

Ατομική διπλωματική εργασία

**ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ
IEEE 802.11 (DCF)**

Παπαγεωργίου Λοΐζος

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ



ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Ιούνιος 2005

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Μελέτη επίδοσης του πρωτοκόλλου IEEE 802.11 (DCF)

Παπαγεωργίου Λοΐζος

Επιβλέπων Καθηγητής

Πιτσιλλίδης Αντρέας

Η ατομική αυτή Διπλωματική Εργασία υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων απόκτησης του μεταπτυχιακού (master) Πληροφορικής του Τμήματος Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Κύπρου.

Ιούνιος 2005

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη του καθηγητή κ. Αντρέα Πιτσιλίδη τον οποίο και ευχαριστώ για την καθοδήγηση του, τις επικοινωνιακές εισηγήσεις του και την βοήθεια του για την διεκπεραίωση της. Θέλω επίσης να εκφράσω την εκτίμηση μου για την ευκαιρία που μου δόθηκε να ασχοληθώ με ένα πραγματικά ενδιαφέρον θέμα.

Περίληψη

Το πρωτόκολλο IEEE 802.11 αποτελεί μια από τις πλέον διαδεδομένες τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας. Η παρούσα εργασία πραγματεύεται την επίδοση του πρωτοκόλλου από την σκοπιά του συστήματος με βασικό κριτήριο την διαπερατότητα σε συνθήκες κορεσμού. Μελετάται η δραστικότητα των διαφόρων παραμέτρων που διαμορφώνουν την τελική διαπερατότητα.

Η εργασία ξενικά με περιληπτική παρουσίαση του πρωτοκόλλου IEEE 802.11 και κυρίως της μεθόδου πρόσβασης DCF. Επεξηγούνται οι στόχοι και γίνεται επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας.

Παρατίθενται δυο κύριες προσεγγίσεις για την εκτίμηση της διαπερατότητας: στατιστική προσέγγιση με χρήση μέσων όρων και επίλυση μοντέλου Markov που περιγράφει κόμβο συστήματος 802.11. Οι δυο αυτές προσεγγίσεις δίνουν ποιοτικώς και ποσοτικώς παρόμοια αποτελέσματα.

Κατόπιν επεκτείνεται το μοντέλο Markov με εισαγωγή περισσότερης λεπτομέρειας: παγώματα του backoff μετρητή και πεπερασμένες προσπάθειες μετάδοσης ανά πακέτο ούτως ώστε να εκτιμηθεί η ακρίβεια του βασικού μοντέλου και να βελτιωθούν τα αποτελέσματα του. Παρατηρούνται και περιγράφονται ποιοτικές διαφορές από τα αρχικά μοντέλα για τις οποίες και γίνεται προσπάθεια αιτιολόγησης. Η μελέτη αφορά τόσο την βασική μέθοδο πρόσβασης όσο και την RTS/CTS. Καταγράφεται η διαπερατότητα που επιτυγχάνεται για δεδομένα φορτία και η εξάρτηση της από τις μεταβλητές παραμέτρους του συστήματος.

Τέλος, τα αποτελέσματα συγκρίνονται με τα αντίστοιχα προσομοιωτή (που υλοποιήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας) ώστε να εκτιμηθεί η ακρίβεια τους. Με προσομοίωση, μελετάται επίσης και το ποσοστό χρόνου που σπαταλά ένας σταθμός σε κατάσταση μετάδοσης ή ακρόασης.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή	11
1.1 Σκοπός και κίνητρο της εργασίας.....	11
1.2 Ιστορική αναδρομή και πρότυπα του 802.11	12
1.3 Περιγραφή της λειτουργίας DCF	14
1.4 Σχετική εργασία	18
Κεφάλαιο 2 Θεωρητική ανάλυση.....	21
2.1 Στατιστική ανάλυση	22
2.1.1 Εισαγωγή	22
2.1.2 Ανάλυση.....	23
2.1.3 Συμπεράσματα και παρατηρήσεις	29
2.2 Μοντέλα Markov	44
2.2.1 Μοντέλο Markov για σταθμό 802.11 υπό συνθήκες κορεσμού χωρίς πάγωμα του backoff μετρητή.....	44
2.2.1.1 Εισαγωγή	44
2.2.1.2 Ανάλυση μοντέλου κορεσμού χωρίς παγώματα του backoff μετρητή	46
2.2.2. Μοντέλο που υποστηρίζει περιπτώσεις μη κορεσμού και πάγωμα του backoff μετρητή.....	52
2.2.2.1 Εισαγωγή	52
2.2.2.2 Ανάλυση	53
2.2.3 Παρατηρήσεις και συμπεράσματα της ανάλυσης	56
Κεφάλαιο 3 Markov μοντέλα με πεπερασμένες προσπάθειες μετάδοσης και πάγωμα backoff μετρητή.	71
3.1 Εισαγωγή.....	71

3.2 Ανάλυση.....	72
3.3 Συμπεράσματα και παρατηρήσεις	79
Κεφάλαιο 4 Εκτίμηση επίδοσης μέσω προσομοιώσεων.....	85
4.1 Εισαγωγή.....	85
4.2. Περιγραφή προσομοιωτή.....	86
4.3. Εκτέλεση προσομοιώσεων	90
4.4. Αποτελέσματα, συγκρίσεις, συμπεράσματα	92
Κεφάλαιο 5 Συμπεράσματα και μελλοντική εργασία	108
Βιβλιογραφία	110

Γραφικές παραστάσεις

Κεφάλαιο 2.1:

1. Πιθανότητα σύγκρουσης p -----	29
2. Πιθανότητα σύγκρουσης p -----	30
3. Πιθανότητα σύγκρουσης p -----	31
4. Πιθανότητα σύγκρουσης p -----	32
5. Πιθανότητα σύγκρουσης p -----	33
6. Πιθανότητα σύγκρουσης p -----	34
7. Πιθανότητα σύγκρουσης p -----	35
8. Πιθανότητα σύγκρουσης p -----	36
9. Διαπερατότητα πρωτοκόλλου S -----	37
10. Διαπερατότητα πρωτοκόλλου S -----	38
11. Διαπερατότητα πρωτοκόλλου S -----	39

Κεφάλαιο 2.2:

12. Διαπερατότητα πρωτοκόλλου S -----	56
13. Διαπερατότητα πρωτοκόλλου S -----	57
14. Διαπερατότητα πρωτοκόλλου S -----	58
15. Διαπερατότητα πρωτοκόλλου S -----	59
16. Μέσος χρόνος μη ωφέλιμης μετάδοσης -----	60
17. Μέσος χρόνος μη ωφέλιμης μετάδοσης -----	61
18. Μέσος χρόνος μη ωφέλιμης μετάδοσης -----	62
19. Μέσος χρόνος μη ωφέλιμης μετάδοσης -----	63
20. Μέσος χρόνος μη ωφέλιμης μετάδοσης -----	64
21. Μέσος χρόνος μη ωφέλιμης μετάδοσης -----	65
22. Διαπερατότητα πρωτοκόλλου S -----	66

23. Πιθανότητα σύγκρουσης p -----	67
24. Πιθανότητα μετάδοσης τ -----	68
Κεφάλαιο 3:	
25. Πιθανότητα σύγκρουσης p -----	80
26. Πιθανότητα σύγκρουσης p -----	81
27. Πιθανότητα σύγκρουσης p -----	82
28. Πιθανότητα απόρριψης πακέτου -----	83
29. Διαπερατότητα πρωτοκόλλου S-----	84
Κεφάλαιο 4:	
30. Διαπερατότητα πρωτοκόλλου S-----	93
31. Διαπερατότητα πρωτοκόλλου S-----	94
32. Διαπερατότητα πρωτοκόλλου S-----	96
33. Διαπερατότητα πρωτοκόλλου S-----	97
34. Διαπερατότητα πρωτοκόλλου S-----	98
35. Μέσος χρόνος μη ωφέλιμης μετάδοσης-----	99
36. Μέσος χρόνος μη ωφέλιμης μετάδοσης-----	100
37. Μέσος χρόνος μη ωφέλιμης μετάδοσης-----	101
38. Μέσος χρόνος μη ωφέλιμης μετάδοσης-----	102
39. Ποσοστό χρόνου υπό μετάδοση-----	103
40. Πιθανότητα σύγκρουσης p -----	105
41. Πιθανότητα σύγκρουσης p -----	107

Πίνακες

1. Εργασίες των υποομάδων IEEE 802.11 -----	12
2. Σύμβολα ανάλυσης κεφ. 2.1-----	22
3. Αριθμητικές τιμές υπολογισμού S κεφ 2.1 -----	40
4. Σύμβολα ανάλυσης κεφ. 2.2.1 -----	45
5. Αριθμητικές τιμές υπολογισμού S κεφ. 2.2.1 -----	52
6. Στοιχεία κάθε προσομοίωσης -----	92

Διαγράμματα

1. DCF μέθοδος πρόσβασης-----	16
2. Μοντέλο κεφαλαίου 2.1 -----	24
3. Απεικόνιση της σύνθεσης του T_{cycle} -----	27
4. Μοντέλο Markov Bianchi -----	47
5. Μοντέλο Markov Mustafa-----	54
6. Μοντέλο Markov Bianchi με πεπερασμένες επαναλήψεις -----	77
7. Μοντέλο Markov Mustafa ($\lambda=1$) με πεπερασμένες επαναλήψεις -----	78
8. Καταστάσεις και μεταβάσεις κόμβου IEEE 802.11 του προσομοιωτή-----	89

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

- 1.1 Σκοπός και κίνητρο της εργασίας
 - 1.2 Ιστορική αναδρομή και πρότυπα του 802.11
 - 1.3 Περιγραφή της λειτουργίας DCF
 - 1.4 Σχετική εργασία
-

1.1 Σκοπός και κίνητρο της εργασίας

Η παρούσα εργασία αποσκοπεί στη μελέτη ενός από τους δυο τρόπους λειτουργίας του πρωτοκόλλου IEEE 802.11, του Distributed Coordination Function (DCF) όσον αφορά την διαπερατότητα του συστήματος και την εξάρτηση της από τις διάφορες παραμέτρους. Στο κεφάλαιο 2.1 εξάγονται μαθηματικές εκφράσεις που περιγράφουν την διαπερατότητα του 802.11 με μια προσέγγιση βασισμένη σε μέσους όρους. Τα κεφάλαια 2.2.1, 2.2.2 παρουσιάζουν μοντελοποίηση και μελέτη του πρωτοκόλλου με αλυσίδα Markov. Το κεφάλαιο 3 επεκτείνει τα Markovιανά μοντέλα που παρουσιάστηκαν εισάγοντας ένα επιπλέον στοιχείο, αυτό των πεπερασμένων επαναμεταδόσεων πακέτων. Τέλος το κεφάλαιο 4 παρουσιάζει αποτελέσματα προσομοίωσης του 802.11 με χρήση προσομοιωτή διακριτού χρόνου που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

Ο υπολογισμός της διαπερατότητας, έστω και προσεγγιστικά, βοηθά στην σωστή κατανομή των πόρων ενός ασύρματου δικτύου όταν είναι δεδομένες οι ανάγκες σε χρήστες και κίνηση με αποτέλεσμα την σωστή διαστατοποίηση του στο στάδιο του σχεδιασμού. Ο προσδιορισμός της επίδρασης των επιμέρους παραμέτρων συνεισφέρει στην ορθή ρύθμιση τους ώστε το ασύρματο δίκτυο να αποδίδει τα μέγιστα ανάλογα με τον αριθμό χρηστών που χρειάζεται μια κυψέλη να εξυπηρετεί και τα χαρακτηριστικά της κίνησης.

1.2 Ιστορική αναδρομή και πρότυπα του 802.11

Τον Φεβρουάριο του 1980 συστάθηκε η επιτροπή 802 του οργανισμού IEEE που σκοπό είχε την μελέτη προτύπων για τοπικά δίκτυα (τα δύο πρώτα ψηφία (80) αντιπροσωπεύουν το έτος εγκαθίδρυσης). Χαρακτηριστική απόφαση ήταν το ότι ως μέθοδο πρόσβασης στο κοινό μέσο θα υιοθετούνταν η μέθοδος που ήδη χρησιμοποιούνταν από το – σχετικά νέο τότε- Ethernet. Μέρος της επιτροπής αυτής απετέλεσε και η ομάδα εργασίας 802.11 που ανέλαβε την προτυποποίηση για ασύρματα τοπικά δίκτυα. Ο πίνακας 1 παρουσιάζει περιληπτικά τις εργασίες των υποομάδων που δημιούργησε η εν λόγω επιτροπή.

Πίνακας 1

Πρότυπο	Κατάσταση	Σκοπός
MAC	Ολοκληρώθηκε	Ανάπτυξη προδιαγραφών επιπέδου MAC για ασύρματα δίκτυα
PHY	Ολοκληρώθηκε	Ανάπτυξη προδιαγραφών φυσικού επιπέδου με χρήση υπέρυθρων, FHSS 2.4GHz, DSSP 2.4GHz.
802.11a	Ολοκληρώθηκε	Ανάπτυξη προδιαγραφών για φυσικό επίπεδο στην ζώνη συχνοτήτων 5GHz με ρυθμούς μετάδοσης 54Mbps.

802.11b	Ολοκληρώθηκε	Ανάπτυξη προδιαγραφών για φυσικό επίπεδο στην ζώνη συχνοτήτων 2.4GHz με ρυθμούς μετάδοσης 11Mbps.
802.11c-cor1	Ολοκληρώθηκε	Διορθώσεις στην MIB για του πρότυπου 802.11b
802.11d	Ολοκληρώθηκε	Προδιαγραφές για bridging operations που αφορούν τα ασύρματα τοπικά δίκτυα και ενσωματώνονται στα πρότυπα του 802.1d
802.11e	Ενεργή	Προδιαγραφές για παροχή ποιότητας υπηρεσίας από ασύρματα δίκτυα για εξυπηρέτηση πολυμεσικών εφαρμογών.
802.11f	Ολοκληρώθηκε	Ανάπτυξη πρακτικών για ομαλή δια-συνεργασία access points από διαφορετικούς κατασκευαστές όσον αφορά μεταγωγή συνδέσεων.
802.11g	Ολοκληρώθηκε	Ανάπτυξη προδιαγραφών για αύξηση του ρυθμού μετάδοσης στην ζώνη των 2.4 GHz τουλάχιστον στα 20Mbps. (OFDM)
802.11h	Ολοκληρώθηκε	Προδιαγραφές για έλεγχο της ζώνης συχνοτήτων και της ισχύος μετάδοσης βάση νομικών κανονισμών ορισμένων χωρών
802.11i	Ολοκληρώθηκε	Βελτίωση των αρχικών μηχανισμών ασφάλειας και πιστοποίησης του 802.11.
802.11j	Ολοκληρώθηκε	Κάλυψη περιορισμών Ιαπωνικής νομοθεσίας
802.11k	Ενεργή	Προδιαγραφές για παροχή διεπαφών σε ανώτερα επίπεδα που αφορούν δυνατότητα για ραδιομετρήσεις.
802.11m	Ενεργή	Συντήρηση των προτύπων του 802.11
802.11n	Ενεργή	Μελέτη για δυνατότητες επέκτασης των ρυθμών μετάδοσης του πρωτοκόλλου πάνω από τα 100Mbps
802.11p	Ενεργή	Τροποποιήσεις στο 802.11 ώστε να εξυπηρετήσει επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και μεταξύ οχημάτων και οδικών σημείων (μεγάλη κινητικότητα και μικρός χρόνος απόκρισης).
802.11r	Ενεργή	Προδιαγραφές για υποστήριξη αδιάλειπτης μετάβασης μεταξύ BSS για εξυπηρέτηση εφαρμογών όπως μετάδοση φωνής.
802.11s	Ενεργή	Πρωτόκολλο για δημιουργία αυτορυθμιζόμενων μονοπατιών μεταξύ σημείων πρόσβασης για υποστήριξη unicast/multicast/broadcast κίνησης σε περιβάλλον εκτεταμένου γράφου (mesh networks).
802.11t	Ενεργή	Ορισμός συνόλου μετρικών, μεθοδολογιών μέτρησης και συνθηκών ελέγχου για χαρακτηρισμό της επίδοσης ασύρματων δικτύων 802.11.
802.11u	Ενεργή	Προτυποποιήσεις για επίτευξη διαλειτουργικότητας των επιπέδων PHY και MAC με εξωτερικά δίκτυα.
802.11v	Ενεργή	Πρότυπα για διαχείριση σταθμών Access Points (παρακολούθηση, ρύθμιση, αναβάθμιση) κεντρικά ή καταναμημένα.
802.11x	Ενεργή	Προτυποποίηση για έλεγχο πρόσβασης χρηστών στο ασύρματο δίκτυο με χρήση τεχνικών εξωτερικής πιστοποίησης.

Η θεμελίωση του ασύρματου τοπικού δικτύου έγινε με τα πρότυπα MAC, PHY, 802.11a, 802.11b που ολοκληρώθηκαν το 1999. Οι υπόλοιπες ομάδες εργάστηκαν ή εργάζονται σε διορθώσεις και επεκτάσεις του αρχικού προτύπου ώστε να καλύψει τομείς όπως η ασφάλεια της επικοινωνίας (802.11i και 802.11x), μεγαλύτεροι ρυθμοί πρόσβασης (802.11n), διαλειτουργικότητα (802.11f και 802.11r), ποιότητα υπηρεσίας (802.11e), εξυπηρέτηση εξειδικευμένων μορφών επικοινωνίας όπως επικοινωνία μεταξύ κινούμενων οχημάτων (802.11p).

1.3 Περιγραφή της λειτουργίας DCF

Στην παρούσα παράγραφο θα αναπτυχθεί περιληπτικά ο τρόπος πρόσβασης στο κοινό μέσο που υιοθετήθηκε από το 802.11 για το επίπεδο MAC. Οι πλήρεις προδιαγραφές του προτύπου 802.11 μπορούν να αναζητηθούν στο [8].

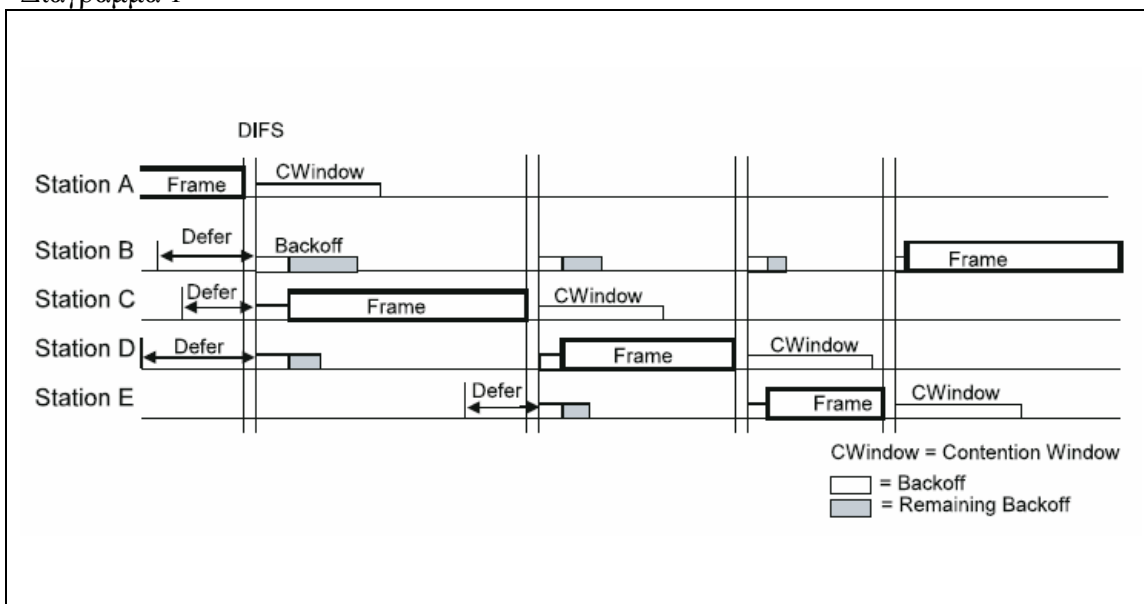
Η μέθοδος πρόσβασης DCF είναι κατανεμημένη και επιτρέπει την επικοινωνία σταθμών σε δομημένα (παρουσία access points) και αδόμητα (ad-hoc) δίκτυα χωρίς να παρέχει ελάχιστους εγγυημένους ρυθμούς πρόσβασης. Για εγγυημένους ρυθμούς πρόσβασης προβλέφθηκε η λειτουργία PCF (Point Coordination Function) που δεν αποτελεί αντικείμενο μελέτης στην παρούσα εργασία.

Κάθε σταθμός διαθέτει δυο αισθητήρες (φυσικός και ιδεατός) για να ανιχνεύει αν το μέσο είναι ή όχι σε χρήση. Ο αισθητήρας φυσικού επιπέδου μετρά την ηλεκτρομαγνητική δραστηριότητα του μέσου και αναφέρει ανάλογα στα πιο ψηλά επίπεδα της υλοποίησης. Ο ιδεατός αισθητήρας γνωστός ως NAV (Network Allocation Vector) παρακολουθεί τις ανακοινώσεις που αποστέλλονται από σταθμούς όταν ξεκινούν

να μεταδίδουν, ώστε να γνωρίζει πόσο χρόνο θα δεσμεύουν το κοινό μέσο (αυτό είναι εφικτό μόνο όταν εφαρμόζεται η μέθοδος πρόσβασης RTS/CTS που θα αναλυθεί πιο κάτω).

Όταν υπάρχει πακέτο προς μετάδοση και οι αισθητήρες υποδεικνύουν ότι το μέσο είναι ανενεργό τότε ο σταθμός ξεκινά την διαδικασία της μετάδοσης. Το μέσο παρακολουθείται συνεχώς και αν για διάρκεια DIFS (Distributed Inter-Frame Space) δεν υπάρξει καμιά δραστηριότητα τότε ενεργοποιείται ένας μετρητής αντίστροφης μέτρησης, ο backoff μετρητής. Όταν ο μετρητής αυτός μηδενιστεί τότε εκκινεί η μετάδοση στον αέρα. Ο μετρητής λαμβάνει αρχική τιμή που μετρείται σε χρονοσχισμές σταθερής διάρκειας η οποία επιλέγεται ισοπίθανα από ένα «παράθυρο» ακέραιων τιμών $0 - 2^i W$. W είναι σταθερά και i η κατάσταση του σταθμού. Κατά την πρώτη προσπάθεια μετάδοσης η κατάσταση του σταθμού είναι 0, κατά την δεύτερη 1 κ.ο.κ. ώστε το εύρος του παραθύρου από το οποίο θα επιλέγονται τιμές να αυξάνει εκθετικά. Αν ανταγωνίζονται περισσότεροι από ένας σταθμοί για μετάδοση, τότε αυτός του οποίου ο backoff μετρητής μηδενιστεί πρώτος θα επιχειρήσει μετάδοση. Αν η μετάδοση καταστεί επιτυχής (άφιξη επιβεβαίωσης από τον παραλήπτη) τότε η κατάσταση του σταθμού μηδενίζεται, αλλιώς αυξάνεται κατά μια μονάδα μέχρι ένα ανώτατο όριο (m). Αν ένα πακέτο δεν μεταδοθεί επιτυχώς μετά από M το πολύ απόπειρες μετάδοσης, υπό μέγιστο παράθυρο, τότε απορρίπτεται. Αποτυχημένη προσπάθεια θεωρείται και όταν κατά την διάρκεια αναμονής για χρόνο DIFS το κοινό μέσο πάψει να είναι ανενεργό. Ο backoff μετρητής ενός σταθμού δύναται να «παγώνει» (προσωρινή διακοπή της λειτουργίας μείωσης του) αν ανιχνευτεί δραστηριότητα στο μέσο και για όση ώρα διαρκεί αυτή. Ο σταθμός επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση ($i=0$) όταν το τρέχον πακέτο μεταδοθεί και επιβεβαιωθεί ή απορριφθεί. Το διάγραμμα 1 (Figure 52—Backoff procedure, ANSI/IEEE Std 802.11, 1999 Edition, page 78) απεικονίζει ένα τυπικό στιγμιότυπο όπου πέντε σταθμοί ανταγωνίζονται για μετάδοση. Τελικά οι σταθμοί μεταδίδουν με την εξής σειρά: A, C, D, E, B.

