

ΠΑΡΟΧΗ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ INTERNET ΥΨΗΛΗΣ
ΕΠΙΔΟΣΗΣ

ΧΟΥΜΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΚΑΤΑΤΙΘΕΤΑΙ ΩΣ ΕΚΠΛΗΡΩΣΗ ΜΕΡΟΥΣ
ΤΩΝ ΥΠΟΧΡΕΩΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΚΤΗΣΗ
ΤΟΥ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΤΙΤΛΟΥ ΣΤΟ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ Η/Υ, ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΟΛΟΣ ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ, ΕΛΛΑΔΑ
ΙΟΥΛΙΟΣ 2008

© Copyright by Χούμας Κωνσταντίνος, 2008

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ Η/Υ,
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ

Υπογράφεται από τους κάτωθι αναφερθέντες καθηγητές που αποδέχονται την Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία “**Παροχή Ασύρματου Internet Υψηλής Επίδοσης**” ως εκπλήρωση μέρους των υποχρεώσεων για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Τίτλου “Επιστήμης και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων” του τμήματος Μηχανικών Η/Υ, Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων, του Π. Θεσσαλίας.

Ημερομηνία Παράδοσης: Ιούλιος 2008

Επιβλέπων Καθηγητής: _____
Τασιούλας Λεάνδρος

Δεύτερος Επιβ. Καθ/της: _____
Κουτσόπουλος Ιορδάνης

Τρίτος Επιβ. Καθ/της: _____
Λάλης Σπυρίδων

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Ημερομηνία: Ιούλιος 2008

Συγγραφέας: Χούμας Κωνσταντίνος

Τίτλος: Παροχή Ασύρματου Internet Υψηλής Επίδοσης

Υπογραφή του Συγγραφέα

*...αφιερωμένη στον συνάνθρωπο που λατρεύει την επιστήμη,
σαν ένα μέσο κοινωνικής προσφοράς...*

Πίνακας Περιεχομένων

Πίνακας Περιεχομένων	v
Ευχαριστίες	vi
Περίληπτικά	vii
Abstract	viii
Εισαγωγή	1
1 AODV Πρωτόκολλο Δρομολόγησης	4
1.1 Χαρακτηριστικά του AODV	4
1.2 Ειδικά πακέτα	5
2 Back Pressure Αλγόριθμος	7
2.1 Ο Αλγόριθμος	7
2.2 Κατανεμημένη Εκδοχή του Αλγορίθμου	8
3 AODV - Back Pressure	10
4 Υλοποίηση	12
4.1 Από το AODV-UU, στο AODV-BackPressure	13
4.2 Οδηγίες εγκατάστασης	15
5 Πειράματα και Αποτελέσματα	17
5.1 Πειράματα	17
5.2 Αποτελέσματα	18
Bibliography	20

Ευχαριστίες

Θέλω να ευχαριστήσω τον Λέανδρο Τασιούλα, τον επιβλέποντα καθηγητή μου, για τις υποδείξεις του και την σταθερή υποστήριξη του κατά την διάρκεια της έρευνας.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τον Θανάση Κοράκη για την ιδιαίτερη καθοδήγηση του κατά τους πρώτους μήνες του χάους... Χωρίς την βοήθεια του δεν θα μπορούσα να ολοκληρώσω αυτή την εργασία. Του εύχομαι ό,τι καλύτερο και καλή επιστροφή στην πατρίδα...

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω για άλλη μια φορά την οικογένεια μου και την Αλεξάνδρα.

Βόλος, Ελλάδα

Χούμας Κωνσταντίνος

Ιουλιός 2008

Περίληπτικά

Τα ασύρματα δίκτυα χωρίς υποδομή χρειάζονται τα πρωτόκολλα δρομολόγησης για να μπορούν να επικοινωνούν κόμβοι που δεν έχουν άμεση ορατότητα. Από την στιγμή που δεν υπάρχει υποδομή, ο κάθε κόμβος δεν είναι δεσμευμένος να στέλνει τα πακέτα του σε συγκεκριμένο σημείο, όπως συμβαίνει στα δίκτυα με υποδομή όπου όλοι οι σταθμοί στέλνουν μόνο στο Σημείο Πρόσβασης (Access Point, AP). Αντίθετα, ο κάθε κόμβος στέλνει τα πακέτα του είτε άμεσα στον παραλήπτη τους, είτε σε κάποιον άλλο κόμβο που βρίσκεται πιο “κοντά” στον τελικό παραλήπτη.

Το πρωτόκολλο δρομολόγησης που μελετήθηκε είναι το Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing (AODV) εξαιτίας της απλότητας του στην υλοποίηση. Η τροποποίηση του έγινε με στόχο να υλοποιεί κάποια απλά κριτήρια του Back Pressure αλγορίθμου. Με βάση αυτόν τον αλγόριθμο καθορίζεται δυναμικά σε κάθε χρονική στιγμή ποιοί μπορούν να στείλουν πακέτα και σε ποιους, έτσι ώστε να υπάρχει “ευστάθεια” στο αδόμητο δίκτυο, όταν αυτή είναι εφικτή. Προφανώς το κατά πόσο είναι εφικτή η ευστάθεια, εξαρτάται από τον φόρτο παραλαβής πακέτων των κόμβων του δικτύου.

Η εργασία αυτή είχε σαν στόχο την υλοποίηση ενός νέου αλγορίθμου και την εξαγωγή κάποιων συμπερασμάτων, αλλά παράλληλα επικεντρώθηκε στην δημιουργία ενός χρήσιμου εγχειριδίου με οδηγίες για όσους θέλουν να δουλέψουν με τον Mad-Wifi Driver για Atheros ασύρματες κάρτες δικτύου, ή με τον AODV-UU demon του Πανεπιστημίου της Uppsala, που αποτελεί μια υλοποίηση του AODV πρωτοκόλλου.

Abstract

Wireless networks, in the most known form of IEEE802.11a/b/g, have found a great development in the latest years. The technology has undergone big enhancements, its capabilities, functionalities and performance have expanded greatly. These enhancements have brought several improvements in security mechanisms, available bandwidth and transmission power which in turn produce safer and more reliable data communication, higher transference rates, lower latencies and higher reachable radius. There are two main kinds of structural methodologies in wireless networks. They can be set up in infra-structure mode (Access Point mode), or in a peer-to-peer mode called Ad Hoc networking.

One of the most spoken paradigms in wireless networks is the ad hoc model. It basically represents a direct communication mode between terminals (nodes), without the need for a central point of convergence.

Unfortunately ad-hoc networks still face several problems that have been studied in research centers around the world. The current unavailability of an appropriate routing protocol, bandwidth reduction along node hops, synchronization in the physical layer (medium lock) and electro-magnetic interference from surrounding wireless signals (including neighbour nodes in the same network) among others.

One of the leading routing protocols for ad hoc networks is the Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV) routing protocol. It is based on temporary routing tables which contain the specific path cost metric (number of hops) to its destinations. Previous studies have shown that although this protocol is easily applicable in any virtually error-free environment (high speed fiber optics), its performance tends

to drop in high speed node connections and high active node number scenarios for wireless ad hoc networks.

AODV has been changed in order to implement simple criteria of Back Pressure algorithm. New algorithm dynamically decides which nodes are able to send packets, in order to succeed “stability”, whenever it is feasible. It is easily understood that network stability depends on the load of the packets arrivals.

This thesis will focus on the implementation of a new algorithm and the selection of useful results. Also, it is offered as a usefull textbook for students who want to work with MadWifi Driver for Atheros wireless network cards, or with AODV-UU demon of University of Uppsala, that is an implementation of AODV protocol.

