



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΔΥΝΑΜΙΩΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΕ
ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥΣ ΔΗΜΟΠΡΑΣΙΩΝ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΣΕ
ΓΝΩΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Χ. ΜΠΑΜΠΑΛΗΣ

Επιβλέπων : Νικόλαος Μήτρου
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2010



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΔΥΝΑΜΙΩΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΕ
ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥΣ ΔΗΜΟΠΡΑΣΙΩΝ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΣΕ
ΓΝΩΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Χ. ΜΠΑΜΠΑΛΗΣ

Επιβλέπων : Νικόλαος Μήτρου
Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 26^η Μαρτίου 2010.

.....
Νικόλαος Μήτρου
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Μιχαήλ Θεολόγου
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Συμεών Παπαβασιλείου
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2010

.....
Βασίλειος Χ. Μπάμπαλης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Βασίλειος Χ. Μπάμπαλης
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευχαριστίες

Από τη θέση αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ. Νικόλαο Μήτρου για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα. Επίσης θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον κ. Σταμάτιο Αρκουλή για την καθοδήγηση και επίβλεψη του, για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Περιεχόμενα

Περίληψη	9
Summary	10
Κεφάλαιο 1 ^ο : Γενικά περί γνωστικών δικτύων επικοινωνιών	11
1.1 Το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων.....	11
1.2 Γνωστικά δίκτυα επικοινωνιών (Cognitive radio Networks, CRNs)	14
1.2.1 Ορισμός.....	15
1.2.2 Χαρακτηριστικά.....	15
1.2.3 Άξονες ισχύος, συχνότητας και χρόνου.....	17
1.2.4 Προγράμματα βασισμένα στην ιδέα του Cognitive Radio	19
Κεφάλαιο 2 ^ο : Γενικά περί δημοπρασιών	21
2.1 Ορισμός και βασικά μεγέθη.....	21
Συνάρτηση ωφέλειας-Καθαρό όφελος.....	21
2.1.1 Ευαισθησία πλειοδότη στην απώλεια του αντικειμένου	22
2.2 Βασικά Είδη Δημοπρασίας	22
2.2.1 Ανοιχτές ανοδικές δημοπρασίες	23
2.2.2 Ανοιχτές καθοδικές δημοπρασίες	23
2.2.3 Κλειστές δημοπρασίες πρώτης τιμής.....	24
2.2.4 Κλειστές δημοπρασίες δεύτερης τιμής	25
2.2.5 Θεώρημα ισοδυναμίας εσόδων	26
2.3 Δημοπρασία Πολλαπλών Αντικειμένων	26
2.4 Κριτήρια Αξιολόγησης Δημοπρασιών.....	28
Κεφάλαιο 3 ^ο : Περιγραφή μηχανισμών δημοπρασίας	29
3.1 Εισαγωγή	30
3.2 Μηχανισμοί ανάθεσης πόρων βασισμένων σε δημοπρασίες.....	30
3.2.1 Δημοπρασία ανάθεσης ενός φασματικού τμήματος [19]	30
3.2.2. Δημοπρασία με πρόσβαση TDMA και χρήση χρονικού τμήματος πληρωμής [13]	34
3.2.3. Δημοπρασίες φασματικών τμημάτων με χρήση μηχανισμού VCG	35
3.2.4. Δημοπρασία τμημάτων ισχύος [11].....	38
3.2.5. Δημοπρασία τμημάτων ισχύος ανοδικής τιμής [12].....	40
3.2.6. Ανεξάρτητες Καθοδικές Δημοπρασίες (Ολλανδικές) Εύρους Ζώνης [23]	43
3.2.7. Χρήση μηχανισμού δημοπρασιών με μηχανισμούς αποκλειστικής ανάθεσης φάσματος [24]	44
3.2.8. Αλγόριθμος VERITAS [9].....	46
Κεφάλαιο 4 ^ο : Απειλές δημοπρασιών	51
4.1 Παραβατικοί χρήστες και η συμπεριφορά τους.....	51
4.1.1 Γενικότερες παραβατικές συμπεριφορές	51
4.1.2 Γενικότερες απειλές σε δημοπρασίες	52
4.2 Απειλές ασφαλείας σε πρωτόκολλα δημοπρασιών.....	55
4.2.1 Δημοπρασία ανάθεσης ενός φασματικού τμήματος	55
4.2.2. Δημοπρασία με πρόσβαση TDMA και χρήση χρονικού τμήματος πληρωμής ...	57
4.2.3. Δημοπρασίες φασματικών τμημάτων με χρήση μηχανισμού VCG	58
4.2.4. Δημοπρασία τμημάτων ισχύος.....	61
4.2.5. Δημοπρασία τμημάτων ισχύος ανοδικής τιμής.....	62
4.2.6. Ανεξάρτητες Καθοδικές Δημοπρασίες (Ολλανδικές) Εύρους Ζώνης	64
Κεφάλαιο 5 ^ο : Προσομοιώσεις μηχανισμών δημοπρασίας.....	66
5.1 Εισαγωγή	66

5.2 Πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου	66
5.3 Περιγραφή Εργαλείων Προσομοίωσης	67
5.3.1 Το MATLAB	67
5.3.2 Το NS-2.....	67
5.3.3 Overlay Mac-NSclick	68
5.3.4 Το Wireshark	70
5.4 Προσομοίωση μηχανισμού δημοπρασίας με πρόσβαση TDMA και χρήση χρονικού τμήματος πληρωμής.....	71
5.5 Προσομοίωση μηχανισμού δημοπρασίας χρονικών τμημάτων με χρήση μηχανισμού VCG	77
5.5.1 Αλλαγή θέσης του σταθμού βάσης.....	77
5.5.2 Συμπαιγνία σταθμών βάσης.....	81
5.6 Προσομοίωση μηχανισμού δημοπρασίας ανοδικής τιμής εφαρμοζόμενος σε χρονοθυρίδες.....	83
5.7 Προσομοίωση μηχανισμού δημοπρασίας καθοδικής τιμής εφαρμοζόμενος σε χρονοθυρίδες.....	90
Συμπεράσματα και μελλοντικές επεκτάσεις.....	97
Βιβλιογραφία	98

Περίληψη

Το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων αποτελούσε ανέκαθεν ένα πολύ σημαντικό οικονομικό πόρο. Παρόλα αυτά διάφορες μελέτες έχουν αποδείξει ότι η χρησιμοποίησή του, δεν είναι βέλτιστη καθώς για μεγάλα χρονικά διαστήματα, τμήματα αυτού παραμένουν ανενεργά. Εισάγεται λοιπόν μια νέα ιδέα ανάπτυξης δικτύων επικοινωνιών, τα γνωστικά δίκτυα επικοινωνιών, τα οποία θα είναι σε θέση να αντιλαμβάνονται το περιβάλλον γύρω τους, να αλληλεπιδρούν με αυτό και να διαθέτουν το φάσμα στους χρήστες ανάλογα με τις ανάγκες τους.

Η νέα αυτή τεχνολογία προμηνύει ότι οι διάφοροι χρήστες, θα ανταγωνίζονται μεταξύ τους, για τα φασματικά αυτά τμήματα. Επίσης θα πρέπει να ορισθούν σαφείς κανόνες για το πότε κάθε χρήστης έχει δικαίωμα να εκπέμψει. Πώς όμως θα πραγματοποιείται θα ανταγωνισμός και με ποιους κανόνες; Η απάντηση στο ερώτημα αυτό δίδεται με την εισαγωγή του μηχανισμού δημοπρασίας. Οι χρήστες εισέρχονται σε μια διαδικασία δημοπρασίας όπου πλειοδοτούν για τα φασματικά τμήματα και καταθέτουν τις προσφορές τους στον πωλητή. Ανάλογα με το είδος της δημοπρασίας ο πωλητής καθορίζει τους νικητές, και τους κανόνες βάσει των οποίων αυτοί πρέπει να εκπέμψουν. Η προσαρμογή όμως των δημοπρασιών στα γνωστικά δίκτυα επικοινωνιών, έχει ως συνέπεια και την εμφάνιση απειλών και παραβατικών συμπεριφορών που έχουν κακόβουλοι πλειοδότες στις διάφορες δημοπρασίες. Θα πρέπει λοιπόν να μελετηθούν εκτενώς οι απειλές αυτές για να εξασφαλισθεί η εγκυρότητα και η ορθότητα της δημοπρασίας.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στα γνωστικά δίκτυα επικοινωνιών. Περιγράφονται τα προβλήματα τα οποία υπάρχουν και δύναται να λυθούν μέσω των γνωστικών δικτύων επικοινωνιών, τρόπος με τον οποίον οδηγηθήκαμε σε αυτά, οι αρχές τους, οι δυνατότητές τους και η εφαρμογή τους. Τέλος παρουσιάζονται κάποιες υλοποιήσεις οι οποίες στηρίζονται στα γνωστικά δίκτυα επικοινωνιών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται οι γενικές αρχές των δημοπρασιών. Παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι τύποι δημοπρασιών, ανοδικές, καθοδικές, κλειστές δημοπρασίες πρώτης και δεύτερης τιμής, ενός και πολλαπλών αντικειμένων. Επίσης αναλύονται τα κριτήρια αξιολόγησης των δημοπρασιών αυτών.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται μηχανισμοί δημοπρασιών βασισμένοι σε γνωστικά δίκτυα επικοινωνιών. Το αγαθό που δημοπρατείται μπορεί να είναι φασματικό τμήμα, ή χρόνος (χρονοθυρίδα) ή τμήμα ισχύος. Επίσης υπάρχουν μηχανισμοί οι οποίοι συνδυάζουν δημοπρασία φασματικών τμημάτων για συγκεκριμένους χρόνους (χρονοθυρίδες).

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται οι απειλές ασφαλείας και οι παραβατικές συμπεριφορές που μπορούν να εμφανιστούν στις δημοπρασίες. Πιο συγκεκριμένα, στην αρχή περιγράφονται γενικές απειλές δημοπρασίας, δηλαδή απειλές που μπορούν να εμφανιστούν σε κάθε είδος δημοπρασίας, και στη συνέχεια περιγράφονται πιο εξειδικευμένες απειλές σχετικά με τους μηχανισμούς δημοπρασίας του τρίτου κεφαλαίου.

Το πέμπτο κεφάλαιο περιλαμβάνει τις προσομοιώσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν για τους διάφορους μηχανισμούς δημοπρασιών. Για κάθε ένα μηχανισμό περιγράφεται και προσομοιώνεται τόσο το «νόμιμο» σενάριο, δηλαδή το σενάριο κατά το οποίο όλοι οι χρήστες δρουν χωρίς να έχουν σκοπό να βλάψουν τη διαδικασία της δημοπρασίας, αλλά και το σενάριο που ένας ή περισσότεροι χρήστες εμφανίζουν παραβατική συμπεριφορά. Τα αποτελέσματα αυτά συγκρίνονται και προκύπτουν τα αντίστοιχα συμπεράσματα.

Λέξεις κλειδιά: γνωστικά δίκτυα επικοινωνιών, διαμοιρασμός φάσματος, δημοπρασίες, παραβατικοί χρήστες, απειλές ασφαλείας, προσομοιώσεις

Summary

The spectrum has always been a very important economic resource. Nevertheless, several studies have shown that its use is not optimal as for long periods, parts of it remain inactive. Therefore introduced a new concept of development communication networks, cognitive radio networks, which will be able to understand the environment around them, interact with it and afford the spectral fragments to the users according to their needs.

This new technology portend that different, secondary users will compete for the spectral fragments. It also should be defined clear rules for when a user is allowed to transmit. But how competition will take place and under what rules? The answer to this question is given by the introduction of the auction mechanisms. Users enter an auction where bidding for the spectral fragments and submit their bids to the seller. Depending on the type of auction, the seller sets the winners and the rules under which they must obey and transmit. The adjustment of the auction in cognitive radio networks has the consequence of the appearance of threats and offending behaviour by malicious bidders in the auctions. It should therefore be studied in detail these threats to ensure the validity of the auction.

The first chapter is an introduction to cognitive radio networks. It is described the problems that exist and can be solved through cognitive radio networks, how we were led to them, their principles, and their capabilities. Finally are presented some implementations, which are based on cognitive radio networks.

The second chapter describes the general principles of the auction mechanisms. Are described the major types of auctions, ascending, descending, seal auctions first and second price and a multiple objects auction mechanisms. Also analyzed the criteria with which these auctions are evaluated.

The third chapter describes the auction mechanisms which are based on cognitive radio networks. The fragment that is auctioned may be a spectral segment, or time (timeslot) or power fragment. There are also mechanisms that combine auctions in spectral fragments in specific times (timeslots).

The fourth chapter describes the security threats and malicious behaviour that may appear in auctions. In particular, in the first part of the chapter are described auction threats, threats that can occur in any kind of auction, and in the second part of the chapter are described more specific threats on the auction mechanisms of the third chapter.

The fifth chapter contains the simulations carried out on various auction mechanisms. For each mechanism is described and simulated both the "legal" scenario, ie scenario in which all legal users without having any malicious behaviour, and the scenario that one or more users have malicious behaviour. The results are compared and conclusions according to the results are made.

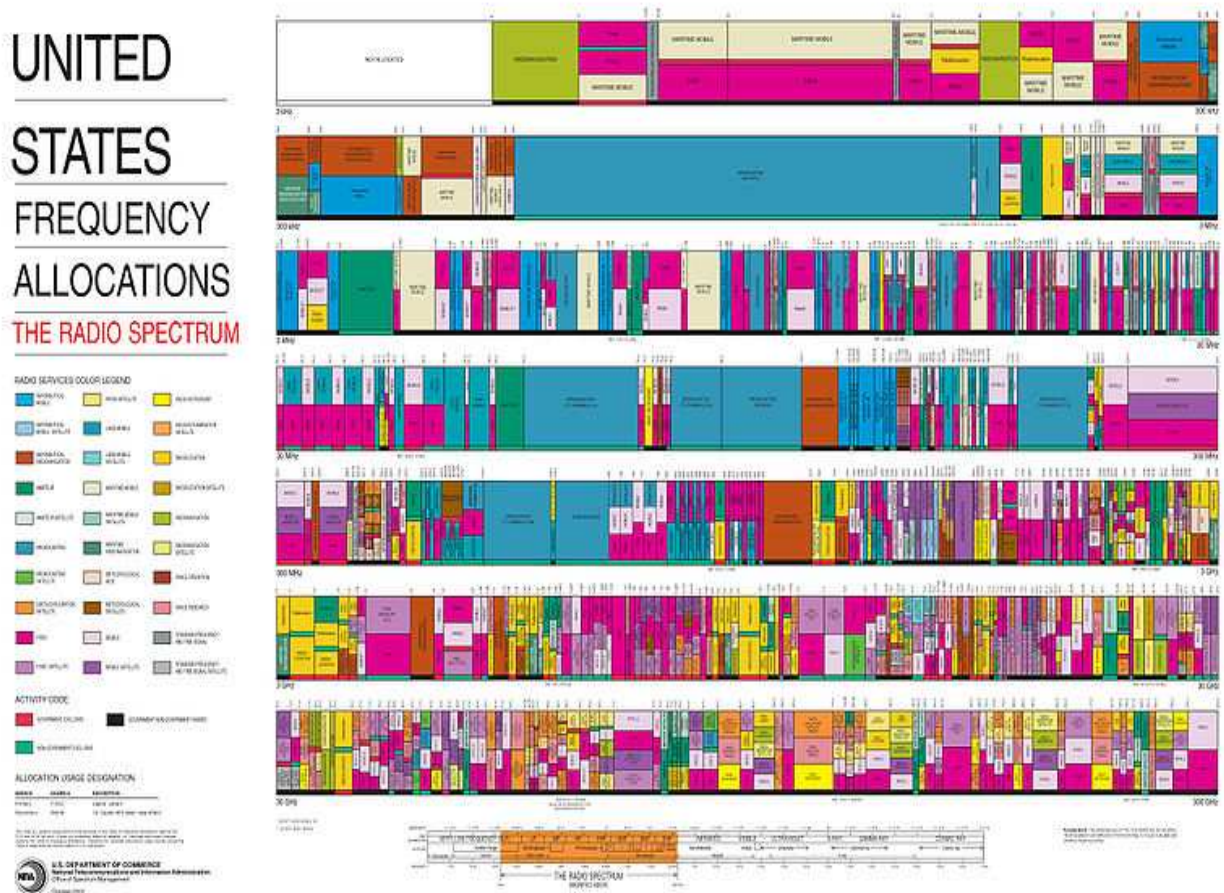
Key words: cognitive radio networks, spectrum sharing, auctions, malicious users, security threats, simulations

Κεφάλαιο 1^ο : Γενικά περί γνωστικών δικτύων επικοινωνιών

1.1 Το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων

Το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων είναι ένας σημαντικότερος οικονομικός πόρος στις μέρες μας. Τα χαρακτηριστικά του είναι το εύρος ζώνης του, η καταλληλότητα για συγκεκριμένες μεταδόσεις και υπηρεσίες καθώς και οι παρεμβολές από τις οποίες υποφέρει. Ο ορισμός του ως πόρος έγκειται στη χρησιμοποίηση των συχνοτήτων του για μετάδοση και λήψη και γενικότερα εξυπηρέτηση συγκεκριμένων υπηρεσιών, τη γεωγραφική περιοχή κάλυψης, καθώς και το χρονικό διάστημα χρησιμοποίησής του.

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούν το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων και οι υπηρεσίες που προσφέρουν είναι πολλές και σημαντικές. Παραδείγματα τέτοιων τεχνολογιών είναι η κινητή τηλεφωνία, το GPS, δορυφορικές επικοινωνίες, αναλογική και ψηφιακή τηλεόραση και ραδιοφωνία Wi-Fi. Στην εικόνα 1 φαίνεται η διάθεση φασματικών πόρων για διάφορες τεχνολογίες στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής το έτος 2003.



Εικόνα 1

Η διαχείριση λοιπόν του φασματικού πόρου είναι αναγκαία για την εύρυθμη και σωστή λειτουργία των υπηρεσιών που προσφέρονται. Μια σειρά οργάνων και ομάδων προτυποποίησης είναι υπεύθυνα για τη διαχείριση αυτή. Τέτοια όργανα είναι:

- Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU)
- Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI)
- Ευρωπαϊκή Διάσκεψη Αρχών Ταχυδρομείων και Τηλεπικοινωνιών (CEPT)
- Οι κατά τόπους ρυθμιστικές αρχές όπως η FCC στις ΗΠΑ, ΕΕΤΤ στην Ελλάδα

Πιο συγκεκριμένα οι στόχοι των παραπάνω οργάνων είναι:

- Οικονομική Αποδοτικότητα, δηλαδή μεγιστοποίηση της αξίας που παράγεται από τη χρήση του φάσματος
- Μεγιστοποίηση της χρήσης του φάσματος
- Αποτροπή των παρεμβολών
- Εφαρμογή Προκαθορισμένης Πολιτικής

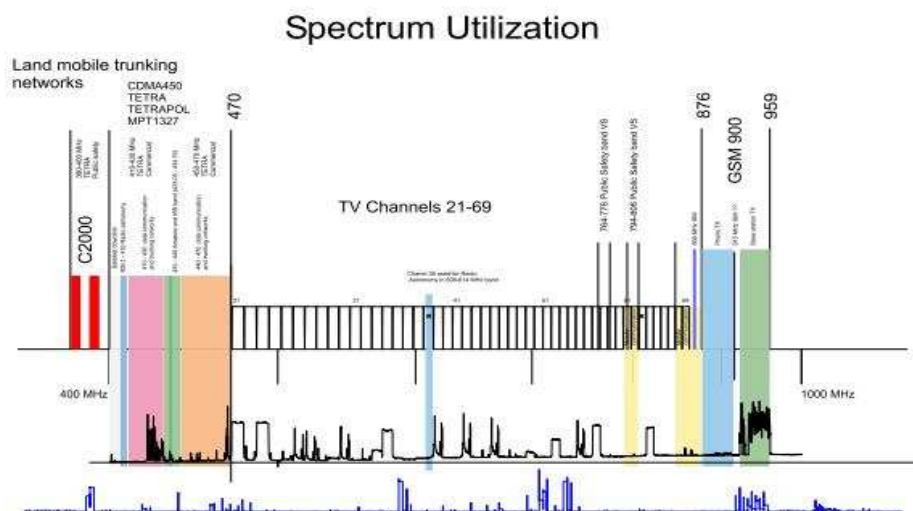
Για την επίτευξη λοιπόν αυτών των στόχων το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων έχει χωρισθεί στις εξής ζώνες:

- Αδειοδοτημένες ζώνες για αποκλειστική χρήση για συγκεκριμένες υπηρεσίες
- Αδειοδοτημένες ζώνες για αποκλειστική χρήση
- Μη αδειοδοτημένες ζώνες με κοινή χρήση

Στη πρώτη κατηγορία ζωνών ανήκει ο παραδοσιακός τρόπος διάθεσης φάσματος, όπου η φασματικές ζώνες χωρίζονται σε κανάλια, και αδειοδοτούνται σε χρήστες για συγκεκριμένες υπηρεσίες. Παράδειγμα αυτής της κατηγορίας αποτελεί η διάθεση φάσματος στην αναλογική τηλεόραση. Στην δεύτερη κατηγορία ο δικαιούχος χρήστης μπορεί να εκπέμψει κατ' επιλογήν οτιδήποτε επιθυμεί και να προσφέρει όποια υπηρεσία θέλει, με την προϋπόθεση ότι δεν θα παρεμβάλλει στα γειτονικά κανάλια και δεν θα παρεμποδίζει τις υπηρεσίες που προσφέρονται από γείτονες προς αυτόν χρήστες. Στην τρίτη κατηγορία ανήκει το μη αδειοδοτημένο φάσμα, δηλαδή οι φασματικές ζώνες που είναι ελεύθερες για κάθε χρήστη. Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί το 802.11b ή Wi-Fi που λειτουργεί στα 2,4GHz.

Παρόλα αυτά, τα τελευταία χρόνια, η αλματώδης ανάπτυξη των ασύρματων επικοινωνιών, η όλο και αυξανόμενη ανάγκη για επίτευξη υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης, εξαιτίας ασύρματων ευριζωνικών συνδέσεων, αλλά και η «συμφόρηση» υπηρεσιών σε συγκεκριμένες φασματικές ζώνες έχει οδηγήσει στη αύξηση ζήτησης εύρους ζώνης αλλά και στον ανταγωνισμό μεταξύ δημόσιων, ιδιωτικών και στρατιωτικών φορέων για την κατοχή φάσματος. Δεδομένου όμως ότι το εύρος ζώνης είναι ένας πεπερασμένος πόρος το πρόβλημα που ανακύπτει είναι η διαφαινόμενη εξάντλησή του, καθώς και το πώς θα γίνει βέλτιστη εκμετάλλευσή του.

Παρόλα αυτά μελέτες που έχουν γίνει στο φάσμα ραδιοσυχνοτήτων από τα 400MHz έως τα 1000MHz όπως φαίνεται στη παρακάτω εικόνα δείχνουν ότι αν και η φασματική αυτή περιοχή είναι αδειοδοτημένη η αξιοποίησή της δεν είναι η βέλτιστη δυνατή. Η μη βέλτιστη αξιοποίηση των φασματικών πόρων εισάγει την έννοια της φασματικής οπής [4]. *Μια φασματική οπή είναι μία ζώνη συχνοτήτων διατεθειμένη στον κυρίαρχο-δικαιούχο χρήστη, αλλά για αρκετά μεγάλα χρονικά διαστήματα και σε συγκεκριμένες περιοχές αυτή παραμένει αχρησιμοποίητη.*



Εικόνα 2

Γίνεται επομένως φανερό ότι θα πρέπει να δημιουργηθούν νέοι μηχανισμοί διάθεσης των φασματικών πόρων όπως υπενουκίαση και κοινοχρησία των πόρων μεταξύ των χρηστών, δημιουργία δευτερογενών αγορών κλπ. Η αξιοποίηση λοιπόν του φάσματος μπορεί να βελτιστοποιηθεί αν τέτοια φασματικά τμήματα χρησιμοποιηθούν από ένα δευτερεύοντα χρήστη, σε συγκεκριμένη χρονική διάρκεια και τοποθεσία. Στο αδειοδοτημένο φάσμα ο μηχανισμός που ενεργεί ονομάζεται command and control, δηλαδή η χρησιμοποίηση μιας φασματικής περιοχής ανήκει αποκλειστικά σε ένα πάροχο που αποφασίζεται από την εκάστοτε ρυθμιστική αρχή της κάθε χώρας. Οι ρίζες του μηχανισμού αυτού ανήκουν στα πρώιμα στάδια των ασύρματων τηλεπικοινωνιών όπου οι τεχνικές για ελαχιστοποίηση της παρεμβολής δεν ήταν τόσο ανεπτυγμένες για την επίτευξη της επιθυμητής ποιότητας υπηρεσίας. Αντίθετα το μη αδειοδοτημένο φάσμα είναι ελεύθερο για όλους τους χρήστες και ωθεί τον διαμοιρασμό των φασματικών πόρων για επίτευξη μεγαλύτερης φασματικής απόδοσης. Παρόλα αυτά ανάλογα με την υπηρεσία που διαθέτει ο κάθε πάροχος είναι επιθυμητός ο πρώτος ή ο δεύτερος μηχανισμός. Για παράδειγμα στη μετάδοση ενός ποδοσφαιρικού αγώνα με διαδραστικές υπηρεσίες η εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας πρέπει να είναι εξασφαλισμένη. Αντίθετα σε τελικούς χρήστες που επιθυμούν να έχουν ασύρματη πρόσβαση στο Internet μέσω κινητού τηλεφώνου για μερικά λεπτά, η εγγύηση της ποιότητας υπηρεσίας δεν είναι τόσο σημαντική όσο η ίδια η παροχή υπηρεσίας.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι υπάρχει μια δευτερεύουσα αγορά, όπου ενδιαφερόμενοι πάροχοι μπορούν να αποκτήσουν φασματικές ζώνες για κάποιο χρονικό διάστημα ώστε να προσφέρουν τις υπηρεσίες τους. Η αγορά αυτή υπάρχει σε πραγματικό χρόνο οπότε και ονομάζεται **δευτερεύουσα αγορά πραγματικού χρόνου**. Αν και αρχικά το χρονικό αυτό διάστημα εκτεινόταν στα χρονικά πλαίσια ενός έτους, η ύπαρξη μεγάλου αριθμού δευτερευόντων χρηστών αλλά και ο τρόπος σχεδίασης των πρωτόκολλων ανάθεσης συχνοτήτων, περιορίζουν το χρόνο μίσθωσης σε μερικά λεπτά ή ακόμα και δευτερόλεπτα.

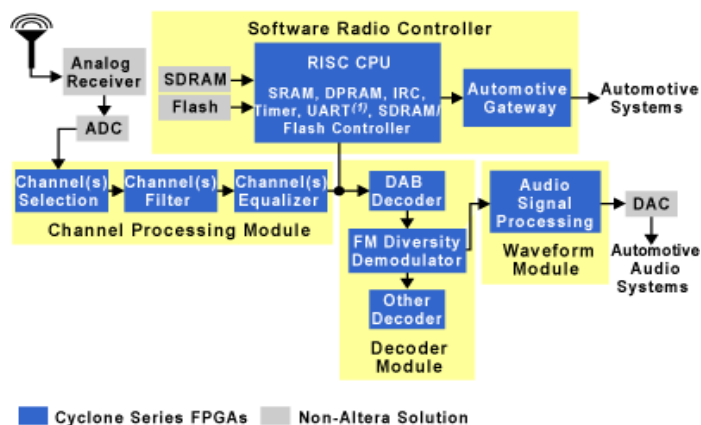
Για την αποφυγή παρεμβολής μεταξύ μεταδόσεων δευτερευόντων χρηστών ή δευτερεύοντα χρήστη και κυρίαρχου έχουν προταθεί δύο τεχνολογίες. Η πρώτη είναι με χρήση του συστήματος GPS όπου τα δεδομένα θέσης του κάθε εκπομπού στέλνονται στο σταθμό βάσης του κυρίαρχου χρήστη και υπολογίζεται η παρεμβολή και λαμβάνεται η απόφαση για παραχώρηση ή όχι της φασματικής περιοχής. Η δεύτερη με χρήση της τεχνολογίας SDR όπου δίνεται η δυνατότητα για μεταπήδηση από την μία φασματική περιοχή σε μια άλλη για αποφυγή παρεμβολής. Όλα λοιπόν τα παραπάνω οδηγούν στην έννοια των γνωστικών δικτύων επικοινωνιών ή cognitive radios (CRs).

1.2 Γνωστικά δίκτυα επικοινωνιών (Cognitive Radio Networks, CRNs)

Η ιδέα των γνωστικών δικτύων επικοινωνιών στηρίζεται στις αρχές του software-defined radio (SDR). Οι συσκευές που λειτουργούν με βάση το SDR αναζητούν και χρησιμοποιούν δυναμικά διαθέσιμες φασματικές ζώνες που καθορίζονται από λογισμικό. Το SDR βασίζεται ουσιαστικά σε ένα πομπό όπου οι παράμετροι λειτουργίας του δηλαδή συχνότητα λειτουργίας, ισχύ εκπομπής, διαμόρφωση, κωδικοποίηση, διάγραμμα ακτινοβολίας μπορούν να αλλάξουν προγραμματιστικά χωρίς την αλλαγή του hardware του πομπού.

Κατά την κλασική μέθοδο αποδιαμόρφωσης το λαμβανόμενο σήμα από την κεραία λήψης, αλλάζει συχνότητα με ένα ή δύο βήματα, από την RF περιοχή στη IF. Αυτό γίνεται διότι η αποδιαμόρφωση σε αυτήν την περιοχή συχνοτήτων είναι πιο σταθερή και πιο εύκολα υλοποιήσιμη. Επίσης το hardware του αποδιαμορφωτή (π.χ. για αποδιαμόρφωση, αποκωδικοποίηση) είναι σταθερό (fixed) βάσει της υπηρεσίας που θέλει αυτός να εξυπηρετήσει και αποφασίζεται εξ αρχής κατά την σχεδίαση του.

Η ανάπτυξη της σχεδίασης υπολογιστών αλλά και της ψηφιακής επεξεργασίας σήματος, καθιστά δυνατή την αντικατάσταση του κλασικού αποδιαμορφωτή, από ένα ισοδύναμο σύστημα που δυναμικά υποστηρίζει πολλαπλά πρωτόκολλα επικοινωνίας. Το αναλογικό σήμα δηγματοληπτείται από έναν αναλογικό-σε-ψηφιακό μετατροπέα, και όλη η διαδικασία που απαιτείται για την λήψη του σήματος πληροφορίας πραγματοποιείται με χρήση υπολογιστή. Αυτή η νέα προσέγγιση είναι πολύ ευέλικτη και δίνει τεράστιες δυνατότητες στο σχεδιαστή ασύρματων δικτύων καθώς ανά πάσα στιγμή η διαμόρφωση, κωδικοποίηση κλπ μπορούν να αλλάξουν προγραμματιστικά.



Εικόνα 3

Στην εικόνα 3 φαίνεται ένα σύστημα αποδιαμορφωτή SDR. Ο αποδιαμορφωτής αποτελείται από ένα σύστημα επεξεργασίας και επιλογής καναλιού και ένα σύστημα αποκωδικοποίησης. Το σύστημα επεξεργασίας και επιλογής καναλιού είναι υπεύθυνο για την ορθή επιλογή του καναλιού, καθώς επίσης στο σύστημα αυτό πραγματοποιείται φιλτράρισμα και αντιστάθμιση. Το σύστημα επεξεργασίας καναλιού χρειάζεται πολλές παραμέτρους λειτουργίας για κάθε διαφορετικό σετ επεξεργασίας καναλιού. Οι παράμετροι αυτοί προσδιορίζονται από το Software Radio Controller το οποίο περιλαμβάνει επεξεργαστή, μνήμες, ελεγκτές και αποτελεί το hardware πάνω στο οποίο στηρίζεται ο πυρήνας του SDR.

Η ιδέα του Cognitive radio αποτελεί μια επέκταση του SDR, με κύρια χαρακτηριστικά:

- Αντίληψη του περιβάλλοντος

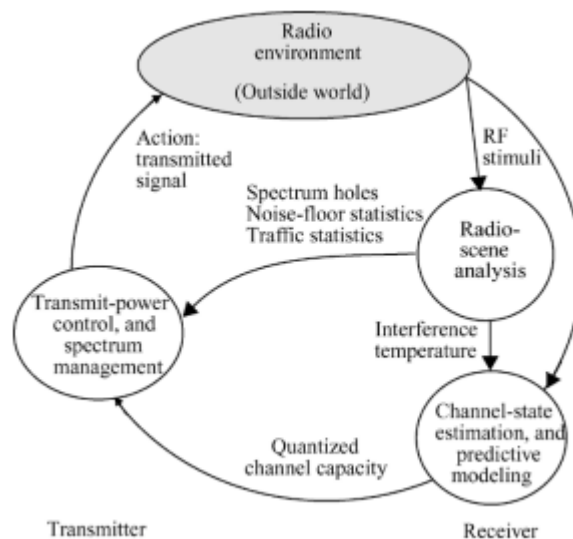
- Ικανότητα αλλαγής της συμπεριφοράς του ανάλογα με το υπάρχον περιβάλλον
- Ικανότητα να «μαθαίνει» από προηγούμενες καταστάσεις
- Ικανότητα προσαρμογής σε καταστάσεις που ήταν άγνωστες κατά το σχεδιασμό του.

1.2.1 Ορισμός

Το σύστημα γνωστικών επικοινωνιών λοιπόν, σύμφωνα με τον ορισμό που έδωσε ο Simon Haykin [4], είναι ένα έξυπνο ασύρματο σύστημα δικτύου το οποίο έχει γνώση για το περιβάλλον γύρω του, αντλεί πληροφορίες από αυτό και με μεθόδους εκμάθησης προσαρμόζει τις εσωτερικές του καταστάσεις στις RF μεταβολές κάνοντας αλλαγές σε συγκεκριμένες λειτουργικές παραμέτρους (όπως ισχύ μετάδοσης, συχνότητα των φερόντων, είδος διαμόρφωσης) σε πραγματικό χρόνο, με δύο κυρίως στόχους:

- υψηλής αξιοπιστίας επικοινωνίες οποτεδήποτε και οπουδήποτε χρειαστεί
- αποδοτική χρήση του φάσματος ραδιοεπικοινωνιών

Στην εικόνα 4 παρουσιάζεται γραφικά ο πομπός και ο δέκτης ενός συστήματος CR απεικονίζοντας τον παραπάνω ορισμό. Η αρμονική συνεργασία πομπού και δέκτη προϋποθέτει την ύπαρξη ενός καναλιού ανάδρασης μέσω του οποίου πληροφορίες για την μετάδοση και τα χαρακτηριστικά της, θα στέλνονται στον πομπό.



Εικόνα 4

1.2.2 Χαρακτηριστικά

Η αντίληψη του περιβάλλοντος προϋποθέτει την ύπαρξη ενός συστήματος ανίχνευσης των φασματικών οπών και υπολογισμού της παρεμβολής που θα προκαλέσει η έναρξη εκπομπής ενός CR καθώς και η παρεμβολή που θα δέχεται το ίδιο CR από άλλα

ασύρματα δίκτυα. Το CR πρέπει να είναι σε θέση λοιπόν να αλλάζει της παραμέτρους εκπομπής έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί η εκπομπή βάσει μιας καθορισμένης ποιότητα υπηρεσίας (QoS). Γι' αυτό το λόγω η επικοινωνία του πομπού και του δέκτη είναι απαραίτητη μέσω του καναλιού ανάδρασης. Επίσης το CR μπορεί όχι μόνο να προσαρμόζεται σε τυχόν αλλαγές του περιβάλλοντος, αλλά και να «μαθαίνει» από αυτές, να τις εκμεταλλεύεται και να παίρνει μελλοντικές αποφάσεις ώστε να προσαρμόζεται σε καταστάσεις που ήταν άγνωστες όταν αυτό σχεδιάστηκε. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι αυτά που προσδίδουν και την ονομασία (cognitive-νοητικός) στο τύπο αυτό του δικτύου. Ένα παράδειγμα συσκευής που θα λειτουργεί με την ιδέα του CR είναι ένα multi-band, multi-protocol κινητό τηλέφωνο, το οποίο από μόνο του θα μπορεί να επιλέγει δίκτυο, θα μπορεί να διαπραγματεύεται για τα χαρακτηριστικά σύνδεσης με το σταθμό βάσης κλπ.

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως η παραχώρηση των φασματικών πόρων μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους α)με αποκλειστική χρήση για συγκεκριμένες υπηρεσίες β)με αποκλειστική χρήση γ)με ελεύθερη κοινή χρήση.

Κάθε συσκευή που ενσωματώνει την ιδέα του CR θα είναι σε θέση να λειτουργεί και στις τρεις παραπάνω κατηγορίες, προσφέροντας την κατάλληλη ποιότητα, για κάθε υπηρεσία που επιλέγει ο χρήστης κατά περίπτωση.

Με βάση τα παραπάνω λοιπόν, το φάσμα είτε ελεύθερο είτε αδειοδοτημένο, για την βέλτιστη αξιοποίηση του, θα πρέπει να διατίθεται στους υποψήφιους χρήστες του. Η διάθεση του φάσματος εναρμονισμένη όμως τώρα με την ιδέα του CR, μπορεί να γίνει είτε υποστρωματικά είτε επιστρωματικά.

Κατά την υποστρωματική θεώρηση μια φασματική περιοχή αδειοδοτείται στο κυρίαρχο-δικαιούχο χρήστη, ενώ η ίδια περιοχή παραχωρείται (κατόπιν αντιτίμου) σε έναν δευτερεύοντα χρήστη. Βασική προϋπόθεση για να γίνει υλοποιήσιμη η παραπάνω θεώρηση είναι η όσο το δυνατόν μικρότερη παρεμβολή, μεταξύ του κυρίαρχου-δικαιούχου χρήστη και του δευτερεύοντα. Η τεχνολογία που θα μπορούσε να εφαρμοστεί για την μείωση της παρεμβολής και είναι ιδανική για αυτή τη θεώρηση, είναι η τεχνολογία του UWB (Ultra-Wide Band). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την UWB το σήμα πληροφορίας του δευτερεύοντα χρήστη απλώνεται σε όλο σχεδόν το διαθέσιμο εύρος ζώνης και το προς μετάδοση σήμα είναι περίπου 25% μεγαλύτερο από την κεντρική συχνότητα εκπομπής, αλλά η πυκνότητα ισχύος του είναι κατά πολύ μικρότερη σε σχέση με το αντίστοιχο σήμα στενής ζώνης του κυρίαρχου-δικαιούχου χρήστη. Συνεπώς για τον κυρίαρχο-δικαιούχο χρήστη, τα σήματα των δευτερευόντων χρηστών μπορεί να θεωρηθούν σαν λευκός προσθετικός θόρυβος.

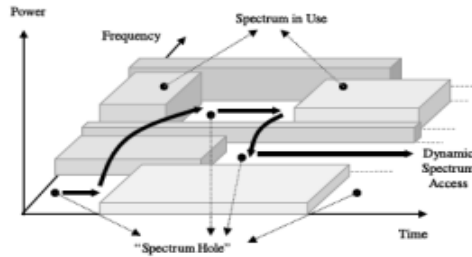
Κατά την επιστρωματική θεώρηση το εύρος ζώνης του δικαιούχου μοιράζεται:

- στο δευτερεύοντα όταν ο πρώτος δεν το χρησιμοποιεί.
- στο δευτερεύοντα κατόπιν διαπραγματεύσεων με τον κυρίαρχο (ύπαρξη περισσότερων του ενός υποψήφιοι δευτερεύοντες χρήστες).
- σαν συνδυασμός των δύο παραπάνω.

Από τις παραπάνω δύο θεωρήσεις γίνεται φανερό ότι ενώ στην υποστρωματική ο δευτερεύον χρήστης μπορεί να εκπέμπει σε όλο το φάσμα συχνοτήτων του δικαιούχου αλλά με χαμηλή ισχύ, στη δεύτερη εκπέμπει με υψηλή ισχύ αλλά σε προκαθορισμένες συχνότητες και για προκαθορισμένο χρόνο. Η συχνότητα και ο χρόνος εκπομπής αποτελεί αντικείμενο διαπραγματεύσεων μεταξύ του δικαιούχου και του δευτερεύοντα χρήστη. Η δεύτερη θεώρηση επιτυγχάνει καλύτερα την κάλυψη των φασματικών οπών με την προϋπόθεση βέβαια ότι δεν προκαλεί παρεμβολές στο δικαιούχο χρήστη. Τόσο η υποστρωματική όσο και επιστρωματική θεώρηση μπορούν να συνδυαστούν μεταξύ τους για βελτιστοποίηση της διάθεσης του φασματικού πόρου στο χώρο και στο χρόνο.

1.2.3 Άξονες ισχύος, συχνότητας και χρόνου

Όπως ήδη έχει αναφερθεί οι βασικοί μηχανισμοί των συστημάτων γνωστικών επικοινωνιών είναι η ανίχνευση των φασματικών οπών, η ικανότητα αλλαγής συμπεριφοράς ανάλογα με το περιβάλλον και η ικανότητα «μάθησης». Η ανίχνευση των φασματικών οπών και η εκπομπή των CR συστημάτων μέσα σε αυτές προϋποθέτει την ύπαρξη ενός συστήματος έξυπνου διαμοιρασμού του φασματικού πόρου, χωρικά και χρονικά. Προς την κατεύθυνση αυτή ο πόρος πρέπει να διαιρείται βάσει τριών αξόνων, τον άξονα της συχνότητας, τον άξονα της ισχύος και τον άξονα του χρόνου όπως φαίνεται στην εικόνα 5.



Εικόνα 5

Άξονας Συχνότητας

Οι μηχανισμοί που στηρίζονται στον άξονα της συχνότητας, χωρίζουν το φασματικό πόρο σε κανάλια και έχουν ως στόχο το όσο το δυνατόν καλύτερο διαμοιρασμό των καναλιών αυτών για αποφυγή παρεμβολών μεταξύ χρηστών και την επίτευξη του στόχου αυτού με όσο το δυνατόν μικρότερο αριθμό καναλιών. Κοινός τόπος των συγκεκριμένων προσεγγίσεων αποτελεί η μοντελοποίηση του εκάστοτε προβλήματος σε ένα Γράφο Παρεμβολών (Interference Graph), δηλαδή ένα γράφημα του οποίου τις κορυφές αποτελούν οι κόμβοι-χρήστες του εκάστοτε δικτύου, ενώ τις ακμές και τα βάρη αποτελούν οι σχέσεις παρεμβολών και το αρνητικό κόστος που αυτές επιφέρουν, αντίστοιχα. Εν συνεχεία, στον προκύπτον γράφο εφαρμόζονται αλγόριθμοι δανεισμένοι από τη θεωρία γράφων. Απώτερο στόχο εδώ αποτελεί η βέλτιστη ανάθεση συχνοτήτων σε κόμβους, τόσο ώστε να μεγιστοποιηθεί ο βαθμός επαναχρησιμοποίησής τους, όσο και ώστε να μην ανατεθεί ποτέ η ίδια συχνότητα σε κόμβους των οποίων οι μεταδόσεις παρεμβάλλονται μεταξύ τους. Συνήθως οι κόμβοι αυτοί είναι γειτονικοί [9]. Ακόμα, βέβαια, και αν κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό, επιλέγεται μια τέτοια ανάθεση η οποία θα επιφέρει τα ελάχιστα δυνατά προβλήματα στο δίκτυο έτσι ώστε, τόσο η αποδοτικότητά του, όσο και η ικανοποίηση των χρηστών του, να μεγιστοποιηθεί.

