

Ζητήματα και Αλγόριθμοι Διαχείρισης Φήμης για Βέλτιστη Ωφελιμότητα σε Peer-to-Peer Δίκτυα.

Γιώργος Ιωσηφίδης.
Επιβλέπων: κ. Ιορδάνης Κουτσόπουλος

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τμήμα Μηχανικών Η/Υ, Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων

10 Ματίου 2007



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 5224/1

Ημερ. Εισ.: 27-09-2007

Δωρεά: Συγγραφέα

Ταξιθετικός Κωδικός: Δ

004.6

ΙΩΣ

Ζητήματα και Αλγόριθμοι Διαχείρισης Φήμης για Βέλτιστη Ωφελιμότητα σε Peer-to-Peer Δίκτυα.

Γιώργος Ιωσηφίδης.
Επιβλέπων: κ. Ιορδάνης Κουτσόπουλος

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τμήμα Μηχανικών Η/Υ, Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων

10 Μαρτίου 2007

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Ιορδάνη Κουτσόπουλο για τη στενή καθοδήγηση και τη συμπαράσταση που μου προσέφερε καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αυτής. Η συνεργασία μας υπήρξε για μένα μία εξέχουσα διδακτική εμπειρία τόσο στο γνωστικό αντικείμενο των σύγχρονων δικτύων επικοινωνίας όσο και στη γενικότερη αντιμετώπιση επιστημονικών προβλημάτων με συστηματικό τρόπο, μεθοδικότητα, υπομονή και επιμονή.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δημήτρη Καραμπατζάκη, υποψήφιο Διδάκτορα του τμήματος και επιστήθιο φίλο μου τα τελευταία 22 χρόνια, χωρίς την παρότρυνση του οποίου δεν θα συμμετείχα στο συγκεκριμένο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα. Η συναναστροφή μαζί του και οι συζητήσεις μας αποτέλεσαν το έναυσμα για αυτή την προσπάθεια ενώ η υποστήριξη που μου παρείχε υπήρξε καθοριστική για την ολοκλήρωσή της.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	4
1.1	Βασικές Έννοιες στα Peer - to - Peer Συστήματα	4
1.2	Σύντομη επισκόπηση εφαρμογών και αρχιτεκτονικών	6
1.3	Το Πρόβλημα του Free Riding	8
1.4	Υφιστάμενες Μέθοδοι Αντιμετώπισης του Προβλήματος	9
2	Επισκόπηση Βιβλιογραφίας	13
2.1	Εισαγωγή	13
2.2	Κριότερες Εργασίες	14
2.2.1	S. Buchegger και J.Y.Boudec	14
2.2.2	G.Molina et al.	15
2.2.3	M. Feldman, I. Stoica et al.	16
2.2.4	R.T.B. Ma, et al.	17
2.2.5	B. Mortazavi και G. Kesidis	18
2.3	Συναφείς Εργασίες και αντίστοιχα αποτελέσματα	19
3	Μοντέλο 1	22
3.1	Εισαγωγή	22
3.2	Μοντέλο Συστήματος	23
3.3	Το Πρόβλημα Βελτιστοποίησης και ο Μηχανισμός Υπολογισμού του Reputation	25
3.4	Προσομοίωση	28
3.5	Συμπεράσματα και Επεκτάσεις	29
4	Δυϊκοί Αλγόριθμοι	34
4.1	Εισαγωγή	34
4.2	Θεωρία Βελτιστοποίησης Lagrange Duality	34
4.3	Ορισμός του προβλήματος και του μοντέλου	35
4.4	Παρουσίαση του πρώτου Δυϊκού Αλγορίθμου (Αλγόριθμος 2).	37
4.5	Αντιμετώπιση του Free Riding	39
4.6	Προσομοίωση	40
4.7	Παρουσίαση του δεύτερου Δυϊκού Αλγορίθμου (Αλγόριθμος 3).	44
4.8	Συμπεράσματα	47

5	Τελικά Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις	49
5.1	Εισαγωγή	49
5.2	Εφαρμογή αποτελεσμάτων της Θεωρίας Παιγνίων	51
5.3	Επέκταση σε άλλες κατηγορίες P2P συστημάτων	53
5.4	Επέκταση στα Δίκτυα Ad-hoc	53

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Βασικές Έννοιες στα Peer - to - Peer Συστήματα

Ο όρος "peer - to - peer", με τη σύγχρονη έννοιά του, εισήχθει στο λεξιλόγιό μας το έτος 2000 για να περιγράψει δίτυτα στα οποία οι τελικοί χρήστες (end users) μπορούν εθελούσια να συνεισφέρουν τα αρχεία, την επεξεργαστική ισχύ ή οποιονδήποτε άλλο πόρο τους, σε κάποιο κοινό σκοπό. Εκτός από τις πολύ ενδιαφέρουσες τεχνικές επεκτάσεις αυτής της νέας σκέψης - προσέγγισης, ιδιαίτερα σημαντικό από κοινωνικής άποψης, είναι το γεγονός ότι με αυτό τον τρόπο παραδίδεται κατά κάποιο τρόπο, στους απλούς τελικούς χρήστες ο έλεγχος του διαδικτύου και γενικότερα των δικτύων επικοινωνίας. Είναι όμως, τόσο νέα και πρωτοεμφανιζόμενη αυτή η ιδέα?

Το ίδιο το Διαδίκτυο, όπως αρχικά είχε οριστεί και υλοποιηθεί, ήταν ένα Peer - to - Peer σύστημα. Σκοπός του ARPANET ήταν ο διαμοιρασμός των υπολογιστικών πόρων κατά μήκος των Η.Π.Α. με την μεγαλύτερη πρόκληση να είναι η ενοποίηση των διαφορετικών δικτύων υπό μία κοινή αρχιτεκτονική που θα επέτρεπε κάθε κόμβο να συμμετέχει σε αυτό με ίσους όρους και όχι μέσω μίας σχέσης εξυπηρετητή - πελάτη. Στην ελευθερία αυτή, συντελούσε και η απουσία οποιουδήποτε ελέγχου του διαδικτύου μέσω πυλών προστασίας ή παρόμοιων τεχνικών που χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα για λόγους ασφάλειας. Με αυτή τη μορφή του, το διαδίκτυο αποτελούσε ουσιαστικά έναν διαμοιραζόμενο πόρο όπου οι κόμβοι, ανεξάρτητοι και αυτόνομοι, συνεργάζονταν και επικοινωνούσαν ελεύθερα προκειμένου να ικανοποιήσουν τις ανάγκες τους. Η ομοιογένεια και η απλότητα αποτελούσαν τον καλύτερο εγγυητή της δημοκρατικής και εντελώς ελεύθερης λειτουργίας του διαδικτύου.

Με την πάροδο του χρόνου οι χρήστες του διαδικτύου αυξήθηκαν με ρυθμούς που οι σχεδιαστές του δεν ήταν καν σε θέση να φανταστούν. Επεκτάθηκε γεωγραφικά αλλά και λειτουργικά, ενσωματώνοντας πολλούς νέους κόμβους σε όλη την επικράτεια και πλήθος εφαρμογών που σχεδιάζονταν για να εξυπηρετήσουν τις αυξανόμενες ανάγκες επικοινωνίας του σύγχρονου ανθρώπου. Στα μέσα της δεκαετίας του 1990 είχε ήδη γίνει η μεγάλη πληθυσμιακή έκρηξη των χρηστών και πολλές νέες δραστηριότητες, οικονομικής, κοινωνικής και πολιτικής φύσεως πραγματοποιούνταν στο χώρο του διαδικτύου, στον κυβερνοχώρο.

Η διδιάστατη αυτή εξάπλωση, σε κόμβους και λειτουργίες, που χαρακτηρίστηκε από πολλούς και ως η έλευση του εμπορικού διαδικτύου, οδήγησε στην αναπροσαρμογή του μοντέλου με το οποίο αυτό λειτουργούσε. Χρησιμοποιήθηκαν νέοι τρόποι για τη διευθυνσιοδότηση και την επικοινωνία μεταξύ των κόμβων, υιοθετήθηκαν τεχνικές ασφάλειας (Firewalls, Network Access Providers κ.α.) που αναπόφευκτα περιόρισαν την ελεύθερη πρόσβαση σε ολόκληρο το

διαδίκτυο και εμφανίστηκε μία νέα αρχιτεκτονική γνωστή ως αρχιτεκτονική πελάτη - εξυπηρετητή, όπου ορισμένοι κόμβοι αναλάμβαναν ειδικές λειτουργίες και αποκοτούσαν προνόμια διαχείρισης και πρόσβασης σε πόρους. Το FTP και το TELNET υπήρξαν δύο από τις πρώτες εφαρμογές που υιοθέτησαν αυτή την αρχιτεκτονική. Με την πάροδο του χρόνου, το διαδίκτυο κατέληξε να αποτελείται από εκατομμύρια χρηστών που λειτουργούν ως καταναλωτές - πελάτες και προσπαθούν να επικοινωνήσουν με ένα πολύ μικρό σύνολο προνομούχων κόμβων που εξυπηρετούν τις ανάγκες τους, πληρώνοντας στις περισσότερες περιπτώσεων το κατάλληλο αντίτιμο.

Στις αρχές του 21ου αιώνα, η παραπάνω κατάσταση ήταν πλήρως παγιωμένη και φαινόταν αδύνατο να ανατραπεί. Οι νέοι χρήστες του διαδικτύου οι οποίοι δεν είχαν βιώσει την ελεύθερη πρόσβαση στα χρόνια του ARPANET, ήταν εξοικειωμένοι με τον έλεγχο από τους εξυπηρετητές. Οι περισσότεροι από αυτούς περιορίζονταν σε έναν παθητικό ρόλο όπου η χρησιμοποίηση της ηλεκτρονικής αλληλογραφίας και η πλοήγηση στις ιστοσελίδες ήταν σχεδόν οι μοναδικές λειτουργίες που επιτελούσαν. Ωστόσο, στα μέσα του 2000 συντελέστηκε μία πολύ μεγάλη αλλαγή η οποία κατάφερε, όπως αποδείχτηκε εκ των υστέρων, να ανατρέψει σε μεγάλο βαθμό το μοντέλο λειτουργίας του διαδικτύου. Το Napster, μία εφαρμογή διαμοιρασμού μουσικών αρχείων, αποτέλεσε την πρώτη ευρέως διαδεδομένη από τις εφαρμογές που περιγράφονται σήμερα με τον όρο "Peer - to - Peer" (P2P).

Η μεγάλη συνεισφορά του Napster έγκειται στο γεγονός ότι επέτρεπε στους χρήστες να ανταλλάσσουν μεταξύ τους μουσικά αρχεία χωρίς να καθορίζει κάποιος τρίτος φορέας τις υποχρεώσεις και τα δικαιώματά τους. Η λειτουργία του ήταν πολύ απλή. Κάθε χρήστης, μέσω μίας απλής εφαρμογής που εγκαθιστούσε στον κόμβο του, ενημέρωνε έναν κεντρικό υπολογιστή με έναν κατάλογο (index) των μουσικών αρχείων που ήταν διατεθειμένος να ανταλλάξει. Όταν κάποιος χρήστης αναζητούσε ένα αρχείο, εύρισκε τους κόμβους που το διέθεταν μέσω αυτού του κεντρικού καταλόγου και στη συνέχεια επέλεγε κάποιον υποψήφιο προκειμένου να το ζητήσει. Με αυτό τον τρόπο, ο τελικός χρήστης αποτελούσε ένα ενεργό στοιχείο που εκτελούσε λειτουργίες κατά βούληση οι οποίες εξυπηρετούσαν τις δικές του ανάγκες αλλά διαμόρφωναν έμμεσα και το ίδιο το διαδίκτυο. Μία νέα οδός, αυτή της ενεργητικής συμμετοχής και της εκμετάλλευσης των πόρων άλλων κόμβων άμεσα και με μοναδική προϋπόθεση τη δική τους συγκατάθεση, διαφάνηκε σύντομα μετά την έναρξη λειτουργίας του Napster.

Αυτό υπήρξε το πρώτο βήμα προς μία ταχύτερη πορεία προς τα συστήματα που περιγράφουμε σήμερα με τον όρο P2P. Τα συστήματα αυτά αποτελούν ουσιαστικά ένα νέο τρόπο οργάνωσης και ανάπτυξης της δικτυακής επικοινωνίας που έχει επιφέρει σημαντικές αλλαγές τόσο από τεχνολογική όσο και από κοινωνική άποψη. Κάθε κόμβος καλείται να αναλάβει το ρόλο του πελάτη και του εξυπηρετητή ταυτόχρονα, καταναλώνοντας και ενισχύοντας τους πόρους του συστήματος αντίστοιχα. Επιπλέον, η προσφορά πόρων δεν προκαθορίζεται από κάποιον κεντρικό κόμβο αλλά κάθε ομότιμος κόμβος (Peer) είναι ελεύθερος να καθορίσει αυτός το επίπεδο της συνεισφοράς του. Οι Peers δεν είναι ενσωματωμένοι στον κύριο κορμό του διαδικτύου, βρίσκονται εκτός της βασικής υπηρεσίας DNS, και έτσι έχουν πλήρη αυτονομία - ανεξαρτησία από τους κεντρικούς διακομιστές. Πέραν από αυτή την ελευθερία, τα P2P συστήματα έχουν πολλά τεχνικά πλεονεκτήματα όπως είναι η μεγάλη επεκτασιμότητά τους, η ευρωστία τους, η ανοχή τους σε βλάβες κ.α., που τα καθιστούν ακόμα πιο δημοφιλή. Ουσιαστικά, συντελέστηκε μία στροφή προς τον αρχικό τρόπο λειτουργίας του διαδικτύου.

1.2 Σύντομη επισκόπηση εφαρμογών και αρχιτεκτονικών

Σήμερα, υπάρχει πλέον ένα πολύ μεγάλο πλήθος εφαρμογών και συστημάτων, πολλές φορές αρκετά ετερόκλητων μεταξύ τους, για την περιγραφή των οποίων χρησιμοποιείται ο όρος P2P. Προκειμένου να γίνουν αντιληπτά τα προβλήματα των συστημάτων και οι προτεινόμενες για αυτά λύσεις που θα παρουσιαστούν στη συνέχεια, οφείλουμε σε αυτό το σημείο να επιχειρήσουμε μία σύντομη ταξινόμηση τους. Μία περισσότερο εκτεταμένη ανάλυση υπάρχει στο [2] για τον ενδιαφερόμενο αναγνώστη.

Καταρχήν, έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον το πλήθος των διαφορετικών εφαρμογών, άρα και αναγκών των χρηστών, που χρησιμοποιούν την ιδέα των P2P συστημάτων. Ακολούθως, αναφέρουμε τις κατηγορίες στις οποίες μπορούν να ταξινομηθούν τα συστήματα αυτά, ανάλογα με την ανάγκη που καλύπτουν, βάσει δηλαδή του επιπέδου εφαρμογής.

A. Επικοινωνία και Συνεργασία (Communication και Collaboration).

Υπάρχουν συστήματα τα οποία παρέχουν τη δυνατότητα για άμεση και απευθείας, πραγματικού χρόνου, επικοινωνία μεταξύ των κόμβων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι εφαρμογές αποστολής μηνυμάτων (instant messaging) όπως είναι το Icq, το Yahoo Msn, το Jabber κ.α., αλλά και πιο σύγχρονες όπως η εφαρμογή Skype που παρέχει τη δυνατότητα μετάδοσης φωνής (Voice over IP).

B. Κατανεμημένοι Υπολογισμοί (Distributed Computation).

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν συστήματα τα οποία εκμεταλλεύονται τον αδρανή χρόνο στους επεξεργαστές των κόμβων προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για την εκπόνηση πολύπλοκων και απαιτητικών υπολογισμών. Τα συστήματα Seti@home και genome@home είναι δύο τέτοιες εφαρμογές.

Γ. Υπηρεσίες Υποστήριξης του Διαδικτύου (Internet Service Support).

Ένας νέος τομέας εκμετάλλευσης των συστημάτων P2P είναι οι εφαρμογές που βασίζονται σε αυτή τη τεχνολογία προκειμένου να υλοποιήσουν ορισμένες υπηρεσίες σχετικά με το διαδίκτυο. Τέτοιες υπηρεσίες μπορεί να είναι τα P2P συστήματα πολυεκπομπής και η προστασία για επιθέσεις denial of service ή, γενικότερα, επιθέσεις ιών.

Δ. Συστήματα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων (Database Systems).

Σημαντική δουλειά έχει γίνει και στη σχεδίαση κατανεμημένων βάσεων δεδομένων οι οποίες βασίζονται και χρησιμοποιούν την τεχνολογία P2P. Το Pier είναι μία μηχανή υποβολής κατανεμημένων ερωτημάτων πάνω από ένα P2P δίκτυο και συνεπώς επιτρέπει την αναζήτηση δεδομένων ταυτόχρονα σε χιλιάδες υπολογιστές. Ένα άλλο τέτοιο σύστημα είναι το Piazza, το οποίο παρέχει την υποδομή για την υλοποίηση semantic web εφαρμογών με κόμβους που παρέχουν είτε δεδομένα είτε μεταδεδομένα.

Ε. Διανομή Περιεχομένου (Content Distribution).

Η πιο διαδεδομένη χρήση των P2P συστημάτων, όπως άλλωστε και η "γενέθλια" εφαρμογή τους, είναι οι εφαρμογές διανομής περιεχομένου (content distribution). Στην κατηγορία αυτή ανήκουν εφαρμογές και υποδομές για το διαμοιρασμό ψηφιακών δεδομένων, όπως αρχεία μουσικής κ.α., που εκτείνονται από την απλή περίπτωση της απευθείας ανταλλαγής αρχείων μέχρι τα πλέον σύνθετα συστήματα που χρησιμοποιούν την κατανεμημένη αποθήκευση για λόγους ασφάλειας και αποτελεσματικής διαχείρισης δεδομένων πολύ μεγάλου μεγέθους. Το Napster υπήρξε το πρώτο τέτοιο P2P σύστημα και ακολουθήσε πλήθος άλλων όπως είναι τα Gnutella, KaZaA, eDonkey, BitTorrent, Chord, Scan κ.α.

Εκτός από τη διαφορετική ανάγκη που εξυπηρετούν τα P2P συστήματα ένα άλλο σημείο στο οποίο διαφοροποιούνται μεταξύ τους είναι η αρχιτεκτονική τους και συγκεκριμένα ο βαθμός στον οποίο είναι αποκεντρωμένα. Παρόλο που ο όρος P2P παραπέμπει σε συστήματα όπου οι τελικοί χρήστες αποτελούν ισόδυναμους κόμβους σε κάποια από αυτά τα συστήματα εισάγεται η έννοια του υπέρ-κόμβου που έχει αυξημένες δυνατότητες και εκτελεί ορισμένες πρόσθετες λειτουργίες για την εξυπηρέτηση των αναγκών του δικτύου. Συνεπώς, είναι δυνατό να διαχωριστούν τα P2P συστήματα σε **πλήρως αποκεντρωμένα** (decentralized), όπως είναι το Gnutella, σε **μερικώς κεντρικοποιημένα** που χρησιμοποιούν ειδικούς υπέρ-κόμβους, όπως είναι το seti@home, και σε **υβριδικά** στα οποία χρησιμοποιούνται ειδικοί διακομιστές για να διευκολύνουν την επικοινωνία μεταξύ των υπόλοιπων ομότιμων κόμβων (peer-through-peer ή broker mediated).

Ίσως το πιο σημαντικό κριτήριο ταξινόμησης των P2P συστημάτων είναι η ίδια η δομή τους, όπως αυτή καθορίζεται από την ταξινόμηση των νέων κόμβων και των νέων πληροφοριών που μπορεί να γίνεται είτε με τυχαίο (ad hoc) τρόπο, είτε ακολουθώντας ορισμένους κανόνες. Στην πρώτη περίπτωση προκύπτουν τα **μη δομημένα** (unstructured) συστήματα, ενώ στη δεύτερη τα **δομημένα** (structured) P2P συστήματα.

A. Μη δομημένα (Unstructured) P2P συστήματα.

Στα συστήματα αυτά, τα αρχεία και γενικότερα το σύνολο της πληροφορίας τοποθετείται με τυχαίο και μη προκαθορισμένο τρόπο. Για αυτό το λόγο, είναι πιο κατάλληλα για εφαρμογές όπου οι κόμβοι συνδέονται και αποσυνδέονται με μεγάλη ταχύτητα στο δίκτυο και συνεπώς αλλάζει γρήγορα η δομή και το περιεχόμενό τους. Ωστόσο, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ένα αρχείο απαιτείται ο εντοπισμός του ο οποίος υλοποιείται με την εκτέλεση ενός συγκεκριμένου αλγορίθμου κάθε φορά, ανάλογα με το σύστημα. Η απλότητα στη διαδικασία ένταξης των κόμβων συνδυάζεται αναπόφευκτα με την πολυπλοκότητα στον εντοπισμό των πόρων και πολλές φορές με τα προβλήματα επέκτασης (scalability problems). Τέτοια συστήματα είναι τα Gnutella, KaZaA, eDonkey, BitTorrent κ.α.

B. Δομημένα (Structured) P2P συστήματα.

Η έλευση των δομημένων συστημάτων είχε ως στόχο την αντιμετώπιση των καθυστερήσεων στον εντοπισμό των αρχείων αλλά και των προβλημάτων επέκτασης των μη δομημένων. Στα συστήματα αυτά, η τοποθέτηση των αρχείων είναι ελεγχόμενη και γίνεται σύμφωνα με συγκεκριμένο πρωτόκολλο. Διατηρούνται, σε προκαθορισμένα σημεία, κατανεμημένοι πίνακες που περιέχουν δείκτες σε κάθε αρχείο που ανήκει στο σύστημα έτσι ώστε οι κόμβοι του να είναι σε θέση εύκολα και με αρκετά μεγάλη ταχύτητα να εντοπίζουν το ζητούμενο αρχείο. Ένα βασικό μειονέκτημα αυτών των συστημάτων αποτελεί το γεγονός ότι δεν λειτουργούν ιδιαίτερα

αποδοτικά σε περιβάλλοντα όπου οι κόμβοι μετακινούνται, συνδέονται και αποσυνδέονται με μεγάλη ταχύτητα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτής της κατηγορίας είναι τα συστήματα Chord, CAN, Tapestry, Pastry κ.α.

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας θα επικεντρωθούμε στα συστήματα που είναι πλήρως αποκεντρωμένα, δεν υπάρχει κανένας κεντρικός κόμβος που να επιτελεί ειδικές λειτουργίες, και απουσιάζει η οποιαδήποτε δόμηση και ταξινόμηση της πληροφορίας που περιέχεται σε αυτά. Ωστόσο, τα συμπεράσματά μπορούν απευθείας να επεκταθούν και στο σύνολο σχεδόν των υπόλοιπων συστημάτων, με μηδενικές ως ελάχιστες τροποποιήσεις στα προτεινόμενα μοντέλα ανάλυσής τους.

1.3 Το Πρόβλημα του Free Riding

Ο Δημοκρατικός τρόπος λειτουργίας και η ελευθερία που προσφέρουν τα P2P συστήματα στους συμμετέχοντες κόμβους είναι ίσως ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματά τους. Στον αντίποδα όλων των παραδοσιακών αρχιτεκτονικών δικτύων όπου κεντρικοί διακομιστές καθορίζουν πλήρως τους κανόνες λειτουργίας όλων των κόμβων, τα P2P συστήματα δίνουν το δικαίωμα στους κόμβους τους να επιλέξουν αν θα συμμετέχουν σε αυτά και με ποιο τρόπο, τόσο με ποιοτικά όσο και με ποσοτικά κριτήρια. Για αυτόν ακριβώς το λόγο, πολλές φορές αναφέρονται και με τον όρο "Δίκτυα εθελούσιου διαμοιρασμού πόρων" (Voluntary resource sharing networks).

Αυτό που διαφαίνεται ως το μεγαλύτερο πλεονέκτημά τους, ταυτόχρονα αποτελεί και το μεγαλύτερο πρόβλημα που καλούνται οι σχεδιαστές αυτών των συστημάτων να επιλύσουν. Η αποτελεσματικότητα των συστημάτων και ο βαθμός στον οποίο ικανοποιούν τις ανάγκες των κόμβων τους εξαρτάται από τη διάθεση των συμμετεχόντων κόμβων να συμμορφωθούν με το προτεινόμενο πρωτόκολλο και να συνεισφέρουν τους πόρους τους. Η σύντομη ιστορία των P2P συστημάτων έχει αποδείξει ότι η μεγάλη πλειονότητα των κόμβων, από τους δύο ρόλους του πελάτη - καταναλωτή και του εξυπηρετητή - παραγωγού πόρων, επιλέγουν συνήθως τον πρώτο προσπαθώντας αποκλειστικά να αυξήσουν το όφελός τους από τη συμμετοχή τους στο σύστημα. Η εγωιστική αυτή συμπεριφορά, η οποία στην ακραία μορφή της οδηγεί σε κόμβους που μόνο καταναλώνουν πόρους και προσφέρουν ελάχιστα στο υπόλοιπο σύστημα, είναι γνωστή με τον όρο "Free Riding". Στις περιπτώσεις όπου τέτοια συμπεριφορά χαρακτηρίζει μεγάλο ποσοστό των κόμβων περιορίζεται σημαντικά η απόδοση των συστημάτων με κίνδυνο ακόμα και την αυτοαναίρεσή τους.

Το παραπάνω φαινόμενο, το οποίο παρατηρείται έντονα στα P2P συστήματα, είναι γνωστό εδώ και δύο αιώνες περίπου και έχει μελετηθεί αρκετά και από άλλες επιστήμες όπως είναι η οικονομική επιστήμη και η επιστήμη της βιολογίας. Για να περιγραφεί, συχνά χρησιμοποιείται ο όρος "Tragedy of Commons". Ο όρος αυτός εισήχθη το 1968 στο ομώνυμο άρθρο του βιολόγου Garrett Hardin, [3], ενώ ως έννοια είχε παρουσιαστεί αρκετά χρόνια νωρίτερα, το 1739, από τον David Hume με την χαρακτηριστική του φράση:

"...If people respond only to private incentives, public goods will be underprovided and public resources over-utilized..."

Η ιδέα προήλθε από την παρατήρηση ότι οι πόροι που ανήκουν από κοινού σε ένα σύνολο αυτόνομων οντοτήτων πολύ συχνά απειλούνται με υπερεκμετάλλευση η οποία δύναται να οδηγήσει ακόμα και στην εξάλειψή τους, λόγω της εγωιστικής συμπεριφοράς των οντοτήτων αυτών που τείνουν να εκμεταλλευτούν τους κοινούς πόρους για ίδιον όφελος χωρίς να λαμβάνουν

υπόψη τους τις συνέπειες των πράξεών τους.