Εισαγωγή

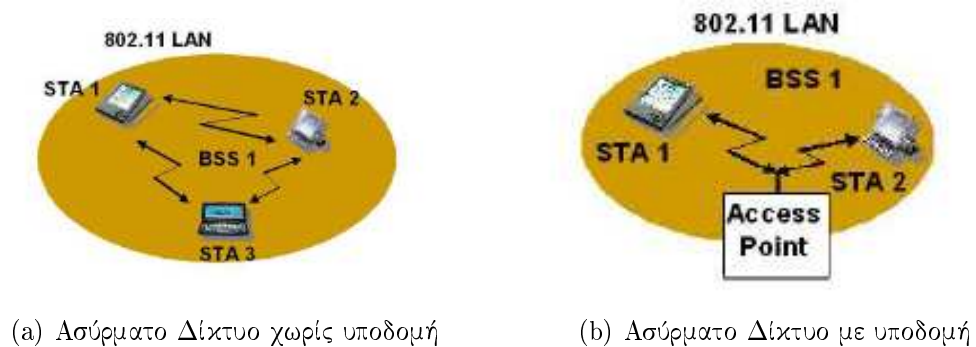
Ένα ασύρματο δίκτυο ορίζεται ως η τοπολογία και η τεχνολογία που επιτρέπει σε δύο ή περισσότερους υπολογιστές, εξοπλισμένους με μια κάρτα ασύρματης πρόσβασης (Wireless Networking Interface Card, WNIC), να επικοινωνήσουν μεταξύ τους χωρίς την χρήση καλωδίων. Η ανάπτυξη και η χρήση των Ασύρματων Τοπικών Δικτύων (Wireless Local Area Networks, WLANs) αποτελεί το επίκεντρο της σύγχρονης τεχνολογίας τηλεπικοινωνιών. Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα αναπτύσσονται σε μια περιορισμένη σχετικά περιοχή όπως μια αίθουσα, ένα κτήριο ή την περιοχή ενός συγκροτήματος. Σύμφωνα και με το πρότυπο [4] χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: Στα **αδόμητα (ad-hoc) ασύρματα δίκτυα** και στα **ασύρματα δίκτυα με υποδομή (infrastructure)**.

Αδόμητα Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα

Στα αδόμητα δίκτυα κάθε υπολογιστής μπορεί να επικοινωνήσει απ' ευθείας με οποιονδήποτε άλλο υπολογιστή. Με τον τρόπο αυτό έχουν όλοι πρόσβαση σε κοινούς πόρους όπως εκτυπωτές ή αρχεία. Επιπλέον μπορούν να επικοινωνήσουν με τον έξω κόσμο, αν ένας από τους υπολογιστές του δικτύου είναι συνδεδεμένος με κάποιο ενσύρματο δίκτυο και παίζει έτσι τον ρόλο της Γέφυρας (Bridge) μεταξύ των δύο δικτύων. Ένα παράδειγμα αδόμητου ασύρματου δικτύου φαίνεται στην εικόνα 1(a).

Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα με Υποδομή

Ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο διαθέτει εκτός από τους υπολογιστές-σταθμούς και ένα ειδικό σταθμό που ονομάζεται Σημείο Πρόσβασης (Access Point, AP) ή Σταθμός Βάσης (Base Station, BS). Το AP είναι υπεύθυνο για την διασύνδεση των σταθμών, καθότι όλοι μπορούν να επικοινωνούν μόνο με αυτό και διαμέσου αυτού με όλους τους υπόλοιπους σταθμούς. Επίσης το AP είναι υπεύθυνο για την διασύνδεση του ασύρματου δικτύου με το εξωτερικό ενσύρματο δίκτυο, την διαχείριση των κοινών πόρων και τον τρόπο πρόσβασης των σταθμών στο ασύρματο μέσο. Ένα παράδειγμα ασύρματου δικτύου με υποδομή φαίνεται στην εικόνα 1(b).



(a) Ασύρματο Δίκτυο χωρίς υποδομή

(b) Ασύρματο Δίκτυο με υποδομή

Figure 1: Παραδείγματα Ασύρματων Δικτύων

Στα ασύρματα δίκτυα οι κόμβοι χρησιμοποιούν ράδιο-σήματα για την επικοινωνία τους. Στην κλασική περίπτωση, κάθε κόμβος μπορεί να μεταδώσει ή να λαμβάνει σε μια χρονική στιγμή άλλα όχι και τα δύο συγχρόνως. Η επικοινωνία των κινητών κόμβων είναι εφικτή όταν οι κόμβοι βρίσκονται εντός μιας συγκεκριμένης περιοχής κάλυψης. Όλοι οι κόμβοι χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα για να μεταδώσουν και να παραλάβουν μηνύματα. Έτσι, μέσα στην περιοχή κάλυψης, χρησιμοποιείται ένα κανάλι μετάδοσης, καλύπτοντας όλο το εύρος ζώνης. Ένα χαρακτηριστικό της μετάδοσης των πακέτων στα ασύρματα δίκτυα είναι η έννοια της τοπικότητας. Όταν κάποιος σταθμός μεταδίδει σε κάποιον άλλο δεν είναι σίγουρο ότι οι υπόλοιποι σταθμοί του δικτύου θα το αντιληφθούν. Το ποιοι σταθμοί θα αντιληφθούν την μετάδοση εξαρτάται από την θέση στην οποία βρίσκονται, σε σχέση με τον αποστολέα του μηνύματος. Αυτοί που βρίσκονται στην περιοχή εμβέλειας του αποστολέα (είναι “ορατοί”) θα ακούσουν την μετάδοση, σε αντίθεση με όλους τους υπόλοιπους, που θα είναι σε θέση μόνο να επηρεάσουν αρνητικά την μετάδοση.

Αυτό το χαρακτηριστικό δεν παρατηρείται στα ενσύρματα δίκτυα, όπου όλοι οι σταθμοί είναι συνδεδεμένοι στο καλώδιο και ακούνε οποιαδήποτε μετάδοση. Συνέπεια της παραπάνω ιδιότητας, είναι η χρήση ενδιάμεσων κόμβων κατά την μετάδοση πακέτων, όταν ο παραλήπτης δεν βρίσκεται στην περιοχή εμβέλειας του αποστολέα. Το πακέτο αναμεταδίδεται διαδοχικά σε ενδιάμεσους σταθμούς (multihop WLANs).

Πρωτόκολλα Δρομολόγησης

Η μετάδοση σε κάποιον ενδιάμεσο κόμβο, όταν ο παραλήπτης δεν είναι άμεσα “ορατός”, είναι μια απόφαση που καλείται να την πάρει ο ίδιος ο αποστολέας. Κατά

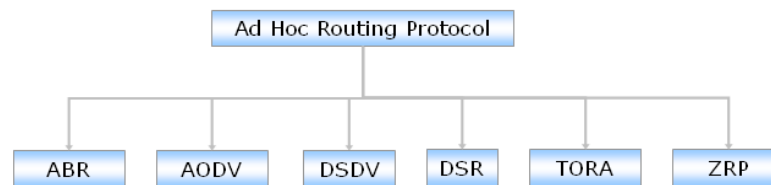


Figure 2: Πρωτόκολλα Δρομολόγησης

την διαδικασία λήψης αυτής της απόφασης, ο αποστολέας χρειάζεται πληροφορίες όπως το αν υπάρχει κάποιος χρήσιμος ενδιάμεσος ή ποιος είναι ο “καλύτερος” αν υπάρχουν πολλοί διαθέσιμοι ενδιάμεσοι. Αυτή την πληροφορία την συλλέγει καθόλη την διάρκεια ζωής του δικτύου, με την βοήθεια ενός **πρωτοκόλλου δρομολόγησης**.

