλα τα κύτταρα που ανήκουν στο ίδιο VC ακολουθούν το ίδιο μονοπάτι στο δίκτυο. Κάθε VC χαρακτηρίζεται από ένα διακριτικό αριθμό, το VCI (VC Identifier), που αποθηκεύεται στην επικεφαλίδα του πακέτου. Με βάση το VCI είναι δυνατή η διάκριση διαφορετικών ροών πληροφορίας και η διαφορετική διαχείρισή τους. Αυτό δίνει τη δυνατότητα παροχής διαφορετικής ποιότητας υπηρεσίας ανά VC.

Η υπηρεσία που αγοράζει ο χρήστης ορίζεται λεπτομερώς μέσω ενός συμβολαίου που στο οποίο καθορίζεται η κλάση υπηρεσίας και οι επιμέρους παράμετροι κίνησης και ποιότητας. Ο έλεγχος του συμβολαίου γίνεται μέσω ενός αλγορίθμου που ονομάζεται GCRA (Generic Cell Rate Algorithm) και ο οποίος είτε απορρίπτει τα πακέτα που παραβιάζουν το συμβόλαιο είτε τα σημειώνει ως απορρίψιμα. Οι παράμετροι κίνησης που σχετίζονται με την παρεχόμενη υπηρεσία προέρχονται από το εξής σύνολο:

- ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης (PCR - Peak Cell Rate)
- ο διατηρούμενος ρυθμός (SCR - Sustaine Cell Rate)
- η ανοχή διακύμανσης καθυστέρησης κυττάρου (CDVT - Cell Delay Variation Tolerance)
- η ανοχή έκρηξης (BT - Burst Tolerance)
- ο ελάχιστος ρυθμός μετάδοσης κυττάρου (MCR - Minimum Cell Rate)

Οι παράμετεροι ποιότητας υπηρεσίας του συμβολαίου προέρχονται από το εξής σύνολο:

- ποσοστό απώλειας πακέτων (CLR - Cell Loss Rate)
- διακύμανση καθυστέρησης πακέτου (CDV - Cell Delay Variation)
- μέγιστη καθυστέρηση μετάδοσης πακέτου (Max CTD - Cell Transfer Delay)
- μέση καθυστέρηση μετάδοσης πακέτου (Mean CTD).

Ως προς την κατηγοριοποίηση των υπηρεσιών, το ATM Forum [9] καθορίζει πέντε κλάσεις υπηρεσιών, καθεμιά από τις οποίες περιλαμβάνουν διαφορετικές παραμέτρους ποιότητας και κίνησης δεδομένων:

- *υπηρεσία σταθερού ρυθμού (CBR)*. Η κλάση αυτή ορίζει ένα (σχεδόν) σταθερού ρυθμού ρεύμα κυττάρων με κάποια αποδεκτή μικρή διακύμανση που μπορεί να είναι αναπόφευκτη λόγω των διαδικασιών κατασκευής των κυττάρων. Οι υπηρεσίες CBR είναι εγγυημένες και σε ένα συμβόλαιο καθορίζονται όλες οι παράμετροι ποιότητας, ενώ από τς παραμέτρους κίνησης καθορίζονται τα PCR, CDVT.

- *υπηρεσία μεταβλητού ρυθμού πραγματκού χρόνου (VBR-rt).* Η κίνηση που αντιστοιχεί σε αυτή την κλάση είναι εκρηκτική (bursty). Όπως και η υπηρεσία CBR είναι εγγυημένη και σε ένα συμβόλαιο VBR-rt καθορίζονται όλες οι παράμετροι ποιότητας, ενώ από τις παραμέτρους κίνησης καθορίζονται οι PCR και CDVT, καθώς και οι SCR και BT για τον έλεγχο της εκρηκτικότητας.

- *υπηρεσία μεταβλητού ρυθμού, μη πραγματικού χρόνου (VBR-nrt).* Είναι παρόμοια με την κλάση VBR-rt, με τη διαφορά ότι δεν είναι υπηρεσία πραγματικού χρόνου και επομένως δεν περιέχεται εγγύηση ως προς τη καθυστέρηση κυττάρων. Επομένως, σε ένα συμβόλαιο VBR-nrt καθορίζεται μόνο η παράμετρος CLR.

- *υπηρεσία διαθέσιμου ρυθμού (ABR).* Η κλάση ABR έχει χαρακτηριστικά ελαστικής υπηρεσίας με μόνες εγγυήσεις ένα μέγιστο ρυθμό απώλειας (CLR) πακέτων και ένα ελάχιστο μέσο ρυθμό μετάδοσης (MCR).