Από συστημική άποψη, το πρόβλημα αυτό αποτελεί ένα πρόβλημα κατανομής πόρων (resource allocation problem). Για την αντιμετώπισή του απαιτείται η ύπαρξη ενός μηχανισμού που θα καθορίζει ποιος από τους ανταγωνιζόμενους κόμβους θα έχει πρόσβαση στους επιθυμητούς διαμοιραζόμενους πόρους. Στην επιστήμη των υπολογιστών και των δικτύων το πρόβλημα αυτό εμφανίζεται συνήθως με τη μορφή του ανταγωνισμού για το δικαίωμα πρόσβασης σε αρχεία ή /και για την απόκτηση του μεγαλύτερου δυνατού εύρους ζώνης για τη σύνδεση με τους επιθυμητούς πόρους. Στα παραδοσιακά συστήματα, τέτοια προβλήματα επιλύονται εύκολα με το να καθίσταται κάθε κόμβος υπεύθυνος για τις επιλογές και τις ενέργειές του (accounting). Για παράδειγμα, η ταχύτητα πρόσβασης σε ένα δίκτυο καθορίζεται από το συμβόλαιο του κόμβου με τον πάροχο της σύνδεσης. Δεν είναι δυνατή οποιαδήποτε παρέκκλιση από τα προσημωνημένα. Ένα άλλο χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το ποσοστό του κοινού αποθηκευτικού χώρου που αντιστοιχεί σε κάθε κόμβο ενός δικτύου. Μέσω ενός μηχανισμού ελέγχου, κάθε κόμβος έχει δικαίωμα και υποχρέωση να χρησιμοποιήσει μόνο τον προκαθορισμένο χώρο, χωρίς να μπορεί να τον ξεπεράσει.

Συνεπώς, προκειμένου να αποφευχθεί η διασπάθιση των πόρων και για να είναι εφικτή η ελεγχόμενη πρόσβαση σε αυτούς, πρέπει να υπάρχει κάποιος κεντρικός μηχανισμός ο οποίος να ασκεί τον απαραίτητο έλεγχο, όπως προαναφέρθηκε και επιπλέον οι κόμβοι να έχουν ένα συγκεκριμένο αναγνωριστικό που να τους κάνει διακριτούς. Και οι δύο αυτές προϋποθέσεις εκλείπουν από τα περισσότερα P2P συστήματα. Η απαίτηση για ανωνυμία και για απουσία σχεδόν οποιουδήποτε ελέγχου είναι δύο από τις βασικές "διακηρύξεις" της δημιουργίας των P2P συστημάτων και ως εκ τούτου η διατήρησή τους μοιάζει αδιαπραγμάτευτη. Ταυτόχρονα, επιπλέον τεχνικά προβλήματα για τον έλεγχο των πόρων προκύπτουν από το γεγονός ότι η πρόσβαση στα συστήματα αυτά είναι εύκολη και μη ελεγχόμενη με αποτέλεσμα η διαμόρφωσή τους να αλλάζει ταχύτατα. Κόμβοι προστίθενται και απομακρύνονται πολύ γρήγορα μεταβάλλοντας ποιοτικά και ποσοτικά το περιεχόμενο των P2P συστημάτων. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον, δεν είναι εφικτός ο έλεγχος των πόρων του συστήματος με την εφαρμογή των παραδοσιακών μεθόδων.

Το μέγεθος του προβλήματος διαφάνηκε πολύ γρήγορα και από τις πρώτες πειραματικές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν. Το έτος 2000, πολύ σύντομα από την αρχή εξάπλωσης των P2P δικτύων, πραγματοποιήθηκε μία μελέτη για το φαινόμενο του Free Riding στο Gnutella, από τους Adar και Huberman, [4], η οποία κατέδειξε ότι περίπου 70% των κόμβων δε συνέισφερε κανένα αρχείο, ενώ μόλις το 1% των κόμβων παρείχε το 37% του συνόλου των διαθέσιμων αρχείων. Πολλές παρόμοιες μελέτες επιβεβαίωσαν το μέγεθος του προβλήματος το οποίο διογκώνεται όπως προαύπτει και από αντίστοιχη μελέτη που πραγματοποιήθηκε το 2005, [5], η οποία καταμέτρησε το ποσοστό των Free Riders στο 85% του συνόλου των κόμβων. Έγινε σύντομα σαφές ότι οι σχεδιαστές των P2P συστημάτων πρέπει να μελετήσουν και να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα αυτό προκειμένου να υπερασπιστούν τα χαρακτηριστικά των συστημάτων αυτών που τα έκαναν τόσο δημοφιλή και να αποφύγουν την αυτοαναιρέσή τους.

1.4 Υφιστάμενες Μέθοδοι Αντιμετώπισης του Προβλήματος

Παρόλο που το φαινόμενο του Free Riding παρουσιάστηκε πολύ γρήγορα και το μέγεθος των συνεπειών του διαφάνηκε στην πράξη αλλά και μέσω στατιστικών μελετών, τα πρώτα P2P συστήματα δεν είχαν κάποιο μηχανισμό για να το αντιμετωπίσουν. Ωστόσο, οι σχεδιαστές αυτών των συστημάτων προσπάθησαν να τα θωρακίσουν είτε με απλούς μηχανισμούς είτε

με πιο σύνθετους που, πολλές φορές, ήταν αρκετά μακριά από την αρχική λογική των P2P. Έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η παρουσίαση των βασικών χαρακτηριστικών ορισμένων εκ των πλέον σημαντικών P2P συστημάτων και η εξέταση του τρόπου με τον οποίο προσπαθούν να αντιμετωπίσουν το υπόψη πρόβλημα.

A. Napster

Το Napster παρόλο που ουσιαστικά εισήγαγε την όρο Peer-to-Peer με την έννοια που υπάρχει σήμερα, λειτουργεί με τη βοήθεια κάποιων υπέρ-κόμβων που χρησιμοποιούνται ως κεντρικά ευρετήρια για την αναζήτηση των πόρων στους κόμβους του συστήματος. Συνεπώς, θα λέγαμε ότι είναι μερικώς αποκεντρωμένο. Ως ένα από τα πρώτα P2P συστήματα ανταλλαγής αρχείων, δεν συμπεριλαμβάνει κανένα μηχανισμό για τον περιορισμό του προβλήματος του Free Riding.

B. Gnutella

Αντίθετα με το Napster, το Gnutella είναι ένα πλήρως αποκεντρωμένο σύστημα όπου τόσο η αναζήτηση όσο και η ανταλλαγή αρχείων γίνεται απευθείας μεταξύ πλήρως ισότιμων κόμβων χωρίς να παρεμβαίνει κάποιος ενδιάμεσος. Ούτε το Gnutella χρησιμοποιεί κάποιο μηχανισμό για την αποτροπή των κόμβων να λειτουργήσουν εγωιστικά, με αποτέλεσμα τις προαναφερθείσες στατιστικές για το φαινόμενο του Free Riding. Παρόλο αυτά, παραμένει μέχρι και σήμερα ένα από τα πλέον δημοφιλή συστήματα και αριθμεί πάνω από 2 εκατομμύρια κόμβους.

Γ. Mojo Nation

Υπήρξε ένα από τα πρώτα συστήματα που επείρασαν να εφαρμόσουν ένα πιο σύνθετο μηχανισμό εισάγοντας την έννοια του "εικονικού" νομίσματος. Για να αποκτήσει ένας κόμβος Mojo, όπως ονομάστηκε το νόμισμα αυτό, πρέπει να συνεισφέρει στο σύστημα προσφέροντας αποθηκευτικό χώρο, προωθώντας μηνύματα άλλων κόμβων, βοηθώντας στην αναζήτηση αρχείων κ.λπ. Το ποσό από Mojo μπορεί στη συνέχεια να εξαργυρωθεί προκειμένου να επιτραπεί στον κόμβο που το κατέχει να αποκτήσει τα επιθυμητά αρχεία. Το μεγάλο μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης συνίσταται στην αναγκαιότητα ύπαρξης μιας σημαντικής υποδομής για τον έλεγχο του εικονικού νομίσματος και των δοσοληψιών που γίνονται με αυτό.

Δ. eDonkey/eMule

Το eMule, το οποίο εφαρμόζει το πρωτόκολλο του eDonkey, χρησιμοποιεί ένα απλό "πίστωτικό" (credit) σύστημα προκειμένου να προτρέψει τους κόμβους να συνεισφέρουν στο σύστημα παρέχοντας τα αρχεία που τους ζητούνται. Η λειτουργία του είναι ιδιαίτερα απλή. Όταν ο Peer A παρέχει στον Peer B ένα αρχείο, ο δεύτερος ανανεώνει την πίστωση για τον πρώτο, ανάλογα με το μέγεθος του αρχείου που απέκτησε. Αυτή η "πίστωση" που κέρδισε ο A, είναι τοπική στον κόμβο B, και δεν αφορά το συνολικό σύστημα. Συνεπώς, μπορεί να "εξαργυρωθεί" μόνο όταν ο κόμβος A απευθυνθεί στον B για να αποκτήσει κάποιο αρχείο. Η "πίστωση" του κόμβου A στον B ορίζεται ως ο λόγος του μεγέθους των αρχείων που παρέχει ο A στον B προς το μέγεθος των αρχείων που έχει αποκτήσει ο A από τον B.

$$Ratio_{AB} = \frac{TotalUpload_{AB}[MByte] * 2}{TotalDownload_{AB}[MByte]} \quad (1.1)$$

Η "πίσωση" αυτή αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου έτσι ώστε μεταξύ δύο κόμβων, Α και Β, όπου ισχύει $Ratio_{AB} = Ratio_{BA}$, να έχει προτεραιότητα αυτός που περιμένει το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

$$Rating = \frac{Ratio * WaitingTime[s]}{100} \quad (1.2)$$

Ουσιαστικά πρόκειται για ένα μέτρο της λειτουργίας των κόμβων ως πελάτες και ως εξυπηρετητές το οποίο διατηρείται τοπικά σε κάθε κόμβο για κάθε άλλο κόμβο με τον οποίο έχει αλληλεπιδράσει. Το κριτήριο αυτό δεν καθορίζει την ταχύτητα με την οποία οι κόμβοι επιτρέπουν στους υποψήφιους πελάτες τους να κατεβάσουν αρχεία, ούτε και καθορίζει αν τελικά θα τους το επιτρέψουν ή όχι. Απλά, ανάλογα με την πίσωση που διαθέτει ένας κόμβος, τοποθετείται στην αντίστοιχη θέση στην ουρά αναμονής για την απόκτηση του αρχείου.

E. FastTrack/KaZaA

Το KaZaA λειτούργησε το 2001, λίγο προτού διακοπεί η λειτουργία του Napster, και υπήρξε το πιο δημοφιλές σύστημα στα μέσα του 2003. Είναι ένα μερικώς αποκεντρωμένο σύστημα αφού χρησιμοποιεί μερικούς υπέρ-κόμβους που επιτελούν ειδικές λειτουργίες. Για να αντιμετωπίσει το φαινόμενο του Free Riding χρησιμοποιεί ένα παρόμοιο μηχανισμό με αυτόν του eMule. Συγκεκριμένα, σε κάθε κόμβο αντιστοιχεί ένα μέγεθος που εκφράζει το επίπεδο συνεισφοράς - συμμετοχής του στο σύστημα. Το μέγεθος αυτό, ορίζεται ως ο λόγος του μεγέθους των αρχείων που έχει συνεισφέρει ο κόμβος στο δίκτυο προς το μέγεθος των αρχείων που έχει αποκομίσει από αυτό. Υπολογίζεται από ειδικούς υπέρ-κόμβους και είναι μοναδικό για κάθε κόμβο, σε αντίθεση με το eMule όπου, όπως προαναφέρθηκε, κάθε κόμβος διατηρεί τη δική του "άποψη" για κάθε άλλο κόμβο με τον οποίο έχει συνεργαστεί. Το επίπεδο συμμετοχής κάθε κόμβου καθορίζει το εύρος των κόμβων στους οποίους μπορεί να αναζητήσει τα αρχεία ενδιαφέροντός του (query Time To Live) και όχι την προτεραιότητά του στην ουρά αναμονής, όπως συμβαίνει στο eMule. Το βασικό μειονέκτημα αυτού του συστήματος έγκειται στην ευκολία παραβίασής του, δεδομένου ότι το μέγεθος που καθορίζει τη συνεισφορά του κάθε κόμβου αποθηκεύεται στον ίδιο τον κόμβο και συνεπώς είναι εκτεθειμένο και εύκολα παραβιάσιμο.

ΣΤ. BitTorrent

Πρόκειται για το πιο σύνθετο σύστημα και ως προς τη λειτουργία του αλλά και ως προς τους μηχανισμούς που χρησιμοποιεί για να ενθαρρύνει τους κόμβους να συνεισφέρουν. Είναι το πρώτο σύστημα που χρησιμοποιεί και εφαρμόζει έννοιες από τη Θεωρία Παιγνίων και το οποίο ορίζει ως μέτρο συνεισφοράς κάθε κόμβου το εύρος ζώνης που αυτός παραχωρεί για τις ανάγκες των υπολοίπων κόμβων και όχι τον όγκο δεδομένων που έχει συνολικά συνεισφέρει.

Το BitTorrent λειτουργεί με ομάδες χρηστών, γνωστές και ως "swarms" οι οποίοι έχουν κοινό ενδιαφέρον για ένα συγκεκριμένο αρχείο και συνεργάζονται προκειμένου να το αποκτήσουν το ταχύτερο δυνατό. Για κάθε αρχείο που υπάρχει διαθέσιμο στο σύστημα, έχει δημιουργηθεί ένα άλλο ειδικό αρχείο, "torrent file", το οποίο έχει τις απαραίτητες πληροφορίες - metadata - προκειμένου να είναι εφικτή η απόκτηση του βασικού αρχείου από τους κόμβους που ενδιαφέρονται. Η πιο σημαντική από αυτές τις πληροφορίες είναι η διεύθυνση του "tracker", του κόμβου ο οποίος διαχειρίζεται την ομάδα των κόμβων (swarm) για αυτό το αρχείο. Τα αρχεία ενδιαφέροντος, διασπώνται σε μικρότερα τμήματα, τα οποία είναι γνωστά με τον όρο "chunks", έτσι ώστε όταν ένας κόμβος αποκτήσει ένα τμήμα να είναι δυνατή η διάθεσή του στους

υπόλοιπους ενδιαφερόμενους κόμβους, αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο τη ταχύτητα μεταφοράς συνολικά του αρχείου.

Όταν ένας κόμβος ενημερώνεται, από τον "tracker", για τους υπόλοιπους κόμβους που ενδιαφέρονται για το ίδιο με αυτόν αρχείο, επικοινωνεί μαζί τους προκειμένου να συντονιστούν για το ποια τμήματα του αρχείου διαθέτει ήδη ο καθένας και ποια χρειάζεται έτσι ώστε να ξεκινήσει η ανταλλαγή των υπολειπόμενων για τον κάθε κόμβο τμημάτων του αρχείου. Με δεδομένο ότι το διαθέσιμο εύρος ζώνης για τη σύνδεση των κόμβων με το σύστημα είναι περιορισμένο, πρέπει κάθε κόμβος να αποφασίσει ποιους θα εξυπηρετήσει παραχωρώντας τους κλάσμα χωρητικότητας, από τη γραμμή του, για να αποκτήσουν τα τμήματα του αρχείου που τους λείπουν. Σε αυτό το σημείο υπεισέρχεται ο μηχανισμός παροχής κινήτρων για τη συνεισφορά στο σύστημα.

Κάθε κόμβος επιλέγει το μέγιστο αριθμό κόμβων που δύναται να εξυπηρετήσει ταυτόχρονα και υλοποιεί έναν αλγόριθμο σύμφωνα με τον οποίο συνεργάζεται και εξυπηρετεί τους κόμβους οι οποίοι τον έχουν προγενέστερα εξυπηρετήσει. Η στρατηγική αυτή είναι γνωστή με τον όρο "Tit-for-Tat" και έχει αποδειχθεί, από την κλασσική θεωρία παιγνίων, ως η πλέον αποτελεσματική σε τέτοιου είδους αλληλεπιδράσεις αυτόνομων οντοτήτων. Με αυτόν τον τρόπο, ευνοούνται οι κόμβοι που εξυπηρετούν καλύτερα, αποδίδοντας περισσότερο εύρος ζώνης, τους υπόλοιπους κόμβους. Το κίνητρο για την συνεισφορά στο σύστημα είναι συγκεκριμένο και έχει άμεσο αποτέλεσμα αφού εφαρμόζεται σε πραγματικό χρόνο και κατά τη διάρκεια κάθε ανταλλαγής τμημάτων ενός αρχείου.

Κεφάλαιο 2

Επισκόπηση Βιβλιογραφίας

2.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί η ερευνητική δραστηριότητα στον τομέα των P2P συστημάτων με ένα μεγάλο τμήμα αυτής να αφορά την ανάπτυξη και τη μελέτη μηχανισμών παροχής κινήτρων για την αντιμετώπιση του προβλήματος του Free Riding. Τα προτεινόμενα μοντέλα αφορούν σχεδόν όλες τις κατηγορίες των P2P δικτύων, κεντρικοποιημένα ή μη, και εισάγουν συνολικές ή πιο περιορισμένες λύσεις σε συστημικό επίπεδο. Σε ορισμένες περιπτώσεις, στόχος είναι η ανάλυση της συμπεριφοράς των κόμβων με απώτερο σκοπό την πρόβλεψη αυτής, ενώ σε πιο αυστηρές προσεγγίσεις, επιχειρείται η σχεδίαση κεντρικοποιημένων συστημάτων τα οποία, με τη χρήση κατάλληλης υποδομής, επιβάλλουν τη συμμόρφωση με το ισχύον πρωτόκολλο και ανιχνεύουν τις όποιες αποκλίσεις.

Παράλληλα, ακόμα περισσότερες ερευνητικές προσπάθειες βρίσκονται σε εξέλιξη για τη μελέτη των δικτύων Ad - Hoc τα οποία έχουν παρόμοια τεχνική φύση και αντιμετωπίζουν αντίστοιχα προβλήματα με τα P2P συστήματα. Η επιβιωσιμότητα των δικτύων αυτών εξαρτάται εν πολλής από τη τάση κάθε κόμβου να παρέχει υπηρεσίες δρομολόγησης στους υπόλοιπους κόμβους. Ωστόσο, κάτι τέτοιο συνιστά για τον κόμβο δαπάνη πόρων, κυρίως ενέργειας, χωρίς να αποκομίζει όφελος, με αποτέλεσμα να εμφανίζεται ένα φαινόμενο αντίστοιχο του Free Riding. Οι κόμβοι ενδιαφέρονται μόνο για την προώθηση των δικών τους πακέτων και όχι για την εξυπηρέτηση των υπόλοιπων κόμβων του δικτύου. Συνεπώς, ορισμένα συμπεράσματα από τον τομέα αυτό μπορούν να βρουν άμεση εφαρμογή και στα P2P συστήματα.

Μία βασική συνιστώσα, κοινή στις περισσότερες προσπάθειες, είναι η καταγραφή της συνεισφοράς κάθε κόμβου στο σύστημα και η ποσοτικοποίηση αυτής μέσω ενός κατάλληλου μεγέθους. Ο όρος που χρησιμοποιείται συνήθως για να περιγράψει το μέγεθος αυτό είναι το "Reputation", ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιείται και το "Contribution" ή, συνήθως στην περίπτωση των Ad-hoc δικτύων, και ο όρος "Trust". Σε κάθε περίπτωση, ορίζεται μία μαθηματική σχέση η οποία απεικονίζει τα αποτελέσματα των συνδιαλλαγών των κόμβων σε μία τιμή για κάθε έναν από αυτούς. Η τιμή αυτή μπορεί να είναι ένα απλό βαθμωτό μέγεθος και να αφορά την αλληλεπίδραση του κόμβου με ολόκληρο το υπόλοιπο σύστημα συνολικά (public - global reputation), ή, ένα διάνυσμα που να εκφράζει τα συμπεράσματά του απέναντι σε κάθε άλλο κόμβο ξεχωριστά (private reputation). Στην πρώτη περίπτωση απαιτείται η ύπαρξη ενός κεντρικού μηχανισμού παρατήρησης και καταγραφής της συμπεριφοράς των κόμβων, ενώ στη δεύτερη, οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται από κάθε κόμβο μεμονωμένα.

Στις περιπτώσεις όπου απαιτείται ο υπολογισμός μίας μοναδικής τιμής για ένα κόμβο,

πολλές φορές χρησιμοποιούνται τεχνικές από τη "Θεωρία Ψηφοφοριών" για τη συγκέντρωση και συνυπολογισμό της άποψης όλων των κόμβων που έχουν αλληλεπιδράσει μαζί του. Με αυτή τη μέθοδο επιχειρείται η διαμόρφωση μίας πιο αντικειμενικής άποψης για τη συμπεριφορά κάθε κόμβου, η οποία θα βασίζεται και θα αντανάκλα τις πεποιθήσεις του συνόλου των κόμβων. Μία πολύ χρήσιμη ανάλυση της θεωρίας που εξετάζει τις τεχνικές ψηφοφορίας και των εφαρμογών τους στην επιστήμη των δικτύων, παρουσιάζεται στο [6]. Επιπλέον, οι ίδιες τεχνικές χρησιμοποιούνται και όταν κάθε κόμβος διαμορφώνει τη δική του άποψη για κάθε άλλο κόμβο (private reputation) αλλά χρησιμοποιεί ταυτόχρονα και πληροφορίες για τη συμπεριφορά του από τρίτους, έμμεσες πληροφορίες.

Σε κάθε περίπτωση, η τιμή του Reputation που υπολογίζεται συνολικά ή ξεχωριστά από κάθε κόμβο, με τη χρήση αποκλειστικών ή διαμοιραζόμενων πληροφοριών, απεικονίζει τη λειτουργία του ως εξυπηρετητή στο σύστημα και χρησιμοποιείται για να καθορισθεί η συμπεριφορά των υποψήφιων εξυπηρετητών του όταν θα δράσει ως πελάτης. Σε ορισμένα μοντέλα η συμπεριφορά προσδιορίζεται απλά ως αποδοχή ή απόρριψη του αιτήματος για εξυπηρέτηση του υπόψη κόμβου, ενώ σε άλλα, προτείνονται πιο σύνθετοι μηχανισμοί κατανομής των πόρων των κόμβων. Σε αυτούς, κάθε εξυπηρετητής χρησιμοποιεί τις τιμές του Reputation των υποψήφιων πελατών του για να αποφασίσει ανάλογα και να "χρωματίσει" τις υπηρεσίες που θα τους προσφέρει.

2.2 Κυριότερες Εργασίες

2.2.1 S. Buchegger και J.Y.Boudec

Με το [7], προτάθηκε το πρωτόκολλο CONFIDANT, "Cooperation Of Node, Fairness In Dynamic Ad-hoc NeTworks", ως ένας μηχανισμός για τη διασφάλιση της συνεργασίας μεταξύ αυτόνομων οντοτήτων που συμμετέχουν σε ένα κοινό δίκτυο όπως είναι τα Ad-hoc και τα P2P δίκτυα. Στόχος του είναι ο εντοπισμός και η απομάκρυνση των κακόβουλων κόμβων, αυτών δηλαδή που με οποιονδήποτε τρόπο αποκλίνουν σημαντικά από το ισχύον πρωτόκολλο. Με αυτόν τον τρόπο, αποθαρρύνονται οι κόμβοι από λανθάνουσες συμπεριφορές, όπως είναι το Free Riding και διασφαλίζεται η επιβίωση του συστήματος.

Η λειτουργία του πρωτοκόλλου είναι δυναμική και βασίζεται στις παρατηρήσεις του κάθε κόμβου για τη συμπεριφορά των υπόλοιπων με τους οποίους αλληλεπιδρά. Οι παρατηρήσεις αυτές πραγματοποιούνται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, καταγράφονται και ποσοτικοποιούνται με τη βοήθεια του μεγέθους που ονομάζεται "Reputation". Πρόκειται για ένα κριτήριο, εκφρασμένο σαν ένα απλό βαθμωτό μέγεθος, που χρησιμοποιεί κάθε κόμβος για να υπολογίσει την αξιοπιστία κάθε άλλου κόμβου που γνωρίζει. Περιοδικά, οι κόμβοι ανταλλάσσουν τις πληροφορίες αυτές προκειμένου αφενός να επιτευχθεί ταχύτερα η ανίχνευση των κακόβουλων κόμβων και αφετέρου να αποφευχθεί εξ' αρχής η αλληλεπίδραση μαζί τους, εάν ήδη έχουν γίνει αντιληπτοί από κάποιον άλλο κόμβο. Επειδή ακριβώς υπεισέρχεται θέμα αξιοπιστίας όσον αφορά στις πληροφορίες που μεταδίδει ένας κόμβος για τους υπόλοιπους, ορίζεται ένα άλλο μέγεθος που ονομάζεται "Trust" για να εκφράσει κατά πόσο ένας κόμβος πρέπει να εμπιστεύεται έναν άλλο, όταν ο τελευταίος του μεταδίδει την τιμή Reputation για κάποιον τρίτο κόμβο.

Πέραν από την εισαγωγή του πρωτοκόλλου, μελετήθηκαν και μέθοδοι για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας του ακόμα και στην περίπτωση διχοτέυσης ψευδών δεδομένων σε αυτό, [8]. Τις πληροφορίες που λαμβάνει ένας κόμβος για την αξιοπιστία άλλων κόμβων δεν τις χρησιμοποιεί

άμεσα και άκριτα, αλλά τις αξιολογεί χρησιμοποιώντας την προτεινόμενη τροποποιημένη Bayesian στατιστική μέθοδο. Στην περίπτωση που υπάρχει μεγάλη απόκλιση μεταξύ της προτεινόμενης τιμής και της τιμής που διατηρεί ήδη ο κόμβος, τότε αυτή δε λαμβάνεται υπόψη. Μετά από κάθε αλληλεπίδραση ανανεώνονται τόσο οι τιμές του Reputation όσο και οι τιμές του Trust για τους κόμβους που αλληλεπιδρούν.

2.2.2 G.Molina et al.

Στο [9] προτείνεται ένα μοντέλο για την αντιμετώπιση του προβλήματος του Free Riding που βασίζεται στην επιβράβευση των κόμβων που συμμετέχουν ενεργά και συνεισφέρουν στους πόρους του δικτύου. Το επίπεδο συνεισφοράς ενός κόμβου καθορίζει έμμεσα το όφελος που λαμβάνει με τη σειρά του ο κόμβος αυτός από τους υπόλοιπους που ανήκουν στο ίδιο δίκτυο. Το όφελος μεταφράζεται σε εύρος ζώνης που παραχωρείται στον κόμβο προκειμένου να αποκτήσει τα αρχεία - πόρους που επιθυμεί. Για παράδειγμα, όταν δύο ή περισσότεροι κόμβοι αιτούνται ένα αρχείο από έναν τρίτο κόμβο, τότε το εύρος ζώνης και άρα και η ταχύτητα απόκτησης του αρχείου που παραχωρείται σε κάθε έναν από αυτούς, δίνεται από τον ακόλουθο απλό τύπο:

$$bandwidth(peerj) = \frac{score(peerj)}{\sum_j score(peerj)} b \quad (2.1)$$

Ένας άλλος τρόπος να ανταμειφθεί η συνεισφορά ενός κόμβου είναι μέσω του χρόνου που διαρκεί η μετάδοση του αιτήματος αναζήτησης ενός πόρου (Time To Live, TTL), ο οποίος ουσιαστικά καθορίζει την έκταση του δικτύου, άρα και το πλήθος των πόρων, που είναι προσβάσιμοι σε αυτόν. Όσο μεγαλύτερη είναι η συνεισφορά ενός κόμβου τόσο μεγαλύτερος είναι και ο χρόνος αυτός.

Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στο γεγονός ότι οι Free Riders δύνανται να αλλάξουν τακτική και να συμμορφωθούν με το πρωτόκολλο. Άλλωστε, αυτός είναι και ο σκοπός της ύπαρξης του προαναφερθέντος μηχανισμού. Για αυτόν τον λόγο, οι Free Riders δεν αποκλείονται εντελώς από το σύστημα αλλά, λαμβάνουν περιορισμένες υπηρεσίες. Στην πρώτη περίπτωση, όπου χρησιμοποιείται το εύρος ζώνης ως αντίτιμο της συνεισφοράς, μπορούν να εξυπηρετηθούν και να αποκτήσουν τα αρχεία ενδιαφέροντός τους, αρκεί να μην ανταγωνίζονται για αυτά με άλλους κόμβους που έχουν υψηλά επίπεδα συνεισφοράς και άρα μεγαλύτερη προτεραιότητα, ενώ στη δεύτερη περίπτωση, που χρησιμοποιείται το TTL ως κίνητρο συμμετοχής, μπορούν να εκτελέσουν αναζητήσεις σε περιορισμένο τμήμα του συνολικού δικτύου.

Για την υλοποίηση ενός συστήματος όπως το παραπάνω, απαιτείται η ύπαρξη ενός μηχανισμού που να προσδιορίζει το επίπεδο συνεισφοράς για κάθε κόμβο. Ένα τέτοιο μηχανισμό προτείνουν οι ίδιοι συγγραφείς στο [10]. Στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιείται ο όρος "Trust" για να εκφράσει την τάση ενός κόμβου να ακολουθήσει το ισχύον πρωτόκολλο. Το βαθμωτό μέγεθος αυτό, με τον τρόπο που υπολογίζεται, είναι ανάλογο του επιπέδου συνεισφοράς του κάθε κόμβου και συνοψίζει τη συμπεριφορά του στο παρελθόν. Ο ίδιος ο αλγόριθμος είναι ένας επαναληπτικός κατανεμημένος αλγόριθμος όπου κάθε κόμβος υπολογίζει τη μέγιστη ιδιαιμική του πίνακα με τις τιμές του Trust για τον κάθε κόμβο. Το ιδιοδιάνυσμα που αντιστοιχεί σε αυτή την τιμή αποτελεί και το τελικό διάνυσμα με τις τιμές Trust για κάθε κόμβο, έτσι όπως είναι αυτές αντιληπτές από το σύνολο των υπόλοιπων κόμβων.

Τέλος, στο [11] προτείνεται η χρησιμοποίηση ενός απλού μηχανισμού ψηφοφορίας με τη βοήθεια του οποίου ένας κόμβος διαμορφώνει την άποψή του και υπολογίζει το Reputation κάθε άλλου κόμβου με τον οποίο αλληλεπιδρά. Πρόκειται για το συνδυασμό των πληροφοριών

που είναι άμεσα διαθέσιμες στον ίδιο τον κόμβο και αυτών που του μεταδίδουν οι υπόλοιποι κόμβοι. Οι τελευταίες, προτού χρησιμοποιηθούν, διαμορφώνονται με την αξιοπιστία που αποδίδει ο κόμβος που θα τις χρησιμοποιήσει στους κόμβους που τις παράγουν. Με αυτό τον τρόπο περιορίζεται η μετάδοση λανθασμένων πληροφοριών για τη δράση των κόμβων. Ένας μηχανισμός παρόμοιος με το πρωτόκολλο CONFIDANT που προαναφέρθηκε.

2.2.3 M. Feldman, I. Stoica et al.

Στο [12] γίνεται μία ενδελεχής μελέτη των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των P2P συστημάτων, όπως είναι το μεγάλο πλήθος των κόμβων, ο υψηλός ρυθμός προσχώρησης και απομείκρυνσης τους από το σύστημα, η ύπαρξη ασυμμετρίας στη ζήτηση των αρχείων, η δημιουργία συνεργασιών μεταξύ των κόμβων προκειμένου να επωφεληθούν από τις αδυναμίες του όποιου πρωτοκόλλου και να αποκομίσουν μεγαλύτερα οφέλη από το δίκτυο, κ.α. Τα φαινόμενα αυτά καθιστούν το πρόβλημα της έλλειψης συνεργασίας μεταξύ των κόμβων ιδιαίτερα δύσκολο να αντιμετωπιστεί. Οι συγγραφείς προτείνουν την εφαρμογή μηχανισμών βασιζόμενων στη Θεωρία Παιγνίων και συγκεκριμένα στο Παίγνιο που είναι ευρύτερα γνωστό ως το "Δίλημμα του Φυλακισμένου". Απώτερος σκοπός είναι η εγκαθίδρυση ενός μηχανισμού παροχής κινήτρων προκειμένου περισσότεροι κόμβοι να συμμετέχουν στο σύστημα εφαρμόζοντας το ισχύον πρωτόκολλο.

Στον πυρήνα του μηχανισμού αυτού βρίσκεται μία συνάρτηση, (Reciprocativity Function), την οποία χρησιμοποιεί κάθε κόμβος για να αποφασίσει εάν θα συνεργαστεί με τους κόμβους που αλληλεπιδρά ή όχι. Η αποτίμηση της συνάρτησης καθορίζεται από μία βασική παράμετρο, τη $g_j(i)$ η οποία ονομάζεται "generosity". Ποσοτικοποιεί την άποψη του κόμβου j για τη συνεισφορά του κόμβου i στο σύστημα και κανονικοποιείται μέσω της αντίστοιχης παραμέτρου του κόμβου j . Συγκεκριμένα:

$$g_j(i) = \frac{g(i)}{g(j)} \quad (2.2)$$

Η ίδια η παράμετρος ορίζεται ως ο λόγος της συνεισφοράς προς την κατανάλωση πόρων κάθε κόμβου στο δίκτυο:

$$g(i) = \frac{(Provide)_i}{(Consume)_i} \quad (2.3)$$

Με βάση τη Θεωρία Παιγνίων αναπτύσσεται και το μοντέλο που προτείνεται στο [13]. Η συμπεριφορά των κόμβων μοντελοποιείται με τη χρήση μίας απλής παραμέτρου που ονομάζεται τύπος του κόμβου. Θεωρείται ότι όλοι οι κόμβοι δύνανται να ακολουθήσουν ή όχι το πρωτόκολλο. Η τελική απόφασή τους καθορίζεται από το αποτέλεσμα της σύγκρισης της παραμέτρου τους με το πλήθος των κόμβων που συνεισφέρουν στο δίκτυο. Με αυτόν τον τρόπο κάθε κόμβος αξιολογεί το όφελος και το κόστος από τη συμμετοχή του και αποφασίζει να λειτουργήσει ανάλογα. Τα παραπάνω μεγέθη γίνεται απόπειρα να εκφραστούν και μαθηματικά και αναλύονται τα πιθανά σημεία ισορροπίας του συστήματος. Η ανάλυση καταλήγει στο συμπέρασμα ότι όταν η εγγενής τάση των κόμβων να συνεισφέρουν, όπως αυτή εκφράζεται μέσω του τύπου τους, είναι μικρή, τότε το σύστημα προκειμένου να "επιβιώσει" απαιτεί την εγκατάσταση ενός κατάλληλου μηχανισμού. Στη συνέχεια, προτείνεται το γενικό μοντέλο ενός τέτοιου μηχανισμού με στόχο τον αποκλεισμό των κόμβων με τη μικρότερη τάση για συνεισφορά. Αποτέλεσμα του μηχανισμού αυτού είναι ο περιορισμός των Free Riders και συνεπώς του φορτίου που επωμίζονται, με τη λογική της εξυπηρέτησης, οι συνεργάσιμοι κόμβοι. Έτσι, αυξάνεται το πλήθος των κόμβων που συνεισφέρουν στο δίκτυο.

Τέλος, στο [14] εξετάζεται η επέκταση του παραπάνω μηχανισμού και για την αντιμετώπιση των κόμβων που εκμεταλλεύονται το γεγονός ότι μπορούν να μη συνεισφέρουν στο σύστημα και στη συνέχεια, όταν γίνουν αντιληπτές πλέον οι προθέσεις τους, να απομακρύνονται από αυτό και να επανασυνδέονται με νέο κωδικό, (π.χ. user name), έτσι ώστε να μην είναι αναγνωρίσιμοι και να μπορούν εκ νέου να εκμεταλλευθούν τους πόρους του συστήματος. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό με τον όρο "Whitewashing" και ο μηχανισμός για την αντιμετώπισή του είναι απλός αλλά έχει κόστος στην απόδοση του συστήματος συνολικά. Όλοι οι νεοεισερχόμενοι κόμβοι αντιμετωπίζουν ένα σχετικά υψηλό κόστος σύνδεσης το οποίο περιορίζεται σταδιακά με την πάροδο του χρόνου και με τη συνεισφορά τους. Η ταπεινή αυτή προφανώς εισάγει ένα επιπλέον κόστος στο σύνολο των κόμβων και περιορίζει την απόδοση του συστήματος κατά ένα ποσό το οποίο, σύμφωνα με τους συγγραφείς, είναι μικρό για την περίπτωση όπου ο ρυθμός αναχώρησης και άφιξης των κόμβων από το δίκτυο δεν είναι ιδιαίτερα αυξημένους.

2.2.4 R.T.B. Ma, et al.

Η έννοια του "Utility" χρησιμοποιείται για να ποσοτικοποιηθεί το όφελος ενός κόμβου από τη συμμετοχή του στο P2P δίκτυο, στο [15]. Προτείνεται ένας μηχανισμός για την παροχή διαφορετικού επιπέδου υπηρεσιών (service differentiation), με όρους παρεχόμενου εύρους ζώνης, σε κάθε κόμβο ανάλογα με το επίπεδο συμμετοχής του στο σύστημα, αναπτύσσοντας με αυτόν τον τρόπο κίνητρο για τη συνεισφορά πόρων. Ως αντιπροσωπευτικό παράδειγμα για την περιγραφή του μηχανισμού χρησιμοποιείται το Gnutella.

Κάθε κόμβος περιγράφεται από μία σειρά κρίσιμων παραμέτρων, με βασικότερες τον τύπο σύνδεσης ϑ_i , εύρος ζώνης για "upload" και "download", τη συνολική συνεισφορά στο σύστημα $C_i(t)$ για κάθε χρονική στιγμή και τη συνάρτηση Utility που εξαρτάται από τον τύπο σύνδεσης και από το εύρος ζώνης που τελικά παρέχεται στον κόμβο για την ικανοποίηση των αναγκών του. Κάθε κόμβος ανακοινώνει τον τύπο του στους υπόλοιπους και εφαρμόζει έναν απλό αλγόριθμο, (Contribution Dependent Progressive Filling), για να υπολογίσει πως θα μοιράσει το εύρος ζώνης, που διαθέτει για εξυπηρέτηση, στους κόμβους που το αιτούνται. Αποδεικνύεται ότι ο αλγόριθμος αυτός οδηγεί σε μεγιστοποίηση του συνολικού κέρδους του δικτύου, όπως αυτό προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους Utilities των κόμβων, ικανοποιώντας το κριτήριο βελτιστοποίησης Pareto. Ταυτόχρονα, η γνώση της εφαρμογής του αλγορίθμου αποτελεί κίνητρο συμμετοχής για τους υπόλοιπους κόμβους, περιορίζοντας με αυτόν τον τρόπο το φαινόμενο του Free Riding.

Συγκεκριμένα, εάν δύο κόμβοι i και j με επίπεδο συνεισφοράς και χωρητικότητα download C_i, d_i και C_j, d_j αντίστοιχα αιτούνται εύρος ζώνης από έναν τρίτο κόμβο k , τότε η ανάθεση της διαθέσιμης χωρητικότητας του k γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να ισχύει:

$$\frac{C_i(t)}{d_i} \geq \frac{C_j(t)}{d_j} \Rightarrow U_i(\vartheta_i, x_i(t)) \geq U_j(\vartheta_j, x_j(t)) \quad (2.4)$$

Δηλαδή οι κόμβοι που έχουν μεγαλύτερο επίπεδο συνεισφοράς ανά μονάδα αιτηθέντος εύρους ζώνης εξυπηρετούνται με καλύτερο τρόπο. Έτσι, οι κόμβοι απωθούνται από το να υποβάλλουν υψηλά αιτήματα και ωθούνται στο να συνεισφέρουν τους πόρους τους.

Οι ίδιοι συγγραφείς στο [16] χρησιμοποιούν τη θεωρία Παιγνίων για να μοντελοποιήσουν την αλληλεπίδραση των κόμβων με το παραπάνω μοντέλο. Κάθε κόμβος θεωρείται ότι είναι ένας παίκτης με στρατηγική το αίτημα του για συγκεκριμένο εύρος ζώνης, b_i , σε έναν εξυπηρετητή, προκειμένου να ικανοποιήσει τις ανάγκες του. Όλοι οι εξυπηρετητές

εφαρμόζουν τον αλγόριθμο κατανομής του διαθέσιμων εύρους ζώνης που προαναφέρθηκε, CDPF, με αποτέλεσμα το σύστημα να οδηγείται σε ένα σταθερό σημείο ισορροπίας Nash. Το σημείο αυτό ικανοποιεί, όπως και παραπάνω, το κριτήριο βελτιστοποίησης Pareto, ενώ αποδεικνύεται ότι το σύστημα είναι και ανεκτικό στις συνεργασίες κόμβων που έχουν ως στόχο την παραπλάνηση και εκμετάλλευσή του (λ -collusion).

Ιδιαίτερη μνεία γίνεται στα προβλήματα υλοποίησης του αλγορίθμου, όπως είναι η αναγκαία όπτη ανάπτυξης ενός κεντρικού μηχανισμού που θα παρακολουθεί τις αλληλεπιδράσεις των κόμβων και θα υπολογίζει το επίπεδο συνεισφοράς καθενός εξ' αυτών. Επιπλέον δυσκολίες υλοποίησης παρουσιάζονται και λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του P2P συστημάτων όπως είναι ο υψηλός ρυθμός άφιξης και απομάκρυνσης των κόμβων κ.α.

2.2.5 B. Mortazavi και G. Kesidis

Στο [17] προτείνεται η χρήση του Reputation, μίας μεταβλητής που συνοψίζει την παρελθοντική συμπεριφορά κάθε κόμβου, ως μέσου για την επιβολή κινήτρων συμμετοχής στο P2P σύστημα. Η απόφαση ενός κόμβου i για το αν θα συνεργαστεί με έναν άλλο κόμβο j καθορίζεται από το Reputation του j όπως αυτό έχει υπολογιστεί από τον i , R_{ij} , καθώς και από την εγγενή τάση του κόμβου i να συνεργάζεται, η οποία ποσοτικοποιείται μέσω της παραμέτρου π_i . Αποδεικνύεται ότι με την εφαρμογή του προτεινόμενου μηχανισμού, το Reputation ενός κόμβου j συγκλίνει στην παράμετρο του π_i , αποκαλύπτοντας με αυτόν τον τρόπο τις πραγματικές του διαθέσεις.

Πιο συγκεκριμένα, θεωρείται ένα σύνολο από κόμβους που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Η αλληλεπίδραση αποτελείται από την αναζήτηση, από τον κάθε κόμβο, των αρχείων ενδιαφέροντος, την υποβολή αιτήματος για απόκτησή τους και την σχετική απάντηση από τον κόμβο - εξυπηρετητή. Κάθε κόμβος i διατηρεί μία μεταβλητή R_{ij} για κάθε άλλο κόμβο j του συστήματος που ποσοτικοποιεί την άποψή του για αυτόν, όπως αυτή διαμορφώνεται μέσα από τις αλληλεπιδράσεις τους. Η μεταβλητή αυτή είναι κανονικοποιημένη, αφού ισχύει:

$$\sum_{j, j \neq i} R_{ij} = 1 \quad (2.5)$$

Όταν ο κόμβος i υποβάλει ένα ερώτημα στον κόμβο j τότε η πιθανότητα να ολοκληρωθεί επιτυχώς η δόσοληψία τους καθορίζεται από τη συνάρτηση απόκρισης του j , $G_j(\pi_j, R_{ji}(t-1))$. Στην περίπτωση συνεργασίας το Reputation του j αυξάνεται ενώ, ταυτόχρονα, το Reputation όλων των υπόλοιπων κόμβων μειώνεται λόγω της κανονικοποίησης που υφίσταται. Δηλαδή

$$R_{ik} = \begin{cases} \frac{R_{ij}(t-1)+C}{1+C}, & k = j \neq i \\ \frac{R_{ik}(t-1)}{1+C}, & k \neq j, i. \end{cases} \quad (2.6)$$

Με απλούς υπολογισμούς αποδεικνύεται ότι με την πάροδο του χρόνου η μέση τιμή του R_{ij} συγκλίνει στο π_j , αποκαλύπτοντας την εγγενή τάση του κόμβου j .

$$\lim_{t \rightarrow \infty} ER_{ij}(t) = \frac{\pi_j}{\Pi_{-i}}, \forall i \neq j, \Pi_{-i} = \sum_{j, j \neq i} \pi_j \quad (2.7)$$

Στο [18], χρησιμοποιείται ο προαναφερόμενος μηχανισμός για την ανάπτυξη ενός μοντέλου όπου η κατανομή των πόρων γίνεται ανάλογα με το Reputation του κάθε κόμβου, παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο κίνητρα για τη συνεισφορά στο σύστημα. Θεωρείται ότι κάθε κόμβος έχει ένα συγκεκριμένο περιορισμένο εύρος ζώνης για τη διασύνδεση του με το υπόλοιπο δίκτυο.

Το εύρος αυτό διαχωρίζεται σε uplink u και downlink d . Κάθε κόμβος - πελάτης i εντοπίζει τον κόμβο - εξυπηρετητή j και υποβάλλει σχετικό ερώτημα για την απόκτηση του αρχείου ενδιαφέροντος του με μέγεθος r_i . Ο κόμβος j γνωρίζει την παράμετρο d_i . Με αυτόν τον τρόπο, κάθε κόμβος j δέχεται αιτήσεις για την εξυπηρέτηση κατά κανόνα περισσότερων του ενός κόμβων. Έστω M_j το σύνολο αυτών των κόμβων. Η ανάθεση του διαθέσιμου εύρους ζώνης u_j του κόμβου j γίνεται σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$x_{ij} = \min\{r_i, R_{ij}u_j\},$$

αν

$$\sum_{k \in M_j} \min\{r_k, R_{kj}u_j\} \leq u_j \quad (2.8)$$

Ενώ, στην περίπτωση που δεν επαρκεί το διαθέσιμο εύρος ζώνης, ωφελούνται κόμβοι που έχουν τη μεγαλύτερη τιμή Reputation.

$$x_{ij} = \frac{\min\{r_i, R_{ij}u_j\}}{\sum_{k \in M_j} \min\{r_k, R_{kj}u_j\}} \quad (2.9)$$

Μετά την ανάθεση του εύρους, κάθε κόμβος i ανανεώνει την άποψή του για τον κόμβο j ανάλογα με τον τρόπο που εξυπηρετήθηκε

$$R_{ij}(t+1) = R_{ij}(t) + cx_{ji} \quad (2.10)$$

2.3 Συναφείς Εργασίες και αντίστοιχα αποτελέσματα

Εκτός από τις προαναφερθείσες εργασίες που ασχολούνται άμεσα με την αντιμετώπιση του προβλήματος του Free Riding ενδιαφέρον παρουσιάζει και μία ομάδα άλλων εργασιών που πραγματεύονται τη βελτιστοποίηση της κατανομής πόρων, συνήθως εύρους ζώνης, σε κατανομημένα συστήματα όπως τα P2P δίκτυα. Τα μοντέλα που προτείνονται εφαρμόζουν θεμελιώδεις αρχές της θεωρίας βελτιστοποίησης και της θεωρίας παιγνίων και συντελούν στη διερεύνηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ των κόμβων. Ιδιαίτερη βαρύτητα αποδίδεται στη βέλτιστη επιλογή εξυπηρετητών.

Στο [19] εξετάζεται το πρόβλημα της βέλτιστης επιλογής εξυπηρετητών, Peer Servers, από έναν κόμβο, Peer Client, σε ένα P2P δίκτυο όπου η ανταλλαγή αρχείων, γενικότερα πόρων, γίνεται μέσω καταβολής του αντίστοιχου οικονομικού αντιτίμου. Θεωρείται εφικτή η ταυτόχρονη σύνδεση με πολλούς Peer Servers και η απόκτηση διαφορετικών τμημάτων του ίδιου αρχείου από αυτούς για επιτάχυνση της διαδικασίας, όπως συμβαίνει για παράδειγμα στο KaZaA. Ο κόμβος που επιθυμεί να αποκτήσει ένα αρχείο οφείλει να εντοπίσει τον κόμβο που το διαθέτουν, να ενημερωθεί για το κόστος σύνδεσης σε αυτούς, και να αποφασίσει πόσο χρόνο θα ζητήσει από κάθε έναν. Η απόφασή του αυτή προκύπτει από την επίλυση ενός προβλήματος βελτιστοποίησης στο οποίο ελαχιστοποιείται ο μεγαλύτερος από τους χρόνους αυτούς, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος ανά μονάδα χρόνου και ανά εξυπηρετητή. Συγκεκριμένα, το πρόβλημα εκφράζεται ως ακολούθως:

$$\text{MinMax}\{t_1, \dots, t_l\} \quad (2.11)$$

subject to

$$c_1(b_1)t_1 + \dots + c_l(b_l)t_l \leq K \quad (2.12)$$

$$b_1 t_1 + \dots + b_l t_l \geq F \quad (2.13)$$

$$0 \leq b_i \leq U_i, i = 1, \dots, l \quad (2.14)$$

$$t_i \geq 0, i = 1, \dots, l \quad (2.15)$$

όπου b_i είναι η ταχύτητα σύνδεσης με τον i εξυπηρετητή, η οποία δεν μπορεί να υπερβαίνει την χωρητικότητα της γραμμής του U_i , $c_i(b_i)$ είναι το κόστος ανά μονάδα χρόνου για τη σύνδεση με αυτόν, το οποίο είναι μία συνάρτηση της ταχύτητας, F το μέγεθος του αρχείου και K το διαθέσιμο ποσό του κόμβου πελάτη.

Στη συνέχεια, γίνεται επέκταση του μοντέλου για την περίπτωση που οι εξυπηρετητές γνωρίζουν το διαθέσιμο ποσό των υποψήφιων πελατών τους και προσαρμόζουν ανάλογα τις τιμές χρέωσης. Στην περίπτωση αυτή, η αλληλεπίδραση δεν αρκεί να μοντελοποιηθεί ως ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης αλλά χρησιμοποιούνται έννοιες από τη Θεωρία Παιγνίων. Αποδεικνύεται ότι το σύστημα οδηγείται σε ένα σημείο ισορροπίας Nash, όπου οι εξυπηρετητές δεν μεταβάλλουν την χρέωση και οι πελάτες σταθεροποιούν τα αιτήματά τους σε κάθε κόμβο.

Το ίδιο μοντέλο τροποποιείται περαιτέρω για να καλύψει την περίπτωση μετάδοσης αρχείων ήχου και βίντεο σε πραγματικό χρόνο όπου πλέον το ζητούμενο είναι η μείωση του κόστους με βασικό περιορισμό την ικανοποίηση μέγιστου ορίου καθυστέρησης. Πρόκειται για ένα διαφορετικό πρόβλημα βελτιστοποίησης το οποίο όμως έχει την ίδια δομή και ιδιότητες με το προηγούμενο. Είναι προφανές ότι, αντί για τις παραμέτρους χρέωσης και καθυστέρησης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε άλλο μέγεθος και να καθοριστεί ανάλογα η κατανομή των πόρων ενός κόμβου.

Παρόμοια προβλήματα με αντίστοιχες μεθόδους αναλύονται και στο [20] όπου αναπτύσσεται ένα μοντέλο στο οποίο διαφορετικοί κόμβοι ανταγωνίζονται για τους πόρους ενός πεπερασμένου πλήθους μηχανών, π.χ. χρόνου επεξεργασίας σε υπολογιστές. Το μοντέλο αναφέρεται σε κατανεμημένα διαμοιραζόμενα Clusters αλλά είναι αφηρημένο και μπορεί να επεκταθεί άμεσα και στην περίπτωση των P2P δικτύων. Χρησιμοποιείται και πάλι, όπως στην προηγούμενη εργασία, ένα οικονομικό μοντέλο όπου η δέσμευση ενός πόρου γίνεται μόνο μέσω πληρωμής, ενώ η τιμή χρέωσης καθορίζεται από τη ζήτηση για τον συγκεκριμένο πόρο. Ουσιαστικά, εφαρμόζονται έννοιες από τη Θεωρία Παιγνίων για να μελετηθεί το πρόβλημα του διαμοιρασμού των κοινών πόρων με δίκαιο και αποτελεσματικό τρόπο, παρουσία στρατηγικών κόμβων που δρουν προκειμένου να μεγιστοποιήσουν το όφελος τους (U_i) από τη συμμετοχή τους στο σύστημα.

Αναλυτικά, κάθε κόμβος έχει ένα δεδομένο διαθέσιμο ποσό (budget), X_i , το οποίο καλείται να καταναίμει ώστε να αυξήσει το οφελός του. Όταν ο κόμβος i ζητάει x_{ij} ποσό - χρόνο επεξεργασίας, εύρος ζώνης, κ.α. - τότε λαμβάνει κλάσμα του υπόψη πόρου ανάλογα με τη συνολική ζήτηση

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{Y_j} \quad (2.16)$$

όπου

$$Y_j = \sum_i x_{ij} \quad (2.17)$$

Ο μηχανισμός αυτός, που είναι γνωστός σε κάθε κόμβο, καθορίζει και τη στρατηγική του η οποία συνοψίζεται στην επίλυση του ακόλουθου προβλήματος

$$\text{Max}\{U_i(\frac{x_{ij}}{x_{ij} + Y_j})\} \quad (2.18)$$

subject to

$$\sum_j x_{ij} = X_i \quad (2.19)$$

Αποδεικνύεται ότι, το παίγνιο αυτό έχει σημείο ισορροπίας Nash και εξετάζεται το πόσο δίκαιο είναι αυτό για τους συμμετέχοντες κόμβους αλλά και πόσο αποτελεσματικό για το σύστημα συνολικά. Σύμφωνα με τα παρουσιαζόμενα αποτελέσματα επιτυγχάνεται ένας ικανοποιητικός συνδυασμός αυτών των δύο σημαντικών κριτηρίων.

Κεφάλαιο 3

Μοντέλο 1

3.1 Εισαγωγή

Στις εργασίες που παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, το πρόβλημα της κατανομής των πόρων ενός κόμβου εξετάζεται μειονωμένα και αποσπασματικά, είτε από την πλευρά του κόμβου που λειτουργεί ως εξυπηρετητής, είτε του κόμβου που εξυπηρετείται. Στην πρώτη περίπτωση, το πρόβλημα συνίσταται στην επιλογή των κόμβων που θα εξυπηρετηθούν, με την εφαρμογή κατάλληλων αλγορίθμων - κριτηρίων, ενώ στη δεύτερη το πρόβλημα έγκειται στη βέλτιστη επιλογή εξυπηρετητών ώστε να επιτευχθεί η απόκτηση των αναζητούμενων πόρων. Με δεδομένο το διττό ρόλο του κάθε κόμβου, είναι προφανές ότι τα δύο παραπάνω προβλήματα πρέπει να μελετηθούν από κοινού. Λόγω του περιορισμένου εύρους ζώνης με το οποίο κάθε κόμβος συνδέεται στο δίκτυο - σύστημα, η λειτουργία του ως εξυπηρετητή περιορίζει τη λειτουργία του ως εξυπηρετούμενου, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου η τεχνολογία πρόσβασης δεν διαχωρίζει με αυστηρό τρόπο το εύρος σε upload/download, όπως συμβαίνει για παράδειγμα στα ασύρματα δίκτυα τεχνολογίας Wi-Fi και στα δίκτυα Ethernet. Συνεπώς, είναι καίριας σημασίας η διερεύνηση της ισορροπίας μεταξύ αυτών των δύο ρόλων - λειτουργιών και το πρόβλημα της βέλτιστης συμμετοχής ενός κόμβου σε ένα P2P σύστημα οφείλει να εξεταστεί στη βάση αυτή.