Το πρωτόκολλο δρομολόγησης οφείλει να ανακαλύπτει ποιες είναι οι πιθανές διαδρομές που μπορεί να ακολουθήσει ένα πακέτο για να φτάσει από τον αποστολέα στον παραλήπτη του, όταν αυτό είναι εφικτό. Θα πρέπει επίσης ο κάθε κόμβος που μετέχει στην διαδρομή να είναι ενήμερος για αυτό. Η ενδιαφέρουσα πρόκληση για κάθε πρωτόκολλο όμως είναι η επιλογή της καλύτερης μεταξύ διαφορετικών διαδρομών. Τα κριτήρια για την επιλογή, μπορεί να είναι το μήκος του μονοπατιού, ο χρόνος διάσχισης του ή διάφορα άλλα.

Υπάρχουν δύο κατηγορίες πρωτοκόλλων δρομολόγησης και μία υβριδική. Η μία κατηγορία είναι τα **Proactive Routing Protocols** όπως το DSDV (Destination Sequenced Distance Vector), τα οποία ανακαλύπτουν διαδρομές καθόλη την διάρκεια ζωής του δικτύου, πολλές από τις οποίες μπορεί να μην χρησιμοποιηθούν ποτέ. Η άλλη κατηγορία περιέχει τα **Reactive Routing Protocols** που καθορίζουν τις διαδρομές των πακέτων, όταν αυτές ζητηθούν. Παραδείγματα της δεύτερης κατηγορίας είναι τα DSR (Dynamic Source Routing) και **AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing)**. Τέλος υπάρχουν και τα υβριδικά πρωτόκολλα, που συνδιάζουν χαρακτηριστικά από τις δύο προαναφερθείσες κατηγορίες και ένα παράδειγμα αυτών είναι το ZRP (Zone Routing Protocol)

Chapter 1

AODV Πρωτόκολλο Δρομολόγησης

Το πρωτόκολλο AODV ανακαλύπτει διαδρομές δρομολόγησης πακέτων όταν δημιουργείται ανάγκη εύρεσης αυτών. Είναι ένα Reactive πρωτόκολλο που χρησιμοποιεί προσωρινούς πίνακες δρομολόγησης με μία καταχώρηση για κάθε προορισμό. Το AODV προσφέρει διαδρομές χωρίς βρόγχους ακόμη και όταν προσπαθεί να ανακτήσει διαδρομές που “έσπασαν”, πιθανώς γιατί κάποιος ενδιάμεσος κόμβος μετακινήθηκε ή δεν είναι πλέον διαθέσιμος. Ακολουθούν τα πιο βασικά χαρακτηριστικά του AODV [8].

1.1 Χαρακτηριστικά του AODV

Παρόλο που η κατασκευή του AODV πρωτοκόλλου έχει ισχυρά υποκινηθεί από την ανάγκη για σχήματα δρομολόγησης με περιορισμένου εύρους μέσο εκπομπής, ο σχεδιασμός αυτού του πρωτοκόλλου ποτέ δεν επικεντρώθηκε στην χρήση ειδικών χαρακτηριστικών του φυσικού μέσου, αλλά ούτε και στο χειρισμό ειδικών προβλημάτων που προκύπτουν από της ανάγκες του καναλιού. Η μόνη απαίτηση για το φυσικό μέσο είναι η δυνατότητα των γειτονικών κόμβων να αντιλαμβάνονται ο ένας τον άλλο όταν κάποιος από αυτούς προβεί σε broadcast μετάδοση.

Υπάρχει πιθανότητα να υπάρχουν ασύμμετρες ζεύξεις μεταξύ δύο κόμβων, έτσι ώστε ο ένας κόμβος να μπορεί να ακούσει τον άλλο, χωρίς να μπορεί να συμβεί το αντίστροφο. Οι πρώτες υλοποιήσεις του AODV δεν χρησιμοποιούσαν αυτές τις ζεύξεις, ενώ πλέον υπάρχουν σοβαρές προσπάθειες υλοποίησης του αλγορίθμου, όπως αυτή του πανεπιστημίου της Uppsala, ώστε να χρησιμοποιεί και τις ασύμμετρες ζεύξεις.

Σε ένα αδόμετο δίκτυο όπου το χρησιμοποιούμενο πρωτόκολλο δρομολόγησης είναι

το AODV, όταν οι κόμβοι δεν μετέχουν σε κάποιο ενεργό μονοπάτι δεν διατηρούν πληροφορίες δρομολόγησης και δεν ενεργούν με κανενός είδους περιοδικής “διαφήμισης” διαδρομών. Κανένας κόμβος δεν διατηρεί πληροφορία για ένα μονοπάτι προς έναν άλλο κόμβο και δεν προσπαθεί να την αποκτήσει, μέχρι την στιγμή που θα χρειαστεί να επικοινωνήσει μαζί του ή να ενεργήσει ως ένας ενδιαμέσος κόμβος προώθησης πακέτων προς αυτόν.

1.2 Ειδικά πακέτα

Πιο συγκεκριμένα, όταν ένας κόμβος “πηγή” S θέλει να στείλει ένα πακέτο στον κόμβο “προορισμό” D, ελέγχει τον πίνακα δρομολόγησης του για να διαπιστώσει αν διαθέτει καταχώρηση για τον D. Αν διαθέτει τότε συμβουλευεται αυτή την καταχώρηση για να στείλει το πακέτο στον επόμενο γείτονα κόμβο που είναι πιο “κοντά” στον προορισμό.

Αν πάλι δεν διαθέτει τέτοια καταχώρηση που να υποδεικνύει μια διαδρομή, τότε ο κόμβος ξεκινά μία διαδικασία ανακάλυψης αυτής. Η διαδικασία αυτή ξεκινά με την αποστολή προς κάθε δυνατό γείτονα παραλήπτη ενός ειδικού πακέτου **RREQ (Route Request)** [βλ. εικόνα 1.1(a)]. Το RREQ περιέχει την IP διεύθυνση της πηγής S, τα τελευταία γνωστά sequence numbers της πηγής αλλά και του παραλήπτη, την IP διεύθυνση του παραλήπτη, το broadcast ID και το πεδίο πλήθος αλμάτων.

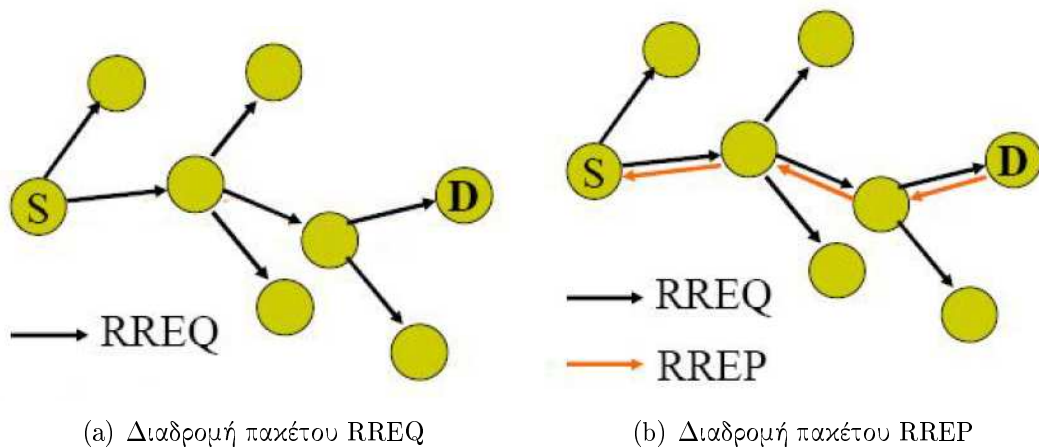


Figure 1.1: Τα δύο βασικά ειδικά πακέτα του AODV

Η IP διεύθυνση της πηγής S και το broadcast ID χρησιμοποιούνται για να ταυτοποιείται πλήρως κάθε πακέτο. Το broadcast ID αυξάνει κατά μία μονάδα κάθε φορά που ο κόμβος S στέλνει ένα καινούργιο πακέτο RREQ. Τα sequence numbers χρησιμοποιούνται για να προσδιορίζεται η “φρεσκάδα” του πακέτου, και παίρνουν τιμές με βάση τα broadcast IDs. Το πεδίο πλήθος αλμάτων χρησιμοποιείται για να μετρηθεί η απόσταση μεταξύ των S και D.