Άξονας Ισχύος

Κοινός τόπος των μηχανισμών που στηρίζονται στον άξονα της ισχύος αποτελεί ο έξυπνος υπολογισμός της ισχύος εκπομπής των εκάστοτε κόμβων, δεδομένου ότι λειτουργούν σε κοινό κανάλι συχνοτήτων [10][11][12]. Η προφανής και αναμενόμενη επιλογή του κάθε κόμβου θα ήταν η εκπομπή με τη μέγιστη δυνατή (και επιτρεπτή) ισχύ, αδιαφορώντας για τις συνέπειες που κάτι τέτοιο θα επέφερε στο κοινωνικό σύνολο. Μια τέτοια επιλογή θα οδηγούσε, για παράδειγμα, έναν Σταθμό Βάσης στην κάλυψη όσο το δυνατόν

μεγαλύτερης γεωγραφικής περιοχής, μιας και η ακτίνα κάλυψής του είναι ανάλογη της ισχύος εκπομπής του. Θα μπορούσε, δηλαδή, να εξυπηρετήσει έτσι περισσότερους χρήστες, χωρίς κανένα επιπλέον κόστος. Μια τέτοια όμως επιλογή θα προκαλούσε καταστροφικές παρεμβολές στο εσωτερικό του εκάστοτε δικτύου σε περίπτωση που ακολουθηθεί από όλους τους κόμβους που το απαρτίζουν. Η μόνη, λοιπόν, λύση εδώ είναι η μείωση της ισχύος εκπομπής κάθε κόμβου σε τέτοιο βαθμό, ώστε οριακά να μπορεί να καλύπτει τις ανάγκες επικοινωνίας του με τους υπολοίπους. Κάποιες φορές μάλιστα θα πρέπει να πραγματοποιούνται και υποχωρήσεις σχετικά με τις δυνατότητες επικοινωνίας ή την ποιότητα των απολαμβανόμενων υπηρεσιών, με σκοπό τη διασφάλιση της κοινωνικής ευημερίας και δικαιοσύνης.

Άξονας Χρόνου

Κοινός τόπος των συγκεκριμένων μηχανισμών [13] αποτελεί η διαίρεση του χρόνου σε σταθερού ή μεταβλητού μήκους χρονικά διαστήματα, τις χρονοθυρίδες (timeslots), των οποίων η τάξη μεγέθους δύναται να διαφέρει έντονα από εργασία σε εργασία. Εν συνεχεία, ειδικοί μηχανισμοί επιφορτίζονται με το καθήκον της ανάθεσης αυτών σε κόμβους ώστε, να διασφαλιστεί η κοινωνική δικαιοσύνη, να μεγιστοποιηθεί η αποδοτικότητα του δικτύου, να εξαλειφθούν οι παράλληλες μεταδόσεις – άρα και οι παρεμβολές, καθώς και να ικανοποιηθούν βέλτιστα οι ανάγκες των εκάστοτε χρηστών. Τέτοιου είδους πρωτόκολλα αποτρέπουν τον συνεχή ανταγωνισμό, άρα και τις συχνές συγκρούσεις, ενώ τον περιορίζουν μόνο στα διαστήματα ανάθεσης χρονοθυρίδων. Παράλληλα, συμβάλλουν στην αποφυγή προβλημάτων τα οποία ενδέχεται να προκληθούν, είτε λόγω ελλιπούς γνώσης της κατάστασης του εκάστοτε καναλιού, είτε λόγω της ύπαρξης Κρυφών Τερματικών, δεδομένου ότι οι μηχανισμοί ανάθεσης φέρουν καλύτερη και καθολικότερη γνώση αναφορικά με τις συγκεκριμένες παραμέτρους.

Συνδυασμός Άξόνων

Οι άξονες αυτοί μπορούν να συνδυαστούν ανά δύο δηλαδή, έλεγχος στον άξονα συχνότητα-ισχύς, έλεγχος στον άξονα συχνότητα-χρόνος και έλεγχος στον άξονα ισχύς-χρόνος.

Οι μηχανισμοί ελέγχου στον άξονα συχνότητα-ισχύς προϋποθέτουν πριν την ανάθεση καναλιών στους κόμβους-χρήστες, η ισχύς εκπομπής του κάθε κόμβου-χρήστη να μειωθεί στο ελάχιστο αποδεκτό σημείο.

Αντίθετα οι μηχανισμοί ελέγχου στο επίπεδο συχνότητα-χρόνος προϋποθέτουν ότι τα κανάλια δεν θα έχουν μια στατική ανάθεση (που θα προέκυπτε μέσω ενός αλγορίθμου από τη θεωρία γράφων) αλλά θα αλλάζουν χρονικά έτσι ώστε σε περιπτώσεις που γειτονικοί κόμβοι έχουν το ίδιο κανάλι, να μην το χρησιμοποιούν την ίδια χρονική στιγμή.

Τέλος οι μηχανισμοί ελέγχου στο επίπεδο ισχύος-χρόνου, επιτρέπουν γειτονικοί κόμβοι να χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι αλλά να χρονοπρογραμματίζουν της μεταδόσεις τους για αποφυγή παρεμβολών.

1.2.4 Προγράμματα βασισμένα στην ιδέα του Cognitive Radio

Αν και οι γνωστικές επικοινωνίες είναι μια τεχνολογία η οποία πρωτοεμφανίστηκε το Μάιο του 2000 στη διδακτορική του διατριβή του J.Mitola στο Royal Institute of Technology της Σουηδίας [5], υπάρχουν προγράμματα τα οποία είναι βασισμένα στις αρχές της. Ένα τέτοιο πρόγραμμα είναι το Next Generation (xG), πρόγραμμα της DARPA[6], του οργανισμού προηγμένων ερευνητικών έργων του Υπουργείου Άμυνας των ΗΠΑ. Το xG γνωστό και ως Dynamic Spectrum Access Networks (DSANs) παρέχει ευρυζωνικές υπηρεσίες σε κινητούς χρήστες μέσω ετερογενών αρχιτεκτονικών δικτύου αλλά με τεχνικές DSA. Τα κύρια χαρακτηριστικά του Cognitive Radio που υιοθετούνται από το xG είναι:

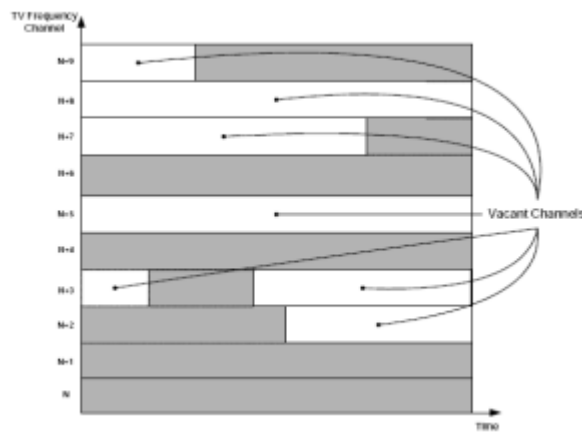
- Ανίχνευση φάσματος: Ανίχνευση φασματικών οπών και διαμοιρασμός του φασματικού πόρου έτσι ώστε να εξαλείφονται οι παρεμβολές σε γειτονικούς χρήστες
- Διαχείριση φάσματος: Ανάθεση του καταλληλότερου φασματικού τμήματος ανάλογα με την υπηρεσία και χαρακτηριστικά που αυτή διαθέτει
- Κινητικότητα φάσματος: Μεταπήδηση σε άλλη φασματική περιοχή (σε περίπτωση δευτερεύοντα χρήστη) όταν το xG αντιληφθεί την ύπαρξη κυρίαρχου χρήστη στη περιοχή αυτή.
- Διάθεση φάσματος: Διάθεση του φάσματος με τρόπο δίκαιο απέναντι στους συνυπάρχοντες xG χρήστες.

Άλλο πρόγραμμα που βασίζεται στη δυναμική διάθεση φάσματος (Dynamic Spectrum Access, DSA) είναι το ευρωπαϊκό πρόγραμμα DRiVE (Dynamic Radio for IP Services in Vehicular Environments). Ο στόχος του προγράμματος αυτού είναι η δημιουργία ενός πλαισίου μέσα στο οποίο θα μπορούν να συνυπάρξουν διάφορες ασύρματες υπηρεσίες όπως GSM, GPRS, UMTS, DAB και DVB-T με κοινό φάσμα λειτουργίας και με χρήση πρωτοκόλλου IP. Στο πρόγραμμα αυτό συμμετέχουν εταιρίες τηλεπικοινωνιών, κινητής τηλεφωνίας, πάροχοι πολυμεσικών υπηρεσιών, αυτοκινητοβιομηχανίες κλπ. από όλη την Ευρώπη.

Το πρόγραμμα CORVUS (Cognitive Radio approach for Usage of Virtual Unlicensed Spectrum) [14] βασίζεται στην ανίχνευση φασματικών οπών στις αδειοδοτημένες φασματικές ζώνες. Στο πρόγραμμα αυτό υπάρχει ο δικαιούχοι-κυρίαρχοι χρήστες και σύνολα από ομάδες χρηστών που αποτελούν τους δευτερεύοντες χρήστες (Secondary User Groups, SUGs). Κάθε μέλος του SUG εκτελεί ανίχνευση φάσματος και τη φασματική ζώνη που ανιχνεύει ως ανενεργή την χωρίζει σε κανάλια. Ο συντονισμός των SUGs γίνεται μέσω του UCC (Universal Control Channel) και των GCCs(Group Control Channels). Το UCC είναι μοναδικό και σε αυτό είναι συνδεδεμένοι όλοι οι δευτερεύοντες χρήστες (Secondary Users, SUs). Ο ρόλος του UCC είναι η ανακοίνωση των υπαρχόντων SUGs και μέσω αυτού γίνεται η ενημέρωση και άφιξη των νέων SUs. Το GCC είναι μοναδικό σε κάθε ομάδα είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία των SUs που ανήκουν στην ίδια ομάδα.

Επίσης η δημιουργία του προτύπου IEEE 802.22 είναι άλλο ένα παράδειγμα βασισμένο στην ιδέα του cognitive radio [7][8]. Το πρότυπο IEEE 802.22 δημιουργήθηκε με σκοπό τη δημιουργία μηχανισμών για ανίχνευση και χρήση των φασματικών οπών, από ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless Regional Area Network, WRAN) στη μπάντα της τηλεόρασης όπως φαίνεται στην εικόνα 6. Τα IEEE 802.22 WRANs είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν χωρίς να προκαλούν παρεμβολές στους παρόχους αναλογικής ή ψηφιακής τηλεόρασης.

Το IEEE 802.22 δίκτυα λειτουργούν με τοπολογία point to multipoint ζεύξεις όπου ο σταθμός βάσης (Base Station, BS) εκπέμπει και ελέγχει τα τερματικά (Customer Services-Equipment, CPE) τα οποία είναι προσκολλημένα σε αυτόν. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των BSs είναι η δυνατότητα πραγματοποίησης κατανεμημένης ανίχνευσης φάσματος. Πιο συγκεκριμένα, τα CPEs που έχουν τη δυνατότητα ανίχνευσης φάσματος, στέλνουν αναφορές στο σταθμό βάσης τους, σχετικά με το τι ανίχνευσαν (πχ εκπομπή τηλεοπτικού παρόχου στη συγκεκριμένη συχνότητα, δημιουργία παρεμβολών). Ο σταθμός βάσης στη συνέχεια, συλλέγοντας όλες τις αναφορές από τα CPEs τις αξιολογεί και αποφασίζει το αν θα πρέπει να αλλάξει κανάλι εκπομπής ή όχι. Η διαδικασία ανίχνευσης έχει δύο μορφές: την in-band και την out-of-band. Στην in-band, η διαδικασία ανίχνευσης πραγματοποιείται μόνο επί του χρησιμοποιούμενου καναλιού μεταξύ σταθμού βάσης και CPE. Αντίθετα στην out-of-band, επί όλων των υπολοίπων διαθέσιμων καναλιών. Παράλληλα, κάθε τέτοια μορφή ανίχνευσης φέρει δυο παραλλαγές, την Fast και Fine. Σύμφωνα με την πρώτη, η διαδικασία θα πρέπει να ολοκληρώνεται σε ταχύτητα κάτω από 1ms ανά κανάλι, ενώ σκοπός της είναι ο εντοπισμός σηματοδίων τα οποία μπορούν να υποδείξουν την ανάγκη πραγματοποίησης ενός αριθμού περαιτέρω ενεργειών από τον σταθμό βάσης. Αντίθετα, η δεύτερη διαδικασία θα πρέπει να ολοκληρώνεται σε ταχύτητα πάνω από 25ms ανά κανάλι, ενώ τα αποτελέσματά της συνδυάζονται στενά με αυτά της προηγούμενης.



Εικόνα 6

Κεφάλαιο 2^ο : Γενικά περί δημοπρασιών

2.1 Ορισμός και βασικά μεγέθη

Με τον όρο δημοπρασία εννοούμε την πώληση ενός αντικειμένου (κινητού, ακίνητου), η τιμή του οποίου καλείται να πληρώσει ο αγοραστής, καθορίζεται από την προσφορά τιμής για αγορά (bidding). Οι δημοπρασίες επίσης αποτελούν ένα μέσο πώλησης των φυσικών πόρων, όπως για παράδειγμα, η πώληση των δικαιωμάτων άντλησης πετρελαίου σε μια συγκεκριμένη εταιρία, ή πώληση της γεωστατικής θέσης ενός δορυφόρου.

Η μελέτη των δημοπρασιών γίνεται μέσω της θεωρίας δημοπρασιών, που αποτελεί κλάδο της μικροοικονομίας. Παρακάτω παρουσιάζονται οι βασικοί ορισμοί της θεωρίας δημοπρασιών.

Συνάρτηση ωφέλειας-Καθαρό όφελος

Η συνάρτηση ωφέλειας $u(x)$, καθορίζει την ωφέλεια που έχει το αντικείμενο x (που δημοπρατείται), για τον πλειοδότη. Καθορίζει λοιπόν το πόσο αξιολογεί ο πλειοδότης το αντικείμενο δημοπρασίας και πόσο είναι διατεθειμένος να προσφέρει για να το αποκτήσει.

Ο πλειοδότης όμως πέρα από την ωφέλεια, πρέπει να συνυπολογίσει το ποσό που πρέπει να καταβάλει για την απόκτηση του αντικειμένου. Αν το κόστος αυτό ονομαστεί $c(x)$, τότε ορίζεται η διαφορά ωφέλειας και κόστους και ονομάζεται καθαρή ωφέλεια (net benefit), $NB = u(x) - c(x)$. Προφανώς για τον πλειοδότη πρέπει $NB \geq 0$, έτσι ώστε να είναι ωφέλιμη η απόκτηση του αντικειμένου. Στη γενική περίπτωση το $c(x)$ εξαρτάται από δύο παράγοντες:

- Το μηχανισμό δημοπρασίας
- Από τις προσφορές των πλειοδοτών b_i

Με βάση τα παραπάνω προκύπτει $NB = u(x) - c(b_1, b_2, \dots, b_n)$.

Κατά τη διαδικασία της δημοπρασίας ο πλειοδότης καταθέτει τη προσφορά του $b(x)$ στο πωλητή με σκοπό την απόκτηση του αγαθού x . Πρέπει να τονισθεί η διαφορά της ωφέλειας από την προσφορά. Η ωφέλεια του κάθε πλειοδότη είναι μοναδική γι' αυτόν και προκύπτει από την αξιολόγηση του αντικειμένου που θέλει να αποκτήσει ενώ η προσφορά είναι το ποσό που προσφέρει για να το αποκτήσει και μπορεί να εξαρτηθεί από το είδος και την πορεία της δημοπρασίας. Προφανώς, η ωφέλεια είναι μεγαλύτερη ή ίση με την προσφορά και ποτέ μικρότερη από αυτήν. Αν η προσφορά γίνει ίση με το κόστος c που καταβάλει ο πλειοδότης για την απόκτηση του αντικειμένου και η ωφέλεια είναι ίση με την προσφορά b , δηλαδή προσφέρει την εκτίμησή του, τότε το καθαρό όφελος του πλειοδότη NB γίνεται μηδέν. Από την πλευρά του πωλητή, η περίπτωση αυτή είναι η καλύτερη δυνατή καθώς με αυτήν μεγιστοποιεί τα έσοδά του.

2.1.1 Ευαισθησία πλειοδότη στην απώλεια του αντικειμένου

Με τον παραπάνω όρο εκφράζεται το πόσο πολύ κάθε πλειοδότης είναι αδιάφορος στον κίνδυνο απώλειας του δημοπρατούμενου αντικειμένου. Ο πλειοδότης ο οποίος είναι αδιάφορος απέναντι σε αυτό το ενδεχόμενο και απλώς προσπαθεί να μεγιστοποιήσει τα κέρδη του συμμετέχοντας στη δημοπρασία ονομάζεται αδιάφορος στον κίνδυνο (risk neutral). Αντίθετα, ο πλειοδότης εκείνος ο οποίος προκειμένου να μειώσει την πιθανότητα απώλειας του αντικειμένου ακολουθεί μια στρατηγική η οποία συνειδητά μειώνει τα αναμενόμενα κέρδη του ονομάζεται ευαίσθητος στον κίνδυνο (risk averse). Σε ορισμένες περιπτώσεις ευαίσθητου στο κίνδυνο πλειοδότη, το καθαρό όφελος του φθάνει στο μηδέν. Αυτό βέβαια είναι θετικό από την πλευρά του πωλητή διότι έτσι μεγιστοποιεί τα έσοδά του.

2.2 Βασικά Είδη Δημοπρασίας

Στη θεωρία δημοπρασιών, για τον πλειστηριασμό και πώληση αντικειμένων υπάρχουν τα παρακάτω είδη δημοπρασίας:

- **Ανοιχτές ανοδικές δημοπρασίες (Open Ascending-bid auctions) ή αγγλικές**
Η τιμή ανεβαίνει συνεχώς και οι πλειοδότες πρέπει να αποσυρθούν από τη δημοπρασία όταν η τιμή φτάσει ένα όριο πέρα από το οποίο δεν θέλουν να καταβάλλουν προσφορά. Ο τελευταίος που μένει στην δημοπρασία κερδίζει. Μοναδικά αντικείμενα ή έργα τέχνης δημοπρατούνται σε τέτοιες δημοπρασίες.
- **Ανοιχτές καθοδικές δημοπρασίες (Open Descending-bid auctions) ή ολλανδικές**
Η τιμή πέφτει συνεχώς. Ο πρώτος που θα δηλώσει ότι θέλει το αντικείμενο, κερδίζει και πρέπει να πληρώσει την τιμή που αναγράφεται εκείνη την στιγμή.
- **Κλειστές δημοπρασίες πρώτης τιμής (First-price sealed-bid auctions)**
Οι συμμετέχοντες καταθέτουν ταυτόχρονα κλειστές προτάσεις για το ποσό που διατίθενται να πληρώσουν για το αγαθό. Νικητής είναι αυτός που καταθέτει την υψηλότερη προσφορά και πληρώνει την προσφορά που έκανε.
- **Κλειστές δημοπρασίες δεύτερης τιμής (Second-price sealed-bid auctions)**
Οι συμμετέχοντες καταθέτουν ταυτόχρονα κλειστές προτάσεις για το ποσό που διατίθενται να πληρώσουν για το αγαθό. Νικητής είναι αυτός που καταθέτει την υψηλότερη προσφορά αλλά πληρώνει ένα ποσό ίσο με την δεύτερη υψηλότερη προσφορά που έγινε. Επίσης ονομάζονται και δημοπρασίες Vickrey.

- **Ολικής πληρωμής (all-pay auctions) και κ-τιμής δημοπρασίες**
Στις δημοπρασίες ολικής πληρωμής οι συμμετέχοντες πληρώνουν τις προσφορές τους ανεξάρτητα αν κερδίσουν το αγαθό που δημοπρατείται ή όχι. Αυτός με την μεγαλύτερη προσφορά κερδίζει το αντικείμενο. Στις κ-τιμής δημοπρασίες ο νικητής πληρώνει την κ μεγαλύτερη τιμή και αποκτά το αντικείμενο.

Συνδυασμός των παραπάνω δημοπρασιών, δημιουργεί πιο πολύπλοκα σχήματα δημοπρασιών για πώληση πολλαπλών αντικειμένων. Για παράδειγμα, οι συμμετέχοντες με τις δύο υψηλότερες προσφορές αποκτούν τα αντικείμενα που δημοπρατούνται, πληρώνοντας την τρίτη μεγαλύτερη προσφορά. Ο λόγος δημιουργίας πιο πολύπλοκων σχημάτων δημοπρασίας είναι διότι αυτά είναι λιγότερο επιρρεπή σε φαινόμενα συμπαιγνίας.

2.2.1 Ανοιχτές ανοδικές δημοπρασίες

Πρόκειται για ένα από τους πιο δημοφιλείς τύπους δημοπρασίας. Τίθεται ένα κατώτατο όριο τιμής που αν δεν προσφερθεί από τους πλειοδότες, τότε το αντικείμενο αποσύρεται. Οι πλειοδότες προσφέρουν ποσά (με αυξανόμενη τιμή) και αυτός που θα προσφέρει το μεγαλύτερο θα αποκτήσει το αντικείμενο πληρώνοντας το ποσό προσφοράς. Ο τύπος αυτός δημοπρασίας είναι αρκετά προσοδοφόρος για το πωλητή καθώς ο ανταγωνισμός είναι έντονος, αλλά η παρόρμηση άπειρων παιχτών μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλα ποσά. Αν στον τελευταίο, η καθαρή ωφέλεια είναι αρνητική, τότε αυτό σημαίνει ότι ο πλειοδότης υπερτίμησε την αξία του αντικείμενου πληρώνοντας περισσότερο από αυτήν (winner's curse). Ένα άλλο πρόβλημα που μπορεί να υπάρξει είναι οι πλειοδότες να προσφέρουν λίγο μεγαλύτερα ποσά (μικρή αύξηση) ο ένας από τον άλλον οδηγώντας έτσι στη μείωση των εσόδων του πωλητή. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος συνήθως οι προσφορές μπορούν να αυξηθούν κατά ακέραια πολλαπλάσια ενός αριθμού που καθορίζονται από τον πωλητή. Αυτός ο τύπος δημοπρασίας αποκαλύπτει πάρα πολλή πληροφορία για το πόσο εκτιμούν οι παίκτες το αντικείμενο το οποίο δημοπρατείται. Επιπλέον αποδίδει καλά έσοδα στον πωλητή γιατί ο ανταγωνισμός είναι ιδιαίτερα έντονος. Η παρουσία μάλιστα άπειρων και ενθουσιωδών χρηστών, οι οποίοι εύκολα παρασύρονται από τον διεξάγοντα τη δημοπρασία έχει ως αποτέλεσμα ακόμα μεγαλύτερα έσοδα για τον πωλητή.

2.2.2 Ανοιχτές καθοδικές δημοπρασίες

Η δημοπρασία ξεκινά με την ανακοίνωση της τιμής έναρξης από τον πωλητή. Στη συνέχεια η τιμή πέφτει με σταθερό κυρίως ρυθμό μέχρι την τιμή που ο πρώτος ενδιαφερόμενος πλειοδότης θα εκδηλώσει ενδιαφέρον για την απόκτηση του αντικειμένου. Η δημοπρασία ολοκληρώνεται, και το αντικείμενο παραχωρείται στο νικητή πλειοδότη με αντίτιμο το ποσό στο οποίο σταμάτησε η δημοπρασία.

Η τιμή αγοράς δεν αφήνεται να πέσει υπερβολικά λόγω του φόβου ότι κάποιος άλλος πλειοδότης θα αποκτήσει πρώτος το αγαθό προλαβαίνοντας τον ενδιαφερόμενο. Έτσι τα έσοδα του πωλητή είναι αρκετά μεγάλα και στη γενικότερη περίπτωση μεγαλύτερα από αυτά των ανοιχτών ανοδικών δημοπρασιών.

2.2.3 Κλειστές δημοπρασίες πρώτης τιμής

Σύμφωνα με αυτόν τον τύπο δημοπρασίας κάθε πλειοδότης i , κάνει μια προσφορά $b_i \in [0, \infty)$, την οποία τη τοποθετεί σε ένα σφραγισμένο φάκελο. Αφού συλλεχθούν όλοι οι φάκελοι, ο υπεύθυνος της δημοπρασίας (auctioneer), ανοίγει τους φακέλους και αποκαλύπτει τις προσφορές του κάθε πλειοδότη. Νικητής ανακηρύσσεται ο πλειοδότης με την μεγαλύτερη προσφορά, ο οποίος κερδίζει και το προϊόν που δημοπρατείται, πληρώνοντας το αντίστοιχο ποσό b_i . Στην περίπτωση που υπάρχουν r συμμετέχοντες με το υψηλότερο b_i , τότε νικητής ανακηρύσσεται τυχαία ένας από τους r με πιθανότητα νίκης $1/r$.

Επίσης ορίζεται για κάθε συμμετέχοντα i το u_i , που είναι η εκτίμηση που κάνει ο κάθε i για την αξία του προϊόντος. Συνεπώς ορίζουμε το διάνυσμα εκτίμησης $v = (v_1, v_2, \dots, v_n)$ όπου n είναι το πλήθος των συμμετεχόντων στη δημοπρασία, και το διάνυσμα προσφορών $b = (b_1, b_2, \dots, b_n)$.

Με βάση τα παραπάνω ορίζεται η συνάρτηση καθαρής ωφέλειας ως:

$$NB_i(b_1, b_2, \dots, b_n) = \begin{cases} 0, & b_i < m \\ \frac{1}{r}(v_i - b_i), & i \in r \end{cases} \quad \text{όπου } m = \max\{b_1, b_2, \dots, b_n\}$$

Σύμφωνα με την παραπάνω συνάρτηση αν ο πλειοδότης i είναι ο μοναδικός νικητής, τότε το όφελος είναι η διαφορά της προσφοράς του από την εκτίμηση. Αν όμως η προσφορά του είναι μικρότερη από το μέγιστο των προσφορών τότε το όφελος είναι μηδενικό.

Στη κλειστή δημοπρασία πρώτης τιμής για κάθε συμμετέχοντα i ισχύει ότι:

$$b_i \leq v_i$$

Επίσης αν $v_1 > v_2$ ο πλειοδότης 1, κερδίζει προσφέροντας ποσό b_1 τέτοιο ώστε:

$$v_2 < b_1 < v_1$$

Απόδειξη: Υποθέτουμε χωρίς βλάβη της γενικότητας ότι $v_1 \geq v_2 \geq \dots \geq v_n$. Αν $b_i > v_i$ και ο πλειοδότης i νικήσει τότε $NB_i = \frac{1}{r}(v_i - b_i) < 0$. Αν ο πλειοδότης δεν νικήσει τότε $u_i = 0$. Το όφελός του επομένως κυμαίνεται μεταξύ ενός αρνητικού αριθμού a και του 0. Αλλά ο πλειοδότης επιδιώκει να έχει θετικό καθαρό όφελος ή τουλάχιστον 0. Οπότε πρέπει $b_i \leq v_i$. Με βάση τα παραπάνω $b_1 \leq v_1$ και $b_2 \leq v_2$. Οπότε για να κερδίσει ο πλειοδότης 1 πρέπει $v_2 < b_1 < v_1$. Για να έχει ο πλειοδότης 1 όσο το δυνατόν μεγαλύτερο όφελος πρέπει η προσφορά του να είναι κοντά στην εκτίμηση του 2^{ου} συμμετέχοντα. Αυτός είναι και ο λόγος που δεν ισχύουν οι ισότητες στην παραπάνω σχέση.

Αν ο πλειοδότης i , που είναι ένας από αυτούς που έχει την μεγαλύτερη εκτίμηση, έχει προσφορά $b_i < v_i = v_1$, τότε θα χάσει από το συμμετέχοντα j που θα έχει προσφορά $b_j < b_i < v_i = v_1$. Οπότε ο i πρέπει να προσφέρει την εκτίμησή του για να κερδίσει.

2.2.4 Κλειστές δημοπρασίες δεύτερης τιμής

Σύμφωνα με αυτόν τον τύπο δημοπρασίας κάθε πλειοδότης i , κάνει μια προσφορά $b_i \in [0, \infty)$, την οποία την τοποθετεί σε ένα σφραγισμένο φάκελο. Αφού συλλεχθούν όλοι οι φάκελοι, ο υπεύθυνος της δημοπρασίας (auctioneer), ανοίγει τους φακέλους και αποκαλύπτει τις προσφορές του κάθε συμμετέχοντα. Νικητής ανακηρύσσεται ο πλειοδότης με την μεγαλύτερη προσφορά, ο οποίος κερδίζει και το προϊόν που δημοπρατείται, πληρώνοντας τώρα την δεύτερη μεγαλύτερη προσφορά. Ορίζουμε το διάνυσμα εκτίμησης $v = (v_1, v_2, \dots, v_n)$ όπου n είναι το πλήθος των συμμετεχόντων στη δημοπρασία, και το διάνυσμα προσφορών $b = (b_1, b_2, \dots, b_n)$. Ορίζεται επίσης το $m = \max\{b_j : j \neq i\}$. Στην περίπτωση που υπάρχουν r συμμετέχοντες με το υψηλότερο b_i , τότε νικητής ανακηρύσσεται τυχαία ένας από τους r με πιθανότητα νίκης $1/r$.

Με βάση τα παραπάνω ορίζεται η συνάρτηση καθαρής ωφέλεια ως:

$$NB_i(b_1, b_2, \dots, b_n) = \begin{cases} 0 & b_i < m \\ \frac{1}{r}(v_i - m) & b_i = m \\ v_i - m & b_i > m \end{cases}$$

Στη κλειστή δημοπρασία δεύτερης τιμής για κάθε συμμετέχοντα i ισχύει ότι:

$$b_i \leq v_i$$

Επίσης αν $v_1 > v_2$ ο πλειοδότης 1, κερδίζει προσφέροντας ποσό b_1 τέτοιο ώστε:

$$v_2 < b_1 < v_1$$

Αν υπάρχουν περισσότεροι του ενός συμμετέχοντες και όλοι έχουν την ίδια εκτίμηση, τότε ο κάθε πλειοδότης πρέπει να προσφέρει την εκτίμηση του.

Απόδειξη: Υποθέτουμε χωρίς βλάβη της γενικότητας ότι $v_1 \geq v_2 \geq \dots \geq v_n$, και έστω όλοι οι συμμετέχοντες έχουν ίδια εκτίμηση. Θεωρούμε ότι $v_1 > b_1$ και $v_1 = v_2 = b_2 = v_3 = b_3 = \dots = v_n = b_n$. Άρα $b_1 < b_2 = b_3 = \dots = b_n$. Οπότε ο πλειοδότης 1 αποκλείεται και έχει όφελος 0. Παρατηρούμε όμως βάσει της συνάρτησης καθαρού οφέλους ότι αν προσφέρει την εκτίμηση του, τότε πάλι έχει όφελος 0 (διότι $m = v_1$). Στην περίπτωση αυτή όμως έχει πιθανότητα $1/r$ να νικήσει στη δημοπρασία. Άρα για να νικήσει πρέπει να προσφέρει ποσό ίσο με την εκτίμηση του.

Αν και ο τρόπος πληρωμής του ποσού προσφοράς από τον νικητή δεν είναι ο κλασικός, αυτό ακριβώς το γεγονός δίνει σε αυτές τις δημοπρασίες την ιδιαιτερότητα να ωθούν τους πλειοδότες να προσφέρουν το ποσό εκτίμησης τους, όπως αποδείχθηκε παραπάνω, αφού ξέρουν ότι αν νικήσουν δεν πρόκειται πληρώσουν το ποσό που προσέφεραν. Ο φόβος δηλαδή της υπερβολικής χρέωσης για το αντικείμενο παύει να απασχολεί τους παίκτες. Έτσι προάγεται ο ανταγωνισμός μεταξύ των πλειοδοτών. Επίσης η τιμή με την οποία χρεώνεται ο νικητής εξαρτάται από τις προσφορές των ανταγωνιστών και καθόλου από την ατομική προσφορά του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην μειώνονται επιτηδευμένα οι προσφορές και να βελτιστοποιείται η κοινωνική ευημερία (δηλαδή η όσο το δυνατόν πιο αποδοτική και «δίκαιη» διάθεση των αντικειμένων).

2.2.5 Θεώρημα ισοδυναμίας εσόδων

Το θεώρημα αυτό ισχύει για ανεξάρτητες δημοπρασίες στις οποίες πωλείται ένα αντικείμενο το οποίο πλειοδοτείται από παίκτες αδιάφορους στον κίνδυνο. Το θεώρημα αυτό λέει ότι τα έσοδα του πωλητή για από τη δημοπρασία ενός αντικειμένου, θα είναι ίσα αν το αντικείμενο αυτό δημοπρατηθεί με οποιοδήποτε από τους παραπάνω τέσσερις βασικούς μηχανισμούς δημοπρασίας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αν οι ίδιοι πλειοδότες με τις ίδιες αξιολογήσεις για το αντικείμενο συμμετείχαν στις παραπάνω τέσσερις βασικές δημοπρασίες τότε ο νικητής θα ήταν ο ίδιος πλειοδότης και στις τέσσερις, ο οποίος θα αποκομίζει το ίδιο κέρδος. Συνεπώς τα έσοδα του πωλητή θα είναι τα ίδια.

2.3 Δημοπρασία Πολλαπλών Αντικειμένων

Στις δημοπρασίες πολλαπλών αντικειμένων, πολλαπλά αντικείμενα διατίθενται προς δημοπρασία, ίδιου ή διαφορετικού είδους οπότε έχουμε ομογενή ή ετερογενή δημοπρασία. Οι δημοπρασίες πολλαπλών αντικειμένων στηρίζονται κυρίως στη Vickrey δημοπρασία και αποτελούν γενικεύσεις της. Για παράδειγμα, σε δημοπρασία τέτοιου είδους ο σχεδιασμός μπορεί να είναι τέτοιος ώστε οι τρεις πλειοδότες με την μεγαλύτερη προσφορά να αποκτήσουν τα προς δημοπρασία αντικείμενα και να πληρώσουν την τέταρτη μεγαλύτερη προσφορά. Ένα πλεονέκτημα αυτού του τύπου δημοπρασίας, σε αντίθεση με τη δημοπρασία πρώτης τιμής, είναι ότι και οι τρεις νικητές πληρώνουν τελικά το ίδιο ποσό κάνοντας το τελικό αποτέλεσμα πιο δίκαιο. Παραλλαγή της δημοπρασίας αυτής είναι η δημοπρασία Yankee στην οποία οι νικητές πλειοδότες δεν καταβάλλουν την κ μεγαλύτερη προσφορά, αλλά το ποσό της προσφοράς που έχουν καταθέσει [18].

Επίσης στις δημοπρασίες πολλαπλών αντικειμένων δίνεται η δυνατότητα για προσφορά περισσοτέρων του ενός αντικειμένων από τον ίδιο συμμετέχοντα αλλά και προσφορά για συνδυασμό δύο ή περισσοτέρων αντικειμένων. Για παράδειγμα, η αξία ενός αντικειμένου A και ενός αντικειμένου B να είναι μεγαλύτερη αν αυτά ανήκουν σε ένα συμμετέχοντα από το αν ανήκαν σε δύο. Τα αντικείμενα αυτά είναι δηλαδή συμπληρωματικά. Αυτό αποτελεί και ένα λόγο που στις δημοπρασίες τέτοιων αντικειμένων οι προσφορές, καθώς η διαδικασία της δημοπρασίας προχωρά, γίνονται μεγαλύτερες για την απόκτηση των αντικειμένων καθώς οι πλειοδότες στη δημοπρασία έχουν ήδη αγοράσει το αντικείμενο A, το οποίο όμως είναι συμπληρωματικό του B που δημοπρατείται.

Μια δημοπρασία πολλαπλών αντικειμένων μπορεί να είναι διαδοχική ή ταυτόχρονη. Στη διαδοχική δημοπρασία πολλαπλών αντικειμένων, δημοπρατούνται ομοειδή αντικείμενα και για κάθε ένα πραγματοποιείται μια δημοπρασία πρώτης, δεύτερης, κ-τιμής, κλειστή ή ανοιχτή. Ο νικητής της κάθε δημοπρασίας, αποκτά το αντικείμενο και ανάλογα με το είδος της δημοπρασίας και το στόχο της, έχει ή δεν έχει δικαίωμα να καταθέσει ξανά προσφορά.

Επίσης, όταν όλοι οι νικητές πληρώνουν την ίδια ενιαία τιμή αγοράς η οποία προκύπτει στο τέλος της δημοπρασίας, η δημοπρασία ονομάζεται ομοιόμορφης τιμής (*uniform-price* ή *competitive*). Εάν το καταβαλλόμενο αντίτιμο ορίζεται να είναι γενικά διαφορετικό για κάθε νικητή τότε η δημοπρασία ονομάζεται δημοπρασία διαφοροποιημένης ή διακριτής τιμής (*discriminatory*).

Αντίθετα στην ταυτόχρονη δημοπρασία πολλαπλών αντικειμένων, κάθε πλειοδότης καταθέτει τη προσφορά του στον πωλητή σε κλειστό φάκελο (κλειστή δημοπρασία) η οποία περιλαμβάνει την προσφορά του για κάθε αντικείμενο αλλά και το πλήθος των αντικειμένων

που επιθυμεί να αποκτήσει. Στη συνέχεια ο πωλητής ανάλογα με το είδος και το μηχανισμό της δημοπρασίας αποφασίζει ποιοι πλειοδότες είναι οι νικητές και το πλήθος των αντικειμένων που θα αποκτήσει ο καθένας.

Ένας μηχανισμός που χρησιμοποιείται σε ταυτόχρονες δημοπρασίες πολλαπλών αντικειμένων είναι ο μηχανισμός: **Vickrey-Clarke-Groves (VCG)**. Κάθε πλειοδότης καταθέτει το συνδυασμό των προσφορών που θέλει. Ο πωλητής επιλέγει τις προσφορές εκείνες που συνολικά μεγιστοποιούν την αξία των προσφορών του. Κάθε πλειοδότης που κερδίζει πρέπει να πληρώσει ένα ποσό ίσο με την απώλεια εσόδων που θα είχε η διαδικασία της δημοπρασίας, αν αυτός δεν συμμετείχε (opportunity cost). Για παράδειγμα, τίθενται σε δημοπρασία τρεις φασματικές ζώνες, η Α, η Β και η Γ. Υπάρχουν 4 υποψήφιοι αγοραστές, η εταιρία 1, εταιρία 2, εταιρία 3 και η εταιρία 4. Η εταιρία 1 προσφέρει 4.000.000€ για ένα τμήμα του φάσματος (Α ή Β ή Γ), οι εταιρίες 2 και 3 προσφέρουν 5.000.000€ για ένα τμήμα του φάσματος (Α ή Β ή Γ) και η εταιρία 4 προσφέρει 13.000.000€ για αγορά και των τριών τμημάτων του φάσματος. Χρησιμοποιώντας το VCG μηχανισμό ο πωλητής θα επιλέξει τις εταιρίες 1,2,3 και όχι την προσφορά της 4^{ης} αφού $4.000.000 + 2 * 5.000.000 > 13.000.000$ €. Συνεπώς ένα τμήμα του φάσματος δίνεται σε μία εταιρία (εκτός της 4 που απορρίφτηκε). Το ποσό που θα πληρώσει η κάθε μία από τις τρεις εταιρίες, υπολογίζεται από τις απώλειες των εσόδων της δημοπρασίας αν αυτή η εταιρία δεν συμμετείχε στη δημοπρασία. Αν δεν συμμετείχε η εταιρία 1 τότε η προσφορά της εταιρίας 4 θα ήταν αποδεκτή, άρα $13.000.000 - 10.000.000 = 3.000.000$ € πρέπει να πληρώσει η πρώτη εταιρία. Όμοια η 2^η και η 3^η πρέπει να πληρώσουν $13.000.000 - 9.000.000 = 4.000.000$ €.

Αν η εταιρία 4 αυξήσει την προσφορά της στα 15.000.000€ τότε αυτή θα είναι η νικήτρια της δημοπρασίας αποκτώντας και τα τρία φασματικά τμήματα. Το ποσό πρέπει να πληρώσει είναι $14.000.000 - 0 = 14.000.000$ €.

Η ιδέα αυτή του μηχανισμού μπορεί να γίνει πιο δίκαιη αν κάθε πλειοδότης αποκτήσει μόνο ένα αντικείμενο. Αυτό προϋποθέτει βέβαια ότι ο κάθε πλειοδότης πρέπει να προσφέρει τουλάχιστον για κάθε ένα αντικείμενο ξεχωριστά. Για παράδειγμα, έστω δύο πλειοδότες ο 1^{ος} και ο 2^{ος} καταθέτουν τις προσφορές τους για δύο αντικείμενα Α και Β. Οι προσφορές τους φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

	Αντικείμενο Α	Αντικείμενο Β
1 ^{ος} πλειοδότης	10	5
2 ^{ος} πλειοδότης	5	3

Βάσει του παραπάνω πίνακα, το αντικείμενο Α πηγαίνει στον 1^ο πλειοδότη ενώ το Β στο δεύτερο. Το μέγιστο άθροισμα των προσφορών της δημοπρασίας δεδομένου ότι ο κάθε ένας θα πάρει από ένα αντικείμενο είναι 13 μονάδες (10 του πλειοδότη 1 για το αντικείμενο Α και 3 του πλειοδότη 2 για το αντικείμενο Β). Παρατηρούμε όμως ότι δεν έχουμε βέλτιστη επιλογή, αν πάρουμε ως κριτήριο τη μεγιστοποίηση των προσφορών της δημοπρασίας, καθώς αυτή επιτυγχάνεται αν και τα δύο αντικείμενα αποκτηθούν από τον πλειοδότη 1 (15 μονάδες). Αντίθετα ο μηχανισμός όμως έτσι είναι πιο δίκαιος, καθώς κάθε ένας πλειοδότης αποκτά από ένα αντικείμενο.

Τα ποσά που θα πληρώσουν οι πλειοδότες υπολογίζονται πάλι ως εξής:

- 1) Αν ο πλειοδότης 2 δεν ήταν στη δημοπρασία, το αντικείμενο Α θα πήγαινε πάλι στον 1^ο πλειοδότη, οπότε ο πλειοδότης 2 δεν πληρώνει τίποτα.
- 2) Αν ο πλειοδότης 1 δεν ήταν στη δημοπρασία, το αντικείμενο Α θα πήγαινε στο 2^ο πλειοδότη με προσφορά 5 (ο πλειοδότης 2 θα πάρει μόνο το αντικείμενο Α). Οπότε $5 - (13 - 10) = 5 - 3 = 2$ μονάδες καλείται να πληρώσει ο πλειοδότης 1.

Στο προηγούμενο παράδειγμα γίνεται καλύτερα κατανοητό ότι το ποσό που θα πληρώσει ένας πλειοδότης έχει να κάνει 1) με την παρουσία του στη δημοπρασία και 2) με τα ποσά των προσφορών των άλλων πλειοδοτών και όχι της δικής του προσφοράς.

Μια άλλους είδους δημοπρασία η οποία και χρησιμοποιείται για να πωληθούν πολλές μονάδες ενός ομογενούς αντικειμένου ή πολλά όμοια αντικείμενα, είναι η δημοπρασία αυξανόμενου ρολογιού (Ascending clock). Η ένδειξη του ρολογιού αποτελεί την τρέχουσα τιμή ανά μονάδα και συνεχώς αυξάνεται. Σε κάθε γύρο οι παίκτες δηλώνουν την ποσότητα την οποία επιθυμούν να αγοράσουν στην τρέχουσα τιμή. Η κατάθεση προσφορών συνεχίζεται μέχρι το άθροισμα των ποσοτήτων που είναι διατεθειμένο να αγοράσει το σύνολο των παικτών για κάποια τιμή να γίνει μικρότερο ή ίσο από το δημοπρατούμενο ποσό. Για να τερματιστεί η δημοπρασία πρέπει όλη η ποσότητα των αντικειμένων που δημοπρατούνται να πουληθεί στους πλειοδότες. Επίσης ο κάθε πλειοδότης δεν μπορεί να αλλάξει το πλήθος των αντικειμένων που επιθυμεί να αγοράσει καθώς η τιμή πώλησης προοδευτικά αυξάνεται.