Διάγραμμα 1



Ακολουθούν μερικές παρατηρήσεις.

Στην ασύρματη μετάδοση και λήψη είναι τεχνικά πολύπλοκο και απαιτεί υψηλό κόστος εξοπλισμού η υλοποίηση ταυτόχρονης μετάδοσης και ακρόασης. Επιπλέον, λόγω της φύσης του μέσου η ανίχνευση μιας σύγκρουσης ή μιας πετυχημένης μετάδοσης δεν μπορούν να γίνουν με ικανοποιητική αξιοπιστία οπότε προκύπτει η ανάγκη για λήψη επιβεβαίωσης. Επειδή η ανάγκη αυτή είναι πιο συχνή από ότι στα ενσύρματα συστήματα η αποστολή επιβεβαίωσης υλοποιείται στο επίπεδο 2 για να βελτιωθεί η επίδοση του συστήματος και η ελαχιστοποίηση χρήσης αντίστοιχου μηχανισμού πιο ψηλών επιπέδων που είναι σχετικά χρονοβόρος.

Το θέμα δικαιοσύνης όσον αφορά την πρόσβαση στο κοινό μέσο επιλύεται με την υιοθέτηση παγώματος αντί επανεκλογής τιμής για τον backoff μετρητή. Ο μετρητής συνεχίζει από την τιμή που είχε πριν την τελευταία διακοπή με αποτέλεσμα ο υπολειπόμενος χρόνος για απόπειρα μετάδοσης να μειώνεται συνεχώς. Σύστημα

προτεραιοτήτων στην υφιστάμενη υλοποίηση δεν υπάρχει, σε αντίθεση με το πρότυπο HIPERLAN.

Η ανταλλαγή πακέτων μεταξύ δυο σταθμών για να μεταδοθεί ένα πακέτο δεδομένων γίνεται χωρίς να παρεμβάλλονται άλλες μεταδόσεις σταθμών, εκτός φυσικά και αν οι σταθμοί αυτοί για κάποιο λόγο δεν ακροούν την συναλλαγή. Τα πακέτα RTS, το πακέτο CTS, το πακέτο δεδομένων και η επιβεβαίωση του απέχουν χρονικά κατά διαστήματα SIFS (Short Inter-Frame Space). Επειδή ισχύει ότι $SIFS < DIFS$ κανένας άλλος σταθμός δεν θα παρέμβει πριν τελειώσει η συναλλαγή αφού δεν θα προλάβει να μετρήσει αδράνεια διάρκειας DIFS στο μέσο.

Επειδή οι συγκρούσεις στο κοινό μέσο μπορεί να είναι πολλές και χρονοβόρες πέρα από τον βασικό τρόπο πρόσβασης υιοθετήθηκε και η μέθοδος πρόσβασης RTS/CTS. Κατά την μέθοδο αυτή, πριν από κάθε μετάδοση δεδομένων αποστέλλεται μικρής σχετικά διάρκειας πακέτο RTS (Request To Sent) με σκοπό να ειδοποιήσει όλους όσους ακούν για την πρόθεση του σταθμού να αποστείλει δεδομένα. Ως απάντηση, μικρό σχετικά πακέτο CTS (Clear To Sent) αποστέλλεται από τον υποψήφιο παραλήπτη. Με αυτό τον τρόπο μειώνεται η μέση διάρκεια μιας πιθανής σύγκρουσης. Η μέθοδος αυτή όπως θα διαφανεί και στη ανάλυση είναι αρκετά αποτελεσματική για πακέτα δεδομένων σχετικά μεγάλου μεγέθους ώστε η επιβάρυνση που προκαλεί να αντισταθμίζεται από την αποφυγή σύγκρουσης εκτεταμένης διάρκειας.

Η μέθοδος πρόσβασης RTS/CTS επιλύει αποτελεσματικά και το πρόβλημα των κρυμμένων κόμβων, ειδοποιώντας όλους του εν δυνάμει «παρεμβολείς» για την πρόθεση δυο κόμβων να επικοινωνήσουν ώστε με την χρήση του ιδεατού αισθητήρα (NAV) να αποφύγουν μετάδοση εφόσον μια συναλλαγή βρίσκεται σε εξέλιξη έστω και αν ο φυσικός αισθητήρας δείχνει το μέσο ανενεργό.

Το κυριότερο κριτήριο που μας απασχολεί είναι η διαπερατότητα του πρωτοκόλλου σε συνθήκες κορεσμού, δηλαδή κάθε συμμετέχον σταθμός διαθέτει πάντα έτοιμο πακέτο προς μετάδοση. Μελετάται παράλληλα η δραστηριότητα των διαφόρων παραμέτρων στην

διαμόρφωση της τελικής διαπερατότητας. Θέματα καθυστέρησης των πακέτων εν αναμονή μετάδοσης, δικαιοσύνης, ευστάθειας και κατανάλωσης ισχύος δεν αναλύονται.

Η διαπερατότητα ενός πρωτοκόλλου (throughput) ορίζεται ως ο λόγος χρόνου που το μέσο απασχολείται για μετάδοση ωφέλιμων δεδομένων (δεδομένα του ανώτερου επιπέδου) προς τον συνολικό χρόνο που σπαταλείται για να επιτευχθεί η μετάδοση αυτή. Οι χρόνοι αυτοί μετρούνται στο επίπεδο 2. Η διαπερατότητα του πρωτοκόλλου αριθμητικά εξαρτάται από το μέσο μέγεθος πακέτων δεδομένων που διακινούνται στο σύστημα. Άρα η σημασία της ανάλυσης της διαπερατότητας είναι ποιοτική και όχι αριθμητική (για παράδειγμα, σημασία έχουν οι συνθήκες που την μεγιστοποιούν και όχι αυτή καθ' αυτή η μέγιστη τιμή της).

1.4 Σχετική εργασία

Η μελέτη της επίδοσης και της συμπεριφοράς του πρωτοκόλλου IEEE 802.11 έχει απασχολήσει εκτεταμένα την ερευνητική κοινότητα με αποτέλεσμα να υπάρχει δημοσιευμένο αρκετό σχετικό υλικό.

Μια ανασκόπηση των πρωτοκόλλων ασύρματης δικτύωσης που αποτελεί ταυτόχρονα και πηγή για σχετική βιβλιογραφία είναι η εργασία των Ghandra, Gummalla και Limb στο [9].

Στο [4] οι Tay και Chua χρησιμοποιούν μια μέθοδο ανάλυσης με χρήση μέσων όρων και πετυχαίνουν να δώσουν μαθηματικές σχέσεις, σχετικά απλές, που περιγράφουν την επίδοση και εξηγούν την δράση των διαφόρων παραμέτρων του 802.11. Το κεφάλαιο 2.1 παρουσιάζει τα σημαντικότερα αποτελέσματα της εργασίας αυτής.

Ο Bianchi στο [1] με παραδοχές που απλοποιούν την ανάλυση αλλά χωρίς να θυσιάζεται πολύ η ακρίβεια των αποτελεσμάτων προτείνει ένα Μαρκοβιανό μοντέλο για

ένα κόμβο του υπό μελέτη πρωτοκόλλου σε κατάσταση κορεσμού. Η επίλυση του δίνει καλή εκτίμηση για την διαπερατότητα μιας κυψέλης 802.11 DCF. Στο [2] επεκτείνει την εργασία του προτείνοντας ένα έμμεσο τρόπο υπολογισμού του πλήθους των ενεργών χρηστών στην κυψέλη για δυναμική ρύθμιση των παραμέτρων προς επίτευξη μέγιστης διαπερατότητας. Η εργασία του [1] παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 2.2.1.

Με εισαγωγή περισσότερης ακρίβειας επεκτείνεται η εργασία του [1] από τον Moustafa στο [6]. Η συμπεριφορά του backoff μετρητή βελτιώνεται στο μοντέλο και γίνεται επέκταση των καταστάσεων ώστε να καλύπτουν και περιπτώσεις λειτουργίας σε κατάσταση μη κορεσμού. Τέλος εισάγεται ένας μηχανισμός ελέγχου για μεγιστοποίηση της διαπερατότητας. Η βελτίωση όσον αφορά την συμπεριφορά του backoff μετρητή παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 2.2.2.

Στο [5] οι Tickoo και Sidkar πραγματεύονται το θέμα του χρονικού διαστήματος που μεσολαβεί μεταξύ διαδοχικών αφίξεων πακέτων και συμπεραίνουν ότι τα διαγράμματα πυκνότητας πιθανότητας παρουσιάζουν έντονες ακμές γύρω από χαρακτηριστικές τιμές, φαινόμενο το οποίο και αιτιολογούν. Επιπλέον, τους απασχολεί η αυτοπαρεμφένια της κατανομής πιθανότητας που παρουσιάζουν τα εν λόγω διαστήματα όταν εξυπηρετείται κίνηση TCP. Με την χρονική καθυστέρηση που αντιλαμβάνονται τα προς μετάδοση πακέτα καταπιάνεται η ομάδα του Chatzimisίου στο [3].

Οι Gali, Conti, Gregori στο [7] εισηγούνται μια αναλυτική εκτίμηση για την διαπερατότητα του IEEE 802.11 και τρόπο δυναμικού υπολογισμού του πλήθους χρηστών σε μια κυψέλη ώστε με κατάλληλες ρυθμίσεις των παραμέτρων να επιτευχθεί η μεγιστοποίηση της.

Στο [10] οι Gupta και Kumar προτείνουν ανάλυση του πρωτοκόλλου που ενσωματώνει την περίπτωση μη ιδανικού ασύρματου καναλιού που προκαλεί λάθη στην μετάδοση. Τους απασχολεί πέραν της επίδοσης, η χρονική καθυστέρηση και η συμπεριφορά του συστήματος όταν το πακέτο δρομολογείται διαμέσου περισσότερων του ενός ασύρματων σταθμών. Στην εργασία αυτή περιέχεται και η έννοια των πεπερασμένων επαναλήψεων για μετάδοση ενός πακέτου.

Μια μελέτη για την σημαντικότητα των παραμέτρων που επηρεάζουν την επίδοση του πρωτοκόλλου αποτελεί το [11]. Οι ερευνητές προχωρούν παραπέρα προτείνοντας βελτιώσεις στην συνάρτηση κατανομής που διέπει την επιλογή

χρονοσχισμών από ένα παράθυρο και στον προσδιορισμό του κατάλληλου κατωφλίου ενεργοποίησης του μηχανισμού πρόσβασης RTS/CTS.

Οι αναφορές [12], [13], [14] παρέχουν στοιχεία και διαδικασίες που χρησίμευσαν στον σχεδιασμό και στην υλοποίηση του προσομοιωτή.

Κεφάλαιο 2

Θεωρητική ανάλυση

2.1 Στατιστική ανάλυση

2.1.1 Εισαγωγή

2.1.2 Ανάλυση

2.1.3 Συμπεράσματα και παρατηρήσεις

2.2 Μοντέλα Markov

2.2.1 Μοντέλο Markov για σταθμό 802.11 υπό συνθήκες κορεσμού χωρίς πάγωμα του backoff μετρητή.

2.2.1.1 Εισαγωγή

2.2.1.2 Ανάλυση μοντέλου κορεσμού χωρίς παγώματα του backoff μετρητή

2.2.2. Μοντέλο που υποστηρίζει περιπτώσεις μη κορεσμού και πάγωμα του backoff μετρητή

2.2.2.1 Εισαγωγή

2.2.2.2 Ανάλυση

2.2.3 Παρατηρήσεις και συμπεράσματα της ανάλυσης

2.1 Στατιστική ανάλυση

2.1.1 Εισαγωγή

Η ανάλυση βασίζεται στην εργασία των Y.C Tay και K.C. Chua [4]. Επικεντρώνεται στην χωρητικότητα του καναλιού που επιτυγχάνει το πρωτόκολλο 802.11 καθώς και στην μελέτη της συμπεριφοράς βασικών παραμέτρων (αρχικό μήκος παραθύρου, τελικό μήκος παραθύρου, αριθμός ενεργών σταθμών κλπ). Παρέχει μεταξύ άλλων προσεγγιστικές σχέσεις σε κλειστή μορφή για την πιθανότητα αποτυχημένης απόπειρας μετάδοσης, μέγιστης διαπερατότητας, ρυθμών επιτυχημένων/αποτυχημένων μεταδόσεων. Εξάγονται συμπεράσματα που δίνουν κατευθύνσεις για την ρύθμιση και την δραστηριότητα παραμέτρων του πρωτοκόλλου.

Ο πίνακας 2 επεξηγεί τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται στην παρούσα ανάλυση:

Πίνακας 2

Σύμβολο	Επεξήγηση
n	αριθμός σταθμών
W	αρχικό μέγεθος παραθύρου
m	το μέγιστο μέγεθος παραθύρου είναι $2^m W$
W_{backoff}	μέσο μέγεθος backoff παραθύρου
p	μέση πιθανότητα σύγκρουσης δεδομένης της μετάδοσης
T_{slot}	διάρκεια χρονοσχιμής
T_{SIFS}	διάρκεια SIFS
T_{DIFS}	διάρκεια DIFS
T_{payload}	χρόνος μετάδοσης ωφέλιμων δεδομένων
T_{physical}	χρόνος μετάδοσης πακέτου (περιλαμβανομένου επικεφαλίδας)
T_{ACK}	χρόνος μετάδοσης επιβεβαίωσης
T_{cycle}	χρόνος που μεσολαβεί δυο μεταδόσεων στην κυψέλη

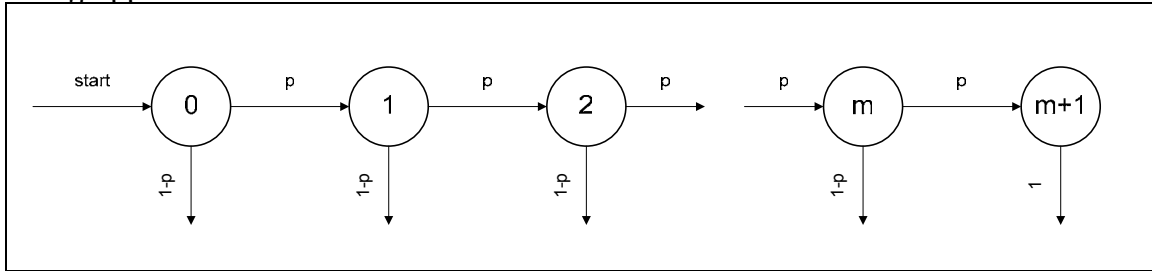
Γ_{success}	ρυθμός πετυχημένων μεταδόσεων στην κυψέλη
Γ_{coll}	ρυθμός συγκρούσεων στην κυψέλη
Γ_{xmit}	ρυθμός μεταδόσεων στην κυψέλη
P_{tr}	μέση πιθανότητα μεταδόσεων
P_s	μέση πιθανότητα επιτυχίας δεδομένης της μετάδοσης
S	χρησιμοποίηση του καναλιού από πετυχημένες μεταδόσεις
U_{total}	συνολική χρησιμοποίηση καναλιού

Η ανάλυση αφορά την κατάσταση κορεσμού, όπου δηλαδή κάθε σταθμός έχει πάντα πακέτο προς μετάδοση. Η πιθανότητα σύγκρουσης p θεωρείται ανεξάρτητη της κατάστασης του σταθμού (μέγιστο αρχικό μήκος του backoff μετρητή) και κοινή για κάθε σταθμό παραδοχή που απλοποιεί σε μεγάλο βαθμό την ανάλυση. Αναφερόμαστε σε βασικό τρόπο πρόσβασης στο μέσο, οπότε πρακτικά η ανάλυση είναι αντιπροσωπευτική για σχετικά μικρό μήκος πακέτου δεδομένων διαφορετικά θα χρησιμοποιούνταν πακέτα RTS/CTS. Βασική ιδέα είναι η εξαγωγή μέσω τιμών για τα χαρακτηριστικά μεγέθη. Η ορθότητα της υπόθεσης εξαρτάται από το κατά πόσο οι μέσες τιμές είναι αντιπροσωπευτικές της συμπεριφοράς του συστήματος, γεγονός που επαληθεύεται με προσομοιώσεις.

2.1.2 Ανάλυση

Κάθε απόπειρας μετάδοσης, προηγείται χρόνος αναμονής που διαρκεί κατά μέσο όρο W_{backoff} χρονοσχιμές. Μια εκτίμηση του W_{backoff} εξάγεται από την σχέση 2.1.1 όπου η μετάδοση του πακέτου διεκπεραιώνεται το πολύ μετά από m αποτυχίες συν μια προσπάθεια. Το διάγραμμα 2 απεικονίζει το μοντέλο που ακολουθείται για τον υπολογισμό του W_{backoff} :

Διάγραμμα 2



$$W_{\text{backoff}} = (1-p)\frac{W}{2} + p(1-p)\frac{2W}{2} + p^2(1-p)\frac{4W}{2} + \dots + p^{m-1}(1-p)\frac{2^{m-1}W}{2} + p^m\frac{2^m W}{2}$$

$$\Rightarrow W_{\text{backoff}} = \frac{1-p-p(2p)^m W}{2(1-2p)} \quad (\sigma 2.1.1)$$

Η σχέση 2.1.1 προκύπτει αν θεωρήσουμε ότι η πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης μετά από k αποτυχίες είναι $p^k(1-p)$ παραδεχόμενοι ότι κάθε απόπειρα μετάδοσης είναι ανεξάρτητο και ισοδύναμο ενδεχόμενο. Το αντίστοιχο εύρος για επιλογή χρόνου αναμονής είναι $0 \sim 2^k(W-1)$ με μέσο όρο $2^k(W-1)/2$ αλλά για σκοπούς απλοποίησης προσεγγίζεται ως $2^k W/2$.

Η μέση πιθανότητα σύγκρουσης ενός σταθμού με ένα άλλο σταθμό δεδομένου ότι η πιθανότητα μετάδοσης σε κάθε χρονοσχιμή λ είναι $1/W_{\text{backoff}}$ δίνεται από την σχέση 2.1.2:

$$p_{\text{coll_with_one}} = \sum_{\lambda=1}^{W_{\text{backoff}}} \frac{1}{W_{\text{backoff}}} \frac{1}{W_{\text{backoff}}} = \frac{1}{W_{\text{backoff}}} \quad (\sigma 2.1.2)$$

Η μέση πιθανότητα σύγκρουσης για ένα σταθμό σε ένα σύστημα με $n-1$ άλλους ενεργούς σταθμούς, ως συνέπεια της σχέσης 2.1.2, είναι:

$$p = P_{coll_with_all} = 1 - \left(1 - \frac{1}{W_{backoff}}\right)^{n-1} = 1 - \left(1 - \frac{2(1-2p)}{1-p-p(2p)^m} \frac{1}{W}\right)^{n-1} \quad (\sigma 2.1.3)$$

Αν T_{cycle} είναι ο μεσολαβών χρόνος μεταξύ δυο μεταδόσεων στην κυψέλη, τότε ο ρυθμός μεταδόσεων στην κυψέλη συνδέεται με τους ρυθμούς πετυχημένων και αποτυχημένων μεταδόσεων ως εξής:

$$\frac{1}{T_{cycle}} = r_{success} + r_{coll} \quad (\sigma 2.1.4)$$

Για χάρη απλοποίησης θεωρούμε προσεγγιστικά ότι οι συγκρούσεις που συμβαίνουν μεταξύ περισσότερων από δυο σταθμών έχουν αμελητέα συνεισφορά στον ρυθμό συγκρούσεων οπότε ο ρυθμός μεταδόσεων στο σύστημα λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι μια σύγκρουση επηρεάζει δύο σταθμούς γράφεται ως:

$$r_{xmit} = r_{success} + 2r_{coll} \quad (\sigma 2.1.5)$$

Έστω ένας σταθμός του οποίου η διαδικασία μείωσης του backoff μετρητή διακόπτεται από την μετάδοση ενός άλλου σταθμού. Δεχόμαστε για χάριν απλοποίησης, ότι ο μετρητής αντιλαμβάνεται την διακοπή αυτή ως να έχει διάρκεια μόνο μιας χρονοσχιμής. Ο μέσος αριθμός χρονοσχιμών που μεσολαβούν μεταξύ δυο πετυχημένων μεταδόσεων στην κυψέλη δίνεται από την σχέση 2.1.6.

$$\sum_{k=1}^{\infty} kW_{backoff} p^{k-1} (1-p) = \frac{W_{backoff}}{1-p} \quad (\sigma 2.1.6)$$

Διαιρώντας την σχέση 2.1.6 με το $W_{backoff}$ παίρνουμε τον μέσο αριθμό προσπαθειών μετάδοσης ανά πετυχημένη μετάδοση που αντιλαμβάνεται ο σταθμός (σχέση 2.1.7).

$$trans_attempts_per_success = \frac{W_{backoff}}{1-p} = \frac{1}{1-p} \quad (\sigma 2.1.7)$$

Άρα ο λόγος του ρυθμού μεταδόσεων προς τον ρυθμό πετυχημένων μεταδόσεων για ένα σταθμό είναι:

$$\frac{r_{xmit}}{r_{success}} = \frac{1}{1-p} \quad (\sigma 2.1.8)$$

Η σχέση 2.1.8 έχει αποδεικτεί για ένα σταθμό αλλά ισχύει και για την κυψέλη αν πολλαπλασιάσουμε τους ρυθμούς μετάδοσης (αριθμητής) και επιτυχίας (παρονομαστής) του σταθμού με n (το n στην συνέχεια απλοποιείται). Από τις σχέσεις 2.1.4, 2.1.5, 2.1.8 εξάγουμε σχέσεις για τους μέσους ρυθμούς μετάδοσης στην κυψέλη συναρτήσει της πιθανότητας αποτυχίας p και του μέσου χρόνου T_{cycle} :

$$r_{success} = \frac{1}{T_{cycle}} \frac{2(1-p)}{2-p} \quad (\sigma 2.1.9)$$

$$r_{xmit} = \frac{1}{T_{cycle}} \frac{2}{2-p} \quad (\sigma 2.1.10)$$

$$r_{coll} = \frac{1}{T_{cycle}} \frac{p}{2-p} \quad (\sigma 2.1.11)$$

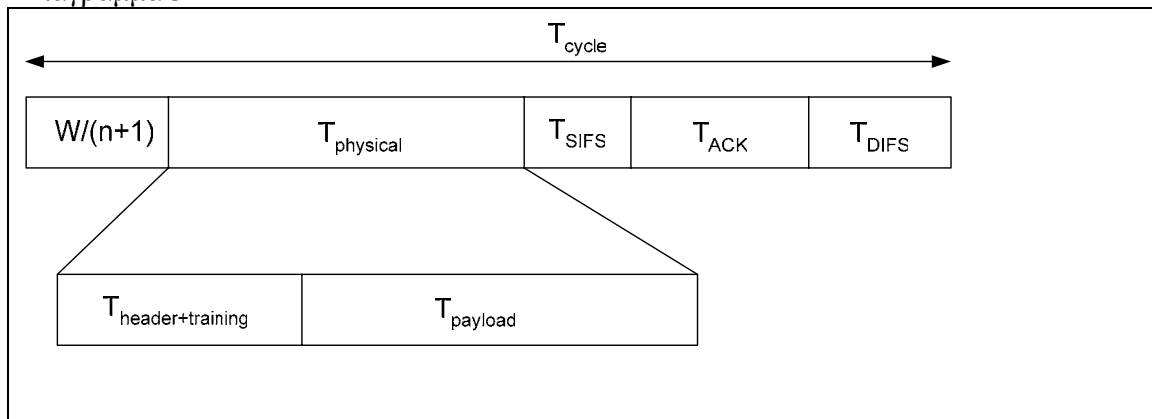
Η χρονική διάρκεια που αντιπροσωπεύει το T_{cycle} είναι το μεσοδιάστημα δυο μεταδόσεων όπως διευκρινίζεται στο διάγραμμα 3. (Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης στο σύστημα ορίζεται ως $1/T_{cycle}$, πληροφορία που θα χρησιμοποιηθεί παρακάτω). Η διάρκεια του backoff μετρητή που λαμβάνεται υπ' όψιν ($W'_{backoff}$) δεν είναι αυτή της σχέσης 2.1.1 αλλά της 2.1.12. Η διαφοροποίηση έγκειται στο ότι η 2.1.12 εκφράζει την ιδέα ότι σε ένα σύστημα με αρκετούς σταθμούς είναι πάρα πολύ πιθανόν να επιχειρείται

μετάδοση σε διάστημα μικρότερο του μέσου backoff όπως αυτό το αντιλαμβάνεται ένας σταθμός.

$$W'_{\text{backoff}} = \frac{W}{n+1} \quad (\sigma \ 2.1.12)$$

$$T_{\text{cycle}} = T_{\text{physical}} + T_{\text{SIFS}} + T_{\text{ACK}} + T_{\text{DIFS}} + \frac{W}{n+1} \quad (\sigma \ 2.1.13)$$

Διάγραμμα 3



Είναι τώρα εφικτό να καταγράψουμε σχέσεις για την χρησιμοποίηση του καναλιού.