Ο κάθε κόμβος που θα παραλάβει ένα πακέτο RREQ, ενδέχεται να αντιδράσει με έναν από τους δύο τρόπους. Το ένα ενδεχόμενο είναι να μην διαθέτει ο παραλήπτης του RREQ πακέτου πληροφορία δρομολόγησης πακέτων προς τον κόμβο D που υποδεικνύει η IP διεύθυνση του παραλήπτη. Σε αυτή την περίπτωση ο κόμβος απλά αναμεταδίδει το πακέτο RREQ προς κάθε δυνατό γείτονα παραλήπτη.

Κανένας κόμβος δεν πρέπει να ανταποκρίνεται πολλαπλά σε ένα πακέτο RREQ, που θα παραλάβει πάνω από μία φορά από διαφορετικούς γείτονες. Γι' αυτό τον λόγο κρατείται η ταυτότητα από κάθε πακέτο RREQ που λαμβάνει, και δεν ανταποκρίνεται σε κάποιο άλλο με την ίδια ταυτότητα (IP διεύθυνση πηγής και broadcast ID).

Το άλλο ενδεχόμενο είναι να διαθέτει πληροφορία δρομολόγησης πακέτων προς τον κόμβο D. Σε αυτή την περίπτωση ενημερώνει τον γείτονα κόμβο που του έστειλε το πακέτο RREQ, για αυτή του την πληροφορία δρομολόγησης, ευελπιστώντας ότι και εκείνος θα κάνει κάτι ανάλογο, με τελικό στόχο η πληροφορία αυτή να φτάσει τελικά στον ενδιαφερόμενο κόμβο S.

Η ανταπόκριση αυτή γίνεται με ένα άλλο πακέτο που ονομάζεται **RREP (Route Reply)** [βλ. εικόνα 1.1(b)]. Μέσω του πακέτου RREP, ο κάθε κόμβος ενημερώνει τον γείτονα που του έστειλε το αντίστοιχο RREQ, ότι ο ίδιος διαθέτει μονοπάτι δρομολόγησης και ότι μπορεί αυτός ο γείτονας να του στείλει πακέτα προς τον προορισμό D. Έτσι διαδοχικά και ο κάθε κόμβος που παραλαμβάνει ένα πακέτο RREP, στέλνει ένα αντίστοιχο πακέτο RREP στον γείτονα που του είχε στείλει το αντίστοιχο πακέτο RREQ, για να τον ενημερώσει ότι δύναται να προωθήσει πακέτα για τον κόμβο D.

Chapter 2

Back Pressure Αλγόριθμος

Ο αλγόριθμος αυτός προσφέρεται για κατάλληλη δέσμευση πόρων μετάδοσης και δρομολόγησης πακέτων, που όπως θα αποδειχτεί, σταθεροποιεί το δίκτυο όποτε το σύνολο των ρυθμών αφίξεων σε όλους τους κόμβους είναι τέτοιο ώστε να το επιτρέπει. Αυτό το σύνολο των ρυθμών ονομάζεται **Πεδίο Χωρητικότητας (Capacity Region)** του δικτύου, και με τον όρο σταθεροποιεί εννοούμε ότι δεν επιτρέπει για καμία διαδρομή να έχει μέσο χρόνο μετάδοσης πακέτων που να απειρίζεται.

2.1 Ο Αλγόριθμος

Σε κάθε χρονική θυρίδα t , ο ελεγκτής του δικτύου παρατηρεί τα αποθέματα των ουρών $U_i^{(c)}(t)$ και την τοπολογία του δικτύου $S(t)$. Ορίζοντας ως \mathcal{C} το σύνολο όλων των δυνατών ροών που υπάρχουν, και εννοώντας ως ροή το σύνολο των πακέτων που έχουν ίδια πηγή και προορισμό, πρέπει $c \in \mathcal{C}$. Επομένως, $U_i^{(c)}(t)$ είναι το απόθεμα των πακέτων της ροής c που βρίσκεται στην ουρά i κατά την χρονική στιγμή t . Επιπρόσθετα, το $S(t)$ είναι μια χρονική συνάρτηση, που μας δίνει για κάθε t την τοπολογία του δικτύου εκείνη την στιγμή. Επεξεργαζόμενος τα προαναφερθέντα, ο ελεγκτής συμπεριφέρεται ως εξής:

Δέσμευση Πόρων: Για κάθε διασύνδεση (a, b) , ορίζεται η βέλτιστη ροή που μεγιστοποιεί την διαφορά των αντίστοιχων αποθεμάτων μεταξύ των ουρών a, b ως:

$$c_{ab}^*(t) = \arg \max_{c \text{ uses } (a,b)} [U_a^{(c)}(t) - U_b^{(c)}(t)] \quad (2.1)$$

και ορίζεται ως $W_{ab}^*(t)$ και το αντίστοιχο βέλτιστο βάρος:

$$W_{ab}^*(t) = \max[U_a^{(c_{ab}^*(t))}(t) - U_b^{(c_{ab}^*(t))}(t), 0] \quad (2.2)$$

Τότε ο ελεγκτής επιλέγει την ενέργεια $I(t)$ που λύνει το ακόλουθο πρόβλημα:

$$\begin{aligned} \text{Maximize : } & \sum_{ab} W_{ab}^*(t) C_{ab}(I(t), S(t)), \\ \text{Subject to : } & I(t) \in \mathcal{I}_{S(t)}. \end{aligned} \quad (2.3)$$

όπου $\mathcal{I}_{S(t)}$ είναι το σύνολο των ενεργειών που μπορεί να επιλέξει ο ελεγκτής δεδομένης της τοπολογίας $S(t)$. Με τον όρο ενέργεια του ελεγκτή βέβαια, εννοούμε τις δράσεις εκείνες στις οποίες θα προβεί, ώστε να καθοριστεί ποιοι θα μεταδώσουν τελικά και με ποια ισχύ. Η συνάρτηση C_{ab} μας δίνει την χωρητικότητα της διασύνδεσης (a, b) δεδομένης της τοπολογίας του δικτύου και των αποφάσεων του ελεγκτή.

Δρομολόγηση: Για κάθε διασύνδεση (a, b) έτσι ώστε $W_{ab}^*(t) > 0$, ο ελεγκτής προσφέρει ρυθμό μετάδοσης $\mu_{ab}(t) = C_{ab}(I(t), S(t))$ στα πακέτα της ροής $c_{ab}^*(t)$ επί της διασύνδεσης (a, b) .