Στο μοντέλο που παρουσιάζεται στο κεφάλαιο αυτό χρησιμοποιούμε ένα απλό μηχανισμό, βασισμένο στο μέγεθος του reputation, για την παροχή στους κόμβους κινήτρων να συνεργαστούν προσφέροντας τους πόρους τους. Επειδή οι κόμβοι δεν γνωρίζουν τη στρατηγική των υπόλοιπων κόμβων, ούτε και την πρόθεσή αυτών για συνεισφορά, δεν είναι εφικτή μία κεντρικοποιημένη λύση - προσέγγιση με αποτέλεσμα κάθε ένας εξ' αυτών να επιλύει ένα ξεχωριστό πρόβλημα μεγιστοποίησης του οφέλους του. Το πρόβλημα έγκειται στο διαχωρισμό του διαθέσιμου εύρους ζώνης του στο τμήμα που θα χρησιμοποιηθεί για την ικανοποίηση των δικών του απαιτήσεων, λειτουργώντας ως εξυπηρετούμενος και στο τμήμα που θα χρησιμοποιηθεί για την εξυπηρέτηση άλλων κόμβων.

Η βασική παράμετρος που προδιαγράφει τη λύση του προβλήματος είναι το επίπεδο δυσαρέσκειας που είναι διατεθειμένος κάθε κόμβος να προκαλέσει στους υπόλοιπους μη ικανοποιώντας τις απαιτήσεις τους. Το μέγεθος αυτό εκφράζεται μέσω μίας παραμέτρου την οποία γνωρίζει μόνο ο ίδιος ο κόμβος. Μία άλλη σημαντική παράμετρος είναι το Reputation κάθε κόμβου το οποίο περιγράφει τη λειτουργία του ως εξυπηρετητή, έτσι όπως έχει γίνει αντιληπτή και έχει καταγραφεί μέχρι την τρέχουσα χρονική στιγμή από κάθε άλλον κόμβο. Η τιμή της αναπροσαρμόζεται μετά από την ολοκλήρωση κάθε δοσοληψίας, ανάλογα με το ποσό

του εύρους ζώνης που παραχώρησε ο εξυπηρετητής και σε σχέση με το αιτούμενο από τον κάθε υποψήφιο εξυπηρετούμενο. Ο αντικειμενικός σκοπός της χρήσης αυτής της παραμέτρου είναι να αποκαλυφθεί η πρόθεση για συνεργασία του κάθε κόμβου έτσι ώστε να ανταμειφθεί ή να "τιμωρηθεί" αντίστοιχα.

Συνοψίζοντας, το προτεινόμενο μοντέλο εκτιμούμε ότι συνεισφέρει στην τρέχουσα βιβλιογραφία ως ακολούθως:

1. Ορίζει και επilύει για κάθε κόμβο το πρόβλημα βελτιστοποίησης που αποδίδει τη στρατηγική του και ως εξυπηρετητή και ως εξυπηρετούμενο.
2. Εισάγεται ένας απλός μηχανισμός για την αναπροσαρμογή του reputation έτσι ώστε να είναι εφικτή η υλοποίηση του επιθυμητού μηχανισμού παροχής κινήτρων για συμμετοχή.
3. Με τη χρήση μίας βαθμωτής παραμέτρου ποσοτικοποιείται η εγγενής τάση κάθε κόμβου να συνεισφέρει στο σύστημα και να εξυπηρετήσει τα αιτήματα που δέχεται.
4. Με τη χρήση προσομοιώσεων αποδεικνύεται ότι η επίλυση των προτεινόμενων προβλημάτων βελτιστοποίησης, σε συνδυασμό με τη χρήση του μηχανισμού υπολογισμού του reputation συντελεί στην αντιμετώπιση του προβλήματος του Free Riding.

3.2 Μοντέλο Συστήματος

Θεωρούμε ένα σύστημα αποτελούμενο από κόμβους, κάθε ένας από τους οποίους διαθέτει κάποιους πόρους τους οποίους μπορεί να συνεισφέρει σε αυτό. Το σύστημα είναι στατικό, δηλαδή υποθέτουμε, για διευκόλυνση της μελέτης, ότι οι κόμβοι δεν απομακρύνονται από αυτό, ούτε και προσέρχονται νέοι για κάποιο δεδομένο χρονικό διάστημα. Κάθε κόμβος συνεισφέρει τους πόρους του, π.χ. αρχεία, σε όποιον άλλο κόμβο ανήκει στο σύστημα, κατόπιν αιτήματος, ενώ ταυτόχρονα αιτείται ο ίδιος την απόκτηση πόρων από άλλους κόμβους. Στην παρούσα εργασία δεν εξετάζεται ο μηχανισμός αναίαλυνσης - εύρεσης των κόμβων που διαθέτουν τα ζητούμενα αρχεία. Επίσης, δεν γίνεται ποιοτική διάκριση μεταξύ των αρχείων που διαθέτει ένας κόμβος. Το μοναδικό κριτήριο αξιολόγησης ενός κόμβου είναι η συνεισφορά του στο σύστημα, με όρους παρεχόμενου εύρους ζώνης και όχι με βάση το πόσο δημοφιλή είναι οι πόροι που παρέχει στο σύστημα.

Κάθε κόμβος i συνδέεται στο σύστημα μέσω μίας γραμμής περιορισμένης χωρητικότητας C_i hrs η οποία χρησιμοποιείται ταυτόχρονα και για την εξυπηρέτηση άλλων κόμβων του συστήματος αλλά και για την απόκτηση πόρων από αυτούς. Συνεπώς, κάθε κόμβος πρέπει να αποφασίσει για το κλάσμα της διαθέσιμης χωρητικότητας που θα χρησιμοποιήσει ως εξυπηρετητής και ως εξυπηρετούμενος. Ας εξετάσουμε καταρχάς τη στρατηγική του κόμβου ως εξυπηρετούμενου - πελάτη. Με δεδομένο ότι ο κόμβος έχει στη διάθεσή του τους εν δυνάμει εξυπηρετητές του, αυτούς δηλαδή που διαθέτουν τους πόρους ενδιαφέροντός του, με τη χρήση ενός μηχανισμού όπως προαναφέρθηκε, πρέπει πλέον να αποφασίσει για το μέγεθος του πόρου που θα ζητήσει από κάθε εξυπηρετητή. Στην εργασία αυτή, τόσο η στρατηγική εξυπηρετητή όσο και η στρατηγική εξυπηρετούμενου εκφράζεται με όρους εύρους ζώνης. Συνεπώς, ορίζεται το διάνυσμα αίτησης πόρων $\mathbf{x}_i = (x_{ij} : j = 1, \dots, N, j \neq i)$ όπου x_{ij} είναι το εύρος ζώνης που αιτείται ο i κόμβος στον j κόμβο - εξυπηρετητή προκειμένου να αποκτήσει τα αρχεία που επιθυμεί. Ο πίνακας αιτήσεως πόρων για όλο το σύστημα δίνεται από τον πίνακα $\mathbf{X} = (\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_N)^T$ όπου η i -στη γραμμή προσδιορίζει το διάνυσμα αίτησης πόρων του κόμβου

i , ενώ η i -στη στήλη είναι το διάνυσμα αιτήσεων από τους υπόλοιπους κόμβους του συστήματος που απευθύνονται στον i κόμβο, $\bar{x}_i = (x_{ji} : j = 1, \dots, N, j \neq i)$. Ως εξυπηρετητής, ο κόμβος i λαμβάνει υπόψη του τις αιτήσεις των άλλων κόμβων και αποφασίζει για την ποσότητα του εύρους ζώνης που θα διαθέσει σε κάθε ένα από αυτούς για να εξυπηρετηθούν οι ανάγκες τους. Ορίζεται λοιπόν, το διάνυσμα εξυπηρέτησης $y_i = (y_{ij} : j = 1, \dots, N, j \neq i)$, όπου y_{ij} είναι το εύρος ζώνης που παρέχει - αναθέτει ο κόμβος i στον κόμβο j . Τα διανύσματα x_i και y_i προσδιορίζουν πλήρως τη στρατηγική του κόμβου i .

Η αλληλεπίδραση των κόμβων είναι συνεχής αλλά μπορεί να διαχωριστεί σε διακριτά χρονικά στάδια. Κάθε χρονική στιγμή t , ο κόμβος i γνωρίζει τις υπάρχουσες αιτήσεις των άλλων κόμβων προς αυτόν, $\bar{x}_i^{(t-1)}$, οι οποίες προέκυψαν από τα προβλήματα βελτιστοποίησης που αυτοί έλυσαν την προηγούμενη χρονική στιγμή (στάδιο). Λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις αυτές, επιλύει το δικό του πρόβλημα βελτιστοποίησης που καθορίζει το διάνυσμα εξυπηρέτησης $y_i^{(t)}$ και το διάνυσμα αιτήσεων $x_i^{(t)}$. Είναι ενόητο ότι δεν υπάρχει λόγος για την ανάθεση εύρους ζώνης σε κάποιο κόμβο μεγαλύτερο από αυτό που αιτήθηκε. Συνεπώς, ισχύει ο περιορισμός

$$y_i^{(t)} \leq \bar{x}_i^{(t-1)} \quad (3.1)$$

Επιπλέον, για τον καθορισμό της στρατηγικής του λαμβάνει υπόψη του το βασικό περιορισμό της διαθέσιμης χωρητικότητας

$$\sum_{j \neq i} x_{ij}^{(t)} + \sum_{j \neq i} y_{ij}^{(t)} \leq C_i \quad (3.2)$$

Το κέρδος κάθε κόμβου από τη συμμετοχή του στο σύστημα προσδιορίζεται με τη βοήθεια μιας αύξουσας, κοίλης (concave) συνάρτησης η οποία ονομάζεται συνάρτηση "ωφέλειας", utility function $U_i(\cdot)$, και η τιμή της οποίας καθορίζεται από τους πόρους που αποκομίζει ο κόμβος από το σύστημα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, όπως προαναφέρθηκε, οι πόροι αυτοί εκφράζονται μέσω του εύρους ζώνης που ανατίθεται στον κόμβο i για την απόκτηση των αρχείων που αναζητά, $y_{ji}^{(t)}$, και εξαρτάται έμμεσα από τις προγενέστερες αιτήσεις του $x_{ij}^{(t-1)}$. Η έννοια της Utility function έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε παρόμοια μοντέλα αλλά και στη μελέτη παρόμοιων προβλημάτων. Είναι ένα γενικό εργαλείο το οποίο μπορεί να εκφράσει με αρκετά ακριβή τρόπο την αλληλεπίδραση ενός κόμβου με το υπόλοιπο σύστημα, έτσι όπως την αντιλαμβάνεται ο ίδιος ο κόμβος. Στο προτεινόμενο μοντέλο, θεωρούμε ότι η συνάρτηση αυτή είναι η ίδια για όλους τους κόμβους του συστήματος και ότι επιπλέον οι κόμβοι γνωρίζουν το γεγονός αυτός.

Το βασικό δίλημμα που αντιμετωπίζει κάθε κόμβος, όσον αφορά στη στρατηγική του, προέρχεται από τον ακόλουθο προβληματισμό. Αφενός, επιθυμεί να χρησιμοποιήσει το μεγαλύτερο δυνατό κλάσμα της χωρητικότητάς του για να καλύψει τις δικές του ανάγκες, λειτουργώντας ως εξυπηρετούμενος, μεγιστοποιώντας έτσι το όφελός τους και αφετέρου γνωρίζει ότι οφείλει, σε επίπεδο ηθικής δέσμευσης και συμμόρφωσης με το πρωτόκολλο, να εξυπηρετήσει και τα αιτήματα που του έχουν υποβληθεί. Η σύντομη ιστορία των P2P συστημάτων απέδειξε ότι η εγγενής τάση των κόμβων είναι να ενδιαφέρονται μόνο για την ικανοποίηση των δικών τους αναγκών και να επιλέγουν τη στρατηγική που περιγράφεται από τα διανύσματα $y_i = (0, 0, \dots, 0)$ και $x_i = (\frac{C_i}{N-1}, \frac{C_i}{N-1}, \dots, \frac{C_i}{N-1})$. Αυτή η συμπεριφορά δεν αποτελεί βιώσιμη λύση για το σύστημα και υποδυναμεί την επιτακτικότητα για την επανόηση και εγκατάσταση ενός μηχανισμού που θα προσφέρει στους κόμβους κίνητρα προσφοράς στο σύστημα.

Η εγγενής τάση του κόμβου i να συμμορφωθεί με το πρωτόκολλο και να συνεισφέρει στο σύστημα εξυπηρετώντας τους υπόλοιπους κόμβους, μοντελοποιείται με τη βοήθεια μίας απλής

βαθμωτής παραμέτρου που ονομάζεται K_i . Το μέγεθος αυτό είναι ανάλογο της τάσης του κόμβου να αποκλίνει από την επιθυμητή, για το κοινό συμφέρον, στρατηγική και αποτελεί ιδιωτική πληροφορία γνωστή μόνο στον ίδιο τον κόμβο. Σε επίπεδο πρωτοκόλλου, εκφράζει το ποσό της δυσαρέσκειας που είναι διατεθειμένος ο κόμβος να προκαλέσει στους υπόλοιπους κόμβους του συστήματος, μη εξυπηρετώντας τα αιτήματά τους. Συγκεκριμένα, η δυσαρέσκεια που προκαλεί ο κόμβος i στον κόμβο j οφείλεται στο γεγονός ότι δεν ικανοποίησε πλήρως το αίτημά του για ανάθεση του επιθυμητού εύρους ζώνης, και είναι ανάλογη της απόστασης της ανάθεσης αυτής από το αίτημα:

$$D_{ij} = U_j(x_{ji}^{(t-1)}) - U_j(y_{ij}^{(t)}) \quad (3.3)$$

Παρατηρούμε ότι χρησιμοποιήθηκαν οι συναρτήσεις ωφέλειας προκειμένου να είναι πιο αντιληπτή και πιο ορθά εκφρασμένη η δυσαρέσκεια. Εναλλακτικά, θα μπορούσε να είχε οριστεί το μέγεθος D_{ij} ως η απευθείας διαφορά των μεγεθών $x_{ji}^{(t-1)}$, $y_{ij}^{(t)}$. Το D_{ij} λαμβάνει μόνο θετικές τιμές αφού ισχύει σε κάθε περίπτωση ο περιορισμός ότι η ανάθεση είναι το πολύ ίση με το υπόψη αίτημα. Η παράμετρος K_i ορίζει το συνολικό ποσό δυσαρέσκειας που είναι διατεθειμένος να προκαλέσει συνολικά κάθε κόμβος, καθορίζοντας έτσι τη στρατηγική του:

$$\sum_{j \neq i} D_{ij} \leq K_i \quad (3.4)$$

Για $K_i = 0$ προκύπτει η κατηγορία των κόμβων που είναι διατεθειμένοι να εξυπηρετήσουν πλήρως τα αιτήματα που λαμβάνουν, σε βάρος των δικών τους αναγκών.

Το προσδοκώμενο σε αυτή την κατηγορία συστημάτων είναι να οριστεί ένα μηχανισμός ανάθεσης πόρων έτσι ώστε να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα του Free Riding και να αποφευχθούν οι συνέπειες του. Στην ιδανική περίπτωση, η αλληλεπίδραση των κόμβων θα πρέπει να καταλήγει σε απόδοση στον κάθε κόμβο i οφέλους αναλόγου της τάσης του να συνεισφέρει στο σύστημα, δηλαδή αντιστρόφως ανάλογο του K_i . Με αυτόν τον τρόπο, οι κόμβοι που δεν εξυπηρετούν τους υπόλοιπους του συστήματος θα τιμωρούνται με τον περιορισμό, συγκριτικά, του οφέλους τους. Ένας έμμεσος αλλά αποτελεσματικός μηχανισμός επιβολής κινήτρων για συμμετοχή στο σύστημα.

3.3 Το Πρόβλημα Βελτιστοποίησης και ο Μηχανισμός Υπολογισμού του Reputation

Στο προτεινόμενο μοντέλο, ο μηχανισμός που χρησιμοποιείται για την παροχή κινήτρων συνεισφοράς βασίζεται σε ένα βαθμωτό μέγεθος που ονομάζεται Reputation. Κάθε κόμβος i διατηρεί ένα διάνυσμα με τιμές για κάθε άλλο κόμβο με τον οποίο αλληλεπιδρά, $r_i = (r_{ij} : j \neq i, j = 1, \dots, N)$. Το μέγεθος r_{ij} αποτελεί το Reputation του κόμβου j έτσι όπως αυτό γίνεται αντιληπτό από τον κόμβο i και συνοψίζει τη συνεισφορά του j στους πόρους του i . Μετά την ολοκλήρωση κάθε συνδιαλλαγής μεταξύ των 2 κόμβων, η τιμή του r_{ij} ανανεώνεται σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$r_{ij}^{(t+1)} = r_{ij}^{(t)} + a \frac{y_{ji}^{(t)}}{x_{ij}^{(t-1)}}, \text{ if } x_{ij}^{(t-1)} > 0 \quad (3.5)$$

Διαφορετικά η τιμή του παραμένει σταθερή $r_{ij}^{(t+1)} = r_{ij}^{(t)}$. Το a είναι μία θετική σταθερά που ρυθμίζει την ταχύτητα προσαρμογής του Reputation, αφού αποτελεί τη μέγιστη ποσότητα

αύξησης του μεγέθους στην περίπτωση της πλήρους ικανοποίησης του αιτήματος του κόμβου i . Αξίζει να επισημανθεί ότι ο υπολογισμός του Reputation γίνεται ξεχωριστά από τον κάθε κόμβο και βασίζεται μόνο στις δικές του παρατηρήσεις για τη συμπεριφορά των υπόλοιπων κόμβων. Συνεπώς, δεν απαιτείται η εγκατάσταση ενός κεντρικού συστήματος παρακολούθησης των δοσοληψιών μεταξύ των κόμβων και αποτίμησης της συμπεριφοράς τους. Όταν ένα κόμβος j συμμετέχει πρώτη φορά στο σύστημα, ή στη δοσοληψία με έναν άλλο κόμβο i , λαμβάνει μία αρχική τιμή Reputation $r_{ij}^{(0)}$ η οποία αυξάνεται ανάλογα με τη συνεισφορά του. Με την πάροδο του χρόνου, οι κόμβοι που συνεισφέρουν περισσότερο αποκτούν και μεγαλύτερες τιμές r στα διανύσματα που διατηρούν οι υπόλοιποι κόμβοι του συστήματος και με τους οποίους συνεργάζονται.

Για την εφαρμογή του μηχανισμού παροχής κινήτρων χρησιμοποιούμε τις τιμές του reputation στην κατανομή των πόρων. Όταν ένας κόμβος έχει μεγάλο r τότε αυξάνεται η πιθανότητα να ικανοποιηθεί το αίτημά του για απόδοση εύρους ζώνης. Για να είναι αυτό δυνατό, θα πρέπει κάθε κόμβος όταν λειτουργεί ως εξυπηρετητής να λαμβάνει υπόψη του τις τιμές του r για κάθε κόμβο που αιτείται πόρους. Διευκρινίζεται ότι οι τιμές r δεν χρησιμοποιούνται με οποιονδήποτε τρόπο από τους κόμβους όταν αυτοί λειτουργούν ως εξυπηρετούμενοι. Για παράδειγμα, δεν επιλέγονται οι υποψήφιοι εξυπηρετητές με βάση το Reputation τους. Η μέθοδος που προτείνεται για την ενσωμάτωση του μηχανισμού στην κατανομή των πόρων, συνίσταται στο χρωματισμό της δυσαρέσκειας που προκαλεί ένας κόμβος στους υπόλοιπους με τις τιμές του r που διατηρεί για αυτούς.

$$\sum_{j \neq i} r_{ij} D_{ij} \leq K_i \quad (3.6)$$

Βάσει της παραπάνω ανίσωσης, η δυσαρέσκεια που προκαλεί ο κόμβος i στον κόμβο j είναι αντιστρόφως ανάλογη της τιμής r_{ij} . Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί εύκολα να διαφανεί από τον ακόλουθο συλλογισμό. Κάθε κόμβος i έχει την τάση να προκαλέσει τη μεγαλύτερη δυνατή δυσαρέσκεια στους υπόλοιπους κόμβους ως αποτέλεσμα της προσπάθειας του να χρησιμοποιήσει όλο το διαθέσιμο εύρος ζώνης για την ικανοποίηση των δικών του αναγκών. Ωστόσο, εάν υπάρχει κάποιος μηχανισμός αποτίμησης και αξιολόγησης της συμπεριφοράς του ως εξυπηρετητή, ο κόμβος γνωρίζει ότι πρέπει να περιορίσει τη δυσαρέσκεια που προκαλεί και να συνεργαστεί, έστω μερικώς με το σύστημα. Η συμπεριφορά αυτή μπορεί να περιγραφεί από ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης, η λύση του οποίου, αποκαλύπτει ότι κάθε κόμβος δυσαρεστεί περισσότερο τους κόμβους για τους οποίους διατηρεί τις μικρότερες τιμές reputation:

$$\max \sum_{j \neq i} D_{ij} \text{ s.t. } \sum_{j \neq i} r_{ij} D_{ij} \leq K_i \quad (3.7)$$

Με τον παραπάνω τρόπο επιτυγχάνεται η υλοποίηση ενός μηχανισμού παροχής κινήτρων για συνεισφορά στο σύστημα. Όταν ένας κόμβος εξυπηρετεί τα αιτήματα των άλλων κόμβων τότε αυξάνεται το reputation του και στις επόμενες δοσοληψίες επωφελείται αποκτώντας περισσότερους πόρους. Αντίθετα, όσο ένας κόμβος παραμελεί τα καθήκοντά του ως εξυπηρετητής αρνούμενος να συνεργαστεί με τους υπόλοιπους κόμβους, το reputation του μειώνεται με άμεση συνέπεια τον περιορισμό της τιμής της συνάρτησης ωφελείας του (Utility Function).

Μετά και την ενσωμάτωση του μηχανισμού παροχής κινήτρων, το πρόβλημα βελτιστοποίησης που πρέπει να επιλύει κάθε κόμβος i προκειμένου να αποφασίζει για τη στρατηγική του (x_i, y_i) είναι το εξής:

$$\max_{x_i, y_i} U_i(x_i) \quad (3.8)$$

subject to

$$\sum_{j \neq i} x_{ij} + \sum_{j \neq i} y_{ij} \leq C_i \quad (3.9)$$

$$\sum_{j \neq i} r_{ij} \left[U_j \left(x_{ji}^{(t-1)} \right) - U_j \left(y_{ij} \right) \right] \leq K_i \quad (3.10)$$

$$y_{ij} \leq x_{ji}^{(t-1)}, \forall j \quad (3.11)$$

Από τις εξισώσεις των περιορισμών προκύπτει ότι η μοναδική πληροφορία που πρέπει να ανταλλάξουν οι κόμβοι είναι οι απαιτήσεις τους σε εύρος ζώνης για την ικανοποίηση των αναγκών τους. Κάθε κόμβος, γνωρίζοντας τις απαιτήσεις των υπολοίπων, αποφασίζει για το κλάσμα του εύρους του που θα αφιερώσει στην εξυπηρέτηση των άλλων κόμβων. Επιπλέον, κατανέμει αυτό το φάσμα στους υποψήφιους πελάτες του με βάση τα αιτήματά τους σύμφωνα με τις τιμές Reputation που διατηρεί για αυτούς, ικανοποιώντας ταυτόχρονα τον περιορισμό για τη συνολική δυσανεμία που πρόκειται να προκαλέσει. Το υπόλοιπο εύρος ζώνης χρησιμοποιεί για την κάλυψη των δικών του αναγκών και το αποδίδει, υπό μορφή αιτημάτων, ομοιόμορφα στους υποψήφιους εξυπηρετητές του.

Η παραπάνω συνάρτηση ωφέλειας που επιχειρεί να μεγιστοποιήσει ο κόμβος δεν εκφράζει το πραγματικό κέρδος που θα αποκομίσει αλλά το προσδοκώμενο, αφού είναι συνάρτηση των αιτημάτων του x_i και όχι του εύρους ζώνης που θα του ανατεθεί y_{-i} τελικά από τους υπόλοιπους κόμβους. Μετά την επίλυση του προβλήματος και τον καθορισμό της βελτιστής στρατηγικής που οδηγεί στο μέγιστο προσδοκώμενο όφελος, κάθε κόμβος κοινοποιεί στους υπόλοιπους τα αιτήματά του, εκπέμποντας το x_i και αναθέτει το y_i για την εξυπηρέτηση των αιτημάτων του. Ταυτόχρονα, λαμβάνει το εύρος που του παραχώρησαν οι υπόλοιποι κόμβοι - εφαρμόζοντας την ίδια διαδικασία - κατόπιν των αιτημάτων του και υπολογίζει το πραγματικό όφελός του. Αυτό, προσδιορίζεται από τη συνάρτηση ωφέλειας με μεταβλητές το πραγματικό εύρος ζώνης που ανατέθηκε $U_{act} = \sum_{j \neq i} y_{ji}$.

Επιλύοντας το προτεινόμενο μοντέλο αναλυτικά για την περίπτωση τριών κόμβων, με τη χρήση των συνθηκών ΚΚΤ, και χρησιμοποιώντας ως συνάρτηση ωφέλειας τη $U(x) = \log(1+x)$ καταλήγουμε στο αναμενόμενο αποτέλεσμα για τη στρατηγική των κόμβων. Για παράδειγμα, για τον κόμβο 1 ισχύει:

$$x_{12} = x_{13} \quad \text{and} \quad \frac{y_{13} + 1}{y_{12} + 1} = \frac{r_{13}}{r_{12}} \quad (3.12)$$

Ο κόμβος 1 υποβάλλει ίσα αιτήματα στους κόμβους 2 και 3 ενώ τους εξυπηρετεί, y_{12} και y_{13} , με τρόπο ανάλογο της εκτίμησής του για κάθε έναν εξ' αυτών.

Συνολικά, ο αλγόριθμος όπως περιγράφηκε παραπάνω, μπορεί να ενσωματωθεί εύκολα σε ένα απλό πρωτόκολλο κατανομής πόρων το οποίο εκτελείται σε διαδοχικούς γύρους κάθε ένας εκ των οποίων έχει 3 στάδια. Οι επαναλαμβανόμενοι γύροι αλληλεπίδρασης προκύπτουν λόγω του ότι κάθε κόμβος δεν γνωρίζει τις πραγματικές διαθέσεις των υπολοίπων και συνεπώς παρατηρεί τη στρατηγική τους, μέσω των αιτημάτων και κυρίως μέσω των πόρων που του αναθέτουν και αναπροσαρμόζει κατάλληλα τη δική του στρατηγική έτσι ώστε να πετύχει τη μεγιστοποίηση του οφέλους του. Τα τρία στάδια περιγράφονται ως εξής:

- Κάθε κόμβος επιλύει το δικό του πρόβλημα βελτιστοποίησης λαμβάνοντας υπόψη του τα αιτήματα που του έχουν υποβληθεί στον προηγούμενο γύρο. Η λύση συνίσταται από το διάνυσμα αιτήσεων x_i και το διάνυσμα εξυπηρέτησης y_i .