Τέλος οι ταυτόχρονες προοδευτικά αύξουσες δημοπρασίες είναι ένας τύπος δημοπρασιών για την πώληση πολλαπλών αντικειμένων. Οι προσφορές είναι σφραγισμένες και τα αποτελέσματα κάθε γύρου ανακοινώνονται στους παίκτες. Τα αποτελέσματα αυτά δεν είναι τίποτα άλλο παρά η ταυτότητα των νέων προσφορών και παικτών καθώς και η μέχρι στιγμής μεγαλύτερη, επικρατούσα προσφορά για κάθε αντικείμενο. Η ελάχιστη δυνατή αποδεκτή πρόσφορα για τον επόμενο γύρο επίσης ανακοινώνεται, η οποία είναι η μέγιστη τρέχουσα προσφορά αυξημένη κατά ένα ποσό. Η δημοπρασία τερματίζει όταν δεν κατατεθεί καμία νέα προσφορά σε κάποιο γύρο για κανένα αντικείμενο. Η δημοπρασία αυτή δημοπρασίας χρησιμοποιήθηκε από την Ομοσπονδιακή Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών των ΗΠΑ (FCC) για να πωληθούν άδειες εκπομπής στο φάσμα συχνοτήτων 700MHz στις 24 Ιανουαρίου 2008[16]. Το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων που δημοπρατήθηκε ήταν μέρος από την μετάβαση της τηλεόρασης στην ψηφιακή εποχή. Το UHF φασματικό τμήμα από τα 698MHz-798MHz, χωρίστηκε σε 5 τμήματα (A,B,C,D,E) και δημοπρατήθηκε βάσει των ταυτόχρονων αυξανόμενων δημοπρασιών. Η δημοπρασία ολοκληρώθηκε με την αγορά των φασματικών τμημάτων (εκτός του D το οποίου θα δημοπρατηθεί στο μέλλον) και έσοδα 19,562 δις δολάρια [17].

2.4 Κριτήρια Αξιολόγησης Δημοπρασιών

Οι τύποι δημοπρασιών που περιγράφηκαν παραπάνω μπορούν να αξιολογηθούν με βάση το στόχο που έχει ο πωλητής. Μπορεί για παράδειγμα σε μια δημοπρασία πολλαπλών αντικειμένων, για ένα ιδιώτη πωλητή ο στόχος του να είναι η μεγιστοποίηση των εσόδων του, ενώ για ένα κρατικό πωλητή, στόχος του να είναι η δικαιοσύνη και η κοινωνική ευημερία. Στην πρώτη κατηγορία δηλαδή ο πωλητής δεν ενδιαφέρεται για τον τρόπο με τον οποίο θα κατανεμηθούν τα αντικείμενα μεταξύ των πλειοδοτών, επιτρέποντας έτσι σε πλειοδότες με μεγαλύτερες οικονομικές δυνατότητες να είναι άπληστοι (greedy). Οι δημοπρασίες αυτές χρησιμοποιούν μηχανισμούς για μεγιστοποίηση των εσόδων (revenue maximization mechanisms).

Αντίθετα στην δεύτερη, ο πωλητής εγγυάται ότι θα υπάρξει δικαιοσύνη και κοινωνική ευημερία. Τα αντικείμενα είναι επιθυμητό να καταλήγουν στους πλειοδότες εκείνους που τα αξιολογούν περισσότερο. Δίκαιο θεωρείται οι νικητές της δημοπρασίας να χρεώνονται ανάλογα με την αξιολόγηση που έχουν οι ίδιοι ή και οι αντίπαλοί τους για τα

αντικείμενα καθώς και με το ποσό των πόρων τους οποίους αποκτούν. Η μεγιστοποίηση της κοινωνικής ευημερίας ισοδυναμεί με την έννοια της ισότητας κατά Nash, αν η δημοπρασία θεωρηθεί παίγνιο. Δηλαδή κανένα πλειοδότη-παίχτη δεν τον ωφελεί να αλλάξει στρατηγική (δηλαδή να προσφέρει λιγότερα ή περισσότερα) δεδομένων των προσφορών των άλλων παιχτών.

Ο συνδυασμός τόσο της μεγιστοποίησης των εσόδων, όσο και της κοινωνικής ευημερίας αποτελεί το βέλτιστο μηχανισμό δημοπρασίας καθώς ικανοποιεί τόσο το πωλητή όσο και τους πλειοδότες. Αν και ο συνδυασμός αυτός είναι εφικτός σε δημοπρασίες ενός αντικειμένου, σε δημοπρασίες πολλαπλών αντικειμένων κάτι τέτοιο είναι ανέφικτο.

Τέλος δύο τελευταία κριτήρια που αφορούν την πραγματοποίηση της δημοπρασίας είναι η πολυπλοκότητα του υπολογισμού του νικητή ή νικητών και των ποσών που πρέπει αυτοί να καταβάλουν, καθώς και η διάρκεια της δημοπρασίας. Για παράδειγμα ο υπολογισμός της κοινωνικής ευημερίας και των χρεώσεων στο VCG μηχανισμό για μεγάλο αριθμό πλειοδοτών αποτελεί ένα NP-complete πρόβλημα, δηλαδή πρόβλημα που δεν μπορεί να υπολογισθεί σε πολυωνιμικό χρόνο. Υπερβολικά χρονοβόροι μηχανισμοί, μη κλιμακούμενοι για μεγάλο αριθμό πλειοδοτών και δημοπρατούμενων αντικειμένων δεν είναι πρακτικά εφαρμόσιμοι.

Κεφάλαιο 3^ο : Περιγραφή μηχανισμών δημοπρασίας

3.1 Εισαγωγή

Όπως ήδη έχει αναφερθεί η τεχνολογία των γνωστικών δικτύων επικοινωνιών στηρίζεται στην ανάθεση φασματικών τμημάτων σε δευτερεύοντες χρήστες όταν ο αδειοδοτημένος χρήστης της φασματικής αυτής περιοχής δεν την χρησιμοποιεί αποδοτικά. Βάσει των τριών αξόνων λειτουργίας στους οποίους στηρίζονται τα γνωστικά δίκτυα επικοινωνιών, ισχύος, συχνότητας και χρόνου που περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 1.2.3, έχουν προταθεί μηχανισμοί ανάθεσης για κάθε έναν από αυτούς ή και το συνδυασμό τους. Για κάθε μηχανισμό η έννοια του πόρου είναι διαφορετική. Για τους μηχανισμούς ανάθεσης φασματικών τμημάτων, πόρος θεωρείται το φάσμα ενώ για τους μηχανισμούς ανάθεσης τμημάτων ισχύος, η ισχύς και προφανώς για τους μηχανισμούς ανάθεσης τμημάτων χρόνου (χρονοθυρίδων) ο χρόνος.

Το ερώτημα λοιπόν που ανακύπτει είναι με ποιο τρόπο θα γίνεται η ανάθεση των πόρων αυτών. Η ιδέα που υιοθετείται σε όλα τα παρακάτω πρωτόκολλα είναι ότι τα τμήματα του πόρου που είναι εν δυνάμει υποψήφια προς ανάθεση, εισέρχονται σε μια διαδικασία δημοπρασίας. Για κάθε γεωγραφική περιοχή μια τέτοια δημοπρασία μπορεί να πραγματοποιείται περιοδικά οπότε οι υποψήφιοι πάροχοι ασύρματων υπηρεσιών (Wireless Service Providers, WSPs) μπορούν να καταθέτουν τις προσφορές τους στον κάτοχο του πόρου που αποτελεί και το πωλητή της δημοπρασίας. Για την περίπτωση που ο πόρος είναι φασματικά τμήματα, τα τμήματα αυτά θα μπορούν να δεσμεύονται από το νικητή WSP της δημοπρασίας, μετά την ολοκλήρωση της δημοπρασίας για μία **περίοδο μίσθωσης**. Μετά την ολοκλήρωση της περιόδου μίσθωσης οι φασματικές περιοχές αποδεσμεύονται, η δημοπρασία επαναλαμβάνεται έχοντας νέους νικητές WSPs που δεσμεύουν με τη σειρά τους τις φασματικές περιοχές. Η διαδικασία της δημοπρασίας επαναλαμβάνεται δίδοντας σε κάθε δευτερεύοντα χρήστη τη δυνατότητα να συμμετάσχει σε αυτή, να κερδίζει το φασματικό τμήμα, και να καταβάλλοντας το κατάλληλο ποσό πληρωμής να το χρησιμοποιήσει για την περίοδο μίσθωσης. Όπως γίνεται αντιληπτό οι μηχανισμοί αυτοί βασίζονται σε δημοπρασίες πολλαπλών αντικειμένων.

3.2 Μηχανισμοί ανάθεσης πόρων βασισμένων σε δημοπρασίες

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται μηχανισμοί ανάθεσης πόρων βασισμένων σε δημοπρασίες.

3.2.1 Δημοπρασία ανάθεσης ενός φασματικού τμήματος [19]

Κατά τη δημοπρασία αυτή υποθέτουμε ότι τα φασματικά τμήματα έχουν για όλους τους WSPs την ίδια αξία. Δηλαδή δεν υπάρχει προτίμηση απόκτησης συγκεκριμένων φασματικών τμημάτων. Οπότε ο κάθε WSP θα προσφέρει το ίδιο ποσό για όλα τα φασματικά τμήματα. Θεωρούμε το διάνυσμα $S = (s_1, s_2, \dots, s_m)$ που περιλαμβάνει m φασματικά τμήματα, $N = (N_1, N_2, \dots, N_n)$ το διάνυσμα των υποψήφιων WSPs και

$B = (b_1, b_2 \dots b_n)$ το διάνυσμα προσφορών των n WSPs. Θεωρούμε επίσης ότι $n > m$. Με την έναρξη της διαδικασίας πραγματοποιείται η δημοπρασία. Κάθε υποψήφιος WSP στέλνει στον πωλητή (Spectrum Broker, SpB) τη προσφορά του και αυτός στη συνέχεια βάσει των υψηλότερων προσφορών παραχωρεί στους νικητές τα φασματικά τμήματα για την περίοδο μίσθωσης. Κατά τη διάρκεια αυτής οι WSPs προσφέρουν τις υπηρεσίες τους στους τελικούς χρήστες. Οι προσφορές κατατίθενται κλειστές, δηλαδή ο κάθε WSP δεν γνωρίζει την προσφορά των ανταγωνιστών του. Αυτό γίνεται για να αποφευχθεί το ενδεχόμενο συμπαιγνίας. Επίσης υποθέτουμε ότι οι WSPs συμπεριφέρονται ορθολογικά. Αυτό σημαίνει ότι οι χαμένοι πλειοδότες σε κάθε γύρο δημοπρασίας πρέπει να αυξάνουν τις προσφορές τους σε κάθε γύρο αν οι προσφορές είναι μικρότερες από την εκτίμηση της αξίας του φασματικού τμήματος που επιθυμούν. Αντίθετα οι νικητές πλειοδότες πρέπει να μειώνουν τις προσφορές τους από γύρο σε γύρο έτσι ώστε να αυξάνουν την καθαρή ωφέλεια τους καθώς αν θεωρήσουμε ότι $V = (V_1, V_2 \dots V_n)$ είναι το διάνυσμα εκτιμήσεων των WSPs, τότε για το ίδιο WSP, η καθαρή ωφέλεια $NB = V_i - b_i$ αν νικήσει ή $NB = 0$ αν χάσει. Ο πωλητής μετά το τέλος της δημοπρασίας δημοσιοποιεί την χαμηλότερη προσφορά γεγονός που ωθεί τους WSPs με μεγαλύτερη προσφορά, να συμμετάσχουν στον επόμενο γύρο αυξάνοντας τον ανταγωνισμό.

Η δημοπρασία ανάθεσης ενός φασματικού τμήματος μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους.

α) Διαδοχική δημοπρασία για τα φασματικά τμήματα.

β) Ταυτόχρονη ανάθεση όλων των τμημάτων στους WSPs ανάλογα με τις προσφορές τους.

Αρχικά εξετάζουμε την περίπτωση που τα m φασματικά τμήματα δημοπρατούνται διαδοχικά. Οι πλειοδότες καταθέτουν τις προσφορές τους στον πωλητή και υπεύθυνο για την πραγματοποίηση της δημοπρασίας. Ο νικητής του s_1 φασματικού τμήματος δεν συμμετέχει στις επόμενες $m-1$ δημοπρασίες εξασφαλίζοντας έτσι την κοινωνική ευημερία. Κάθε WSP νικητής δηλαδή, έχει τη δυνατότητα να αποκτήσει ένα μόνο φασματικό κομμάτι γεγονός που αποτρέπει τους WSPs να συμπεριφέρονται με άπληστο τρόπο. Οι υπόλοιποι $n-1$ WSPs καταθέτουν τις προσφορές τους για το s_2 φασματικό τμήμα και νικητής ανακηρύσσεται ο πλειοδότης με τη μεγαλύτερη προσφορά πληρώνοντας στο πωλητή το αντίστοιχο ποσό. Η διαδικασία συνεχίζεται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο έως ότου και το m -οστό φασματικό τμήμα δοθεί σε νικητή WSP.

Υπολογισμός πιθανότητας νίκης

Ας υποθέσουμε ότι η παραπάνω διαδικασία έχει προχωρήσει κατά k βήματα, δηλαδή τα πρώτα k φασματικά τμήματα έχουν αποδοθεί στους νικητές τους. Ως αποτέλεσμα υπάρχουν $(n-k)$ WSPs που διεκδικούν $(m-k)$ φασματικά τμήματα. Δεδομένου ότι τα φασματικά τμήματα είναι όλα ισάξια και κανένας WSP δεν έχει προτίμηση σε κανένα από αυτά, μπορούμε να υποθέσουμε ότι οι προσφορές τους ακολουθούν ομοιόμορφη κατανομή. Με βάση αυτό μπορούμε να πούμε ότι η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των προσφορών δίνεται από τον τύπο:

$$f(b) = \frac{1}{V_{\max} - b_{\min}}$$

όπου V_{\max} είναι η μέγιστη εκτίμηση που έχει γίνει στο σύνολο των WSPs και b_{\min} η ελάχιστη προσφορά που έχει κατατεθεί.

Στη συνέχεια το (k+1)-οστό φασματικό τμήμα δημοπρατείται. Οι (n-k) WSPs καταθέτουν τις προσφορές τους. Ο i-οστός WSP θα αποκτήσει το φασματικό τμήμα αν το b_j είναι μικρότερο από b_i δηλ., $b_i > b_j$, ($j \in (n-k-1)$ σύνολο WSPs). Άρα η πιθανότητα ο i-οστός WSP να νικήσει τον j-οστό WSP είναι:

$$P(b_j < b_i | j \in (n-k-1)) = \int_{b_{\min}}^{b_i} f(b)db = \frac{b_i - b_{\min}}{V_{\max} - b_{\min}}$$

Για να νικήσει όμως ο i-οστός WSP πρέπει όλοι οι (n-k-1) WSPs να έχουν προσφορά μικρότερη από b_i και επειδή τα b_i, b_j κλπ είναι ανεξάρτητα προκύπτει ότι η πιθανότητα νίκης του (k+1) φασματικού τμήματος από τον i-οστό WSP είναι:

$$P_{win}(b_i) = \left(\frac{b_i - b_{\min}}{V_{\max} - b_{\min}} \right)^{(n-k-1)}$$

Βέλτιστη προσφορά

Ως βέλτιστη προσφορά εννοούμε το ποσό που καταθέτει ο i-οστός παίχτης, ώστε να κερδίσει και να μεγιστοποιήσει την καθαρή ωφέλειά του. Βάσει της παραπάνω σχέσης η αναμενόμενη καθαρή ωφέλεια είναι:

$$NB_i = (V_i - b_i)P_{win}(b_i) = (V_i - b_i) \left(\frac{b_i - b_{\min}}{V_{\max} - b_{\min}} \right)^{(n-k-1)}$$

Υπολογίζοντας την πρώτη παράγωγο του NB_i ως προς b_i και εξισώνοντας με το 0 έχουμε:

$$\frac{\partial NB_i}{\partial b_i} = \frac{(V_i - b_i)(n-k-1)(b_i - b_{\min})^{(n-k-2)}}{(V_{\max} - b_{\min})^{(n-k)}} - \left(\frac{b_i - b_{\min}}{V_{\max} - b_{\min}} \right)^{(n-k-1)} = 0$$

Λύνοντας ως προς b_i έχουμε ότι $b_i^{opt} = \frac{(n-k-1)V_i + b_{\min}}{n-k}$

Στη συνέχεια εξετάζουμε την περίπτωση που όλα τα φασματικά τμήματα παραχωρούνται προς δημοπρασία ταυτόχρονα. Έστω πάλι ότι υπάρχουν m φασματικά τμήματα και n σε αριθμό WSPs με $m < n$. Θεωρώντας πάλι ότι οι συνάρτηση των προσφορών ακολουθεί ομοιόμορφη κατανομή έχουμε πάλι ότι αν $b_i > b_j$ τότε:

$$P(b_j < b_i | j \in (n-m)) = \int_{b_{\min}}^{b_i} f(b)db = \frac{b_i - b_{\min}}{V_{\max} - b_{\min}}$$

Για να είναι όμως η προσφορά b_i νικητήρια πρέπει να είναι μεγαλύτερη από κάθε προσφορά των n-m WSPs οπότε:

$$P_{win}'(b_i) = \left(\frac{b_i - b_{\min}}{V_{\max} - b_{\min}} \right)^{(n-m)}$$

Παρόμοια με την πρώτη περίπτωση η καθαρή ωφέλεια υπολογίζεται ως το γινόμενο της πιθανότητας νίκης με το $V_i - b_i$. Οπότε έχουμε ότι:

$$NB_i' = (V_i - b_i)P_{win}'(b_i) = (V_i - b_i) \left(\frac{b_i - b_{\min}}{V_{\max} - b_{\min}} \right)^{(n-m)}$$

Υπολογίζοντας την πρώτη παράγωγο του NB_i' ως προς b_i έχουμε:

$$\frac{\partial NB_i'}{\partial b_i} = \frac{(V_i - b_i)(n-m)(b_i - b_{\min})^{(n-m-1)}}{(V_{\max} - b_{\min})^{(n-m)}} - \left(\frac{b_i - b_{\min}}{V_{\max} - b_{\min}} \right)^{(n-m)} = 0$$

Λύνοντας τελικώς ως προς b_i έχουμε ότι: $b_i^{opt2} = \frac{(n-m)V_i + b_{\min}}{n-m+1}$

Η παραπάνω προσφορά είναι η ελάχιστη δυνατή που μπορεί να κατατεθεί έτσι ώστε να μεγιστοποιεί την προσδοκώμενη καθαρή ωφέλεια.

Εξετάζοντας τις παραπάνω μεθόδους μπορούμε να ορίσουμε την ποσότητα b_{diff} όπου:

$$b_{diff} = b_i^{opt} - b_i^{opt2} = \frac{(n-k-1)V_i + b_{\min}}{n-k} - \frac{(n-m)V_i + b_{\min}}{n-m+1} \Leftrightarrow$$

$$b_{diff} = \frac{(m-k-1)(V_i - b_{\min})}{(n-k)(n-m+1)} > 0$$

Παρατηρούμε ότι η ποσότητα b_{diff} είναι θετική οπότε $b_i^{opt} > b_i^{opt2}$. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι για να μεγιστοποιηθεί η καθαρή ωφέλεια στη δημοπρασία με διαδοχικούς πλειστηριασμούς φασματικών τμημάτων, η προσφορά θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από αυτήν που αντιστοιχεί σε ταυτόχρονους πλειστηριασμούς. Ένας πωλητής επομένως, πρέπει να διαλέξει τον πρώτο τρόπο δημοπρασίας, καθώς αυτός του προσδίδει περισσότερα έσοδα.

Στην περίπτωση που οι ελάχιστες προσφορές ήταν διαφορετικές και $b_{\min1} > b_{\min2}$ τότε:

$$b_{diff} = b_i^{opt} - b_i^{opt2} = \frac{(n-k-1)V_i + b_{\min1}}{n-k} - \frac{(n-m)V_i + b_{\min2}}{n-m+1} \Leftrightarrow$$

$$b_{diff} = \frac{(m-k-1)(V_i - b_{\min1})}{(n-k)(n-m+1)} + \frac{(n-k)(b_{\min1} - b_{\min2})}{(n-k)(n-m+1)}$$

οπότε πάλι η ποσότητα b_{diff} είναι θετική οπότε $b_i^{opt} > b_i^{opt2}$.

Η υπόθεση ότι $b_{\min 1}=b_{\min 2}=b_{\min}$ που θεωρήθηκε αρχικά δικαιολογείται από το γεγονός ότι μπορούμε να πούμε ότι δημοπρασία έχει πραγματοποιηθεί αρκετές φορές και δεδομένου ότι κάθε φορά ανακοινώνεται η τελευταία προσφορά σε κάθε γύρο, οι πλειοδότες γνωρίζουν την προσφορά αυτή. Συνεπώς και στους δύο τύπους δημοπρασίας η ελάχιστη προσφορά θεωρείται ίδια.

3.2.2. Δημοπρασία με πρόσβαση TDMA και χρήση χρονικού τμήματος πληρωμής [13]

Ο συγκεκριμένος μηχανισμός δημοπρασίας των φασματικών πόρων στηρίζεται στην ιδέα της δευτερεύουσας αγοράς πραγματικού χρόνου αλλά η πληρωμή στον κυρίαρχο χρήστη δεν γίνεται με χρηματικό ποσό αλλά με χρονικά τμήματα.

Πιο συγκεκριμένα ένας σταθμός βάσης συλλέγει τις προσφορές από όλους τους δευτερεύοντες χρήστες και στη συνέχεια αναθέτει το φασματικό τμήμα στο χρήστη με τη μεγαλύτερη προσφορά, οποίος πληρώνει τιμή ίση με την δεύτερη μεγαλύτερη προσφορά. Ο τρόπος δημοπρασίας είναι κλειστή δημοπρασία δεύτερης τιμής (Vickrey auction). Ο λόγος που χρησιμοποιείται ο παραπάνω τρόπος είναι διότι έτσι επιτυγχάνεται η μεγιστοποίηση της κοινωνικής ευημερίας όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Η λογική είναι TDMA καθώς χρόνος χωρίζεται σε χρονοθυρίδες και κάθε μία από αυτές σε δύο τμήματα. Το πρώτο χρονικό τμήμα είναι αυτό στο οποίο ο χρήστης-νικητής έχει το δικαίωμα να εκπέμψει (περίοδος μίσθωσης), ενώ το δεύτερο αποτελεί το χρόνο τον οποίο παραχωρεί στο πωλητή ως πληρωμή για την απόκτηση του δικαιώματος εκπομπής. Το ποσοστό του χρόνου αυτού ισούται με την δεύτερη μεγαλύτερη προσφορά που κατατέθηκε στη δημοπρασία. Παρόλο που η πληρωμή γίνεται στο επίπεδο του χρόνου, η χρησιμότητά της είναι μεγάλη για τον πωλητή καθώς κατά τη διάρκεια του χρόνου πληρωμής ο χρήστης-νικητής είναι υποχρεωμένος να προωθήσει όχι δικές του υπηρεσίες αλλά αυτές που του αναθέτει ο σταθμός βάσης (για παράδειγμα υπηρεσίες του κυρίαρχου χρήστη).

Για παράδειγμα έστω ότι υπάρχει ένας κυρίαρχος χρήστης και τρεις δευτερεύοντες. Ο κυρίαρχος χρήστης μπορεί να εκπέμψει σε μια φασματική περιοχή Α. Παρόλα αυτά ένα μέρος του φάσματος (τμήμα β) το διαθέτει προς δημοπρασία. Για την πρώτη χρονοθυρίδα έστω ότι το διάνυσμα προσφορών είναι $B = \left(\frac{1}{3}, \frac{1}{5}, \frac{1}{2}\right)$. Με βάση λοιπόν

το παραπάνω διάνυσμα $B_{win} = \max\left(\frac{1}{3}, \frac{1}{5}, \frac{1}{2}\right) = \frac{1}{2}$. Συνεπώς νικητής είναι ο τρίτος χρήστης ο

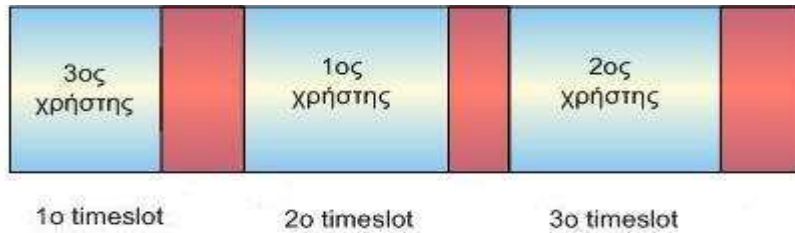
ο οποίος μισθώνει το φασματικό τμήμα και «πληρώνει» στο πωλητή χρόνο ίσο με $T/3$ αν T είναι το μήκος της χρονοθυρίδας. Οπότε τα $2T/3$ είναι ο χρόνος μίσθωσης. Στην επόμενη

χρονοθυρίδα το διάνυσμα προσφορών είναι $B = \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{5}\right)$. Όμοια η μεγαλύτερη προσφορά

είναι αυτή του πρώτου χρήστη οπότε και νικά στη δημοπρασία. Ο χρόνος πληρωμής είναι $T/4$ και ο χρόνος μίσθωσης $3T/4$. Τέλος στην τελευταία χρονοθυρίδα το διάνυσμα

προσφορών είναι $B = \left(\frac{1}{6}, \frac{11}{20}, \frac{3}{10}\right)$. Όμοια η μεγαλύτερη προσφορά είναι αυτή του δεύτερου

χρήστη, ο οποίος και νικά. Ο χρόνος πληρωμής είναι $3T/10$ και ο χρόνος μίσθωσης $7T/10$. Παρακάτω φαίνεται σχηματικά το παραπάνω παράδειγμα.



Εικόνα 7

Αν και ο μηχανισμός είναι TDM, μπορεί να εφαρμοστεί σε περαιτέρω του ενός φασματικές περιοχές του ίδιου ή διαφορετικών κυρίαρχων χρηστών. Κάθε δευτερεύον χρήστης θα μπορεί να επιλέγει ανάλογα με τις ανάγκες του, την φασματική περιοχή που θα θέλει να εκπέμψει μετατρέποντας έτσι τη διαδικασία σε Multi-Frequency TDM.

3.2.3. Δημοπρασίες φασματικών τμημάτων με χρήση μηχανισμού VCG

Το συστηματικό μοντέλο που χρησιμοποιείται για την περιγραφή των δημοπρασιών περιλαμβάνει μια φασματική αγορά πραγματικού χρόνου με κυρίαρχους και δευτερεύοντες χρήστες. Οι κυρίαρχοι χρήστες παραχωρούν μέρη των φασματικών ζωνών που τους έχουν διατεθεί στους δευτερεύοντες και η ανάθεση των φασματικών τμημάτων γίνεται με δημοπρασίες και χρήση του μηχανισμού VCG. Ίδια φασματικά τμήματα δεν μπορούν να παραχωρηθούν για το ίδιο χρονικό διάστημα σε παραπάνω από δύο χρήστες.

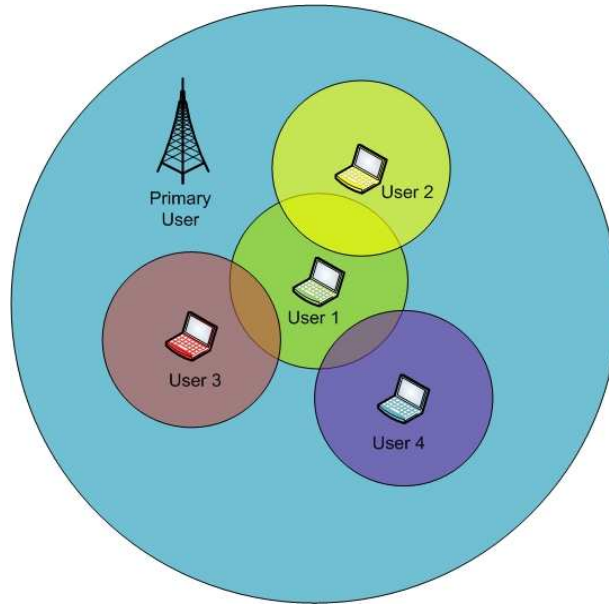
Αρχικά θεωρούμε $B = (b_1, b_2 \dots b_n)$ το διάνυσμα προσφορών των n δευτερευόντων χρηστών που καταθέτουν μία προσφορά ο καθένας για την απόκτηση μιας φασματικής περιοχής. Οι πιθανοί αγοραστής καταθέτουν τις προσφορές τους κλειστές στον πωλητή (κυρίαρχο χρήστη). Ο πωλητής αποφασίζει για το διάνυσμα ανάθεσης $x = (x_1, x_2 \dots x_n)$, όπου αν $x_i=1$ ανατίθεται το συγκεκριμένο φασματικό τμήμα στο i αγοραστή, ενώ αν $x_j=0$, δεν ανατίθεται το συγκεκριμένο φασματικό τμήμα στο j αγοραστή, καθώς και για το διάνυσμα πληρωμής $p = (p_1, p_2 \dots p_n)$ των δευτερευόντων χρηστών.

Η καθαρή ωφέλεια του κάθε συμμετέχοντα στη διαδικασία δημοπρασίας είναι:

$NB_i = u_i x_i - p_i$ όπου u_i είναι η ωφέλεια του i αγοραστή από την απόκτηση του συγκεκριμένου φασματικού τμήματος. Ορίζεται επίσης η συνολική ωφέλεια ως το άθροισμα όλων των $u_i x_i$ δηλαδή:

$$U_u(x) = \sum_{i=1}^n u_i x_i$$

Επίσης υποθέτουμε ότι λόγω παρεμβολής οι δευτερεύοντες χρήστες δεν μπορούν καταλάβουν το ίδιο φασματικό τμήμα και να εκπέμψουν αν οι τιμές της παρεμβολής του ενός στον άλλον είναι μεγαλύτερες από ένα κατώφλι p_{th} .



Εικόνα 8

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα ο κυρίαρχος χρήστης διαθέτει προς μίσθωση ένα μέρος ή ολόκληρη τη φασματική ζώνη που κατέχει, ενώ υπάρχουν στην περιοχή τέσσερις δευτερεύοντες χρήστες (WSPs) που διεκδικούν το φασματικό τμήμα. Βλέπουμε όμως ότι ο 1 παρεμβάλλει στους 2, 3 και 4. Οπότε δεν επιτρέπεται η μίσθωση του φασματικού τμήματος στους συνδυασμούς (1,2)-(1,3)-(1,4). Αντίθετα, ο 2 και ο 3 δεν παρεμβάλλουν, οπότε μπορούν να εκπέμψουν ταυτόχρονα στο φασματικό τμήμα, αν κερδίσουν στη δημοπρασία. Πιο φορμαλιστικά, ορίζεται ο πίνακας C όπου αν $c_{ij}=0$ οι χρήστες δεν παρεμβάλλουν, ενώ αν $c_{ij}=1$ οι χρήστες παρεμβάλλουν μεταξύ τους. Επίσης θεωρούμε ότι οι χρήστες δεν παρεμβάλλουν στον εαυτό τους. Για την παραπάνω εικόνα ισχύει ότι:

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Η ανάθεση του παραπάνω φασματικού τμήματος θα γίνει με κριτήριο τη μεγιστοποίηση της συνολικής ωφέλειας του συστήματος δηλαδή απαιτείται:

$$\max[U_u(x)] = \max\left(\sum_{i=1}^n u_i x_i\right) \text{ τ. ω. } x_i + x_j \leq 1 \forall i, j \text{ αν } C_{ij} = 1.$$

Για απλούστευση θεωρούμε ότι $\max[U_u(x)] = U_u^*$

Το διάνυσμα πληρωμών δημιουργείται από τον πωλητή ως εξής:

Θεωρούμε τώρα δύο περιπτώσεις. Η πρώτη είναι η υποθετική περίπτωση που ο i δεν ήταν στο σύστημα οπότε η μέγιστη συνολική ωφέλεια είναι U_{u-i}^* με $u_{-i} = (u_1, u_2, \dots, u_{i-1}, u_{i+1}, \dots, u_n)$ το διάνυσμα των ωφελειών εκτός του i χρήστη. Η δεύτερη είναι η πραγματική όπου ο i είναι στο σύστημα και υπολογίζουμε την συνολική ωφέλεια μείον αυτή του i , δηλαδή $U_u^* - u_i$. Η διαφορά $U_{u-i}^* - (U_u^* - u_i)$ είναι η επιβάρυνση που θέτει ο i στο σύστημα και αυτή είναι και η ποσότητα που υποχρεώνεται να πληρώσει δηλαδή:

$$p_i = U_{u-i}^* - (U_u^* - u_i) = u_i + U_{u-i}^* - U_u^*$$

Παράδειγμα 1

Έστω για παράδειγμα ότι έχουμε σε ένα σύστημα 4 χρήστες με δοσμένα u_i και πίνακα

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ όπως φαίνεται παρακάτω.}$$

Χρήστες	u_i	x_i	p_i
1	15	0	0
2	6	1	1
3	10	1	5
4	4	1	0

Παρατηρούμε ότι λόγω του πίνακα C ο χρήστης 1 δεν μπορεί να εκπέμψει ταυτόχρονα με τους 2, 3, 4 χρήστες. Οπότε $U_u^* = \max[U_u(x)] = 20$ αν διατεθεί το φασματικό τμήμα στους χρήστες 2, 3, 4. Οπότε $x_2 = x_3 = x_4 = 1$, $x_1 = 0$.

Για το χρήστη 2: $U_{u-2}^* = 15$ οπότε $p_2 = 6 + 15 - 20 = 1$.

Για το χρήστη 3: $U_{u-3}^* = 15$ οπότε $p_3 = 10 + 15 - 20 = 5$.

Για το χρήστη 4: $U_{u-4}^* = 16$ οπότε $p_4 = 4 + 16 - 20 = 0$.

Παράδειγμα 2

$$\text{Για } C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ και}$$

Χρήστες	u_i	x_i	p_i
1	15	1	10
2	2	0	0
3	6	0	0
4	2	0	0

$U_u^* = \max[U_u(x)] = 15$, $x_2 = x_3 = x_4 = 0$, $x_1 = 1$.

Για το χρήστη 1: $U_{u-1}^* = 10$ οπότε $p_1 = 15 + 10 - 15 = 10$.

Παράδειγμα 3

$$\text{Για } C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \text{ και}$$

Χρήστες	u_i	x_i	p_i
1	15	0	0
2	6	1	1
3	10	1	5
4	4	1	0
5	8	0	0

$$U_u^* = \max[U_u(x)] = 20, \quad x_2 = x_3 = x_4 = 1, \quad x_1 = x_5 = 0.$$

Για το χρήστη 2: $U_{u-2}^* = 15$ οπότε $p_2 = 6 + 15 - 20 = 1$.

Για το χρήστη 3: $U_{u-3}^* = 15$ οπότε $p_3 = 10 + 15 - 20 = 5$.

Για το χρήστη 4: $U_{u-4}^* = 16$ οπότε $p_4 = 4 + 16 - 20 = 0$.

Μια παραλλαγή του παραπάνω αλγορίθμου είναι με χρήση της κλειστής δημοπρασίας δεύτερης τιμής. Ο λόγος που χρησιμοποιείται ο τρόπος αυτός είναι διότι η κλειστή δημοπρασία δεύτερης τιμής ωθεί τους συμμετέχοντες στο να καταθέτουν προσφορές που να πλησιάζουν τις εκτιμήσεις τους, επιτυγχάνοντας έτσι την όσο το δυνατόν δικαιότερη κατανομή των φασματικών πόρων και αποτρέποντας την συμπαιγνία.

Η ιδέα της παραλλαγής στηρίζεται στη δημιουργία **εικονικών συμμετεχόντων**. Ως εικονικός συμμετέχων ορίζεται ένας ή περισσότεροι πραγματικοί συμμετέχοντες που βρίσκονται σε τέτοια απόσταση που η μεταξύ τους παρεμβολή θεωρείται μηδαμινή. Στην περίπτωση του πρώτου παραδείγματος οι εικονικοί συμμετέχοντες είναι οι: $u(\{1\}) = 15$, $u(\{2\}) = 6$, $u(\{3\}) = 10$, $u(\{4\}) = 4$, $u(\{2,3\}) = 16$, $u(\{2,4\}) = 10$, $u(\{3,4\}) = 14$, $u(\{2,3,4\}) = 20$. Το μέγιστο της ωφέλειας του εικονικών συμμετεχόντων ($U_{\{u\}}^*$), ορίζεται ως ο νικητήριο συνδυασμός και νικητές οι συμμετέχοντες που είναι σε αυτόν, για παράδειγμα στην παραπάνω περίπτωση οι συμμετέχοντες 2,3,4. Το ποσό που θα πληρώσουν συνολικά, προκύπτει αν αφαιρέσουμε από τη διαδικασία τους νικητές W και υπολογίσουμε πάλι τη μέγιστη ωφέλεια χωρίς αυτούς (U_{u-W}^*). Στο προηγούμενο παράδειγμα $U_{u-W}^* = 15$. Η πληρωμή δίνεται από τον τύπο

$$p_i = u_i - \frac{U_{\{u\}}^* - U_{u-W}^*}{W} \geq 0 \text{ αλλιώς } p_i = 0, \quad i \in W.$$

Στο πρώτο παράδειγμα είναι:

$$U_{\{u\}}^* = 20, \quad U_{u-W}^* = 15, \quad p_2 = 6 - 5/3 = 13/3, \quad p_3 = 10 - 5/3 = 25/3, \quad p_4 = 4 - 5/3 = 7/3.$$

3.2.4. Δημοπρασία τμημάτων ισχύος [11]

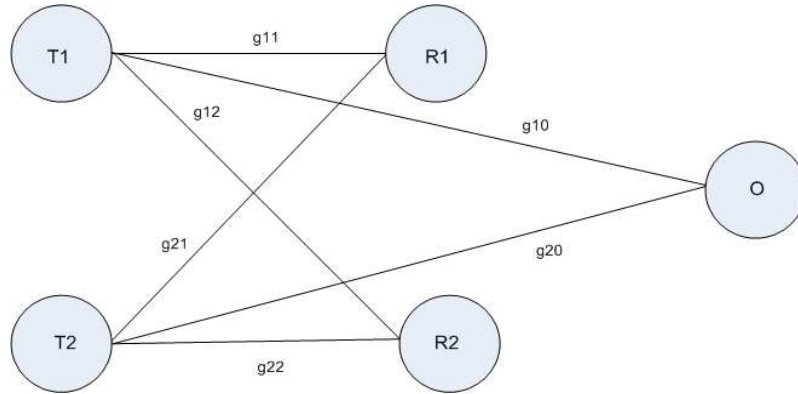
Εκτός από τις δημοπρασίες φασματικών τμημάτων και χρονικών θυρίδων υπάρχουν πρωτόκολλα δημοπρασίας τμημάτων ισχύος. Έστω ότι ένα φασματικό τμήμα B το οποίο διατίθεται προς δημοπρασία μεταξύ M χρηστών. Η δημοπρασία δεν αφορά αυτό καθαυτό το φασματικό τμήμα, αλλά το κατά πόση ισχύ θα εκπέμψει ο κάθε χρήστης σε σχέση με την παρεμβολή που προκαλεί στο υπάρχον σύστημα. Για κάθε χρήστη i ορίζεται το $SINR_i$ ως:

$$SINR_i = \frac{P_i g_{ii}}{N_o + \sum_{j \neq i} P_j h_{ji}}$$

όπου p_i είναι η ισχύς εκπομπής του i χρήστη, g_{ii} το κέρδος του καναλιού όταν ο χρήστης i εκπέμπει στο δέκτη i , N_o είναι η ισχύς θορύβου. Η συνάρτηση ωφελιμότητας επομένως για κάθε χρήστη i είναι $U_i(SINR_i)$ και επομένως μια αποδοτική διάθεση των p_i είναι αυτή που μεγιστοποιεί το άθροισμα των συναρτήσεων ωφελιμότητας του κάθε χρήστη δηλ. $\max \sum U_i(SINR_i)$.

Θεωρείται επίσης ένα σημείο O στο οποίο γίνεται η μέτρηση της συνολικής ισχύς εκπομπής όλων των χρηστών (συνήθως σημείο που βρίσκεται ο διαχειριστής-πωλητής) και στο οποίο πρέπει να ισχύει ότι το άθροισμα όλων των ισοδύναμων ιστροπικά ακτινοβολούμενων ισχύων είναι μικρότερο ή ίσο από μια δεδομένη ισχύ δηλαδή:

$$\sum_{i=1}^M P_i g_{i0} \leq P^{\max}$$



Εικόνα 9

Αρχικά βάσει αυτού του σχήματος μπορεί να εφαρμοστεί μια δημοπρασία τύπου VCG, όπου οι πλειοδότες (χρήστες M) αποστέλλουν στον πωλητή της ωφελιμότητές τους $U_i(SINR_i)$. Εν συνεχεία ο πωλητής υπολογίζει το διάνυσμα ισχύων $p^* = (p_1^*, p_2^*, \dots, p_M^*)$ που μεγιστοποιεί το $\sum U_i(SINR_i)$ δηλαδή $U^{\max} = \sum_{j=1}^M U_j[SINR_j(p_j^*)]$. Ο τρόπος πληρωμής του

χρήστη i υπολογίζεται ως εξής:

Αρχικά υπολογίζεται το διάνυσμα $p_{-i}^* = (p_1^*, p_2^*, \dots, p_{i-1}^*, p_{i+1}^*, \dots, p_M^*)$ τέτοιο ώστε που μεγιστοποιεί το $U_{-i}^{\max} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^M U_j[SINR_j(p_j^*)]$. Το ποσό πληρωμής ορίζεται ως:

$$C_i = U_{-i}^{\max} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^M U_j[SINR_j(p_j^*)] \Rightarrow C_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^M U_j[SINR_j(p_j^*)] - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^M U_j[SINR_j(p_j^*)]$$

δηλαδή η μείωση που προκαλεί ο i χρήστης στην συνολική συνάρτηση ωφελιμότητας με την παρουσία του. Παρόλο που η χρήση της δημοπρασίας VCG εξασφαλίζει την αποστολή της αληθινής ωφέλειας από τους χρήστες, η συλλογή δεδομένων όσο αφορά την ισχύ μετάδοσης, το γενικό κέρδος του καναλιού και την ισχύ παρεμβολής και αποστολή τους στον πωλητή

αποτελεί ένα σοβαρό εμπόδιο για την υιοθέτηση ενός τέτοιου μηχανισμού σε μεγάλα κυρίως δίκτυα. Επίσης η εφαρμογή ενός τέτοιου μηχανισμού προϋποθέτει την επίλυση M+1 προβλημάτων βελτιστοποίησης, γεγονός που αποτελεί ένα σημαντικό υπολογιστικό εμπόδιο.

Λόγω των παραπάνω λόγων μπορεί να εφαρμοστεί μια αναλογική διάθεση πόρων ανάλογα με την ζήτηση του κάθε χρήστη. Πιο συγκεκριμένα, οι χρήστες αποστέλλουν τις προσφορές τους στο πωλητή-διαχειριστή που περιλαμβάνουν τα επίπεδα ισχύος στα οποία επιθυμούν να εκπέμψουν δεδομένης μιας σταθερής τιμής ανά τμήμα ισχύος (π) που καθορίζεται από τον πωλητή. Επίσης ο πωλητής ανακοινώνει σε όλους τους χρήστες μια «αποθεματική» προσφορά $\beta \geq 0$ και εκπέμπει με την αντίστοιχη ισχύ p_0 που δίνεται από τον τύπο:

$$p_0 = \frac{\beta}{\sum_{i=1}^M b_i + \beta} P^{\max}$$

Όσο αφορά τους χρήστες η απόδοση των πόρων γίνεται βάση του τύπου:

$$p_i g_{i0} = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^M b_i + \beta} P^{\max}$$

δηλαδή η λαμβανόμενη ισχύς στο σημείο μέτρησης O , να είναι ποσοστό της προσφοράς του χρήστη.

Επίσης το ποσό που καλείται να πληρώσει ο κάθε χρήστης είναι: $C_i = \pi p_i$. Επίσης στην περίπτωση SINR δημοπρασίας η ανάθεση γίνεται με την ίδια μέθοδο, αλλά ο τρόπος πληρωμής τροποποιείται σε: $C_i = \pi \text{SINR}_i$.