Τα βάρη $W_{ab}^*(t)$ μπορούν να προσδιοριστούν από τον κάθε κόμβο, δεδομένου ότι οι κόμβοι είναι ενήμεροι για τα μήκη των αποθεμάτων των γειτόνων τους. Ωστόσο, το πρόβλημα βελτιστοποίησης 2.3 που πρέπει να επιλυθεί στην αρχή από κάθε χρονοθυρίδα απαιτεί μία γενική γνώση από την συνολική κατάσταση του δικτύου. Ο Αλγόριθμος τελικά επιλέγει *δυναμικά* σε κάθε χρονοθυρίδα τα μονοπάτια δρομολόγησης πακέτων, και αναθέτει μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης στις διασυνδέσεις με μεγαλύτερες διαφορές στα μήκη των αποθεμάτων, και μηδενικούς ρυθμούς μετάδοσης στις διασυνδέσεις με αρνητικές διαφορές.

2.2 Κατανεμημένη Εκδοχή του Αλγορίθμου

Όπως αναφέρεται και στο [5], υπάρχουν περιπτώσεις όπου το δίκτυο είναι τέτοιο ώστε η χωρητικότητα C_{ab} να εξαρτάται μόνο από συνθήκες που είναι τοπικές ως προς την διασύνδεση (a, b) . Σ' αυτή την περίπτωση μπορούμε να χωρίσουμε το δίκτυο σε G ανεξάρτητες ομάδες κόμβων και να αποσυνθέσουμε τα $S(t)$, $I(t)$ και $\mathcal{I}_{S(t)}$ ως εξής:

$$\begin{aligned} S(t) &= (S^1(t), S^2(t), \dots, S^G(t)), \\ I(t) &= (I^1(t), I^2(t), \dots, I^G(t)), \\ \mathcal{I}_{S(t)} &= \mathcal{I}_{S^1(t)} \times \mathcal{I}_{S^2(t)} \times \dots \times \mathcal{I}_{S^G(t)} \end{aligned} \quad (2.4)$$

όπου το $S^g(t)$ αντιπροσωπεύει τα τοπικά συστατικά της τοπολογίας $S(t)$ που χαρακτηρίζουν την ομάδα $g \in \{1, \dots, G\}$. Αντίστοιχα το $I^g(t)$ χαρακτηρίζει της τοπικές αποφάσεις όσον αφορά την ομάδα g , και ικανοποιεί την συνθήκη $I^g(t) \in \mathcal{I}_{S^g(t)}^g$. Σκοπός αυτής της αποσύνθεσης είναι να υποδιαιρεθεί το βασικό πρόβλημα 2.3 σε επιμέρους, που μπορούν να επιλυθούν καταναμημένα.

Ωστόσο, δίκτυα που υποφέρουν από παρεμβολές δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτή τη καταναμημένη εκδοχή. Μία άλλη πρόταση είναι να λαμβάνονται οι αποφάσεις $I(t)$ με τυχαίο τρόπο, και μετά τα επίπεδα OSI και τα πρωτόκολλα δρομολόγησης απλοικά θα αλληλεπιδρούν με τους τελικούς ρυθμούς μετάδοσης $\mu_{ab}(t) = C_{ab}(I(t), S(t))$. Αυτή η εκδοχή εξετάζεται στα [6], [7] για καταναμημένο έλεγχο σε ασύρματα ad-hoc δίκτυα. Αυτή η εκδοχή εξετάζεται και σε αυτή την εργασία με τον προτεινόμενο αλγόριθμο του **AODV - Back Pressure**.

Chapter 3

AODV - Back Pressure

Όπως προαναφέρθηκε το AODV είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης που προσπαθεί να ανακαλύψει το βέλτιστο μονοπάτι που μπορεί να ακολουθήσει ένα πακέτο, για να προωθηθεί από τον αποστολέα στο τελικό του παραλήπτη. Το μόνο κριτήριο που χρησιμοποιεί το AODV, για να χαρακτηρίσει το πόσο “καλό” είναι ένα μονοπάτι, είναι το μήκος αυτού του μονοπατιού. Όσο μικρότερο είναι τόσο καλύτερο.

Το **AODV - Back Pressure** αποτελεί ένα νέο πρωτόκολλο δρομολόγησης που έχει πολλές ομοιότητες με το κλασικό AODV πρωτόκολλο, αλλά τροποποιείται σε αρκετά σημεία έτσι ώστε παράλληλα να λαμβάνει υπόψιν και κάποια απλά κριτήρια του Back Pressure Αλγορίθμου. Πιο συγκεκριμένα, στο νέο πρωτόκολλο αλλάζει ο τρόπος με τον οποίο αξιολογείται το πόσο “καλό” είναι ένα μονοπάτι. Η βέλτιστη διαδρομή δεν είναι απαραίτητα η μικρότερη στο μήκος.

Στο κλασικό πρωτόκολλο AODV, ο κάθε κόμβος όταν λαμβάνει ένα πακέτο RREP πληροφορείται για μια διαδρομή προς τον κόμβο - προορισμό, του οποίου η διεύθυνση περιέχεται στο πακέτο. Για την ακρίβεια δεν ενημερώνεται για το σύνολο της διαδρομής, αλλά μόνο για το πρώτο βήμα της, δηλαδή τον γείτονα με τον οποίο θα ανταλλάξει αυτός ο κόμβος δεδομένα, και μετά θα αναλάβει εκείνος ο γείτονας για να φτάσουν στον τελικό προορισμό.

Υπάρχει βέβαια το ενδεχόμενο, στον ίδιο κόμβο να φτάσουν παραπάνω από ένα πακέτα RREP, που να τον πληροφορούν για παραπάνω από μία διαδρομή προς τον ίδιο κόμβο - προορισμό. Μεταξύ των διαδρομών που προτείνονται από τα πιο “φρέσκα” πακέτα RREP που παρέλαβε ο κόμβος, πρέπει να επιλέξει μία και να την χρησιμοποιήσει για μελλοντική προώθηση πακέτων προς τον κόμβο - προορισμό.

Στο κλασσικό AODV, ο κόμβος σ'αυτή την περίπτωση επέλεγε την διαδρομή με το μικρότερο μήκος. Στο προτεινόμενο AODV - Back Pressure όμως, ο κόμβος χρησιμοποιεί διαφορετικό κριτήριο αξιολόγησης των διαδρομών. Επιλέγει την διαδρομή εκείνη, στην οποία ο επόμενος κόμβος έχει το μικρότερο απόθεμα πακέτων για τον κόμβο - προορισμό. Αν πάλι το δικό του αντίστοιχο απόθεμα δεν είναι μεγαλύτερο από το απόθεμα του επόμενου κόμβου που επιλέχτηκε, τότε απορρίπτει και αυτή την διαδρομή και αποφασίζει ότι δεν μπορεί να προωθήσει πακέτα προς τον κόμβο - προορισμό.

Για να πάρει αυτές τις αποφάσεις όμως, χρειάζεται πληροφορίες για τα αντίστοιχα αποθέματα των γειτόνων του. Το κλασσικό AODV πληροφορείται για τα μήκη των ουρών, μέσω των ίδιων των πακέτων που μεταφέρουν αυτή την πληροφορία σε ένα πεδίο τους. Αντίστοιχα, και το νέο πρωτόκολλο χρησιμοποιεί πακέτα RREP με ένα καινούργιο πεδίο, το οποίο ενημερώνει ο κάθε κόμβος με το μήκος του δικού του αποθέματος προς τον αντίστοιχο κόμβο - προορισμό, πριν στείλει το πακέτο στον επόμενο παραλήπτη. Έτσι ο παραλήπτης μπορεί να πληροφορείται για τα μήκη των αποθεμάτων των γειτόνων του, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιεί αυτή την γνώση προς αξιολόγηση των διαδρομών.