- Κάθε κόμβος κοινοποιεί τα αιτήματά του στους αντίστοιχους υποψήφιους εξυπηρετητές και ταυτόχρονα αναθέτει το εύρος στους αιτούντες κόμβους - πελάτες σύμφωνα με τη λύση που προέκυψε στο προηγούμενο στάδιο του τρέχοντος γύρου.
- Κάθε κόμβος παρατηρεί τους πόρους που του αποδόθηκαν και υπολογίζει το πραγματικό όφελός του U_{act} . Επιπλέον, ανανεώνει την τιμή του reputation για τους κόμβους με τους οποίους αλληλεπιδράσε ανάλογα με το βαθμό ικανοποίησής του αιτήματός του.

Όπως θα διαφανεί από τις εκτενείς προσομοιώσεις, ο αλγόριθμος συγκλίνει μετά από ορισμένους γύρους σε ένα σημείο όπου η στρατηγική του κάθε κόμβου δε μεταβάλλεται.

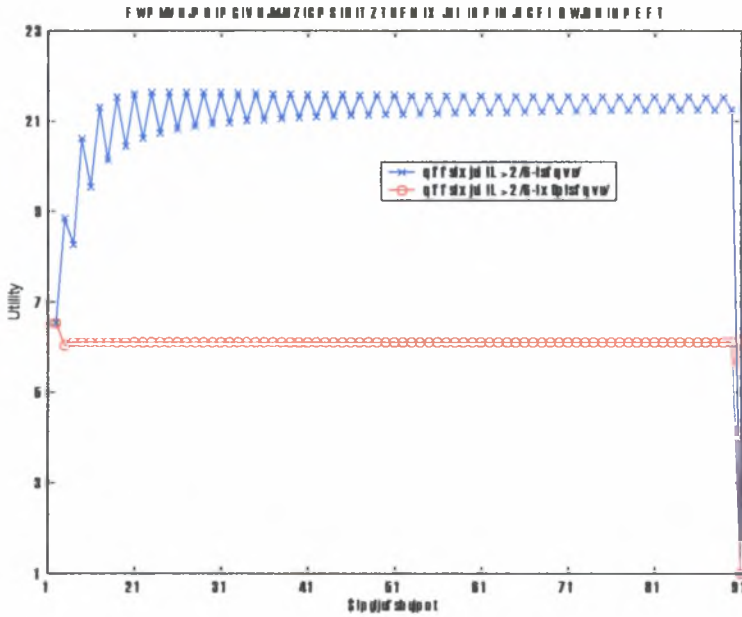
3.4 Προσομίωση

Προκειμένου να διερευνήσουμε την απόδοση του προτεινόμενου αλγορίθμου και την επίδραση των παραμέτρων του σε αυτή, πραγματοποιούμε εκτενείς προσομοιώσεις για ένα σύστημα 5 κόμβων που αλληλεπιδρούν στο πλαίσιο που αναλύθηκε στις προηγούμενες παραγράφους. Οι βασικές παράμετροι που προσδιορίζουν κάθε κόμβο i είναι το εύρος ζώνης C_i με το οποίο συνδέεται στο σύστημα και το K_i που εκφράζει την εγγενή τάση του να συνεισφέρει τους πόρους του. Ως συνάρτηση ωφελείας χρησιμοποιούμε τη λογαριθμική η οποία ικανοποιεί τις απαιτήσεις μας για μία αύξουσα και κοίλη συνάρτηση. Μοναδικό κριτήριο απόδοσης αποτελεί το πραγματικό όφελος που αποκομίζει κάθε κόμβος από τη συμμετοχή του στο σύστημα, όπως αυτό εκφράζεται μέσω της συνάρτησης U_{act} . Οι προσομοιώσεις πραγματοποιούνται διαδοχικά με την εφαρμογή ή όχι του μηχανισμού υπολογισμού του Reputation ώστε να καταδειχθεί η συνεισφορά αυτού στην επιβολή κινήτρων συνεισφοράς στο σύστημα.

Στο διάγραμμα 3.1 παρουσιάζεται η εξέλιξη, κατά τους διαδοχικούς γύρους αλληλεπίδρασης, της τιμής του U_{act} για ένα P2P σύστημα 5 κόμβων, όταν όλοι έχουν την ίδια τάση συνεισφοράς, που προσδιορίζεται από την τιμή $K_i = 1.5$ για κάθε i . Παρατηρούμε ότι η ενσωμάτωση του μηχανισμού υπολογισμού των reputations έχει ως αποτέλεσμα τον επηρεασμό της στρατηγικής των κόμβων και συντελεί στο διπλασιασμό του U_{act} για κάθε έναν από αυτούς.

Ωστόσο, ο βασικός στόχος του μηχανισμού παροχής κινήτρων είναι να διαχωρίσει τους κόμβους που συνεισφέρουν στο σύστημα αποδίδοντας στους υπόλοιπους εύρος ζώνης για να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες τους, από τους κόμβους που λειτουργούν ιδιοτελώς και δε συνεισφέρουν καθόλου ή συνεισφέρουν συγκριτικά πολύ λίγο. Στο διάγραμμα 3.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την περίπτωση όπου ο ένας από τους 5 κόμβους συμπεριφέρεται πιο εγωιστικά, $K = 5$, συγκριτικά με τους υπόλοιπους 4 κόμβους, $K = 1.5$. Η ενσωμάτωση του μηχανισμού παροχής κινήτρων επιφέρει σημαντικές βελτιώσεις στο U_{act} κάθε κόμβου και κυρίως το καθιστά ανάλογο της παραμέτρου K για κάθε κόμβο. Ο ιδιοτελής κόμβος οδηγείται σε μία σταθερή κατάσταση όπου λαμβάνει μηδενικό όφελος, τιμωρούμενος με αυτόν τον τρόπο για την μη ικανοποιητική του συνεισφορά στο σύστημα. Όπως παρατηρούμε από το γράφημα, η μη ενσωμάτωση του μηχανισμού έχει αποτελέσματα αντίθετα από τα επιδιωκόμενα επιτρέποντας τον ιδιοτελή κόμβο να πετύχει καλύτερο αποτέλεσμα από τους συνεργαζόμενους κόμβους. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι, όπως προκύπτει εύκολα και από τη σύγκριση των διαγραμμάτων 3.1 και 3.2, η παρουσία ιδιοτελών κόμβων έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του οφέλους των υπόλοιπων κόμβων, παρόλο που η συμπεριφορά των τελευταίων δεν μεταβλήθηκε.

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο διάγραμμα 3.3 φανερώνουν την ευρωστία και την ικανότητα του προτεινόμενου μηχανισμού να αντεπεξέλθει και στην περίπτωση παρουσίας περισσότερων του ενός ιδιοτελών κόμβων. Στην προκειμένη περίπτωση οι 2 κόμβοι έχουν $K = 5$



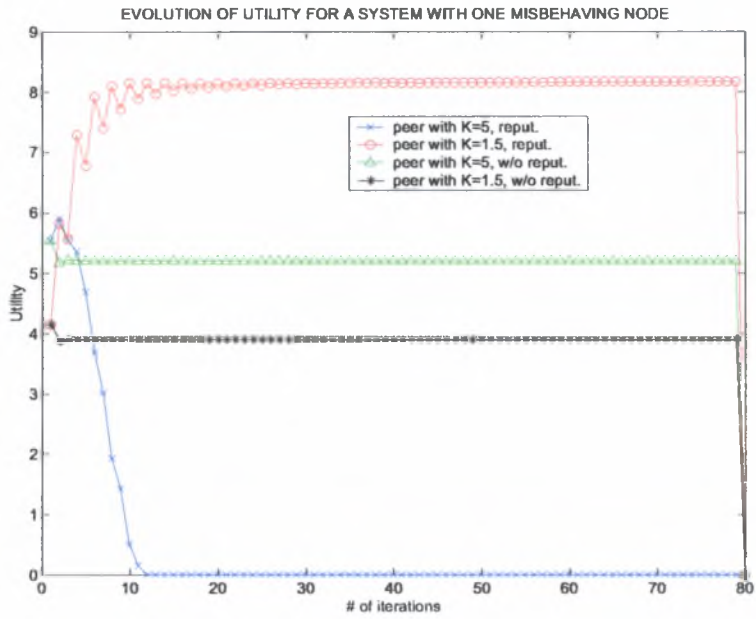
Σχήμα 3.1: Actual utility vs. number of iterations with and without reputation update.

και οδηγούνται σταδιακά σε μηδενικό όφελος, ενώ οι υπόλοιποι τρεις είναι πιο γενναιόδωροι, $K = 1.5$, και ανταμείβονται με μεγαλύτερο U_{act} . Η παρουσία των ιδιοτελών κόμβων, παρόλο την ύπαρξη του μηχανισμού, επιφέρει σημαντικές απώλειες της τάξης του 20% και στους υπόλοιπους κόμβους. Τέλος, στο διάγραμμα 3.4 διερευνάται η επίδραση της παραμέτρου του εύρους ζώνης C_i του κάθε κόμβου στην τιμή του U_{act} . Ο ένας εκ των 5 κόμβων συνδέεται με γραμμική τριπλάσια χωρητικότητα στο σύστημα και με την εφαρμογή του μηχανισμού λαμβάνει πολύ μεγαλύτερο συγκριτικά όφελος.

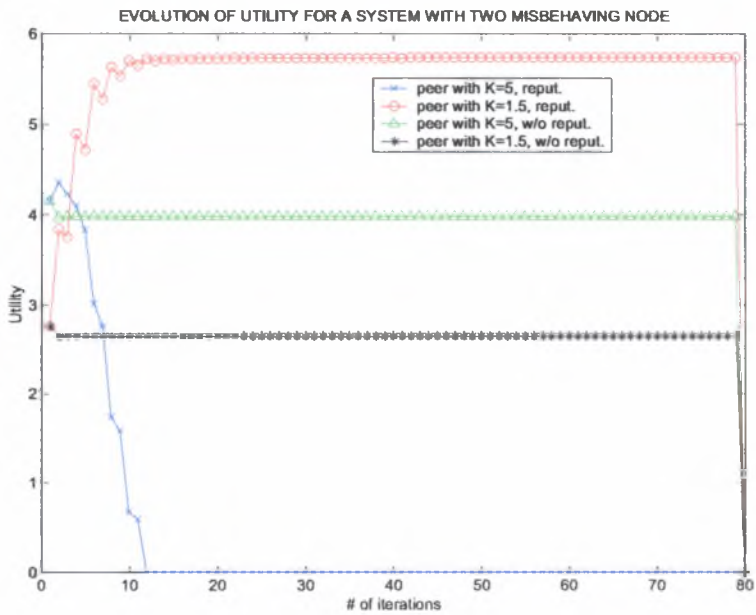
3.5 Συμπεράσματα και Επεκτάσεις

Χρησιμοποιώντας τον προτεινόμενο μηχανισμό παροχής κινήτρων το πρόβλημα του Free - Riding περιορίζεται σημαντικά και οι κόμβοι αποκομίζουν όφελος το οποίο είναι αντιστρόφως ανάλογο της διάθεσής του να δυσανεχθούν τους υπόλοιπους κόμβους. Όμως, παρόλο την αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου, υπάρχουν κάποια παραμένοντα προβλήματα που πρέπει να εξεταστούν και να αντιμετωπιστούν προκειμένου να εξασφαλισθεί η ευρωστία του.

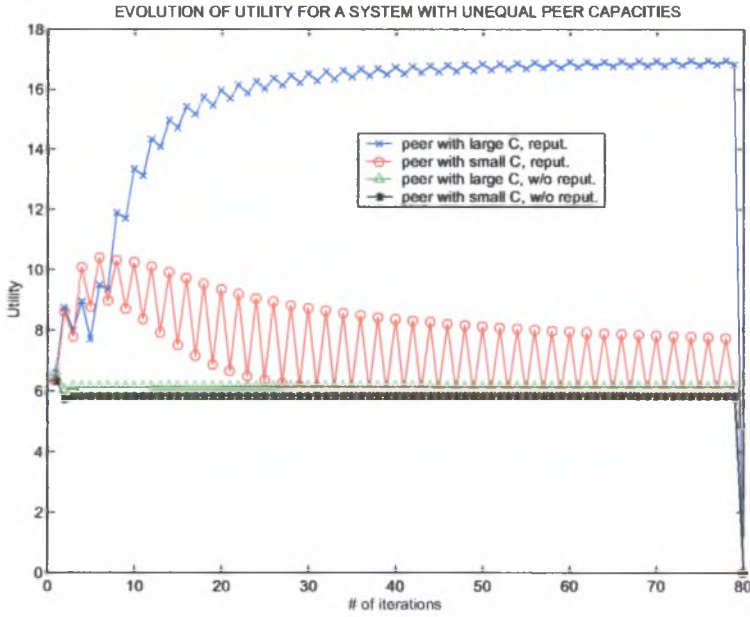
Καταρχάς, υπάρχει η δυνατότητα κάποιος κόμβος i να μη "σεβαστεί" τον περιορισμό για το εύρος ζώνης του και να εμφανίζει ιδιαίτερα υψηλά αιτήματα, x_i . Το Reputation του κόμβου αυτού δεν μειώνεται, αφού μπορεί να συνεχίσει να ικανοποιεί τα αιτήματα των άλλων κόμβων και το όφελός που αποκομίζει είναι αυξημένο λόγω του ότι, τελικά, το εύρος ζώνης που του αποδίδεται είναι ανάλογο των αιτημάτων του. Συνεπώς, παρουσιάζεται μία μη αναμενόμενη κατάσταση που οδηγεί στη μη δίκαιη κατανομή των πόρων του συστήματος. Η λύση που προτείνεται για αυτό το πρόβλημα είναι η τροποποίηση του μηχανισμού υπολογισμού του Reputation για κάθε κόμβο έτσι ώστε να αντιπροσώπευε τη λειτουργία του ως εξυπηρετητή και ως εξυπηρετούμενου. Συγκεκριμένα, προτείνεται η εισαγωγή ενός επιπλέον όρου ο οποίος



Σχήμα 3.2: Actual utility vs. number of iterations in a system with one misbehaving peer.



Σχήμα 3.3: Actual utility vs. number of iterations in a system with two misbehaving peers.



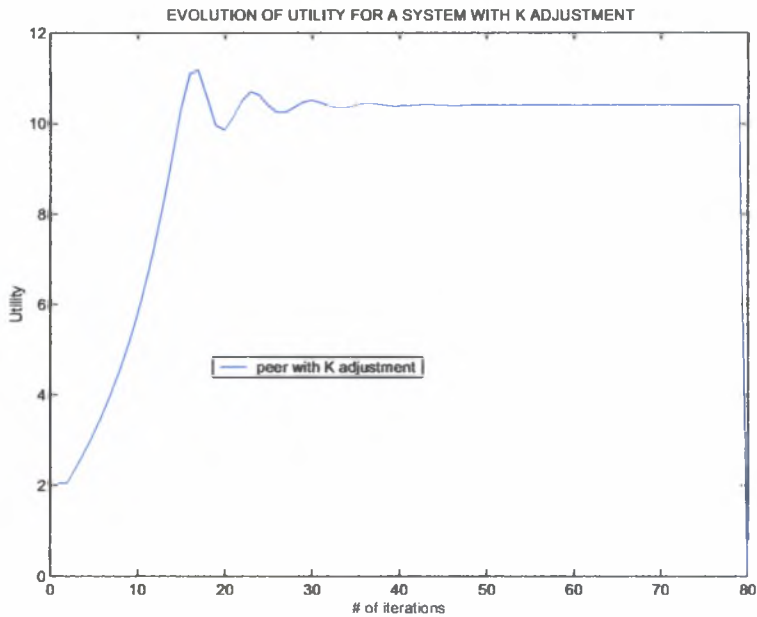
Σχήμα 3.4: Actual utility vs. number of iterations in a system with different link capacities for peers.

θα είναι αντιστρόφως ανάλογος της διαφοράς των αιτημάτων του κόμβου από το εύρος που αποδίδει για την εξυπηρέτηση των άλλων κόμβων. Με αυτό τον τρόπο οι κόμβοι που αιτούνται πολύ περισσότερο εύρος ζώνης από ότι συνεισφέρουν οι ίδιοι ανταμείβονται με χαμηλότερες τιμές Reputation. Η προτεινόμενη τροποποίηση μπορεί να έχει την ακόλουθη μορφή:

$$r_{ij}^{(t+1)} = r_{ij}^{(t)} + a \frac{y_{ji}^{(t)}}{x_{ij}^{(t-1)}} + b \frac{1}{1 + (x_{ji}^{(t)} - y_{ji}^{(t)})} \quad (3.13)$$

Όπου το b είναι μία θετική σταθερά με ρυθμιστικό ρόλο, κατά αντιστοιχία της σταθεράς a .

Ένα άλλο θέμα προς αντιμετώπιση σχετίζεται με το φόρτο στη γραμμή σύνδεσης των κόμβων με το υπόλοιπο σύστημα. Κάθε κόμβος i επιλύει σε κάθε γύρο το πρόβλημα βελτιστοποίησης που προαναφέρθηκε, υπό τους συγκεκριμένους περιορισμούς, και υπολογίζει τη στρατηγική του, x_{ij} και y_{ij} , για κάθε άλλο κόμβο j . Στο επόμενο στάδιο του γύρου και εφόσον όλοι οι κόμβοι έχουν επιλύσει το δικό τους πρόβλημα, γίνεται απόδοση των υπολογισθέντων χωρητικοτήτων μεταξύ των κόμβων. Συνεπώς, ενώ ο κόμβος i εξήγαγε τη στρατηγική του έτσι ώστε να ισχύει ο περιορισμός 3.1 και 3.2 στην πραγματικότητα, στη γραμμή του εφαρμόζεται το εύρος $\sum_{j \neq i} y_{ij}^{(t)} + y_{ji}^{(t)}$ όπου οι τιμές $y_{ji}^{(t)}$ είναι το εύρος που αποδίδουν στον i οι υπόλοιποι κόμβοι και είναι φραγμένες από τα αιτήματα αυτού, στον προηγούμενο γύρο $y_{ji}^{(t)} \leq x_{ij}^{(t-1)}$ και ενδεχομένως να ισχύει $\sum_{j \neq i} y_{ji}^{(t)} > \sum_{j \neq i} x_{ij}^{(t)}$ ή $\sum_{j \neq i} y_{ji}^{(t)} < \sum_{j \neq i} x_{ij}^{(t)}$. Είναι προφανές ότι υπάρχει πιθανότητα είτε να εμφανίζεται συμφόρηση στις γραμμές σύνδεσης των κόμβων, με αποτέλεσμα να κατασπαταλώνται πόροι του συστήματος, είτε να μη γίνεται πλήρη εκμετάλλευσή τους. Για τις προσομοιώσεις που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, ορίσαμε και μετρήσαμε τη χρήση των γραμμών σύνδεσης με την εφαρμογή του κλάσιματος $Usage = (\sum_{j \neq i} y_{ij}^{(t)} + y_{ji}^{(t)}) / C_i$

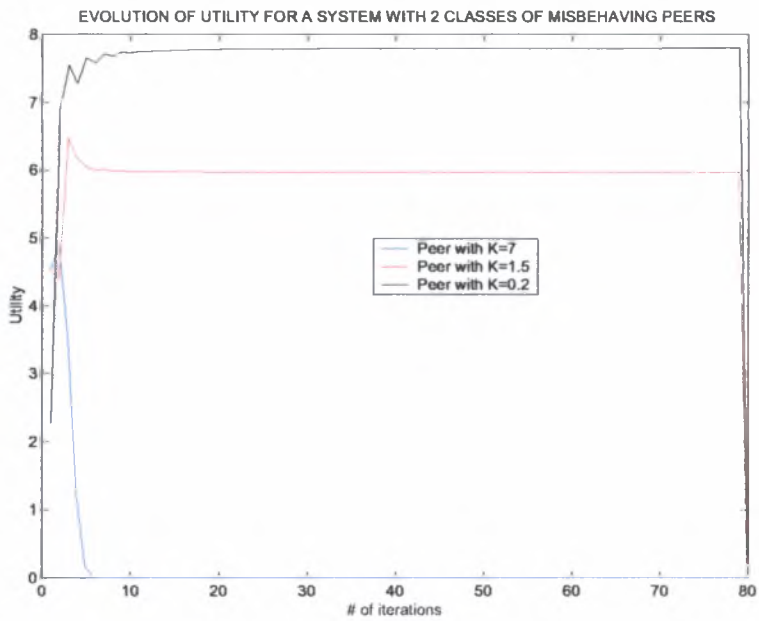


Σχήμα 3.5: Actual utility vs. number of iterations in a system where the nodes adjust their K parameter.

η οποία διακυμάνθηκε από 90% έως και 110%, επιβεβαιώνοντας τους παραπάνω συλλογισμούς.

Μία λύση για το παραπάνω πρόβλημα μπορεί να προκύψει με τη μεταβολή από τον κάθε κόμβο της παραμέτρου του K κατά την εξέλιξη της αλληλεπίδρασής του με τους υπόλοιπους κόμβους του συστήματος. Παρατηρώντας τη χρήση της γραμμής του, αναπροσαρμόζει το προφίλ του ώστε να εναρμονιστεί ουσιαστικά με τους συνεργαζόμενους κόμβους. Όταν η γραμμή δεν χρησιμοποιείται πλήρως, προκύπτει ότι υπάρχουν περιθώρια περαιτέρω βελτίωσης της συνεργασίας η οποία μπορεί να επιτευχθεί μειώνοντας περισσότερο το K . Αντίθετα, όταν η γραμμή είναι υπερφορτωμένη, αύξηση του θα οδηγήσει σε μείωση των παροχών στους άλλους κόμβους και κατά συνέπεια σε αποσυμφόρηση της γραμμής και ταυτόχρονη αύξηση του οφέλους.

Η μεταβολή της τιμής του K , πέρα από τις τεχνικές βελτιώσεις που επιφέρει συντελώντας στην ορθή εκμετάλλευση των γραμμών του κόμβου, έχει και σημαντικότερες εννοιολογικές επεκτάσεις. Εκφράζει την προσπάθεια των κόμβων να προσαρμοστούν στο σύστημα και συνοψίζει την εμπειρία που αποκτούν από την αλληλεπίδρασή τους με αυτό. Είναι αναμενόμενο με την πάροδο του χρόνου και την αποτίμηση της στρατηγικής τους οι κόμβοι να διαμορφώνουν άποψη για το πόσο συνεργάσιμοι ή όχι οφείλουν να είναι προκειμένου να αυξήσουν το κέρδος τους. Αν επιπλέον, η προσαρμογή γίνεται και με ορθολογικά κριτήρια, οδηγεί στην αναπροσαρμογή του K με βάση τη συμφόρηση της γραμμής του κάθε κόμβου και σύμφωνα με το συλλογισμό που αναπτύχθηκε παραπάνω. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνονται πολύ καλύτερα αποτελέσματα για κάθε κόμβο ξεχωριστά και συνολικά για όλο το σύστημα. Στα διαγράμματα 3.5 και 3.6 παρουσιάζεται η επίδραση της ενσωμάτωσης του μηχανισμού προσαρμογής του K στο μοντέλο για την περίπτωση που οι κόμβοι έχουν το ίδιο ή διαφορετικό εύρος ζώνης. Παρατηρούμε την εξομάλυνση των ταλαντώσεων σε σχέση με τα προηγούμενα αποτελέσματα.



Σχήμα 3.6: Actual utility vs. number of iterations in a system where the nodes adjust their K parameter.

Κεφάλαιο 4

Δυικοί Αλγόριθμοι

4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό, το πρόβλημα του Free Riding στα P2P συστήματα εξετάζεται εξ' αρχής και με τελείως διαφορετική προοπτική. Προτείνεται και διερευνάται ένας μηχανισμός ο οποίος έχει ως βασικό στόχο την απευθείας μεγιστοποίηση του συνολικού οφέλους του δικτύου, Total Network Utility, το οποίο ορίζεται ως το άθροισμα των αντίστοιχων συναρτήσεων των κόμβων. Ακολουθείται μία αντίστροφη πορεία, σε σχέση με το μοντέλο που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, όπου από το μοναδικό κοινό στόχο της βέλτιστης λύσης για το σύστημα οδηγούμαστε στις ενέργειες - δράση του κάθε κόμβου μεμονωμένα, που δύναται να οδηγήσουν στην επίτευξη αυτού του στόχου. Το ερώτημα που επιχειρείται να απαντηθεί είναι με πιο τρόπο ένας διαχειριστής του P2P συστήματος θα ελεγγχε τους κόμβους και θα καθόριζε τα διανύσματα αιτημάτων και εξυπηρέτησής τους έτσι ώστε να επιτευχθεί το μέγιστο κοινό αποτέλεσμα και να αποφευχθεί οποιαδήποτε απώλεια ωφέλειας; Στην περίπτωση απουσίας ενός τέτοιου διαχειριστή, όπως πράγματι συμβαίνει στην κατηγορία των συστημάτων που εξετάζουμε, είναι δυνατή η κατανεμημένη υλοποίηση αυτού του μηχανισμού?

Στην αντίστροφη αυτή πορεία οδηγούμαστε με τη βοήθεια της μαθηματικής θεωρίας που είναι γνωστή ως Lagrange Duality, [21], [22], και η οποία τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα για την αντιμετώπιση παρόμοιων με το παρουσιαζόμενο προβλημάτων. Ουσιαστικά, πρόκειται για έναν έμμεσο τρόπο επίλυσης ενός προβλήματος βελτιστοποίησης όπου απαιτείται ο συγχρονισμός πολλών ανεξάρτητων οντοτήτων - κόμβων. Με αυτό τον τρόπο οδηγούμαστε σε έναν αλγόριθμο ο οποίος όχι μόνο δεν αναφέρει τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο αλλά, αντιθέτως τα ενισχύει, παρέχοντας έναν πιο αυστηρό ορισμό για το μηχανισμό του Reputation και μία πιο τεχνική ερμηνεία της παραμέτρου K .

4.2 Θεωρία Βελτιστοποίησης Lagrange Duality

Ένα μεγάλο πλήθος προβλημάτων κατανομής πόρων σε δίπτυα μπορεί να μοντελοποιηθεί και να αντιμετωπισθεί ως πρόβλημα βελτιστοποίησης κάποιας ορισθείσας συνάρτησης ωφέλειας με συγκεκριμένους περιορισμούς. Ο όρος Network Utility Maximization, NUM, χρησιμοποιείται συνήθως για να περιγράψει αυτή την κατηγορία προβλημάτων. Προκειμένου να είναι εφικτή η επίλυση με κατανεμημένο τρόπο, από κάθε κόμβο ξεχωριστά, εξετάζεται η δυνατότητα διαχωρισμού του αρχικού προβλήματος σε ισοδύναμο πλήθος μικρότερων προβλημάτων. Ένα

εργαλείο που χρησιμοποιείται για αυτό το σκοπό ολοένα και περισσότερο τα τελευταία χρόνια, είναι η μαθηματική θεωρία του Lagrange Duality.

Ο διαχωρισμός του προβλήματος καθορίζει την κατανομή των πόρων του συστήματος μεταξύ των κόμβων και επιπλέον ορίζει και την ανάθεση των διαφόρων λειτουργιών σε αυτούς. Ουσιαστικά, πρόκειται για ένα εργαλείο σχεδίασης της αρχιτεκτονικής του δικτύου. Η μεθοδολογία αυτή έχει χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη κατανεμημένων αλγορίθμων για την επίλυση των πιο γνωστών προβλημάτων NUM, όπως είναι η κατανεμημένη δρομολόγηση, ο έλεγχος ισχύος εκπομπής και ο έλεγχος συμφόρησης. Διαφορετικές μοντελοποιήσεις του ίδιου προβλήματος οδηγούν σε διαφορετικές λύσεις του και συνεπώς σε διαφορετικές αρχιτεκτονικές δικτύου. Μία αναλυτική και κομψή προσέγγιση του θέματος υπάρχει στο [23].