3.2.5 Δημοπρασία τμημάτων ισχύος ανοδικής τιμής [12]

Με αυτό τον τρόπο δημοπρασίας η τιμή του τμήματος ισχύος (q') ανεβαίνει με ένα βήμα Δq , έτσι ώστε να επιτευχθεί η μεγιστοποίηση της συνολικής συνάρτησης ωφελιμότητας. Πιο συγκεκριμένα, θεωρούμε πάλι το μοντέλο του παραπάνω σχήματος με τους δευτερεύοντες χρήστες (M) και τον κυρίαρχο χρήστη στη θέση O που έχει το ρόλο του διαχειριστή-πωλητή. Το SINR του κάθε χρήστη i δίνεται από τον τύπο:

$$\text{SINR}_i = \frac{p_i g_{ii}}{N_o + \sum_{j \neq i} p_j h_{ji}} \quad \text{με την προϋπόθεση ότι } \sum_{i=1}^M p_i g_{i0} \leq P^{\max}. \quad \text{Ορίζεται επίσης η}$$

κανονικοποιημένη ποσότητα ζήτησης τμημάτων ισχύος ως: $x_i = \frac{p_i g_{i0}}{P^{\max}}$ για κάθε χρήστη i με

$i > 0$, και $x_0 = \frac{p_0}{P^{\max}}$ με την προϋπόθεση ότι $\sum_{i=0}^M x_i \leq 1$. Το SINR_i γίνεται επομένως

$$\text{SINR}_i = \frac{x_i \frac{P^{\max}}{g_{i0}} g_{ii}}{N_o + \sum_{j \neq i} p_j h_{ji}}$$

και με την παραδοχή ότι η παρεμβολή από τον κυρίαρχο χρήστη είναι πολύ μεγαλύτερη από τους δευτερεύοντες έχουμε ότι:

$$SINR_i = \frac{x_i \frac{P^{\max}}{g_{i0}} g_{ii}}{N_o + p_0 g_{0i}}$$

Για τον κυρίαρχο χρήστη η παρεμβολή προέρχεται από όλους τους άλλους δευτερεύοντες χρήστες οπότε είναι $P^{\max} - p_0 g_{00}$. Οπότε για το κυρίαρχο χρήστη έχουμε:

$$SINR_0 = \frac{P_0 g_{00}}{N_o + P^{\max} - p_0 g_{00}} = \frac{P_0 g_{00}}{N_o + P^{\max} (1 - x_0)}$$

Θεωρούμε ότι η συνάρτηση ωφέλειας για κάθε χρήστη i , $i \geq 0$ είναι $U_i(SINR_i)$ και πιο συγκεκριμένα εφόσον το $SINR_i$ είναι τελικά συνάρτηση του x_i , μπορούμε να πούμε ότι κάθε χρήστης i έχει συνάρτηση ωφελιμότητας $U_i(x_i)$ ή $U_i(x)$.

Δεδομένου ότι το κόστος των τμημάτων ισχύος είναι q , έπεται ότι η ζήτηση που εκφράζεται μέσω της κοινωνικοποιημένης τιμής x_i του κάθε χρήστη i , είναι συνάρτηση της q δηλαδή $x_i(q)$. Προφανώς η $x_i(q)$ είναι φθίνουσα συνάρτηση του q . Η ζήτηση όμως του κάθε χρήστη i εξαρτάται από δύο παράγοντες. Πρώτον από την ωφέλεια που θα έχει ο χρήστης μέσω της απόκτησής των πόρων αυτών που εκφράζεται μέσω της συνάρτησης ωφελιμότητας (και ο χρήστης επιδιώκει την μεγιστοποίησή της) και δεύτερον το κόστος απόκτησης των πόρων. Δηλαδή ισχύει ότι:

$$x_i(q) \text{ που αντιστοιχεί σε } \max[U_i(x) - qx]$$

Δηλαδή ουσιαστικά υπολογίζεται η μέγιστη καθαρή ωφέλεια (net benefit) που αντιστοιχεί στο x_i . Επίσης στις οριακές συνθήκες έχουμε όταν $q=0$ τότε $x_i=1$ και όταν $q \rightarrow \infty$ τότε $x_i(q) \rightarrow 0$.

Στην αρχή της δημοπρασίας η τιμή q τίθεται στο 0 και στη συνέχεια αυξάνεται ανά ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα t , κατά Δq . Για κάθε τιμή q οι χρήστες υπολογίζουν το $\max[U_i(x) - qx]$ και στέλνουν στο πωλητή-διαχειριστή την αντίστοιχη τιμή $x_i(q)$. Όταν

$\sum_{i=0}^M x_i > 1$ τότε ο πωλητής αυξάνει την τιμή q κατά Δq . Η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου $\sum_{i=0}^M x_i = 1$, και δηλαδή η τιμή της συνολικής λαμβανόμενης ισχύος στην αναφορά φθάσει

P^{\max} . Στην περίπτωση αυτή μέσω του τύπου $x_i = \frac{P_i g_{i0}}{P^{\max}}$ προκύπτουν τα p_i^* που αντιστοιχούν σε κάθε χρήστη.

Για παράδειγμα έστω ότι υπάρχουν 4 δευτερεύοντες χρήστες και ένας κυρίαρχος, οποίος παίζει το ρόλο του διαχειριστή της δημοπρασίας και συμμετέχει και ο ίδιος σε αυτήν. Αρχικά οι χρήστες υπολογίζουν το $SINR$ τους και στη συνέχεια βάσει αυτού υπολογίζουν την ωφέλεια τους $U_i(SINR_i)$. Συνήθως θεωρείται ότι η U_i είναι λογαριθμική συνάρτηση του $SINR_i$, και μπορεί να εξαρτάται από άλλες παραμέτρους οικονομικής φύσεως. Υπολογίζεται επίσης η ισχύ παρεμβολής στη θέση 0 και ο διαχειριστής ενημερώνει τους χρήστες για τη μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ P^{\max} . Έστω ότι διατίθενται 5 τμήματα που για τους δευτερεύοντες χρήστες είναι ουσιαστικά η ισοτροπικά ακτινοβολούμενη ισχύς (EIRP λόγω $p_i g_{i0}$) και για τον κυρίαρχο η ισχύς εκπομπής (p_0) οπότε η κανονικοποιημένη μεταβλητή x_i μπορεί να πάρει τιμές (0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1). Η ωφέλεια του κάθε χρήστη ανάλογα με την τιμή του x φαίνεται παρακάτω:

	Χρήστης 0	Χρήστης 1	Χρήστης 2	Χρήστης 3	Χρήστης 4
Ωφέλεια (0,2)	123	75	125	85	45

Ωφέλεια (0,4)	113	5	125	65	25
Ωφέλεια (0,6)	103	3	49	7	5

Θεωρούμαι ότι οι χρήστες μπορούν να κατέχουν έως τρία τμήματα, γεγονός που βελτιώνει την κοινωνική ευημερία μην επιτρέποντας σε «άπληστους» χρήστες την καθολική απόκτηση των πόρων και προάγει τον ανταγωνισμό μεταξύ των χρηστών. Η δεύτερη και τρίτη γραμμή παρουσιάζουν την **επιπρόσθετη** ωφέλεια με την απόκτηση του 40% και 60% των συνολικών πόρων προς δημοπρασία. Δηλαδή για τον χρήστη 3 η συνολική ωφέλεια για το 40% των πόρων είναι $85+65=150$. Αν το άθροισμα του κόστους όλων των πόρων είναι $q=80$, τότε η καθαρή ωφέλεια στην περίπτωση αυτή είναι $150-0,4 \cdot 80=118$. Όμοια υπολογίζεται η καθαρή ωφέλεια για $x=0,2$, και $x=0,6$ που είναι 53 και 109. Παρατηρούμε επομένως ότι η μεγιστοποίηση της καθαρής ωφέλειας επέρχεται για $x=0,4$.

Ο διαχειριστής επομένως αυξάνει κατά ένα $\Delta q=1$ την τιμή του q οπότε οι χρήστες υπολογίζουν τη καθαρή ωφέλεια και το αντίστοιχο x στο οποίο αυτή αντιστοιχεί. Έστω για παράδειγμα αρχική τιμή της δημοπρασίας $q=100$. Σε αυτήν την περίπτωση $x_0=0,6$, $x_1=0,2$, $x_2=0,6$, $x_3=0,4$, $x_4=0,4$. $\sum_{i=0}^4 x_i = 2,2 > 1$, οπότε η διαδικασία συνεχίζεται και το q

αυξάνει σε 101. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου $\sum_{i=0}^4 x_i = 1$. Παρακάτω φαίνονται διάφορα στιγμιότυπα της δημοπρασίας.

Τιμή	Χρήστης 0	Χρήστης 1	Χρήστης 2	Χρήστης 3	Χρήστης 4
245	0,6	0,2	0,4	0,4	0
325	0,6	0,2	0,4	0,2	0
375	0,6	0	0,4	0,2	0
425	0,6	0	0,4	0	0

Παρατηρούμε ότι για $q=425$, $\sum_{i=0}^4 x_i = 1$ οπότε τελειώνει η δημοπρασία με νικητές τον κυρίαρχο χρήστη που κερδίζει το 60% των διαθέσιμων πόρων και τον χρήστη 2 που του ανατίθεται τελικά 40% των πόρων.

Όσο αφορά τον τρόπο πληρωμής έχουν προταθεί διάφοροι μηχανισμοί. Οι βασικότεροι όμως είναι δύο. Στον πρώτο τρόπο ο χρήστης που κερδίζει τελικά στη δημοπρασία χρεώνεται την τιμή με την οποία κέρδισε το προϊόν, δηλ ο χρήστης 0 πληρώνει $0,6 \cdot 425=255$ και ο χρήστης 2 $0,4 \cdot 425=170$. Τα έσοδα του πωλητή επομένως είναι 425. Ο δεύτερος τρόπος περιγράφεται παρακάτω. Παρατηρούμαι ότι για το χρήστη 0, στην περίπτωση που $q=325$, η απουσία του δίνει στους υπόλοιπους, άθροισμα των x_i 0,8 μικρότερο από 1 οπότε ουσιαστικά το 20% των πόρων έχει ήδη κερδηθεί από το αυτό το γύρο οπότε ο χρήστης 0 θα πληρώσει $0,2 \cdot 325=65$. Όμοια στον επόμενο γύρω θα πληρώσει $0,2 \cdot 375=75$. Στον τελευταίο γύρω κερδίζει και το υπόλοιπο 0,2 οπότε και πληρώνει 85. Συνολικά λοιπόν ο χρήστης 0 πληρώνει $65+75+85=225$. Όμοια ο χρήστης 2 πληρώνει $0,2 \cdot 375+0,2 \cdot 425=160$. Οι χρήστες 1, 2, 3, 4 δεν πληρώνουν τίποτα. Παρατηρούμε ότι ο πρώτος τρόπος πληρωμής είναι περισσότερο κερδοφόρος για τον πωλητή αλλά είναι περισσότερο ευάλωτος σε παραβατικές συμπεριφορές χρηστών που θα περιγραφούν σε επόμενο κεφάλαιο.

3.2.6. Ανεξάρτητες Καθοδικές Δημοπρασίες (Ολλανδικές) Εύρους Ζώνης [23]

Ο μηχανισμός αυτός βασίζεται σε ταυτόχρονες ολλανδικές δημοπρασίες μία για κάθε σύνδεση του δικτύου. Έστω ότι υπάρχει ένα δίκτυο από κόμβους (κυρίαρχοι και δευτερεύοντες χρήστες) έτσι ώστε να επιτρέπεται η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ τους. Για κάθε σύνδεση του δικτύου πραγματοποιείται μία ολλανδική δημοπρασία πολλών τμημάτων έτσι ώστε πολλαπλά τμήματα του αρχικού εύρους ζώνης B να δημοπρατούνται και να γίνονται εκμεταλλεύσιμα από πολλούς χρήστες. Έστω για παράδειγμα ότι υπάρχουν N συνδέσεις σε ένα δίκτυο. Στην αρχή ανακοινώνεται σε όλους τους χρήστες M το εύρος ζώνης της κάθε σύνδεσης $B_i, 1 \leq i \leq N$, καθώς και μια αρχική τιμή εκκίνησης p_{i0} . Προφανώς εφόσον η δημοπρασία είναι καθοδική, η τιμή αυτή πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη, συνήθως διπλάσια, από την ενδεικτική τιμή αγοράς. Η τιμή αυτή μειώνεται με ένα ρυθμό διαφορετικό εν γένει σε κάθε σύνδεση, ανάλογα με τη ζήτηση που έχει αυτή. Οι χρήστες καταθέτουν την κατάλληλη χρονική στιγμή t , την προσφορά τους που περιλαμβάνει το ποσό του εύρους ζώνης που επιθυμούν να αγοράσουν. Εν συνεχεία και μετά το πέρας της δημοπρασίας, οι χρήστες πληρώνουν το ποσό που τους αντιστοιχεί βάσει του εύρους ζώνης που αγόρασαν. Οι χρήστες μπορούν επίσης να καταθέσουν προσφορές για την απόκτηση εύρους ζώνης σε διαφορετικές συνδέσεις επιτρέποντας έτσι τη δημιουργία ενός μονοπατιού μέσα στο δίκτυο.

Ο ρυθμός μείωσης της τιμής σε κάθε σύνδεση είναι διαφορετικός και εξαρτάται από τη ζήτηση του εύρους ζώνης σε κάθε σύνδεση. Στις συνδέσεις με μεγαλύτερη ζήτηση ο ρυθμός μείωσης πρέπει να είναι πιο μικρός σε σχέση με συνδέσεις με μικρότερη ζήτηση. Ο τύπος που υπολογίζει τη μείωση της τιμής σε κάθε σύνδεση είναι:

$$D = \max \left\{ \frac{B_i^{avail}}{B_i} * MaxDrop, 1 \right\}$$

δηλαδή για κάθε χρονική στιγμή t είναι ανάλογος του διαθέσιμου εύρους ζώνης της σύνδεσης προς το αρχικό εύρος ζώνης της σύνδεσης. Επίσης εξαρτάται από ένα παράγοντα $MaxDrop > 1$ που εξασφαλίζει τη μέγιστη επιτρεπτή πτώση της τιμής. Η τιμή του $MaxDrop$ είναι ιδιαίτερα σημαντική αφού πρέπει να είναι τέτοια ώστε οι μειώσεις των τιμών να αντανακλούν τον ανταγωνισμό χωρίς όμως να είναι υπερβολικές. Επίσης η μικρότερη δυνατή πτώση είναι κατά μία μονάδα και αυτό πραγματοποιείται όταν ο παράγοντας $\frac{B_i^{avail}}{B_i} \ll 1$, δηλαδή όταν υπάρχει αυξημένη ζήτηση.

Ο τρόπος χρέωσης των χρηστών είναι διαφορετικός σε σύγκριση με αυτόν που επικρατεί στις ολλανδικές δημοπρασίες, καθώς σε αυτές η τιμή αγοράς είναι η τιμή που δημοπρατείται το αγαθό τη στιγμή της προσφοράς. Ο τρόπος όμως αυτός χρέωσης, δεν εξασφαλίζει το γεγονός οι χρήστες να προσφέρουν τιμές ίσες με εκτιμήσεις τους. Έχει παρατηρηθεί ότι σε τέτοιου είδους δημοπρασίες, οι παίχτες περιμένουν έως ότου κάποιος κάνει μια προσφορά, και στη συνέχεια υποβάλλουν όλοι σχεδόν ταυτόχρονα τις προσφορές τους. Γι' αυτό υιοθετείται ο εξής τρόπος χρέωσης: όλοι οι παίχτες να καταβάλλουν ως αντίτιμο για κάθε μονάδα εύρους ζώνης κάθε σύνδεσης την οποία δεσμεύουν, την τιμή με την οποία έγινε η δέσμευση της τελευταίας μονάδας εύρους ζώνης στη σύνδεση αυτή. Έτσι λοιπόν ο κάθε χρήστης καλείται να πληρώσει ποσό ίσο με το εύρος ζώνης που του διατίθεται επί την τιμή αγοράς της τελευταίας μονάδας.

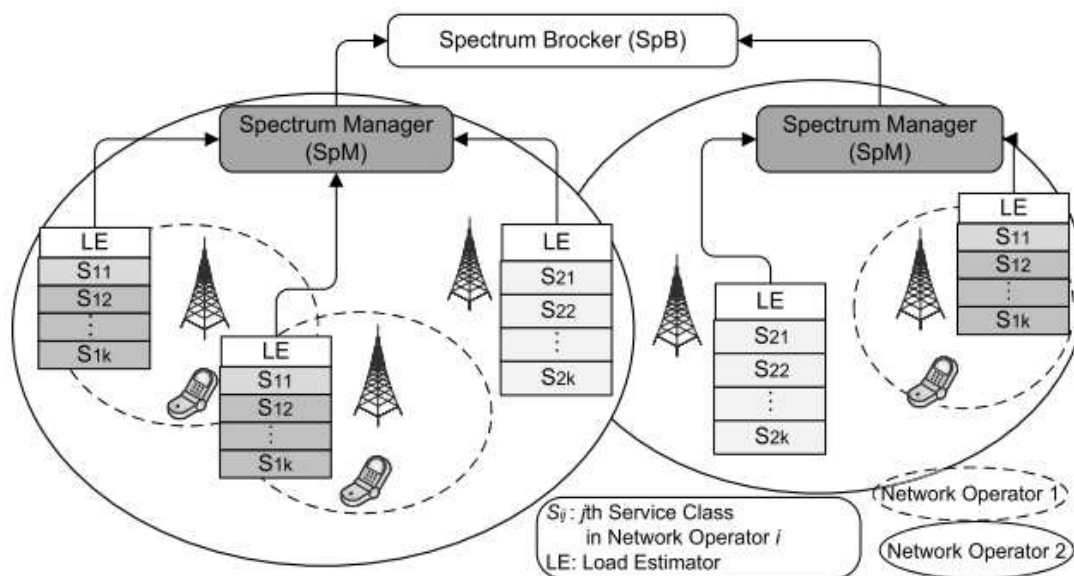
Στο μηχανισμό που περιγράφηκε παραπάνω είδαμε ότι δεν υπάρχει δέσμευση ως προς το χρόνο καθώς η ολλανδική δημοπρασία σε κάθε σύνδεση χρειάζεται ένα μη δεσμευμένο διάστημα T . Μπορεί όμως να γενικευτεί ο παραπάνω μηχανισμός θεωρώντας ότι υπάρχει χρόνος μίσθωσης για κάθε σύνδεση. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να εισαχθεί η έννοια της χρονοθυρίδας μέσα στην οποία πραγματοποιείται για κάθε σύνδεση μια

ολλανδική δημοπρασία. Έτσι για N συνδέσμους και K χρονικές στιγμές απαιτούνται $N \cdot K$ ολλανδικές δημοπρασίες. Οι χρήστες επομένως μπορούν να δεσμεύουν πόρους όχι μόνο χωρικά (εύρος ζώνης) αλλά και χρονικά ανάλογα με τις ανάγκες τους. Ο συγχρονισμός του κάθε χρήστη στη διαδικασία της δημοπρασίας είναι ευθύνη του ίδιου του χρήστη. Τέλος το μέγεθος της χρονοθυρίδας είναι άλλη μία παράμετρος του μηχανισμού και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως το είδος των χρηστών, το πλήθος τους, το λόγο δέσμευσης των πόρων, το πλήθος των συνδέσεων κλπ.

3.2.7. Χρήση μηχανισμού δημοπρασιών με μηχανισμούς αποκλειστικής ανάθεσης φάσματος [24]

Παρακάτω περιγράφεται ο συνδυασμένος τρόπος λειτουργίας ενός μηχανισμού αποκλειστικής ανάθεσης φάσματος, με μηχανισμό δημοπρασίας για την καλύτερη αξιοποίηση των πόρων του συστήματος.

Πιο συγκεκριμένα το σύστημα αποτελείται από Network Operators (NOs) που παρέχουν διαφορετικές κλάσεις υπηρεσιών ανάλογα με το είδος της υπηρεσίας, φωνή δεδομένα κλπ. Έστω S_{ij} η j κλάση του i NO και έστω ότι υπάρχουν δύο NOs όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



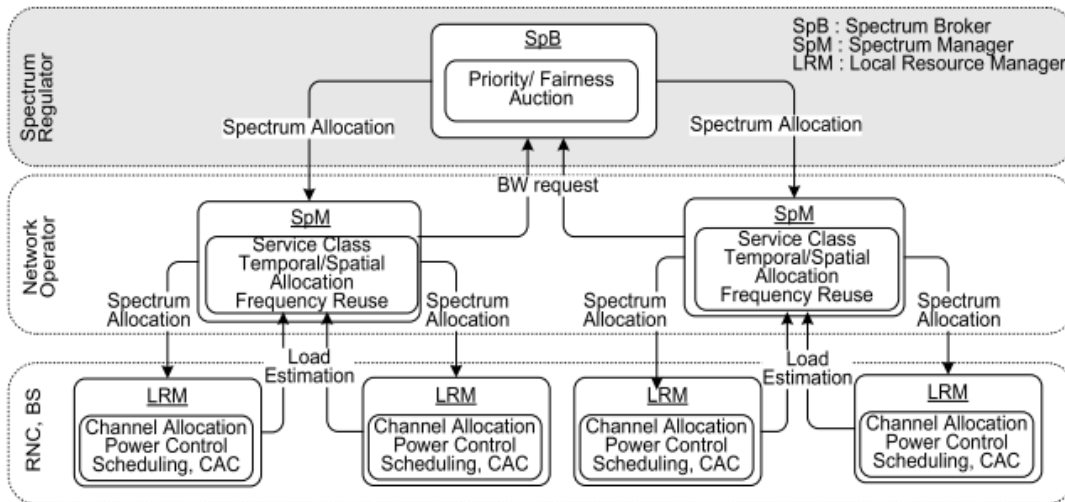
Εικόνα 10

Η λειτουργία του συστήματος βασίζεται σε τρεις οντότητες, που η κάθε μία παίζει σημαντικό ρόλο στην όλη διαδικασία. Αυτές είναι:

- Τοπικός διαχειριστής πόρων (Local Recourse Manager, LRM)
- Διαχειριστής φάσματος (Spectrum Manager, SpM)
- Spectrum Broker (SpB)

Ο LRM είναι υπεύθυνος για την διάθεση των φασματικών πόρων μέσα στην κυψέλη για κάθε σταθμό βάσης.. Πιο συγκεκριμένα υπολογίζει το απαιτούμενο εύρος ζώνης που χρειάζεται η κάθε κλάση, λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες μέσα στις οποίες λειτουργεί

η ραδιοζεύξη, καθώς και το φορτίο κίνησης. Ανάλογα με τις αιτήσεις που στέλνουν οι LRMs στο SpM γίνεται η ανάθεση των πόρων σε επίπεδο NO. Επίσης ο SpM στέλνει πληροφορία στο SpB σχετικά με το ζητούμενο εύρος ζώνης του κάθε NO, το διακινούμενο φορτίο, καθώς και την προτεραιότητα των κλάσεων. Επίσης στέλνει την αίτηση διαπραγμάτευσης (negotiation request), σε περίπτωση που κάποιος NO επιθυμεί περισσότερο εύρος ζώνης από αυτό που του αναλογεί. Ο SpB είναι υπεύθυνος για την διεξαγωγή δημοπρασίας και την ανάθεση φάσματος μεταξύ NOs, βάσει των αιτήσεων διαπραγμάτευσης και του ζητούμενου εύρους ζώνης. Τέλος βάσει των προηγούμενων αναθέσεων υπολογίζει την μακροχρόνια ανάθεση πόρων ανάλογα με τον NO. Η κάθε λειτουργία των οντοτήτων φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 11

Η λειτουργία του συστήματος είναι η εξής: αρχικά κάθε NO συμφωνεί με τον SpB σε ένα φασματικό τμήμα αποκλειστικής χρήσης B_D . Αν ο NO επιθυμεί περισσότερους φασματικούς πόρους από B_D , τότε ο SpB του παραχωρεί ένα τμήμα B' , από το τμήμα B_S , που είναι οι διαμοιραζόμενοι φασματικοί πόροι του συστήματος. Για τον υπολογισμό του B' ακολουθούνται τρία βήματα:

- Αρχική ανάθεση
- Διαπραγμάτευση
- Δημοπρασία

Για τον k NO υποθέτουμε ότι τη χρονική στιγμή t το απαιτούμενο εύρος ζώνης για την κλάση i είναι $I_{ki}(t)$. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι εύρος ζώνης αυτό επηρεάζεται από ένα παράγοντα α_{ki} που δηλώνει το μέγεθος χρησιμοποίησης της κάθε κλάσης. Συνεπώς η συνολική ζητούμενη ποσότητα είναι $L_k(t)$, που προκύπτει ως άθροισμα όλων των $\alpha_{ki} I_{ki}(t)$.

$$B_k(t) = \frac{p_k L_k(t)}{\sum p_j L_j(t)} B_S$$

Αυτό αποτελεί ουσιαστικά το ποσοστό της ζητούμενης ποσότητας φάσματος του k NO στο σύνολο της ζήτησης ανηγμένο στο B_S . Παρατηρούμε ότι υπάρχουν και οι συντελεστές p_k , που υποδηλώνουν το ποσοστό ανάθεσης φάσματος για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα.

Αν $\sum B_k(t) \leq B_S$ τότε στον k NO παραχωρείται φασματικό τμήμα $B_k(t)$ δηλαδή $B' = B_k(t)$.

Αν $\sum B_k(t) > B_s$ τότε υπάρχουν δύο περιπτώσεις. Οι ΝΟ που επιθυμούν εύρος ζώνης μεγαλύτερο από αυτό που προκύπτει από την παραπάνω ισότητα να το πάρουν τελικά από SpMs στους οποίους υπάρχει διαθέσιμο εύρος ζώνης. Οι SpMs ενημερώνονται από τον SpB για την ύπαρξη ΝΟ με έλλειψη φασματικού τμήματος (διαδικασία διαπραγμάτευσης). Αν όλοι οι SpMs απορρίψουν την αίτηση παραχώρησης φάσματος τότε το ένα μέρος από το φασματικό τμήμα του B_s (έστω B_A) τίθεται σε δημοπρασία. Στην περίπτωση αυτή ισχύει ότι στο k ΝΟ θα διατεθεί:

$$B' = B_k(t) \frac{B_s - B_A(t)}{B_s} + B_{k,au}$$

όπου $B_A(t)$ είναι το φασματικό τμήμα που δημοπρατείται και $B_{k,au}$ το φασματικό τμήμα αποκτάται με το πέρας της δημοπρασίας

3.2.8. Αλγόριθμος VERITAS [9]

Ο αλγόριθμος VERITAS είναι ένας αλγόριθμος κατανομής φασματικών πόρων και υπολογισμού του κόστους απόκτησής τους. Βασίζεται σε κλειστή δημοπρασία όπου όλοι οι ενδιαφερόμενοι χρήστες αποστέλλουν τις προσφορές τους και τον αριθμό των καναλιών τον οποίο επιθυμούν.

Ο αλγόριθμος αυτός επιτυγχάνει την αποστολή αληθών προσφορών από τους χρήστες καθώς και την υπολογιστικά αποδοτική διάθεση φάσματος σε αυτούς και χρέωση τους. Επίσης οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να επιλέξουν περισσότερα του ενός κανάλια λαμβάνοντας πάντα υπόψη τις παραμέτρους παρεμβολής.

Για αποφυγή παρεμβολών ο αλγόριθμος αποτρέπει την ανάθεση καναλιών σε γειτονικούς χρήστες, ενώ επιτρέπεται η ανάθεση ενός συγκεκριμένου καναλιού σε δύο ή και περισσότερους μη γειτονικούς χρήστες. Αυτό μπορεί να φανεί πιο παραστατικά με γραφική απεικόνιση όπου οι κόμβοι του γράφου είναι οι χρήστες.

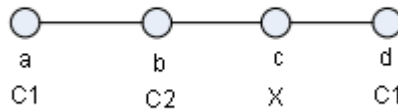
Μεταξύ γειτονικών κόμβων δεν επιτρέπεται η ανάθεση του ίδιου καναλιού εξαιτίας του προβλήματος παρεμβολών.



Εικόνα 12

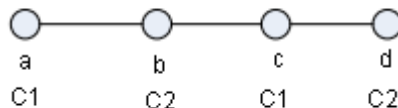
Αρχικά λοιπόν ο κάθε χρήστης καταθέτει στο πωλητή-spectrum broker (SpB) τις προσφορές τους ως ένα διάνυσμα $A=(d_i, b_i)$, όπου d_i ο αριθμός καναλιών που ζητά ο χρήστης i , με προσφορά b_i ανά κανάλι. Στη συνέχεια αφού ο SpB συλλέξει όλες τις προσφορές, τότε τις ταξινομεί με φθίνουσα σειρά σχηματίζοντας το διάνυσμα B . Ο αλγόριθμος ελέγχει αν υπάρχουν αρκετά κανάλια διαθέσιμα για να ικανοποιηθούν όλοι οι χρήστες και στη συνέχεια αναθέτει τα κανάλια ξεκινώντας από αυτόν με τη μεγαλύτερη προσφορά. Για παράδειγμα στον παραπάνω γράφο αν υπάρχουν δύο κανάλια ($C1, C2$) και ο

κάθε χρήστης επιθυμεί ένα κανάλι ($d_i=1$, για κάθε i) με προσφορές $b_a=5$, $b_b=4$, $b_c=1$, $b_d=2$ τότε η ανάθεση φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 13

Ο αλγόριθμος ξεκινά από τον a χρήστη και του αναθέτει το $C1$, εν συνεχεία ο δεύτερος με την μεγαλύτερη προσφορά είναι ο b του οποίου αναθέτει το $C2$, στη συνέχεια επιλέγεται ο χρήστης d στον οποίο ανατίθεται το $C1$, και τέλος ο χρήστης c δεν παίρνει κάποιο κανάλι καθώς στους γείτονές του, b και d έχουν ήδη ανατεθεί κανάλια οπότε αν ο c εξέπεμπε σε κάποιο από τα δύο θα δημιουργούσε προβλήματα παρεμβολής. Αν ο χρήστης c αυξήσει την προσφορά του σε $b_c=3$ τότε η ανάθεση είναι:



Εικόνα 14

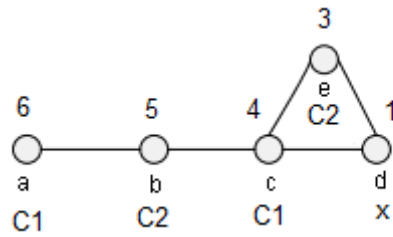
Ο κάθε χρήστης i χρεώνεται με μια τιμή p_i που υπολογίζεται ως το γινόμενο της προσφοράς του «κρίσιμου» γείτονά του επί τον αριθμό των καναλιών που αυτός τελικά πήρε.

Με τον όρο «κρίσιμο» γείτονα του i εννοούμε τον γείτονα του i , που όταν ο i ρίξει την προσφορά του κάτω από αυτήν του «κρίσιμου» γείτονα του τότε δεν θα του ανατεθεί κανάλι, αλλιώς θα του ανατεθεί.

Για παράδειγμα στον προηγούμενο γράφο ο «κρίσιμος» γείτονας του c είναι ο d . Οπότε ο c θα πληρώσει $p_c=2(\text{προσφορά } d) \times 1(\text{αριθμός καναλιών } c)=2$. Όμοια $p_a=4 \times 1=4$, $p_b=3 \times 1=3$, $p_d=0$.

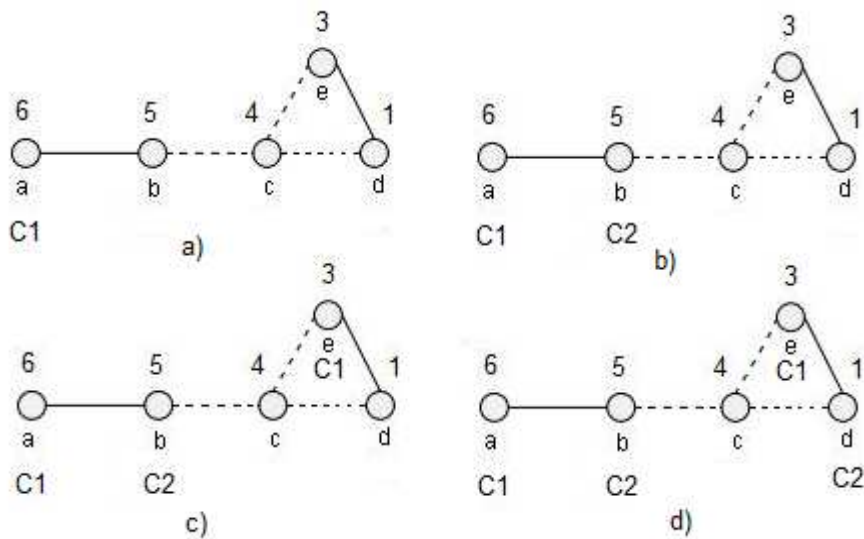
Ο τρόπος υπολογισμού του «κρίσιμου» γείτονα αν και μπορεί να φαίνεται αρκετά πολύπλοκος, στην πραγματικότητα μπορεί να επιτευχθεί με μία εκτέλεση του αλγορίθμου ανάθεσης καναλιών. Ο κρίσιμος γείτονας του i είναι δυνατόν να βρεθεί αν ο αλγόριθμος ανάθεσης εκτελεσθεί χωρίς την παρουσία του i και ο πρώτος γείτονάς του, που περιορίζει το επιθυμητό πλήθος καναλιών του i , κάτω από αυτό που ζητά ο i , είναι ο κρίσιμος γείτονάς του.

Στον παρακάτω γράφο οι πέντε κόμβοι επιθυμούν από ένα κανάλι και έστω ότι το πλήθος καναλιών προς παραχώρηση είναι δύο. Πάνω από κάθε κόμβο φαίνεται η προσφορά που έχει καταθέσει αυτός για την απόκτηση ενός καναλιού.



Εικόνα 15

Έστω ότι εξετάζουμε το ποσό πληρωμής του κόμβου c. Αν ξανατρέξουμε τον αλγόριθμο χωρίς την παρουσία του κόμβου c όπως φαίνεται παρακάτω στην εικόνα 16,

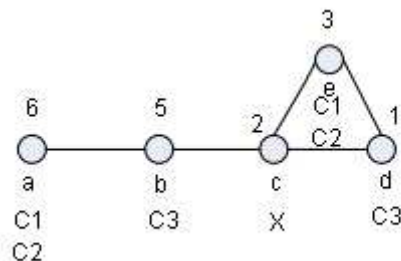


Εικόνα 16

η ανάθεση καναλιών ξεκινά με το C1 κανάλι που παραχωρείται στο κόμβο a. το C2 στο κόμβο b και στη συνέχεια το C1 στο κόμβο e. Με την παραχώρηση του καναλιού C1 στο κόμβο e, ο κόμβος e περιορίζει το πλήθος καναλιών που μπορούν να δοθούν στο κόμβο c κάτω από το πλήθος των καναλιών που ζητούσε ο c (από το 1 στο 0). Συνεπώς ο κρίσιμος γείτονας του c είναι ο e.

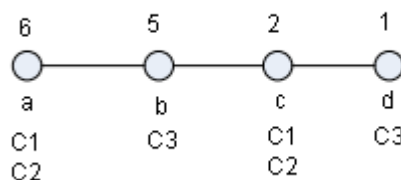
Ο αλγόριθμος αυτός μπορεί να εφαρμοστεί και για τη διάθεση περισσότερων του ενός καναλιού σε κάθε κόμβο.

Για παράδειγμα στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η ανάθεση τριών καναλιών C1, C2, C3 με $d_i=2$.



Εικόνα 17

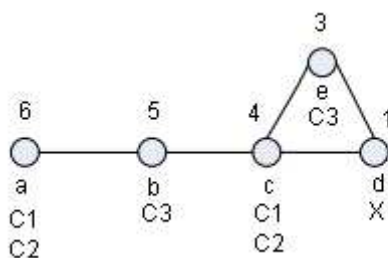
Ο τρόπος χρέωσης είναι ίδιος σχεδόν με την διαφορά ότι πλέον έχουμε περισσότερους του ενός «κρίσιμους» γείτονες. Ας εξετάσουμε το χρήστη e. Για τον υπολογισμό της χρέωσης και εύρεση του κάθε «κρίσιμου» γείτονα μπορούμε να τρέξουμε πάλι τον αλγόριθμο ανάθεσης χωρίς τη παρουσία του e. Οπότε ο βοηθητικός γράφος είναι:



Εικόνα 18

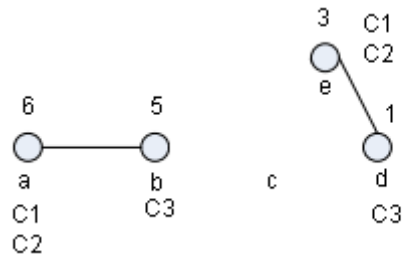
Αρχικά ξεκινάμε με τον a που έχει τη μεγαλύτερη προσφορά και του αναθέτουμε δύο κανάλια, εν συνεχεία ο b λαμβάνει το C3. Εν συνεχεία ο c («κρίσιμος» γείτονας του e) λαμβάνει τα κανάλια C1,C2 οπότε ο e αν ήταν στη βοηθητική δημοπρασία θα μπορούσε να πάρει το C3. Δεδομένου ότι πήρε 2 κανάλια στην κανονική δημοπρασία έχουμε $2-1=1$ κανάλι το οποίο το χρεώνεται με τιμή $b_c=2$. Όταν στη βοηθητική δημοπρασία ο d λάβει το C3, ο e δεν θα έχει άλλο κανάλι να λάβει, και για το κανάλι που έλαβε στην κανονική δημοπρασία πληρώνει όσο είναι το $b_d=1$. Συνολικά λοιπόν: $p_e=(2-1)x2+1x1=3$.

Αν είχαμε το παρακάτω γράφο:



Εικόνα 19

τότε για τη χρέωση του c με χρήση του βοηθητικού γράφου έχουμε:



Εικόνα 20

Ξεκινώντας από τον a του ανατίθενται τα C1,C2. Στη συνέχεια ανατίθενται στο b το C3. Ο c επομένως έχει διαθέσιμα τα C1, C2 λόγω του b. Στον πραγματικό γράφο όμως έχει αποκτήσει 2 κανάλια, οπότε $(2-2) \times 5 = 0$. Στη συνέχεια τα κανάλια C1, C2 δίδονται στο e. Ο c πλέον δεν έχει διαθέσιμα κανάλια καθώς το μόνο φαινομενικά δυνατό είναι το C3, το οποίο όμως δεν επιτρέπεται να δοθεί αφού έχει ήδη δοθεί σε γειτονικό κόμβο(b). Επομένως δεν υπάρχουν διαθέσιμα κανάλια στο βοηθητικό γράφο, άρα $(2-0) \times 3 = 6$. Τελικά $p_c = 0 + 6 = 6$.

Κεφάλαιο 4^ο : Απειλές δημοπρασιών

4.1 Παραβατικοί χρήστες και η συμπεριφορά τους

Όπως έχουμε προαναφέρει η ιδέα της δυναμικής παραχώρησης φάσματος για την κάλυψη των φασματικών οπών, είναι μια μέθοδος που θα βελτιώσει αποτελεσματικά τη χρησιμοποίηση του φασματικού πόρου. Η ιδέα αυτή θα πραγματοποιηθεί μελλοντικά όταν κατασκευαστούν οι πρώτες ασύρματες κάρτες δικτύου και βγουν στην αγορά. Μέχρι σήμερα, η τεχνολογία δεν επέτρεπε στους κόμβους να επιλέγουν μόνοι τους την συμπεριφορά την οποία επιθυμούν να επιδείξουν απέναντι στο σύνολο. Οι ασύρματες κάρτες δικτύου ήταν απολύτως “κλειστές”, δηλαδή δεν επέτρεπαν την κανενός είδους παραμετροποίηση τους. Στις μέρες μας, όμως, η τεχνολογία αλλάζει ραγδαία. Οι παράμετροι λειτουργίας πια δεν είναι αποθηκευμένες στο hardware όπως συνέβαινε παλαιότερα, πράγμα που καθιστούσε από πολύ δύσκολη έως αδύνατη την τροποποίησή τους. Κάρτες κατασκευής όπως της εταιρίας Atheros [25] συνοδεύονται από αντίστοιχα λογισμικά οδήγησης τα οποία παραμετροποιούν την ασύρματη κάρτα δικτύου. Τα λογισμικά αυτά όμως εκθέτουν σε προγραμματιστές σχεδόν το σύνολο των μεταβλητών των χαμηλότερου επιπέδου πρωτοκόλλων δικτύου. Και το μέλλον αναμένεται ακόμα πιο ευέλικτο. Το γεγονός ότι οι cognitive radio συσκευές θα βασίζονται στην λειτουργία τους στο Software-Defined-Radio, προμηνύει ότι ένα δίκτυο βασισμένο στο cognitive radio θα είναι ευάλωτο σε παραβατικούς χρήστες.

Οι παραβατικοί χρήστες μπορεί να είναι:

- **Παρεκτρεπόμενοι (Misbehaving) χρήστες**
Χρήστες οι οποίοι δεν ακολουθούν απολύτως κανένα θεσπισμένο κανόνα σχετικά με τον διαμοιρασμό του διαθέσιμου φάσματος
- **Εγωιστές (Selfish) χρήστες**
Χρήστες των οποίων η συμπεριφορά στοχεύει στην αύξηση των προσωπικών τους ωφελειών από την χρήση του φάσματος, αδιαφορώντας για το αν οι πράξεις τους επηρεάζουν αρνητικά την απόδοση των ανταγωνιστών τους
- **Απατεώνες (Cheat) χρήστες**
Χρήστες των οποίων η συμπεριφορά στοχεύει στην αύξηση των προσωπικών τους ωφελειών από την χρήση του φάσματος, ενώ ταυτόχρονα επιθυμούν την μείωση των αντίστοιχων ωφελειών των ανταγωνιστών τους
- **Εχθρικοί (Malicious) χρήστες**
Χρήστες των οποίων η συμπεριφορά παραβιάζει σκόπιμα τους κανόνες που κάθε μηχανισμός επιβάλλει, αδιαφορώντας για οποιαδήποτε προσωπικά οφέλη και κέρδη. Μόνος στόχος τους αποτελεί η πρόκληση προβλημάτων, είτε στο δίκτυο ως σύνολο, είτε σε επιλεγμένους κόμβους ξεχωριστά.

4.1.1 Γενικότερες παραβατικές συμπεριφορές

Μπορούν αν υπάρχουν διάφορα είδη πιθανών παραβατικών συμπεριφορών και επιθέσεων σε ένα δίκτυο που στηρίζεται στην ιδέα του cognitive radio[26]. Τέτοια είναι:

- Ένας χρήστης προσποιείται ότι δεν πληροφορήθηκε ποτέ σχετικά με τους ισχύοντες κανόνες (ή τις τροποποιήσεις επί αυτών) ενός δικτύου.
- Ένας χρήστης προσποιείται ότι η πληροφόρησή του σχετικά με τους άλλους χρήστες ήταν τροποποιημένη από τρίτους
- Ένας χρήστης ισχυρίζεται ψευδώς ότι απολαμβάνει χαμηλής ποιότητας υπηρεσία (low QoS) και επιθυμεί περισσότερους φασματικούς πόρους.
- Ένας χρήστης αγνοεί τους κανόνες περί μέγιστης ισχύος εκπομπής προκαλώντας προβλήματα παρεμβολών στους γείτονές του.
- Ένας χρήστης ενδέχεται να εκπέμπει σε κανάλια τα οποία δεν έχει δικαίωμα να εκπέμπει, διότι δεν του έχουν ανατεθεί.
- Ένας χρήστης ενδέχεται να εκπέμπει σε ένα κανάλι, το χρονικό διάστημα που δεν έχει δικαίωμα να εκπέμπει.
- Ένας χρήστης ενδέχεται να αποστείλει ψευδή ή παραπλανητικά στοιχεία μετρήσεων τα οποία αφορούν το περιβάλλον στο οποίο δραστηριοποιείται. Τέτοια στοιχεία ενδέχεται να αφορούν, τόσο εξωτερικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος, όπως για παράδειγμα το επίπεδο θερμικού θορύβου ενός καναλιού, όσο και σε εσωτερικά χαρακτηριστικά του δικτύου, όπως για παράδειγμα το επίπεδο των παρεμβολών οι οποίες προκλήθηκαν σε ένα κόμβο ύστερα από κάποια συγκεκριμένη ανάθεση φάσματος.
- Ένας χρήστης ενδέχεται να αρνείται να πραγματοποιήσει τις αλλαγές εκείνες στον τρόπο λειτουργίας του ώστε να συμμορφωθεί με τους νέους κανόνες που διέπουν το δίκτυο.
- Ένα χρήστης ενδέχεται να πέσει θύμα κλοπής ταυτότητας, την οποία εν συνεχεία ο επιτιθέμενος μπορεί να χρησιμοποιήσει με κακόβουλο τρόπο ώστε να πλήξει το θύμα, ή το δίκτυο, ή να επωφεληθεί ο ίδιος από αυτό.
- Ένας χρήστης ενδέχεται να προσπαθήσει να τροποποιήσει τα μεταδιδόμενα πακέτα που φέρουν κανόνες, ή τροποποιήσεις αυτών, και τα οποία απευθύνονται σε συγκεκριμένους χρήστες.
- Ένας χρήστης ενδέχεται να προσπαθήσει να εισάγει νέα πακέτα που φέρουν κανόνες τα οποία απευθύνονται σε συγκεκριμένους χρήστες.
- Ένας χρήστης ενδέχεται να προσπαθήσει να τροποποιήσει τα πακέτα που στέλνουν οι άλλοι χρήστες και απευθύνονται στο SpB.