- *υπηρεσία ακαθόριστου ρυθμού (UBR).* Η κλάση αυτή έχει επίσης χαρακτηριστικά ελαστικής υπηρεσίας χωρίς, όμως, να παρέχει καμία εγγύηση.

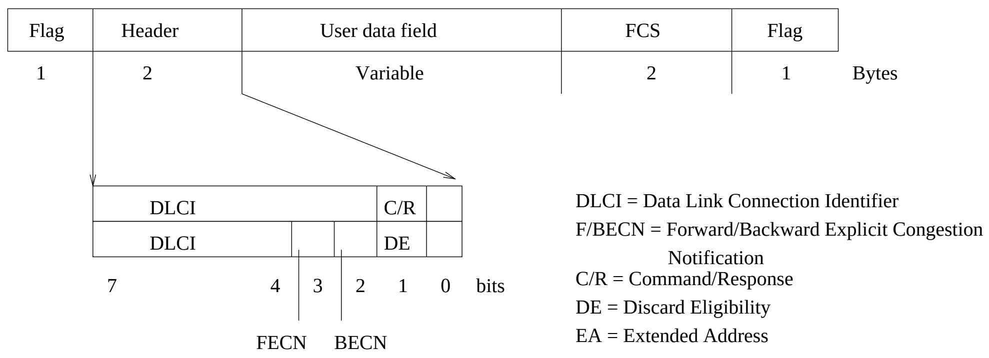
Με βάση αυτά τα χαρακτηριστικά, ένας παροχέας υπηρεσίας έχει τη δυνατότητα να αντιστοιχήσει διακριτά επίπεδα ποιότητας μέσων σε παραμέτρους ποιότητας υπηρεσίας που αναφέρθηκαν παραπάνω. Είναι, όμως, εφικτό όλοι οι παροχείς να ορίσουν την ίδια αντιστοίχηση; Αυτό μπορεί να γίνει αν οι παροχείς είναι σε κατάσταση ανταγωνισμού. Ακόμα και σε αυτή την περίπτωση, όμως, δε θα υπάρχει απόλυτη ομοιομορφία. Ως αποτέλεσμα της μη σύγκλισης των παροχέων θα είναι η πλήρης σύγχυση του χρήστη και επομένως, η μη ικανοποίησή του. Αξίζει, επίσης, να σημειωθεί ότι η διαφορετική απεικόνιση των παροχέων μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικές χρησιμότητες για τον ίδιο συνδυασμό υπηρεσίας. Αυτό μπορεί να αντιμετωπισθεί με μία εμπλουτισμένη διαδικασία εκμάθησης, όπως αυτή που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 6, η οποία θα διατηρεί διαφορετικό μοντέλο χρησιμότητας για κάθε παροχέα ή απλώς θα "χαρακτηρίζει" κάθε παροχέα π.χ. με έναν κατάλληλο συντελεστή .

Θα ήταν πολύ βολικό, αν μπορούσε ο χρήστης να καθορίζει ο ίδιος την αντιστοιχία των αφηρημένων επιπέδων ποιότητας με τις παραμέτρους ποιότητας δικτύου. Εξάλλου, τα αφηρημένα επίπεδα ποιότητας αφορούν στην αντίληψη *του χρήστη*. Αυτό μπορεί να γίνει στην πράξη. Η αντιστοίχηση μπορεί να κωδικοποιείται σε κάποιο αρχείο προσωπικών προτιμήσεων έχοντας θέσει, αρχικά, κάποιες προκαθορισμένες (default) τιμές των παραμέτρων δικτύου βασισμένες σε μετρήσεις για το μέσο χρήστη. Μετά από διαδοχικές χρήσεις μπορεί να διαμορφώνεται η αντιστοίχηση αυτή είτε με πρωτοβουλία του χρήστη είτε με τη παρότρυνση του ηλεκτρονικού αντιπροσώπου[1], προσεγγίζοντας καλύτερα τις πραγματικές του προτιμήσεις. Η διαμόρφωση αυτή, θα μπορεί να περιλαμβάνει ακόμα και προσαύξηση των αφηρημένων επιπέδων ποιότητας, αφού όπως αναφέρθηκε η προτεινόμενη προσέγγιση είναι ανεξάρτητη του αριθμού των επιπέδων ποιότητας.