Η σχέση 2.1.14 εκφράζει την χρησιμοποίηση του καναλιού για πετυχημένες και αποτυχημένες μεταδόσεις αποτελώντας μέτρο του ποσοστού του χρόνου για το οποίο το κανάλι είναι υπό χρήση. Η πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης ισοδυναμεί με τον λόγο του ρυθμού επιτυχούς μετάδοσης προς τον μέγιστο δυνατό ρυθμό μετάδοσης στο σύστημα (που είναι το $1/T_{\text{cycle}}$). Η πιθανότητα αποτυχημένης μετάδοσης ισοδυναμεί με τον λόγο του ρυθμού αποτυχημένων μεταδόσεων προς τον μέγιστο δυνατό ρυθμό μετάδοσης στο σύστημα. Το ποσοστό χρόνου που καταλαμβάνει κάθε επιτυχία ή αποτυχία ως προς την διάρκεια T_{cycle} πολλαπλασιάζεται με την αντίστοιχη πιθανότητα και τα γινόμενα αθροίζονται:

$$U_{\text{total}} = P_{\text{succesfull_trans}} \frac{T_{\text{physical}} + T_{\text{ACK}}}{T_{\text{cycle}}} + P_{\text{collision}} \frac{T_{\text{physical}}}{T_{\text{cycle}}} \Rightarrow$$

$$U_{\text{total}} = \frac{r_{\text{success}}}{1/T_{\text{cycle}}} \frac{T_{\text{physical}} + T_{\text{ACK}}}{T_{\text{cycle}}} + \frac{r_{\text{collision}}}{1/T_{\text{cycle}}} \frac{T_{\text{physical}}}{T_{\text{cycle}}} \Rightarrow$$

$$U_{total} = r_{success} (T_{physical} + T_{ACK}) + r_{coll} T_{physical} \quad (\sigma. 2.1.14)$$

Κανονικά, λόγω της μη αξιόπιστης ανίχνευσης συγκρούσεων οι σταθμοί βασίζονται στην άφιξη επιβεβαίωσης για να αποφανθούν αν η μετάδοση ήταν επιτυχής, οπότε η επιτυχής και η αποτυχημένη μετάδοση διαρκούν ένα T_{cycle} στην χειρότερη περίπτωση. Στην παρούσα ανάλυση δεχόμαστε ότι είναι δυνατό να γίνει ανίχνευση της σύγκρουσης από τον δέκτη χωρίς να αναμένεται η παρέλευση του χρόνου για λήψη ή όχι επιβεβαίωσης, οπότε διαρκεί $T_{physical}$.

Αντίστοιχα, η διαπερατότητα του συστήματος ορίζεται ως το γινόμενο της πιθανότητας επιτυχούς μετάδοσης επί του ποσοστού χρόνου που καταλαμβάνει αυτή. Προκύπτει λοιπόν η σχέση 2.1.15:

$$S = P_{successful_trans} \frac{T_{payload}}{T_{cycle}} \Rightarrow$$

$$S = \frac{r_{success}}{1/T_{cycle}} \frac{T_{payload}}{T_{cycle}} \Rightarrow$$

$$S = r_{success} T_{payload} \quad (\sigma. 2.1.15)$$

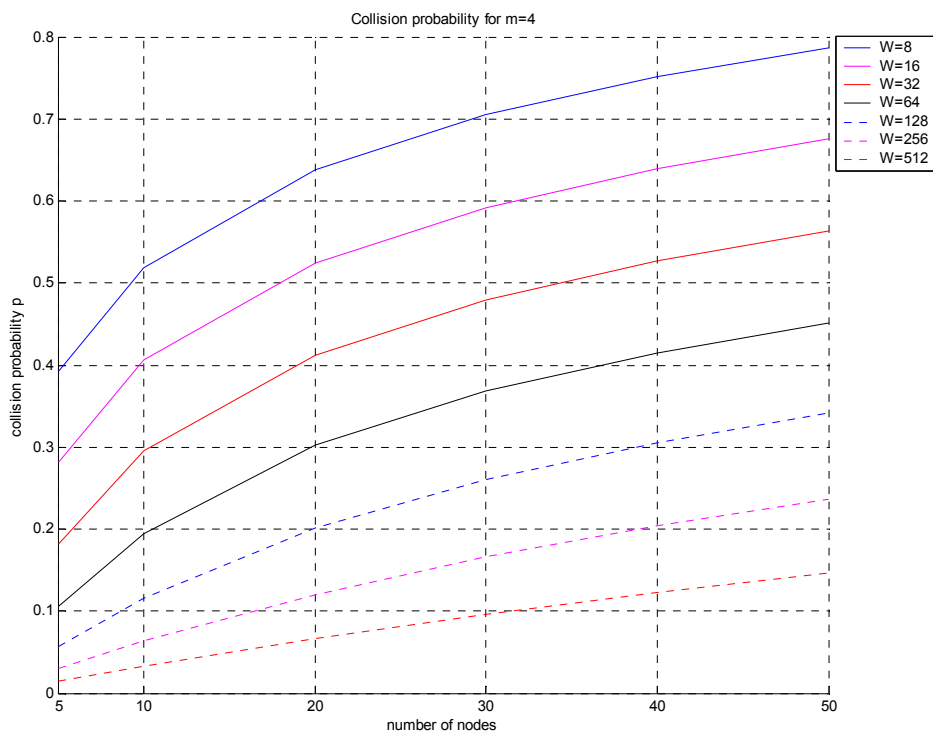
2.1.3 Συμπεράσματα και παρατηρήσεις

Αρχικά παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις και μετά εξάγονται συμπεράσματα.

Οι γραφικές παραστάσεις 1-4 απεικονίζουν την πιθανότητα σύγκρουσης p (σύμφωνα με την σχέση 2.1.3) που αντιλαμβάνεται κάθε σταθμός όταν επιχειρεί να μεταδώσει. Η p είναι συνάρτηση του πληθυσμού των ενεργών χρηστών, κάθε γραφική χαρακτηρίζεται από ένα μέγιστο μήκος παραθύρου ($m : \max Window = 2^m W$) και περιέχει γραφήματα για διαφορετικά αρχικά μήκη παραθύρου W .

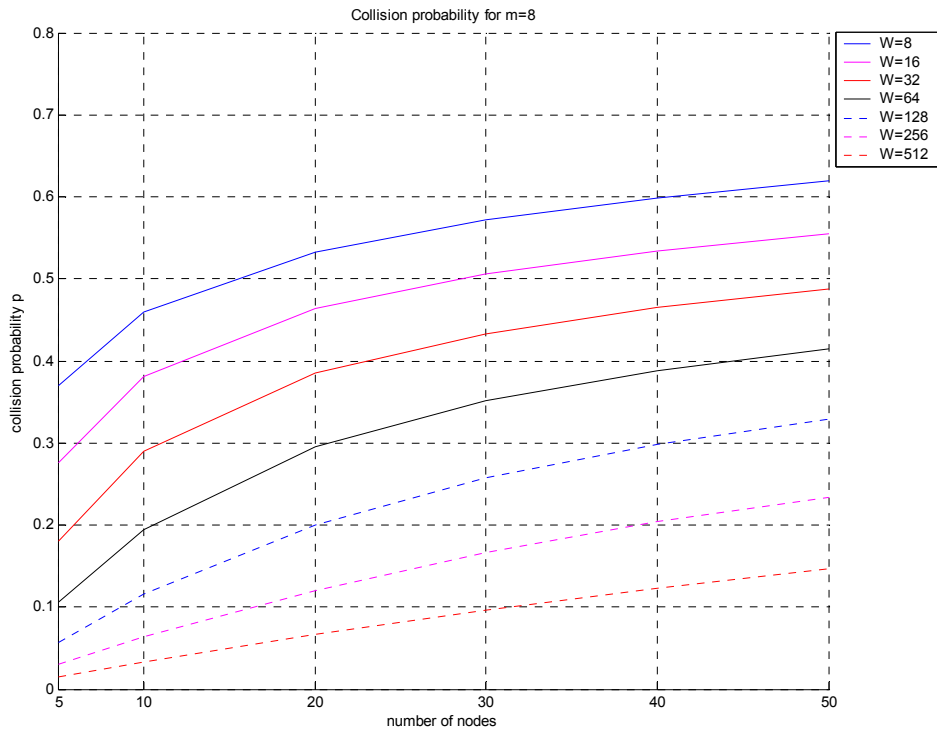
Γραφική παράσταση 1

Πιθανότητα σύγκρουσης p συναρτήσει του πληθυσμού των ενεργών σταθμών για δοσμένα αρχικά και μέγιστα μήκη παραθύρου. Βασική μέθοδος πρόσβασης, $m=4$.



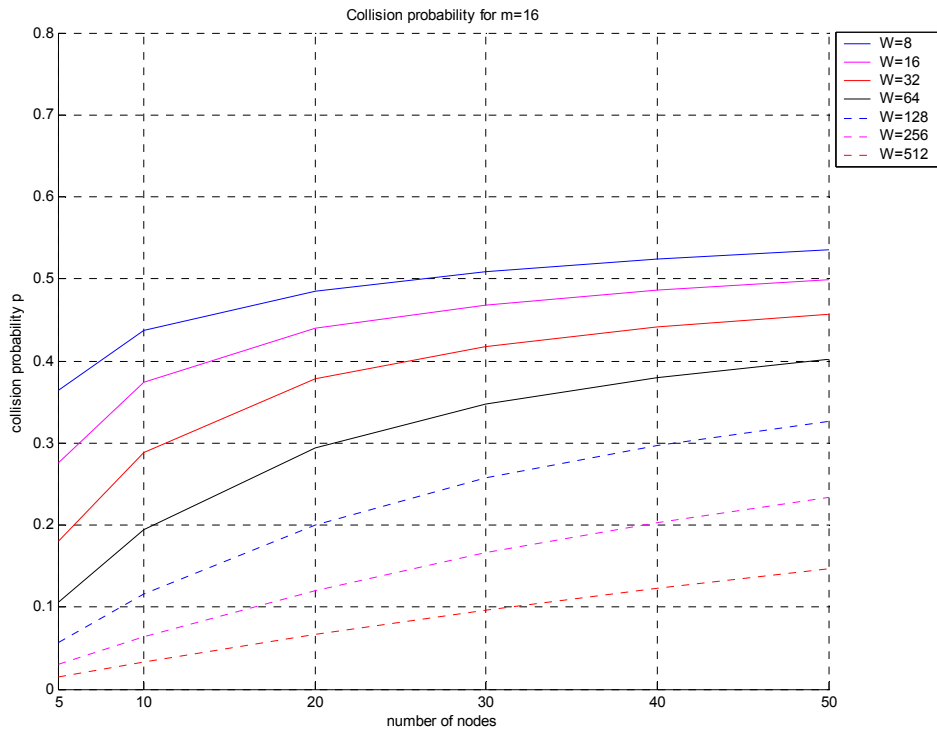
Γραφική παράσταση 2

Πιθανότητα σύγκρουσης p συναρτήσει του πληθυσμού των ενεργών σταθμών για δοσμένα αρχικά και μέγιστα μήκη παραθύρου. Βασική μέθοδος πρόσβασης, $m=8$.



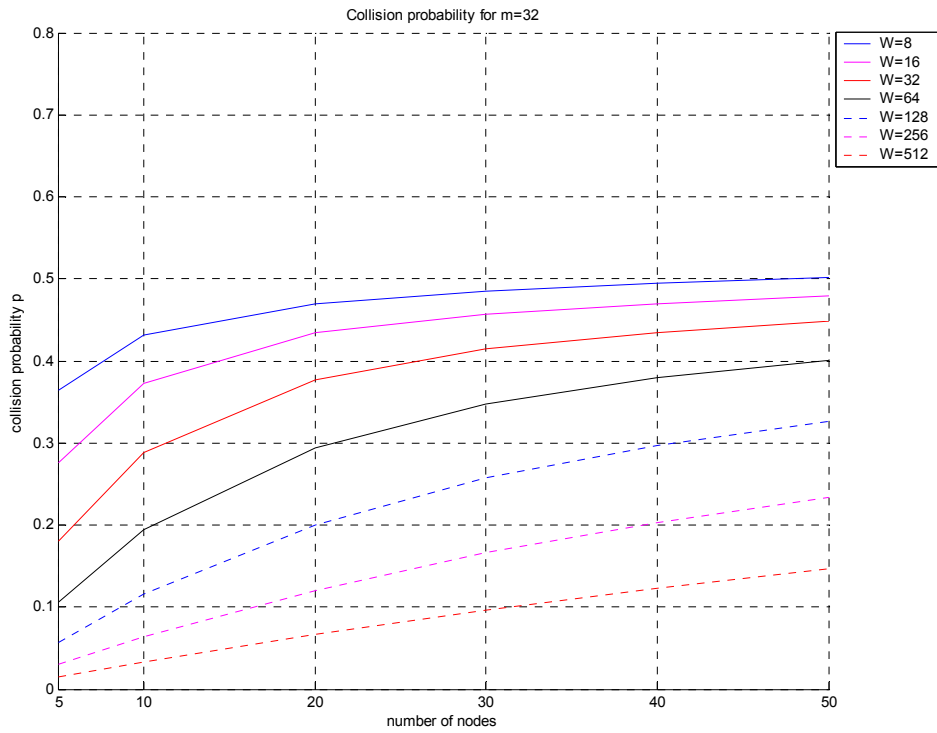
Γραφική παράσταση 3

Πιθανότητα σύγκρουσης p συναρτήσει του πληθυσμού των ενεργών σταθμών για δοσμένα αρχικά και μέγιστα μήκη παραθύρου. Βασική μέθοδος πρόσβασης, $m=16$.



Γραφική παράσταση 4

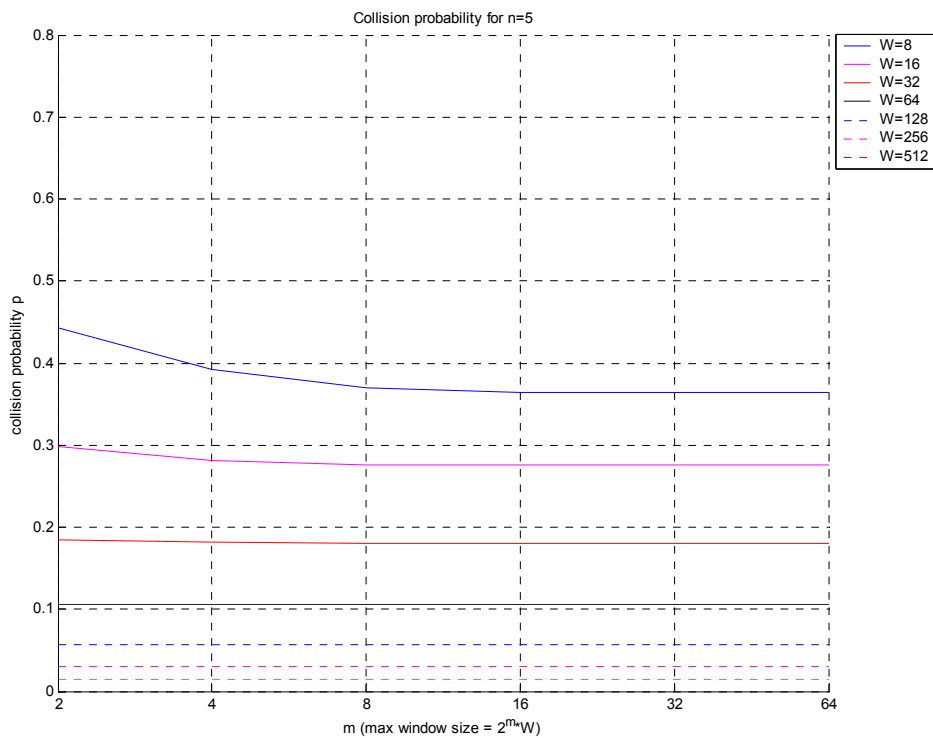
Πιθανότητα σύγκρουσης p συναρτήσει του πληθυσμού των ενεργών σταθμών για δοσμένα αρχικά και μέγιστα μήκη παραθύρου. Βασική μέθοδος πρόσβασης, $m=32$.



Οι γραφικές παραστάσεις 5-8 απεικονίζουν επίσης την πιθανότητα σύγκρουσης p σύμφωνα με την σχέση 2.1.3. Η p είναι συνάρτηση του μέγιστου μήκους παραθύρου, κάθε γραφική χαρακτηρίζεται από ένα πληθυσμό ενεργών χρηστών και περιέχει γραφήματα για διαφορετικά αρχικά μήκη παραθύρου W .

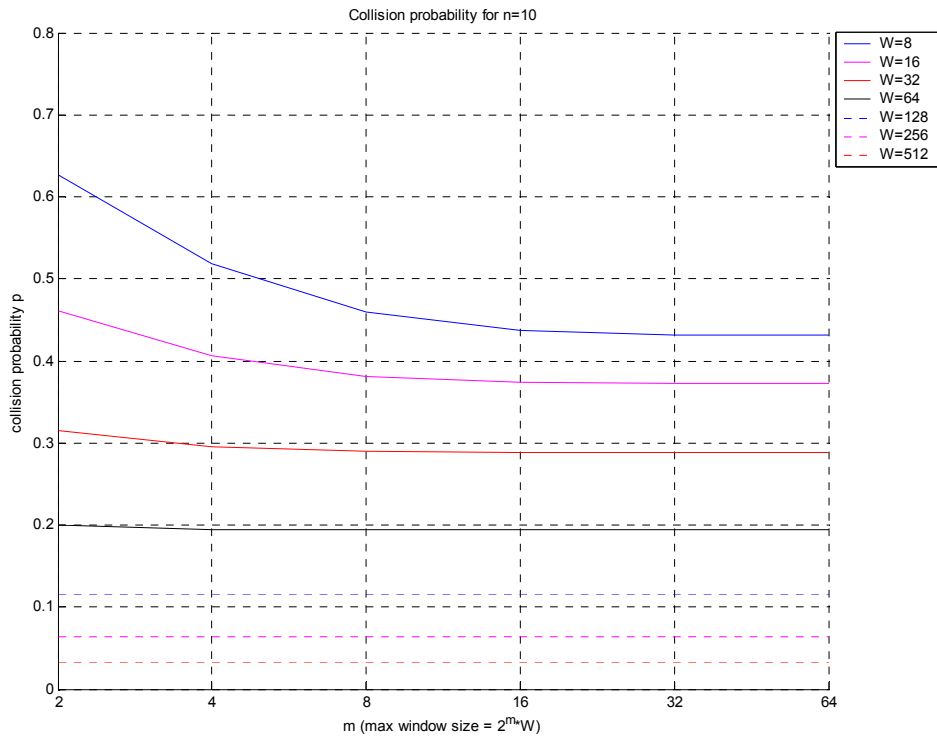
Γραφική παράσταση 5

Πιθανότητα σύγκρουσης p συναρτήσει του μέγιστου μήκους παραθύρου για δοσμένα αρχικά μήκη παραθύρου και πληθυσμού χρηστών. Βασική μέθοδος πρόσβασης, $n=5$.



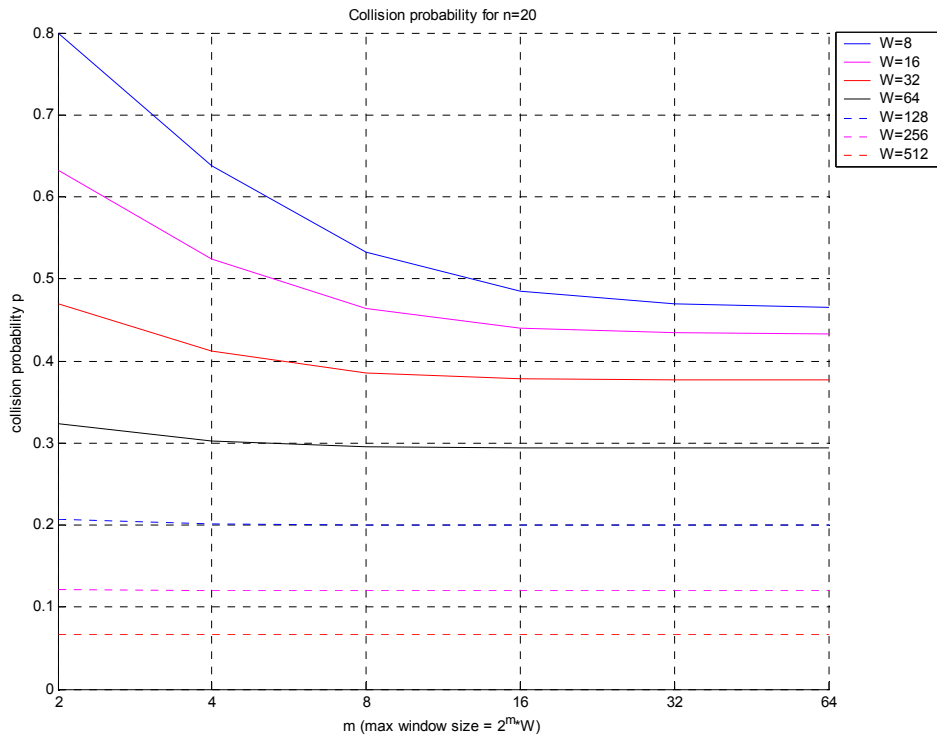
Γραφική παράσταση 6

Πιθανότητα σύγκρουσης p συναρτήσει του μέγιστου μήκους παραθύρου για δοσμένα αρχικά μήκη παραθύρου και πληθυσμού χρηστών. Βασική μέθοδος πρόσβασης, $n=10$.