4.1.2 Γενικότερες απειλές σε δημοπρασίες

Οι παραπάνω παραβατικές συμπεριφορές είναι γενικότερες και μπορούν να εμφανιστούν σε οποιοδήποτε μηχανισμό ανάθεσης πόρων. Δεδομένου όμως ότι εξετάζουμε την ανάθεση φασματικών πόρων μέσω μηχανισμών που στηρίζονται σε δημοπρασίες, οι παραβατικές συμπεριφορές που εμφανίζονται σε δημοπρασίες, αποτελούν άλλο ένα σημείο το οποίο χρήζει περισσότερης μελέτης. Η συμπεριφορά, δηλαδή, του χρήστη να είναι τέτοια που να μην εντάσσεται σε καμία από τις παραπάνω παραβατικές συμπεριφορές, αλλά να εκμεταλλεύεται τις αδυναμίες των μηχανισμών δημοπρασίας.

Οι βασικότερες απειλές δημοπρασιών περιγράφονται παρακάτω.

Bid Shielding

Το bid shielding είναι η ενέργεια κατά την οποία μια υψηλή προσφορά αποσύρεται την τελευταία στιγμή και η δημοπρασία λήγει με νικήτρια μια χαμηλότερη προσφορά. Η ενέργεια αυτή γίνεται κατόπιν συμπαιγνίας μεταξύ δύο παιχτών της δημοπρασίας. Για παράδειγμα, έστω ένας παίχτης καταθέτει προσφορά 20€ για την αγορά ενός βιβλίου που δημοπρατείται. Ένας άλλος παίχτης, κατόπιν συνεννόησης με αυτόν που έχει καταθέσει τα 20€, καταθέτει προσφορά 200€. Με τον τρόπο αυτό άλλοι παίχτες βλέποντας το υψηλό αυτό ποσό αποθαρρύνονται να συμμετάσχουν στη δημοπρασία. Την τελευταία στιγμή όμως η προσφορά των 200€ αποσύρεται, οπότε αυτή που μένει είναι αυτή των 20€.

Το bid shielding αποτελεί απειλή σε δημοπρασίες στις οποίες υπάρχει δυνατότητα ακύρωσης της προσφοράς και είναι γνωστή σε όλους η μέγιστη προσφορά. Τέτοιες δημοπρασίες είναι οι on-line δημοπρασίες σε διάφορα sites όπως το e-bay.

Για την αντιμετώπιση του bid shielding υπάρχει η δυνατότητα παράτασης του χρόνου δημοπρασίας σε περίπτωση ακύρωσης προσφοράς υψηλής τιμής, την τελευταία στιγμή. Επίσης οι πωλητές διαθέτουν ιστορικό καταγραφής προσφορών και ο χρήστης που έχει ιστορικό με τέτοια ενέργεια θεωρείται ύποπτος.

Bid siphoning

Είναι η ενέργεια κατά την οποία ένας «πωλητής» παρακολουθεί τη δημοπρασία και κάνει άμεση προσφορά, συνήθως χαμηλότερη από αυτή ενός πλειοδότη, προσφέροντάς του ένα εναλλακτικό ή παρόμοιο προϊόν. Με τον τρόπο αυτό οι ενδιαφερόμενοι αποκτούν τα προϊόντα παρακάμπτοντας τη διαδικασία της δημοπρασίας.

Αν και η διαδικασία του siphoning αρχικά φαίνεται αρκετά ελκυστική για τον συμμετέχοντα στη διαδικασία, ενέχει κινδύνους όσο αφορά της αξιοπιστία του «πωλητή». Η αγορά του προϊόντος ακολουθώντας τη διαδικασία της δημοπρασίας εξασφαλίζει τις απαραίτητες εγγυήσεις, δυνατότητα επιστροφής του προϊόντος αν αυτό είναι ελαττωματικό και ασφάλειας. Αντίθετα η αγορά του προϊόντος μέσω bid siphoning δεν εξασφαλίζει τίποτα από τα παραπάνω. Υπάρχουν επίσης περιπτώσεις που τον προϊόν δεν παραλήφθηκε ποτέ από τον αγοραστή του.

Η ενέργεια του bid siphoning είναι επιζήμια για τη διαδικασία της δημοπρασίας, διότι πρώτον το ποσό της χρέωσης που θα δίνονταν στη δημοπρασία, αν ο ενδιαφερόμενος αγόραζε το προϊόν από τη δημοπρασία δίνεται, τελικά στον «εναλλακτικό πωλητή», και δεύτερον είναι δυσφήμιση για τη δημοπρασία, οι πλειοδότες της να πέφτουν θύματα απάτης.

Bid Shilling

Το bid shilling είναι η ενέργεια κατά την οποία οι πλειοδότες σε συνεργασία με τον πωλητή καταθέτουν «δολώματα» προσφορές, για αύξηση του της τιμής του αντικειμένου που δημοπρατείται. Σε δημοπρασίες μέσω internet το bid shilling είναι δύσκολο να γίνει αντιληπτό, καθώς μπορεί ο πωλητής και ο πλειοδότης να είναι το ίδιο φυσικό πρόσωπο με διαφορετικό ID ή κάποιος φίλος, ή γνωστός του.

Bid Sniping

Το bid sniping είναι μία από τις μεγαλύτερες απειλές της διαδικασίας των δημοπρασιών και ίσως η πιο γνωστή. Είναι η ενέργεια κατά την οποία μια νικητήρια προσφορά κατατίθεται την τελευταία χρονική στιγμή (μερικά δευτερόλεπτα πριν λήξει ο χρόνος της δημοπρασίας) και η οποία δεν δίνει τη δυνατότητα κατάθεσης άλλων υψηλότερων προσφορών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα του πόσο διαδεδομένη απειλή είναι, είναι το γεγονός ότι διατίθενται προγράμματα τα οποία κάνουν αυτόματα bid sniping σε γνωστούς διαδικτυακούς τόπους πώλησης αντικειμένων με χρήση δημοπρασιών, όπως το eBay.

Το bid sniping οδηγεί σε μείωση του ανταγωνισμού μεταξύ των πλειοδοτών αφού αυτοί δεν μπορούν να αντιδράσουν μετά το πέρας της δημοπρασίας και επίσης το ύψος των τιμών των προσφορών πέφτει ως συνέπεια έλλειψης ανταγωνισμού. Οι πλειοδότες ισχυρίζονται ότι είναι άδικο για αυτούς να κατατίθενται προσφορές που δεν προλαβαίνουν να τις αξιολογήσουν και να προσφέρουν παραπάνω, καθώς και ότι πρέπει να περιμένουν το μέγιστο του χρόνου για να αποκλειστούν τελικά από τη δημοπρασία.

Για τους παραπάνω λόγους έχουν εφαρμοστεί τεχνικές αποτροπής του bid sniping. Μια τέτοια τεχνική είναι η αύξηση του χρόνου δημοπρασίας σε περίπτωση κατάθεσης προσφοράς την τελευταία χρονική στιγμή. Αυτός ο μηχανισμός αφήνει τη δημοπρασία ανοιχτή επιτρέποντας στους πλειοδότες να κάνουν προσφορές με τιμές μεγαλύτερες από αυτές του sniper.

Ένας άλλος μηχανισμός είναι η απευθείας αγορά του αντικειμένου που τίθεται σε δημοπρασία, η τιμή της οποίας είναι μεγαλύτερη από την ελάχιστη προσφορά που έχει κατατεθεί. Αυτό αποθαρρύνει το sniping καθώς ο ενδιαφερόμενος πλειοδότης αγοράζει κατευθείαν το αντικείμενο, ενώ ο sniper περιμένει την τελευταία στιγμή για να καταθέσει προσφορά. Στο e-Bay υπάρχει η επιλογή Buy It Now που εφαρμόζει τον παραπάνω μηχανισμό αποτροπής, αλλά μόνο σε αντικείμενα στα οποία δεν έχει γίνει καμία προσφορά. Οι snipers επομένως μπορούν με κατάθεση μιας πολύ μικρής προσφοράς να απενεργοποιήσουν το μηχανισμό αυτό.

Επίσης υπάρχει ο μηχανισμός της κρυφής προσφοράς, σύμφωνα με τον οποίο ο κάθε πλειοδότης καταθέτει την προσφορά του, αλλά και μια κρυφή προσφορά (που φαίνεται μόνο στο σύστημα και όχι στους άλλους πλειοδότες) η οποία είναι ίση με το μέγιστο ποσό που επιθυμεί να προσφέρει για την αγορά του αντικειμένου. Η κρυφή αυτή προσφορά ισχύει μόνο όταν η κανονική προσφορά του ξεπεραστεί από προσφορά άλλου πλειοδότη. Με τον τρόπο αυτό, όταν ο sniper καταθέτει προσφορά την τελευταία χρονική στιγμή, βλέπει την κανονική και όχι την κρυφή προσφορά, η οποία συνήθως είναι μεγαλύτερη από αυτήν του sniper. Με τον τρόπο αυτό αποτρέπεται το bid sniping.

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι το bid sniping είναι ίσως η σημαντικότερη απειλή για τις δημοπρασίες και κυρίως αυτές που γίνονται διαδικτυακά. Για το λόγο αυτό έχουν παρθεί και τα παραπάνω μέτρα αποτροπής του.

Συμπαιγνία

Η συμπαιγνία εμφανίζεται όταν δύο ή περισσότεροι συμμετέχοντες σε μια δημοπρασία, συνεννοούνται μεταξύ τους έτσι ώστε οι προσφορές που θα κάνουν να είναι μικρότερες από την πραγματική εκτίμησή τους έχοντας ως αποτέλεσμα τη μείωση των εσόδων του πωλητή. Η αντιμετώπιση λοιπόν της συμπαιγνίας είναι πολύ σημαντική και εξαρτάται από το είδος της δημοπρασίας. Οι ανοιχτές ανοδικές δημοπρασίες είναι ευάλωτες στη συμπαιγνία. Έστω ότι ο πλειοδότης A έχει την υψηλότερη προσφορά. Τότε οι υπόλοιποι

πλειοδότες συμφωνούν κανένας να μην προσφέρει περισσότερο. Ως αντάλλαγμα οι συμμετέχοντες στη συμπαιγνία λαμβάνουν από το νικητή του αντικειμένου ένα μέρος από το αντικείμενο που κερδήθηκε.

Αντίθετα οι καθοδικές και οι κλειστές δημοπρασίες είναι λιγότερο ευάλωτες στη συμπαιγνία και γι' αυτό το λόγο έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν σε δημοπρασίες συμβολαίων φασματικών τμημάτων.

Επίσης υπάρχει η πιθανότητα ο πωλητής να μην είναι αξιόπιστος και να θέλει να αυξήσει τα έσοδά του από τη δημοπρασία. Η τοποθέτηση «πλαστών» προσφορών στις δημοπρασίες δεύτερης τιμής ωφελεί τον πωλητή, διότι ο νικητής καλείται να πληρώσει το ποσό της «πλαστικής» προσφοράς που είναι μεγαλύτερο από την προσφορά του δεύτερου πλειοδότη.

Απειλές σε κλειστές δημοπρασίες

Εκτός από τα παραπάνω που αναφέρθηκαν σχετικά με την συμπαιγνία, οι κλειστές δημοπρασίες αντιμετωπίζουν και αυτές προβλήματα ασφάλειας. Πιο συγκεκριμένα αυτό εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο ανοίγουν οι κλειστές προσφορές των πλειοδοτών. Υπάρχουν δύο τρόποι. Πρώτον να τις ανοίξουν οι ίδιοι οι πλειοδότες, και δεύτερον να τις αποστείλουν κλειστές στον πωλητή, ο οποίος και τις ανοίγει.

Για την πρώτη κατηγορία το σημαντικότερο πρόβλημα είναι ο πλειοδότης να αρνηθεί να ανοίξει την προσφορά. Αυτό μπορεί να συμβεί για δύο λόγους. Πρώτον, ο πλειοδότης έχει δει με κάποιο τρόπο τις προσφορές των άλλων πλειοδοτών και πιστεύει ότι η προσφορά του είναι πολύ υψηλή. Δεύτερον, λόγω τεχνικών προβλημάτων επικοινωνίας.

Στην δεύτερη κατηγορία, όπως προαναφέρθηκε, ο πωλητής μπορεί να τοποθετήσει «πλαστές» προσφορές με σκοπό να προκαλέσει αύξηση των εσόδων του, στις κλειστές δημοπρασίες δεύτερης τιμής.

4.2 Απειλές ασφαλείας σε πρωτόκολλα δημοπρασιών

Παρακάτω περιγράφονται απειλές που μπορούν να υπάρχουν σε συγκεκριμένους μηχανισμούς ανάθεσης πόρων με χρήση δημοπρασιών.

4.2.1 Δημοπρασία ανάθεσης ενός φασματικού τμήματος

Όπως είδαμε παραπάνω η δημοπρασία ανάθεσης ενός φασματικού τμήματος μπορεί να γίνει με δύο τρόπους: διαδοχικά ή ταυτόχρονα και είδαμε ότι μεγαλύτερα έσοδα φέρνει η διαδοχική ανάθεση, αν και είναι πιο χρονοβόρα από την ταυτόχρονη.

Όσο αφορά το διαδοχικό τρόπο δημοπρασίας, το πρωτόκολλο αυτό προϋποθέτει ότι κάθε πλειοδότης δύναται να αποκτήσει μόνο ένα φασματικό τμήμα για την εξασφάλιση της κοινωνικής ευημερίας. Το ερώτημα λοιπόν που ανακύπτει είναι, πώς θα λειτουργήσει ο μηχανισμός αυτός αν ο πλειοδότης καταθέσει περισσότερες της μίας προσφορές.

Έστω ότι βρισκόμαστε στη κατάσταση k . Δηλαδή υπάρχουν $n-k$ πλειοδότες για τα $m-k$ φασματικά τμήματα. Είδαμε ότι η βέλτιστη προσφορά που μπορεί να καταθέσει ο i

πλειοδότης για να αποκτήσει ένα φασματικό τμήμα είναι: $b_i^{opt} = \frac{(n-k-1)V_i + b_{\min}}{n-k}$, με την

υπόθεση ότι πρέπει να νικήσει $n-k-1$ αντιπάλους. Αν όμως στην κατάσταση k και για το $k+1$ φασματικό τμήμα, ένας από τους προηγούμενους πλειοδότες που ήδη έχει αποκτήσει φασματικό τμήμα καταθέσει και αυτός προσφορά, τότε ο i πλειοδότης πρέπει να νικήσει $n-k$

αντιπάλους. Αυτό σημαίνει ότι η πιθανότητα νίκης είναι: $P_{win}(b_i) = \left(\frac{b_i - b_{\min}}{V_{\max} - b_{\min}} \right)^{(n-k)}$.

Συνεπώς η καθαρή η ωφέλεια είναι:

$NB_i = (V_i - b_i)P_{win}(b_i) = (V_i - b_i) \left(\frac{b_i - b_{\min}}{V_{\max} - b_{\min}} \right)^{(n-k)}$ και η βέλτιστη προσφορά είναι:

$b_i^{opt} = \frac{(n-k)V_i + b_{\min}}{n-k+1}$ που προκύπτει από μηδενισμό της παραγώγου του NB ως προς b_i .

Συγκρίνοντας τώρα το b_i^{opt} και $b_i'^{opt}$ έχουμε:

Έστω $b_i^{opt} < b_i'^{opt}$ τότε:

$$\frac{(n-k-1)V_i + b_{\min}}{n-k} < \frac{(n-k)V_i + b_{\min}}{n-k+1} \Leftrightarrow$$

$$(n-k-1)(n-k+1)V_i + (n-k+1)b_{\min} < (n-k)^2V_i + (n-k)b_{\min} \Leftrightarrow$$

$$(n-k-1)(n-k+1)V_i < (n-k)^2V_i - b_{\min}$$

Αν κάνουμε την αντικατάσταση $n-k=a$ τότε έχουμε:

$$(a-1)(a+1) < a^2 - \frac{b_{\min}}{V_i} \Leftrightarrow a^2 - 1 < a^2 - \frac{b_{\min}}{V_i} \Leftrightarrow -1 < -\frac{b_{\min}}{V_i} \Leftrightarrow b_{\min} < V_i$$

Παρατηρούμε δηλαδή ότι για να είναι $b_i^{opt} < b_i'^{opt}$ πρέπει να ισχύει $b_{\min} < V_i$. Όμως στη γενικότερη περίπτωση $b_{\min} < V_i$ ισχύει πάντα. Συνεπώς $b_i^{opt} < b_i'^{opt}$ ισχύει πάντα.

Συμπερασματικά λοιπόν καταλήγουμε στο ότι αν ένας πλειοδότης που έχει ήδη κερδίσει στη δημοπρασία, συμμετάσχει ξανά σε αυτήν τότε η βέλτιστη προσφορά του i μεγαλώνει. Άρα επομένως ο i καλείται να πληρώσει μεγαλύτερο ποσό για την απόκτηση του φασματικού τμήματος σε σχέση με πριν. Έτσι λοιπόν όχι μόνο δεν διατηρείται η κοινωνική ευημερία, αφού ο άπληστος πλειοδότης έχει τη δυνατότητα να αποκτήσει και άλλο φασματικό τμήμα, αλλά η τοποθέτηση της προσφοράς του ωθεί τις προσφορές νίκης των άλλων παιχτών σε μεγαλύτερα ποσά.

Στην περίπτωση των ταυτόχρονων δημοπρασιών έχουμε ότι η βέλτιστη προσφορά για την απόκτηση της φασματικής ζώνης είναι: $b_i = \frac{(n-m)V_i + b_{\min}}{n-m+1}$. Έστω ότι ένας

χρήστης ή κάποιο σύνολο από αυτούς ή όλοι εκτός του i , καταθέτουν r επιπλέον προσφορές. Στην περίπτωση αυτή, ο χρήστης i για να αποκτήσει ένα φασματικό τμήμα θα πρέπει η προσφορά του να είναι μεγαλύτερη από $n-m+r$ προσφορές. Η πιθανότητα νίκης στην

περίπτωση αυτή είναι: $P_{win}'(b_i) = \left(\frac{b_i - b_{\min}}{V_{\max} - b_{\min}} \right)^{(n-m+r)}$. Το καθαρό όφελος δίνεται από τον

τύπο: $NB_i' = (V_i - b_i)P_{win}'(b_i) = (V_i - b_i) \left(\frac{b_i - b_{\min}}{V_{\max} - b_{\min}} \right)^{(n-m+r)}$ και η μεγιστοποίησή του

πραγματοποιείται όταν $b_i' = \frac{(n-m+r)V_i + b_{\min}}{n-m+r+1}$. Έστω ότι $b_i' > b_i$ τότε έχουμε ότι:

$$\frac{(n-m+r)V_i + b_{\min}}{n-m+r+1} > \frac{(n-m)V_i + b_{\min}}{n-m+1} \text{ Αν θέσουμε } n-m=a \text{ τότε η ανίσωση γίνεται:}$$

$$\frac{(a+r)V_i + b_{\min}}{a+r+1} > \frac{aV_i + b_{\min}}{a+1} \Leftrightarrow ((a+r)V_i + b_{\min})(a+1) > (a+r+1)(aV_i + b_{\min}) \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow a^2V_i + aV_i + arV_i + rV_i + ab_{\min} + b_{\min} > a^2V_i + ab_{\min} + arV_i + rb_{\min} + arV_i + b_{\min} \Leftrightarrow$$

$\Leftrightarrow rV_i > rb_{\min} \Leftrightarrow V_i > b_{\min}$ που αληθεύει στη γενικότερη περίπτωση. Άρα και η σχέση $b_i' > b_i$ αληθεύει. Συνεπώς για το χρήστη i , η βέλτιστη προσφορά αυξάνεται με την προσθήκη r περισσότερων προσφορών.

Συμπερασματικά λοιπόν μπορούμε να πούμε ότι ο μηχανισμός τόσο στις διαδοχικές δημοπρασίες όσο και στην ταυτόχρονη, είναι ευάλωτος σε τέτοιου είδους παραβατικές συμπεριφορές. Η κατάθεση περισσότερων προσφορών από τους $n-1$ χρήστες οδηγεί το χρήστη i σε αύξηση της δικής του βέλτιστης προσφοράς. Αυτός που πλήττεται είναι ο χρήστης i και όχι τα έσοδα του πωλητή της δημοπρασίας. Αν θεωρήσουμε ότι το ποσό πληρωμής του κάθε χρήστη i είναι ανάλογο της προσφοράς που κατέθεσε, τα έσοδα της δημοπρασίας αυξάνονται, καθώς ο χρήστης i οφείλει να καταθέσει μεγαλύτερη προσφορά για να νικήσει στη δημοπρασία. Συνεπώς ο πωλητής δεν έχει κίνητρο να εμποδίσει την παραβατική αυτή συμπεριφορά. Τέλος το ίδιο αποτέλεσμα θα προέκυπτε αν ο πωλητής τοποθετούσε πλαστές προσφορές στην ταυτόχρονη δημοπρασία τμημάτων φάσματος.

4.2.2. Δημοπρασία με πρόσβαση TDMA και χρήση χρονικού τμήματος πληρωμής

Το πρωτόκολλο αυτό όπως έχει ήδη αναλυθεί, λειτουργεί με κλειστή δημοπρασία δεύτερης τιμής, αλλά ακολουθεί ένα διαφορετικό τρόπο πληρωμής, καθώς αυτή εκφράζεται ως ένα ποσοστό του συνολικού χρόνου μιας χρονοθυρίδας T . Το χρονικό τμήμα της χρονοθυρίδας που παραχωρείται από το νικητή στο κυρίαρχο χρήστη-πωλητή, είναι ανάλογο με την δεύτερη μεγαλύτερη προσφορά.

Οι απειλές όσο αφορά την ασφάλεια του παραπάνω πρωτοκόλλου δύναται να προέρχονται τόσο από τους χρήστες που παίρνουν μέρος στη δημοπρασία, όσο και από τον ίδιο τον πωλητή-κυρίαρχο χρήστη.

Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση που ένας κακόβουλος χρήστης καταθέτει προσφορές οι οποίες τείνουν στη μονάδα, τότε ο χρήστης αυτός θα είναι και ο νικητής της κάθε χρονοθυρίδας. Οι προσφορές που καταθέτει ο κάθε χρήστης είναι το ποσοστό της χρονοθυρίδας που επιθυμεί να λάβει. Έστω για παράδειγμα ότι τρεις χρήστες καταθέτουν προσφορά για μια χρονοθυρίδα οπότε προκύπτει το διάνυσμα προσφορών $B_1 = (0,5 \ 0,4 \ 0,9)$. Νικητής θα είναι ο χρήστης 3 οποίος θα χρειαστεί να «πληρώσει» τη δεύτερη μικρότερη προσφορά, δηλ $0,5T$ και να χρησιμοποιήσει το υπόλοιπο $0,5T$. Στη συνέχεια δεδομένου ότι οι χρήστες 1 και 2 δεν νίκησαν στη δημοπρασία, αυξάνουν τις προσφορές τους έστω

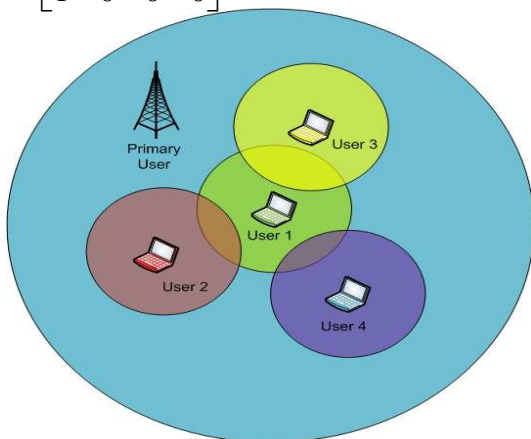
$B_2=(0,7 \ 0,6 \ 0,9)$. στην περίπτωση αυτή ο χρήστης 3 νικάει και πάλι αλλά αυτήν την φορά «πληρώνει» $0,7T$ και χρησιμοποιεί το $0,3T$. Τέλος στην επόμενη χρονοθυρίδα το διάνυσμα προσφορών είναι $B_3=(0,95 \ 0,8 \ 0,9)$ οπότε ο χρήστης 1 είναι ο νικητής και πληρώνει το $0,9T$ και χρησιμοποιεί μόνο το $0,1T$. Παρατηρούμε λοιπόν ότι ο χρήστης 1 δεν κέρδισε στις δύο πρώτες χρονοθυρίδες αλλά μόνο στην τρίτη και ουσιαστικά την χρησιμοποίησε για $0,1T$. Ένας κακόβουλος χρήστης λοιπόν θα μπορούσε να καταθέτει επίτηδες υψηλές προσφορές αναγκάζοντας τους άλλους χρήστες να αυξήσουν τις προσφορές τους. Η αύξηση των προσφορών αυτών όμως θα οδηγήσει σε ελαχιστοποίηση της χρησιμοποίησης της χρονοθυρίδας και σε μεγιστοποίηση του χρόνου πληρωμής. Ο κυρίαρχος χρήστης επομένως δεν έχει κίνητρο να αντιμετωπίσει την παραβατική αυτή συμπεριφορά. Η παραβατική αυτή συμπεριφορά είναι ουσιαστικά ένα bid shilling με κατάθεση προσφορών-δολωμάτων για αύξηση των προσφορών των μη παραβατικών χρηστών.

Οι ενέργειες του κυρίαρχου χρήστη, μπορούν να αποτελέσουν απειλή για το μηχανισμό αυτό. . Αν για παράδειγμα το διάνυσμα προσφορών είναι $B=(0,2 \ 0,1 \ 0,4)$ τότε ο χρόνος μίσθωσης είναι $T/2$ και ο χρόνος παραχώρησης $T/2$. Αν ο κυρίαρχος χρήστης εισάγει μια ψεύτικη προσφορά με τιμή $0,3$, τότε το διάνυσμα προσφορών γίνεται $B'=(0,2 \ 0,1 \ 0,4 \ 0,3)$. Ο χρήστης 3 είναι πάλι νικητής αλλά με περίοδο μίσθωσης $T/4$, και χρόνο παραχώρησης $3T/4$. Επομένως το 75% του χρόνου της πρώτης χρονοθυρίδας δεσμεύεται από τον κυρίαρχο χρήστη που στη συνέχεια μπορεί να το αξιοποιήσει για δικό του όφελος. Γενικότερα όσο πιο πολύ πλησιάζει η ψεύτικη προσφορά την προσφορά του χρήστη που νικά, τόσο πιο άδικη είναι η κατανομή του χρόνου μέσα στη χρονοθυρίδα.

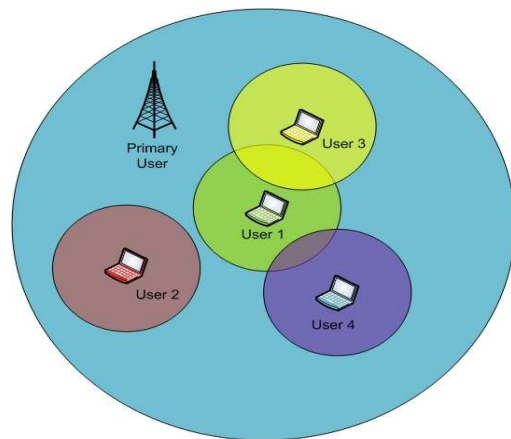
4.2.3. Δημοπρασίες φασματικών τμημάτων με χρήση μηχανισμού VCG

Στο πρωτόκολλο αυτό είδαμε την χρήση του μηχανισμού VCG για ανάθεση και χρέωση των νικητών της δημοπρασίας φάσματος. Η ανάθεση των φασματικών περιοχών γίνεται με χρήση του πίνακα C όπου αν $c_{ij}=0$ οι χρήστες δεν παρεμβάλλουν, ενώ αν $c_{ij}=1$ οι χρήστες παρεμβάλλουν μεταξύ τους. Τα δεδομένα αυτά στέλνονται από τους δευτερεύοντες χρήστες στον κυρίαρχο χρήστη που διεξάγει τη δημοπρασία. Έστω ότι έχουμε τον πίνακα

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ που αντιστοιχεί στην εικόνα.}$$



Εικόνα 21



Εικόνα 22

Αν οι δευτερεύοντες χρήστες 1 και 2 συνεννοηθούν μεταξύ τους και αποστείλουν δεδομένα στον κυρίαρχο χρήστη τέτοια ώστε να θεωρεί ότι δεν παρεμβάλλουν μεταξύ τους

τότε ο πίνακας C γίνεται $C' = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$. Αν υποθέσουμε ότι οι προσφορές των χρηστών

είναι b_i σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα,

Χρήστες	b_i	x_i	x'_i	p'_i
1	15	0	1	8
2	6	1	1	0
3	10	1	0	0
4	4	1	0	0

παρατηρούμε ότι αν η ανάθεση του φασματικού τμήματος γίνει με βάση το πίνακα C τότε οι χρήστες 2, 3, 4 έχουν το δικαίωμα να εκπέμψουν καθώς $6+10+4=24 > 15$. Αν η ανάθεση γίνει βάσει του πίνακα C' παρατηρούμε ότι δικαίωμα να εκπέμψουν έχουν οι χρήστες 1, 2. Παρατηρούμε δηλαδή ότι μια τέτοια μορφή συμπαιγνίας, οδηγεί σε αλλαγή της νικητών της δημοπρασίας, αλλά και μειώνει την επιθυμητή ποιότητα υπηρεσιών, λόγω παρεμβολής.

Επίσης συμπαιγνία μπορεί να εμφανιστεί και κατά την εφαρμογή του VCG μηχανισμού. Πιο συγκεκριμένα, στο παρακάτω παράδειγμα βλέπουμε ότι οι ωφέλειες των χρηστών 2,3,4 είναι 2,6,2 αντίστοιχα. Βάσει του αλγορίθμου και με δεδομένο τον πίνακα C νικητής θα είναι ο χρήστης 1, επειδή έχει ωφέλεια μεγαλύτερη από το άθροισμα των άλλων τριών, οπότε θα του ανατεθεί και ο φασματικός πόρος.

Για $C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ και

Χρήστες	u_i	x_i	p_i
1	15	1	10
2	2	0	0
3	6	0	0
4	2	0	0

ο χρήστης 1 θα πληρώσει $p_1=10-(15-15)=10$. Οπότε το καθαρό όφελός του θα είναι $r_1=15-10=5$.

Αν όμως οι χρήστες 2,3,4 συνεννοηθούν μεταξύ τους και αυξήσουν τις προσφορές τους σε κάποια πλασματικά νούμερα, όπως φαίνεται παρακάτω,

Χρήστες	u_i	b_i	x_i	p_i
1	15	15	0	0
2	2	6	1	1

3	6	10	1	5
4	6	4	1	0

τότε αυτοί θα είναι οι νικητές της δημοπρασίας. Η καθαρή τους ωφέλεια είναι:

$$r_2 = x_2 u_2 - p_2 = 1 \cdot 2 - 1 = 1$$

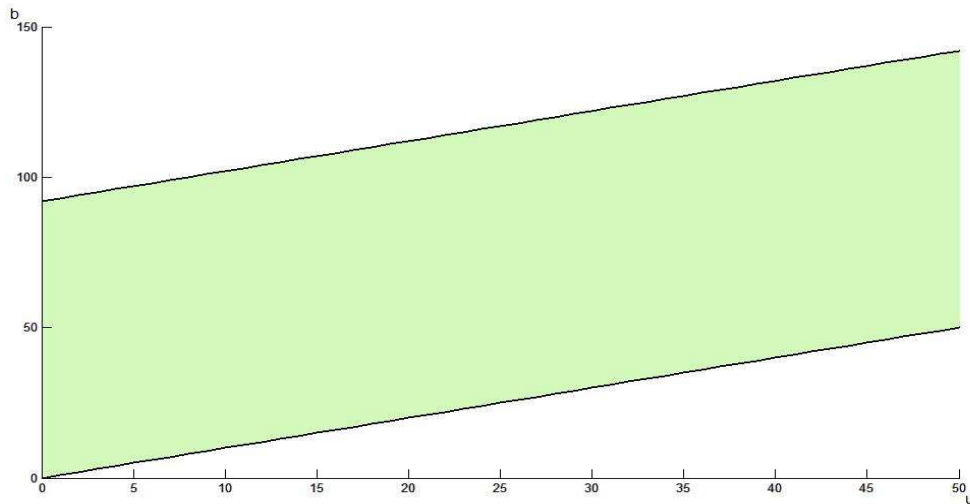
$$r_3 = x_3 u_3 - p_3 = 1 \cdot 6 - 5 = 1$$

$$r_4 = x_4 u_4 - p_4 = 1 \cdot 2 - 0 = 2$$

Το πόσο θα αυξήσουν τις προσφορές οι χρήστες 2,3,4 εξαρτάται από το την μέγιστη προσφορά που έχει κατατεθεί και από τις προσφορές των άλλων χρηστών. Δηλαδή για κάθε χρήστη i που παίρνει μέρος στη συμπαιγνία πρέπει να ισχύει ότι:

$$b_{\max} - \left(\sum_{i=2}^4 b_i - b_i \right) \leq u_i \Leftrightarrow b_{\max} \leq u_i - b_i + \sum_{i=2}^4 b_i \Leftrightarrow b_{\max} - \sum_{i=2}^4 b_i \leq u_i - b_i$$

Η παραπάνω ανίσωση μπορεί να δειχθεί και γραφικά όπως φαίνεται στην εικόνα 23.



Εικόνα 23

Στον x άξονα έχει τοποθετηθεί η ωφέλεια του χρήστη i ενώ στο y άξονα η προσφορά που καταθέτει. Για κάθε διαφορά $\sum_{i=2}^4 b_i - b_{\max}$ δημιουργείται μια εξίσωση της μορφής $y=x$

$+ \sum_{i=2}^4 b_i - b_{\max}$. Συνεπώς για όλα τα $\sum_{i=2}^4 b_i - b_{\max}$ η προσφορά του i πρέπει να είναι μέσα σε

αυτήν τη λωρίδα. Εδώ θεωρήθηκε ότι $\max(\sum_{i=2}^4 b_i - b_{\max}) = 92$.

Επειδή οι χρήστες 2, 3, 4 έχουν θετικό καθαρό όφελος, συμπεραίνουμε ότι θα επιδιώξουν να πραγματοποιήσουν συμπαιγνία. Παρατηρούμε όμως ότι τα έσοδα του πωλητή μειώθηκαν από 10 σε 6, γεγονός που υποδηλώνει ότι ο πωλητής έχει κίνητρο να αντιμετωπίσει την συμπαιγνία. Τέλος, αν όλες οι ωφέλειες είχαν την ίδια τιμή u_i , τότε με χρήση του αλγορίθμου προκύπτει ότι $p_i = 0$.

Παρατήρηση: Για τον υπολογισμό των παραπάνω καθαρών ωφελειών σαν u_i χρησιμοποιήθηκε η πραγματική ωφέλεια των χρηστών 2,3,4.

4.2.4 Δημοπρασία τμημάτων ισχύος

Στο πρωτόκολλο αυτό είδαμε ότι χρησιμοποιείται ο VCG μηχανισμός για τη διάθεση των φασματικών τμημάτων με δημοπρασίες στο επίπεδο της ισχύος. Οι απειλές που μπορεί να υπάρξουν στο μηχανισμό αυτό βασίζονται κυρίως στις καθαυτές αδυναμίες των δημοπρασιών VCG.

Οι κύριες αδυναμίες του μηχανισμού αυτού είναι η υπολογιστική επίλυση M+1 προβλημάτων βελτιστοποίησης γεγονός που μπορεί να επιβαρύνει και να καθυστερήσει την διάθεση των φασματικών πόρων για μεγάλα κυρίως δίκτυα, καθώς και η ύπαρξη συμπαιγνίας μεταξύ των χρηστών που αποτελεί σοβαρή απειλή για την δημοπρασία.

Η παραλλαγή του μηχανισμού αυτού είναι η ανάθεση και η χρέωση των φασματικών τμημάτων να γίνεται αναλογικά με τις προσφορές που κατέθεσαν οι ενδιαφερόμενοι. Η ανάθεση των τμημάτων ισχύος γίνεται μέσω του τύπου

$$p_i g_{i0} = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^M b_i + \beta} P^{\max}.$$

Αν όμως ο χρήστης i καταθέσει μια προσφορά b_i τέτοια ώστε $b_i \gg \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^M b_j + \beta$, τότε

υπάρχει περίπτωση τα p_j με $j \neq i$ να είναι τόσο μικρά που να μην επαρκούν για την πραγματοποίηση της ζεύξης.

Έστω για παράδειγμα ότι υπάρχουν τρεις πλειοδότες, Α,Β,Γ. Ο κάθε ένας από αυτούς γνωρίζει το g_{i0} που έχει, και γνωρίζει ότι για να εκπέμψει στον επιθυμητό δέκτη πρέπει να έχει p_i τουλάχιστον 2dBm. Ορίζεται ως $P^{\max}=10dBm$. Έστω ότι οι πλειοδότες καταθέτουν τις προσφορές τους, σχηματίζοντας το διάνυσμα $B=(20, 1, 5)$. Επίσης $\beta=10$. Στην περίπτωση αυτή όμως για τον Α ισχύει ότι:

$$\frac{b_i}{\sum_{i=1}^M b_i + \beta} P^{\max} = \frac{20}{36} 10dBm = 5,55dBm$$

$$\text{Όμοια για τον Β: } \frac{1}{36} 10dBm = 0,27dBm$$

$$\text{Όμοια για τον Γ: } \frac{5}{36} 10dBm = 1,38dBm$$

Παρατηρούμε λοιπόν ότι ούτε ο Β, ούτε ο Γ έχουν τη δυνατότητα να εκπέμψουν. Αυτή η περίπτωση αν και φαίνεται ακραία, μπορεί να υπάρξει αν ο Α θεωρηθεί ότι είναι κακόβουλος χρήστης και έχει σκοπό να πλήξει τη διαδικασία της δημοπρασίας. Η ελάχιστη προσφορά που θα πρέπει να καταθέσει ο Α για δεδομένες προσφορές των Β και Γ μπορεί να προκύψει με επίλυση των παρακάτω ανισώσεων.

$$\frac{b_A}{b_A + b_B + b_\Gamma + \beta} P^{\max} \geq 2 \quad \text{για να μπορεί να εκπέμψει ο χρήστης Α και}$$

$$\frac{b_B}{b_A + b_B + b_\Gamma + \beta} P^{\max} < 2 \quad \text{για να μην μπορέσει να εκπέμψει ο χρήστης Β και}$$

$$\frac{b_{\Gamma}}{b_A + b_B + b_{\Gamma} + \beta} P^{\max} < 2 \text{ για να μην μπορέσει να εκπέμψει ο χρήστης } \Gamma$$

$$\text{Η επίλυση της πρώτης ανίσωσης δίνει: } b_A \geq \frac{2(b_B + b_{\Gamma} + \beta)}{P^{\max} - 2}$$

$$\text{της δεύτερης δίνει: } b_A > \frac{b_B P^{\max} - 2(b_B + b_{\Gamma} + \beta)}{2}$$

$$\text{της τρίτης δίνει: } b_A > \frac{b_{\Gamma} P^{\max} - 2(b_B + b_{\Gamma} + \beta)}{2}$$

Από τις παραπάνω ανισοτικές σχέσεις φαίνεται ότι ο Α θα πρέπει να επιλέξει μία τέτοια τιμή προσφοράς που να του δίνει τη δυνατότητα να εκπέμψει, αλλά αν επιλέξει μια προσφορά που είναι μεγαλύτερη από $\frac{b_B P^{\max} - 2(b_B + b_{\Gamma} + \beta)}{2}$ τότε θα αποκλείσει το χρήστη Β ενώ αν επιλέξει μια προσφορά μεγαλύτερη από $\frac{b_{\Gamma} P^{\max} - 2(b_B + b_{\Gamma} + \beta)}{2}$ θα αποκλείσει και τους δύο.

Αν τώρα υποθέσουμε ότι υπάρχουν Μ χρήστες που διεκδικούν τα τμήματα ισχύος και θέλουν να εκπέμψουν σε δέκτες με ευαισθησία P^{th} , τότε καταθέτουν προσφορές b_i . Έστω ότι ο χρήστης j είναι κακόβουλος χρήστης και θέλει να πλήξει τη διαδικασία της δημοπρασίας. Αν ο χρήστης j καταθέσει προσφορά:

$$b_j \geq \frac{P^{th} \left(\sum_{\substack{i=1 \\ j \neq i}}^M b_i + \beta \right)}{P^{\max} - P^{th}}$$

τότε θα μπορεί να εκπέμψει, και αν η προσφορά του ικανοποιεί την ανίσωση

$$b_j > \frac{b^* P^{\max} - P^{th} \left(\sum_{\substack{i=1 \\ j \neq i}}^M b_i + \beta \right)}{P^{th}}$$

τότε μπορεί να εμποδίσει την εκπομπή του χρήστη με προσφορά b^* αλλά και όσων έχουν προσφορά μικρότερη από b^* .

4.2.5 Δημοπρασία τμημάτων ισχύος ανοδικής τιμής

Η δημοπρασία τμημάτων ισχύος ανοδικής τιμής είναι μια δημοπρασία κατά την οποία οι χρήστες αποστέλλουν για κάθε τιμή q της ισχύος που ορίζεται από τον διαχειριστή της δημοπρασίας, την καθαρή τους ωφέλεια και την ποσότητα της ισχύος στην οποία επιτυγχάνεται αυτή.

Το βασικό μειονέκτημα αυτής της δημοπρασίας είναι ο μεγάλος όγκος πληροφοριών που πρέπει να ανταλλαχθούν μεταξύ χρηστών και κυρίαρχου χρήστη για την ανάθεση της ισχύος εκπομπής. Ειδικότερα αυτό εξαρτάται από το πλήθος των βημάτων Δq , την αρχική τιμή του q, την ωφέλεια του κάθε χρήστη για το κάθε ποσοστό της ισχύος αλλά και από το πλήθος των χρηστών.

Για παράδειγμα έστω ότι υπάρχουν 2 πλειοδότες, ένας ο κυρίαρχος και ένας δευτερεύον, με ωφέλειες που φαίνονται παρακάτω.

	Κυρίαρχος πλειοδότης 0	Πλειοδότης 1
ωφέλεια 20%	100	80
ωφέλεια 40%	180	160
ωφέλεια 60%	210	220

Αν επιλεγθεί το αρχική τιμή του $q=100$ τότε με $\Delta q=1$ η λήξη της δημοπρασίας πραγματοποιείται μετά από 51 βήματα.

50^ο βήμα

$q=150$	20%	40%	60%	Διάθεση
Κυρίαρχος	70	120	120	60%
Πλειοδότης 1	50	100	130	60%

51^ο βήμα

$q=151$	20%	40%	60%	Διάθεση
Κυρίαρχος	69,8	119,6	119,4	40%
Πλειοδότης 1	59,8	99,6	129,4	60%

Στην περίπτωση που εισαχθεί στη δημοπρασία ένας 2^{ος} πλειοδότης με πίνακα ωφέλειας όπως φαίνεται παρακάτω

	Κυρίαρχος πλειοδότης 0	Πλειοδότης 1	Πλειοδότης 2
ωφέλεια 20%	100	80	50
ωφέλεια 40%	180	160	130
ωφέλεια 60%	210	220	190

τότε η λήξη της δημοπρασίας πραγματοποιείται μετά από 226 βήματα.