Έχοντας, λοιπόν, δεδομένη μια τέτοια αντιστοίχηση, ο αντιπρόσωπος έχει τη δυνατότητα για ένα σύνολο απαιτήσεων (δηλ., συνδυασμό υπηρεσίας) να λαμβάνει διάφορες ταρίφες (δηλ., προσφορές). Αυτό μπορεί να συμβεί καθώς υπάρχει περίπτωση κάποια απαιτούμενη ποιότητα σε επίπεδο δικτύου να μπορεί να παρασχεθεί από περισσότερες από μία κλάσεις. Αν, για παράδειγμα, ένας χρήστης θέλει να παρακολουθήσει video για διασκέδαση και έχει σχετικά χαμηλές απαιτήσεις ποιότητας, τότε η υπηρεσία αυτή μπορεί να μεταδοθεί μέσω κάποιας κλάσης πραγματικού χρόνου (CBR, VBR-rt) ή μέσω ABR. Η μεγιστοποίηση του καθαρού οφέλους του χρήστη μπορεί να επιτευχθεί επιλέγοντας την κλάση ABP που μπορεί να έχει πολύ χαμηλό κόστος.

Από τα παραπάνω είναι σαφές ότι η διαδικασία επιλογής μπορεί να εφαρμοστεί στην περίπτωση της τεχνολογίας ATM. Εδώ, μπορεί να τεθεί το ερώτημα αν είναι εφικτή η εφαρμογή της διαδικασίας επαναδιαπραγμάτευσης. Αν, για παράδειγμα, παρέχεται ήδη μια υπηρεσία σε κλάση CBR, είναι δυνατή η επαναδιαπραγμάτευσή της με σκοπό την αλλαγή κλάσης; Σε αυτή την περίπτωση, το κόστος επανεγκατάστασης μιας νέας σύνδεσης για την παροχή της υπηρεσίας θα ήταν απαγορευτικό. Επομένως, η επαναδιαπραγμάτευση πρέπει να περιοριστεί σε επανεπιλογή παραμέτρων ποιότητας

[1] Με βάση μια εμπλουτιμένη διαδικασία εκμάθησης



Σχήμα 7.1: Δομή Πακέτου Frame Relay.

δικτύου για την ίδια κλάση υπηρεσίας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί ο παροχέας, για λόγους διαχείρισης, να δώσει κίνητρα στους χρήστες να αποχωρήσουν από κάποια κλάση υπηρεσίας, οπότε μπορεί να εφαρμοστεί συνολική επανεπιλογή του συνδυασμού υπηρεσίας.

7.2 Frame Relay

Το Frame Relay [36] είναι μια τεχνολογία μεταφοράς δεδομένων με συνδέσεις με μέτριους έως σχετικά υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων (μέχρι και 45Mbps). Τα πρωτόκολλα Frame Relay καθορίζουν τα τρία χαμηλώτερα επίπεδα του μοντέλου OSI.

Η δομή ενός πακέτου Frame Relay φαίνεται στο Σχήμα 7.1. Η επικεφαλίδα του πακέτου, μεγέθους 2 byte, περιέχει πληριφορία για διευθυνσιοδότηση (DLCI, EA), πληροφορία ελέγχου συμφόρησης (F/BECN και DE). Το bit C/R αφορά σε ειδική χρήση από εφαρμογές. Το πεδίο FCS χρησιμεύει για ανίχνευση σφαλμάτων. Τα αλλοιωμένα πακέτα απορρίπτονται από το δίκτυο. Όπως και στο ATM υπαρχει η έννοια του συμβολαίου παροχής υπηρεσίας στο οποίο καθορίζονται τα χαρακτηριστικά της κίνησης δεδομένων που μπορεί να διοχετεύσει ο χρήστης στο δίκτυο. Η εφαρμογή του συμβολαίου ελέγχεται για κάθε πακέτο, όπως και στο ATM ελέγχεται για κάθε κύτταρο. Αν ένα πακέτο παραβιάσει τη συνθήκη του συμβολαίου, τότε το bit DE (Discard Eligibility) γίνεται 1 και μπορεί να απορριφθεί από το δίκτυο.