Από μαθηματική άποψη, η θεωρία του Lagrange Duality συνδέει το αρχικό πρόβλημα ελαχιστοποίησης (ή μεγιστοποίησης), το οποίο ονομάζεται πρωτεύον πρόβλημα, με ένα δυϊκό πρόβλημα μεγιστοποίησης (ή ελαχιστοποίησης) το οποίο τις περισσότερες φορές προσφέρει τη δυνατότητα διαχωρισμού του σε μικρότερα, πιο απλά, προβλήματα. Οι ιδιότητες αυτές καθιστούν ιδιαίτερα ελκυστική την επίλυση του δυϊκού προβλήματος, η λύση του οποίου, υπό ορισμένες συνθήκες (Slater's conditions) συμπίπτει με τη λύση του αντίστοιχου πρωτεύοντος προβλήματος (zero duality gap). Με αυτό τον τρόπο, ένα συνολικό πρόβλημα βελτιστοποίησης διασπάται σε μικρότερα προβλήματα κατάλληλα να επιλυθούν από κάθε κόμβο του δικτύου μεμονωμένα. Μοναδική προϋπόθεση αποτελεί η ανταλλαγή μεταξύ των κόμβων ορισμένων παραμέτρων, των δυϊκών μεταβλητών.

4.3 Ορισμός του προβλήματος και του μοντέλου

Ο πυρήνας του μοντέλου που χρησιμοποιούμε στο κεφάλαιο αυτό είναι κατά βάση ο ίδιος με το μοντέλο που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο μερικώς τροποποιημένος από τις ακόλουθες βασικές παρατηρήσεις. Πρώτα απ' όλα, το πραγματικό όφελος που αποκομίζει ο κόμβος i από τη συμμετοχή του στο σύστημα εξαρτάται άμεσα μόνο από το εύρος ζώνης y_{ji} που του παραχωρεί κάθε άλλος κόμβος j για να αποκτήσει τους επιθυμητούς πόρους. Τα αιτήματα του ίδιου του κόμβου, x_{ij} , επηρεάζουν έμμεσα αυτή τη διαδικασία αλλά, ουσιαστικά, παραμένει στην πρωτοβουλία του κάθε εν δυνάμει εξυηρητητή το αν θα τα ικανοποιήσει και σε ποιο βαθμό. Δεύτερον, η χρησιμοποίηση της σύνδεσης του κάθε κόμβου με το σύστημα καθορίζεται από το δικό του διάνυσμα εξυηρητήτης y_i , και από το εύρος ζώνης που του παραχωρούν όλοι οι κόμβοι με τους οποίους αλληλεπιδρά, y_{-i} . Όπως προαναφέρθηκε, τα αιτήματα των κόμβων, τα οποία είναι απλά μηνύματα και όχι αναπθήμενο εύρος ζώνης, επηρεάζουν αυτή τη διαδικασία μόνο έμμεσα. Παρατηρούμε λοιπόν, ότι ο πυρήνας του προβλήματος δεν περιλαμβάνει ευθέως τα διανύσματα αιτημάτων των κόμβων.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω και επαχειρώντας να εκφράσουμε το πρόβλημα της μεγιστοποίησης του οφέλους συνολικά, σε επίπεδο συστήματος, οδηγούμαστε στην ακόλουθη μοντελοποίηση για το P2P σύστημα:

$$\max_{\mathbf{y}} \sum_i U_i(y_{ij}, y_{ji}) \quad (4.1)$$

subject to

$$\sum_{j \neq i} y_{ij} + \sum_{j \neq i} y_{ji} \leq C_i, \forall i \quad (4.2)$$

Από τεχνικής άποψης, το βασικό χαρακτηριστικό αυτού του μοντέλου είναι ότι τόσο η αντικειμενική συνάρτηση, δηλαδή η συνάρτηση ωφέλειας, όσο και ο περιορισμός για το εύρος ζώνης του κάθε κόμβου είναι συζευγμένα ως προς τις μεταβλητές όλων των συμμετεχόντων κόμβων. Ο κόμβος i δεν γνωρίζει τις αποφάσεις κάθε άλλου κόμβου j , y_{ji} , και συνεπώς δεν μπορεί να λύσει το πρόβλημα της βελτιστοποίησης μεμονωμένα. Απαιτείται σημαντική συνεργασία και επικοινωνία μεταξύ των ανεξάρτητων κόμβων του δικτύου, κάτι το οποίο είναι σχεδόν ανέφικτο για την περίπτωση των P2P συστημάτων.

Προκειμένου να υπερκεράσουμε το πρόβλημα της σύζευξης εισάγουμε για κάθε κόμβο i βοηθητικές μεταβλητές οι οποίες είναι τοπικές και αντικαθιστούν τις εξωτερικές μεταβλητές y_{ji} , [24]. Για να είναι εφικτή η αντικατάσταση πρέπει να συνοδεύεται από την εισαγωγή κατάλληλων περιορισμών ισότητας για κάθε ζεύγος κόμβων $\{i, j\}$. Χρησιμοποιούμε το συμβολισμό x_{ij} όπως και για τα αιτήματα των κόμβων στο προηγούμενο μοντέλο. Με την εισαγωγή των νέων μεταβλητών το πρόβλημα μπορεί να ξαναγραφεί ως ακολούθως:

$$\max_{y_i, x_i} \sum_i U_i(y_{ij}, x_{ij}) \quad (4.3)$$

subject to

$$\sum_{j \neq i} y_{ij} + \sum_{j \neq i} y_{ji} \leq C_i, \forall i \quad (4.4)$$

$$x_{ij} = y_{ji}, \forall i, j \quad (4.5)$$

Μετά από αυτή την τροποποίηση, η συνάρτηση ωφέλειας κάθε κόμβου εξαρτάται μόνο από τις τοπικές μεταβλητές και η σύζευξη έχει μεταφερθεί και κρύβεται αποκλειστικά στους περιορισμούς του προβλήματος. Το πρόβλημα δύναται πλέον να λυθεί με την εφαρμογή των κλασικών μεθόδων του Dual Lagrange Decomposition.

Το βασικό σημείο στη μεθοδολογία του decomposition είναι ο προϋπορισμός των μεταβλητών που είναι τοπικές για κάθε κόμβο και ο καθορισμός των πληροφοριών που θα μεταδίδονται μεταξύ των κόμβων του συστήματος. Στην κλασική περίπτωση, οι δυϊκές μεταβλητές είναι αυτές που εκπέμπονται στο δίκτυο και συντελούν στην επίτευξη του συντονισμού του συστήματος. Αντίθετα, στο υπόψη μοντέλο, προκειμένου αυτό να αντικατοπτρίζει και την πραγματική λειτουργία ενός P2P συστήματος, προτείνεται η εκπομπή των βοηθητικών μεταβλητών x_{ij} οι οποίες θα αντιστοιχούν, με αυτό τον τρόπο, στα αιτήματα (requests) των κόμβων. Οι δυϊκές μεταβλητές θα τηρούνται και θα ανανεώνονται τοπικά σε κάθε κόμβο επηρεάζοντας έμμεσα τη στρατηγική του.

Προκειμένου να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, πρέπει να γίνουν μερικές αιώμα τροποποιήσεις στο μοντέλο. Με τη χρήση του περιορισμού ισότητας (4.5) αντικαθιστούμε κάθε μεταβλητή y_{ji} με τη μεταβλητή x_{ij} στην ανισότητα (4.4). Η αντικατάσταση αυτή σε επίπεδο συστήματος υποδηλώνει ότι κάθε κόμβος καθορίζει από κοινού το διάνυσμα αιτημάτων του και το διάνυσμα εξυπηρέτησης έτσι ώστε το άθροισμα του προσδοκώμενου εύρους ζώνης και του εύρους ζώνης που αυτός θα παραχωρήσει να μην υπερβαίνει τη συνολική χωρητικότητα της γραμμής του. Στην περίπτωση που ικανοποιούνται όλοι οι περιορισμοί ισότητας, αυτή η αντικατάσταση δεν θα έχει καμία επίδραση στο μοντέλο. Διαφορετικά, εάν τα διανύσματα εξυπηρέτησης διαφέρουν από τα αντίστοιχα αιτήματα, θα υπάρχει απόκλιση από τη θεμιτή ικανοποίηση της ισότητας (4.4). Η απόκλιση αυτή, που εκφράζει είτε μη πλήρη εκμετάλλευση των γραμμών σύνδεσης, είτε υπερεκμετάλλευση αυτών, δηλαδή συμφόρηση, μπορεί να ελεγχθεί και να εξαλειφθεί μέσω της συνεργασίας των κόμβων.

Έτσι, "χαλαρώνοντας" τον περιορισμό ισότητας, ορίζουμε τη Lagrangian του συστήματος η οποία δύναται να διασπαστεί στις αντίστοιχες Lagrange συνιστώσες για τον κάθε κόμβο.

$$L(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{r}) = \sum_i U_i(\mathbf{y}_i, \mathbf{x}_i) - \sum_i \sum_j r_{ij}(y_{ji} - x_{ij}) \quad (4.6)$$

$$L(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{r}) = \sum_i L_i(\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_i, \mathbf{r}_i) \quad (4.7)$$

όπου

$$L_i(\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_i, \mathbf{r}_i) = U_i(\mathbf{y}_i, \mathbf{x}_i) + \sum_{j \neq i} r_{ij}x_{ij} - \sum_{j \neq i} r_{ji}y_{ij} \quad (4.8)$$

Παρατηρούμε ότι δεν απαιτείται, σε αυτό το σημείο, "χαλάρωση" του περιορισμού που αφορά το εύρος ζώνης διότι έχει επιτευχθεί η αποσυζευξή του λόγω της αντικατάστασης σε αυτόν, των μεταβλητών y_{ji} με τις μεταβλητές x_{ij} όπως προαναφέρθηκε. Το δυϊκό πρόβλημα είναι ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης χωρίς περιορισμούς

$$\min_{\mathbf{r}} g(\mathbf{r}) \quad (4.9)$$

όπου η δυϊκή συνάρτηση $g(\mathbf{r})$ ορίζεται ως ακολούθως

$$g(\mathbf{r}) = \sum_i L_i(\mathbf{r}_i, \mathbf{x}_i^*, \mathbf{y}_i^*) \quad (4.10)$$

όπου το L_i^* προκύπτει από τη λύση του προβλήματος

$$\max_{\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_i} U_i(\mathbf{y}_i, \mathbf{x}_i) + \sum_{j \neq i} r_{ij}x_{ij} - \sum_{j \neq i} r_{ji}y_{ij} \quad (4.11)$$

subject to

$$\sum_{j \neq i} y_{ij} + \sum_{j \neq i} x_{ij} \leq C_i, \forall i \quad (4.12)$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι για τις μεταβλητές \mathbf{r} δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός προσημίου αφού αντιστοιχούν σε περιορισμό ισότητας.

4.4 Παρουσίαση του πρώτου Δυϊκού Αλγορίθμου (Αλγόριθμος 2).

Μετά την ολοκλήρωση του διαχωρισμού του αρχικού προβλήματος κάθε κόμβος πρέπει να επιλύσει το ακόλουθο πρόβλημα βελτιστοποίησης που αφορά τις δικές του τοπικές μεταβλητές.

$$\min_{\mathbf{r}_i} \max_{\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_i} L_i(\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_i, \mathbf{r}_i) \quad (4.13)$$

subject to

$$\sum_{j \neq i} y_{ij} + \sum_{j \neq i} x_{ij} \leq C_i \quad (4.14)$$

Προκειμένου να διευκολυνθεί η επίλυση αυτού του προβλήματος και να βελιωθούν οι ιδιότητες σύγκλισης του προτεινόμενου αλγορίθμου (ταχύτητα σύγκλισης, σταθερότητα κ.α.) εφαρμόζεται και σε αυτό το επίπεδο ένα δεύτερο Dual Lagrange Decomposition με

τη "χαλάρωση" του ανωτέρου περιορισμού ανισότητας που αποσυναρμολογεί το παραπάνω πρόβλημα βελτιστοποίησης σε ένα ισοδύναμο σύνολο μικρότερων προβλημάτων, κάθε ένα εκ των οποίων αφορά 2 μόνο μεταβλητές, x_{ij} , y_{ij} . Έτσι, κάθε κόμβος επιλύει ταυτόχρονα το ακόλουθο πρόβλημα για κάθε j .

$$\max_{x_{ij}, y_{ij}} L_{ij}(x_{ij}, y_{ij}, r_{ij}) \quad (4.15)$$

όπου

$$L_{ij} = U_{ij}(y_{ij}, x_{ij}) + r_{ij}x_{ij} - r_{ji}y_{ij} - \lambda_i(y_{ij} + x_{ij}) \quad (4.16)$$

και η αντίστοιχη δεικτική συνάρτηση

$$\min_{\lambda_i} g_{ij}(x_{ij}^*, y_{ij}^*, r_{ij}, \lambda_i) \quad (4.17)$$

subject to

$$\lambda_i \geq 0 \quad (4.18)$$

Προϋπόθεση για την εφικτότητα αυτού του διαχωρισμού αποτελεί η δυνατότητα διαχωρισμού της συνάρτησης U_i στις επιμέρους συνιστώσες U_{ij} αυτής. Με αυτό τον τρόπο, το αρχικό πρόβλημα επιλύεται σε 2 στάδια, με την εφαρμογή 2 Dual Lagrange Decompositions, τα οποία εφαρμόζονται σε διαφορετική κλίμακα χρόνου. Πρώτα πραγματοποιείται βελτιστοποίηση ως προς τη δεικτική μεταβλητή λ_i και στη συνέχεια ως προς τις μεταβλητές r_{ij} .

Για την επίλυση αυτής της κατηγορίας των προβλημάτων έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι που ποικίλουν ανάλογα με τις ιδιότητες του προβλήματος. Σε αυτή την περίπτωση εφαρμόζουμε την κλασική μεθοδολογία που χρησιμοποιείται ευρέως, [?], με τις διαφοροποιήσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω και εντοπίζονται κυρίως στο διπλό decomposition και στην εκπομπή των βοηθητικών μεταβλητών, που εκφράζουν τα αιτήματα των κόμβων, αντί των δεικτικών μεταβλητών. Η ελαχιστοποίηση των δεικτικών συναρτήσεων γίνεται αναδρομικά με την εφαρμογή της μεθόδου gradient descent ως εξής:

$$r_{ij}^{(t+1)} = r_{ij}^{(t)} - \alpha_1 \nabla_{r_{ij}} L, \forall j \quad (4.19)$$

και

$$\lambda_i^{(t+1)} = [\lambda_i^{(t)} - \alpha_2 \nabla_{\lambda_i} L_i]^+ \quad (4.20)$$

όπου με αντικατάσταση του ανάδελτα, προκύπτει:

$$r_{ij}^{(t+1)} = r_{ij}^{(t)} + \alpha_1 (y_{ji} - x_{ij}), \forall j \quad (4.21)$$

και

$$\lambda_i^{(t+1)} = [\lambda_i^{(t)} - \alpha_2 (\sum_j x_{ij} + \sum_j y_{ij} - C_i)]^+ \quad (4.22)$$

Ο κατανεμημένος αλγόριθμος επίλυσης του αρχικού προβλήματος βελτιστοποίησης είναι παρόμοιος με τον αντίστοιχο που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο και υλοποιείται από κάθε κόμβο ξεχωριστά σε διαδοχικούς γύρους κάθε ένας εκ των οποίων αποτελείται από τις ακόλουθες φάσεις.

- **Παράμετροι:** Η συνάρτηση ωφέλειας U_i , η οποία διασπάται στις επιμέρους συνιστώσες U_{ij} και το εύρος ζώνης του κάθε κόμβου, C_i .

- **Αρχικοποίηση:** Οι δυϊκές μεταβλητές αρχικοποιούνται σε κάποιες εφικτές τιμές, $\lambda_i^{(0)} \geq 0$ και $r_{ij}^{(0)}$. Επίσης ορίζεται $t = 0$.

1. Κάθε κόμβος i επιλύει τοπικά τα προβλήματα (4.15) για κάθε j .
2. Κάθε κόμβος ανανεώνει τη δυϊκή μεταβλητή λ_i με τη χρήση του τύπου (4.22).
3. Θέτει $t \leftarrow t + 1$ και επαναλαμβάνει από το βήμα 1 μέχρι να ικανοποιηθεί το κριτήριο τερματισμού. Στην περίπτωση ικανοποίησής του προκύπτει η λύση των παραπάνω προβλημάτων που είναι το διάνυσμα εξυπηρέτησης y_i^* το οποίο υλοποιείται αμέσως, με την ανάθεση του εύρους ζώνης στους άλλους κόμβους και το διάνυσμα των αιτήσεων x_i^* το οποίο εκπέμπεται, προς όλους τους εμπλεκόμενους. Ο κόμβος προχωρά στο επόμενο βήμα.
4. Κάθε κόμβος i παρατηρεί τα αιτήματα των άλλων κόμβων x_{ji} καθώς και την ανταπόκρισή τους, y_{ji} , στα δικά του αιτήματα και ανανεώνει όλες τις δυϊκές μεταβλητές r_{ij} και r_{ji} με τη χρήση του τύπου (4.21). Επαναλαμβάνει από το βήμα 1 μέχρι να ικανοποιηθεί το κριτήριο του τερματισμού.

Πρέπει να επισημανθεί ότι κάθε κόμβος i υπολογίζει όλες τις δυϊκές μεταβλητές r_{ij} , δηλαδή για όλες τις τιμές των i και j . Αυτό είναι απαραίτητο και ταυτόχρονα εφικτό, λόγω του ότι, όπως αναφέρθηκε, δεν εκπέμπονται οι δυϊκές μεταβλητές αλλά οι βοηθητικές μεταβλητές.

Ιδιαίτερη σημασία έχει η ερμηνεία των δυϊκών μεταβλητών όπως αυτή προκύπτει από τις αναδρομικές εξισώσεις υπολογισμού τους, (4.21) και (4.22). Η μεταβλητή r_{ij} είναι το Reputation του κόμβου j όπως αυτό υπολογίζεται από τον κόμβο i και καθορίζεται από την ανταπόκριση του πρώτου στα αιτήματα του δεύτερου. Αντίθετα, η μεταβλητή r_{ji} είναι η εκτίμηση του κόμβου i για το δικό του Reputation όπως το υπολογίζει ο κόμβος j . Δηλαδή, η εκτίμηση του κόμβου i για την "άποψη" που έχει για αυτόν ο κόμβος j . Αν οι 2 κόμβοι χρησιμοποιούν ακριβώς τον ίδιο αναδρομικό τύπο υπολογισμού του r , τότε η εκτίμηση του i θα συμπίπτει με την πραγματική τιμή του r_{ji} . Τέλος, η μεταβλητή λ_i , που συνήθως σε παρόμοια μοντέλα ερμηνεύεται ως η τιμή χρησιμοποίησης της γραμμής, μπορεί στην προκειμένη περίπτωση να ερμηνευτεί ως το κόστος του ατελούς συγχρονισμού του κόμβου με το υπόλοιπο σύστημα. Τέλειος συγχρονισμός επιτυγχάνεται όταν ο κόμβος εκμεταλλεύεται πλήρως τη χωρητικότητα της γραμμής του, ικανοποιώντας την ισότητα (4.12). Στην περίπτωση μερικής χρησιμοποίησης ή υπερεκμετάλλευσης της, προκαλείται απώλεια οφέλους αναλόγου της τιμής του λ_i .

4.5 Αντιμετώπιση του Free Riding

Ο αλγόριθμος που παρουσιάστηκε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την υλοποίηση ενός πρωτοκόλλου το οποίο, εφόσον όλοι οι συμμετέχοντες κόμβοι συμμορφώνονται σε αυτό, μπορεί να οδηγήσει σε μεγιστοποίηση του οφέλους του κάθε κόμβου και του δικτύου συνολικά. Ωστόσο, για να είναι πρακτικά υλοποιήσιμο και να έχει ουσιαστική αξία για τα πραγματικά συστήματα θα πρέπει να αντιμετωπίζει και το πρόβλημα του Free Riding ώστε να αποθαρρύνονται οι κόμβοι από το να μη συνεισφέρουν στο P2P σύστημα.

Στο προτεινόμενο μοντέλο η εγωιστική συμπεριφορά ενός κόμβου μπορεί να εκφραστεί με τη βοήθεια της συνάρτησης ωφέλειας. Για το δίκτυο συνολικά η συνάρτηση ωφέλειας

μπορεί να οριστεί ως η διαφορά του "καθαρού" κέρδους των κόμβων μείον τη δυσανεξία που προκαλείται σε αυτούς από τη μη ικανοποίηση των αιτημάτων τους:

$$NetUtility = \sum_i [U_i(\mathbf{y}_{-i}^{(t)}) - U_i(\mathbf{y}_{-i}^{(t)} - \mathbf{x}_i^{(t-1)})] \quad (4.23)$$

όπου $\mathbf{x}_i^{(t-1)}$ είναι τα αιτήματα του κόμβου i την προηγούμενη χρονική στιγμή, $t - 1$, και $\mathbf{y}_{-i}^{(t)}$ είναι το εύρος ζώνης που του έχουν αποδώσει οι υπόλοιποι κόμβοι κατά τη τρέχουσα χρονική στιγμή. Σε περίπτωση που αυτά τα μεγέθη ταυτίζονται, ο κόμβος ικανοποιείται πλήρως.

Κατά τη διάσπαση του προβλήματος αυτού, η διαφορά (4.23) επιμερίζεται σε κάθε κόμβο ξεχωριστά, ο οποίος προσπαθεί να αυξήσει το όφελός του χωρίς να προκαλεί δυσανεξία στους υπόλοιπους κόμβους. Αυτό σημαίνει ότι στην ανάλυση της προηγούμενης παραγράφου θα πρέπει να ορίσουμε ως συνάρτηση ωφελείας U_i τη διαφορά:

$$\tilde{U}_i(\mathbf{y}_i^{(t)}, \mathbf{x}_i^{(t)}) = U_i(\mathbf{x}_i^{(t)}) - U_{-i}(\mathbf{y}_i^{(t)} - \mathbf{x}_i^{(t-1)}) \quad (4.24)$$

Ο πρώτος όρος εκφράζει το προσδοκώμενο όφελος του κόμβου i , το οποίο είναι ανάλογο των αιτημάτων του \mathbf{x}_i , και ο δεύτερος τη δυσανεξία που προκαλεί σε όλους τους άλλους κόμβους οι οποίοι του έχουν απευθύνη αιτήματα εξυπηρέτησης. Αν τους ικανοποιήσει πλήρως, $\mathbf{y}_i = \mathbf{x}_{-i}$ τότε δεν θα προκληθεί δυσανεξία αλλά θα περιοριστεί η δυνατότητα του ίδιου του κόμβου i για κάλυψη των δικών του αναγκών.

Σε αυτό το πλαίσιο είναι εύκολο να εκφραστεί η εγωιστική συμπεριφορά ενός κόμβου ο οποίος δεν ενδιαφέρεται για την εξυπηρέτηση των υπόλοιπων κόμβων του δικτύου. Η συνάρτηση ωφελείας ενός τέτοιου κόμβου δεν επιβαρύνεται από τον αρνητικό όρο της δυσανεξίας που προκαλεί. Προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί η εγωιστική συμπεριφορά και να περιγραφεί όλο το φάσμα αυτών των κόμβων, εισάγεται μία παράμετρος K_i ως ακολούθως:

$$\tilde{U}_i(\mathbf{y}_i^{(t)}, \mathbf{x}_i^{(t)}) = U_i(\mathbf{x}_i^{(t)}) - K_i U_{-i}(\mathbf{y}_i^{(t)} - \mathbf{x}_i^{(t-1)}) \quad (4.25)$$

Όταν $K_i = 0$ τότε ο κόμβος επιδεικνύει ιδιαίτερα εγωιστική συμπεριφορά, ενώ όταν $K_i = 1$ ο κόμβος λειτουργεί ομαλά στα πλαίσια του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου. Οι ενδιάμεσες τιμές του K κλιμακώνουν ανάλογα τη συμπεριφορά του κάθε κόμβου i . Το K_i αποτελεί ιδιωτική πληροφορία για κάθε κόμβο και σχετίζεται με την εγγενή τάση του για συνεργασία. Είναι σε πλήρη αναλογία με την αντίστοιχη μεταβλητή που χρησιμοποιήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

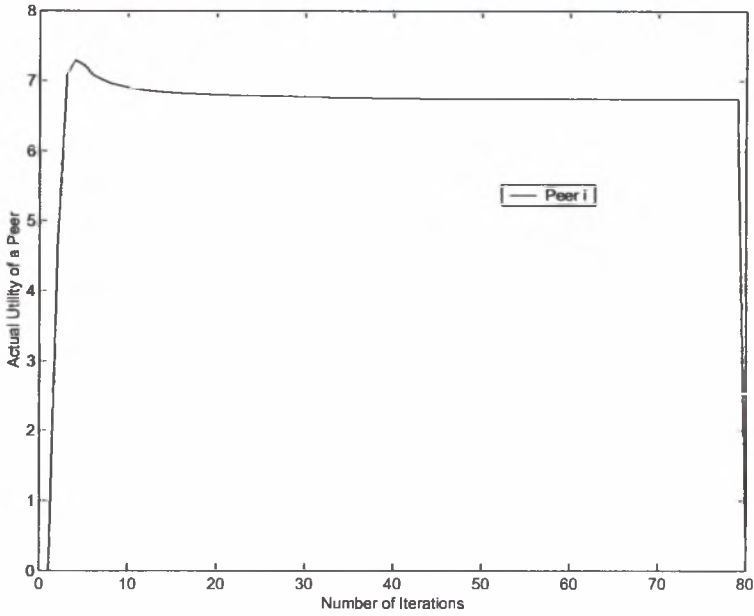
Το πραγματικό όφελος που λαμβάνουν οι κόμβοι από τη συμμετοχή τους στο σύστημα, σε αντίθεση με το προσδοκώμενο, εξαρτάται από το διάνυσμα εξυπηρέτησης των υπόλοιπων κόμβων:

$$U_{act} = U_i(\mathbf{y}_{-i}) \quad (4.26)$$

Προκειμένου να παρέχεται στους κόμβους κίνητρο συνεισφοράς στο δίκτυο θα πρέπει αυτό το όφελος να είναι ανάλογο της μεταβλητής K . Με τη βοήθεια εκτεταμένων προσομοιώσεων αποδεικνύεται στην επόμενη παράγραφο ότι υφίσταται αυτή η αναλογία, γεγονός που υπογραμμίζει την αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου μοντέλου στην αντιμετώπιση του φαινομένου του Free Riding.

4.6 Προσομοίωση

Σε αναλογία με την παράγραφο (3.4) πραγματοποιούνται προσομοιώσεις για να επιβεβαιωθεί πειραματικά η σύγκλιση του αλγορίθμου καθώς και η ικανότητά του να ανταμείβει τους κόμβους



Σχήμα 4.1: Actual utility vs. number of iterations in a system with Cooperative peers.