Chapter 4

Υλοποίηση

Η υλοποίηση του **AODV - Back Pressure** βασίστηκε στην έκδοση **aodv-uu-0.9.5** του Πανεπιστημίου της Uppsala (Σουηδία), η οποία υλοποιεί τον κλασικό αλγόριθμο του **AODV** για Linux λειτουργικά συστήματα [2.4.x, 2.6.x], και τον ονομάζει **AODV-UU**. Για την ακρίβεια υλοποιεί έναν επιπλέον demon επιπέδου χρήστη, ο οποίος επιμελείται τον κλασικό πίνακα δρομολόγησης που έχουν τα Linux Λ.Σ. στον πυρήνα τους (kernel). Το Netfilter χρησιμοποιείται για να αιχμαλωτίζονται τα πακέτα δεδομένων, επομένως ο πυρήνας του Λ.Σ. που χρησιμοποιείται πρέπει να το υποστηρίζει. Το φιλτράρισμα γίνεται στο επίπεδο του χρήστη, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ίσως κάποια προβλήματα απόδοσης. Η σταθερή λειτουργία όμως έχει μεγαλύτερη προτεραιότητα από την απόδοση. Πληροφορίες για το AODV-UU στο [1].

Υπάρχει βέβαια και η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί αυτός ο κώδικας απο το πρόγραμμα NS-2 [3] σαν ένας πράκτορας δρομολόγησης (routing agent) για κινούμενους κόμβους. Αυτό επιτρέπει να γίνουν προσομοιώσεις χρησιμοποιώντας το AODV-UU στην θέση της υλοποίησης του AODV που διαθέτει ήδη το NS-2. Η αποδόσεις των δύο υλοποιήσεων είναι παρόμοιες. Τέλος, για να χρησιμοποιηθεί το AODV-UU στο NS-2, χρειάζεται ένα Linux Λ.Σ. (ή κάποιο άλλο Unix ενδεχομένως) και μια κατάλληλη έκδοση του NS-2, ανάλογα με την έκδοση του AODV-UU που χρησιμοποιείται. Για την έκδοση aodv-uu-0.9.5 μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ns-2.32.

4.1 Από το AODV-UU, στο AODV-BackPressure

Η υλοποίηση του AODV-UU περιέχει έναν μηχανισμό για την προσθήκη επιπλέον πληροφορίας στα ειδικά πακέτα του AODV. Χρησιμοποιώντας δείκτες προς την δομή *AODV_ext*, οι επιπλέον πληροφορίες μπορούν να προστεθούν και να ανιχνευθούν στο τέλος από τα ειδικά πακέτα, όπου τοποθετούνται με αυστηρή μορφή. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε επιπλέον πληροφορία, τοποθετείται μια τριπλέτα με τον κωδικό του είδους της πληροφορίας, το μήκος της και τέλος την ίδια την πληροφορία. Έτσι, για τις ανάγκες του AODV-BackPressure, στο τέλος των πακέτων RREP προστίθεται πάντα μια τέτοια τριπλέτα, με κωδικό *AODV_BACK_PRESSURE_EXT*, μήκος 32 bits και με την απαιτούμενη πληροφορία που προαναφέρθηκε, σχετικά με το μήκος του κατάλληλου αποθέματος του γείτονα. Δηλαδή το μήκος του αποθέματος πακέτων που έχει ο γείτονας για τον κόμβο - προορισμό, στον οποίο αναφέρεται και το πακέτο RREP.

Το δεύτερο σημείο τροποποίησης που χρήζει ιδιαίτερης μνείας, είναι ο κώδικας που επιλέγει την “βέλτιστη” διαδρομή στο αρχείο *aodv_rrep.c*. Δηλαδή, το αρμόδιο *if-else* που ελέγχει πρώτα για την “φρεσκάδα” του νεοεισαχθέντος RREP, και μετά συγκρίνει το δικό του πλήθος αλμάτων με αυτό της προϋπάρχουσας καταχώρησης-δρομολόγησης (*routing*), όταν αυτή υπάρχει, και κρατά αυτή με το μικρότερο πλήθος. Όταν δεν προϋπάρχει καταχώρηση, τότε η προτεινόμενη δρομολόγηση του νέου RREP γίνεται αποδεκτή κατευθείαν. Πλέον όμως οι έλεγχοι αυξάνονται, και πρίν την σύγκριση του πλήθους αλμάτων, προηγείται η σύγκριση των αποθεμάτων των γειτόνων. Επιλέγεται αυτός με το μικρότερο απόθεμα, και σε περίπτωση ισότητας, τότε επιλέγεται αυτός με το μικρότερο πλήθος αλμάτων, αλλά μόνο όταν το απόθεμα του επιλεγθέντος γείτονα είναι μικρότερο από το δικό του. Αν το δικό του απόθεμα είναι μικρότερο, τότε ο κόμβος απορρίπτει κάθε διαδρομή και συμπεριφέρεται σαν να μην παρέλαβε κανένα RREP.

Επίσης, για να μπορούν να γίνουν οι προαναφερθέντες συγκρίσεις των αποθεμάτων, υπάρχει η ανάγκη να αποθηκεύονται τα μήκη των αποθεμάτων των γειτόνων που χρησιμοποιούνται. Το AODV-UU χρησιμοποιεί έναν ειδικό πίνακα στο επίπεδο του χρήστη (αρχείο *routing_table.c*), στον οποίο αποθηκεύει πληροφορίες για κάθε δρομολόγηση. Αυτός ο πίνακας τροποποιήθηκε, ώστε για κάθε δρομολόγηση να αποθηκεύεται εκεί το μήκος του αποθέματος του γείτονα που χρησιμοποιεί, στο νέο πεδίο που προστέθηκε στην δομή *rt_table*, που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση των

πληροφοριών της κάθε καταχώρησης.

Ένα άλλο σημαντικό ζήτημα είναι η διαδικασία ανανέωσης των δρομολογήσεων που έχει υλοποιήσει το AODV-UU. Συγκεκριμένα, κάθε δρομολόγηση από την στιγμή που προστίθεται στον πίνακα του κόμβου, έχει ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ζωής. Μετά το πέρας αυτού του διαστήματος, η καταχώρηση για αυτή την δρομολόγηση αποσύρρεται. Αν όμως στο ενδιάμεσο η καταχώρηση χρησιμοποιηθεί για την δρομολόγηση κάποιου πακέτου, τότε ο χρόνος ζωής της ανανεώνεται και παρατείνεται. Αυτό είναι κάτι μη επιθυμητό για το AODV-BackPressure, καθότι τα μήκη των αποθεμάτων είναι πολύ δυναμικά μεταβαλλόμενα και πρέπει συνεχώς να ανανεώνεται η γνώση του κόμβου για τα αποθέματα των γειτόνων που τον αφορούν. Κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει με συχνή ανταλλαγή AODV πακέτων, κάτι που αποτρέπεται από την ανανέωση των χρόνων ζωής των δρομολογήσεων. Έτσι αποφασίστηκε η διαγραφή του σημείου που ανανεώνει τους χρόνους των καταχωρήσεων-δρομολογήσεων στο αρχείο *lnx/kaodv-mod.c* στη συνάρτηση *kaodv_hook* (πυρήνας), ή στο αρχείο *ns/packet_input.c* στη συνάρτηση *processPacket* (ns-2).