Το βασικό συμβόλαιο μιας υπηρεσίας Frame Relay αποτελείται από την τριάδα παραμέτρων (CIR, B_c, B_e) και ο έλεγχός του γίνεται με περίοδο T_c. Η πρώτη παράμετρος είναι ο *Εγγυημένος Ρυθμός Μετάδοσης Πληροφορίας (Commited Information Rate)*. Η δεύτερη εκφράζει το *Εγγυημένο Μέγεθος Έκρηξης* (*Commited Burst Size*), δηλαδή τη μέγιστη εγγυημένη ποσότητα δεδομένων που μπορεί να διοχετεύσει ο χρήστης στο δικτύο κατά την περίοδο T_c, ενώ η τρίτη εκφράζει το *Επιπλέον Μέγεθος Έκρηξης* (*Excessive Burst Size*), δηλαδή η μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα δεδομένων που επιτρέπεται να υπερβεί το B_e. Οι τρεις αυτές παράμετροι είναι διαπραγματεύσιμες για την εγκατάσταση της σύνδεσης του χρήστη.

Με δεδομένη αυτή τη μορφή συμβολαίου, μπορούμε να πούμε ότι είναι δυνατή η εφαρμογή της προσέγγισης που περιγράφηκε στην παρούσα εργασία, αφού διακριτά επίπεδα ποιότητας μπορούν να αντιστοιχηθούν σε περιοχές τιμών των παραπάνω παραμέτρων. Στην πράξη, πολλοί παροχείς παρέχουν διαφοροποιημένες κατηγορίες υπηρεσιών, όπως στο ATM[9]. Αυτό ενισχύει ακόμα περισσότερο την δυνατότητα εφαρμογής της προτεινόμενης προσέγγισης. Το θέμα αυτό, για την περίπτωση της τεχνολογίας Frame Relay, αναλύεται διεξοδικά στη διατριβή της Άννας Κυρίκογλου [2].

7.3 Internet

Η παρούσα έκδοση του IP (v4) δεν υποστηρίζει κλάσεις υπηρεσίας με διαφοροποιημένη ποιότητα καθώς παρέχει μία υπηρεσία βέλτιστης εφικτής ποιότητας (best effort) χωρίς εγγυήσεις. Η προτεινόμενη προσέγγιση θα μπορούσε, ίσως, να εφαρμοστεί αν οι παροχείς παρείχαν κάποιου είδους διαφοροποίησης υπηρεσίας. Για παράδειγμα, αυτό θα μπορούσε να γίνει μέσω του πρωτοκόλλου TCP διαφοροποιώντας το παράθυρο μετάδοσης. Εναλλακτικά, θα μπορούσε να γίνεται εκτίμηση της κατάστασης του δικτύου από την πλευρά του χρήστη και με βάση αυτή την εκτίμηση να γινόταν η επιλογή παροχέα.

Στη νέα έκδοση του πρωτοκόλλου IP (v6), υπάρχει η πρόβλεψη για διάκριση ροών με βάση ένα διακριτικό στην επικεφαλίδα κάθε πακέτου. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στους δρομολογητές να διαχειρίζονται με διαφορετικό τρόπο διαφορετικές ροές πακέτων, παρέχοντας έτσι διαφορετική ποιότητα. Αυτό, θεωρητικά, θα δώσει τη δυνατότητα εφαρμογής της προτεινόμενης προσέγγισης.

7.3.1 Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες Internet: Diffserv

Για τη διαφοροποίηση ποιότητας στο Internet έχει οριστεί από την ομάδα εργασίας IETF [37] η τεχνολογία των διαφοροποιημένων υπηρεσιών. Η τεχνολογία αυτή παρέχει ένα πλαίσιο μέσα στο οποίο οι παροχείς μπορούν να προσφέρουν σε κάθε χρήστη ένα σύνολο από υπηρεσίες διαφοροποιημένες ως προς την ποιότητα δικτύου. Ένας χρήστης μπορεί να απαιτήσει η υπηρεσία του να μεταδοθεί με συγκεκριμένο επίπεδο ποιότητας ανά πακέτο. Αυτό γίνεται θέτοντας ένα κατάλληλο διακριτικό αριθμό (DS) στην επικεφαλίδα κάθε πακέτου[2]. Για κάθε DS, το δίκτυο έχει διαφορετική "συμπεριφορά" διαχείρισης παρέχοντας έτσι διαφορετική ποιότητα.

Όπως και στη τεχνολογία ATM, υπάρχει η έννοια του συμβολαίου υπηρεσίας που ονομάζεται ειδικότερα SLA (Service Level Agreement). Ένα SLA περιέχει το σύνολο των συμφωνιών μεταξύ του χρήστη και του παροχέα. Το υποσύνολο που αναφέρεται στις παραμέτρους δικτύου ονομάζεται TCS (Traffic Conditioning Specification). Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτή η τεχνολογία διαφοροποιημένων υπηρεσιών δεν παρέχει απόλυτες εγγυήσεις.