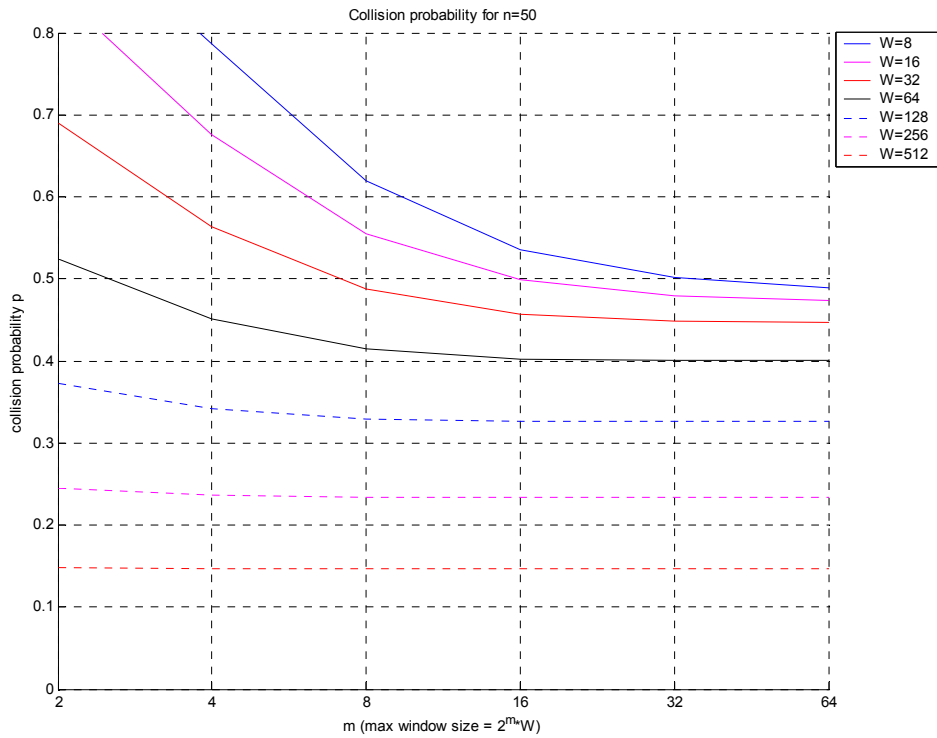
Γραφική παράσταση 7

Πιθανότητα σύγκρουσης p συναρτήσει του μέγιστου μήκους παραθύρου για δοσμένα αρχικά μήκη παραθύρου και πληθυσμού χρηστών. Βασική μέθοδος πρόσβασης, $n=20$.



Γραφική παράσταση 8

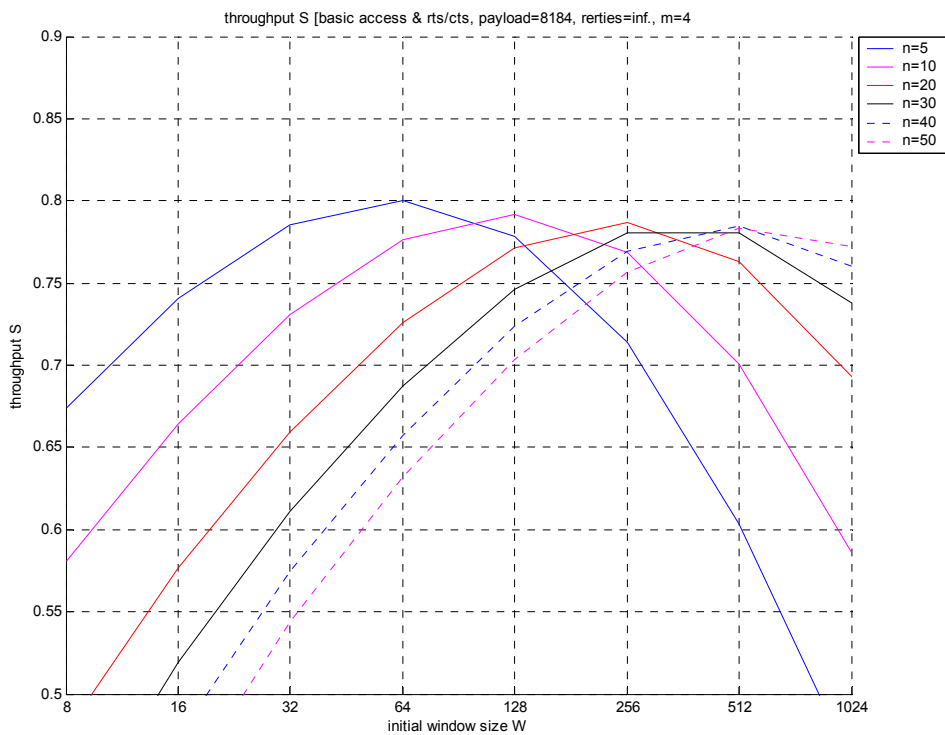
Πιθανότητα σύγκρουσης p συναρτήσει του μέγιστου μήκους παραθύρου για δοσμένα αρχικά μήκη παραθύρου και πληθυσμού χρηστών. Βασική μέθοδος πρόσβασης, $n=50$.



Οι γραφικές παραστάσεις 9-11 παρουσιάζουν την χρησιμοποίηση (S) του καναλιού από πετυχημένες μεταδόσεις (διαπερατότητα). Η διαπερατότητα είναι συνάρτηση του αρχικού μεγέθους παραθύρου, κάθε γραφική χαρακτηρίζεται από ένα μέγιστο μήκος παραθύρου και περιέχει γραφήματα για διαφορετικούς πληθυσμούς ενεργών χρηστών.

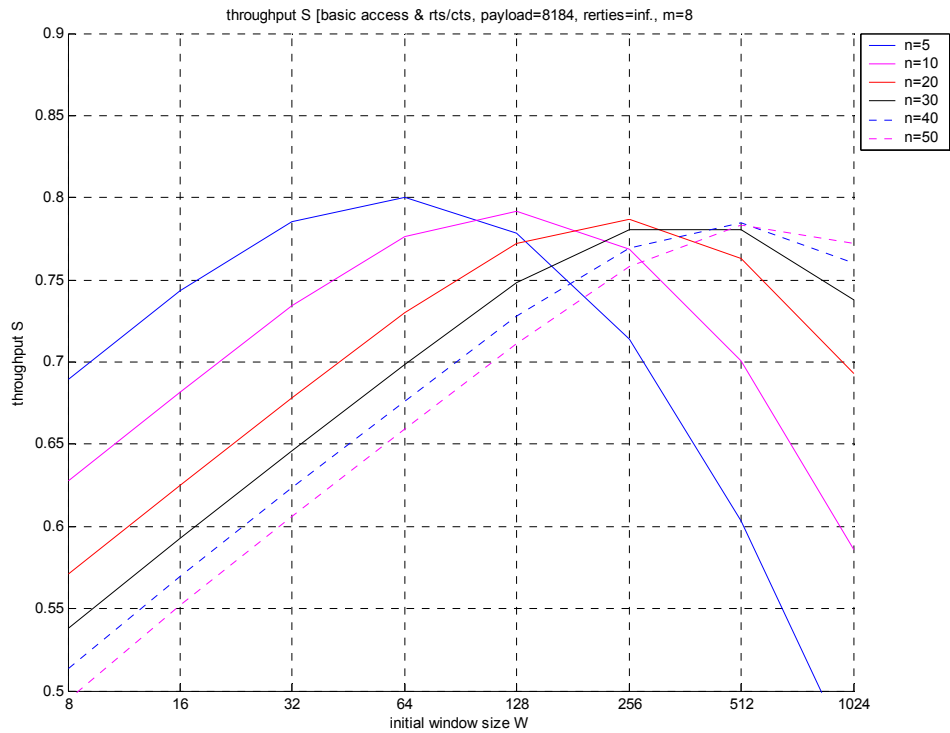
Γραφική παράσταση 9

Διαπερατότητα του πρωτοκόλλου (για μέσο μήκος πακέτου δεδομένων 8184 bits) ως συνάρτηση του αρχικού μεγέθους παραθύρου και για διάφορες τιμές του πληθυσμού χρηστών n και $m=4$. Βασική μέθοδος πρόσβαση.



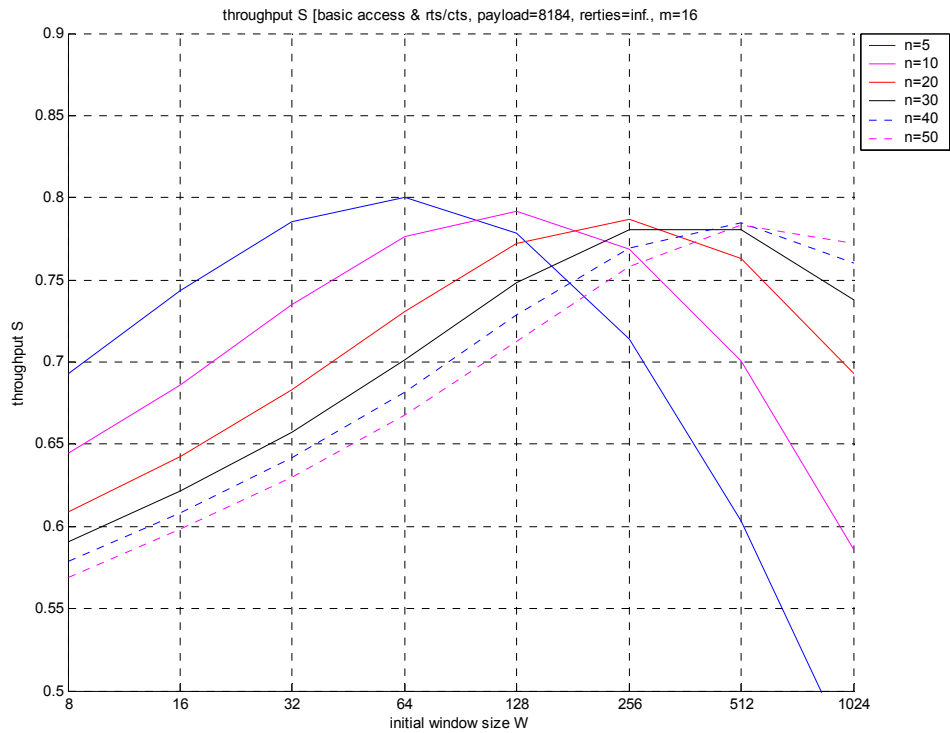
Γραφική παράσταση 10

Διαπερατότητα του πρωτοκόλλου (για μέσο μήκος πακέτου δεδομένων 8184 bits) ως συνάρτηση του αρχικού μεγέθους παραθύρου και για διάφορες τιμές του πληθυσμού χρηστών n και $m=8$. Βασική μέθοδος πρόσβασης.



Γραφική παράσταση 11

Διαπερατότητα του πρωτοκόλλου (για μέσο μήκος πακέτου δεδομένων 8184 bits) ως συνάρτηση του αρχικού μεγέθους παραθύρου και για διάφορες τιμές του πληθυσμού χρηστών n και $m=16$. Βασική μέθοδος πρόσβασης.



Ο πίνακας 3 παραθέτει τιμές των παραμέτρων βάση των οποίων υπολογίστηκε το S (αφορούν την υλοποίηση του 802.11 σε Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) με ρυθμό 1 Mbps). Το μέγεθος του πακέτου δεδομένων επιλέχθηκε βάση εμπειρικών παρατηρήσεων με σκοπό να είναι το δυνατό αντιπροσωπευτικότερο. Σημειώνεται ότι το μέγεθος αυτό δεν είναι εγγενές χαρακτηριστικό του πρωτοκόλλου αλλά των εφαρμογών που το χρησιμοποιούν και έχει ποσοτική αλλά όχι ποιοτική επίδραση στο S. Άρα, οι γραφικές παραστάσεις είναι ποσοτικά έγκυρες όταν οι εφαρμογές έχουν μέσο μέγεθος πακέτου δεδομένων το αναγραφόμενο στον πίνακα. Χαμηλότερα (ψηλότερα) μέσα μεγέθη πακέτων δεδομένων προκαλούν χαμηλότερα (ψηλότερα) S.

Πίνακας 3

Παράμετρος	Τιμή
Μέγεθος πακέτου δεδομένων (payload)	8184 bits
Μέγεθος επικεφαλίδας επιπέδου 2 (MAC)	272 bits
Μέγεθος επικεφαλίδας επιπέδου 1 (physical)	128 bits
Μέγεθος πακέτου αναγνώρισης (ACK)	240 bits
Ρυθμός μετάδοσης καναλιού	1 Mbps
Χρόνος καθυστέρησης διάδοσης σήματος στο μέσο	1 μ sec
Χρόνος απόκρισης πομποδέκτη (RxTx turnaround)	20 μ sec
Υστέρηση αίσθησης καναλιού (busy detect time)	29 μ sec
Χρόνος διάρκειας SIFS	28 μ sec
Χρόνος διάρκειας DIFS	130 μ sec
Χρόνος αναμονής αναγνώρισης ACK	300 μ sec
Χρόνος χρονοσχιsmής	51 μ sec

Το μέγιστο S είναι ανεξαρτήτως των παραμέτρων n, W, m στο διάστημα 78%-82% για το δοσμένο μέγεθος πακέτου δεδομένων.

Παρατηρείται ότι η αύξηση της αρχικής τιμής του παραθύρου W μειώνει δραστικά την πιθανότητα σύγκρουσης στο σύστημα. Η αύξηση του m επιδρά αισθητά για τιμές μέχρι 8 περίπου.

Η πιθανότητα σύγκρουσης p που αντιλαμβάνεται κάθε σταθμός όποτε επιχειρεί μετάδοση (δεδομένου του πληθυσμού στην κυψέλη) εξαρτάται μόνο από το αρχικό και τελικό μήκος παραθύρου και το πλήθος των ενεργών σταθμών. Το συμπέρασμα προκύπτει από την σχέση 2.1.3 και επιβεβαιώνεται από τους συγγραφείς του [4] (βλέπε πίνακα 3 στο [4]) με προσομοιώσεις για διάφορες τιμές χρονοσχιμής, DIFS, SIFS, ACK και χρόνου αίσθησης του καναλιού (διάστημα μέχρι να ανιχνευτεί αν είναι ενεργό ή ανενεργό).

Η επίδοση του πρωτοκόλλου για n σχετικά μεγάλο ($n \geq 10$) αλλά μικρότερο του $2^{(m-1)}W$ εξαρτάται από τον λόγο $W/(n-1)$ και το m . Η πρώτου βαθμού προσέγγιση της σχέσης 2.1.15 δείχνει ότι η εξάρτηση του S από τα W και n είναι σε μεγάλο βαθμό ανάλογη των λόγων $W/(n+1)$ και $W/(n-1)$. Για παράδειγμα, για $m \geq 4$ έχοντας μέγιστο για $(W, n) = (64, 5)$ τότε έχουμε επίσης μέγιστο για $(128, 10)$ και $(256, 20)$. Το συμπέρασμα αυτό είναι ανεξάρτητο του μέσου μήκους του πακέτου δεδομένων. Αυτό επιβεβαιώνεται στις παραστάσεις 9-11.

Για μικρά p ($p \leq 0.4$) η εκλογή του μέγιστου μήκους παραθύρου $2^m W$ έχει πολύ μικρή επίδραση στον ρυθμό συγκρούσεων και στην διαπερατότητα. Προσεγγιστικά, η διαφοροποίηση των p και S για m πεπερασμένο αλλά μεγαλύτερο ή ίσο με 8 και m άπειρο αποδεικνύεται να είναι ελάχιστη. Οπότε, το m είναι δραστικός παράγοντας μέχρι την τιμή 8 περίπου. Η μαθηματική απόδειξη για το συμπέρασμα αυτό παρατίθεται αναλυτικά στο [4] και εν περίληψη υπολογίζει την διαφορά της πρώτου βαθμού προσέγγισης της 2.1.3 για κάποιο m από την πρώτου βαθμού προσέγγιση επίσης της 2.1.3 για $m \rightarrow \infty$.

Παραγωγίζοντας το S ως προς τον όρο $W/(n-1)$ και θέτοντας την προκύπτουσα σχέση ίση με μηδέν βρίσκουμε ότι το μέγιστο S πετυχαίνεται όταν

$$\frac{W}{n-1} = \sqrt{\left(\frac{T_{physical} + T_{SIFS} + T_{ACK} + T_{DIFS}}{T_{slot}} \right)}$$

με προϋπόθεση $T_{physical} + T_{SIFS} + T_{ACK} + T_{DIFS} \geq 4T_{slot}$. Για την υλοποίηση του 802.11 με FHSS με ρυθμό μετάδοσης 1Mbps έχουμε ότι $W/(n-1) \sim 13.4$ οπότε για $n=5, 10, 20, 40$ μέγιστο S συμβαίνει όταν το W θα παίρνει αντίστοιχα τις τιμές 67, 134, 268, 536. Οι αριθμητικοί αυτοί υπολογισμοί επαληθεύονται σε μεγάλο βαθμό από τις γραφικές παραστάσεις και επαληθεύει και την προηγούμενη παρατήρηση που αφορούσε τον λόγο $W/(n \pm 1)$.

Για μεγάλα n ($n \geq 10$) λόγο των δύο προηγούμενων παρατηρήσεων, η διαπερατότητα προσεγγίζεται από :

$$S = \frac{2(1-p)}{2-p} \frac{T_{payload}}{T_{physical} + T_{SIFS} + T_{ACK} + T_{DIFS} + gT_{slot}}$$

όπου

$$p = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{4}{g} - \sqrt{1 + \left(\frac{4}{g} \right)^2} \right)$$

$$g = \frac{W}{n-1}$$

όπως προκύπτει από πρώτου βαθμού προσέγγιση της σχέσης 2.1.3.

Η εξίσωση του ποσοστού χρόνου που καταλαμβάνουν οι συγκρούσεις και τα διαστήματα αδράνειας συμβαίνει όταν:

$$U_{collision} = (1 - U_{total})$$

όπου

$1 - U_{total}$ είναι η χρησιμοποίηση του καναλιού για ανενεργές σχισμές

$$U_{collision} = r_{collision} T_{physical}$$

Από την σχέση αυτή προκύπτει η ακόλουθη:

$$r_{xmit} = \frac{1}{T_{cycle}}$$

Στις επόμενες παραγράφους θα διαφανεί η σημαντικότητα της ισορροπίας αυτής: το σημείο όπου εξισώνεται το ποσοστό χρόνου συγκρούσεων και αδράνειας συμπίπτει με το σημείο μεγιστοποίησης της διαπερατότητας (όταν αυτή είναι συνάρτηση του αρχικού μήκους παραθύρου). Όταν ο ρυθμός μετάδοσης στο σύστημα (r_{xmit}) υπολείπεται του μέγιστου δυνατού ρυθμού τότε η διαπερατότητα υπολείπεται της μέγιστης λόγω “περίσσειας” ανενεργών χρονοσχισμών. Αν ο r_{xmit} υπερτερεί του μέγιστου δυνατού ρυθμού μετάδοσης στο σύστημα τότε η διαπερατότητα υπολείπεται της μέγιστης λόγω παρουσίας υπερβολικών συγκρούσεων.

2.2 Μοντέλα Markov

2.2.1 Μοντέλο Markov για σταθμό 802.11 υπό συνθήκες κορεσμού χωρίς πάγωμα του backoff μετρητή.

2.2.1.1 Εισαγωγή

Η ανάλυση βασίζεται στην εργασία του G. Bianchi και των συνεργατών του Fratta και Oliveri [1], [2]. Εξάγεται προσεγγιστικό μοντέλο καταστάσεων και επιλύεται δίνοντας εκτιμήσεις για την επίδοση του πρωτοκόλλου (βασική και RTS/CTS λειτουργία) όσον αφορά την διαπερατότητα και τον σπαταλούμενο χρόνο ανά πετυχημένη μετάδοση.

Ο πίνακας 4 επεξηγεί τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση:

Πίνακας 4

Σύμβολο	Επεξήγηση
n	αριθμός σταθμών
W_{\min}	ελάχιστο μέγεθος παραθύρου
W_{\max}	το μέγιστο μέγεθος παραθύρου είναι $2^m W_{\min}$
p	δεσμευμένη (δεδομένης της μετάδοσης) πιθανότητα αποτυχίας (όπως το αντιλαμβάνεται ένας σταθμός)
τ	πιθανότητα ο σταθμός να μεταδώσει σε χρονοσχισμή
T_{payload}	χρονική διάρκεια μετάδοσης ωφέλιμου φορτίου πακέτου
S	χρησιμοποίηση του καναλιού από πετυχημένες μεταδόσεις
P_{tr}	πιθανότητα μετάδοσης από τουλάχιστον ένα σταθμό
P_s	πιθανότητα επιτυχίας δεδομένης της μετάδοσης από σταθμό
σ	χρονική διάρκεια χρονοσχισμής πρωτοκόλλου 802.11
T_s	μέση χρονική διάρκεια πετυχημένης μετάδοσης πακέτου (συμπεριλαμβανομένων επικεφαλίδων).
T_c	μέση χρονική διάρκεια σύγκρουσης.
PHY	μέγεθος σε διφία της επικεφαλίδας του επιπέδου 1
MAC	μέγεθος σε διφία της επικεφαλίδας του επιπέδου 2
U_{total}	συνολική χρησιμοποίηση καναλιού
i	τρέχουσα κατάσταση σταθμού, $i=[0,m]$
j	τρέχουσα τιμή του backoff μετρητή, $j=[0,2^i W_{\min}]$

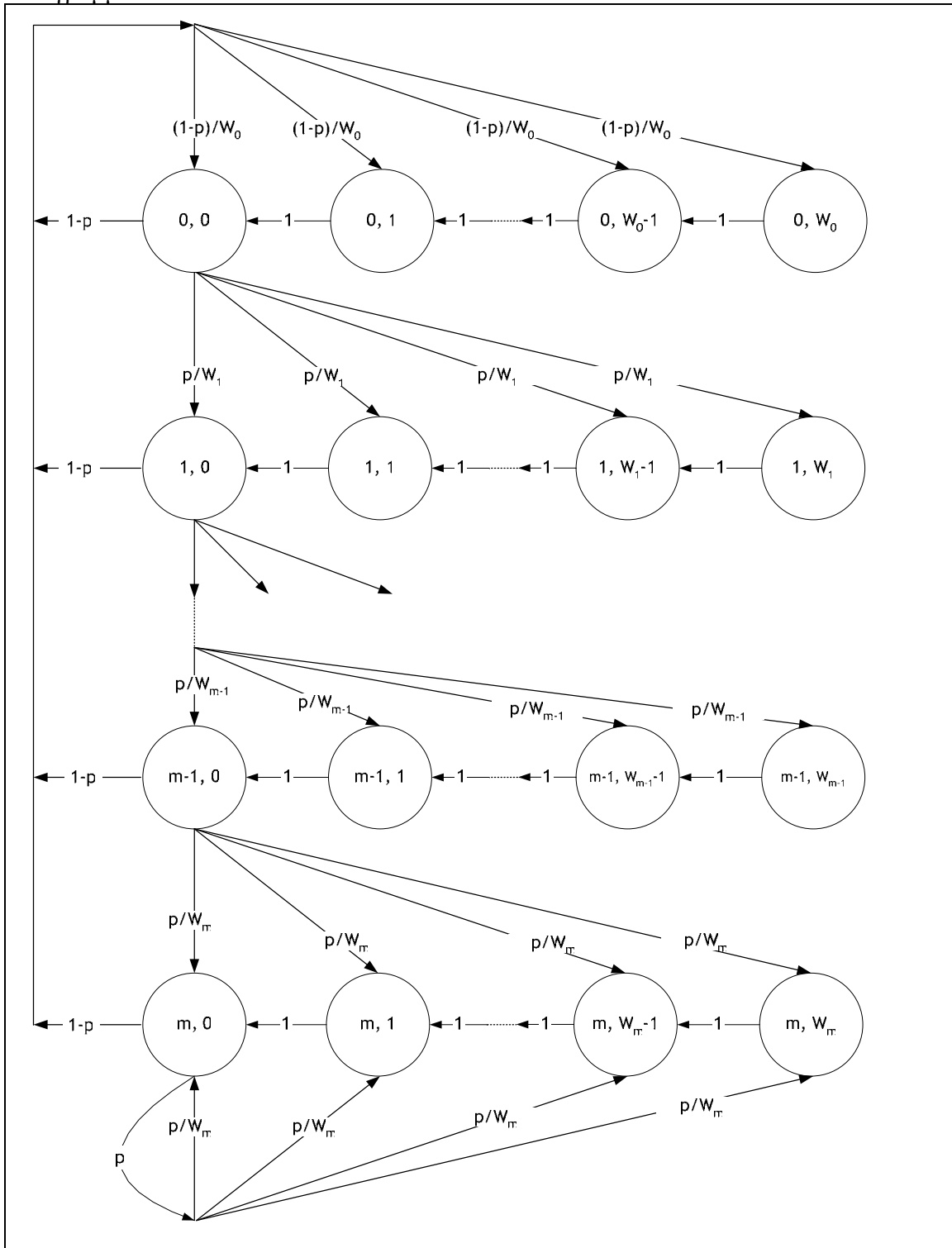
Η ανάλυση αφορά την κατάσταση κορεσμού, όπου δηλαδή κάθε σταθμός έχει πάντα διαθέσιμο πακέτο προς μετάδοση. Η πιθανότητα σύγκρουσης p θεωρείται ανεξάρτητη της κατάστασης του σταθμού (τρέχον i) και κοινή για κάθε σταθμό. Η προσέγγιση αυτή είναι σημαντική διότι απλοποιεί το μοντέλο σε βαθμό που να μπορεί να επιλυθεί εύκολα και να παράσχει εύχρηστες αναλυτικές σχέσεις δίχως να θυσιάζει ουσιαστικά την ακρίβεια. Το μοντέλο του Bianchi θεωρεί ότι υπάρχει δυνατότητα άπειρων επαναμεταδόσεων όντας ένας σταθμός στην κατάσταση με μέγιστο μήκος παραθύρου μέχρι το πακέτο να μεταδοθεί σωστά. Μια ακόμα απόκλιση του μοντέλου από το πρωτόκολλο είναι η δεσμευμένη πιθανότητα μετάβασης που αφορά την μείωση του backoff μετρητή: θεωρείται ίση με μονάδα πράγμα που δεν λαμβάνει υπ' όψιν τα παγώματα του μετρητή. Η απόκλιση αυτή μελετάται στην παράγραφο 2.3.