225^ο βήμα

$q=325$	20%	40%	60%	Διάθεση
Κυρίαρχος	35	50	15	40%
Πλειοδότης 1	15	30	25	40%
Πλειοδότης 2	-15	0	-5	40%

226^ο βήμα

$q=326$	20%	40%	60%	Διάθεση
Κυρίαρχος	34,8	49,6	14,4	40%
Πλειοδότης 1	14,8	29,6	24,4	40%
Πλειοδότης 2	-15,2	-0,4	-5,6	0%

Όπως φαίνεται από των παραπάνω πίνακα, ο πλειοδότης 2 αποκλείεται από την δημοπρασία στο 226^ο βήμα καθώς η καθαρή του ωφέλεια για το 40% των διαθέσιμων πόρων γίνεται αρνητική. Επιπλέον παρατηρούμε ότι με τη λήξη της δημοπρασίας διατίθεται το 80% των πόρων (40% στον κυρίαρχο και 40% στο πλειοδότη 1) και όχι το 100% όπως θα ήταν αναμενόμενο να συμβεί.

Η ύπαρξη επομένως περισσότερων πλειοδοτών μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλους αριθμούς βημάτων και επομένως σημαντική καθυστέρηση της διαδικασίας της δημοπρασίας. Η αύξηση όμως των αριθμών των βημάτων οδηγεί και σε αύξηση του κόστους απόκτησης των πόρων καθώς αυξάνεται και η τιμή q που διατίθεται ο πόρος. Πιο συγκεκριμένα στο παραπάνω παράδειγμα, αν ο πλειοδότης 2 είναι κακόβουλος, παρατηρούμε ότι με τη λήξη της δημοπρασίας στο 226^ο βήμα, αυτός αποχωρεί χωρίς να αποκτήσει κανένα τμήμα, χωρίς να πληρώσει επομένως τίποτα. Αντίθετα ο κυρίαρχος και ο πλειοδότης 1 πληρώνουν σε πολύ υψηλότερη τιμή το 40% των πόρων που αποκτά ο καθένας.

Επίσης αν οι ωφέλειες των πλειοδοτών είναι κοντά μεταξύ τους όπως φαίνεται παρακάτω:

	Κυρίαρχος πλειοδότης 0	Πλειοδότης 1	Πλειοδότης 2
ωφέλεια 20%	100	101	102
ωφέλεια 40%	150	151	152
ωφέλεια 60%	200	201	202

τότε μετά από 150 βήματα εμφανίζεται ο εξής πίνακας

$q=250$	20%	40%	60%	Διάθεση
Κυρίαρχος	50	50	50	60%
Πλειοδότης 1	51	51	51	60%
Πλειοδότης 2	52	52	52	60%

ενώ στο επόμενο βήμα

$q=251$	20%	40%	60%	Διάθεση
Κυρίαρχος	49,8	49,6	49,4	20%
Πλειοδότης 1	50,8	50,6	50,4	20%
Πλειοδότης 2	51,8	51,6	51,4	20%

Στο κρίσιμο σημείο στο οποίο για όλες τις δυνατές επιλογές πόρων οι ωφέλειες είναι οι ίδιες, οι πλειοδότες θα επιλέξουν την μέγιστη διάθεση πόρων (60%) και επειδή $3*60%=180%>100%$ η διαδικασία θα συνεχιστεί. Στο επόμενο βήμα όλοι οι πλειοδότες θα πάρουν το 20% των πόρων και η δημοπρασία θα λήξει. Αυτό όμως σημαίνει ότι μόνο το 60% των πόρων διατίθεται προς χρήση ενώ το υπόλοιπο 40% μένει ανεκμετάλλευτο.

4.2.6. Ανεξάρτητες Καθοδικές Δημοπρασίες (Ολλανδικές) Εύρους Ζώνης

Ο μηχανισμός αυτός βασίζεται σε ολλανδικές δημοπρασίες (καθοδικής τιμής) που πραγματοποιούνται μία για κάθε σύνδεσμο. Ο τρόπος χρέωσης είναι παραλλαγή του κλασικού τρόπου χρέωσης μιας ολλανδικής δημοπρασίας καθώς σε αυτήν, η χρέωση γίνεται λαμβάνοντας υπόψη την τιμή αγοράς του τελευταίου προϊόντος και όχι την τιμή που αγόρασε ο πλειοδότης το προϊόν.

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι έτσι μειώνεται η πιθανότητα συμπαιγνίας. Οι πλειοδότες μπορούν να συνεννοηθούν από πριν και να κάνουν προσφορά όταν οι τιμές θα έχουν φτάσει σε χαμηλά επίπεδα.

Αν και ο τρόπος αυτός χρέωσης περιορίζει ως ένα βαθμό την πιθανότητα συμπαιγνίας, ο κίνδυνος εξακολουθεί να υπάρχει και είναι απόρροια της φύσης της δημοπρασίας. Σε περιπτώσεις που οι πλειοδότες είναι λίγοι σε αριθμό και έχουν παρόμοιες απαιτήσεις πόρων, μπορούν να συνεργαστούν και να καταθέσουν προσφορές σε χαμηλές τιμές. Στην περίπτωση αυτή ο μηχανισμός χρέωσης δεν είναι σε θέση να αντιμετωπίσει τη συμπαιγνία.

Κεφάλαιο 5^ο: Προσομοιώσεις μηχανισμών δημοπρασίας

5.1 Εισαγωγή

Σκοπό της παρούσας ενότητας αποτελεί η πειραματική μελέτη της δυναμικής ανάθεσης πόρων μέσω των μηχανισμών δημοπρασίας. Προς την κατεύθυνση αυτή παρατίθενται τόσο οι λεπτομέρειες των διάφορων σεναρίων που εξετάστηκαν στις προσομοιώσεις, όσο και οι λεπτομέρειες που αφορούν την υλοποίησή τους. Ταυτόχρονα εξάγονται συμπεράσματα τα οποία αναλύονται με την ολοκλήρωση της προσομοίωσης. Σε κάθε προσομοίωση εξετάζεται το «νόμιμο» σενάριο, δηλαδή όταν όλοι οι χρήστες συμπεριφέρονται ορθά και σύμφωνα με τους κανόνες της δημοπρασίας και ένα σενάριο που κάποιος χρήστης ή μια ομάδα από αυτούς ή όλοι τους εκμεταλλεύονται τις αδυναμίες του εκάστοτε μηχανισμού και ενεργούν παραβατικά. Τέλος τα αποτελέσματα από τα δύο σενάρια συγκρίνονται μεταξύ τους και βγαίνουν τα αντίστοιχα συμπεράσματα.

5.2 Πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου

Η πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (Time Division Multiplexing-TDM) είναι ένας μηχανισμός κατά τον οποίο κάθε χρήστης λαμβάνει περιοδικά και για ένα μικρό χρονικό διάστημα (διάστημα μιας χρονοθυρίδας) όλο το εύρος ζώνης, ή ένα κανάλι, αν το ήδη υπάρχον φάσμα έχει χωρισθεί σε κανάλια.

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν διάφοροι μηχανισμοί TDM οι οποίοι έχουν προταθεί για βελτιστοποίηση της ανάθεσης πόρων και βασίζονται σε τοπικά δίκτυα Wi-Fi. Για παράδειγμα στο [31] προτείνεται η δημιουργία ενός επιπέδου πάνω από το επίπεδο MAC (Overlay Mac Layer- OML), το οποίο επιφορτίζεται με το χρονοπρογραμματισμό των εκάστοτε μεταδόσεων. Στο [32] προτείνεται η δημιουργία μιας πλατφόρμας (SoftMac Platform), ενός πολύ-επίπεδου MAC στο οποίο θα φιλοξενεί διάφορα πρωτόκολλα. Ένας έξυπνος μηχανισμός θα επιλέξει και θα φέρνει στο προσκήνιο το κατάλληλο πρωτόκολλο ένα από τα οποία είναι και το TDM στο MAC. Η [34] παρουσιάζει ένα TDM μηχανισμό για βελτίωση της αποδοτικότητας που χαρακτηρίζει τις ασύρματες ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων. Σήμερα το γνωστό πρωτόκολλο Wi-Fi χρησιμοποιείται ευρέως ακόμα και για συνδέσεις που καλούνται να καλύψουν αποστάσεις της τάξεως των δεκάδων χιλιομέτρων, κυρίως λόγω του χαμηλού κόστους που χαρακτηρίζει τον απαιτούμενο εξοπλισμό. Στην πραγματικότητα, όμως, οι πραγματοποιούμενες συνδέσεις δεν είναι καθόλου αποδοτικές λόγω των εγγενών περιορισμών που χαρακτηρίζουν το συγκεκριμένο πρωτόκολλο, περιορισμών οι οποίοι οδηγούν στην κατακόρυφη αύξηση του αριθμού των απολεσθέντων πακέτων όσο η απόσταση των συνδέσεων αυξάνεται. Το [34] προτείνει τη δημιουργία ενός TDM πρωτοκόλλου για εξυπηρέτηση triple play (video- voice-data) εφαρμογών σε WLAN δίκτυα. Στο [35] προτείνεται η υλοποίηση ενός TDM πρωτοκόλλου Επιπέδου Ελέγχου Πρόσβασης Μέσου (MAC) του οποίου κύριο μέλημα αποτελεί ο δίκαιος διαμοιρασμός μεταξύ των ανταγωνιζομένων κόμβων των ευκαιριών χρήσης του διαθέσιμου φάσματος. Έτσι, σε κόμβους οι οποίοι παρουσιάζουν συχνά αδυναμίες

επικοινωνίας με τον αντίστοιχο Σταθμό Βάσης ανατίθενται μεγαλύτερης διάρκειας χρονοθυρίδες, ώστε να αντισταθμιστεί ο αρνητικός παράγοντας που τους χαρακτηρίζει.

Από τα παραπάνω λοιπόν συμπεραίνουμε ότι η πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου είναι ένας μηχανισμός που ωθεί στην αποδοτικότερη κατανομή φασματικών πόρων. Στην πειραματική μελέτη των μηχανισμών δημοπρασίας που παρουσιάζεται παρακάτω, η έννοια της χρονοθυρίδας ταυτίζεται με την περίοδο μίσθωσης και αποτελεί το βασικό «αγαθό» το οποίο πλειοδοτούν οι χρήστες της δημοπρασίας.

5.3 Περιγραφή Εργαλείων Προσομοίωσης

Για την πραγματοποίηση των προσομοιώσεων χρησιμοποιήθηκαν:

- η μαθηματική πλατφόρμα MATLAB
- ο προσομοιωτής δικτύων NS-2
- Wireshark
- το NSclick, patch του NS-2

5.3.1 Το MATLAB

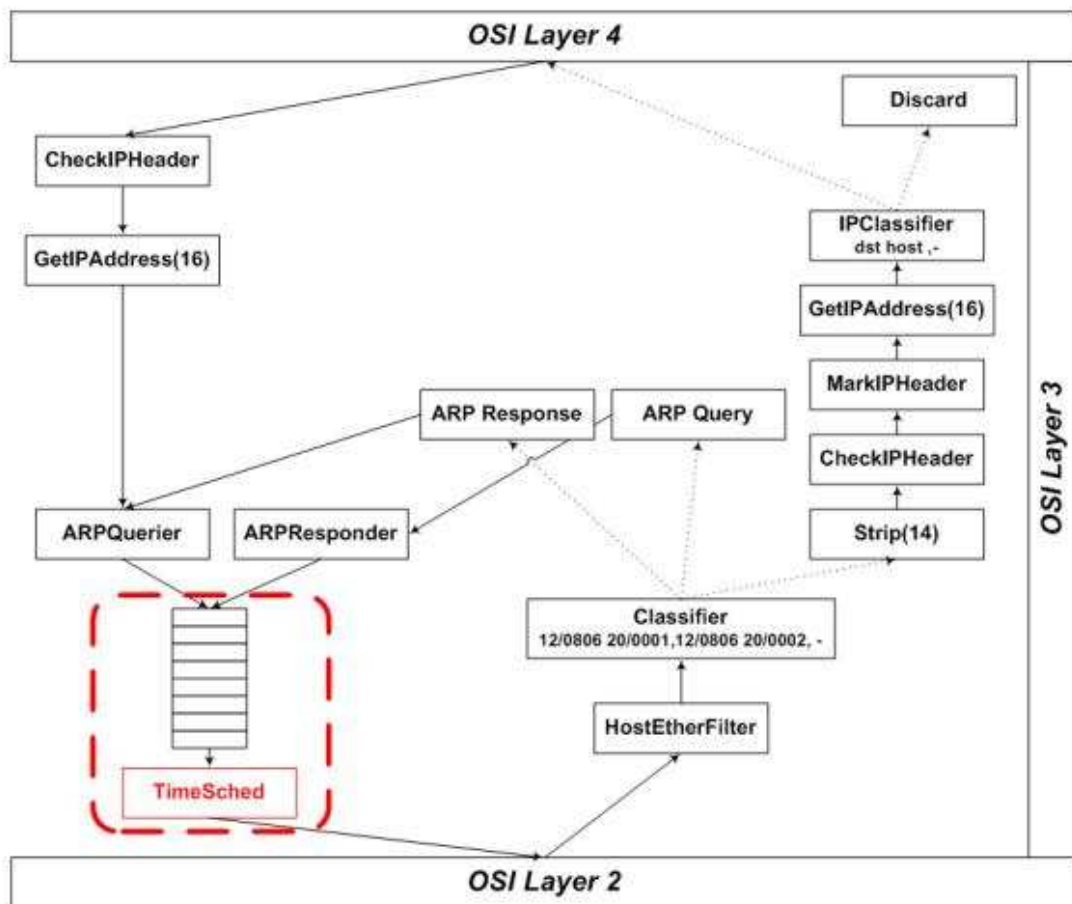
Το MATLAB είναι μια μαθηματική πλατφόρμα στην οποία τα πάντα αναπαριστώνται υπό μορφή πινάκων, ενώ κάθε πραγματοποιούμενη ενέργεια αντιστοιχεί και σε μία γνωστή πράξη επί της συγκεκριμένης δομής. Στην παρούσα διπλωματική, το MATLAB χρησιμοποιήθηκε ως ένα μαθηματικό εργαλείο για υλοποίηση των μηχανισμών δημοπρασίας. Αρχικά σε κάθε προσομοίωση δημιουργήθηκε ένα σενάριο το οποίο περιλαμβάνει το πλήθος των χρηστών N και το πλήθος των χρονοθυρίδων M που διατίθενται προς δημοπρασία. Επίσης σε ορισμένους μηχανισμούς απαιτήθηκε και η δημιουργία υπερπλαισίων. Στη συνέχεια μέσω της γλώσσας MATLAB προσομοιώνεται η διαδικασία της δημοπρασίας. Εισάγονται μεταβλητές όπως το διάλυσμα προσφορών που καταθέτουν οι πλειοδότες και εξάγονται οι νικητές της κάθε δημοπρασίας και το αντίστοιχο ποσό που πρέπει να πληρώσουν στον πωλητή. Επίσης εξάγονται δεδομένα που σχετίζονται με την γενικότερη επίδοση της δημοπρασίας όπως τα συνολικά έσοδα του πωλητή. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται σε γραφήματα για την καλύτερη εποπτεία και αξιολόγηση των μεγεθών αυτών.

5.3.2 Το NS-2

Το NS-2 είναι ένα εργαλείο προσομοίωσης δικτύου το οποίο δίνει τη δυνατότητα για προσομοίωση ασύρματων δικτύων επικοινωνιών. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε προέβλεπε το σχεδιασμό και δημιουργία του radio map και τοποθέτηση των κατάλληλων nodes και σύνδεση μεταξύ τους. Επίσης ορίστηκαν τα χαρακτηριστικά του κάθε κόμβου ως προς το όνομα, την IP address, MAC address και συσχετίσή του με το click (βλέπε παρακάτω). Ορίστηκαν τα source ports και destination ports. Επίσης ορίστηκαν το μέγεθος του πακέτου, το είδος της ροής και η κατεύθυνσή ανάλογα με το είδος του μηχανισμού που μελετάται.

5.3.3 Overlay Mac-NSclick

Οι προσομοιώσεις λειτουργίας δικτύων που πραγματοποιήθηκαν και περιγράφονται παρακάτω, σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν με βάση την ιδέα ενός Overlay MAC επιπέδου όμοιας λειτουργικότητας με το [31]. Στόχο του αποτελεί η αποτροπή των προς αποστολή πακέτων να μεταβούν στο Επίπεδο Ελέγχου Πρόσβασης. Μέσω της εκάστοτε συσκευής, ενόσω αυτή δεν κατέχει δικαίωμα μετάδοσης κατά την εκάστοτε χρονοθυρίδα. Ταυτόχρονα ανάλογα με το είδος του μηχανισμού που προσομοιώνεται, το OverLay MAC παραμετροποιείται με αντίστοιχα αποτελέσματα που προέκυψαν από το MATLAB και εκτελείται η διαδικασία της προσομοίωσης. Στην εικόνα 24 φαίνεται η δομή του επιπέδου δικτύου (και του OverLay MAC που είναι ενσωματωμένο σε αυτό) που θα φέρει κάθε συσκευή που υλοποιεί τους μηχανισμούς προσομοίωσης.



Εικόνα 24

Το κλειδί βάσει του οποίου πραγματοποιείται ο χρονοπρογραμματισμός των εκπομπών από τους χρήστες είναι το στοιχείο **TimeSched** που φαίνεται στην παραπάνω εικόνα.

Για τη υλοποίηση του χρονοπρογραμματισμού, αλλά και την απόδοση συγκεκριμένης IP και MAC address σε κάθε τερματικό-χρήστη χρησιμοποιήθηκε η αρχιτεκτονική του αρχιτεκτονική Click Modular Router [35] που διεύρυνε τη λειτουργικότητα του NS-2. Το προκύπτον αποτέλεσμα είναι το NSclick το οποίο όμως είναι συμβατό μόνο σε περιβάλλον Linux. Το **TimeSched** είναι ένα element του NSclick το οποίο

δημιουργήθηκε από το Σταμάτιο Αρκουλή στα πλαίσια της μεταπτυχιακής του εργασίας [36]. Το συγκεκριμένο παρέχει στο δίκτυο το μεγαλύτερο μέρος της επιθυμητής πρόσθετης λειτουργικότητας χρονοπρογραμματισμού χρήσης φάσματος και σαν είσοδο λαμβάνει έναν χάρτη χρονοθυρίδων ο οποίος δημιουργείται από τον σταθμό Βάσης με τον οποίο είναι το εκάστοτε τερματικό χρήστη συσχετισμένο. Ο χάρτης αυτός καθορίζει το πότε καθένα από αυτά δικαιούται να μεταδώσει πακέτα και πότε όχι. Προφανώς οι τιμές της εισόδου μπορεί να αλλάζουν δυναμικά. Ο πρώτος αριθμός είναι το συνολικό χρονικό διάστημα του frame σε μικροδευτερόλεπτα και από κει και κάτω υπάρχει το όνομα του κάθε χρήστη και η χρονοθυρίδα που του παραχωρείται. Στην εικόνα 25 φαίνεται ένα παράδειγμα ενός χάρτη χρονοθυρίδων.

```
10000
C5
3000
C2
4000
C7
3000
```

Εικόνα 25

Με βάση την παραπάνω εικόνα βλέπουμε ένα πακέτο που έρχεται από το επίπεδο 4 ελέγχεται από το element CheckIPHeader το οποίο έχει μία είσοδο και δύο εξόδους την 0 και την 1. Πιο συγκεκριμένα ελέγχεται αν το μήκος του πακέτου είναι φυσιολογικό και αν το IP version, το μήκος της επικεφαλίδας είναι ορθά. Ελέγχεται το IP source και destination address. Τα ορθά πακέτα προωθούνται στην έξοδο 0 ενώ τα υπόλοιπα απορρίπτονται. Στη συνέχεια το IP destination του πακέτου αντιγράφεται στο IP destination annotation μέσω του element GetIPAddress. Αυτό χρειάζεται διότι υπάρχουν elements τα οποία πρέπει να γνωρίζουν τον προορισμό του κάθε πακέτου όπως το ARPQuerier. Το ARPQuerier είναι ένα element με δύο εισόδους και μία ή δύο εξόδους. Στο element αυτό πραγματοποιείται σχεδόν όλη η διαδικασία του ARP πρωτοκόλλου. Τα πακέτα που εισέρχονται στην είσοδο 0, πρέπει να είναι IP πακέτα, και πρέπει να έχουν το IP destination annotation. Αν μια διεύθυνση Ethernet είναι γνωστή για το συγκεκριμένο προορισμό τότε στο IP πακέτο προσκολλάται ο Ethernet header και στέλνεται στην έξοδο 0. Σε αντίθετη περίπτωση, το IP πακέτο αποθηκεύεται σε έναν καταχωρητή και στέλνεται στο δίκτυο ένα ARP Query. Αν ένα ARP response φτάσει στην είσοδο 1 για το συγκεκριμένο IP πακέτο περιέχοντας το επιθυμητό Ethernet header, (από το element ARPResponser) τότε στο αποθηκευμένο πακέτο προσκολλάται ο Ethernet header και στέλνεται στην έξοδο 0. Στη συνέχεια τα πακέτα εισέρχονται στο element TimeSched στο οποίο καταχωρούνται και περιμένουν να αποσταλούν στο επίπεδο 2 όποτε ορίσει ο πίνακας χρονοθυρίδων. Ο ARPResponser δέχεται ως είσοδο ένα ARP request συμπεριλαμβανομένου του Ethernet header. Αν γνωρίζει την απάντηση στο request τότε στέλνει ένα ARP reply πακέτο στο ARPQuerier ενώ αντίθετα προωθεί το request στο TimeSched element.

Αντίθετα όταν ένα Ethernet πακέτο εισέρχεται από το επίπεδο 2 στο επίπεδο 3, φιλτράρεται από το HostEtherFilter element το οποίο έχει μία είσοδο και μια έξοδο. Ο ρόλος του HostEtherFilter element είναι να προωθεί τα πακέτα που απευθύνονται στη Ethernet address του συστήματος στο Classifier element και να απορρίπτει αυτά που απευθύνονται σε άλλους χρήστες με διαφορετικές διευθύνσεις Ethernet. Το Classifier element είναι υπεύθυνο για την κατηγοριοποίηση των πακέτων που προωθούνται από το HostEtherFilter element. Διαθέτει μία είσοδο και έναν αριθμό εξόδων N ίσο με τις διαφορετικές κατηγορίες πακέτων. Στη περίπτωση που εξετάζουμε μπορεί να είναι είτε ARP request είτε ARP reply είτε IP πακέτο. Στην περίπτωση που είναι IP πακέτο, τότε εισέρχεται στο Strip element, το οποίο διαγράφει τα 14 πρώτα bytes του πακέτου. Ουσιαστικά διαγράφεται το Ethernet header. Στη συνέχεια το πακέτο εισέρχεται στο CheckIPHeader element που εξετάζεται η επικεφαλίδα του IP πακέτου. Στη συνέχεια το πακέτο εισέρχεται στο MarkIPHeader όπου τα IP πακέτα μαρκάρονται με το IP header annotation. Στη συνέχεια το πακέτο εισέρχεται στο

GetIPAddress element το οποίο αντιγράφει τα τέσσερα πρώτα bytes του πακέτου μετά το offset. Αν το offset είναι 16 τότε αντιγράφεται η IP διεύθυνση προορισμού του πακέτου. Τέλος το IP πακέτο εισέρχεται στο IPClassifier element και κατηγοριοποιείται ανάλογα με τη λειτουργία του στο επίπεδο 4. Έχει N εξόδους ανάλογα με το πλήθος των κατηγοριών που επιθυμούμε να δημιουργήσουμε. Για παράδειγμα ο κώδικας

```
IPClassifier(10.0.0.0/24 and syn,  
  
            10.0.0.0/24 and fin ack,  
  
            10.0.0.0/24 and tcp,  
  
            -);
```

δημιουργεί ένα IPClassifier element το οποίο ορίζει ότι τα πακέτα με IP διευθύνσεις 10.0.0.x θα στέλνονται στην έξοδο 0 αν είναι SYN πακέτα, στην έξοδο 1 αν είναι FIN ή ACK πακέτα, στην έξοδο 2 τα υπόλοιπα TCP πακέτα. Άλλο παράδειγμα φαίνεται παρακάτω. Ορίζεται ένα IPClassifier element στο οποίο θα στέλνονται στην έξοδο 0 τα TCP πακέτα που προορίζονται για τις ports 8000 ή 8080, στην έξοδο 1 αυτά που προορίζονται για τις ports μεγαλύτερες της 1023 και στην έξοδο 2 τα υπόλοιπα TCP πακέτα. Όποια πακέτα δεν ανήκουν σε καμία από τις προκαθορισμένες κατηγορίες απορρίπτονται.

```
IPClassifier(dst tcp port 8000 or 8080,  
  
            dst tcp port > 1023,  
  
            tcp);
```

5.3.4 Το Wireshark

Η εκτέλεση των προσομοιώσεων του NSclick δημιουργούσε την ροή της κίνησης σε κάθε κόμβο (Σταθμό Βάσης ή τερματικό). Η κίνηση αυτή μελετήθηκε με τον αναλυτή πρωτοκόλλων δικτύων, το Wireshark. Το Wireshark [37] είναι ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα ανάλυσης των πρωτοκόλλων των πακέτων μιας ροής κίνησης σε πραγματικό ή όχι πραγματικό χρόνο. Παρέχει ειδικά φίλτρα απόρριψης πακέτων ή σήμανση τους, ενώ επίσης δίνει τη δυνατότητα σχεδιασμού γραφημάτων του πλήθους πακέτων ως προς το χρόνο.

Το wireshark δίνει τη δυνατότητα καταγραφής της άφιξης του χρόνου του πακέτου, του αποστολέα (source), του προορισμού (destination), του πρωτοκόλλου επιπέδου μεταφοράς, αλλά και πληροφορίες σχετικά με τα κατώτερου επιπέδου πρωτόκολλα, IP, Ethernet κλπ. Στην εικόνα 26 φαίνεται ένα μια ροή πακέτων σε μια κάρτα δικτύου με χρήση wireshark.

```

2846 500.145160 209.85.227.17 192.168.0.6 TCP http > 50307 [ACK] Seq=1 Ack=602 Win=6611 Len=0
2847 500.156148 209.85.227.17 192.168.0.6 HTTP HTTP/1.1 302 Moved Temporarily (text/html)
2848 500.158295 192.168.0.6 209.85.227.17 TCP 50307 > http [FIN, ACK] Seq=502 Ack=626 Win=6325 [TCP CHECKSUM INCORRECT] Len=0
2849 500.160493 192.168.0.6 209.85.227.17 TCP 50309 > http [ACK] Seq=0 Ack=630 Win=6330 [TCP CHECKSUM INCORRECT] Len=0
2850 500.171166 209.85.227.17 192.168.0.6 TCP http > 50308 [ACK] Seq=1 Ack=614 Win=6743 Len=0
2851 500.196155 209.85.227.17 192.168.0.6 HTTP HTTP/1.1 302 Moved Temporarily (text/html)
2852 500.199044 192.168.0.6 209.85.227.17 TCP 50308 > http [FIN, ACK] Seq=45 Ack=639 Win=6353 [TCP CHECKSUM INCORRECT] Len=0
2853 500.200596 192.168.0.6 209.85.227.166 TLSv1 Application Data
2854 500.241158 209.85.227.17 192.168.0.6 TCP http > 50307 [FIN, ACK] Seq=626 Ack=603 Win=6611 Len=0
2855 500.241239 192.168.0.6 209.85.227.17 TCP 50307 > http [ACK] Seq=602 Ack=627 Win=6325 [TCP CHECKSUM INCORRECT] Len=0
2856 500.244155 209.85.227.17 192.168.0.6 TCP https > 50309 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=5720 Len=0 MSS=1430
2857 500.244267 192.168.0.6 209.85.227.17 TCP 50309 > http [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=6330 [TCP CHECKSUM INCORRECT] Len=0
2858 500.244917 192.168.0.6 209.85.227.17 SSL Client Hello
2859 500.282170 209.85.227.17 192.168.0.6 TCP http > 50308 [FIN, ACK] Seq=998 Ack=615 Win=6743 Len=0
2860 500.282240 192.168.0.6 209.85.227.17 TCP 50308 > http [ACK] Seq=615 Ack=998 Win=6330 [TCP CHECKSUM INCORRECT] Len=0

```

```

[ ] Frame 2850 (60 bytes on wire, 60 bytes captured)
[ ] Ethernet II, Src: Netgear_fe:0c:c2 (00:1e:2a:fe:0c:c2), Dst: CompallIn_01:24:eb (00:1e:ec:01:24:eb)
[ ] Internet Protocol, Src: 209.85.227.17 (209.85.227.17), Dst: 192.168.0.6 (192.168.0.6)
[ ] Transmission Control Protocol, Src Port: http (80), Dst Port: 50308 (50308), Seq: 1, Ack: 614, Len: 0

```

```

0000 00 1e ec 01 24 eb 00 1e 2a fe 0c c2 08 00 45 00 ....$. *.....E.
0010 00 28 26 38 00 00 37 0e e8 82 d1 55 e3 11 c0 a8 .:(88..7:..U...
0020 00 06 00 50 c4 84 a2 f7 09 3d 33 38 e1 ff 50 10 ..P....#8..P.
0030 1a 57 9a 26 00 00 00 00 00 00 00 00 ..w&.....

```

Εικόνα 26

5.4 Προσομοίωση μηχανισμού δημοπρασίας με πρόσβαση TDMA και χρήση χρονικού τμήματος πληρωμής

Βήμα 1^ο

Για την προσομοίωση του μηχανισμού αυτού απαιτήθηκε η δημιουργία κώδικα στη γλώσσα MATLAB βάσει του οποίου θα πραγματοποιείται η εκάστοτε δημοπρασία. Αρχικά αρχειοποιούνται οι τιμές σχετικά με τον αριθμό των χρονοθυρίδων σε ένα frame, το πλήθος των χρηστών και το πλήθος των frames που θα έχει η προσομοίωση. Επιλέγονται 4 χρονοθυρίδες, 8 χρήστες και 10 frames. Ορίζεται επίσης ότι το μήκος της κάθε χρονοθυρίδας θα είναι 1000000 μsec.

Για κάθε ένα frame δημιουργείται το διάνυσμα Bids το οποίο περιέχει τις προσφορές των χρηστών για κάθε μία χρονοθυρίδα. Η δημιουργία του διανύσματος αυτού γίνεται μέσω της συνάρτησης rand() της γλώσσας MATLAB η οποία επιλέγει για κάθε προσφορά ενός χρήστη μια τυχαία τιμή μεταξύ του διαστήματος (0,1).

Στη συνέχεια τα στοιχεία του διανύσματος Bids ταξινομούνται από το μικρότερο στο μεγαλύτερο για κάθε γραμμή και επιλέγεται ο χρήστης νικητής, αυτός δηλαδή με την μεγαλύτερη προσφορά, ενώ επίσης καθορίζεται και η τιμή που αυτός θα πληρώσει μέσω της δεύτερης μεγαλύτερης προσφοράς. Τέλος μέσω των μεταβλητών Use και Payments εξάγονται τα αποτελέσματα όσο αφορά την χρησιμοποίηση της χρονοθυρίδας αλλά και του ποσού πληρωμής που θα καταβάλλει ο νικητής.

Στο δικό μας παράδειγμα τα αποτελέσματα είναι τα εξής:

frames	timeslot	winner	pays	time_pay	use	time_use
1	1	1	0,704	704000	0,296	296000
	2	6	0,681	681000	0,319	319000
	3	3	0,8	800000	0,2	200000
	4	2	0,892	892000	0,108	108000
2	1	3	0,599	599000	0,401	401000
	2	1	0,681	681000	0,319	319000

	3	7	0,384	384000	0,616	616000
	4	5	0,782	782000	0,218	218000
3			0	0		0
	1	3	0,615	615000	0,385	385000
	2	7	0,949	949000	0,051	51000
	3	5	0,916	916000	0,084	84000
	4	8	0,9	900000	0,1	100000
4			0	0		0
	1	5	0,567	567000	0,433	433000
	2	7	0,757	757000	0,243	243000
	3	2	0,674	674000	0,326	326000
	4	1	0,828	828000	0,172	172000
5			0	0		0
	1	8	0,382	382000	0,618	618000
	2	5	0,874	874000	0,126	126000
	3	3	0,921	921000	0,079	79000
	4	4	0,919	919000	0,081	81000
6			0	0		0
	1	7	0,623	623000	0,377	377000
	2	2	0,716	716000	0,284	284000
	3	4	0,782	782000	0,218	218000
	4	8	0,832	832000	0,168	168000
7			0	0		0
	1	5	0,663	663000	0,337	337000
	2	1	0,769	769000	0,231	231000
	3	2	0,818	818000	0,182	182000
	4	3	0,766	766000	0,234	234000
8			0	0		0
	1	4	0,606	606000	0,394	394000
	2	1	0,694	694000	0,306	306000
	3	3	0,895	895000	0,105	105000
	4	6	0,713	713000	0,287	287000
9			0	0		0
	1	4	0,705	705000	0,295	295000
	2	2	0,756	756000	0,244	244000
	3	5	0,984	984000	0,016	16000
	4	3	0,717	717000	0,283	283000
10			0	0		0
	1	7	0,908	908000	0,092	92000
	2	3	0,676	676000	0,324	324000
	3	1	0,829	829000	0,171	171000
	4	4	0,919	919000	0,081	81000

Πίνακας 1

Βήμα 2^ο

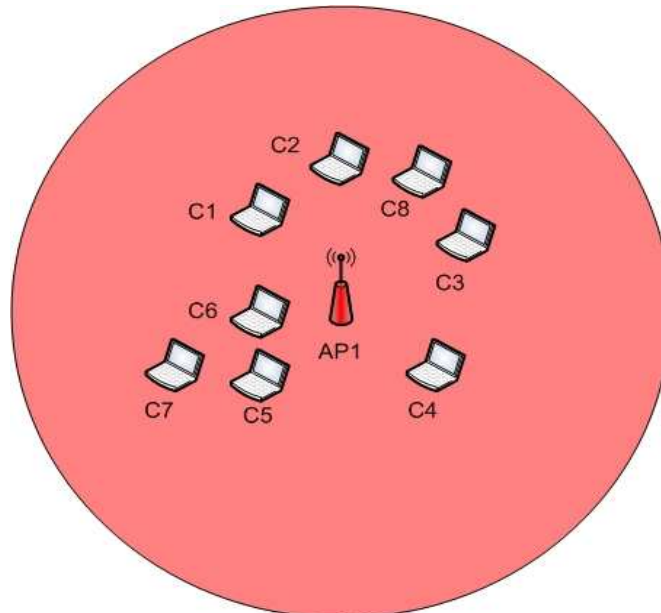
Στη συνέχεια δημιουργήθηκε στο NSClick η τοπολογία του δικτύου και ορίστηκαν διάφοροι παράμετροι. Η τοπολογία περιλαμβάνει 9 κόμβους (1 σταθμό βάσης και 8 χρήστες-τερματικά). Τόσο οι χρήστες όσο και ο σταθμός βάσης είναι εφοδιασμένοι με τις ίδιες κάρτες δικτύου, και τις ίδιες κεραίες. Οι κεραίες των χρηστών είναι σε ύψος 1.5m από το έδαφος, είναι ομοιοκατευθυντικές. Η συχνότητα λειτουργίας ορίζεται στα 914 MHz, ενώ η ισχύς μετάδοσης είναι 0,2818W. Η ευαισθησία του δέκτη και το κατώφλι εντοπισμού φέροντος σήματος ορίζονται στα $3,071 \cdot 10^{-9}$ Watt έκαστο. Το κατώφλι εντοπισμού φέροντος

σήματος καθορίζει την ελάχιστη ισχύ που θα πρέπει να χαρακτηρίζει το λαμβανόμενο από μια μηχανή-παραλήπτη σήμα ενός μεταδιδόμενου τεμαχίου, έτσι ώστε η συγκεκριμένη μετάδοση να εντοπιστεί και αποκωδικοποιηθεί στο Φυσικό Επίπεδο της κάρτας δικτύου. Αν η ισχύς αυτή δεν υπερβαίνει το συγκεκριμένο κατώφλι, τότε το τεμάχιο απορρίπτεται από το ίδιο το Φυσικό Επίπεδο. Το κατώφλι ευαισθησίας είναι η ελάχιστη τιμή που θα πρέπει να έχει το λαμβανόμενο σήμα έτσι ώστε να επιτευχθεί αποκωδικοποίηση στο επίπεδο MAC της κάρτας δικτύου. Επίσης θεωρούμε ότι έχουμε free space propagation model οπότε από τον τύπο του Friis:

$$P_r(d) = \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2 L} P_t$$

με $G_t=G_r=1$, $L=1$, και $\lambda=0,328\text{m}$ και με $d=250\text{m}$ προκύπτουν τα παραπάνω κατώφλια.

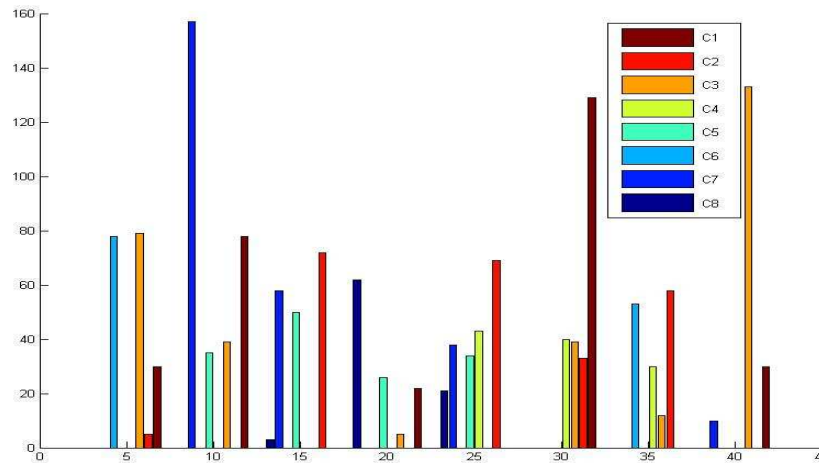
Η τοπολογία του δικτύου φαίνεται στην εικόνα 27.



Εικόνα 27

Κάθε κάρτα δικτύου είχε την δικιά της MAC address ενώ κάθε κόμβος τη δικιά του IP address. Επίσης ορίστηκαν και οι ροές των πακέτων από τα τερματικά προς το AP1 οι οποίες ήταν UDP πακέτα μεγέθους 88 bytes με ρυθμό 1 πακέτο ανά 10ms. Δεδομένου ότι ο Σταθμό Βάσης δεν μεταδίδει πακέτα αλλά μόνο παραλαμβάνει, δεν αποστέλλει πίσω στα τερματικά καμίας μορφής επιβεβαίωση υψηλού επιπέδου.

Στο TimeSched element εισάχθηκαν οι χρόνοι εκπομπής του κάθε χρήστη βάσει του παραπάνω πίνακα και η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε για κάθε frame. Στη συνέχεια τα αποτελέσματα επεξεργάστηκαν με το MATLAB και προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα που φαίνεται στην εικόνα 28.



Εικόνα 28

Στην εικόνα 28 φαίνεται ο αριθμός των πακέτων που λαμβάνει ο σταθμός βάσης από τον κάθε χρήστη καθ' όλη τη διάρκεια και των 10 frames. Παρατηρούμε από την παραπάνω εικόνα ότι στο πρώτο frame (στο διάστημα από 0 έως 4 sec) αυτός που στέλνει είναι μόνο ο χρήστης 6, ενώ θα έπρεπε να στέλνουν οι χρήστες 1,2, και 3. Αυτό συμβαίνει για δύο λόγους. Πρώτον διότι με του αρχίζει η διαδικασία της προσομοίωσης όλοι οι χρήστες στέλνουν ARP πακέτα για να μάθουν ποιος κόμβος έχει τη συγκεκριμένη IP που θέλουν να στείλουν. Επειδή όμως το TimeSched είναι έτσι σχεδιασμένο να εμποδίζει την αποστολή πακέτων για όλο το χρονικό διάστημα που δεν επιτρέπεται να σταλούν πακέτα, τα ARP πακέτα δημιουργούνται από το ARPQuerier element και αποθηκεύονται σε buffer. Με το που το TimeSched element επιτρέπει τη αποστολή πακέτων σε ένα κόμβο, τότε τα πακέτα που στέλνονται πρώτα στο σταθμό βάσης, θα είναι τα ARP. Δεδομένου όμως ότι τα ARP πακέτα δεν μεταφέρουν δεδομένα, δεν μπορούν να υπολογισθούν στα UDP πακέτα που στέλνει ο κάθε χρήστης. Δεύτερον επειδή υπάρχουν πολλοί χρήστες που πλειοδοτούν τις χρονοθυρίδες ο ανταγωνισμός είναι υψηλός, όπως φαίνεται το πίνακα 1, και το ποσοστό που τελικά οι χρήστες εκμεταλλεύονται είναι αρκετά χαμηλό.

Βήμα 3^ο

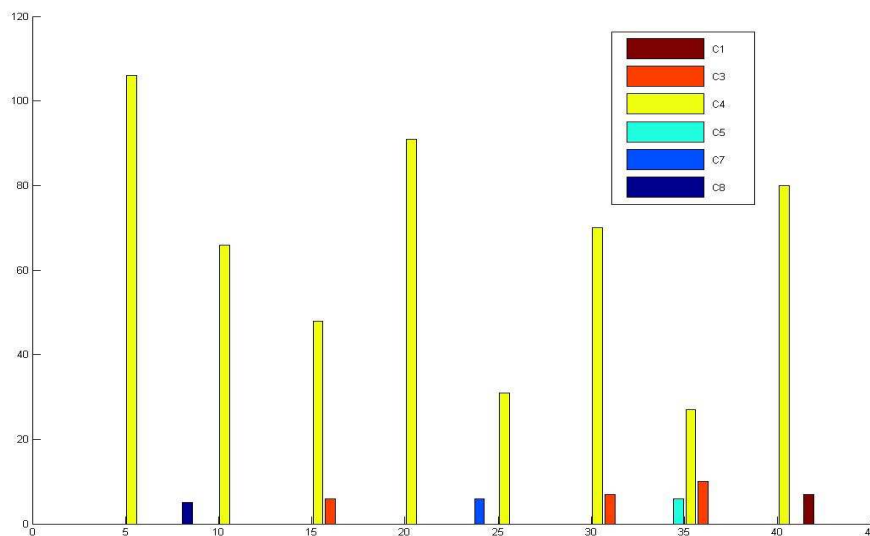
Στη συνέχεια εξετάζεται η περίπτωση που ένας από τους χρήστες, ο C4 δεν καταθέτει πραγματικές αλλά προσφορές που είναι κατά πολύ υψηλότερες από αυτές των άλλων χρηστών. Πιο συγκεκριμένα, ο C4 καταθέτει προσφορές οι οποίες έχουν μέση τιμή 0,95 και τυπική απόκλιση 0,01. Βάσει των παραπάνω επομένως προέκυψε ο πίνακας 2.

frames	timeslot	winner	pays	use	time_use
1	1	4	0,795 795000	0,205	205000
	2	4	0,765 765000	0,235	235000
	3	4	0,9 900000	0,1	100000
	4	6	0,965 965000	0,035	35000
2			0		0
	1	4	0,828 828000	0,172	172000
	2	4	0,867 867000	0,133	133000
	3	4	0,823 823000	0,177	177000
	4	5	0,957 957000	0,043	43000

3				0			0
	1	8	0,951	951000	0,049	49000	
	2	4	0,944	944000	0,056	56000	
	3	4	0,891	891000	0,109	109000	
	4	1	0,934	934000	0,066	66000	
4				0			0
	1	3	0,949	949000	0,051	51000	
	2	4	0,902	902000	0,098	98000	
	3	4	0,883	883000	0,117	117000	
	4	1	0,938	938000	0,062	62000	
5				0			0
	1	4	0,924	924000	0,076	76000	
	2	4	0,808	808000	0,192	192000	
	3	4	0,92	920000	0,08	80000	
	4	4	0,786	786000	0,214	214000	
6				0			0
	1	4	0,928	928000	0,072	72000	
	2	5	0,957	957000	0,043	43000	
	3	8	0,955	955000	0,045	45000	
	4	4	0,826	826000	0,174	174000	
7				0			0
	1	7	0,95	950000	0,05	50000	
	2	4	0,802	802000	0,198	198000	
	3	3	0,951	951000	0,049	49000	
	4	1	0,939	939000	0,061	61000	
8				0			0
	1	4	0,763	763000	0,237	237000	
	2	3	0,945	945000	0,055	55000	
	3	7	0,961	961000	0,039	39000	
	4	4	0,903	903000	0,097	97000	
9				0			0
	1	5	0,947	947000	0,053	53000	
	2	3	0,933	933000	0,067	67000	
	3	4	0,851	851000	0,149	149000	
	4	4	0,777	777000	0,223	223000	
10				0			0
	1	1	0,94	940000	0,06	60000	
	2	4	0,914	914000	0,086	86000	
	3	4	0,839	839000	0,161	161000	
	4	5	0,949	949000	0,051	51000	

Πίνακας 2

Με την εκτέλεση της προσομοίωσης με το NSclick αφού πρώτα εισάχθηκαν τα παραπάνω δεδομένα στο TimeSched element, προέκυψαν αποτελέσματα σχετικά με το πλήθος των πακέτων που έλαβε ο σταθμός βάσης από τους χρήστες. Αυτά φαίνονται στην εικόνα 28.