Συγκεκριμένα, οι εγγυήσεις διαχωρίζονται σε ποιοτικές και ποσοτικές. Οι ποιοτικές εγγυήσεις δε περιλαμβάνουν συγκεκριμένες δεσμεύσεις των παραμέτρων δικτύου και μπορούν να επαληθευθούν μόνο με σύγκριση. Ένα παράδειγμα είναι μια υπηρεσία να προσφέρεται στο επίπεδο ποιότητας Α με *χαμηλή* καθυστέρηση ή *μικρή* απώλεια πακέτων. Αντίστοιχα, μια υπηρεσία με ποσοτική εγγύηση μπορεί να πρσφέρεται, π.χ., στο επίπεδο ποιότητας Γ με καθυστέρηση μικρότερη από 50msec. Επίσης, μία υπηρεσία μπορεί να πρσφέρεται σε επίπεδο του οποίου η ποιότητα να ορίζεται σχετικά με άλλα επίπεδα. Για παράδειγμα, μια υπηρεσία που προσφέρεται στο επίπεδο Δ θα έχει διπλάσιο εύρος ζώνης από την αντίστοιχη στο επίπεδο Ε.

Η δομή της τεχνολογίας διαφοροποιημένων υπηρεσιών, ευνοεί την εφαρμογή της προτεινόμενης προσέγγισης. Η αντιστοίχηση των αφηρημένων επιπέδων ποιότητας του χρήστη σε επίπεδα ποιότητας δικτύου μπορεί να γίνει με την προσέγγιση που περιγράφηκε στην παράγραφο 7.1, για την τεχνολογία ATM. Επιπλέον, στην

[2] Το διακριτικό αποθηκέυεται στο DS Field. Στο IPv4 κωδικοποιείται στο πεδίο TOS (Type Of Service), ενώ στο IPv6 στο πεδίο "Flow Label" .

περίπτωση αυτή, η επαναδιαπραγμάτευση του συμβολαίου μπορεί να περιλαμβάνει τη μεταφορά από ένα επίπεδο ποιότητας σε ένα άλλο.

Κεφάλαιο 8

Επίλογος

Στην παρούσα εργασία, προτάθηκε μία προσέγγιση για την υποβοήθηση ενός χρήστη τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών στην επιλογή του κατάλληλου συνδυασμού υπηρεσίας και του αντιστοιχου παροχέα. Το έργο αυτό το αναλαμβάνει ένας ηλεκτρονικός αντιπρόσωπος ο οποίος με βάση τις προτιμήσεις του χρήστη διαπραγματεύεται με τους παροχείς. Το γενικό συμπέρασμα είναι ότι η προσέγγιση αυτή είναι αποδοτική τόσο υπολογιστικά, όσο και ως προς την τελική επιλογή του χρήστη σε σχέση με τη βέλτιστη δυνατή. Επίσης είναι πολύ γενική και εφαρμόσιμη σε τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών, ενώ υπάρχει η δυνατότητα προσαρμογής σε μεταβολές είτε των προτιμήσεων του χρήστη είτε της χρέωσης που επιβάλλεται από τους παροχείς.

8.1 Συμπεράσματα

Αρχικά ορίστηκε ένα αθροιστικό μοντέλο συνέρτησης χρησιμότητας για την κωδικοποίηση των προτιμήσεων του χρήστη. Το μοντέλο αυτό βασίστηκε στην ανεξαρτησία των μέσων που περιέχονται σε ένα συνδυασμό υπηρεσίας. Με βάση αυτό το μοντέλο ο ηλεκτρονικός αντιπρόσωπος υπολογίζει το καθαρό όφελος του χρήστη και διαπραγματεύεται με τους παροχείς με σκοπό τη μεγιστοποίησή του. Εναλλακτικά το κριτήριο επιλογής μπορεί να είναι απλώς η μεγιστοποίηση του καθαρού οφέλους ή ελαχιστοποίηση του κόστους αγοράς.

Η διαπραγμάτευση με τους παροχείς γίνεται με τη χρήση ενός ευριστικού αλγορίθμου ο οποίος *χωρίς* να εξετάζει όλους τους δυνατούς συνδυασμούς προτείνει, στη γενική περίπτωση, γρήγορα στο χρήστη έναν "καλό" συνδυασμό. Ο αλγόριθμος αυτός αποδεικνύεται ότι κάνει τη βέλτιστη επιλογή υπηρεσίας υπό ρεαλιστικές υποθέσεις ως προς τη χρέωση που εφαρμόζουν οι παροχείς. Επίσης, πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι ο αλγόριθμος κάνει τη βέλτιστη επιλογή σε περιπτώσεις που δεν περιλαμβάνονται στις θεωρητικά τεκμηριωμένες.