που συνεισφέρουν περισσότερο στο σύστημα. Παράλληλα, διερευνάται και η επίδραση των βασικών παραμέτρων K_i , C_i , οι οποίες είναι εγγενή χαρακτηριστικά του κάθε κόμβου, στο τελικό αποτέλεσμα. Ως συνάρτηση ωφελειας για κάθε κόμβο χρησιμοποιούμε τη λογαριθμική:

$$U_i = \sum_j \log(x_{ij}^{(t)} + 1) - K_i \sum_j \log(y_{ji}^{(t)} - x_{ji}^{(t-1)} + 1) \quad (4.27)$$

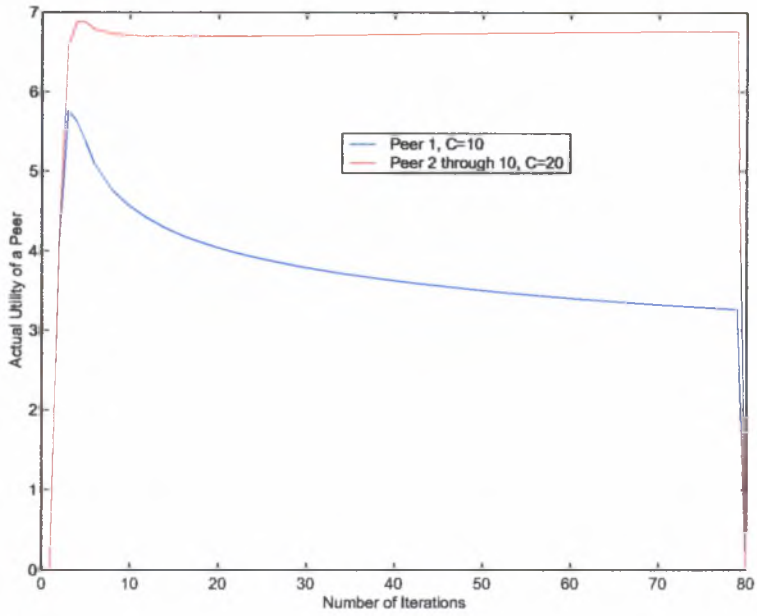
Ωστόσο, η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων γίνεται με βάση το πραγματικό όφελος που λαμβάνει κάθε κόμβος:

$$U_{act} = \sum_j \log(y_{ji} + 1) \quad (4.28)$$

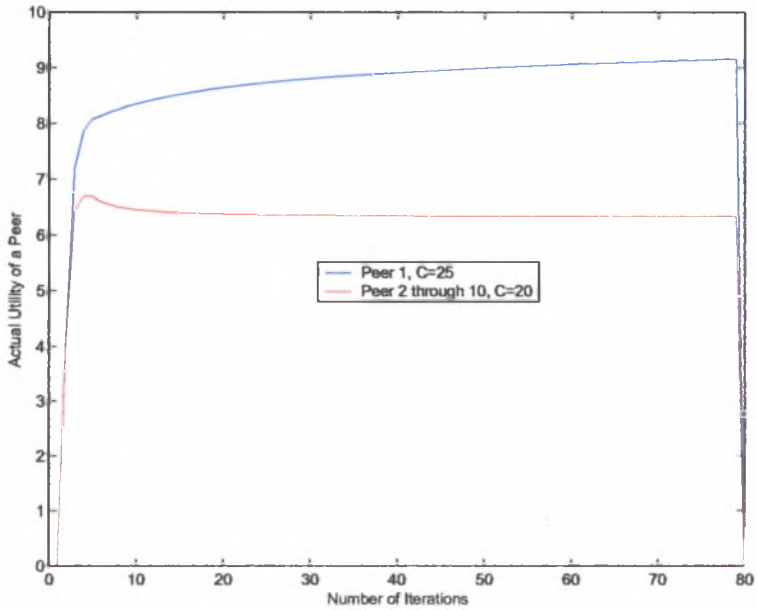
Οι προσομοιώσεις έχουν πραγματοποιηθεί για την περίπτωση 10 όμοιων κόμβων που αλληλεπιδρούν για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα $t = 1, \dots, 80$, στο οποίο θεωρούμε ότι δεν λαμβάνουν χώρα απομακρύνσεις ή προσελεύσεις άλλων κόμβων.

Στο διάγραμμα 4.1 παρουσιάζεται η εξέλιξη της τιμής του U_{act} όταν όλοι οι κόμβοι έχουν ίδιο εύρος ζώνης και συνεισφέρουν στο δίκτυο, $K = 1$. Παρατηρούμε τη γρήγορη αύξηση του καθώς και τη σταθεροποίηση του στη μέγιστη αυτή τιμή. Στα διαγράμματα 4.2 και 4.3 παρουσιάζεται η επίδραση του εύρους ζώνης ενός κόμβου στο όφελος που αυτός λαμβάνει. Όπως ήταν αναμενόμενο, κόμβοι με μεγαλύτερο εύρος ζώνης έχουν και μεγαλύτερο κέρδος.

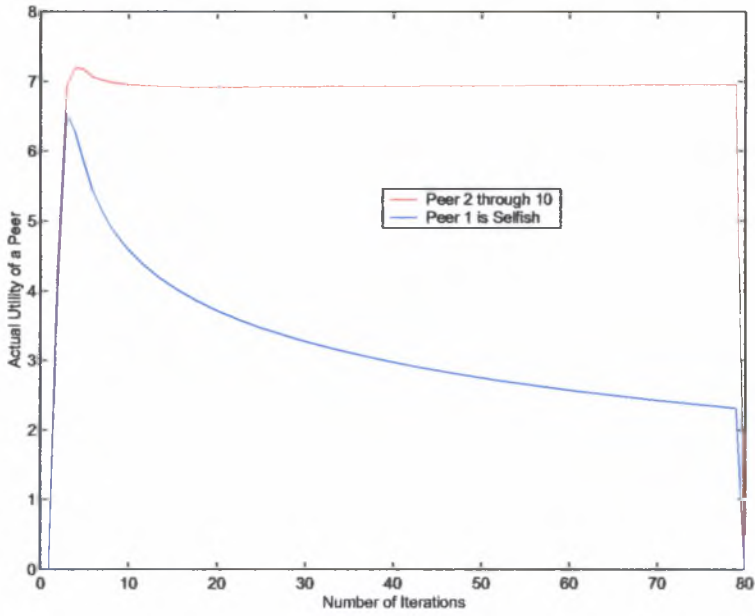
Η ανταμοιβή των κόμβων που συνεισφέρουν στο σύστημα και αντίστοιχα η "τιμωρία" όσον δρουν εγωιστικά αποδεικνύεται από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στα διαγράμματα 4.4 και 4.5. Όταν ένας κόμβος i έχει εγγενή τάση για εγωιστική συμπεριφορά, $K_i < 1$, και συνεπώς συνεισφέρει λιγότερο στο σύστημα, τότε "τιμωρείται" από τους υπόλοιπους κόμβους που εφαρμόζουν το πρωτόκολλο. Επιπλέον, όσο πιο εγωιστική είναι η συμπεριφορά του κόμβου τόσο λιγότερο είναι το όφελός του. Η σχέση των δύο μεγεθών είναι αντίστροφα ανάλογη.



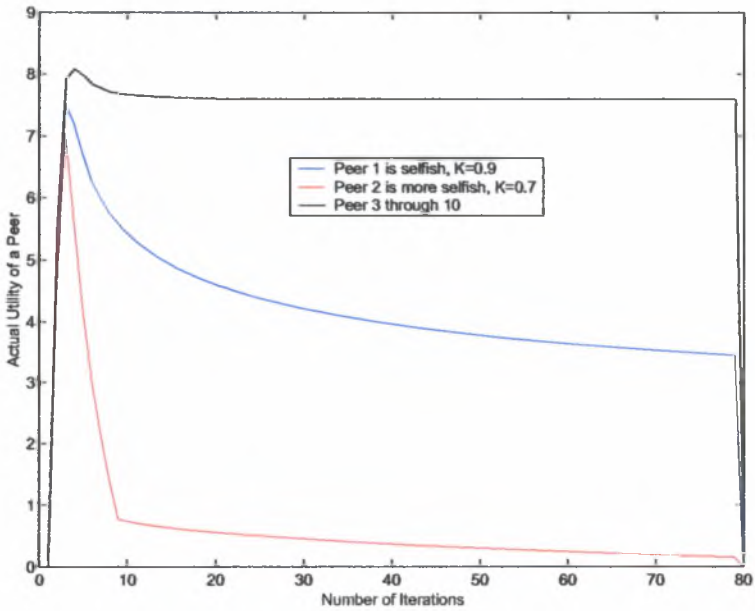
Σχήμα 4.2: Actual utility vs. number of iterations in a system with different link capacities for peers.



Σχήμα 4.3: Actual utility vs. number of iterations in a system with different link capacities for peers.



Σχήμα 4.4: Actual utility vs. number of iterations in a system with one selfish peer.



Σχήμα 4.5: Actual utility vs. number of iterations in a system with two selfish peers.

4.7 Παρουσίαση του δεύτερου Δυτικού Αλγορίθμου (Αλγόριθμος 3).

Όπως προκύπτει και από την ανάλυση που προηγήθηκε, το πρόβλημα της κατανομής πόρων στα P2P συστήματα δύναται να μοντελοποιηθεί με πολλούς διαφορετικούς τρόπους οι οποίοι οδηγούν σε αντίστοιχους αλγορίθμους - πρωτόκολλα και ανάλογες αρχιτεκτονικές. Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζεται μία εναλλακτική της προταθείσας μεθόδου η οποία επίσης βασίζεται στη θεωρία του Dual Lagrange Decomposition. Η διαφορά της έγκειται στη χρησιμοποίηση ως βασικών μεταβλητών του X_i , που αποτελεί το άθροισμα του συνόλου των αιτήσεων του κόμβου και του Y_i που ορίζεται ως το συνολικό εύρος ζώνης που παραχωρεί ο κόμβος για την εξυπηρέτηση των υπολοίπων.

Κάθε κόμβος αρχικά βελτιστοποιεί τη λειτουργία του με βάση τις 2 αυτές μεταβλητές καθορίζοντας ουσιαστικά τα όρια μεταξύ της λειτουργίας του ως πελάτης και ως εξυπηρετητής στο δίκτυο. Στη συνέχεια, εφαρμόζοντας κατάλληλη πολιτική, επιμερίζει το συνολικό αίτημά του X_i στα αιτήματα προς τους υποψήφιους εξυπηρετητές του, x_{ij} και αναθέτει σε κάθε υποψήφιο πελάτη του, κλάσμα του εύρους ζώνης, y_{ij} από το συνολικό εύρος που έχει αποφασίσει να παραχωρήσει για εξυπηρέτηση, Y_i . Η πολιτική αυτή που εφαρμόζουν οι κόμβοι πρέπει προφανώς να είναι τέτοια που θα προωθεί την ομαλή λειτουργία του δικτύου, θα παρέχει κίνητρα για συνεργασία και θα περιορίζει το φαινόμενο του Free Riding. Το μοντέλο αυτό ουσιαστικά αποτελεί μία διεπίπεδη προσέγγιση επίλυσης του προβλήματος στην πρώτη φάση της οποίας χρησιμοποιείται dual Lagrange decomposition και στην επόμενη εφαρμόζεται μία κατάλληλη, προαποφασισμένη, πολιτική.

Το μαθηματικό μοντέλο είναι παρόμοιο με αυτό που περιγράφηκε στις προηγούμενες παραγράφους. Το όφελος κάθε κόμβου i ορίζεται ως μία κοίλη συνάρτηση του συνολικού εύρους ζώνης που παραχωρεί σε αυτόν.

$$U_i = \log\left(\sum_{j \neq i} y_{ji}\right) \quad (4.29)$$

και ο βασικός περιορισμός αφορά τη διαθέσιμη χωρητικότητα της γραμμής με την οποία συνδέεται ο κόμβος στο σύστημα, όπου απαιτούμε να γίνεται πλήρη εκμετάλλευσή της.

$$\sum_{j \neq i} y_{ij} + \sum_{j \neq i} y_{ji} = C_i, \forall i \quad (4.30)$$

Συνεπώς, το πρόβλημα βελτιστοποίησης για το δίκτυο συνολικά είναι

$$\max_{\mathbf{y}} \sum_i \log\left(\sum_{j \neq i} y_{ji}\right) \quad (4.31)$$

subject to

$$\sum_{j \neq i} y_{ij} + \sum_{j \neq i} y_{ji} = C_i, \forall i \quad (4.32)$$

Κατά αντιστοιχία με την προηγούμενη μοντελοποίηση, εισάγουμε βοηθητικές μεταβλητές προκειμένου να απουσιάζουμε τη συνάρτηση οφέλους, με τη διαφορά ότι αντικαθίσταται το άθροισμα $\sum_j y_{ji}$ αντί μεμονωμένα κάθε μεταβλητή y_{ji} .

$$\max_{x_{ij}} \sum_i \log\left(\sum_j x_{ij}\right) \quad (4.33)$$

subject to

$$\sum_{j \neq i} y_{ij} + \sum_{j \neq i} x_{ij} = C_i, \forall i \quad (4.34)$$

$$\sum_{j \neq i} x_{ij} = \sum_{j \neq i} y_{ji}, \forall i \quad (4.35)$$

Σε αυτό το σημείο εισάγουμε τους απαραίτητους ορισμούς για τις 2 βασικές μεταβλητές κάθε κόμβου. Συγκεκριμένα, ορίζεται:

$$X_i = \sum_{j \neq i} x_{ij} \quad (4.36)$$

$$Y_i = \sum_{j \neq i} y_{ji} \quad (4.37)$$

και επίσης,

$$Y_{-i} = \sum_{j \neq i} y_{ji} \quad (4.38)$$

Με αντικατάσταση στις εξισώσεις (4.33)-(4.35) προκύπτει

$$\max_{X_i} \sum_i \log(X_i) \quad (4.39)$$

subject to

$$Y_i + X_i = C_i, \forall i \quad (4.40)$$

$$X_i = Y_{-i}, \forall i \quad (4.41)$$

Η επίλυση του παραπάνω προβλήματος οδηγεί στις βέλτιστες τιμές X_i^* , Y_i^* για κάθε κόμβο. Στη συνέχεια, εφαρμόζοντας την πολιτική αντιμετώπισης των υποψήφιων πελατών και εξυπηρετητών του ο κόμβος επιμερίζει τα δύο αυτά μεγέθη.

Αναλυτικά, κάθε κόμβος i διαμοιράζει ομοίμορφα τα αιτήματά του x_{ij} , ενώ το εύρος ζώνης που αποδίδει σε κάθε κόμβο j , y_{ij} εξαρτάται από τα συνολικά αιτήματα που έχει δεχθεί ο i . Αν το άθροισμα των αιτημάτων αυτών δεν υπερβαίνει το Y_i τότε αποφασίζει να τα ικανοποιήσει πλήρως. Διαφορετικά, το y_{ij} είναι ανάλογο της συνεισφοράς του j όπως την έχει προσδιορίσει ο κόμβος i .

$$x_{ij}^{(t)} = \frac{X_i^{(t)}}{N} \quad (4.42)$$

$$y_{ij} = \begin{cases} x_{ji}^{(t-1)}, & \sum_{j \neq i} x_{ji}^{(t-1)} \leq Y_i \\ \min(\tilde{r}_{ij} R_j Y_i, x_{ji}^{(t-1)}), & \text{αλλιώς.} \end{cases} \quad (4.43)$$

όπου το \tilde{r}_{ij} είναι το ποσοστιαίο reputation του κόμβου j

$$\tilde{r}_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j \neq i} r_{ij}} \quad (4.44)$$

και το r_{ij} υπολογίζεται βάσει του αναδρομικού τύπου

$$r_{ij}^{(t+1)} = r_{ij} + a(y_{ji} - x_{ij}^{(t-1)}) \quad (4.45)$$

Χρησιμοποιώντας την προκαθορισμένη πολιτική των κόμβων που περιγράφηκε, μπορούμε να εφαρμόσουμε dual Lagrange decomposition στο πρόβλημα (4.39)-(4.41) ώστε να το αποδομήσουμε στα επιμέρους προβλήματα βελτιστοποίησης του κάθε κόμβου. Ορίζουμε τη Lagrangian:

$$L = \sum_i \log(X_i) - \sum_i R_i(X_i - Y_{-i}) \quad (4.46)$$

η οποία ενσωματώνοντας και την πολιτική του επιμέρους διαμοιρασμού των πόρων διαχωρίζεται ανά κόμβο ως ακολούθως

$$L_i = \log(X_i) - R_i X_i - \left(\sum_j \tilde{r}_{ij} R_j \right) Y_i \quad (4.47)$$

ή

$$L_i = \log(X_i) - (R_i + \sum_j \tilde{r}_{ij} R_j) X_i + \left(\sum_j \tilde{r}_{ij} R_j \right) C_i \quad (4.48)$$

όπου R_i είναι οι δυικές μεταβλητές που αντιστοιχούν στην ισότητα (4.41). Συνεπώς, η επίλυση του αρχικού προβλήματος μπορεί να επιτευχθεί μέσω της επίλυσης του dual προβλήματος, εάν κάθε κόμβος επιλύει το ακόλουθο πρόβλημα:

$$\min_R \max_{X_i, X_i \geq 0} L_i(x_i, R) \quad (4.49)$$

όπου η ελαχιστοποίηση της δυικής συνάρτησης μπορεί να γίνει με τον τύπο

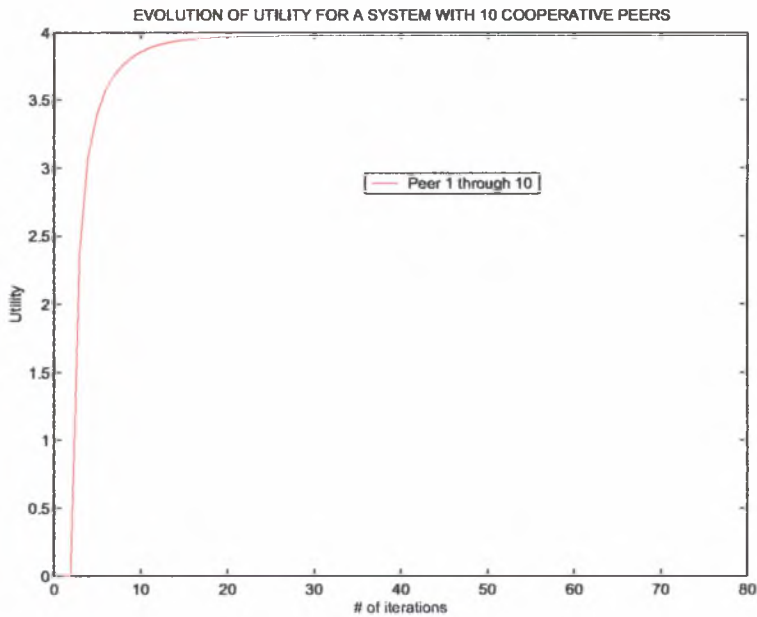
$$R_i^{(t+1)} = R_i^t - a \nabla_{R_i} L \quad (4.50)$$

ή

$$R_i^{(t+1)} = R_i^t - a(Y_{-i} - X_i) \quad (4.51)$$

Ο κατανεμημένος αλγόριθμος επίλυσης του προβλήματος, συνδυαζόμενος με την εφαρμογή της προτεινόμενης πολιτικής, οδηγεί στην εύρεση των βέλτιστων τιμών x_i^* and y_{ij}^* .

- **Παράμετροι:** Η συνάρτηση ωφελειας U_i και το εύρος ζώνης κάθε κόμβου, C_i .
 - **Αρχικοποίηση:** Οι δυικές μεταβλητές, R_i , και οι τιμές του reputation αρχικοποιούνται. Επίσης ορίζεται $t = 0$.
1. Κάθε κόμβος i επιλύει τοπικά το πρόβλημα της μεγιστοποίησης της L_i (4.48) και υπολογίζει τη βέλτιστη τιμή X_i^* . Με τη χρήση της (4.40) υπολογίζεται άμεσα και η τιμή Y_i^* .
 2. Εφαρμόζοντας την πολιτική κατανομής, βρίσκει το βέλτιστο διάνυσμα εξυπηρέτησης, y_i^* , και το βέλτιστο διάνυσμα αιτημάτων, x_i^* . Στη συνέχεια κοινοποιεί τα αιτήματά του και αναθέτει το εύρος ζώνης y_{ij} σε κάθε ενδιαφερόμενο κόμβο j .
 3. Κάθε κόμβος παρατηρεί το εύρος ζώνης που του παραχωρήθηκε από κάθε άλλο κόμβο j και ανανεώνει όλες τις τιμές r_{ij} με τη χρήση της σχέσης (4.44) - (4.45). Ταυτόχρονα, υπολογίζει και τη νέα τιμή του R_i , (4.50), την οποία κοινοποιεί και στους υπόλοιπους κόμβους. Αντίθετα, οι τιμές r_{ij} διατηρούνται τοπικά σε κάθε κόμβο και καθορίζουν την πολιτική του.



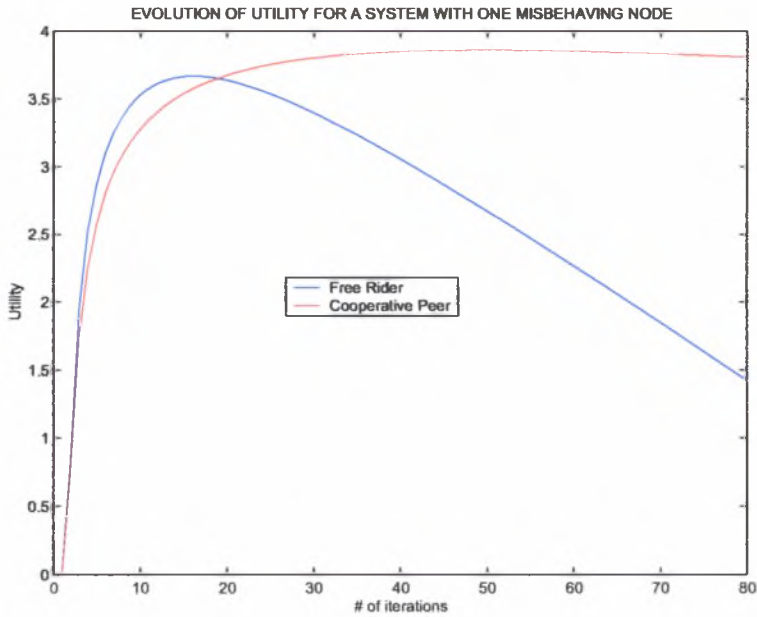
Σχήμα 4.6: Actual utility vs. number of iterations in a system with cooperative peers.

4. Θέτει $t \leftarrow t + 1$ και επαναλαμβάνει από το βήμα 1 μέχρι να ικανοποιηθεί το κριτήριο τερματισμού.

Για την επιβεβαίωση των ιδιοτήτων και της αποτελεσματικότητας του παραπάνω αλγορίθμου, χρησιμοποιείται το μοντέλο προσομοίωσης της παραγράφου 4.6, με τη χρήση της συνάρτησης οφέλους(4.29). Στο διάγραμμα 4.6 παρουσιάζεται η εξέλιξη της U_{act} όταν το σύστημα αποτελείται από 10 ίδιους κόμβους οι οποίοι έχουν το ίδιο εύρος ζώνης. Παρατηρούμε την πολύ ομαλή και γρήγορη σύγκλιση στο βέλτιστο σημείο λειτουργίας του δικτύου, στο οποίο γίνεται πλήρη εκμετάλλευση της διαθέσιμης χωρητικότητας κάθε γραμμής. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ιδιότητα και αυτού του αλγορίθμου να "τιμωρεί" τους κόμβους που δε συνεισφέρουν στο σύστημα. Από το διάγραμμα 4.7 προκύπτει ότι όταν ένας κόμβος i αποφεύγει να ικανοποιήσει τα αιτήματα των υπολοίπων, $y_{ij} = 0, \forall j$, τότε μειώνεται το reputation του r_{ji} και το όφελός του περιορίζεται οδηγούμενο σταδιακά στον μηδενισμό.

4.8 Συμπεράσματα

Η βασικότερη συνεισφορά του μοντέλου που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο αυτό είναι ότι προσδιορίζει τον πυρήνα του προβλήματος της κατανομής πόρων στα P2P συστήματα και ξεκινώντας από αυτόν, οδηγείται σε έναν πλήρως κατανεμημένο αλγόριθμο επίλυσής του με το βέλτιστο τρόπο. Καθορίζεται επακριβώς και με μαθηματικό τρόπο η διαδικασία που πρέπει να ακολουθήσει κάθε κόμβος προκειμένου να επιτευχθεί η μεγιστοποίηση του οφέλους του συστήματος συνολικά και του οφέλους κάθε κόμβου μεμονωμένα. Η προτεινόμενη λύση απαιτεί ελάχιστη επικοινωνία μεταξύ των κόμβων, η οποία συνίσταται ουσιαστικά στην ανταλλαγή ρυθμιστικών παραμέτρων και επιτυγχάνεται με την απαίτηση για περιορισμένο συγχρονισμό.



Σχήμα 4.7: Actual utility vs. number of iterations in a system with one selfish peer.

Επιπλέον, προαφέρεται ένας αυστηρός μαθηματικός ορισμός για το μέγεθος του reputation και για την ανανέωση της τιμής του. Παρόλο που ορίζεται ω δυϊκή μεταβλητή και υπολογίζεται με βάση τη μέθοδο του sub gradient, τα μαθηματικά αποτελέσματα σχεδόν συμπίπτουν με τους ορισμούς που είχαν παρουσιαστεί στο προηγούμενο μοντέλο. Το p_{ij} εξαρτάται από τα αιτήματα του κόμβου i και το διάλυμα εξυπηρέτησης του κόμβου j και δύναται να λάβει και αρνητικές τιμές, αντανakλώντας τη δυσαρέσκεια του κόμβου i . Ταυτόχρονα, με μαθηματικό τρόπο εισάγεται η έννοια των αιτημάτων των κόμβων, x_{ij} , για κάλυψη των αναγκών τους, και αναλύεται η επίδρασή τους στη λειτουργία και εξέλιξη της αλληλεπίδρασης των κόμβων.

Κεφάλαιο 5

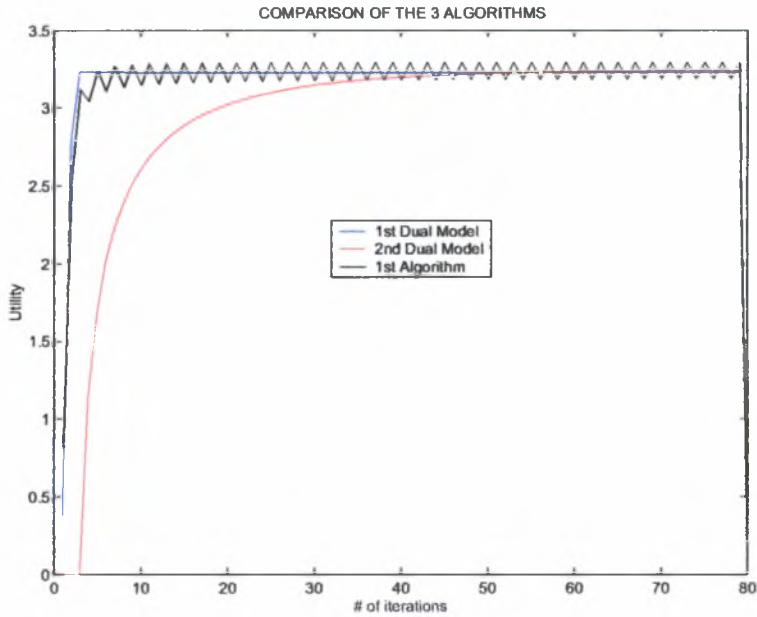
Τελικά Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις

5.1 Εισαγωγή

Στην εργασία αυτή ουσιαστικά παρουσιάστηκαν 2 διαφορετικές προσεγγίσεις για την ανάλυση της βέλτιστης κατανομής πόρων σε Peer-to-Peer δίκτυα και την αντιμετώπιση του προβλήματος του Free Riding. Ξεκινώντας από διαφορετικές αφηρητές μοντελοποιήθηκε η αλληλεπίδραση των κόμβων και προτάθηκαν αντίστοιχοι αλγόριθμοι - πρωτόκολλα.