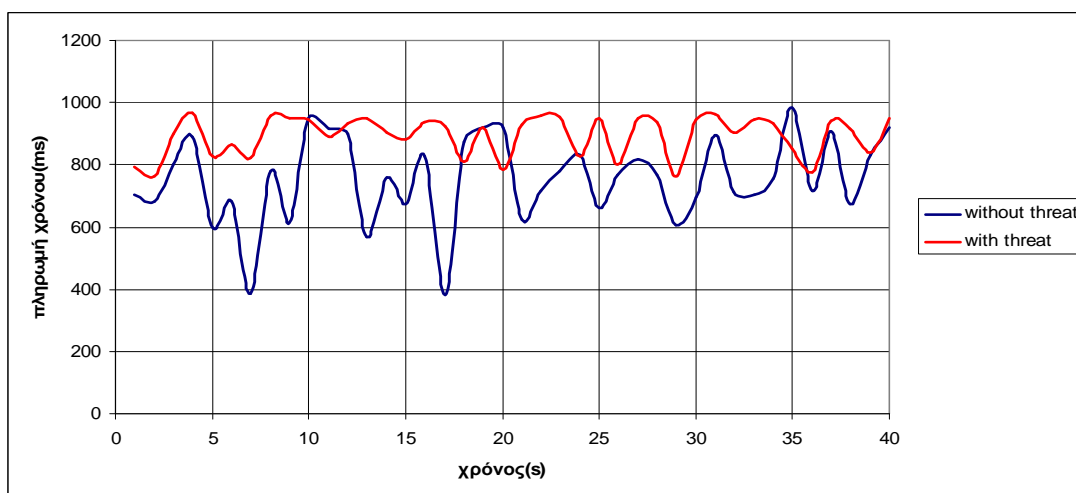


Εικόνα 29

Αν συγκρίνουμε τις εικόνες 28 και 29 είναι φανερό το πόσο πολύ επηρέασε τη διαδικασία της δημοπρασίας η υπερβολική αύξηση της προσφοράς του χρήστη C4. Παρατηρούμε ότι ο χρήστης C4 εκπέμπει σε όλες σχεδόν τις χρονοθυρίδες ενώ είναι φανερή η σχεδόν ανύπαρκτη εκπομπή δεδομένων των άλλων χρηστών. Συμπερασματικά λοιπόν αποδεικνύεται ότι η υπερβολική αύξηση της προσφοράς κάποιου χρήστη, μπορεί να οδηγήσει δεν συντριπτική μείωση της ποιότητας υπηρεσίας των άλλων χρηστών.

Βήμα 4ο

Επίσης σημαντικό ρόλο στην όλη διαδικασία έχει και ο πωλητής. Το κίνητρο το οποίο θα ωθούσε των πωλητή να αντιμετωπίσει το φαινόμενο αυτό θα ήταν η μείωση των εσόδων του. Στην εικόνα 29 φαίνονται τα έσοδα (χρόνος παραχώρησης) του πωλητή από τη διαδικασία της δημοπρασίας τόσο με την νόμιμη όσο και με την παραβατική συμπεριφορά.



Εικόνα 30

Από την εικόνα 30 γίνεται φανερό ότι επειδή η κόκκινη καμπύλη είναι πιο ψηλά από την μπλε τα έσοδα του πωλητή δηλαδή ο χρόνος παραχώρησης στο συγκεκριμένο μηχανισμό, είναι μεγαλύτερος στην περίπτωση της παραβατικής συμπεριφοράς. Οπότε ο πωλητής δεν έχει κίνητρο να εμποδίσει το παραβατικό αυτό φαινόμενο.

Το μόνο κίνητρο που θα μπορούσε να ωθήσει τον πωλητή στην αντιμετώπιση της συμπεριφοράς αυτής θα ήταν η μείωση του ενδιαφέροντος των άλλων χρηστών ως προς τη διαδικασία της δημοπρασίας γεγονός που θα τους ωθούσε να αποχωρήσουν από αυτήν. Στην περίπτωση αυτή τα έσοδα του πωλητή θα μειωνόντουσαν και αυτό θα τον ωθούσε να κάνει πιο αξιόπιστη τη διαδικασία της δημοπρασίας.

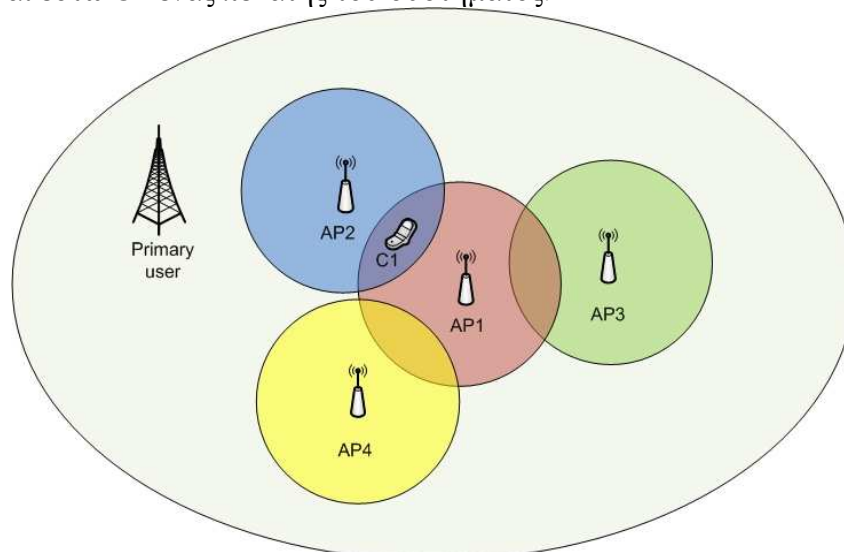
5.5 Προσομοίωση μηχανισμού δημοπρασίας χρονικών τμημάτων με χρήση μηχανισμού VCG

5.5.1 Αλλαγή θέσης του σταθμού βάσης

Αν και στη σχετική βιβλιογραφία ο μηχανισμός αυτός έχει χρησιμοποιηθεί για την ανάθεση φασματικών τμημάτων, στην παρούσα μελέτη έχει θεωρηθεί ότι ο πόρος που ανατίθεται είναι ο χρόνος εκπομπής σε κάθε κανάλι το οποίο σημαίνει ότι η δημοπρασίες γίνονται επί των χρονοθυρίδων.

Βήμα 1^ο

Για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του της παραγράφου 4.2.3. Πιο συγκεκριμένα η τοπολογία του δικτύου περιλαμβάνει 4 σταθμούς βάσης που παρέχουν υπηρεσίες και αποτελούν ουσιαστικά τους δευτερεύοντες χρήστες και έναν κυρίαρχο χρήστη όπως φαίνεται στην εικόνα 31. Έστω ότι τα APs στέλνουν στους clients τους και έστω C1 ένας πελάτης του συστήματος.



Εικόνα 31

Οι ωφέλειες των χρηστών, οι νικητές, η ανάθεσή των χρονοθυρίδων και οι πληρωμές φαίνονται στον επόμενο πίνακα.

Σταθμοί Βάσης	u_i	x_i	p_i
AP1	15	0	0
AP2	6	1	1
AP3	10	1	5
AP4	4	1	0

Πίνακας 3

Πρέπει να τονισθεί εδώ ότι οι πλειοδότες για την κάθε χρονοθυρίδα είναι οι σταθμοί βάσης που προσφέρουν υπηρεσίες τους τελικούς πελάτες, όπως είναι ο C1. Τα AP2, AP3 και AP4, έχουν την δυνατότητα να εκπέμπουν ταυτόχρονα καθώς δεν παρεμβάλουν μεταξύ τους, οπότε τους δίνεται η δυνατότητα να στείλουν δεδομένα προς τους πελάτες τους οποίους εξυπηρετούν.

Βήμα 2^ο

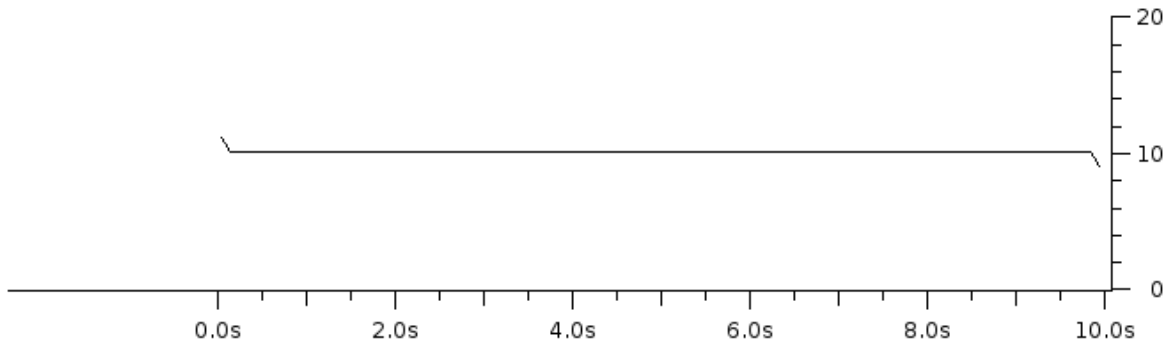
Για την προσομοίωση της παραπάνω τοπολογίας τα χαρακτηριστικά μεγέθη των σταθμών βάσης και των πελατών παραμένουν τα ίδια με αυτά του προηγούμενου πειράματος. Δηλαδή τα κέρδη των κεραιών είναι 1, $L=1$, η ισχύς εκπομπής 0,2818W και η ακτίνα εκπομπής 250m. Στην παρούσα προσομοίωση θεωρούμε ότι στο δίκτυο υπάρχει συνωστισμός πακέτων, γι' αυτό το λόγω το μέγεθος του πακέτου UDP αυξήθηκε σε 800 bytes ενώ η χρονική απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών πακέτων είναι 1ms. Τα στοιχεία αυτά εισάχθηκαν ως παράμετροι στο NSClick αρχείο προσομοίωσης. Ορίστηκε επίσης ότι το διάστημα της χρονοθυρίδας είναι 10s. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η διαδικασία της προσομοίωσης.

Βήμα 3^ο

Η προσομοίωση με το NSClick δημιούργησε αρχεία σχετικά με όλες τις ροές πακέτων που δημιουργήθηκαν από όλους τους σταθμούς βάσης και ελήφθησαν από το τερματικό C1 αλλά και αντίστροφα. Προφανώς τα αντίστροφα είναι αρχεία με 0 bytes. Επίσης περιλαμβάνει αρχεία τα οποία περιέχουν τα πακέτα που απορριφτήκαν. Και αυτά είναι μηδενικού μεγέθους αρχεία. Το αρχείο το οποίο ήταν σημαντικό για την προσομοίωση ήταν το C1_in_eth0, το οποίο περιέχει τα πακέτα που ελήφθησαν από την κάρτα δικτύου του client C1. Το αρχείο στη συνέχεια ανοίχθηκε με τον αναλυτή πρωτοκόλλων Wireshark.

Το Wireshark παρείχε τη δυνατότητα ανάλυσης των πακέτων που ελήφθησαν από τον C1. Όλα τα πακέτα είχαν IP address destination: 192.168.0.3, η οποία είναι ήταν η IP address που δόθηκε στο C1 όταν παραμετροποιήσαμε το NSClick, και IP address source 192.168.0.5 η οποία ήταν η IP address του AP2.

Στη συνέχεια μέσω της επιλογής IO Graphs δημιουργήθηκε το παρακάτω διάγραμμα το οποίο φαίνεται το πλήθος των πακέτων που έλαβε ο χρήστης C1 ως προς το χρόνο.

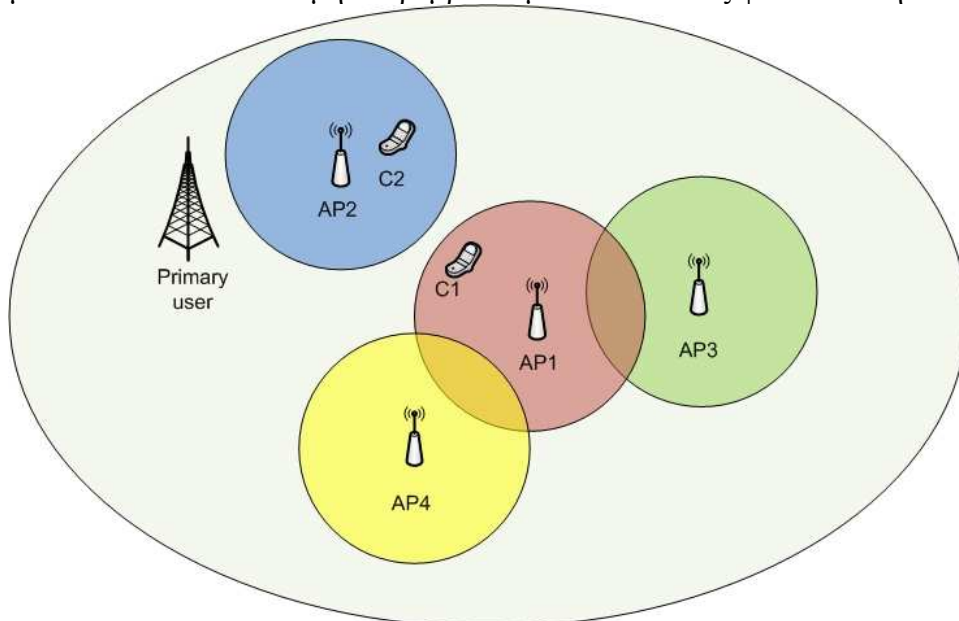


Εικόνα 32

Όλα τα πακέτα που έλαβε ο C1 επομένως προέρχονται από το AP2. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το AP2 ήταν αυτό το οποίο είχε κερδίσει στη διαδικασία στη δημοπρασία μαζί με το AP3 και AP4 όπως φαίνεται στο πίνακα 3.

Βήμα 4ο

Στη συνέχεια εξετάζεται το σενάριο κατά το οποίο τα AP1 και AP2 συνεργάζονται μεταξύ τους με σκοπό κερδίσουν στη δημοπρασία. Πιο συγκεκριμένα, οι δύο σταθμοί βάσης τροποποιούν τα δεδομένα που σχετίζονται με την μεταξύ τους απόσταση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα εικονικά το AP1 να μην παρεμβάλει με το AP2 όπως φαίνεται στην εικόνα 33.



Εικόνα 33

Οι ωφέλειες των χρηστών, οι νικητές, η ανάθεσή των χρονοθυρίδων και οι πληρωμές φαίνονται στον επόμενο πίνακα.

Χρήστες	b_i	x'_i	p_i
1	15	1	14
2	6	1	0
3	10	0	0
4	4	0	0

Πίνακας 4

Οι τιμές των p_i προκύπτουν μέσω του τύπου $p_i = U_{u-i}^* - (U_u^* - u_i) = u_i + U_{u-i}^* - U_u^*$. Οπότε βάσει των παραπάνω προκύπτει ότι:

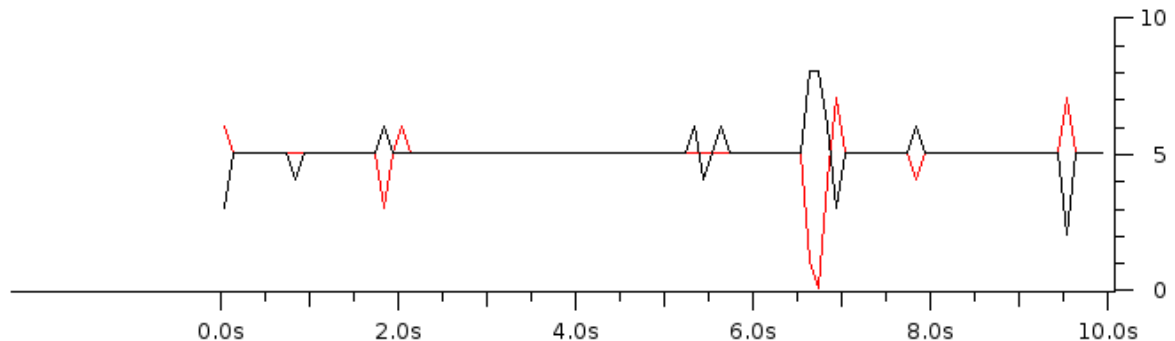
$$p_1 = 20 - (21 - 15) = 14$$

$$p_2 = 15 - (21 - 6) = 0$$

Από τα παραπάνω δεδομένα φαίνεται ξεκάθαρα ότι μια τέτοια συμπαιγνία θα ωφελούσε και τους δύο σταθμούς βάσης διότι το AP1 πλέον έχει τη δυνατότητα να εκπέμψει, ενώ πριν είχε αποκλειστεί από τη δημοπρασία, και το AP2 εκπέμπει αλλά το κόστος πληρωμής είναι μηδενικό.

Τα AP1 και AP2 κερδίζουν τη δημοπρασία και εκπέμπουν ταυτόχρονα. Το γεγονός όμως της ταυτόχρονης αποστολής έχει σημαντικές επιπτώσεις στη ζεύξη του πελάτη C1. Η εικόνα 33 είναι η «εικονική» τοπολογία που δημιούργησαν οι δύο σταθμοί βάσης για να κερδίσουν στη δημοπρασία, και όχι η πραγματική. Στην εικόνα 30 φαίνεται ότι ο πελάτης C1 βρίσκεται σε μια περιοχή που καλύπτεται και από τους δύο σταθμούς βάσης. Συνεπώς αν θεωρήσουμε ότι το AP1 στέλνει στο χρήστη C1 και το AP2 σε κάποιο άλλο χρήστη C2, τότε στο C1 θα έχουμε παρεμβολή πακέτων του AP1 από το AP2. Αυτό οφείλεται διότι και οι δύο σταθμοί βάσης εκπέμπουν ταυτόχρονα και στην ίδια συχνότητα.

Βάσει των παραπάνω λοιπόν πραγματοποιείται πάλι η προσομοίωση με το NSClick αλλά με νικητές πλέον τους σταθμούς βάσης AP1 και AP2. Τα επιμέρους χαρακτηριστικά των κεραιών παραμένουν τα ίδια με αυτά του νόμιμου σεναρίου. Επίσης τα πακέτα είναι τύπου UDP και έχουν μέγεθος 800 bytes. Με χρήση του Wireshark προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα σχετικά με τα πακέτα που καταφθάνουν στη κάρτα δικτύου του C1.



Εικόνα 34

Η μαύρη γραμμή παρουσιάζει το πλήθος των πακέτων που έφτασαν στο C1 από το AP1 ως προς το χρόνο, ενώ με κόκκινη γραμμή φαίνεται το πλήθος των πακέτων που έλαβε ο C1 από το AP2. Αν συγκριθεί το διάγραμμα της εικόνας 34 με το διάγραμμα της εικόνας 31 παρατηρούμε ότι στη νόμιμη περίπτωση στη κάρτα δικτύου του C1 έφτανε μια ροή με 100 πακέτα ανά δευτερόλεπτο (time interval 0,1). Αντίθετα με την παραβατική αυτή συμπεριφορά, η ροή που σχετίζεται με την εξυπηρέτηση του πελάτη C1 πέφτει στα 50 πακέτα ανά δευτερόλεπτο. Συνεπώς στη δεύτερη περίπτωση υπάρχει μείωση του throughput κατά 50%. Η μείωση αυτή είναι πολύ σημαντική για την επίδοση της ζεύξης αλλά και για την εξασφάλιση της απαραίτητης ποιότητας υπηρεσίας.

Συμπερασματικά λοιπόν καταλήγουμε στο ότι ο αλγόριθμος VCG εξασφαλίζει την κοινωνική ευημερία, αλλά σε τέτοιου είδους παραβατικές συμπεριφορές όπως στην περίπτωση που εξετάστηκε (συμπαιγνία) αποτυγχάνει. Οι σταθμοί βάσεις AP3 και AP4 δεν

καταφέρνουν να εκπέμψουν ενώ η παρεμβολή των AP1 και AP2 μειώνει στο 50% τη νόμιμη ροή δεδομένων.

5.5.2 Συμπαγνία σταθμών βάσης

Στην περίπτωση αυτή θεωρούμε το σενάριο κατά το οποίο οι σταθμοί βάσης AP2, AP3 και AP4 συνεννοούνται μεταξύ τους για αύξηση των προσφορών έτσι ώστε να κερδίσουν στη δημοπρασία.

Πιο συγκεκριμένα θεωρείται ότι η τοπολογία του δικτύου είναι αυτή που φαίνεται στην εικόνα 31. Οι σταθμοί βάσης καταθέτουν την προσφορά τους στο κυρίαρχο χρήστη και αυτός καθορίζει τους νικητές της δημοπρασίας όπως φαίνεται στον πίνακα 5.

Σταθμοί βάσης	u_i	x_i	p_i
AP1	20	1	19
AP2	7	0	0
AP3	9	0	0
AP4	3	0	0

Πίνακας 5

Το ποσό που καλείται να πληρώσει το AP1 είναι: $p_1 = 19 - (20 - 20) = 19$.

Βάσει της παραπάνω ανάθεσης οι σταθμοί βάσης AP2, AP3 και AP4 διεκδικούν αλλά δεν κερδίζουν στη δημοπρασία. Γι' αυτό το λόγο συνεννοούνται μεταξύ τους και αυξάνουν τις προσφορές τους όπως φαίνεται στον πίνακα 6.

Χρήστες	u_i	b_i	x_i	p_i
1	20	20	0	0
2	7	8	1	6
3	9	10	1	8
4	3	4	1	2

Πίνακας 6

Στην περίπτωση αυτή νικητές θα είναι οι σταθμοί βάσης AP2, AP3 και AP4. Η καθαρή τους ωφέλεια είναι:

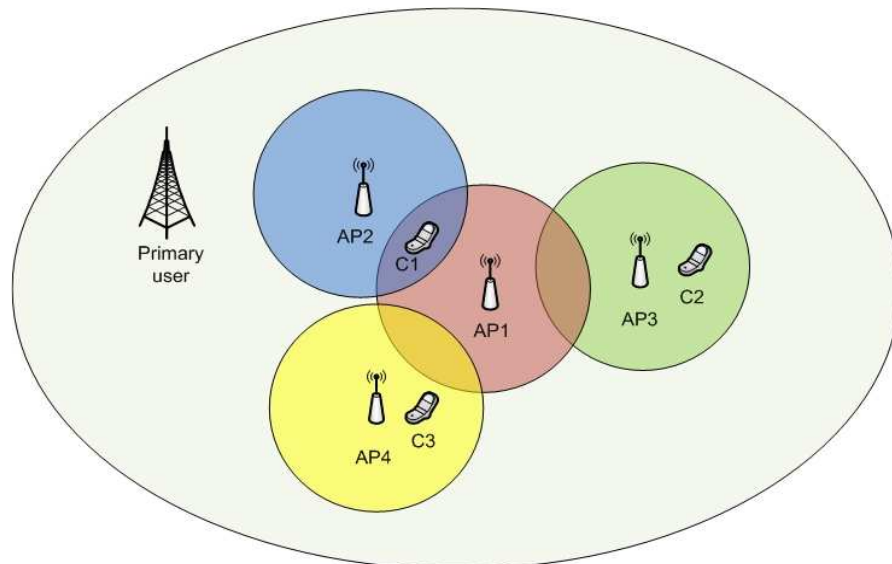
$$r_2 = x_2 u_2 - p_2 = 1 \cdot 7 - 6 = 1$$

$$r_3 = x_3 u_3 - p_3 = 1 \cdot 9 - 8 = 1$$

$$r_4 = x_4 u_4 - p_4 = 1 \cdot 3 - 2 = 1$$

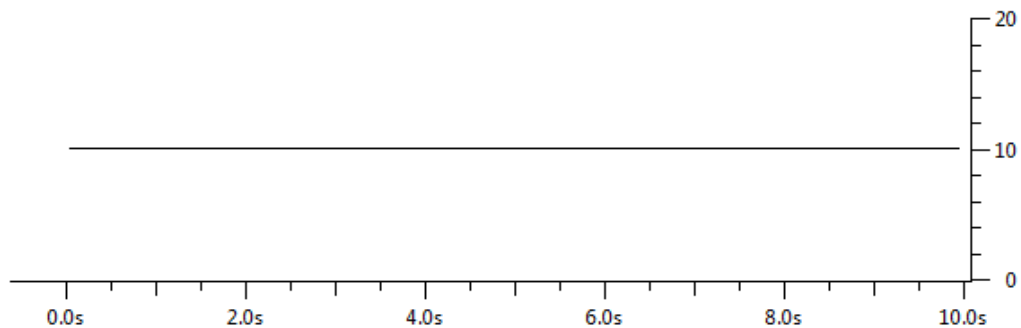
Επειδή τα καθαρά οφέλη των σταθμών βάσης είναι θετικά συμπεραίνουμε ότι οι σταθμοί βάσης έχουν κίνητρο να αυξήσουν της προσφορές τους. Τα συνολικά έσοδα για τον πωλητή στην πρώτη περίπτωση είναι 17, ενώ στη δεύτερη περίπτωση 16. Επομένως ο πωλητής έχει κίνητρο για να αντιμετωπίσει την συμπαγνία.

Η προσομοίωση με το NSClick πραγματοποιήθηκε και για τις δύο περιπτώσεις. Τα χαρακτηριστικά των κεραιών παραμένουν τα ίδια ενώ στην τοπολογία προστεθήκαν δύο ακόμα clients όπως φαίνεται στην εικόνα 34.



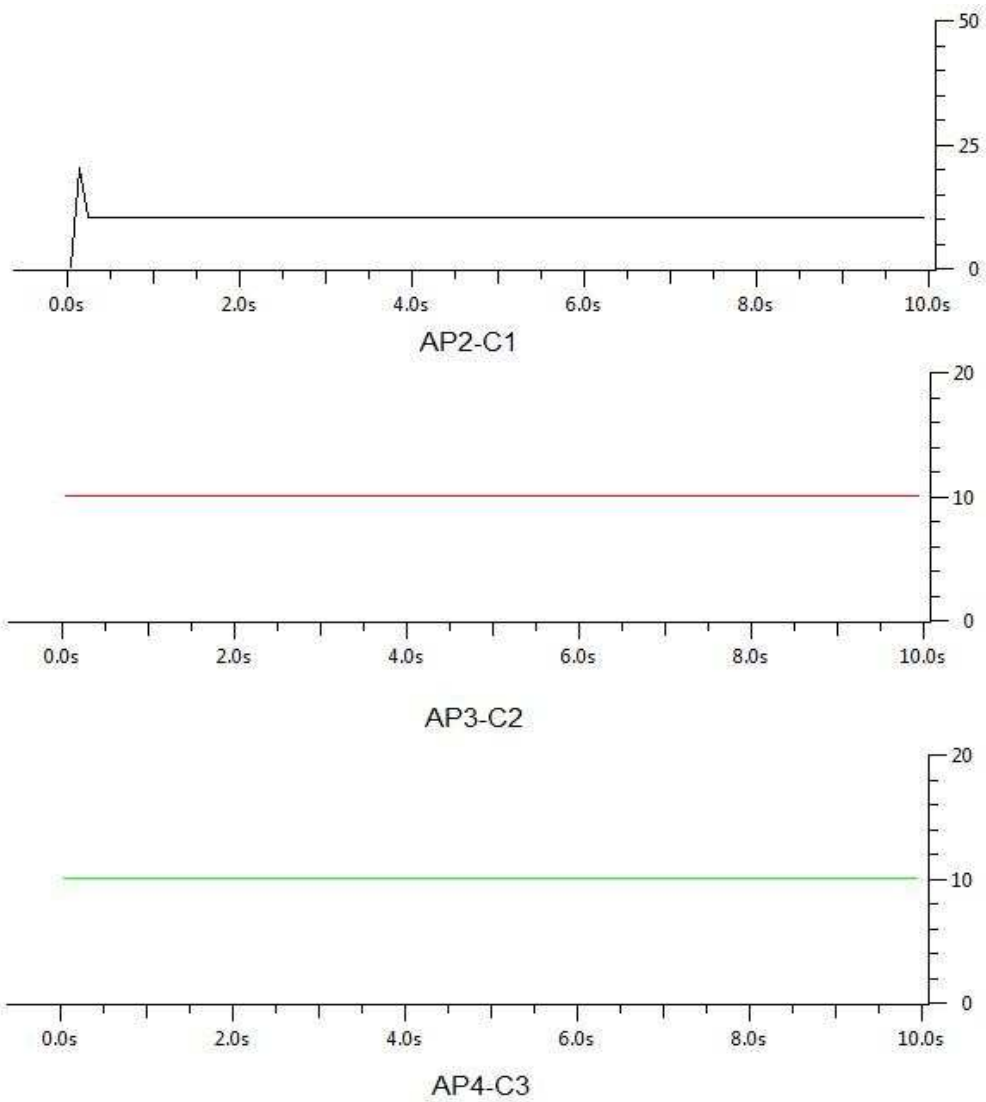
Εικόνα 34

Στην προσομοίωση με το NSClick θεωρήθηκε ότι ο χρόνος την κάθε χρονοθυρίδας είναι 10 δευτερόλεπτα. Βάσει των παραπάνω στην περίπτωση που το AP1 στέλνει δεδομένα στο C1, η ανάλυση με το Wireshark των πακέτων που φτάνουν στη κάρτα δικτύου του C1 οδήγησε στο παρακάτω διάγραμμα. Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι στο τα πακέτα που φτάνουν στο C1 έχουν σταθερή ροή ίση με 10 πακέτα ανά δευτερόλεπτο. Στο Wireshark επιλέχθηκε η επιλογή για Tick interval 0,1sec. Δηλαδή μετριέται ο αριθμός των πακέτων κάθε 0,1 sec. Συνεπώς σε διάστημα 1s ο αριθμός των πακέτων είναι 100. Ο αριθμός αυτός είναι λογικός καθώς το διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών πακέτων ορίστηκε στα 10ms.



Εικόνα 35

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι ροές των πακέτων στην περίπτωση που τη δημοπρασία την κερδίσουν τα AP2, AP3 και AP4 και στείλουν στα C1, C2 και C3 αντίστοιχα.



Εικόνα 36

Οι παραπάνω ροές επιβεβαιώνουν ότι τα AP2, AP3 και AP4 όντως στέλνουν στα C1, C2 και C3 αντίστοιχα με ρυθμό 100 πακέτα το δευτερόλεπτο.

5.6 Προσομοίωση μηχανισμού δημοπρασίας ανοδικής τιμής εφαρμοζόμενος σε χρονοθυρίδες

Αν και στη σχετική βιβλιογραφία ο μηχανισμός αυτός έχει προταθεί για δημοπρασία φασματικών τμημάτων, στη παρούσα προσομοίωση χρησιμοποιείται για δημοπρασία χρονοθυρίδων.

Βήμα 1°

Για την προσομοίωση του μηχανισμού της δημοπρασίας αρχικά απαιτήθηκε η δημιουργία κώδικα στη γλώσσα MATLAB βάσει του οποίου θα πραγματοποιείται η εκάστοτε δημοπρασία. Αρχικά λοιπόν ορίσθηκε ο αριθμός των πλειοδοτών $N=2$ ($N=3$ στην περίπτωση της παραβατικής συμπεριφοράς που θα εξεταστεί παρακάτω) και αρχικοποιήθηκαν οι ωφέλειες για τους δύο πλειοδότες για την περίπτωση του 20%, 40% και 60% της χρονοθυρίδας. Δεν επιλέχθηκε μεγαλύτερη ποσοστό απόκτησης χρονικού τμήματος διότι με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η κοινωνική ευημερία. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι ωφέλειες των πλειοδοτών για τα διάφορα ποσοστά απόκτησης.

	Χρήστης 1	Χρήστης 2
Ωφέλεια(0,2)	100	80
Ωφέλεια(0,4)	180	160
Ωφέλεια(0,6)	210	220

Πίνακας 7

Επιλέγεται τιμή εκκίνησης ίση με $q=100$. Για την τιμή αυτή οι χρήστες υπολογίζουν σε ποιο ποσοστό του χρόνου έχουν το μέγιστο καθαρό όφελος. Αυτό πραγματοποιείται μέσω του τύπου: $NB = u - x * q$ όπου x είναι το ποσοστό του χρόνου, u η αντίστοιχη ωφέλεια και q η τιμή αγοράς. Για $q=100$ για τον χρήστη 1 έχουμε:

$$NB_{0,2}=100-0,2*100=80$$

$$NB_{0,4}=180-0,4*100=140$$

$$NB_{0,6}=210-0,6*100=150$$

Οπότε ο χρήστης 1 επιθυμεί το 60% του χρονικού τμήματος.

Για το χρήστη 2 ισχύει ότι:

$$NB_{0,2}=80-0,2*100=60$$

$$NB_{0,4}=160-0,4*100=120$$

$$NB_{0,6}=100-0,6*100=40$$

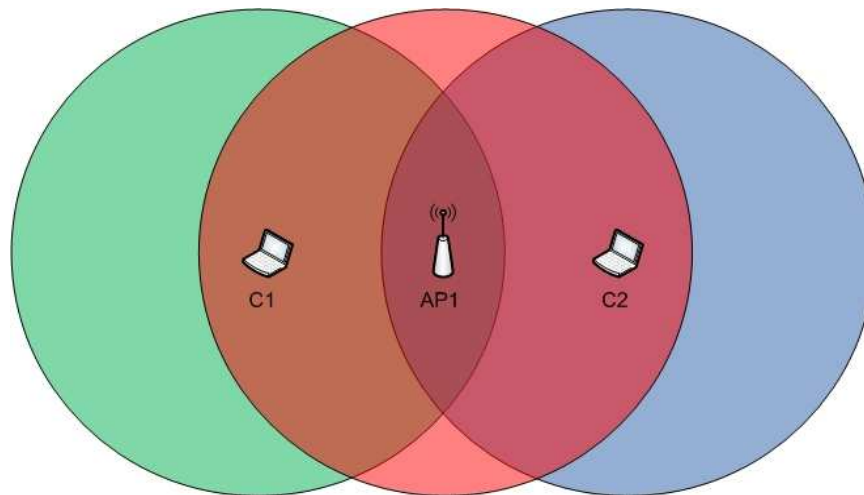
Και ο χρήστης 2 επιθυμεί επομένως το 60% του χρονικού τμήματος. Συνεπώς και οι δύο χρήστες επιθυμούν το 120% του χρονικού τμήματος, το οποίο όμως είναι αδύνατο. Ο πωλητής επομένως αυξάνει την τιμή q κατά ένα $\Delta q=1$. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου το άθροισμα των επιθυμητών χρονικών τμημάτων γίνει μικρότερο ή ίσο με 100%. Η εκτέλεση της παραπάνω διαδικασίας πραγματοποιήθηκε μέσω του κώδικα MATLAB. Η δημοπρασία ολοκληρώθηκε μετά από 51 βήματα με $q=151$. Στην περίπτωση αυτή ο χρήστης 1 έλαβε το 40% ενώ ο χρήστης 2 το 60% του χρόνου.

51° βήμα

$q=151$	20%	40%	60%	Διάθεση
Κυρίαρχος	69,8	119,6	119,4	40%
Πλειοδότης 1	59,8	99,6	129,4	60%

Βήμα 2°

Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε το NSClick για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης. Αρχικά δημιουργήθηκαν 3 κόμβοι, 1 σταθμός βάσης, το API και 2 τερματικά τα C1 και C2 όπως φαίνεται στην εικόνα 37.

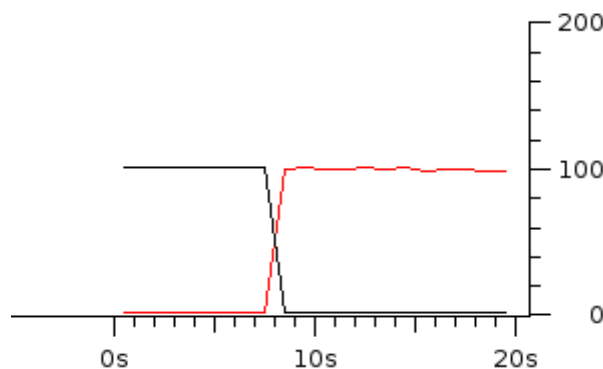


Εικόνα 37

Επίσης παραμετροποιήθηκαν τα χαρακτηριστικά των κεραιών, που είναι τα ίδια με αυτά των παραπάνω προσομοιώσεων. Επίσης στο AP1 δόθηκε η IP address 192.168.0.1 ενώ τα C1 και C2 δόθηκαν οι IP διευθύνσεις 192.168.0.2 και 192.168.0.3 αντίστοιχα. Οι ροές των πακέτων από τα τερματικά στο σταθμό βάσης είναι UDP με μέγεθος πακέτου 88 bytes ενώ ο χρόνος μεταξύ διαδοχικών πακέτων ορίστηκε στα 10ms. Επιλέχθηκε ως χρόνος προσομοίωσης τα 20 δευτερόλεπτα με μέγιστο χρόνο διάθεσης 20 δευτερόλεπτα. Συνεπώς ο χρήστης 1 θα εκπέμπει για τα πρώτα 8 δευτερόλεπτα ενώ ο χρήστης 2 για τα υπόλοιπα 12 δευτερόλεπτα. Εισήχθησαν οι παραπάνω τιμές στο χάρτη χρονοθυρίδων σε μικροδευτερόλεπτα.

Βήμα 3^ο

Στη συνέχεια μέσω του αναλυτή πρωτοκόλλων δικτύου Wireshark ανοίχθηκε το αρχείο AP1_in_eth0 το οποίο περιλαμβάνει τις ροές των πακέτων των τερματικών C1 και C2 προς το AP1. Μέσω της επιλογής IO Graphs και με φίλτρα IP.src==192.168.0.2 και IP.src==192.168.0.3. Επιλέχθηκε για Tick interval 1sec και προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα που φαίνεται στην εικόνα 38. Στην εικόνα αυτή με μαύρη γραμμή παρουσιάζεται ο αριθμός των πακέτων που έστειλε ο χρήστης 1 (C1) στο σταθμό βάσης, ενώ με κόκκινη γραμμή παρουσιάζεται ο αριθμός των πακέτων που έστειλε ο χρήστης 2. Παρατηρούμε ότι για τα πρώτα 8 δευτερόλεπτα ο χρήστης 1 εκπέμπει με ρυθμό 100 πακέτα ανά δευτερόλεπτο, ενώ μετά το 8^ο δευτερόλεπτο ο σταματάει η εκπομπή του. Στο 8^ο δευτερόλεπτο αρχίζει η εκπομπή του 2^{ου} χρήστη, οποίος εκπέμπει για τα επόμενα 12 δευτερόλεπτα με ρυθμό 100 πακέτα ανά δευτερόλεπτο.



Εικόνα 38

Βήμα 4^ο

Όλα τα παραπάνω βήματα αφορούσαν στην περίπτωση που και οι δύο χρήστες φέρονταν νόμιμα. Έστω ότι στη δημοπρασία εισέρχεται ένας άλλος χρήστης, ο χρήστης 3 ο οποίος σκοπός του είναι να πλήξει την διαδικασία της δημοπρασίας. Θεωρούμε ότι ο χρήστης 3 γνωρίζει ή μπορεί να υπολογίσει με κάποιο τρόπο της ωφέλειες των άλλων δύο χρηστών. Οι ωφέλειες του χρήστη 3 σε σχέση με το ποσοστό της περιόδου μίσθωσης φαίνεται στο επόμενο πίνακα.

	Χρήστης 1	Χρήστης 2	Χρήστης 3
Ωφέλεια (0,2)	100	80	50
Ωφέλεια (0,4)	180	160	130
Ωφέλεια (0,6)	210	220	190

Πίνακας 8

Για την προσομοίωση του μηχανισμού της δημοπρασίας στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιήθηκε ο κώδικας σε MATLAB για την νόμιμη συμπεριφορά με κάποιες όμως τροποποιήσεις. Ορίστηκε ο αριθμός των πλειοδοτών $N=3$ και αρχικοποιήθηκαν οι ωφέλειες για τους τρεις πλειοδότες για την περίπτωση του 20%, 40% και 60% της χρονοθυρίδας. Επιλέγεται τιμή εκκίνησης ίση με $q=100$. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα στιγμιότυπα σχετικά με διαδικασία της δημοπρασίας.

Τιμή (q)	Χρήστης 1	Χρήστης 2	Χρήστης 3
100	0,6	0,6	0,6
110	0,6	0,6	0,6
150	0,6	0,6	0,6
151	0,4	0,6	0,6
300	0,4	0,6	0,6
301	0,4	0,4	0,4
319	0,4	0,4	0,4
324	0,4	0,4	0,4
325	0,4	0,4	0

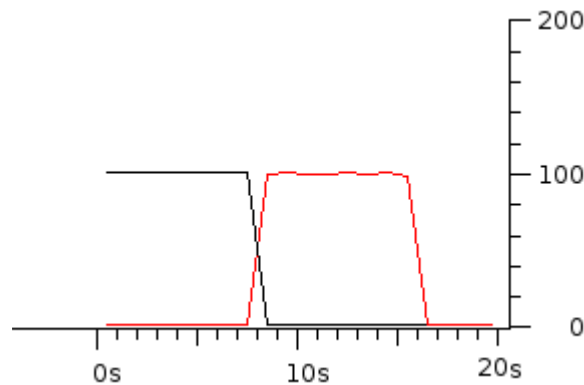
Πίνακας 9

Παρατηρούμε λοιπόν ότι ο χρήστης 3 μόλις η τιμή έγινε 325 αποχώρησε από τη δημοπρασία. Η παραβατική συμπεριφορά του χρήστη 3 έγκειται στο γεγονός ότι εξ αρχής δεν είχε σκοπό να εκπέμψει αλλά ο σκοπό τους ήταν να συμμετάσχει στη δημοπρασία και να αυξήσει την τιμή πώλησης. Οι νικητές χρήστες 1 και 2 πληρώνουν την τιμή στην οποία κέρδισαν τελικά τη χρονοθυρίδα., ενώ ο χρήστης 3 δεν πληρώνει τίποτα. Τα έσοδα του πωλητή είναι $2 \cdot 325 \cdot 0,4 = 260$. Παρατηρούμε επίσης ότι ένα 20% του χρόνου παραμένει αχρησιμοποίητο.

Για την προσομοίωση με το NSClick χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από την προηγούμενη μη παραβατική δημοπρασία. Ο χρόνος προσομοίωσης είναι 20 sec ενώ για τα πρώτα 8 sec πρέπει να εκπέμψει ο χρήστης 1 ενώ για τα επόμενα 8 sec να σταματάει ο χρήστης 1 και εκπέμπει ο χρήστης 2. Μετά από πάροδο 8 secs πρέπει να σταματήσει η εκπομπή του χρήστη 2. Προγραμματίστηκε κατάλληλα ο χάρτης χρονοθυρίδας και εκτελέστηκε η προσομοίωση.

Στη συνέχεια μέσω του αναλυτή πρωτοκόλλων δικτύου Wireshark ανοίχθηκε το αρχείο AP1_in_eh0 το οποίο περιλαμβάνει τις ροές των πακέτων των τερματικών C1 και C2 προς

το API. Μέσω της επιλογής IO Graphs και με φίλτρα IP.src==192.168.0.2 και IP.src==192.168.0.3. Επιλέχθηκε για Tick interval 1sec και προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα που φαίνεται στην εικόνα 39.