Ως προς την υπολογιστική πολυπλοκότητα του αλγορίθμου επιλογής, αποδεικνύεται ότι αυτή είναι περίπου τετραγωνική ως προς τα μέσα που και τις θεματικές περιοχές που περιέχονται στο συνδυασμό υπηρεσίας. Αυτό δείχνει ότι ο αλγόριθμος είναι αρκετά απλός, δεδομένου επίσης ότι στη γενικότητά του το προβλημα που αντιμετωπίζει περιέχει εκθετικό πλήθος τιμών καθαρού οφέλους που πρέπει (στη χειρότερη περίπτωση) να ελεγχθούν όλοι. Αποδεικνύεται, όμως, ότι στην περίπτωση που η χρέωση είναι αθροιστική και το καθαρό όφελος αμφίτονο ως προς τα επίπεδα ποιότητας, τότε το πρόβλημα έχει γραμμική πολυπλοκότητα. Η διαφορά αυτή οφείλεται στο ότι ο αλγόριθμος δεν μπορεί να γνωρίζει εκ των πρωτέρων το είδος της χρέωσης και έτσι αναγκάζεται να κάνει παραπάνω ελέγχους.

Ως επέκταση του αλγορίθμου επιλογής διερευνήθηκε η περίπτωση της επαναδιαπραγμάτευσης της παρεχόμενης υπηρεσίας. Η μελέτη των διαφόρων περιπτώσεων έδειξε ότι υπάρχουν απλές συνθήκες υπό τις οποίες ο ηλεκτρονικός αντιπρόσωπος αποφασίζει άμεσα για την (μερική ή όχι) επανεκτέλεση του αλγορίθμου επιλογής ή για τη διατήρηση του σνδυασμού που ήδη λαμβάνεται. Οι περιπτώσεις που εξετάστηκαν αφορούν στη μεταβολή της χρέωσης ή σε επαναπροσφορά από τους παροχείς κατά τη διάρκεια της υπηρεσίας, καθώς και σε μεταβολή της συνάρτησης χρησιμότητας του χρήστη.

Επίσης, προσομοιώθηκε μια διαδικασία εκμάθησης που προσαρμόζει τις παραμέτρους της συνάρτησης χρησιμότητας με βάση τις διαφορές μεταξύ του συνδυασμού που επέλεξε ο χρήστης και αυτού που πρότεινε ο ηλεκτρονικός αντιρπόσωπος. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η διαδικασία αυτή βοηθάει το χρήστη στο να συγκλίνει προς τον ιδανικό συνδυασμό ακόμα και αν οι προτιμήσεις του μεταβάλλονται. Αυτή η διαδικασία εκμάθησης μπορεί να επεκταθεί κατάλληλα ώστε να αντιμετωπίζει περιπτώσεις παροχέων με διαφορετική απεικόνιση των αφηρημένων επιπέδων ποιότητας σε παραμέτρους δικτύου.

Τέλος, στην παρούσα εργασία έγινε μια μελέτη για τη δυνατότητα εφαρμογής της προτεινόμενης προσέγγισης σε τεχνοογίες τηλεπικοινωνιών. Το συμπέρασμα από αυτή τη μελέτη είναι ότι με μικρές προσαρμογές η προσέγγιση είναι εφαρμόσιμη σε διαδεδομένες τεχνολογίες, όπως ATM, Frame Relay, ακόμη και σε IPv4 με κάποιες επεκτάσεις και Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες Internet (Diffserv).

8.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η πολυπλοκότητα του προβλήματος που αντιμετωπίζει ο ηλεκτρονικός αντιπρόσωπος είναι γραμμική ως προς τον αριθμό των μέσων και των θεματικών περιοχών, όταν η χρέωση που εφαρμόζουν οι παροχείς είναι αθροιστική. Μελλοντική επέκταση της προσέγγισης αυτής είναι η εξεύρεση της ελάχιστης δυνατής υπόθεσης για τη χρέωση, έτσι ώστε ο το πρόβλημα να έχει πολυωνυμική πολυπλοκότητα

Οι θεωρητικές ιδιότητες που διατυπώνονται στο Κεφάλαιο 4 αναφέρονται δύο ιδιότητες του αλγορίθμου ως προς την απόφασή του σε σχέση με το βέλτιστο συνδυασμό. Η μελέτη του αλγορίθμου μπορεί να επεκταθεί μελλοντικά με την απόδειξη και άλλων ιδιοτήτων με μη αθροιστική χρέωση. Τα πειραματικά αποτελέσματα της προσομοίωσης του αλγορίθμου ενθαρρύνουν την κατεύθυνση αυτή.