2.2.1.2 Ανάλυση μοντέλου κορεσμού χωρίς παγώματα του backoff μετρητή

Έστω $b(t)$ στοχαστική διαδικασία που περιγράφει την τιμή του μετρητή backoff ενός σταθμού και που λαμβάνει διακριτές τιμές (ακέραια πολλαπλάσια μιας χρονοσχισμής). Η διαδικασία λαμβάνει μια θετική τιμή που επιλέγεται ισοπίθανα από ένα εύρος τιμών εξαρτώμενο από την κατάσταση (μέγιστο μήκος παραθύρου) του σταθμού. Η τιμή αυτή μειώνεται κατά μια μονάδα για κάθε παρέλευση χρονοσχισμής. Κάθε μηδενισμός της $b(t)$ σημαίνει προσπάθεια μετάδοσης που ενδέχεται να είναι πετυχημένη με πιθανότητα $1-p$ και αποτυχημένη με πιθανότητα p .

Έστω $s(t)$ στοχαστική διαδικασία που περιγράφει την κατάσταση του σταθμού όπου κατάσταση σταθμού θεωρείται το τρέχον μέγιστο μήκος παραθύρου. Λαμβάνει ακέραιες τιμές στο διάστημα $0 - m$ όπου $2^m W_{\min} = W_{\max}$. Αρχικά και μετά από κάθε επιτυχημένη μετάδοση λαμβάνει την τιμή 0 και αυξάνει κατά μια μονάδα μέχρι την μέγιστη τιμή μετά από κάθε αποτυχημένη απόπειρα μετάδοσης.

Διάγραμμα 4



Ορίζουμε την διδιάστατη κατάσταση $\{s(t), b(t)\}$ που χαρακτηρίζει ένα σταθμό και εκφράζει μια Μαρκοβιανή αλυσίδα διακριτού χρόνου η οποία απεικονίζεται στο διάγραμμα 4. Οι δεσμευμένες πιθανότητες μετάβασης που χαρακτηρίζουν την αλυσίδα είναι:

$$P\{i, j | i, j+1\} = 1 \quad \text{για} \quad i \in (0, m), j \in (0, W_i - 2) \quad (\sigma. 2.2.1.1)$$

$$P\{0, j | i, 0\} = \frac{1-p}{W_0} \quad \text{για} \quad i \in (0, m), j \in (0, W_0 - 1) \quad (\sigma. 2.2.1.2)$$

$$P\{i, j | i-1, 0\} = \frac{p}{W_i} \quad \text{για} \quad i \in (1, m), j \in (0, W_i - 1) \quad (\sigma. 2.2.1.3)$$

$$P\{m, j | m, 0\} = \frac{p}{W_m} \quad \text{για} \quad j \in (0, W_m - 1) \quad (\sigma. 2.2.1.4)$$

Επιλύοντας τις εξισώσεις ισορροπίας καταλήγουμε στην σχέση 2.2.1.5 που περιγράφει την πιθανότητα σταθμού να επιχειρεί μετάδοση σε χρονοσχισμή. Η απόδειξη της μπορεί να αναζητηθεί στο [1].

$$\tau = \sum_{i=0}^m \{s = i, b = 0\} = \frac{2 - 4p}{(1 - 2p)(1 + W) + pW(1 - (2p)^m)} \quad (\sigma. 2.2.1.5)$$

Η πιθανότητα p είναι δεσμευμένη υπό την συνθήκη να συμβαίνει μετάδοση από τον σταθμό. Αναζητούμε λοιπόν μια έκφραση του p συναρτήσει του τ υπό αυτή την δέσμευση. Θεωρώντας το σύστημα από την σκοπιά ενός σταθμού, οι υπόλοιποι $n-1$ το πλήθος σταθμοί θα προκαλέσουν σύγκρουση με πιθανότητα ίση με το συμπλήρωμα της πιθανότητας να μην επιχειρήσουν να μεταδώσουν την τρέχουσα χρονοσχισμή. Αυτό υποδηλώνει η σχέση 2.2.1.6:

$$p = 1 - (1 - \tau)^{n-1} \quad (\sigma. 2.2.1.6)$$

Οι σχέσεις 2.2.1.5 και 2.2.1.6 αποτελούν μη γραμμικό σύστημα δύο εξισώσεων με δύο αγνώστους. Η ύπαρξη και η μοναδικότητα λύσης του συστήματος αυτού αποδεικνύεται γράφοντας την 2.2.1.6 ως $\tau(p)$. Οι 2.2.1.5 και 2.2.1.6 είναι συνεχείς και μονότονες και παρατηρώντας ότι στα σημεία $p=0$ και $p=1$ ισχύουν αντίστοιχα οι σχέσεις $2.2.1.5 > 2.2.1.6$ και $2.2.1.5 < 2.2.1.6$ και συνάγεται ότι υπάρχει ένα μοναδικό σημείο τομής (λύσης).

Για την εξαγωγή της σχέσης διαπερατότητας του συστήματος εκτιμούμε πρώτα τον μέσο χρόνο που σπαταλά το σύστημα για μετάδοση πακέτου ωφέλιμης πληροφορίας. Υπολογίζουμε κατ' αρχάς τις εξής πιθανότητες:

Πιθανότητα μετάδοσης από τουλάχιστον ένα σταθμό:

$$P_{tr} = 1 - (1 - \tau)^n \quad (\sigma. 2.2.1.7)$$

Πιθανότητα επιτυχίας δεδομένης της μετάδοσης:

$$P\{s \cap tr\} = P\{s | tr\}P\{tr\} = P_s P_{tr} = \binom{n}{1} \tau (1 - \tau)^{n-1} = n \tau (1 - \tau)^{n-1}$$

$$\Rightarrow P_s = \frac{n \tau (1 - \tau)^{n-1}}{1 - (1 - \tau)^n} \quad (\sigma. 2.2.1.8)$$

Στην συνέχεια, υπολογίζουμε τον μέσο αριθμό χρονοσχισμών που μεσολαβούν μεταξύ δυο πετυχημένων μεταδόσεων στο σύστημα. Σε αυτή την ανάλυση χρονοσχισμή μπορεί να είναι η κλασσική ανενεργή περίοδος ή μια περίοδος σύγκρουσης. Αφού η πιθανότητα πετυχημένης μετάδοσης είναι $P_{tr}P_s$ τότε:

$$meanSlotNumber = \sum_{k=1}^{\infty} k (P_{tr}P_s)(1 - P_{tr}P_s)^{k-1} = \frac{1}{P_{tr}P_s} \quad (\sigma. 2.2.1.9)$$

Ο μέσος αριθμός ανενεργών χρονοσχισμών είναι το ποσοστό της 2.2.1.9 όπου δεν συμβαίνει μετάδοση, δηλαδή:

$$meanIdleSlotNumber = \frac{1 - P_{tr}}{P_{tr}P_s} \quad (\sigma. 2.2.1.10)$$

Τέλος, ο μέσος αριθμός χρονοσχισμών που καταλαμβάνονται από συγκρούσεις πακέτων είναι το ποσοστό της 2.2.1.9 όπου επιχειρείται μετάδοση αλλά δεν εξελίσσεται σε επιτυχία:

$$meanCollisionSlotNumber = \frac{P_{tr}(1 - P_s)}{P_{tr}P_s} = \frac{1 - P_s}{P_s} \quad (\sigma. 2.2.1.11)$$

Για κάθε πετυχημένη λοιπόν μετάδοση, που διαρκεί T_s και μεταφέρει ωφέλιμη πληροφορία διάρκειας $T_{payload}$, αναλογούν $\frac{1 - P_{tr}}{P_{tr}P_s}$ ανενεργές σχισμές διάρκειας slot έκαστη και $\frac{1 - P_s}{P_s}$ σχισμές σύγκρουσης διάρκειας T_c έκαστη. Συνάγεται ότι η διαπερατότητα είναι ο λόγος:

$$S = \frac{T_{payload}}{T_s + \left(\frac{1 - P_{tr}}{P_{tr}P_s}\right)\sigma + \left(\frac{1 - P_s}{P_s}\right)T_c} \quad (\sigma. 2.2.1.12)$$

Η σχέση 2.2.1.12 δύναται να χρησιμοποιηθεί τόσο για μετάδοση με βασικό τρόπο πρόσβασης όσο και για πρόσβαση ρυθμιζόμενη από πακέτα RTS/CTS προσδιορίζοντας κατάλληλα τις χρονικές ποσότητες T_s , T_c . Μεγιστοποιώντας την διαπερατότητα ως προς το τ και απλοποιώντας με βάση την συνθήκη $\tau \ll 1$ εξάγεται η σχέση 2.2.1.13.

$$\frac{\partial S}{\partial \tau} = 0 \Rightarrow (1 - \tau)^n - \frac{T_c}{\sigma} (n\tau - [1 - (1 - \tau)^n]) = 0$$

$$\tau \ll 1 \Rightarrow (1 - \tau)^n \approx 1 - n\tau + \frac{n(n-1)}{2}\tau^2$$

$$\tau \approx \frac{\sqrt{\frac{n + 2(n-1)(\frac{Tc}{\sigma} - 1)}{n}} - 1}{(n-1)(\frac{Tc}{\sigma} - 1)} \approx \frac{1}{n\sqrt{\frac{Tc}{2\sigma}}} \quad (\sigma. 2.2.1.13)$$

Η σχέση 2.2.1.13 είναι σημαντική διότι προσεγγίζει την πιθανότητα μετάδοσης που πρέπει να χαρακτηρίζει ένα σταθμό ούτως ώστε το σύστημα με πλήθος σταθμών n να λειτουργεί με μέγιστη διαπερατότητα. Πρακτικά όμως, ένας σταθμός δεν μπορεί άμεσα να γνωρίζει το πλήθος των ενεργών σταθμών για να μπορεί να ρυθμίζει την πιθανότητα μετάδοσης του οπότε πρέπει να αναζητηθούν έμμεσοι τρόποι (βλέπε [2]).

Οι θεωρητικές σχέσεις επαληθεύονται (βλέπε [1]) με προσομοίωση η οποία υλοποιεί το πρωτόκολλο 802.11 σε φυσικό επίπεδο με την μέθοδο ευρέως φάσματος αναπήδησης συχνότητας (FHSS) και ρυθμό μεταφοράς 1Mbps. Το διάστημα εμπιστοσύνης είναι χαμηλότερο από 0.002 σε ποσοστό 95%. Στον πίνακα 5 παρατίθενται οι παράμετροι της προσομοίωσης.

Πίνακας 5

Παράμετρος	Τιμή
Μέγεθος πακέτου δεδομένων (payload)	8184 bits
Μέγεθος επικεφαλίδας επιπέδου 2 (MAC)	272 bits
Μέγεθος επικεφαλίδας επιπέδου 1 (physical)	128 bits
Μέγεθος πακέτου αναγνώρισης (ACK)	240 bits
Μέγεθος πακέτου RTS	288 bits
Μέγεθος πακέτου CTS	240 bits
Ρυθμός μετάδοσης καναλιού	1 Mbps
Χρόνος καθυστέρησης διάδοσης σήματος στο μέσο	1 μsec
Χρόνος απόκρισης πομποδέκτη (RxTx turnaround)	20 μsec
Υστέρηση αίσθησης καναλιού (busy detect time)	29 μsec
Χρόνος διάρκειας SIFS	28 μsec
Χρόνος διάρκειας DIFS	128 μsec
Χρόνος αναμονής αναγνώρισης ACK	300 μsec
Χρόνος αναμονής πακέτου CTS	300 μsec
Χρόνος χρονοσχιμής	50 μsec

2.2.2. Μοντέλο που υποστηρίζει περιπτώσεις μη κορεσμού και πάγωμα του backoff μετρητή

2.2.2.1 Εισαγωγή

Το μοντέλο των Mustafa και Pravin [6] όσον αφορά τον backoff μετρητή θεωρεί ότι είναι δυνατό να υπάρχουν μειώσεις ή αναστολές μειώσεων (παγώματα) του μετρητή ενώ ο Bianchi στο [1] χρησιμοποίησε πιο απλοποιημένη εκδοχή, ότι πάντα υπάρχουν μειώσεις.

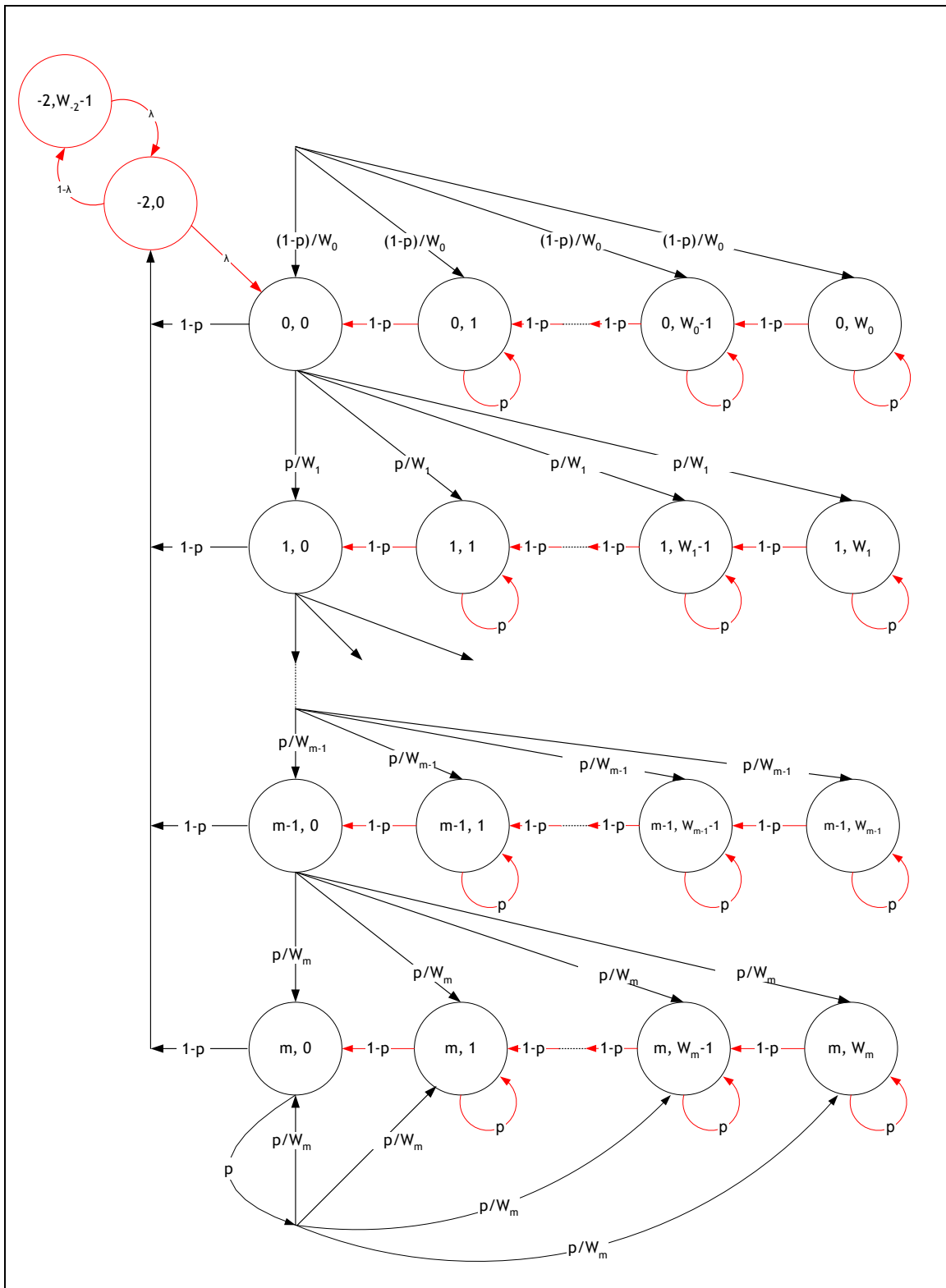
Επιπλέον το [6] περιλαμβάνει καταστάσεις που μοντελοποιούν το σύστημα του 802.11 και σε περιπτώσεις μη κορεσμού.

2.2.2.2 Ανάλυση

Στην παρούσα εκδοχή ισχύει η περιγραφή της παραγράφου 2.2.1 με τις εξής διαφοροποιήσεις (βλέπε διάγραμμα 5):

- Για να βελτιωθεί η ακρίβεια του μοντέλου έχουν διαφοροποιηθεί οι πιθανότητες μετάβασης όταν ένας σταθμός βρίσκεται σε κατάσταση όπου $b(t) > 0$. Αντί ο backoff μετρητής να μειώνεται με πιθανότητα 1, τώρα μειώνεται με πιθανότητα $1-p$ και με πιθανότητα p παραμένει στην υφιστάμενη τιμή του. Αυτό προσεγγίζει καλύτερα την πραγματική συμπεριφορά επειδή ο μετρητής παγώνει όταν το μέσο παύει να είναι ανενεργό λόγω μετάδοσης από τουλάχιστον ένα άλλο σταθμό $\{ 1-p = (1-\tau)^{n-1} = P[\text{μη μετάδοσης από άλλους σταθμούς}] \}$.
- Προστίθενται δυο επιπλέον καταστάσεις σε σχέση με το διάγραμμα 4. Παρουσιάζονται στο διάγραμμα 5 και αντιπροσωπεύουν την περίπτωση μετά από ένα μηδενισμό της $s(t)$ ο σταθμός να μπορεί να έχει ή να μην έχει άμεσα διαθέσιμο νέο πακέτο προς μετάδοση. Το χρονικό διάστημα που σπαταλείται στην κατάσταση αναμονής για νέο πακέτο ακολουθεί γεωμετρική κατανομή με παράμετρο λ όπου $\lambda \in [0,1]$. Όταν $\lambda=1$ τότε δίνει μοντέλο σε κατάσταση κορεσμού.

Διάγραμμα 5



Η ανάλυση του μοντέλου είναι παρόμοια με την περίπτωση στην παράγραφο 2.2.1 και λεπτομέρειες παρατίθενται στο [6]. Η πιθανότητα μετάδοσης ενός σταθμού σε κάθε χρονοσχισμή δίνεται από την σχέση 2.2.2.1 και η πιθανότητα σύγκρουσης, όπως και στο μοντέλο 2.2.1, από την 2.2.2.2.

$$\tau = \frac{1}{\frac{(1-2p)(1+W) + pW(1-(2p)^m)}{(2-4p)(1-p)} + (1-p)\left(\frac{1}{\lambda^2} - 1\right)} \quad (2.2.2.1)$$

$$p = 1 - (1 - \tau)^{n-1} \quad (2.2.2.2)$$

Οι σχέσεις 2.2.2.1 και 2.2.2.2 αποτελούν ένα μη γραμμικό σύστημα με δυο αγνώστους του οποίου η επίλυση δίνει τα ζεύγη τιμών (p,τ) για δοσμένες τιμές αρχικού και τελικού μήκους παραθύρου και πληθυσμού σταθμών.

Η σχέση 2.2.2.3 συγκρίνει την πιθανότητα μετάδοσης πακέτου από σταθμό στην παρούσα ανάλυση [6] με την αντίστοιχη του [1] για δοσμένο p. Στο [1], ο backoff μετρητής ενός σταθμού δεν παγώνει όταν το κανάλι είναι σε χρήση από άλλους σταθμούς με αποτέλεσμα ο μέσος χρόνος που χρειάζεται για να λήξει να είναι μικρότερος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα πιο συχνές μεταδόσεις και ισοδύναμα, μεγαλύτερη πιθανότητα μετάδοσης.

$$\tau_{[1]} = \frac{\tau_{[6]}}{1-p} \quad (2.2.2.3)$$

Η διαπερατότητα στην παρούσα ανάλυση δίνεται επίσης από τις σχέσεις 2.2.1.7, 2.2.1.8, 2.2.1.12 με την αντικατάσταση του $\tau_{[1]}$ από το $\tau_{[6]}$. Το ίδιο ισχύει και για την μεγιστοποίηση της διαπερατότητας.