Το τελευταίο σημείο διαφοροποίησης που αξίζει να αναφερθεί, είναι η προσθήκη του επιπλέον κώδικα στο AODV-BackPressure, ώστε να μπορεί ο κόμβος να ενημερώνεται για τα μήκη των δικών του αποθεμάτων. Για το ns-2 το σημείο αυτό ήταν αρκετά εύκολο στην υλοποίηση, με την προσθήκη απλά μιας καινούργιας συνάρτησης *packet_queue_length* στο αρχείο *ns/packet_queue.cc*. Σε οποιοδήποτε σημείο του κώδικα μπορεί να κληθεί αυτή η νέα συνάρτηση και να μας επιστρέψει το μήκος του αποθέματος που έχει ο κόμβος με προορισμό την διεύθυνση που θα περάσει σαν παράμετρο στην συνάρτηση.

Στην περίπτωση της χρήσης όμως του AODV-BackPressure ως δαίμονα προσαρτημένου στον πυρήνα του Λ.Σ., η ενημέρωση για το μήκος των αποθεμάτων απαιτεί πιο πολύπλοκες διαδικασίες. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας, η λύση που εφαρμόστηκε για αυτό το πρόβλημα, ήταν η άμεση επικοινωνία του δαίμονα με τον οδηγό (driver) της κάρτας δικτύου. Κάτι τέτοιο βέβαια προϋποθέτει και κατάλληλη τροποποίηση του οδηγού, έτσι ώστε να μπορεί να ενημερώνει κατάλληλα για τα μήκη των ουρών. Για αυτό τον λόγο επιλέχθηκε ο οδηγός - MadWifi για Atheros ασύρματες κάρτες δικτύου [2], ώστε να τροποποιηθεί και να στυρίζει το όλο εγχείρημα. Η έκδοση που χρησιμοποιήθηκε ήταν η **madwifi-ng-r3334-20080204** και υποστηρίζεται από

Linux Λ.Σ. [2.4.22 και πάνω, 2.6.x]. Το μόνο σημείο επέμβασης είναι στο αρχείο *net80211/ieee80211_linux.c*, όπου βρίσκεται ο κώδικας που δημιουργεί τα *proc* αρχεία, με τα οποία ο οδηγός επικοινωνεί με τον “έξω κόσμο”. Εκεί προστέθηκε και ένα επιπλέον τέτοιο αρχείο, με το όνομα *queueLength*, με το οποίο ο οδηγός ενημερώνει τους “έξω” για τα μήκη των αποθεμάτων των πακέτων στις ουρές του, για κάθε διεύθυνση προορισμό.

Έτσι, επανερχόμενοι στον AODV-BackPressure, αυτό που χρειάζεται πλέον είναι μόνο η προσθήκη μια επιπλέον συνάρτησης, που θα διαβάζει το *queueLength* και θα πληροφορείται για αυτό που χρειάζεται. Η συνάρτηση αυτή ονομάστηκε *get_Madwifi_driver_queue_length* και βρίσκεται σε ένα νέο αρχείο που δημιουργήθηκε γι’ αυτή, ονόματι *link_Madwifi_driver.c*.

4.2 Οδηγίες εγκατάστασης

Η εγκατάσταση και λειτουργία του AODV-BackPressure είναι απλή, αλλά χαρακτηρίζεται από αρκετούς πλήθους βήματα. Οι ακόλουθες διαδικασίες εφαρμόστηκαν με επιτυχία σε **HP 530 Notebook PCs** και με Λειτουργικό Σύστημα **Fedora Core 8, kernel 2.6.16**. Επιπλέον, οι ασύρματες κάρτες δικτύου χρησιμοποιούσαν το **Atheros AR5004+ chipset**.

Εγκατάσταση στο ns-2 για προσομιώσεις.

- Αν δεν υπάρχει ήδη, πρέπει να εγκατασταθεί το ns-2. Οτι χρειάζεται για την εγκατάσταση αυτού του προγράμματος, βρίσκεται στην ιστοσελίδα [3]. Για αυτό το project επιλέχτηκε το πακέτο **ns-allinone-2.32.tar.tar**, που περιέχει το ns-2 μαζί με κάθε άλλο συμπληρωματικό πρόγραμμα που χρειάζεται ή προαιρετικά συνεργάζεται. Για την εγκατάσταση του, αρκεί η αποσυμπίεση του και η εκτέλεση του script *ns-allinone-2.32/install*.
- Για την αναγνώριση του AODV-BackPressure ως πράκτορα του ns-2, αποσυμπιέζουμε το αρχείο **aodv-uu-0.9.5-BackPressure.tar.gz** στο φάκελο *ns-allinone-2.32/ns-2.32* και δημιουργούμε μια συμβολική διασύνδεση ονόματι *aodv-uu*, με την εντολή *ln -s ./aodv-uu-0.9.5-BackPressure ./aodv-uu*. Μετά “ξεπατσάρουμε”

το κατάλληλο αρχείο με την εντολή `patch -p1 <aodv-uu/patches/ns-2.32-aodv-uu.patch`. Αναλυτικά οι οδηγίες αυτές βρίσκονται και στο αρχείο `aodv-uu-0.9.5-BackPressure/README.ns`, το οποίο αναφέρεται στο πως μπορεί να εγκατασταθεί το πακέτο **aodv-uu-0.8.tar.gz** στο **ns-2.26**, μια παρόμοια διαδικασία με πολύ λεπτές διαφορές. Το αρχείο **ns-2.32-aodv-uu.patch** δεν βρίσκονταν στο αντίστοιχο αρχείο **aodv-uu-0.9.5.tar.gz**, αλλά εύκολα μπορεί να αναζητηθεί στο διαδίκτυο.

- Η αλλαγή κάποιων σημείων του κώδικα και η επαναμεταγλώτιση του AODV-BackPressure, είναι μια εύκολη διαδικασία 4 εντολών, που περιγράφονται πιο αναλυτικά στο `aodv-uu-0.9.5-BackPressure/README.ns`.

Εγκατάσταση στον πυρήνα για πραγματική χρήση.

- Η αποσυμπίεση του αρχείου **aodv-uu-0.9.5-BackPressure.tar.gz** και η εκτέλεση των εντολών `make`, `make install` αρκούν για να εγκατασταθεί ο δαίμονας στο Λ.Σ.. Η έναρξη της λειτουργίας του πυροδοτείται από την εντολή `aodv -l -r 3`. Σχετικές οδηγίες μπορούν να βρεθούν και στο αρχείο `aodv-uu-0.9.5-BackPressure/README`. Επιπλέον, το αρχείο `aodv-uu-0.9.5-BackPressure/Makefile` έχει τροποποιηθεί σε σχέση με το `aodv-uu-0.9.5/Makefile`, ώστε να μεταγλωττίζει και τα καινούργια αρχεία που έχουν προστεθεί σ' αυτό το project.
- Για την ορθή λειτουργία του AODV-BackPressure, πρέπει να υπάρχει κατάλληλη επικοινωνία με τον κατάλληλο οδηγό, δηλαδή τον **madwifi-ng-r3334-20080204-BackPressure**. Χωρίς αυτή την επικοινωνία, το πρωτόκολλο εκφυλίζεται στο προκάτοχο AODV-UU. Επομένως πρέπει να εγκατασταθεί και ο προαναφερθείς οδηγός.
- Για την εγκατάσταση του οδηγού αρκεί η αποσυμπίεση του **madwifi-ng-r3334-20080204-BackPressure.tar.gz** και η εκτέλεση των εντολών `make`, `make install` και `modprobe athpci`. Μετά καλό είναι να γίνει μία επανεκίνηση του υπολογιστή, και έπειτα να εισαχθεί η ασύρματη κάρτα και να διαμορφωθεί μία ad-hoc διεπαφή. Περισσότερες πληροφορίες γύρω από το πως μπορούν να γίνουν αυτά χρησιμοποιώντας τις εντολές `wlanconfig`, `iwconfig` και `ifconfig`, βρίσκονται στο αρχείο `madwifi-ng-r3334-20080204-BackPressure/README`.