Στην πρώτη προσέγγιση η αλληλεπίδραση των κόμβων μοντελοποιήθηκε ως ένα απλό πρόβλημα βελτιστοποίησης που επιλύει κάθε κόμβος για να αποφασίσει για τη στρατηγική του ως πελάτης και ως εξυπηρετητής του συστήματος. Σε αντίθεση με προγενέστερες αντίστοιχες προσεγγίσεις, εξετάζεται ταυτόχρονα η λειτουργία του κόμβου στα πλαίσια αυτών των δύο ρόλων με δεδομένο ότι είναι "αντικρουόμενοι", ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου η τεχνολογία πρόσβασης δεν διαχωρίζει σαφώς το upload από το download stream, π.χ. δίκτυα Ethernet και WiFi. Η εγγενής τάση του κάθε κόμβου για συνεργασία περιγράφεται απλά και με τη χρήση μόνο μίας βαθμωτής παραμέτρου η οποία εκφράζει τη δυσανεμία που είναι διατεθειμένος να προκαλέσει στο υπόλοιπο σύστημα. Το μέγεθος αυτό αποτελεί ιδιωτική πληροφορία του κάθε κόμβου ενώ εξετάζεται και η περίπτωση κατά την οποία οι κόμβοι μεταβάλλουν τη συμπεριφορά τους, τροποποιώντας την τιμή της παραμέτρου αυτής. Προκειμένου να επιτευχθεί η παροχή κινήτρων στους κόμβους για συνεισφορά των πόρων τους στο σύστημα (λειτουργία ως εξυπηρετητές) προτάθηκε ένας απλός μηχανισμός καταγραφής και χρήσης του reputation ο οποίος είναι πλήρως αποκεντρωμένος και δεν προϋποθέτει την ύπαρξη κάποιας υποδομής. Με τη χρήση προσομοιώσεων αποδεικνύεται ότι η εφαρμογή του υπόψη μηχανισμού εξασφαλίζει ότι κάθε κόμβος ανταμείβεται ανάλογα με τη συνεισφορά του στο σύστημα.

Τα δυικά μοντέλα που παρουσιάστηκαν στο δεύτερο μέρος της εργασίας παρέχουν μία πιο αυστηρή προσέγγιση στη μοντελοποίηση και την ανάλυση του προβλήματος κατανομής πόρων στα P2P συστήματα. Το πρόβλημα εξετάστηκε με βασικό κριτήριο την επίτευξη του μέγιστου αποτελέσματος συνολικά για το δίκτυο και διερευνήθηκε η δυνατότητα αποτελεσματικού επιμερισμού του σε μικρότερα προβλήματα που επιλύει κάθε κόμβος ξεχωριστά. Προτάθηκε μία πλήρως κατανεμημένη λύση η οποία εισάγει με μαθηματικό τρόπο την έννοια των αιτημάτων των κόμβων και εξετάζει την επίδρασή τους στη λειτουργία του μοντέλου. Προκειμένου να αποσυζευχθεί το βασικό πρόβλημα χρησιμοποιήθηκε μια εναλλακτική μέθοδος Dual Lagrange



Σχήμα 5.1: Actual utility vs. number of iterations in a system with one selfish peer.

Decomposition, με τη χρήση βοηθητικών μεταβλητών και αντίστοιχων περιορισμών, η οποία τροποποιήθηκε περαιτέρω με την εκπομπή των βοηθητικών αντί των δυικών μεταβλητών. Αναλυτικά, το πρώτο δυικό μοντέλο βασίζεται αποκλειστικά στη θεωρία Dual Lagrange Decomposition. Χρησιμοποιείται μία διεπίτευτη, υλοποιημένη σε διαφορετική (2) χρονική κλίμακα, αποδόμηση του κεντρικού προβλήματος σε $N(N - 1)$ μικρότερα ανεξάρτητα προβλήματα. Η εκπομπή των αιτημάτων των κόμβων και η ανάθεση του εύρους ζώνης αποτελούν την απαιτούμενη επικοινωνία για την επίτευξη του βέλτιστου σημείου λειτουργίας του δικτύου. Στο δεύτερο δυικό μοντέλο, η θεωρία Lagrange χρησιμοποιείται μόνο στο πρώτο στάδιο έτσι ώστε κάθε κόμβος να αποφασίσει συνολικά για τα αιτήματα που θα εκφράσει και το εύρος ζώνης που θα παραχωρήσει. Στη συνέχεια, εφαρμόζοντας κατάλληλη πολιτική κατανέμει περαιτέρω τα αιτήματα και το εύρος ζώνης του, στους υπόλοιπους κόμβους. Η πολιτική που προτείνεται βασίζεται στο μέγεθος του reputation και, όπως αποδεικνύεται και από τις προσομοιώσεις, είναι κατάλληλη για την παροχή κινητρών συνεισφοράς.

Τα τρία παραπάνω μοντέλα - αλγόριθμοι παρουσιάζουν συναφείς ιδιότητες και επιτυγχάνουν παρόμοια αποτελέσματα. Μία βασική διαφορά τους, έγκειται στο γεγονός ότι τα δυικά μοντέλα είναι πιο αυστηρά ορισμένα. Ιδιαίτερο ο δεύτερος αλγόριθμος παρέχει έναν αναδρομικό τύπο υπολογισμού του reputation όπως αυτός προκύπτει από τη βελτιστοποίηση της αντίστοιχης δυικής μεταβλητής με τη χρήση της μεθόδου gradient descent. Αντίθετα, το πρώτο μοντέλο ορίστηκε με βάση την υπάρχουσα εμπειρία από τους μηχανισμούς αλληλεπίδρασης των κόμβων στα P2P συστήματα και εμπεριέχει, αν και όχι ρητά δηλωμένα, έννοιες και αποτελέσματα από τη Θεωρία Παιγνίων. Επιπλέον, ο πρώτος και ο τρίτος αλγόριθμος δεν εφαρμόζουν επιλογή εξυπηρετητών για τα αιτήματά τους σε αντίθεση με το δεύτερο αλγόριθμο. Τέλος, και οι 3 αλγόριθμοι έχουν την ιδιότητα της αντιστάθμισης του φαινομένου του Free Riding και καταλήγουν σε παρεμφερή σημεία λειτουργίας για το δίκτυο, όπως προκύπτει και από το διάγραμμα 5.1.

	Cooperate	Defect
Cooperate	R_1, R_2	S_1, T_2
Defect	T_1, S_2	P_1, P_2

Σχήμα 5.2: The PD Payoff Matrix

5.2 Εφαρμογή αποτελεσμάτων της Θεωρίας Παιγνίων

Μία άμεση μελλοντική επέκταση της εργασίας σχετίζεται με την εφαρμογή εννοιών και αποτελεσμάτων από τη Θεωρία Παιγνίων, [29]. Λόγω της εγγενούς τάσης των κόμβων να δρουν εξυπηρετώντας αποκλειστικά τα συμφέροντά τους και εξαιτίας της έλλειψης κάποιας κεντρικής διαχειριστικής αρχής στα αποκεντρωμένα και μη δομημένα P2P συστήματα, η συμπεριφορά των ομότιμων κόμβων μπορεί να ερμηνευτεί ικανοποιητικά με την εφαρμογή συμπερασμάτων από τη Θεωρία Παιγνίων. Το διάσημο πρόβλημα του "Διλήμματος του Φυλακισμένου" μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκφράσει την απόφαση του κάθε κόμβου να λειτουργήσει ως εξυπηρετητής ή ως εξυπηρετούμενος. Εκτός από τις θεωρητικές μελέτες που έχουν εκπονηθεί σε αυτό το πλαίσιο, υπάρχει και ένα πραγματικό P2P σύστημα το οποίο ενσωματώνει στο μηχανισμό παροχής κινήτρων του, έννοιες και συμπεράσματα από τη θεωρία παιγνίων. Από την εμφάνισή του, το BitTorrent καθιερώθηκε ως το κυρίαρχο σύστημα για το διαμοιρασμό και την ανταλλαγή αρχείων στο διαδίκτυο. Η αποτελεσματικότητά του οφείλεται στο υψηλό επίπεδο συνεργασίας που επιτυγχάνει μεταξύ των κόμβων του οι οποίοι υλοποιούν τον μηχανισμό παροχής κινήτρων συνεισφοράς που είναι ενσωματωμένος στο βασικό πρωτόκολλο του BitTorrent. Ο μηχανισμός αυτός, βασίζεται σε μια πολύ γνωστή στρατηγική η οποία αναφέρεται στη βιβλιογραφία με τον όρο "Tit - For - Tat", TFT, και η οποία έχει αποδειχθεί ότι είναι η βέλπστη στρατηγική για το παίγνιο "Iterated Prisoner's Dilemma", [28].

Αρκετές εργασίες έχουν επιχειρήσει να αναλύσουν το πρόβλημα σε αυτό το πλαίσιο. Στο [12] η αλληλεπίδραση των κόμβων στα πλαίσια ενός P2P συστήματος μοντελοποιείται ως ένα γενικευμένο "Prisoner's Dilemma" παίγνιο. Η στρατηγική των παικτών συνίσταται από 2 διακριτές ενέργειες "Cooperate" και "Defect", οι οποίες σε συνδυασμό με τις ενέργειες των άλλων κόμβων καθορίζουν το τελικό αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασής τους (fig2). Ένα παράδειγμα τέτοιας αλληλεπίδρασης για ένα P2P σύστημα διαμοιρασμού αρχείων παρουσιάζεται στο 5.1 στο οποίο απεικονίζεται η αλληλεπίδραση 2 κόμβων όταν ο ένας λειτουργεί ως εξυπηρετούμενος και ο άλλος ως εξυπηρετητής. Η χρήση της θεωρίας παιγνίων εξαντλείται σε αυτή τη μοντελοποίηση, που βοηθά στην κατανόηση του προβλήματος του Free Riding, αλλά δεν χρησιμοποιείται περαιτέρω για την ανάλυση κάποιου μηχανισμού αντιμετώπισής του.

Η ανάλυση που επιχειρείται στο [30] είναι πιο συγκεκριμένη. Η αλληλεπίδραση των κόμβων μοντελοποιείται ως ένα ατέρμονο και επαναλαμβανόμενο παίγνιο όπου ο χώρος της στρατηγικής κάθε κόμβου - παίκτη είναι Serve, Don't Server. Το όφελος ενός κόμβου όταν εξυπηρετείται είναι θετικό και σταθερό, ενώ η ενέργειά του να εξυπηρετήσει κάποιον άλλον κόμβο συνιστά για αυτόν μόνο αρνητικό κόστος. Στο σύστημα υπάρχει ήδη εγκατεστημένος ένας μηχανισμός υπολογισμού του Reputation κάθε κόμβου που εκφράζει τη συνολική συνεισφορά του στο σύστημα. Η τρέχουσα τιμή του Reputation κάθε κόμβου καθορίζει την πιθανότητα με την οποία εξυπηρετείται ο κόμβος αυτός. Οι συγγραφείς αποδεικνύουν ότι το μοναδικό Pure Strategy Equilibrium είναι το Don't Serve για κάθε κόμβο και διερευνούν την ύπαρξη Mixed Strategy Equilibriums. Οι κόμβοι σε κάθε γύρο του επαναλαμβανόμενου παιχνιδιού επιλέγουν μία εκ των 2 στρατηγικών, την οποία θα εφαρμόσουν προς όλους τους υπόλοιπους κόμβους με

πιθανότητα p και $1-p$ αντίστοιχα. Οι τιμές των πιθανοτήτων επηρεάζονται από το Reputation του ίδιου του κόμβου, όπως αυτό διαμορφώνεται από τις αποφάσεις του και υπολογίζονται σύμφωνα με το θεώρημα που καθορίζει ότι σε ένα mixed strategy equilibrium τα οφέλη (Payoff) από κάθε στρατηγική είναι ίσα μεταξύ τους.

Τέλος, πολλά μοντέλα στα οποία αρχικά προτείνεται ένας μηχανισμός παροχής κινήτρων, ακολούθως επεκτείνονται λαμβάνοντας υπόψη τους την αντίδραση των κόμβων σε αυτό το μηχανισμό. Ορίζεται με αυτόν τον τρόπο κάποιο παίγνιο και διερευνούνται τα πιθανά σημεία ισορροπίας του. Ένα τέτοιο παράδειγμα παρουσιάζεται στο [16] όπου οι κόμβοι είναι παίκτες με στρατηγική το αίτημά τους για παραχώρηση συγκεκριμένου εύρους ζώνης b_i , προς τον υποψήφιο εξυπηρετητή, για κάλυψη των απαιτήσεών τους. Οι εξυπηρετητές εφαρμόζουν ένα συγκεκριμένο αλγόριθμο, CDPF, σύμφωνα με τον οποίο εξυπηρετούν τους κόμβους λαμβάνοντας υπόψη τους την προγενέστερη συνεισφορά αυτών στο σύστημα συγκριτικά με το αίτημά τους. Αποδεικνύεται ότι το σύστημα οδηγείται σε σημείο ισορροπίας Nash, το οποίο μάλιστα είναι και βέλτιστο κατά Pareto.

Σε συνέχεια της υπάρχουσας βιβλιογραφίας και με σκοπό την πιο ρεαλιστική περιγραφή της αλληλεπίδρασης των κόμβων σημειώνουμε τις ακόλουθες παρατηρήσεις. Κάθε κόμβος i στο δίκτυο, "παίζει" κατ' ελάχιστο με κάθε άλλο κόμβο που αλληλεπιδρά ένα επαναλαμβανόμενο παίγνιο τύπου "Το Δίλημμα του Φυλακισμένου". Τα παίγνια αυτά μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες. Σε αυτά στα οποία ο κόμβος i δρα ως πελάτης και σε αυτά στα οποία δρα ως εξυπηρετητής. Για κάθε κατηγορία ορίζεται διαφορετικός χώρος στρατηγικών και διαφορετικές συναρτήσεις οφέλους (payoff functions). Ωστόσο, οι στρατηγικές όλων των παιγνίων "συνδέονται" μέσω του κοινού περιορισμού της χωρητικότητας της γραμμής κάθε κόμβου και συνεπώς προτείνεται η από κοινού μελέτη τους στα πλαίσια ενός μοναδικού παίγνιου στο οποίο κάθε κόμβος αντιμετωπίζει ταυτόχρονα το σύνολο των πελατών και των εξυπηρετητών του.

Συγκεκριμένα, για κάθε μεμονωμένο παίγνιο οι στρατηγικές εξυπηρέτησης είναι **Serve - Don't Serve** ενώ οι στρατηγικές αιτήσεων **Request - Don't Request**. Στο συνολικό παίγνιο οι στρατηγικές αυτές μπορούν να ενοποιηθούν και να περιοριστούν στο χώρο **Serve - Request**. Ουσιαστικά οι "αοριτικές" στρατηγικές δεν απαιτούνται αφού η εξυπηρέτηση ενός κόμβου συνεπάγεται την μη εξυπηρέτηση των υπολοίπων κ.ο.κ. Προκειμένου να αντιστοιχίσουμε αυτόν το διακριτό χώρο στρατηγικών στο μοντέλο της (συνεχούς) παραχώρησης εύρους ζώνης που εφαρμόστηκε σε όλη την προηγούμενη ανάλυση χρησιμοποιούμε την έννοια των mixed strategies. Επιπλέον, με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνουμε να εκφράσουμε την αβεβαιότητα που έχει κάθε κόμβος για τη δράση των υπόλοιπων ή, πιο επίσημα, τον τύπο αυτών. Η μικτή στρατηγική για τον κόμβο i είναι μία κατανομή πιθανοτήτων $P_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{i2N})$ όπου $0 \leq p_{ij} \leq 1$ και $\sum_j p_{ij} = 1$. Το μέγεθος p_{ij} εκφράζει την πιθανότητα ο κόμβος i να εξυπηρετήσει πλήρως τον κόμβο j , ενώ το μέγεθος $p_{i(j+N)}$ είναι η πιθανότητα ο i να απευθυνθεί στον κόμβο j για την ικανοποίηση των δικών του αιτημάτων. Το εύρος ζώνης που αποδίδει στις ενέργειες αυτές ο κάθε κόμβος μπορεί να προκύψει εάν πολλαπλασιάσουμε τα μεγέθη αυτά με το διαθέσιμο εύρος ζώνης αυτού.

Αντί για τη στρατηγική TFT που χρησιμοποιείται ευρέως και εφαρμόζεται και στο BitTorrent προτείνεται μία διαφορετική προσέγγιση. Κάθε κόμβος επιλύει ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης προκειμένου να καταλήξει στη βέλτιστη για αυτόν στρατηγική. Το πρόβλημα αυτό θα έχει παρόμοια δόμηση με το πρόβλημα βελτιστοποίησης που παρουσιάστηκε στον πρώτο αλγόριθμο, στο κεφάλαιο 3. Η παράμετρος K μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκφράζει τον τύπο (εγγενή τάση) του κάθε κόμβου και είναι δυνατό, όπως και στον αλγόριθμο που παρουσιάστηκε, να

μεταβάλλεται. Τα διανύσματα x και y καθορίζουν την κατανομή πιθανοτήτων που περιγράφει τη στρατηγική του κάθε κόμβου. Ταυτόχρονα, προκειμένου να υπάρχει και ένας μηχανισμός παροχής κινήτρων για συνεργασία, χρησιμοποιούνται οι μεταβλητές $reputation$ οι οποίες επηρεάζουν έμμεσα, μέσω του περιορισμού για τη δυσανεξία που προκαλεί κάθε κόμβος, την κατανομή των πιθανοτήτων.

5.3 Επέκταση σε άλλες κατηγορίες P2P συστημάτων

Η μελέτη στην εργασία αυτή επικεντρώθηκε σε συστήματα όπου το εύρος ζώνης είναι κοινό και για τις δύο δράσεις (upload - download) των κόμβων. Ωστόσο, η επέκτασή της και σε άλλες κατηγορίες συστημάτων, όπως αυτά στα οποία οι κόμβοι συνδέονται μέσω ADSL γραμμών, εκτιμάται ότι είναι άμεση και ακολούθως αποτελεσματική. Για παράδειγμα, το δεύτερο μοντέλο για την περίπτωση ενός P2P συστήματος όπου το upload και το download stream είναι διαχωρισμένα τροποποιείται ως εξής:

$$\max_{y_i, x_i} \sum_i U_i(y_{ij}, x_{ij}) \quad (5.1)$$

subject to

$$\sum_{j \neq i} y_{ij} \leq C_{i(\text{upload})}, \forall i \quad (5.2)$$

$$\sum_{j \neq i} x_{ij} \leq C_{i(\text{download})}, \forall i \quad (5.3)$$

$$x_{ij} = y_{ji}, \forall i, j \quad (5.4)$$

Επιπλέον, εξαιτίας της χρησιμοποίησης του εύρους ζώνης ως όρισμα στη συνάρτηση ωφέλειας κάθε κόμβου, τα παραπάνω μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ελάχιστες τροποποιήσεις για τη μελέτη συστημάτων P2P Streaming, [31]. Σε αυτά τα συστήματα, οι κόμβοι δεν ενδιαφέρονται μόνο για την απόκτηση ενός αρχείου αλλά έχει ιδιαίτερη σημασία και η ταχύτητα με την οποία θα το αποκτήσουν. Ο χρόνος είναι καθοριστικός παράγοντας προκειμένου να είναι εφικτή η αναπαραγωγή του αρχείου στην απομακρυσμένη τοποθεσία, [19]. Ταυτόχρονα, εισάγοντας νέους περιορισμούς για τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές του παρεχόμενου σε κάθε κόμβο εύρους ζώνης είναι εφικτή η απόδοση διαφορετικής ποιότητας υπηρεσιών (QoS). Το σύνολο αυτών των ζητημάτων μπορεί να μελετηθεί στο πλαίσιο που παρουσιάστηκε στα προηγούμενα κεφάλαια.

5.4 Επέκταση στα Δίκτυα Ad-hoc

Όπως και τα P2P συστήματα, τα Ad-hoc δίκτυα περιγράφονται συνήθως και με τον όρο "Δίκτυα εθελούσιου διαιμοιρασμού πόρων". Στην προκειμένη περίπτωση οι διαιμοιραζόμενοι πόροι αφορούν στη δρομολόγηση της κυκλοφορίας που πρέπει να εκτελεί κάθε κόμβος προκειμένου να είναι εφικτή η επικοινωνία μεταξύ μη γειτονικών κόμβων. Το δίλημμα που αντιμετωπίζει κάθε κόμβος είναι εάν θα προσφέρει την υπηρεσία της δρομολόγησης στους υπόλοιπους κόμβους ή θα την αρνηθεί με δεδομένο ότι η ενέργειά του συνήθως είναι περιορισμένη. Έαν δεν υφίσταται κάποιος μηχανισμός παροχής κινήτρων τότε, εξαιτίας της εγγενούς εγωιστικής συμπεριφοράς των κόμβων, οι κόμβοι δεν δρομολογούν τις "ροές" που προέρχονται από άλλους

κόμβους και το δίκτυο υποβαθμίζεται σημαντικά. Η εφαρμογή των μεθόδων ανάλυσης και των συμπερασμάτων που παρουσιάστηκαν στην εργασία αυτή είναι άμεση.

Βιβλιογραφία

- [1] “Peer to Peer: Harnessing the Power of Disruptive Technologies”, Andy Oram, O’Reilly, 2001
- [2] E.K. Lua, J. Crowcroft, M. Pias, R. Sharma and S. Lim, “A survey and comparison of peer-to-peer overlay network schemes”, IEEE Comm. Survey and Tutorial, March 2004.
- [3] G. Hardin, “The Tragedy of the Commons”, Science, 162:1243-48, 1968
- [4] E. Adar, B.A. Huberman, “Free Riding on Gnutella”, First Monday Magazine, 5(10), Sept. 2000.
- [5] D. Hughes, G. Coulson, and J. Walkerdine, “Free riding on gnutella revisited: The bell tolls?”, In IEEE Distributed Systems Online, 2005.
- [6] A. Serjantov, and R. Anderson, “On dealing with adversaries fairly”, Third Workshop on Economics and Information Security, 2004
- [7] S. Buchegger, and J.-Y.L.Boudec, “Performance Analysis of the CONFIDANT Protocol: Cooperation Of Nodes-Fairness In Dynamic Ad-hoc NeTworks”, Proc. IEEE MobiHoc, 2002.
- [8] S. Buchegger and J.-Y.L.Boudec, “A Robust Reputation system for P2P and mobile ad-hoc networks”, Proc. 2nd Workshop on Economics of Peer-to-Peer Systems, 2004.
- [9] S.D. Kamvar, M.T. Schlosser, and H. Garcia-Molina, “Incentives for combating freeriding in P2P Networks”, Technical report, Stanford University, 2003.
- [10] S.D. Kamvar, M.T. Schlosser, and H. Garcia-Molina, “The eigentrust algorithm for reputation management in P2P Networks”, Proc. 12th International Conference on WWW, 2003.
- [11] S. Marti, and H. Garcia-Molina, “Limited reputation sharing in P2P systems”, Proc. 5th ACM Conference on Electronic Commerce, 2004.
- [12] M. Feldman, K. Lai, I. Stoica, J. Chuang, “Robust Incentive Techniques for Peer-to-Peer Networks”, Proc. 5th ACM Conference on Electronic Commerce, 2004.
- [13] K. Lai, M. Feldman, I. Stoica, and J. Chuang, “Incentives for Cooperation in Peer-to-Peer Networks”, Proc. 1st Workshop on Economics of Peer-to-Peer Systems, 2003.

- [14] M. Feldman, C. Papadimitriou, J. Chuang, and I. Stoica, "Free-Riding and Whitewashing in Peer-to-Peer Systems", Proc. ACM/SIGCOMM Workshop on PINS, 2004.
- [15] R.T.B. Ma, S.C.M. Lee, J.C.S. Lui, and D.K.Y. Yau, "An Incentive Mechanism for P2P Networks", Proc. Internat. Conf. Distr. Comp. Systems (ICDCS), pp.516-523, 2004.
- [16] R.T.B. Ma, S.C.M. Lee, J.C.S. Lui, and D.K.Y. Yau, "A Game Theoretic Approach to Provide Incentive and Service Differentiation in P2P Networks", Proc. of Internat. Conf. on Measurement and Modeling of Computer Systems, pp.189-198, 2004.
- [17] B. Mortazavi, and G. Kesidis, "Cumulative Reputation Systems for Peer-to-Peer Content Distribution", Technical Report, 2006
- [18] B. Mortazavi, and G. Kesidis, "Incentive-compatible cumulative reputation systems for peer-to-peer file-swapping", Proc. IEEE CISS, 2006.
- [19] M. Adler, R. Kumar, K. Ross, D. Rubenstein, T. Suel and D.D. Yao, "Optimal peer selection for p2p downloading and streaming", Proc. IEEE INFOCOM, 2005.
- [20] M. Feldman, K. Lai, and L. Zhang, "A Price-Anticipating Resource Allocation Mechanism for Distributed Shared Clusters", Proc. 6th ACM Conference on Electronic Commerce, Jun. 2005.
- [21] D.P. Bertsekas, "Nonlinear Programming", 2nd ed. Belmont, MA: Athena Scientific, 1999
- [22] D.P. Bertsekas, and J.N. Tsitsiklis, "Parallel and Distributed Computation: Numerical Methods", Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1989
- [23] D. Palomar, and M. Chiang, "A Tutorial on Decomposition Methods for Network Utility Maximization", IEEE Journal of Selected Areas in Communications, vol. 24, no. 8, pp. 1439-1451, August 2006
- [24] D. Palomar, and M. Chiang, "Alternative decompositions for distributed maximization of network utility: framework and applications", Proc. IEEE INFOCOM, 2006.
- [25] T.G. Papaioannou and G.D. Stamoulis, "Effective use of reputation in peer-to-peer environments", Proc. 4th International Scientific Workshop on Global and Peer-to-Peer Computing, 2004.
- [26] F.P. Kelly, A. Maulloo, and D. Tan, "Rate Control for communication networks: Shadow prices, proportional fairness and stability", J. Oper. Res. Soc., vol.49, no.3, pp.237-252, 1998.
- [27] S. Low, D.E. Lapsley, "Optimization-based flow control I: Basic algorithms and convergence", IEEE/ACM Trans. Networking, vol.7, no.6, pp.861-874, Dec. 1999.
- [28] R. Axelrod, "The Evolution of Cooperation", NY: Basic Books, 1984
- [29] M. J. Osborne and A. Rubinstein, "A Course in Game Theory", Cambridge, MA: The MIT Press, 1994.
- [30] R. Gupta, and A.K. Somani, "Game Theory As A Tool To Strategize As Well As Predict Nodes Behavior In Peer-to-Peer Networks", Proc. IEEE ICPADS, 2005

- [31] A. Habib, and J. Chuang, “Incentive Mechanism for Peer-to-Peer Media Streaming”, Proc. 12th International Workshop on Quality of Service, 2004.