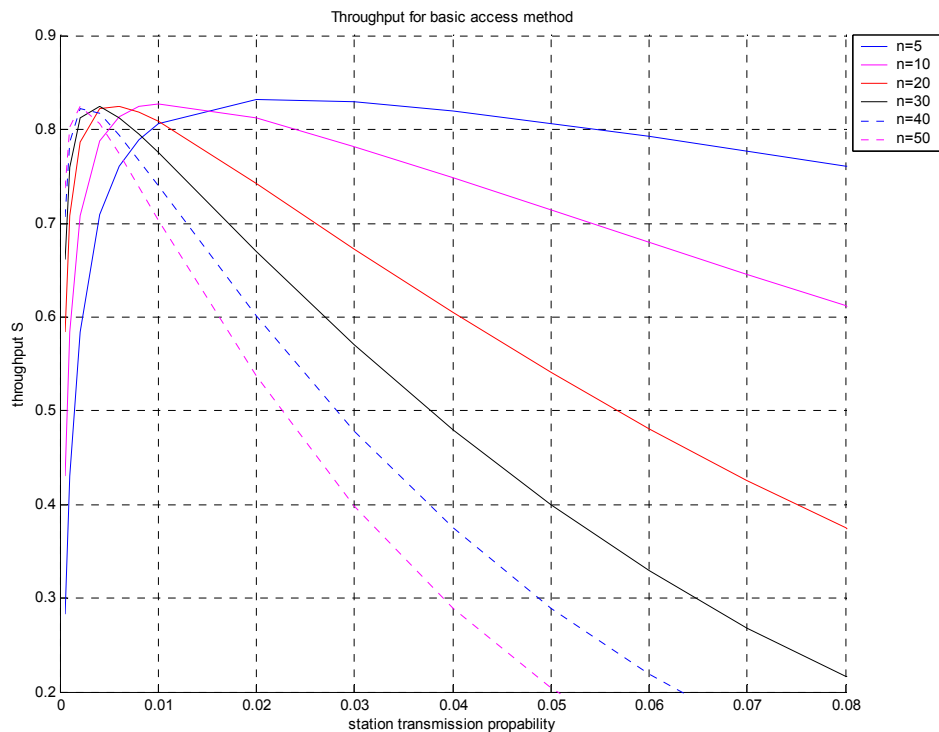
2.2.3 Παρατηρήσεις και συμπεράσματα της ανάλυσης

Αρχικά παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις και μετά εξάγονται συμπεράσματα.

Οι γραφικές παραστάσεις 12 και 13 απεικονίζουν την διαπερατότητα του συστήματος συναρτήσει της παραμέτρου τ για βασική και RTS/CTS μετάδοση αντίστοιχα. Η πιθανότητα τ ορίζει μέσω των σχέσεων 2.2.1.5 και 2.2.1.6 την αντίστοιχη πιθανότητα p βάση της οποίας και για διάφορες τιμές n υπολογίζεται η διαπερατότητα από τις σχέσεις 2.2.1.7, 2.2.1.8, 2.2.1.12.

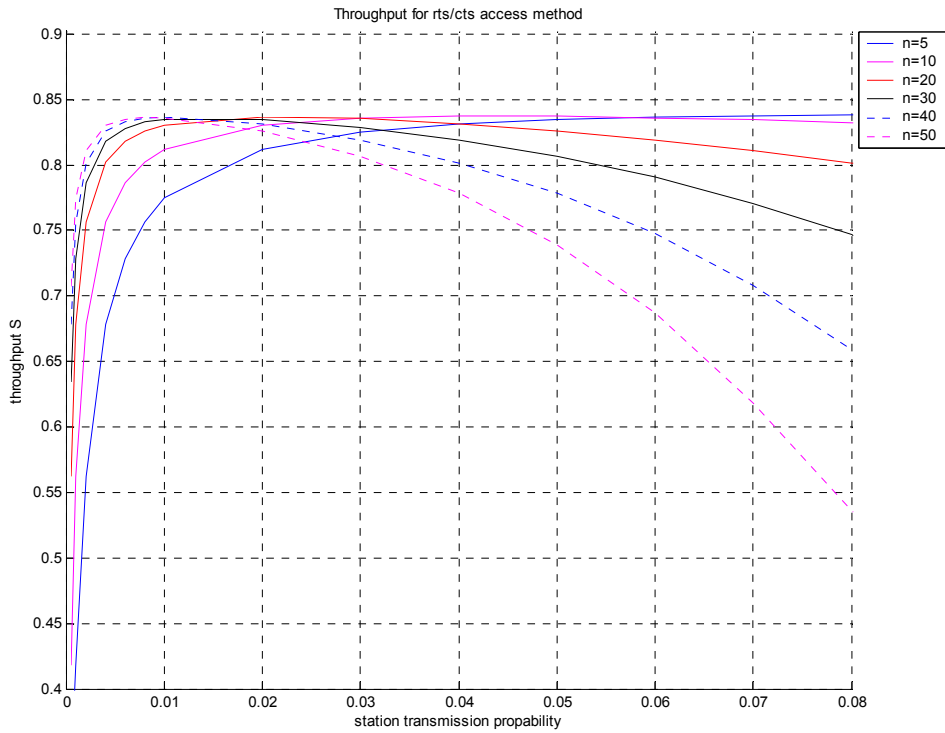
Γραφική παράσταση 12

Διαπερατότητα για διάφορες τιμές πιθανότητας μετάδοσης τ και για διαφορετικά πλήθη ενεργών σταθμών. Χρήση βασικής μεθόδου πρόσβασης για πακέτα δεδομένων μέσης τιμής 8184 bits.



Γραφική παράσταση 13

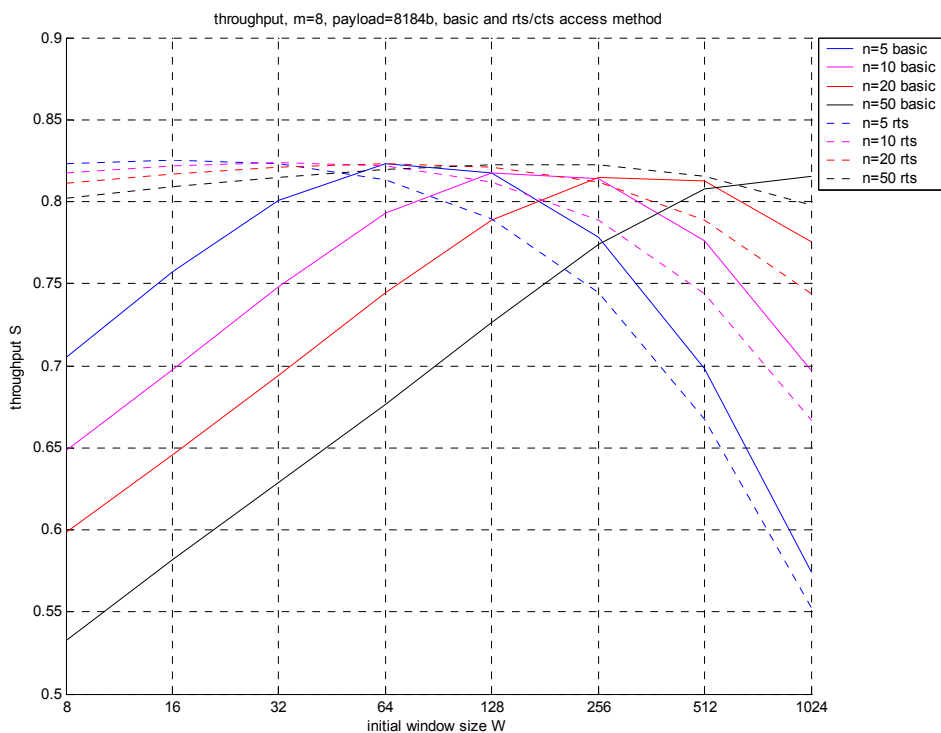
Διαπερατότητα για διάφορες τιμές πιθανότητας μετάδοσης τ και για διαφορετικά πλήθη ενεργών σταθμών. Χρήση μεθόδου πρόσβασης RTS/CTS για πακέτα δεδομένων μέσης τιμής 8184 bits.



Η γραφική παράσταση 14 εξάγεται με βάση τις σχέσεις 2.2.1.5, 2.2.1.6 και 2.2.1.12 και παρουσιάζει την διαπερατότητα συναρτήσεως του W_{min} για διάφορους πληθυσμούς σταθμών για βασική και RTS/CTS πρόσβαση. Το μέγεθος πακέτου που χρησιμοποιείται είναι 8184 bits και το μέγιστο μήκος παραθύρου $2^8 W$. Την διαπερατότητα ως συνάρτηση του πληθυσμού των σταθμών απεικονίζει η γραφική παράσταση 15. Η γραφική 15 συγκρίνει τις μεθόδους πρόσβασης που υπό τις δεδομένες συνθήκες σχετικά μεγάλου πακέτου πρόσβασης η χρήση πακέτων RTS/CTS παρέχει μεγαλύτερη διαπερατότητα για όλες τις απεικονιζόμενες τιμές πληθυσμού σταθμών.

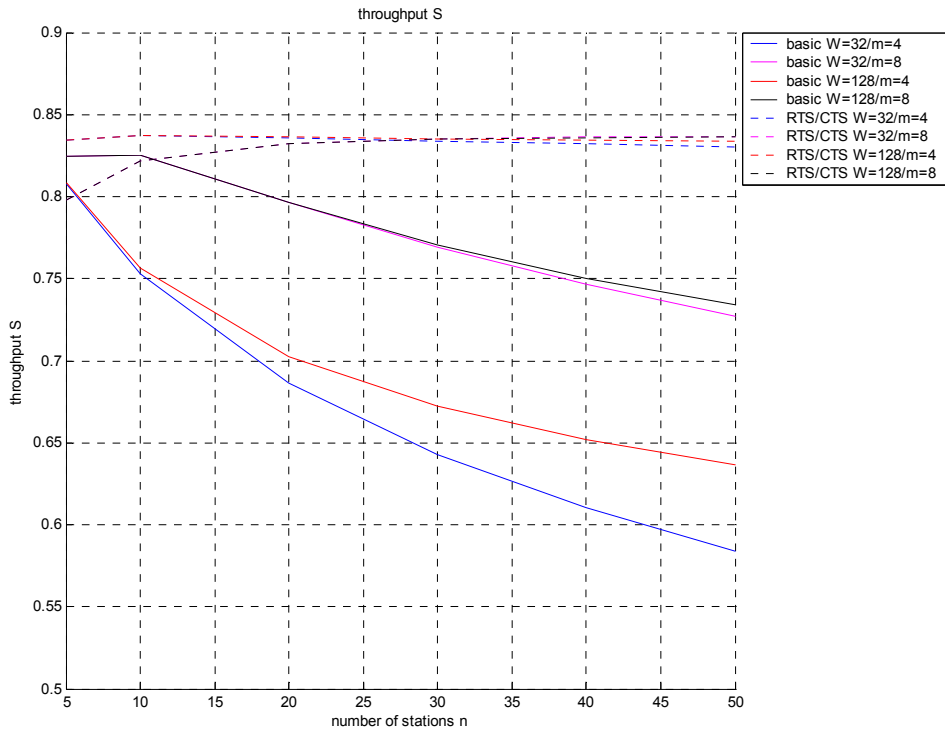
Γραφική παράσταση 14

Διαπερατότητα συναρτήσεως του αρχικού μήκους παραθύρου για διάφορες τιμές πληθυσμού σταθμών. Το μέγιστο μήκος παραθύρου είναι $2^8 W$ και η μέθοδος πρόσβασης βασική. Μήκος πακέτου δεδομένων 8184bits.



Γραφική παράσταση 15

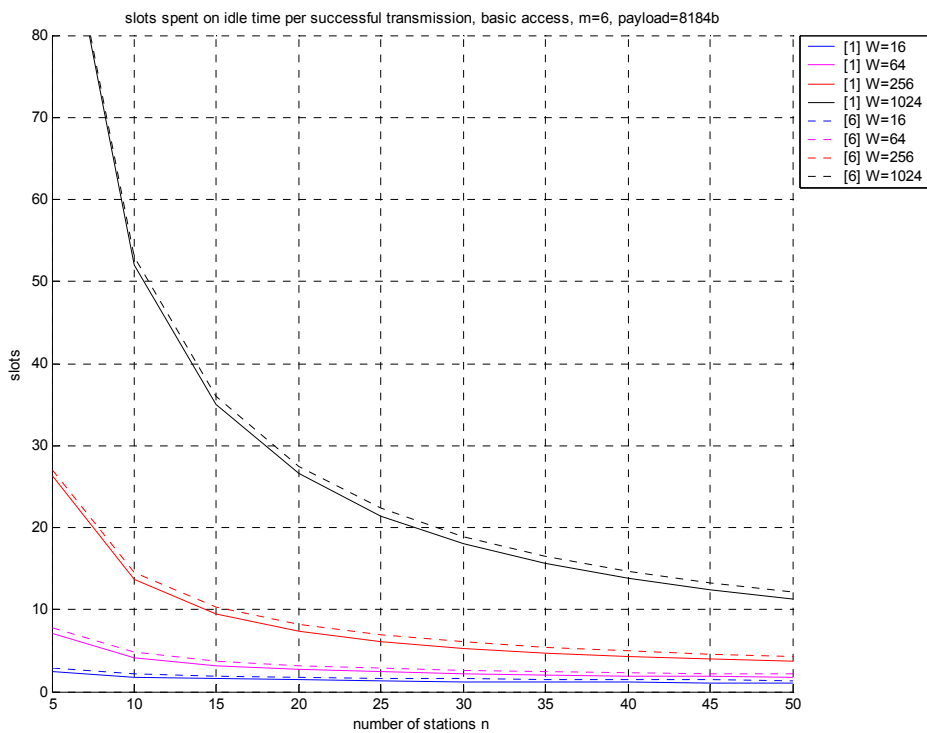
Διαπερατότητα συναρτήσει του πληθυσμού των σταθμών για διάφορες αρχικές και τελικές τιμές του παραθύρου. Μήκος πακέτου δεδομένων 8184bits. Μέθοδος πρόσβασης βασική (συνεχείς γραμμές) και RTS/CTS (διακεκομμένες).



Οι γραφικές 16-21 παρουσιάζουν τον μη ωφέλιμο χρόνο που αντιστοιχεί σε κάθε πετυχημένη μετάδοση και οφείλεται σε αδράνεια ή συγκρούσεις. Με το σύμβολο [1] απεικονίζονται τα αποτελέσματα της εργασίας του Bianchi και με το [6] του Mustafa. Οι γραφικές παραστάσεις 16, 17, 18 αναφέρονται στον χρόνο ανά πετυχημένη μετάδοση μετρημένο σε χρονοσχισμές, και αφορά αδρανή χρόνο, χρόνο σε συγκρούσεις και αθροιστικά αντιστοίχως. Οι υπολογισμοί έγιναν για τις τιμές του πίνακα 5 για βασική μέθοδο πρόσβασης. Η σχέση 2.2.1.10 δίνει το μέσο αριθμό ανενεργών χρονοσχισμών και η σχέση 2.2.1.11 το μέσο αριθμό συγκρούσεων ανά πετυχημένη μετάδοση.

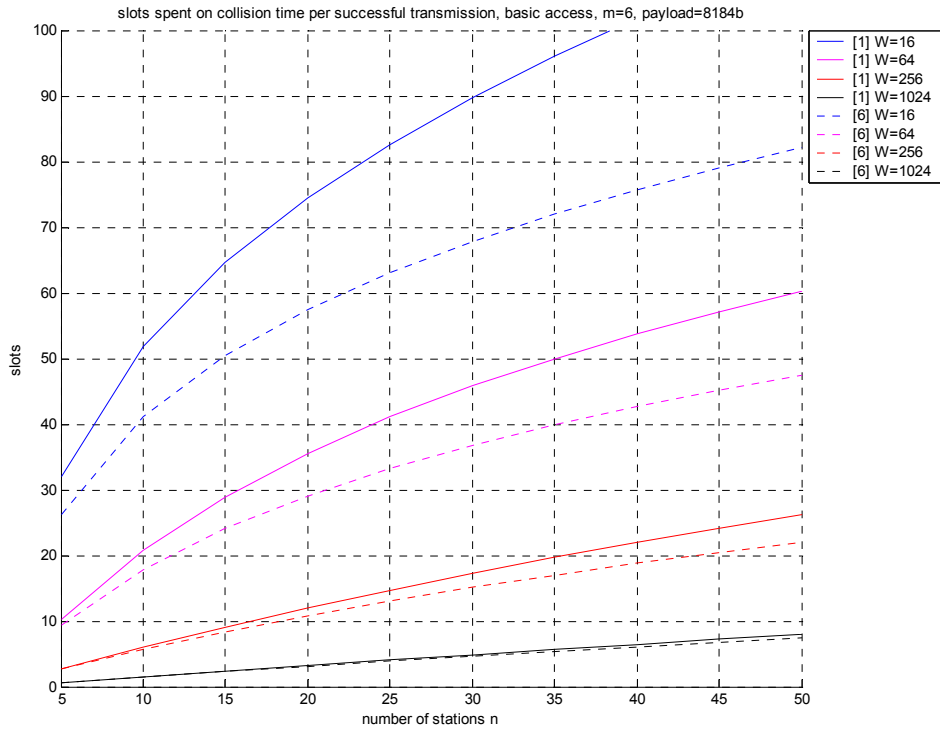
Γραφική παράσταση 16

Μέσος χρόνος συναρτήσεως του πληθυσμού σταθμών σπαταλούμενος σε ανενεργές σχισμές για διάφορα αρχικά και τελικά μήκη παραθύρων. Η μέθοδος πρόσβασης είναι η βασική. Το [1] αναφέρεται στο μοντέλο χωρίς πάγωμα του backoff μετρητή και το [6] στο μοντέλο που υποστηρίζει πάγωμα του εν λόγω μετρητή.



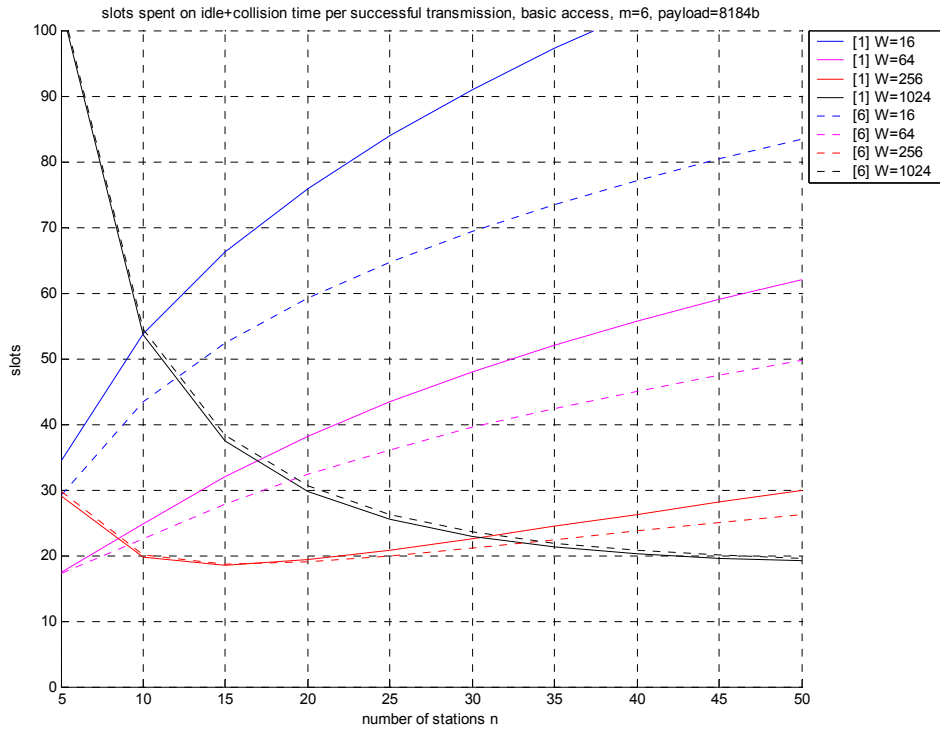
Γραφική παράσταση 17

Μέσος χρόνος συναρτήσει του πληθυσμού σταθμών σπαταλούμενος συγκρούσεις για διάφορα αρχικά και τελικά μήκη παραθύρων. Η μέθοδος πρόσβασης είναι η βασική. Το [1] αναφέρεται στο μοντέλο χωρίς πάγωμα του backoff μετρητή και το [6] στο μοντέλο που υποστηρίζει πάγωμα του εν λόγω μετρητή.



Γραφική παράσταση 18

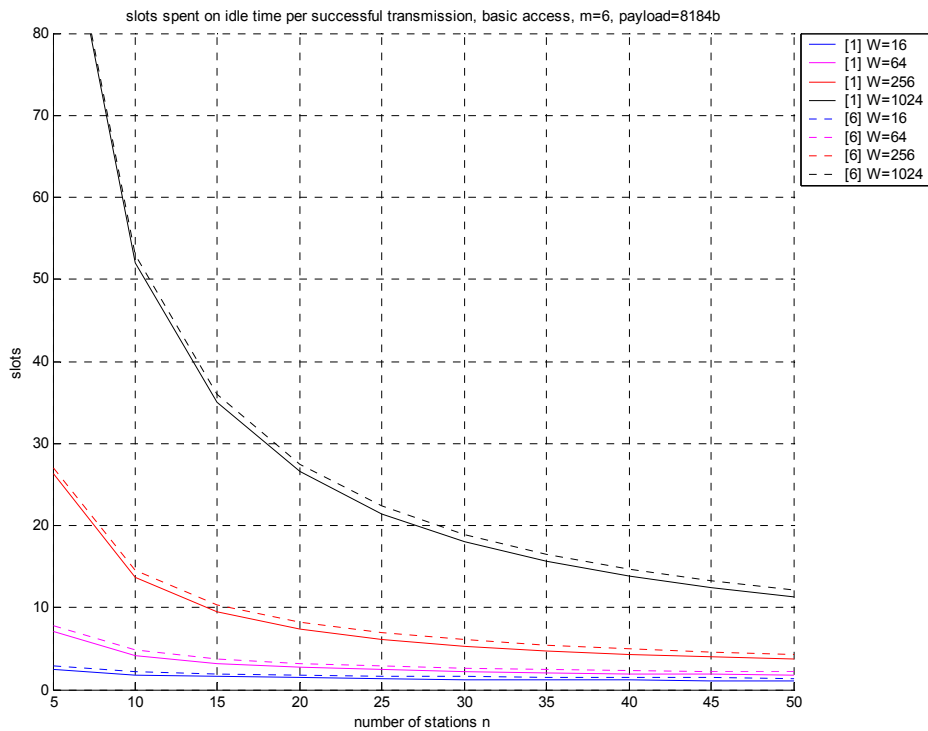
Μέσος χρόνος συναρτήσει του πληθυσμού σταθμών σπαταλούμενος σε ανενεργές σχισμές και συγκρούσεις για διάφορα αρχικά και τελικά μήκη παραθύρων. Η μέθοδος πρόσβασης είναι η βασική. Το [1] αναφέρεται στο μοντέλο χωρίς πάγωμα του backoff μετρητή και το [6] στο μοντέλο που υποστηρίζει πάγωμα του εν λόγω μετρητή.



Οι γραφικές παραστάσεις 19, 20, 21 αναφέρονται στον χρόνο ανά πετυχημένη μετάδοση μετρημένο σε χρονοσχισμές, και αφορά αδρανή χρόνο, χρόνο σε συγκρούσεις και αθροιστικά αντιστοίχως. Οι υπολογισμοί έγιναν για τις τιμές του πίνακα 5 για μέθοδο πρόσβασης RTS/CTS. Η σχέση 2.2.1.10 δίνει το μέσο αριθμό ανενεργών χρονοσχισμών και η σχέση 2.2.1.11 το μέσο αριθμό συγκρούσεων ανά πετυχημένη μετάδοση.