Chapter 5

Πειράματα και Αποτελέσματα

5.1 Πειράματα

Ο έλεγχος της ορθότητας της υλοποίησης, έγινε με την βοήθεια της προσομοίωσης που μας παρέχει το NS-2. Για την ακρίβεια, μέσω του ειδικού script - αρχείου **topology.tcl** [εικόνα 5.1(a)], περιγράφηκε μία κατάλληλη γι' αυτό το σκοπό τοπολογία με 4 κινητούς κόμβους, όπου ένας είναι η “πηγή” (κόμβος 0), ένας άλλος ο “προορισμός” (κόμβος 3) και οι άλλοι δύο είναι οι πιθανοί “ενδιάμεσοι”. Ο ένας ενδιάμεσος μπορεί να μεταδώσει προς τον “προορισμό” με υψηλό ρυθμό (κόμβος 2), ενώ ο άλλος με χαμηλό (κόμβος 1). Γραφική παρουσίαση της τοπολογίας προσφέρεται στην εικόνα 5.1(b).

Το κλασικό AODV, σ' αυτή την περίπτωση θα διάλεγε τυχαία και ισοπίθανα έναν από τους δύο ενδιάμεσους, αφού το μοναδικό του κριτήριο είναι το μήκος της διαδρομής, και οι δύο διαδρομές που προσφέρονται από τους ενδιάμεσους είναι ισοπίθανες. Το προτεινόμενο AODV-BackPressure όμως, όταν ο φόρτος των πακέτων από την “πηγή” είναι αρκετά μεγάλος, θα πρέπει να κλίνει προς τον “ενδιάμεσο” με τον υψηλό ρυθμό μετάδοσης, καθότι το δικό του απόθεμα προς τον προορισμό θα είναι μικρότερο.

Όπως φαίνεται από την εικόνα 5.1(a), για κάθε κινητό κόμβο υπάρχουν κάποιες παράμετροι που πρέπει να τους δωθεί τιμή. Μία εξ' αυτών, είναι η παράμετρος που καθορίζει το πρωτόκολλο δρομολόγησης που θα χρησιμοποιούν οι κινητοί κόμβοι. Η τιμή αυτής της παραμέτρου είναι συνήθως μια έκφραση όπως DSR ή AODV. Στην περίπτωση μας όμως θα βάλουμε την τιμή AODVUU, η οποία θα ρυθμίσει τον κόμβο ώστε να χρησιμοποιεί το AODV-BackPressure. Επίσης, στις τελευταίες 4 γραμμές υπάρχει κώδικας που ρυθμίζει τις παραμέτρους του πράκτορα του AODV-BackPressure.

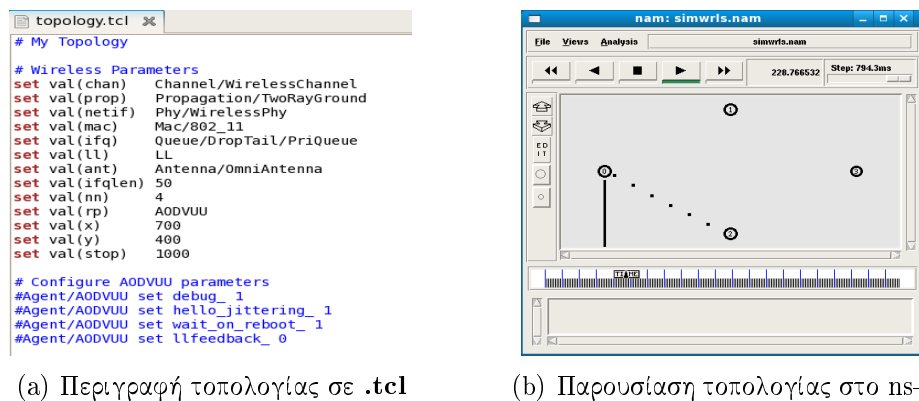


Figure 5.1: Η τοπολογία του δικτύου προσομοίωσης

Υπάρχουν βέβαια για όλες τις παραμέτρους προεπιλεγμένες τιμές, αλλά για τις συγκεκριμένες τέσσερις, οι προεπιλεγμένες τιμές διαφέρουν από αυτές που έχει ως προεπιλογή το AODV-BackPressure ως demon στο πυρήνα, ενώ επιπλέον η πρώτη καθορίζει το αν θα εκτυπώνονται μηνύματα για αποσφαλμάτωση.

5.2 Αποτελέσματα

Για να εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητα του νέου πρωτοκόλλου, μετρήθηκαν πόσα πακέτα δρομολογήθηκαν μέσω του κόμβου 1 και πόσα μέσω του κόμβου 2. Για να γίνει αυτή η καταμέτρηση χρησιμοποιήθηκε το script - αρχείο **results.awk** [εικόνα 5.2], το οποίο διαβάζει το αρχείο προσομοίωσης που παράγει το προαναφερθέν **topology.tcl**, και παρουσιάζει το πλήθος των πακέτων που δρομολόγησαν οι κόμβοι 1 και 2 έκαστος.

```
BEGIN {FS=" "}
{ if ($10 == 0 && $11 == 1 && $1 == "r") {n11++} }
{ if ($10 == 0 && $11 == 2 && $1 == "r") {n12++} }
END {print "packets routed via node 1 :" n11
      print "packets routed via node 2 :" n12}
```

Figure 5.2: Το αρχείο .awk που μας προσφέρει τα αποτελέσματα.

Τα ποσοστά των πακέτων που δρομολόγει ο κάθε κόμβος επί του συνόλου των

πακέτων που πέρασαν και από τους δύο, δίνονται στον παρακάτω πίνακα 5.1. Τα ποσοστά αυτά δίνονται συναρτήσει του χρόνου λειτουργίας του δικτύου, κατά τον οποίο η πηγή έστειλε σταθερά πακέτα προς τον προορισμό, ήταν η μόνη που παρήγαγε κυκλοφορία και χρησιμοποιούσε πάντα έναν από τους δύο ενδιάμεσους για να προωθήσει τα πακέτα της στον προορισμό.

Χρόνος	50ms	100ms	500ms	1000ms	5000ms
% του κόμβου 1	34,4	59,6	28,8	31,6	30,9
% του κόμβου 2	65,6	60,4	71,2	68,4	69,1

Table 5.1: Τα αποτελέσματα από το `.awk`

Τα αποτελέσματα είναι ενθαρυντικά και πιστοποιούν την αποδοτικότητα του νέου αλγορίθμου.

Bibliography

- [1] *AODV-UU*, http://core.it.uu.se/core/index.php/Main_Page.
- [2] *MADWiFi: Multiband Atheros Driver for WiFi*, <http://madwifi.sourceforge.net/>.
- [3] *Network Simulator 2*, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [4] *Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, 1999 ed., 1999.
- [5] Leonidas Georgiadis, Michael Neely, and Leandros Tassiulas, *Resource Allocation and Cross Layer Control in Wireless Networks*.
- [6] M. Grossglauser and D. Tse, *Mobility increases the capacity of ad-hoc wireless networks*.
- [7] M. Neely, *Dynamic power allocation and routing for satellite and wireless networks with time varying channels*, Ph.D. thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2003.
- [8] Esteban Zimanyi, *Design and Implementation of a Physical-Constrained Wireless Routing Algorithm in Linux*, Master's thesis, Universite Libre de Bruxelles, 2005-2006.