Εικόνα 39

Στην εικόνα αυτή με μαύρη γραμμή παρουσιάζεται ο αριθμός των πακέτων που έστειλε ο χρήστης 1 (C1) στο σταθμό βάσης, ενώ με κόκκινη γραμμή παρουσιάζεται ο αριθμός των πακέτων που έστειλε ο χρήστης 2. Παρατηρούμε ότι για τα πρώτα 8 δευτερόλεπτα ο χρήστης 1 εκπέμπει με ρυθμό 100 πακέτα ανά δευτερόλεπτο, ενώ μετά το 8^ο δευτερόλεπτο ο σταματάει η εκπομπή του. Στο 8^ο δευτερόλεπτο αρχίζει η εκπομπή του 2^{ου} χρήστη, οποίος εκπέμπει για τα επόμενα 8 δευτερόλεπτα με ρυθμό 100 πακέτα ανά δευτερόλεπτο. Στο 16^ο δευτερόλεπτο ο χρήστης 2 σταματάει να εκπέμπει.

Βήμα 5^ο

Έστω ότι ο χρήστης 3 αλλάζει τις ωφέλειές όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Η εκτέλεση της δημοπρασίας με χρήση του κώδικα MATLAB οδήγησε τους χρήστες 1 και 2 σε νίκη αλλά με την διαφορά ότι η δημοπρασία ολοκληρώθηκε μετά από 234 βήματα. Συνεπώς η τιμή αγοράς αυξήθηκε στα από 325 σε 334. Αυτό οδήγησε τους χρήστες 1 και 2 να πληρώσουν περισσότερο, ενώ ο χρήστης 3 δεν πλήρωσε τίποτα.

	Χρήστης 1	Χρήστης 2	Χρήστης 3
Ωφέλεια (0,2)	100	80	50(50)
Ωφέλεια (0,4)	180	160	120(130)
Ωφέλεια (0,6)	210	220	200(190)

Πίνακας 10

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται μερικά από τα στιγμιότυπα της δημοπρασίας.

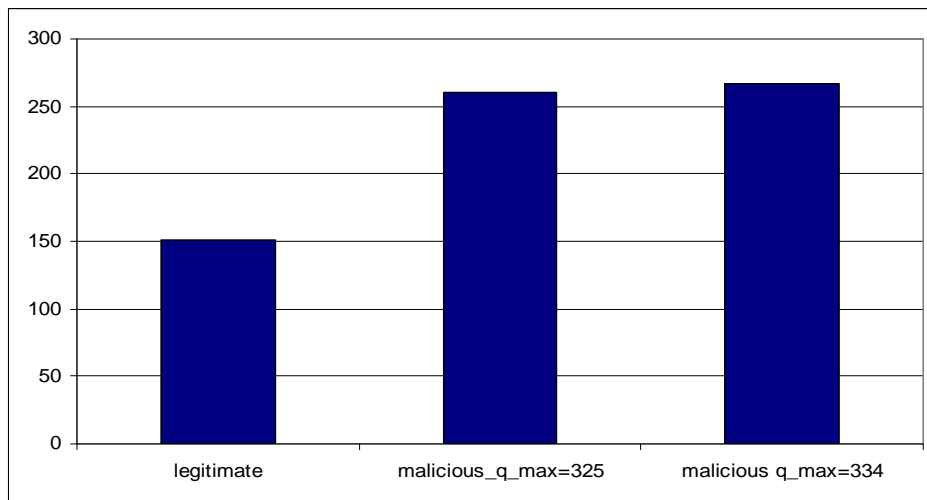
Τιμή (q)	Χρήστης 1	Χρήστης 2	Χρήστης 3
100	0,6	0,6	0,6
110	0,6	0,6	0,6
150	0,6	0,6	0,6
151	0,4	0,6	0,6
300	0,4	0,6	0,6

301	0,4	0,4	0,6
319	0,4	0,4	0,6
333	0,4	0,4	0,6
334	0,4	0,4	0

Πίνακας 11

Παρατηρούμε λοιπόν ότι ο χρήστης 3 μόλις η τιμή έγινε 334 αποχώρησε από τη δημοπρασία. Οι νικητές χρήστες 1 και 2 πληρώνουν την τιμή στην οποία κέρδισαν τελικά τη χρονοθυρίδα., ενώ ο χρήστης 3 δεν πληρώνει τίποτα. Τα έσοδα του πωλητή είναι $2 \cdot 334 \cdot 0,4 = 267,2$. Παρατηρούμε επίσης ότι ένα 20% του χρόνου παραμένει αχρησιμοποίητο.

Οι χρήστες 1 και 2 ως νικητές της δημοπρασίας δικαιούνται να εκπέμψουν για χρονικό διάστημα 8 δευτερολέπτων ενώ ένα διάστημα 4 δευτερολέπτων παραμένει αχρησιμοποίητο. Οι ροές των πακέτων από το C1 και C2 προς το AP1 είναι ίδιες με αυτές του διαγράμματος στην εικόνα 39.



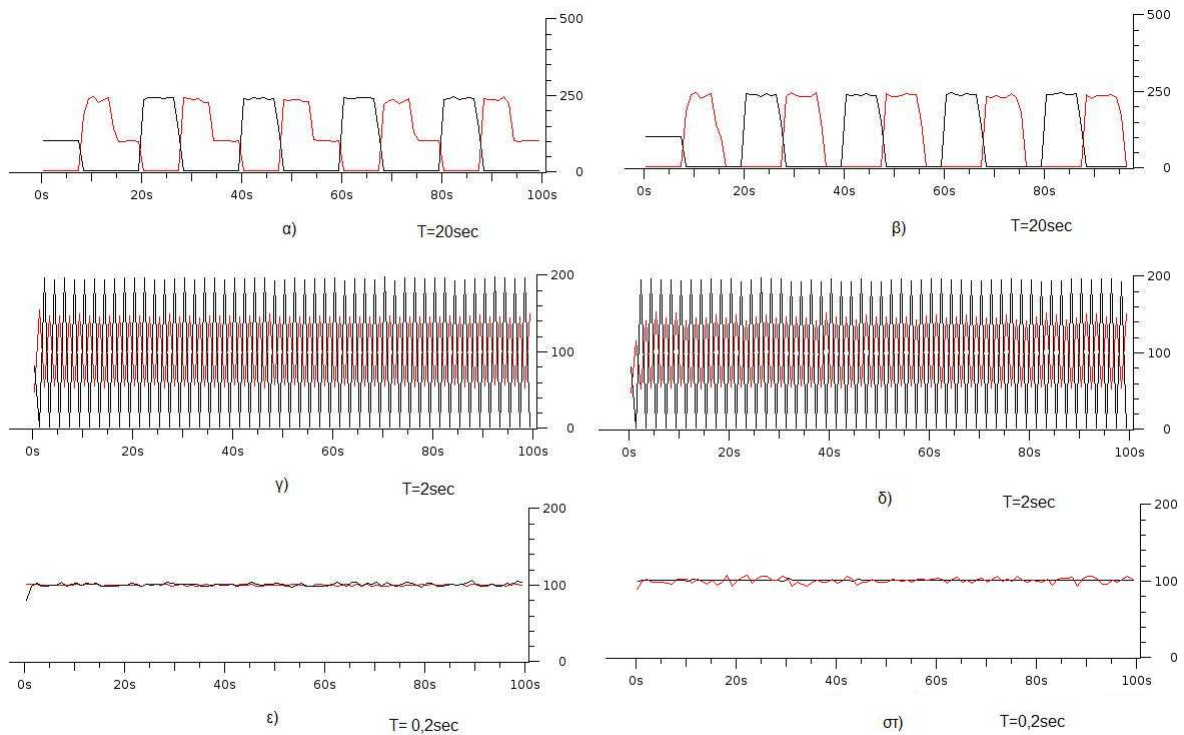
Εικόνα 40

Τέλος στην εικόνα 40 φαίνονται τα συνολικά έσοδα του πωλητή για κάθε μία από τις τρεις δημοπρασίες που πραγματοποιήθηκαν.

Βήμα 6^ο

Όπως είδαμε παραπάνω το είδος αυτό της δημοπρασίας απαιτεί την συνεχή ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των χρηστών και του σταθμό βάσης. Η διάρκεια της δημοπρασίας επομένως μπορεί να αυξηθεί σημαντικά γεγονός που δύναται να επηρεάσει την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών. Μπορεί λοιπόν να θεωρηθεί ότι αντί να πραγματοποιείται μια δημοπρασία κάθε 20 δευτερόλεπτα που είναι ο μέγιστος χρόνος μίσθωσης, να θεωρηθεί ο χρόνος αυτός ως ένα frame και να πραγματοποιείται μια τέτοια δημοπρασία κάθε 5 frames.

Ο παράγοντας που είναι σημαντικός στην περίπτωση αυτή είναι η διάρκεια του frame. Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για διάφορες τιμές του χρόνου μίσθωσης.



Εικόνα 41

Στις εικόνες 41α, 41γ, 41ε φαίνεται ο αριθμός των πακέτων των δύο ροών στην περίπτωση που διατίθεται το 100% του frame για διάφορα διαστήματα χρονοθυρίδας. Στις εικόνες 41β, 41δ, 41στ φαίνεται ο αριθμός των πακέτων ως προς το χρόνο στην περίπτωση παραβατικής συμπεριφοράς που διατίθεται μόνο το 80% του frame. Αν παρατηρήσουμε την εικόνα 41α βλέπουμε ότι ο αριθμός των πακέτων ως προς το χρόνο αυξάνεται στα 250 πακέτα το δευτερόλεπτο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το TimeSched element το οποίο είναι υπεύθυνο το χρονοπρογραμματισμό του πότε θα σταλεί ένα πακέτο επεμβαίνει στο επίπεδο 3 της κάθε κάρτας δικτύου. Αυτό σημαίνει ότι, αν και το τερματικό δεν στέλνει πακέτα τη χρονική στιγμή για την οποία ορίζει το TimeSched element ότι δεν πρέπει να στείλει, παρόλα τα δημιουργεί και τα αποθηκεύει στο καταχωρητή του TimeSched. Συνεπώς τη χρονική στιγμή που το TimeSched επιτρέπει τη αποστολή πακέτων, η αποστολή αυτή θα γίνει όχι με ρυθμό 100 πακέτα το δευτερόλεπτο, αλλά με ρυθμό 250 πακέτα το δευτερόλεπτο. Παρατηρούμε στη συνέχεια μετά την πάροδο διαστήματος 5 περίπου δευτερολέπτων η ροή επανέρχεται στα φυσιολογικά επίπεδα. Παρατηρούμε επίσης το ίδιο φαινόμενο στις εικόνες 41γ και 41δ. Το φαινόμενο αυτό εξαλείφεται στις εικόνες 41ε και 41στ κατά το οποίο η χρονοθυρίδα έχει μικρό πλέον μήκος και επομένως τα πακέτα που αποθηκεύονται στον καταχωρητή του TimeSched είναι πολύ λιγότερα σε σχέση με αυτά στις εικόνες 41α, 41β, 41γ, 41δ.

5.7 Προσομοίωση μηχανισμού δημοπρασίας καθοδικής τιμής εφαρμοζόμενος σε χρονοθυρίδες

Αν και ο μηχανισμός καθοδικής τιμής έχει εφαρμοστεί για διάθεση φασματικών τμημάτων και χωρητικότητας στην παρούσα προσομοίωση εξετάζεται η περίπτωση εφαρμογής του σε χρονοθυρίδες. Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, έτσι και σε αυτήν, εξετάζεται μια μη παραβατική και μια παραβατική συμπεριφορά.

Βήμα 1^ο

Η διαδικασία της δημοπρασίας πραγματοποιήθηκε μέσω κώδικα MATLAB. Αρχικά παραμετροποιήθηκαν το πλήθος των χρηστών καθώς επίσης και το πλήθος των frames. Στην προσομοίωση ορίστηκε ότι $N=4$ το πλήθος των χρηστών και $M=3$ το πλήθος των frames. Για κάθε ένα frame πραγματοποιήθηκε και μια ξεχωριστή καθοδική δημοπρασία, ενώ το μήκος της χρονοθυρίδας είναι μεταβλητό αλλά με τη ζήτηση του κάθε χρήστη. Στο Matlab ορίστηκε ο πίνακας *Time_need* ο οποίος περιλαμβάνει τη ζήτηση του κάθε χρήστη για μια χρονοθυρίδα. Θεωρήθηκε ότι το μήκος της χρονοθυρίδας είναι 1 οπότε η ζήτηση του κάθε χρήστη ανήκει στο διάστημα (0,1). Για λόγους κοινωνικής ευημερίας θεωρήθηκε ότι η ζήτηση του κάθε χρήστη έχει μέση τιμή 0,25 και τυπική απόκλιση 0,1. Για τη δημιουργία του *Time_need* χρησιμοποιήθηκε η *randn* συνάρτηση του MATLAB. Επίσης ορίστηκε ο πίνακας *Bids* ο οποίος περιλαμβάνει της προσφορές του κάθε χρήστη για ένα frame οι οποίες είναι ανάλογες του *Time_need*. Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν στο 0,1 του χρόνου ζήτησης. Ο τύπος υπολογισμού του πίνακα *Bids* είναι:

$$Bids = 2 * round(150 + 20randn) * 1,2 * Time_need$$

Παρακάτω φαίνονται οι δύο πίνακες βάσει των οποίων πραγματοποιήθηκε η δημοπρασία.

Time_need				
	Χρήστης 1	Χρήστης 2	Χρήστης 3	Χρήστης 4
Frame 1	0,20674	0,26253	0,13535	0,36892
Frame 2	0,28273	0,23133	0,19117	0,23636
Frame 3	0,35668	0,24044	0,27944	0,32143

Πίνακας 12

Bids				
	Χρήστης 1	Χρήστης 2	Χρήστης 3	Χρήστης 4
Frame 1	58	98	56	132
Frame 2	104	92	88	86
Frame 3	130	76	82	140

Πίνακας 13

Ως αρχική τιμή για τη δημοπρασία ορίσθηκε $q=200$, και $\max\text{Drop}=2$. Δηλαδή η μέγιστη τιμή που μπορεί να πέφτει η τιμή q είναι 2. Στη συνέχεια πραγματοποιείται η διαδικασία της δημοπρασίας για κάθε ένα frame.

Για το πρώτο frame οι νικητές της δημοπρασίας και η ανάθεση των χρονικών τμημάτων φαίνεται στον επόμενο πίνακα.

Frame 1	
Νικητές-Χρήστες	Διάθεση
4	0,36892
2	0,26253
1	0,20674
3	0,13535
Υπόλοιπο	0,02646

Πίνακας 14

Παρατηρούμε ότι όταν η τιμή φτάσει $q=132$ τότε ο χρήστης 4 κερδίζει το ποσό του χρόνου το οποίο είχε ζητήσει δηλαδή 0,36892. Το υπόλοιπο 0,63108 διατίθεται στους χρήστες 1,2,3. Όταν η τιμή φτάσει $q=98$ ο χρήστης 2 κερδίζει το 0,26253 ενώ το υπόλοιπο 0,36855 διατίθεται στους χρήστες 1 και 3. Όταν η τιμή φτάσει $q=58$ τότε ο χρήστης 1 κερδίζει το 0,20674 ενώ το υπόλοιπο 0,16181 διατίθεται για του χρήστη 3. Τέλος όταν η τιμή φτάσει $q=56$, τότε ο χρήστης 3 κερδίζει το χρονικό τμήμα που επιθυμούσε, δηλαδή το 0,13535 και το υπόλοιπο 0,02646 παραμένει ανεκμετάλλευτο.

Στον πίνακα 15 φαίνονται οι νικητές για τα frames 2 και 3.

Frame 2		Frame 3	
Νικητές-Χρήστες	Διάθεση	Νικητές-Χρήστες	Διάθεση
1	0,28273	4	0,32143
2	0,23133	1	0,35668
3	0,19117	3	0,27944
4	0,23636	-	-
Υπόλοιπο	0,058413	Υπόλοιπο	0,04245

Πίνακας 15

Παρατηρούμε ότι στο frame 3 ο χρήστης 2 δεν έλαβε κανένα τμήμα του χρόνου καθώς η ζήτησή του ήταν μεγαλύτερη από το διατιθέμενο χρονικό τμήμα που επιθυμούσε. Συνεπώς ο χρήστης 2 αποκλείεται από τη δημοπρασία και δεν πληρώνει τίποτα. Το ποσό που πληρώνουν οι χρήστες για κάθε ένα frame καθορίζεται από τη τελευταία τιμή αγοράς και δίνεται από το τύπο:

$$\text{Price} = \frac{\text{Final_Pr} * \text{Time_need}}{0,1}$$

Για το frame 1 η τελευταία τιμή αγοράς ήταν $q=56$, οπότε οι χρήστες πληρώνουν:

Χρήστης 4: 206,6

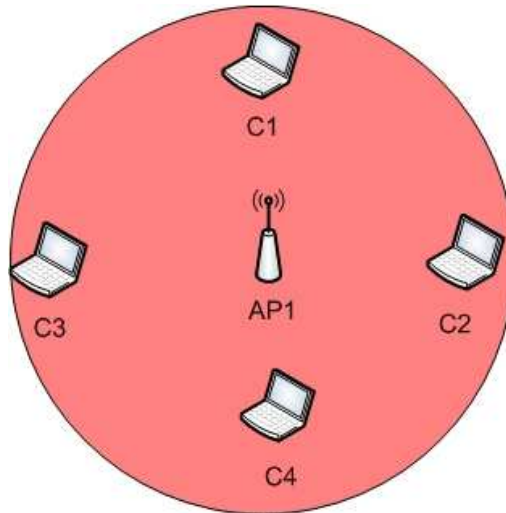
Χρήστης 2: 147,02

Χρήστης 1: 115,79

Χρήστης 3: 75,79

Τα συνολικά έσοδα του πωλητή για το frame 1 είναι 545,19.

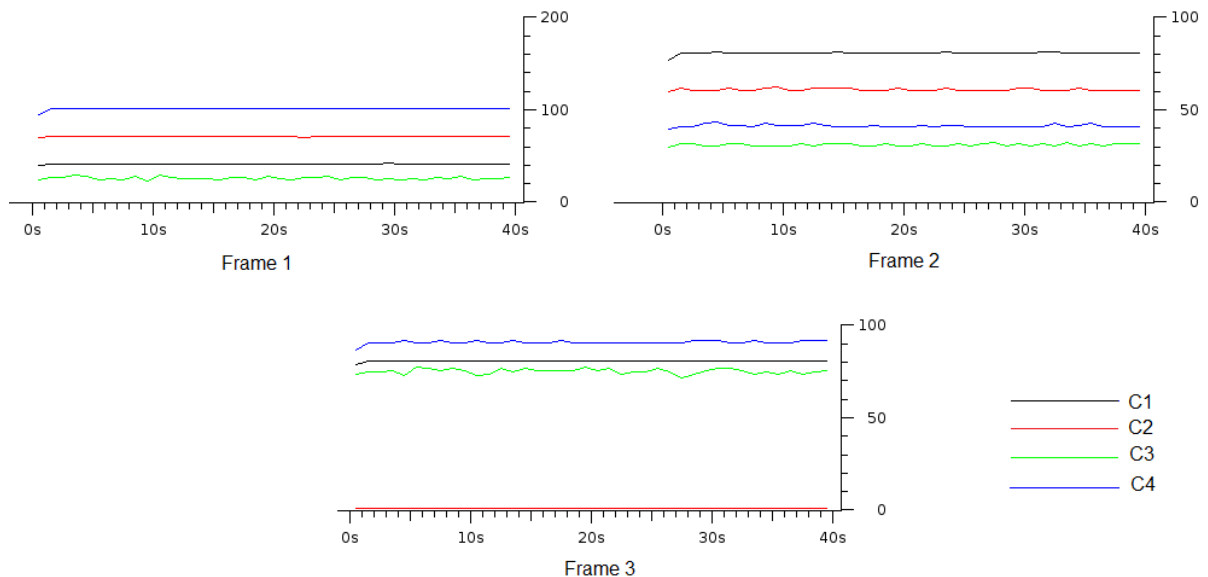
Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε προσομοίωση του παραπάνω μηχανισμού με το NSclick. Τα δεδομένα επεξεργάστηκαν με το wireshark και προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα όσο αφορά το πλήθος των πακέτων που φτάνουν στο σταθμό βάσης AP1 όπως φαίνεται στη παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 42

Για την προσομοίωση επιλέχθηκε μήκος ενός frame ίσο με 100ms. Επίσης έγινε η θεώρηση ότι το πρώτο frame επαναλαμβάνεται για όσο χρόνο διαρκεί η διαδικασία της προσομοίωσης δηλαδή 40 δευτερόλεπτα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η διαδικασία της δημοπρασίας είναι αρκετά χρονοβόρα, σε σχέση με την περίοδο του frame, οπότε η υπόθεση να πραγματοποιείται μια δημοπρασία μετά από την εκπομπή ενός frame δεν είναι αποδοτική.

Παρακάτω φαίνονται τα διαγράμματα που προέκυψαν μέσω της προσομοίωσης με το NSclick και το wireshark.



Εικόνα 43

Στην εικόνα 43 φαίνονται το πλήθος των πακέτων κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης για τα τρία frames. Παρατηρούμε ότι αν και ο ρυθμός γέννησης των πακέτων είναι σταθερός και ίσος με 100 πακέτα/s, στο AP1 ο ρυθμός άφιξης είναι μικρότερος από 100 πακέτα/s. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι χρονοθυρίδες είναι μεταβλητού μήκους (εξαρτώνται από τον πίνακα Time_need) και επίσης ένα μέρος αυτής παραμένει αχρησιμοποίητο.

Βήμα 2^ο

Στο βήμα αυτό εξετάζεται η περίπτωση κατά την οποία οι χρήστες 1, 2, 3, 4 συνεννοούνται μεταξύ τους και καταθέτουν προσφορές αρκετά χαμηλότερες από τις εκτιμήσεις τους, με σκοπό τα ποσά που θα πληρώσουν να είναι μικρότερα. Για αυτό το λόγο θεωρήθηκε ότι οι προσφορές τους δίνονται από τον τύπο:

$$Bids = 2 * round(50 + 20randn) * 1,2 * Time_need$$

Δηλαδή μειώθηκε η μέση τιμή κατά 100 μονάδες. Ο πίνακας προσφορών στη περίπτωση αυτή είναι:

Bids				
	Χρήστης 1	Χρήστης 2	Χρήστης 3	Χρήστης 4
Frame 1	4	22	60	28
Frame 2	20	30	26	10
Frame 3	48	48	38	34

Πίνακας 16

ενώ ο πίνακας της ζήτησης Time_need παραμένει ο ίδιος.

Για τα 3 frames οι νικητές φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Frame 1		Frame 2		Frame 3	
Νικητές	Διάθεση	Νικητές	Διάθεση	Νικητές	Διάθεση
3	0,13535	2	0,23133	1	0,35668
4	0,36892	3	0,19117	2	0,24044
2	0,26253	1	0,28273	3	0,27944
1	0,20674	4	0,23636	-	
Υπόλοιπο	0,02646	Υπόλοιπο	0,058413	Υπόλοιπο	0,12344

Πίνακας 17

Αν συγκρίνουμε τους πίνακες 14, 15 και 17 για τα δύο πρώτα frames σε όλους τους χρήστες δίνεται η δυνατότητα να εκπέμψουν, ενώ αντίθετα για το 3^ο frame όπως φαίνεται στον πίνακα 17 αποκλείεται ο χρήστης 4. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ο χρήστης 4 κέρδισε τη δυνατότητα να εκπέμψει όταν η τιμή q έγινε 34. Όταν όμως συνέβη αυτό το διαθέσιμο χρονικό τμήμα ήταν μικρότερο από αυτό που επιθυμούσε ο χρήστης 4, οπότε αποκλείστηκε από τη δημοπρασία.

Τα ποσά που πλήρωσαν στην περίπτωση αυτή οι χρήστες για το frame 1 είναι:

Χρήστης 3: 5,414

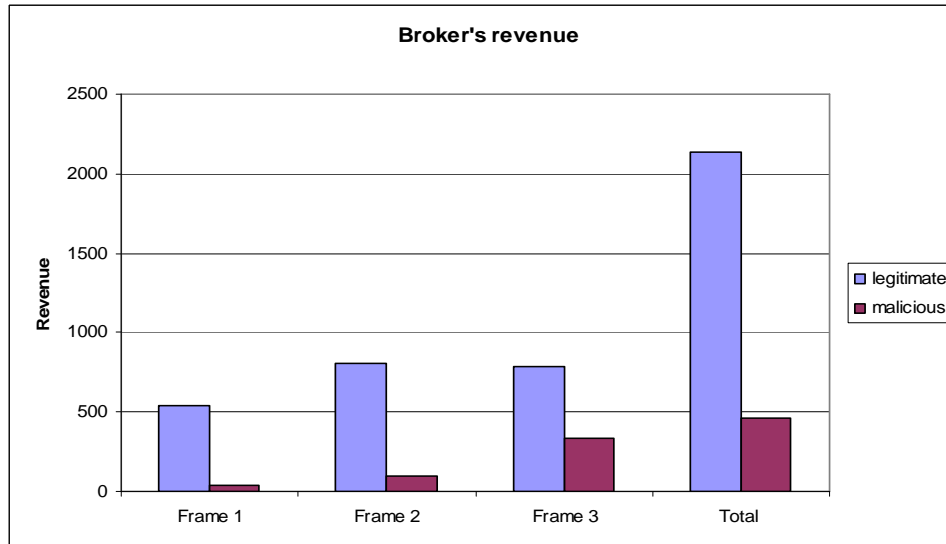
Χρήστης 4: 14,7568

Χρήστης 2: 10,50

Χρήστης 1: 8,2696

Τα συνολικά έσοδα του πωλητή για το frame 1 είναι 38,94.

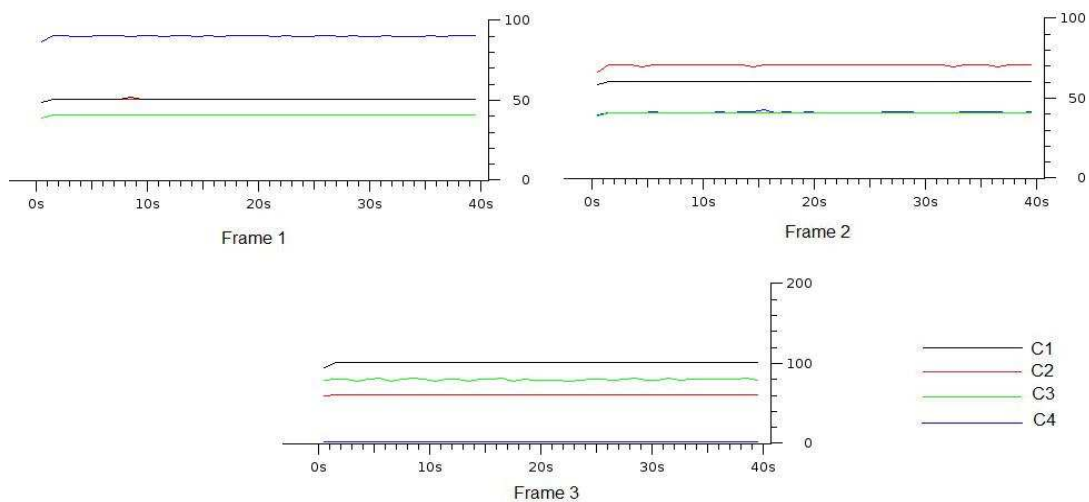
Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται τα έσοδα του πωλητή για κάθε ένα frame ξεχωριστά, και τα συνολικά του έσοδα από τη δημοπρασία, για κάθε μία από τις παραπάνω περιπτώσεις.



Εικόνα 44

Παρατηρούμε επομένως ότι παρόλο που η ανάθεση των χρονοθυρίδων είναι παρόμοια στη μη παραβατική και στην παραβατική συμπεριφορά, τα έσοδα του πωλητή μειώνονται δραματικά στη δεύτερη περίπτωση. Αυτό συμβαίνει διότι η ανάθεση του χρονικού τμήματος δεν εξαρτάται άμεσα από της προσφορές που καταθέτουν οι χρήστες, αλλά από το πόσο αυτοί επιθυμούν να αποκτήσουν. Συνεπώς η συμπαιγνία είναι μια σημαντική απειλή για τον παραπάνω μηχανισμό διάθεσης χρονοθυρίδων.

Στη συνέχεια πραγματοποιείται πάλι η προσομοίωση με το NSclick και το wireshark και τα αποτελέσματα φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα της εικόνας 45.



Εικόνα 45

Βήμα 3^ο

Στην περίπτωση αυτή θεωρήθηκε ότι μια ομάδα χρηστών μειώνουν επίτηδες τις προσφορές τους. Πιο συγκεκριμένα θεωρήθηκε ότι οι χρήστες 3 και 4 συνεννοήθηκαν και μείωσαν τις προσφορές τους βάσει της σχέσης :

$$Bids = 2 * round(50 + 20randn) * 1,2 * Time_need$$

ενώ οι χρήστες 1 και δύο συμπεριφέρονται «νόμιμα» και καταθέτουν τις πραγματικές τους προσφορές μέσω του τύπου:

$$Bids = 2 * round(150 + 20randn) * 1,2 * Time_need$$

Παρακάτω φαίνονται οι προσφορές που κατατέθηκαν στον πωλητή. Η ζήτηση παραμένει η ίδια με αυτή του πίνακα 12.

Bids				
	Χρήστης 1	Χρήστης 2	Χρήστης 3	Χρήστης 4
Frame 1	58	98	22	12
Frame 2	104	92	36	40
Frame 3	130	76	50	24

Πίνακας 18

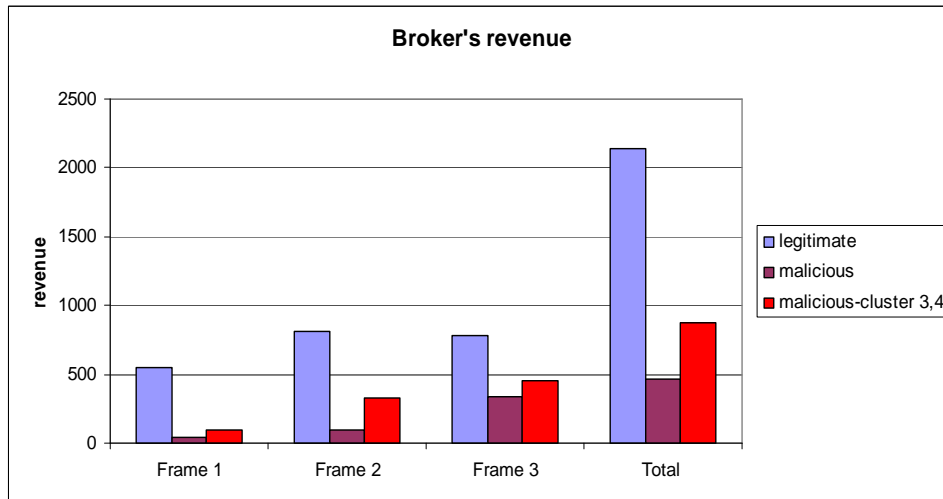
Παρατήρηση: Για λόγους σύγκρισης θεωρήθηκε ότι οι προσφορές των χρηστών 1 και 2 είναι ίδιες με αυτές της μη παραβατικής συμπεριφοράς, ενώ οι προσφορές των χρηστών 3 και 4 είναι αυτές της παραβατικής συμπεριφοράς.

Για τα 3 frames οι νικητές φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Frame 1		Frame 2		Frame 3	
Νικητές	Διάθεση	Νικητές	Διάθεση	Νικητές	Διάθεση
2	0,26253	1	0,28273	1	0,35668
1	0,20674	2	0,23133	2	0,24044
3	0,13535	4	0,23636	3	0,27944
4	0,36892	3	0,19117	-	
Υπόλοιπο	0,02646	Υπόλοιπο	0,058413	Υπόλοιπο	0,12344

Πίνακας 19

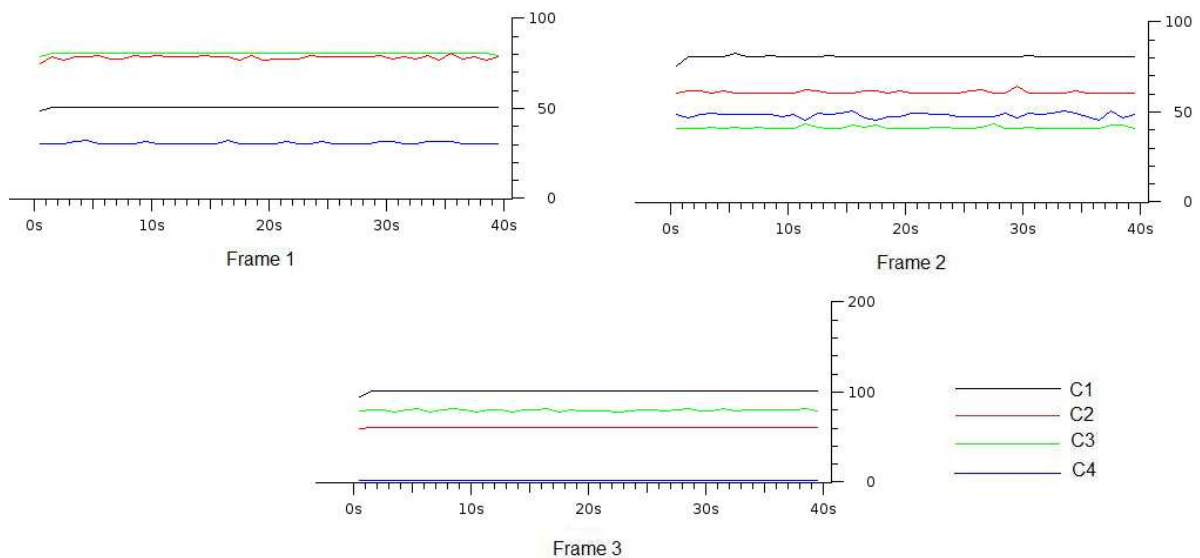
Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται τα έσοδα του πωλητή σε κάθε μία από τις παραπάνω περιπτώσεις. Στην περίπτωση μιας ομάδας που κάνει συμπαιγνία τα έσοδα του πωλητή είναι αυξημένα σε σχέση με αυτά της ολικής συμπαιγνίας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός η τιμή στην οποία γίνεται η τελευταία αγορά, δεν είναι τόσο χαμηλή όσο στην περίπτωση της ολικής συμπαιγνίας.



Εικόνα 46

Συμπερασματικά λοιπόν ο παραπάνω μηχανισμός είναι ευάλωτος σε ολική αλλά και σε μερική συμπαιγνία. Επίσης αν ένας χρήστης καταθέσει προσφορά αρκετά μικρή, γνωρίζοντας ότι θα του διατεθεί κάποιο χρονικό τμήμα, τότε τα έσοδα του πωλητή θα είναι αρκετά μικρά, αφού αυτά είναι ανάλογα της χαμηλότερης τιμής αγοράς.

Στη συνέχεια πραγματοποιείται πάλι η προσομοίωση με το NSclick και το wireshark και τα αποτελέσματα φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα της εικόνας 47.



Εικόνα 47

Συμπεράσματα και μελλοντικές επεκτάσεις

Τα όσα αναφέρθηκαν στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας σχετικά με τα γνωστικά δίκτυα επικοινωνιών, κατέστησαν σαφές ότι η τεχνολογία αυτή είναι βιώσιμη και θα φέρει σημαντικά αποτελέσματα. Η προσαρμογή μηχανισμών δημοπρασίας στα γνωστικά δίκτυα επικοινωνιών, θα οδηγήσει σε αύξηση του ανταγωνισμού μεταξύ των χρηστών. Τα έσοδα επίσης του πωλητή από τους μηχανισμούς των δημοπρασιών, θα προσδώσουν κίνητρο σε αυτόν να μεγιστοποιήσει το κέρδος του, και να εκμεταλλευτεί και να διαθέσει τους φασματικούς πόρους όσο καλύτερα μπορεί.

Παρόλα αυτά η προσαρμογή των δημοπρασιών στα γνωστικά δίκτυα επικοινωνιών θα έχει ως συνέπεια και την εισαγωγή των απειλών που αυτές υφίστανται από κακόβουλους χρήστες. Στο κεφάλαιο 3 έγινε φανερό ότι ενώ οι μηχανισμοί που προτείνονται μπορούν να λειτουργήσουν στην περίπτωση που οι χρήστες συμπεριφέρονται νόμιμα, στα κεφάλαια 4 και 5 παρατηρούμε ότι είναι ευάλωτοι σε συγκεκριμένες απειλές.

Απαραίτητό λοιπόν για την προσαρμογή των δημοπρασιών είναι η θέσπιση κανόνων που να εξαλείφουν όσο το δυνατόν περισσότερες απειλές παραβατικών χρηστών, φροντίζοντας όμως οι κανόνες αυτοί να καθιστούν τη δημοπρασία ελκυστική για τους χρήστες. Οι κανόνες οι οποίοι θα εξασφάλιζαν μια μη παραβατική συμπεριφορά των χρηστών, αλλά θα ήταν τέτοιοι που θα καθιστούσαν τη δημοπρασία μη ελκυστική για το μεγαλύτερο σύνολο των χρηστών, θα θεωρούνταν αποτυχημένοι.

Μια επέκταση λοιπόν της παρούσας εργασίας είναι η δημιουργία κανόνων που θα αντιμετωπίσουν τις παραβατικές αυτές συμπεριφορές και η μελέτη του κατά πόσον οι κανόνες αυτοί καθιστούν βιώσιμη ή μη τη διαδικασία της δημοπρασίας.

Επίσης στην παρούσα εργασία θεωρήθηκε ότι σε κάθε περίπτωση υπάρχει ένας πωλητής ο οποίος διαθέτει το συγκεκριμένο πόρο και τον διαθέτει στους χρήστες. Μια άλλη επέκταση θα μπορούσε να είναι η μελέτη ενός μοντέλου συνεργαζόμενων πωλητών οι οποίοι διαθέτουν τους πόρους του δικτύου σε κοινούς χρήστες, και οι τυχόν παραβατικές συμπεριφορές που θα μπορούσαν να αναπτυχθούν σε ένα τέτοιο μοντέλο.

Βιβλιογραφία

- [1] “Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων(EETT)”, <http://www.eett.gr>
- [2] “International Telecommunication Union (ITU)”, <http://www.itu.int>
- [3] “Federal Communications Commission (FCC)”, <http://www.fcc.gov>
- [4] Simon Haykin, “*Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communication*”, IEEE Journal on selected areas in communications, vol. 23, no. 2, February 2005
- [5] J. Mitola, “*Cognitive radio: An integrated agent architecture for software defined radio*” Doctor of Technology, Royal Inst. Technol. (KTH),Stockholm, Sweden, 2000.
- [6] Akyildiz, I. F., Lee, W., Vuran, M. C., and Mohanty, S. 2006. “*NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey*” Comput. Netw. 50, 13 (Sep. 2006), 2127-2159.
- [7] Cordeiro, Carlos, Challapali, Birru & Shankar (2006-04). “*IEEE 802.22: An Introduction to the First Wireless Standard based on Cognitive Radios*”. JCM (Oulu, Finland: Academy Publisher) 1 (1): pp. 38-47.
- [8] Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.22
- [9]. Xia Zhou, Sorabh Gandhi, Subhash Suri and Haitao Zheng, “*eBay in the sky: Strategy-Proof Wireless Spectrum Auctions*”, MobiCom’08, September 14/19/08 San Francisco California, USA
- [10].Y. Wu, B. Wang, K.J.R. Liu, T.C. Clancy, “*A multi-winner cognitive spectrum auction framework with collusion-resistant mechanisms*”, in: DySPAN, 2008, pp. 1-9.
- [11]. Jianwei Huang, Randall A. Berry, Michael L. Honig, “*Auction Mechanisms for Distributed Spectrum Sharing*”
- [12]. Lawrence Ausubel, “*An Efficient Ascending-Bid Auction for Multiple Objects*” , 7 August 2002, University of Maryland
- [13]. Anh Tuan Hoang and Ying-Chang Liang, “*Dynamic Spectrum Allocation with Second-Price Auctions: When Time is Money*”
- [14]. R.W. Brodersen, A. Wolisz, D. Cabric, S.M. Mishra, D.Willkomm, “*Corvus: a cognitive radio approach for usage of virtual unlicensed spectrum*”, Berkeley Wireless Research Center (BWRC) White paper, 2004.
- [15].Costas Courcoubetis, Richard Weber, “*Pricing Communication Networks*”, John Wiley & Sons, Ltd, 2003

- [16]. Federal Communications Commission (FCC), “*Auction of 700 MHz band licenses scheduled for January 16, 2008 Comment sought on competitive bidding procedures for auction 73*”, Press release, 2007
- [17]. http://en.wikipedia.org/wiki/United_States_2008_wireless_spectrum_auction
- [18]. <http://www.finance-glossary.com/define/Yankee-auction/12390/0/Y>
- [19]. Shamik Sengupta , Mainak Chatterjee, “*Designing Auction Mechanisms for Dynamic Spectrum Access*”, 30 June 2008
- [20]. Cristian Ianculescu, Andy Mudra, “*Cognitive radio and dynamic spectrum sharing*”, SDR 05 Technical Conference and Product Exposition, 2005
- [21]. <http://www.ebay.co.uk>
- [22]. <http://www.auctions.co.uk>
- [23]. Manos Dramitinos, George Stamoulis, Costas Courcoubetis, “*An auction mechanism for allocating the bandwidth of networks to their users*”, Computer Networks 51 4979–4996, 2007
- [24]. Hoon Kim, Taein Hyon, Yeonwoo Lee, “*Priority and Negotiation Based Dynamic Spectrum Allocation Scheme for Multiple Radio Access Network Operators*”, 2008 the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers
- [25]. <http://www.atheros.com/>
- [26]. Chetan Nanjunda and K.P. Subbalakshmi, “*Security Issues in Cognitive Networks*”, Book Chapter in Cognitive Networks: Towards Self-Aware Networks, Ed. Qusay H. Mahmoud, Wiley, pp:271-292.
- [27]. <http://www.ebay.com/>
- [28]. Kaigui Bian and Jung-Min “Jerry” Park, “*Security Vulnerabilities in IEEE 802.22*”, Maui, Hawaii, USA ,WICON’08 November 2008
- [29]. Colin Boyd, Wenbo Mao, “*Security Issues for Electronic Auctions*”, HP Laboratories Bristol, July 2000
- [30]. Rao, A. and Stoica, I. 2005. “*An overlay MAC layer for 802.11 networks*” In Proceedings of the 3rd international Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (Seattle, Washington, June 06 - 08, 2005). MobiSys '05. ACM, New York, NY, 135-148.
- [31] Michael Neufeld, Jeff Fifield, Christian Doerr, Anmol Sheth, and Dirk Grunwald. “*SoftMAC - Flexible Wireless Research Platform. In HotNets-IV*”, Nov 2005.

- [32]. D. Panigrahi and B. Raman, “*TDMA Scheduling in Long-Distance WiFi Networks*”, Dept. of CSE, IIT Bombay, Tech. Rep., Aug 2008
- [33]. J. Dechene and A. Shami “*Experimental Triple-Play Service Delivery Using Commodity Wireless LAN Hardware*”, To appear in Proc. of IEEE ICC WN 2009.
- [34]. Abu-Sharkh, O. and Tewfik, A. H. “*A TDMA Based Scheduling Scheme in 802.11b WLANs with Access Point*”, In Proceedings of the international Conference on information Technology: Coding and Computing (Itcc'05) - Volume II - Volume 02 (April 04 - 06, 2005).
- [35]. “NSclick” <http://read.cs.ucla.edu/click/nsclick>
- [36]. Σταμάτιος Αρκουλής, “*Έντοπισμός και αποφυγή παραβατικής συμπεριφοράς σε ασύρματα δίκτυα που λειτουργούν στο μη αδειοδοτημένο φάσμα*” Μεταπτυχιακή Εργασία, Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Απρίλιος 2009
- [37]. “Wireshark”, <http://www.wireshark.org/>
- [38]. Μ.Ε.Θεολόγου, “*Δίκτυα κινητών και προσωπικών επικοινωνιών*”, Μ.Ε. Θεολόγου, Εκδόσεις Τζιόλα 2007
- [39]. Charalambos D. Aliprantis, Subir K. Chakrabarti “*Games and Decision Making*”, New York, Oxford University Press, 2000
- [40]. Avinash K. Dixit, Susan Skeath, “*Games of Strategy*”, W.W. Norton & Co.; Second Edition edition, April 2004