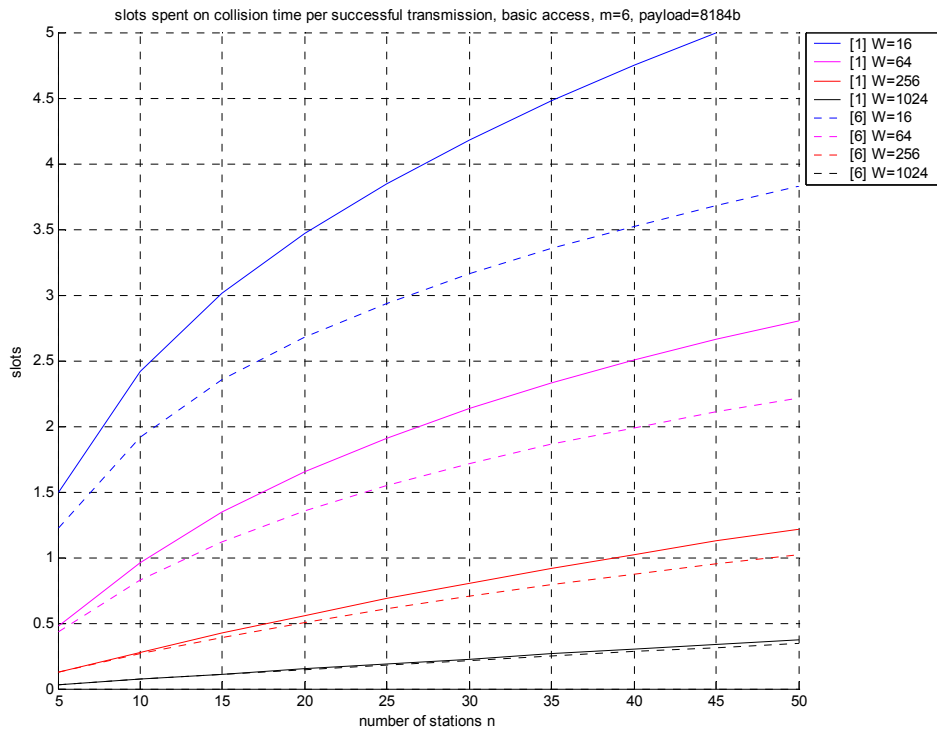
Γραφική παράσταση 19

Μέσος χρόνος συναρτήσεως του πληθυσμού σταθμών σπαταλούμενος σε ανενεργές σχισμές για διάφορα αρχικά και τελικά μήκη παραθύρων. Η μέθοδος πρόσβασης χρησιμοποιεί πακέτα RTS/CTS. Το [1] αναφέρεται στο μοντέλο χωρίς πάγωμα του backoff μετρητή και το [6] στο μοντέλο που υποστηρίζει πάγωμα του εν λόγω μετρητή.



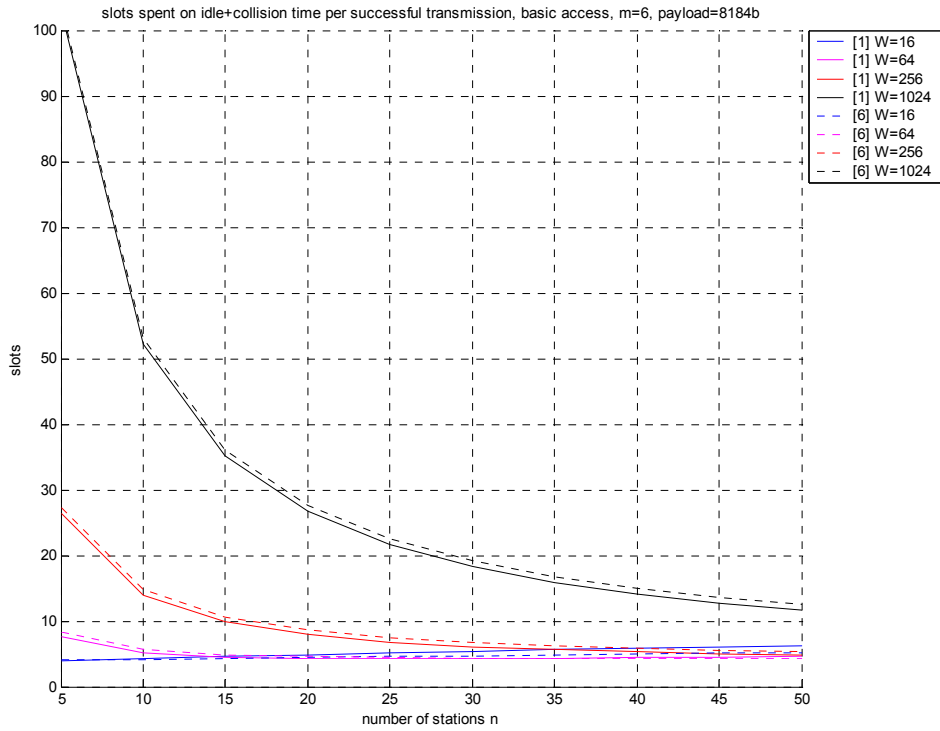
Γραφική παράσταση 20

Μέσος χρόνος συναρτήσεως του πληθυσμού σταθμών σπαταλούμενος σε συγκρούσεις για διάφορα αρχικά και τελικά μήκη παραθύρων. Η μέθοδος πρόσβασης χρησιμοποιεί πακέτα RTS/CTS. Το [1] αναφέρεται στο μοντέλο χωρίς πάγωμα του backoff μετρητή και το [6] στο μοντέλο που υποστηρίζει πάγωμα του εν λόγω μετρητή.



Γραφική παράσταση 21

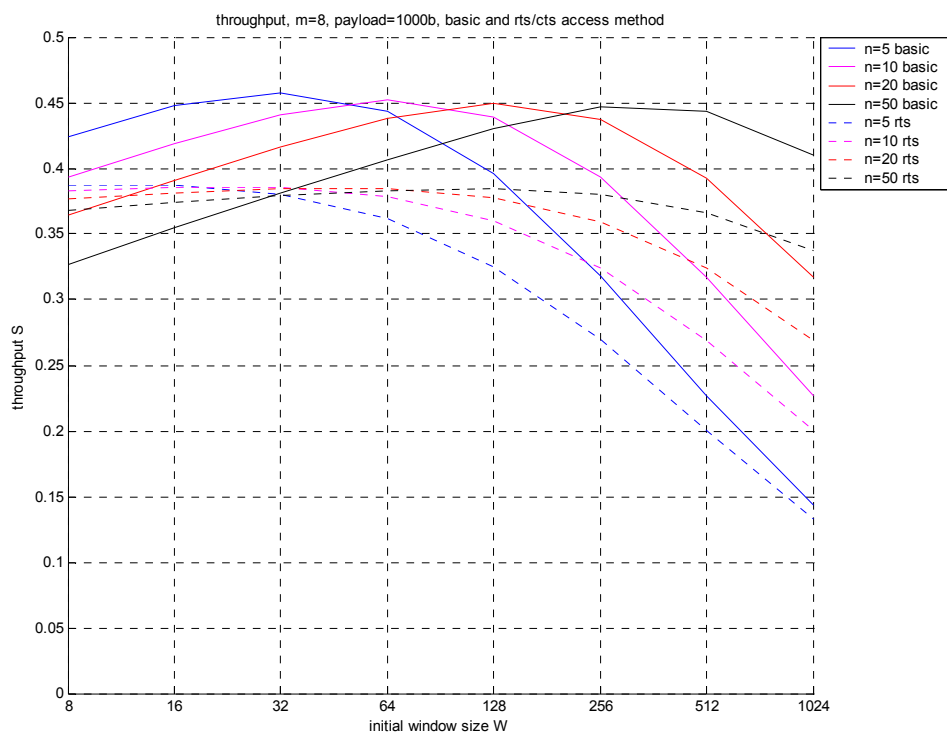
Μέσος χρόνος συναρτήσει του πληθυσμού σταθμών σπαταλούμενος σε ανενεργές σχισμές και συγκρούσεις για διάφορα αρχικά και τελικά μήκη παραθύρων. Η μέθοδος πρόσβασης χρησιμοποιεί πακέτα RTS/CTS. Το [1] αναφέρεται στο μοντέλο χωρίς πάγωμα του backoff μετρητή και το [6] στο μοντέλο που υποστηρίζει πάγωμα του εν λόγω μετρητή.



Η γραφική 22 απεικονίζει την διαπερατότητα για φορτίο 1000 bits για σύστημα με βασική και RTS/CTS μέθοδο πρόσβασης με βάση την ανάλυση του [1].

Γραφική παράσταση 22

Διαπερατότητα συναρτήσει του αρχικού μήκους παραθύρου για διάφορες τιμές πληθυσμού σταθμών. Το μέγιστο μήκος παραθύρου είναι $2^8 W$ και το μήκος πακέτου δεδομένων 1000bits. Με συνεχόμενη γραμμή απεικονίζονται αποτελέσματα της βασικής μεθόδου πρόσβασης και με διακεκομμένη της RTS/CTS.

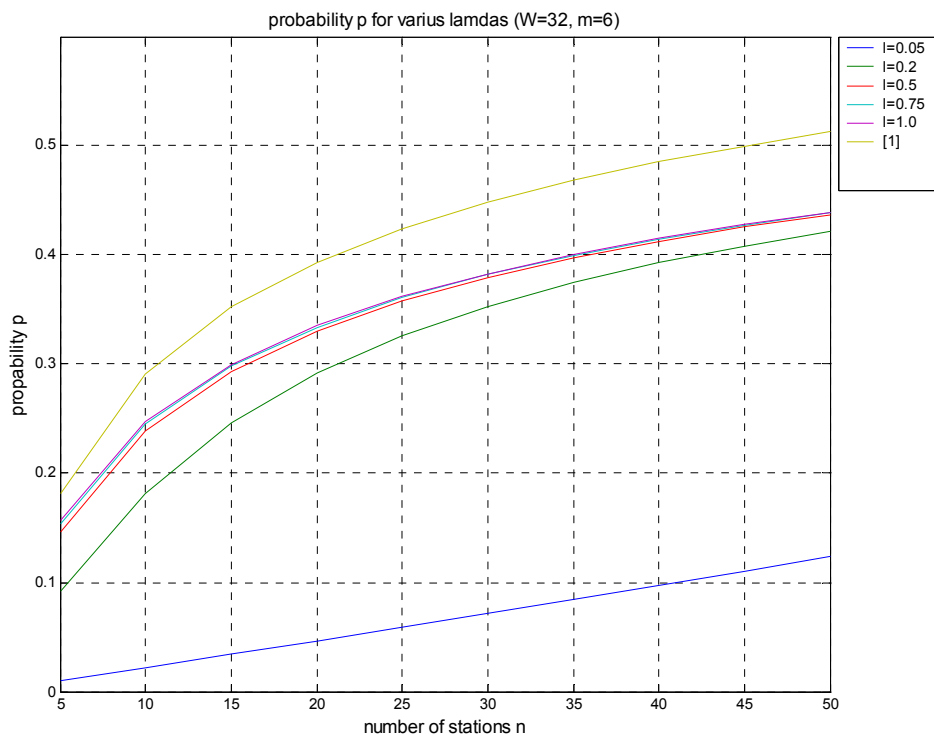


Οι γραφικές παραστάσεις 23 και 24 απεικονίζουν τις πιθανότητες p και τ αντίστοιχα για τα μοντέλα [1] και [6] συναρτήσει του αριθμού των σταθμών στο σύστημα. Για το [6] παρατίθενται γραφήματα για διάφορες τιμές της παραμέτρου λ .

Γραφική παράσταση 23

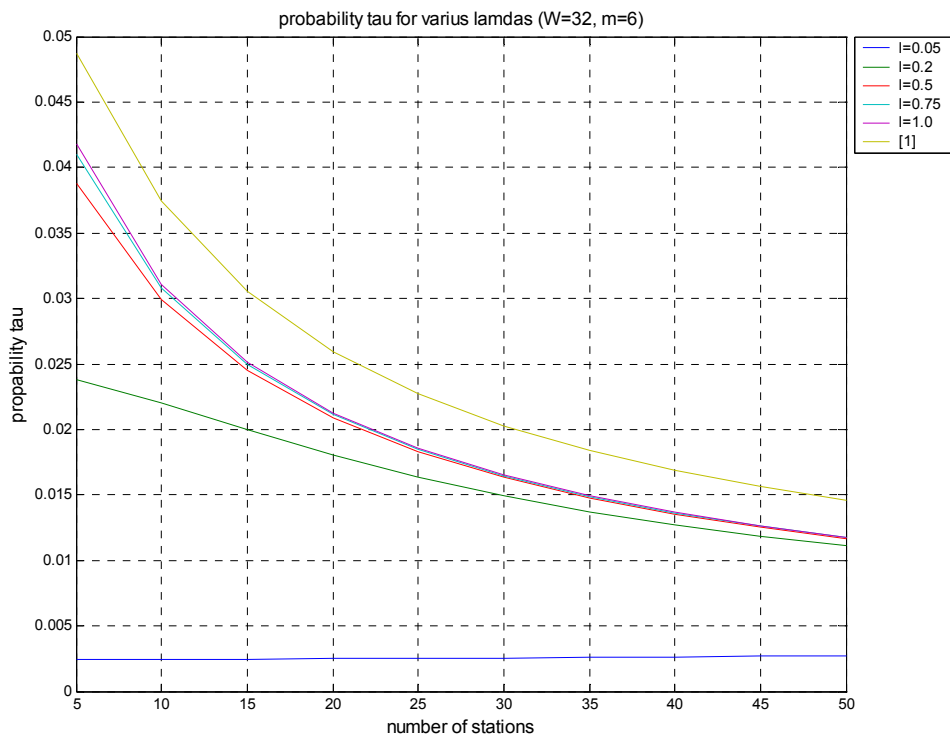
Πιθανότητα σύγκρουσης p συναρτήσει του πληθυσμού των σταθμών για $W=32$ και $m=6$.

Σύγκριση των $p_{[1]}$ και $p_{[6]}$.



Γραφική παράσταση 24

Πιθανότητα μετάδοσης τ συναρτήσει του πληθυσμού των σταθμών για $W=32$ και $m=6$. Σύγκριση των $\tau_{[1]}$ και $\tau_{[6]}$.



Παρατηρούμε ότι το μοντέλο [1] υπερεκτιμά σε σχέση με το [6] τις πιθανότητες μετάδοσης και σύγκρουσης. Αυτό αιτιολογείται από το γεγονός ότι η πρακτική του μοντέλου [6] να παγώνει τον backoff μετρητή όταν ανιχνεύονται συγκρούσεις ή μεταδόσεις επιμηκώνει την χρονική διάρκεια μέχρι την λήξη του. Αυτό συνεπάγεται με την σειρά του χαμηλότερες συχνότητες εκπομπής (άρα μικρότερο τ) πράγμα που συνεισφέρει στην αποσυμφόρηση του μέσου (άρα μικρότερο p). Ενδιαφέρον παρουσιάζει ο υπολογισμός του χρόνου που σπαταλείται σε συγκρούσεις και ανενεργές σχισμές με τις σχέσεις του [6] και η σύγκριση με τις αντίστοιχες του [1]. Αναμένεται λόγω της αιτιολόγησης που δόθηκε ότι ο σπαταλούμενος σε ανενεργές σχισμές χρόνος στην περίπτωση του [6] να είναι μεγαλύτερος του [1] ενώ το αντίθετο αποτέλεσμα αναμένεται για τον σπαταλούμενο σε συγκρούσεις χρόνο. Οι γραφικές παραστάσεις 16-

18 το επιβεβαιώνουν. Εν κατακλείδι, το μοντέλο [1] δίνει μια υπερεκτίμηση της πιθανότητας συγκρούσεων αν θεωρήσουμε το [6] πιο ακριβές μοντέλο.

Η συνεισφορά της μεθόδου πρόσβασης RTS/CTS σε σχέση με την βασική δεν έγκειται στην αύξηση της μέγιστης διαπερατότητας του συστήματος αλλά στο ότι διευρύνεται η περιοχή της πιθανότητας μετάδοσης των σταθμών για την οποία το σύστημα συμπεριφέρεται με μέγιστη ή σχεδόν μέγιστη διαπερατότητα. Διαφορετικά αλλά ισοδύναμα, η μέγιστη διαπερατότητα είναι λιγότερο ευαίσθητη στις μεταβολές των παραμέτρων όταν η μέθοδος πρόσβασης ρυθμίζεται από πακέτα RTS/CTS. Η μέγιστη διαπερατότητα είναι περίπου ίδια και για τους δύο τρόπους πρόσβασης. Αυτό εξάγεται παρατηρώντας την γραφική 14.

Από την σχέση 2.1.1.12 εξάγεται ότι για μέγιστη διαπερατότητα, η πιθανότητα εκπομπής κάθε σταθμού εξαρτάται από το πλήθος των ενεργών σταθμών. Το πλήθος n των σταθμών δεν είναι εύκολα ελέγξιμη παράμετρος οπότε απομένει στον διαχειριστή του συστήματος η ρύθμιση των παραμέτρων W_{\min} και m ($W_{\max}=2^m W_{\min}$). Επιβεβαιώνεται δε, το αποτέλεσμα της προηγούμενης ανάλυσης ότι η μέγιστη διαπερατότητα του συστήματος είναι ανεξάρτητη (ή σχεδόν ανεξάρτητη) από τον αριθμό των ενεργών σταθμών.

Από τον παρονομαστή της σχέσης 2.2.1.12 διακρίνεται ο μέσος χρόνος που αφιερώνεται σε ανενεργές σχισμές και σε συγκρούσεις από τον χρόνο που διαρκεί μια επιτυχής μετάδοση. Οι γραφικές παραστάσεις 16-21 απεικονίζουν τους χρόνους αυτούς για βασική και RTS/CTS πρόσβαση στο κοινό μέσο. Η αύξηση του αρχικού μήκους του παραθύρου μειώνει τον χρόνο που σπαταλείται σε συγκρούσεις αλλά ταυτόχρονα αυξάνει τον χρόνο αναμονής (ανενεργές σχισμές). Διαπιστώνεται ότι ο μη ωφέλιμος χρόνος οφείλεται σε δυο παράγοντες, τις συγκρούσεις και την αναμονή. Προκύπτει λοιπόν η ανάγκη, για δεδομένα m και n , να επιλεγθεί αρχικό μήκος παραθύρου τέτοιο

ώστε να ελαχιστοποιεί τον μη ωφέλιμο χρόνο γύρω από την περιοχή (πλήθος ενεργών σταθμών) που ενδιαφέρει.

Η γραφική παράσταση 14 απεικονίζει την διαπερατότητα του πρωτοκόλλου για μεγάλα σχετικά πακέτα δεδομένων (8184bits) για βασική μέθοδο πρόσβασης και RTS/CTS αντίστοιχα. Οι γραφική 22 απεικονίζει την διαπερατότητα του πρωτοκόλλου για μικρά σχετικά πακέτα δεδομένων (1000bits) για βασική μέθοδο πρόσβασης και RTS/CTS αντίστοιχα. Η διαπερατότητα και στις δυο περιπτώσεις είναι συνάρτηση του αρχικού μήκους παραθύρου και δίνονται γραφήματα για διαφορετικούς πληθυσμούς ενεργών σταθμών. Για μεγάλα σχετικά πακέτα και αρχικές τιμές παραθύρου $W_{min} < 128$ είναι σαφής η υπεροχή της μεθόδου RTS/CTS που επιτυγχάνει διαπερατότητα πολύ κοντά στην μέγιστη. Αντίθετα, για μικρά μέσα μήκη πακέτων η μέθοδος RTS/CTS επιβαρύνει σημαντικά το μέσο με αποτέλεσμα να επιτυγχάνει μειωμένη διαπερατότητα έναντι της βασικής, άρα στην περίπτωση αυτή είναι προτιμητέα η βασική. Βασισμένοι στην σχέση $S_{RTS/CTS} \geq S_{basic}$ η οποία ορίζει το μέσο μήκος πακέτου πέραν του οποίου η χρήση RTS/CTS πλεονεκτεί της βασικής πρόσβασης καταλήγουμε στην σχέση 2.2.1.14. Η σχέση αυτή δηλώνει ότι η χρήση της μεθόδου RTS/CTS δεν εξαρτάται μόνο από το μέγεθος του πακέτου αλλά και από το πλήθος των ενεργών σταθμών μέσω της παραμέτρου P_s .

$$T_{payload} > \frac{P_s O_{rts}}{1 - P_s} - O_h, \quad (\sigma. 2.2.1.14)$$

$$O_{rts} = T_s^{rts/cts} - T_s^{basic}, O_h = PHY + MAC - RTS$$

Κεφάλαιο 3

Markov μοντέλα με πεπερασμένες προσπάθειες μετάδοσης και πάγωμα backoff μετρητή.

3.1 Εισαγωγή

3.2 Ανάλυση

3.3 Συμπεράσματα και παρατηρήσεις

3.1 Εισαγωγή

Τα μοντέλα που παρουσιάστηκαν στις παραγράφους 2.2.1 και 2.2.2 επιτρέπουν απεριόριστες επαναλήψεις μέχρι να μεταδοθεί σωστά ένα πακέτο. Το πρωτόκολλο 802.11 προτείνει όμως πεπερασμένο πλήθος επαναμεταδόσεων που ορίζεται από κατάλληλους μετρητές επαναλήψεων. Αρχικά, στο κεφάλαιο αυτό, θα τροποποιήσουμε κατάλληλα το μοντέλο 2.2.1 ώστε να επιτρέπει πεπερασμένο αριθμό επαναλήψεων όπως και στο [10]. Στην συνέχεια θα συνδυάσουμε την ιδιότητα του μοντέλου 2.2.2 για παγώματα του backoff μετρητή με την ιδιότητα των πεπερασμένων επαναλήψεων που επιτρέπονται για κάθε πακέτο. Αφού γίνει αυτό θα αναλυθεί η συμπεριφορά του και θα συγκριθεί με τα προηγούμενα.

3.2 Ανάλυση

Στην παρούσα εκδοχή ισχύει η περιγραφή του κεφαλαίου 2.2.1 με τις εξής διαφοροποιήσεις (βλέπε διάγραμμα 6): όταν ένας σταθμός φτάσει σε κατάσταση μέγιστου παραθύρου (m) δεν παραμένει εκεί μέχρι να μεταδοθεί επιτυχώς το πακέτο αλλά μόνο για πεπερασμένο αριθμό αποτυχιών. Μετά από $(M-m+1)$ αποτυχημένες επαναλήψεις όντας σε κατάσταση μέγιστου μήκους παραθύρου το πακέτο απορρίπτεται και ο σταθμός ασχολείται με το επόμενο διαθέσιμο στην ουρά. Το νέο μοντέλο υλοποιεί την προσέγγιση αυτή με την επανάληψη των καταστάσεων με μέγιστο μήκος παραθύρου για $M-m+1$ φορές. Στην κατάσταση $\{M,0\}$ επιχειρείται η τελευταία απόπειρα μετάδοσης και με πιθανότητα 1 το σύστημα επιστρέφει σε κατάσταση με ελάχιστο μήκος παραθύρου. Η πιθανότητα αυτή προκύπτει από το άθροισμα των πιθανοτήτων $p + (1-p)$ που εκφράζουν αντίστοιχα την αποτυχία ή την επιτυχία της μετάδοσης.