Ως προς το πρακτικό μέρος της εργασίας, η επέκτασή της μπορεί να περιλαμβάνει πειράματα εφαρμογής της όλης προσέγγισης με πραγματικούς χρήστες για διάφορες τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών. Μια τέτοια πρώτη δοκιμή έγινε γίνει στα πλαίσια του έργου MONTAGE [1], με ενθαρρυντικά αλλά όχι πλήρη αποτελέσματα.

Βιβλιογραφία

[1] AC325 project MONTAGE: Mobile intelligent agents in accounting, charging, and personal mobility support.

[2] Αννα Η. Κυρίκογλου. *Αποδοτική Χρέωση και Αυτόματη Επιλογή Συνδυασμένης Υπηρεσίας Frame Relay.* Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Κρήτης, Διατριβή Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης, Οκτώβριος, 1999.

[3] Rajarshi Gupta. Webtp: A user-centric receiver-driven web transport protocol. Master's thesis, Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of California, Berkeley, Fall 1998.

[4] G. Linden, S. Hanks, and N. Lesh. Interactive assessment of user preference models: The automated travel assistant. In Anthony Jameson, Cécile Paris, and Carlo Tasso, editors, *Proceedings of the 6th International Conference on User Modeling (UM-97)*, volume 383 of *CISM*, pages 67–78, Wien, June 02–05 1997. Springer.

[5] E. Knightly H. Zhang. Red-vbr: A renegotiation-based approach to support delay-sensitive vbr video. *ACM/Springer-Verlag Multimedia Systems Journal*, 3:164–176, May 1997.

[6] W. Almesberger, L. Chandran-Wadia, S. Giordani, J.-Y. Le Boudec, and R. Schmid. Using quality of service can be simple: Arequipa with renegotiable atm connections. *Computer Networks and ISDN Systems*, pages 2327–2336, 1998.

[7] R Andreassen and M Stoer. On-line traffic contract renegotiation for aggregated traffic. In *16th International Teletraffic Congress*, 1999.

[8] C.Courcoubetis, G.D. Stamoulis, C. Manolakis, and F.P. Kelly. An intelligent agent for optimizing qos-for-money in priced abr connections. *To appear in Telecommunication Systems, Special Issue on Network Economics*, 1998.

[9] The ATM Forum. Traffic management specification version 4.0. *AF-TM-0056.000*, April 1996. available at http://www.atmforum.com.

[10] Hal R. Varian. *Microeconomic Analysis*. W. W. Norton & Co., New York, NY, USA, third edition, 1991. Prepared with TEX.

[11] *Handbook of Social Psychology*, volume 1, chapter Decision-making and Decision Theory, pages 231–309. Random House, New York, third edition, 1985.

[12] P. Paranagama, F. Burstein, and D. Arnott. Modelling the personality of decision makers for active decision support. In Anthony Jameson, Cécile Paris, and Carlo Tasso, editors, *Proceedings of the 6th International Conference on User Modeling (UM-97)*, volume 383 of *CISM*, pages 79–82, Wien, June 02–05 1997. Springer.

[13] J. A. Hertz, A. Krogh, and R. G. Palmer. *Introduction to the Theory of Neural Computation*. Addison-Wesley Publishing Company, Redwood City, CA, 1991.

[14] C. Conati, A. S. Gertner, K. VanLehn, and M. J. Druzdzel. On-line student modeling for coached problem solving using Bayesian Networks. In Anthony Jameson, Cécile Paris, and Carlo Tasso, editors, *Proceedings of the 6th International Conference on User Modeling (UM-97)*, volume 383 of *CISM*, pages 231–242, Wien, June 02–05 1997. Springer.

[15] Ronald R. Yager and Lofti A. Zadeh, editors. *An Introduction to Fuzzy Logic - Aplications in Intelligent Systems*. Kluwer, Boston, 1992.

[16] Sanya Mitaim and Bart Kosko. Neural fuzzy agents for profile learning and object matching. In W. Lewis Johnson and Barbara Hayes-Roth, editors, *Proceedings of the First International Conference on Autonomous Agents (Agents'97)*, pages 544–545, New York, February 5–8, 1997. ACM Press.

[17] Leonardo Ambrosini, Vincenzo Cirillo, and Alessandro Micarelli. A hybrid architecture for user-adapted information filtering on the world wide web. In Anthony

Jameson, Cécile Paris, and Carlo Tasso, editors, *Proc. 6th Int. Conf. User Modeling, UM*. Springer-Verlag, 2–5 June 1997.

[18] J. Fink, A. Kobsa, and A. Nill. Adaptable and adaptive information access for all users, including the disabled and the elderly. In Anthony Jameson, Cécile Paris, and Carlo Tasso, editors, *Proceedings of the 6th International Conference on User Modeling (UM-97)*, volume 383 of *CISM*, pages 171–176, Wien, June 02–05 1997. Springer.

[19] R. I. W. Spooner and A. D. N. Edwards. User modelling for error recovery: A spelling checker for dyslexic users. In Anthony Jameson, Cécile Paris, and Carlo Tasso, editors, *Proceedings of the 6th International Conference on User Modeling (UM-97)*, volume 383 of *CISM*, pages 147–158, Wien, June 02–05 1997. Springer.

[20] Paul P. Maglio and Rob Barrett. How to build modeling agents to support web searchers. pages 5–16. 1997.

[21] M.Wooldridge and N.R. Jennings. Intelligent agents: Theory and practice. *The Knowledge Engineering Review*, 10(2):115–152, 1995.

[22] Adriana S. Vivacqua Henry Lieberman, Neil W. Van Dyke. Let's browse: A collaborative browsing agent. *Knowledge-Based Systems*, 12:427–431, December 1999.

[23] Neil W. Van Dyke, Henry Lieberman, and Pattie Maes. Butterfly: A conversation-finding agent for internet relay chat. In *Proceedings of the 1999 International Conference on Intelligent User Interfaces*, Information Retrieval Agents, pages 39–41, 1999.

[24] Alan Wexelblat. History-based tools for navigation. In IEEE Computer Society Press, editor, *Proceedings of the 32nd Hawaii International Conference on Systems Sciences (HICSS-32)*, 1999.

[25] Pattie Maes Nelson Minar, Kwin Kramer. Cooperating mobile agents for dynamic network routing. *Software Agents for Future Communications Systems*, 1999.

[26] Pattie Maes Nelson Minar, Kwin Kramer. Cooperating mobile agents for mapping networks. In *Proceedings of the First Hungarian National Conference on Agent Based Computation.*

[27] Pattie Maes, Robert H. Guttman, and Alexandros G. Moukas. Agents that buy and sell. *Communications of the ACM*, 42(3):81–91, March 1999.

[28] A. Chavez and P. Maes. Kasbah: An agent marketplace for buying and selling goods. In *First International Conference on the Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agent Technology*, pages 75–90, 1996.

[29] Geralg J. Tesauro and Jeffrey O. Kephart. Foresight-based pricing algorithms in an economy of software agents. In *Proceedings of the First International Conference on Information and Computational Economics*, Charleston, S.C., October 1998.

[30] *Distributed AI.* Morgan Kaufmann, second edition, 1987.

[31] Jennings N.R., Corera J.M., and Laresgoiti I. Developing industrial multiagent systems. In *Proceedings of the First International Conference on Multi-agent Systems*, pages 423–430, 1995.

[32] Γεώργιος Χ. Χαλκιαδάκης. *Αρχιτεκτονική Πρακτόρων για τη Διενέργεια Ψηφοφοριών.* Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Κρήτης, Διατριβή Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης, Οκτώβριος, 1999.

[33] *Video Demystified: A Handbook for the Digital Engineer.* High Text Publications Inc, second edition, 1998.

[34] J. Reynolds J. Postel. File transfer protocol. *IETF*, October 1985. Available at http://www.ietf.org/rfc/rfc0959.txt.

[35] George D. Stamoulis, Dimitrios E. Kalopsikakis, Anna Kyrikoglou, and Costas Courcoubetis. Efficient agent-based negotiation for telecommunication services, in preparation, erlier version presented in GLOBECOM. Rio de Janeiro, Brazil, December 1999.

[36] Frame Relay Forum. The basic guide to Frame Relay Networking, 1998. http://www.frforum.com.

[37] Internet Engineering Task Force. http://www.ietf.org.