Ορίζουμε την δισδιάστατη κατάσταση $\{s(t), b(t)\}$ με ανάλογο τρόπο όπως στην παράγραφο 2.2.1. Οι δεσμευμένες πιθανότητες μετάβασης που χαρακτηρίζουν την αλυσίδα είναι:

$$P\{i, j | i, j+1\} = 1 \quad \text{για} \quad i \in [0, M], j \in [0, W_i - 2] \quad (\sigma. 3.1)$$

$$P\{0, j | i, 0\} = \frac{1-p}{W_0} \quad \text{για} \quad i \in [0, M-1], j \in [0, W_0 - 1] \quad (\sigma. 3.2)$$

$$P\{0, j | M, 0\} = \frac{1}{W_0} \quad \text{για} \quad j \in [0, W_0 - 1] \quad (\sigma. 3.3)$$

$$P\{i, j | i-1, 0\} = \frac{p}{W_i} \quad \text{για} \quad i \in [1, M], j \in [0, W_i - 1] \quad (\sigma. 3.4)$$

Καταγράφοντας τις εξισώσεις ισορροπίας σε κάθε κατάσταση εκτός της $\{0,0\}$ καταλήγουμε στην σχέση 3.5:

$$b\{i, j\} = b\{0, 0\} p^i \left(1 - \frac{j}{W_i}\right) \quad (\sigma. 3.5)$$

Η 3.5 δίνει μια εξίσωση λιγότερη από το σύνολο των αγνώστων οπότε με χρήση της σχέσης ότι το άθροισμα των πιθανοτήτων κάθε κατάστασης δίνει μονάδα κατασκευάζουμε ένα γραμμικό σύστημα με εξισώσεις ισάριθμες με τους αγνώστους. Επιλύοντας το, εκφράζουμε το $b\{0, 0\}$ ως εξής:

$$b\{0, 0\} = \frac{2}{\frac{1-p^{m+1}}{1-p} + W \left(\frac{1-(2p)^{m+1}}{1-2p} \right) + (2^m W + 1) \left(\frac{p^{m+1} - p^{M+1}}{1-p} \right)} \quad (\sigma. 3.6)$$

Η πιθανότητα μετάδοσης τ λαμβάνεται από το άθροισμα των πιθανοτήτων παραμονής σε καταστάσεις όπου ο backoff μετρητής έχει μηδενιστεί:

$$\tau = \sum_{i=0}^M \{s = i, b = 0\} = \sum_{i=0}^M b\{0, 0\} p^i = b\{0, 0\} \sum_{i=0}^M p^i \Rightarrow$$

$$\tau = \frac{2(1-p^{M+1})}{1-p^{m+1} + W \left(\frac{1-(2p)^{m+1}}{1-2p} \right) (1-p) + (2^m W + 1) (p^{m+1} - p^{M+1})} \quad (\sigma. 3.6\beta)$$

Η πιθανότητα p είναι δεσμευμένη υπό την συνθήκη να συμβαίνει μετάδοση από τον σταθμό. Αναζητούμε λοιπόν μια έκφραση του p συναρτήσεως του τ υπό αυτή την δέσμευση. Θεωρώντας το σύστημα από την σκοπιά ενός σταθμού, οι υπόλοιποι $n-1$ το πλήθος σταθμοί θα προκαλέσουν σύγκρουση με πιθανότητα ίση με το συμπλήρωμα της πιθανότητας να μην επιχειρήσουν να μεταδώσουν την τρέχουσα χρονοσχισμή. Αυτό υποδηλώνει η σχέση 3.7:

$$p = 1 - (1 - \tau)^{n-1} \quad (\sigma. 3.7)$$

Οι σχέσεις 3.6β και 3.7 αποτελούν μη γραμμικό σύστημα δύο εξισώσεων με δύο αγνώστους. Για την εξαγωγή της σχέσης διαπερατότητας του συστήματος ισχύουν ότι και στην παράγραφο 2.2.1.

Στην συνέχεια τροποποιούμε το διάγραμμα 6 μετατρέποντας τις δεσμευμένες πιθανότητες μετάβασης $\{i, j\} \rightarrow \{i, j-1\}$ από μονάδα σε $1-p$ ώστε να αντιπροσωπεύεται το πάγωμα του μετρητή όταν υπάρχει σύγκρουση ή μετάδοση στο μέσο. Το διάγραμμα 7 απεικονίζει την περίπτωση αυτή.

Στην περίπτωση αυτή οι δεσμευμένες πιθανότητες μετάβασης των σχέσεων 3.2-3.4 παραμένουν σε ισχύ ενώ η σχέση 3.1 γράφεται πλέον ως εξής:

$$P\{i, j | i, j+1\} = 1-p \quad \text{για} \quad i \in [0, M], j \in [0, W_i - 2] \quad (\sigma. 3.8)$$

Οι σχέσεις 3.9 και 3.10 αντικαθιστούν αντίστοιχα τις 3.5 και 3.6:

$$b\{i, j\} = \frac{b\{0,0\}p^i}{1-p} \left(1 - \frac{j}{W_i}\right) \quad (\sigma. 3.9)$$

$$b\{0,0\} = \frac{2(1-p)}{\frac{1-p^{m+1}}{1-p} + W \left(\frac{1-(2p)^{m+1}}{1-2p} \right) + (2^m W + 1) \left(\frac{p^{m+1} - p^{M+1}}{1-p} \right)} \quad (\sigma. 3.10)$$

Η πιθανότητα μετάδοσης τ λαμβάνεται όπως και προηγουμένως, από το άθροισμα των πιθανοτήτων παραμονής σε καταστάσεις όπου ο backoff μετρητής έχει μηδενιστεί:

$$\tau = \sum_{i=0}^M \{s=i, b=0\} = \sum_{i=0}^M \frac{b\{0,0\}}{1-p} p^i = \frac{b\{0,0\}}{1-p} \sum_{i=0}^M p^i \Rightarrow$$

$$\tau = \frac{2(1-p^{M+1})}{\frac{1-p^{m+1}}{1-p} + W \left(\frac{1-(2p)^{m+1}}{1-2p} \right) + (2^m W + 1) \left(\frac{p^{m+1} - p^{M+1}}{1-p} \right)} \quad (\sigma. 3.10\beta)$$

Οι σχέσεις 3.10β και 3.7 αποτελούν μη γραμμικό σύστημα δύο εξισώσεων με δύο αγνώστους. Για την εξαγωγή της σχέσης διαπερατότητας του συστήματος ισχύουν ότι και στην παράγραφο 2.2.1.

Με τις τροποποιήσεις αυτές η νέα πιθανότητα μετάδοσης σταθμού σχετίζεται με την προηγούμενη όπως δείχνει η σχέση 3.11:

$$\tau_{freezing} = (1 - p)\tau_{nofreezing} \quad (\sigma. 3.11)$$

Μελετάμε τώρα την περίπτωση απόρριψης ενός πακέτου. Δεδομένου ότι ένα πακέτο θα εισέλθει στην διαδικασία της μετάδοσης οι δυο πιθανές εκβάσεις είναι να μεταδοθεί ή να απορριφθεί σύμφωνα με το μοντέλο της παρούσας παραγράφου. Η δεσμευμένη πιθανότητα απόρριψης δίνεται από την σχέση 3.12 και η δεσμευμένη πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης από την σχέση 3.13.

$$P\{reject | transm.\} = b(M,0)p = b(0,0)p^{M+1} \quad (\sigma. 3.12)$$

$$P\{success | transm.\} = \sum_{i=0}^M b(i,0)(1-p) = (1-p)b(0,0)\sum_{i=0}^M p^i = b(0,0)(1-p^{M+1}) \quad (\sigma. 3.13)$$

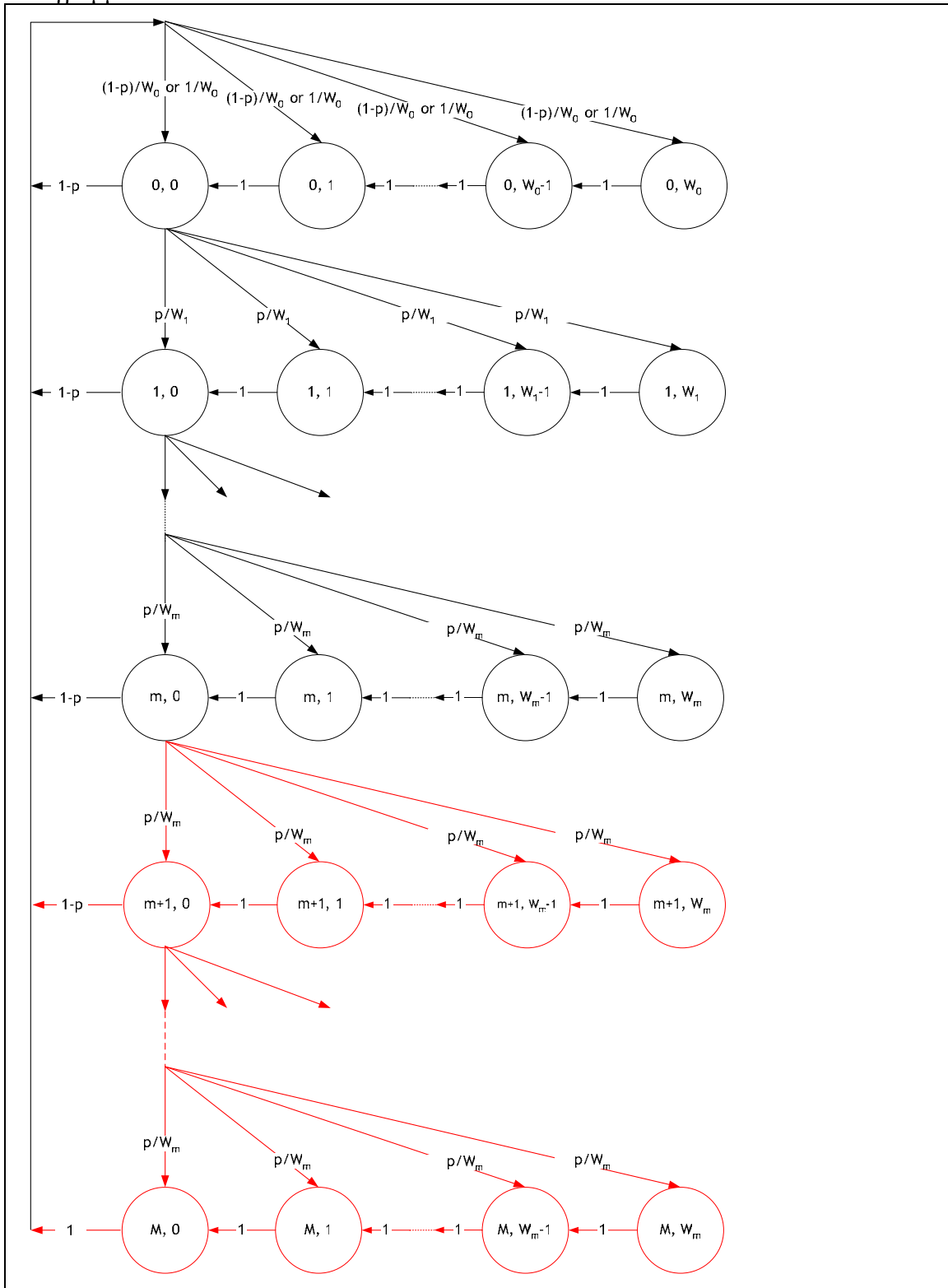
Θεωρώντας ως δειγματικό χώρο το σύνολο των ενδεχομένων που οδηγούν σε μετάδοση ή απόρριψη του πακέτου καταλήγουμε στην κανονικοποιημένη σχέση απόρριψης πακέτου 3.14 που εκφράζεται και συναρτήσει της πιθανότητας μετάδοσης σταθμού τ .

$$P\{reject\} = \frac{b(M,0)p}{\sum_{i=0}^M b(i,0)(1-p) + b(M,0)p} = p^{M+1} = \left(1 - (1-\tau)^{n-1}\right)^{M+1} \quad (\sigma. 3.14)$$

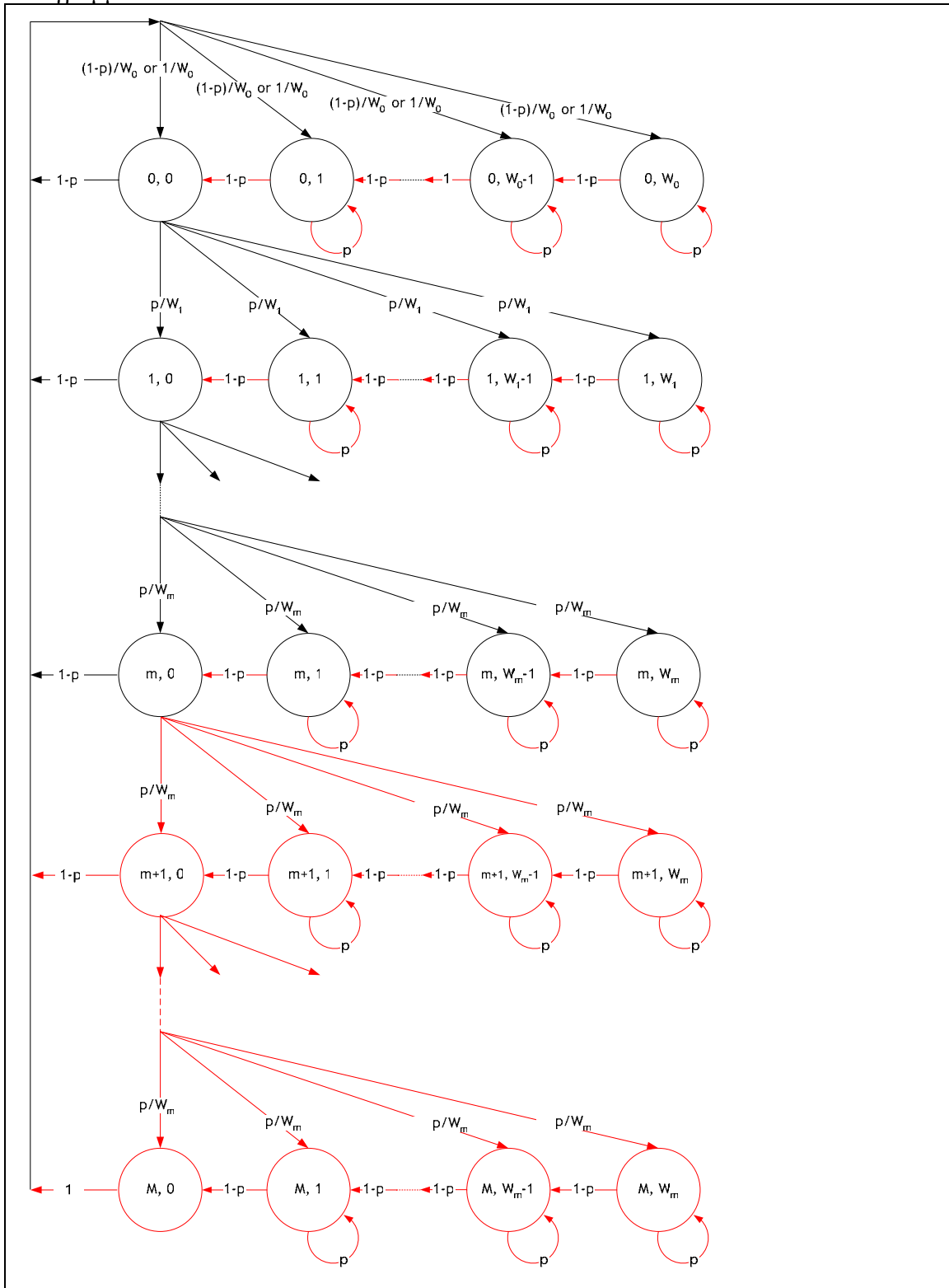
Ο μέσος αριθμός προσπαθειών που αντιλαμβάνονται τα πρωτόκολλα που λειτουργούν πάνω από το 802.11 δίνεται από την σχέση 3.15:

$$\text{MeanAttemptNumber} = \sum_{k=1}^{\infty} k(P_{\text{reject}})^{k-1}(1 - P_{\text{reject}}) = \frac{1}{1 - P_{\text{reject}}} \quad (\sigma. 3.15)$$

Διάγραμμα 6



Διάγραμμα 7

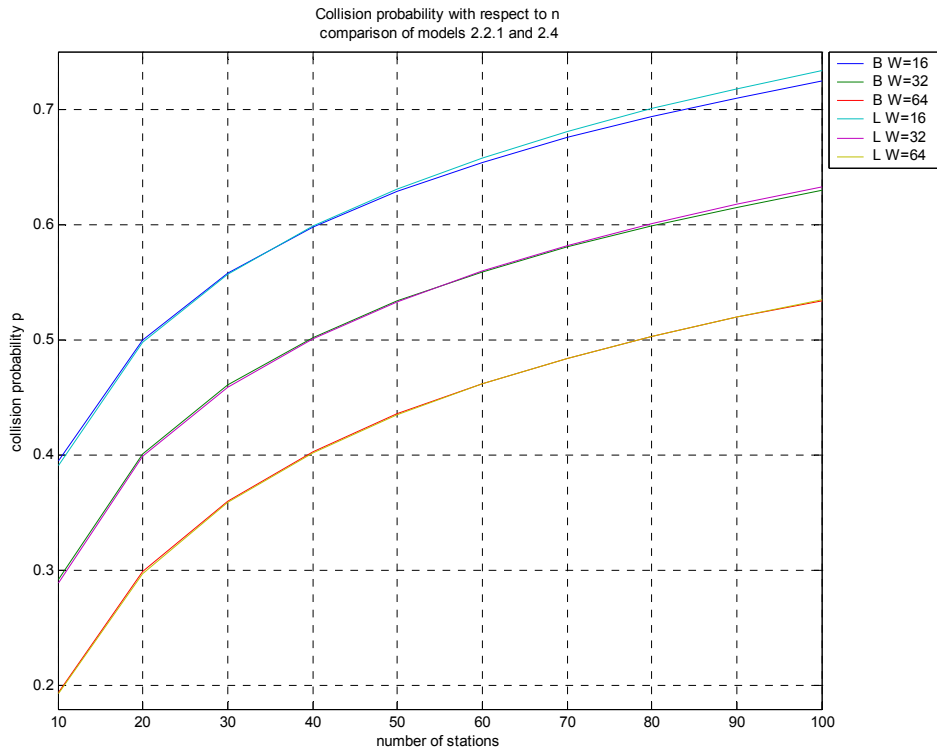


3.3 Συμπεράσματα και παρατηρήσεις

Η γραφική παράσταση 25 απεικονίζει την πιθανότητα σύγκρουσης για τα δυο μοντέλα των παραγράφων 2.2.1 και 3.0. Απεικονίζεται συναρτήσεως του πλήθους των σταθμών και για διάφορες αρχικές τιμές παραθύρου. Αν και ποσοτικά είναι σχεδόν ταυτόσημες για όλο το εύρος των πληθυσμών (10-100) διακρίνεται μια ποιοτική διαφορά: Για συστήματα που δεν τελούν υπό συμφόρηση, η απόρριψη πακέτου λόγω προσέγγισης ορίου επαναλήψεων είναι σχετικά σπάνια με αποτέλεσμα να κυριαρχεί η σχέση 3.11. Αυτό συνεπάγεται ότι για δοσμένα n, m, W το μοντέλο 3.0 χαρακτηρίζεται από μικρότερες πιθανότητες μετάδοσης και κατά συνέπεια μικρότερες πιθανότητες σύγκρουσης. Όταν όμως το σύστημα τελεί υπό συμφόρηση, η απόρριψη πακέτου λόγω προσέγγισης του ορίου επαναλήψεων δεν είναι αμελητέα. Κάθε απόρριψη προκαλεί επαναφορά του backoff παραθύρου στην αρχική του τιμή και μακροπρόθεσμα το μέσο μήκος παραθύρου που αντιλαμβάνονται οι σταθμοί στο μοντέλο 3.0 είναι μικρότερο από ότι στο μοντέλο 2.2.1. Αυτό συνεπάγεται μεγαλύτερες πιθανότητες σύγκρουσης.

Γραφική παράσταση 25

Πιθανότητα σύγκρουσης για διαφορετικούς πληθυσμούς σταθμών. Σύγκριση μοντέλου 2.2.1(B) και 3.0(L). (μέγιστο μήκος παραθύρου $2^5 W$, όριο επαναλήψεων με μέγιστο παράθυρο $M=10$).

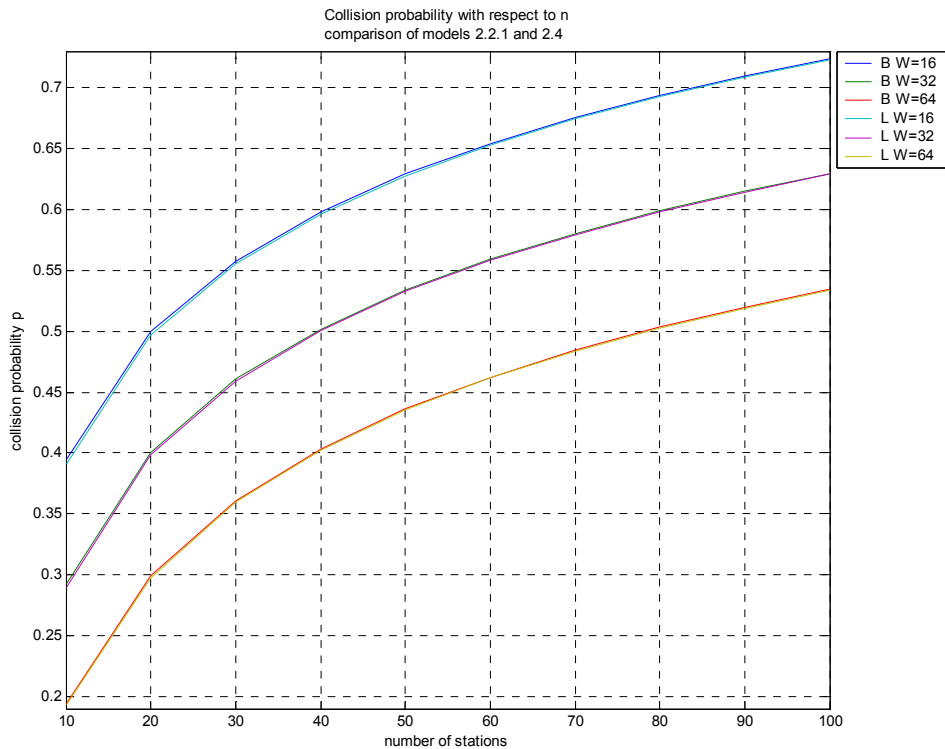


Συνεπάγεται επίσης ότι το μοντέλο του κεφαλαίου 2.2.1 παραμένει αρκετά αντιπροσωπευτικό παρά το ότι θεωρεί άπειρο αντί πεπερασμένο αριθμό προσπαθειών για μετάδοση ενός πακέτου. Αυτό είναι αναμενόμενο όταν δουλεύουμε το πρωτόκολλο για σχετικά μεγάλα m σε περιοχές σχετικά μικρού p διότι ο όρος p^m που εμφανίζεται στις εξισώσεις είναι περίπου μηδέν όπως θα ήταν για m τείνοντος στο άπειρο.

Στην γραφική παράσταση 26 παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της αύξησης του M ώστε πρακτικά να μην απορρίπτεται πακέτο από το σύστημα. Παρατηρούμε πολύ καλή ταύτιση με το μοντέλο 2.2.1 πράγμα που ήταν άλλωστε και διαισθητικά αναμενόμενο.

Γραφική παράσταση 26

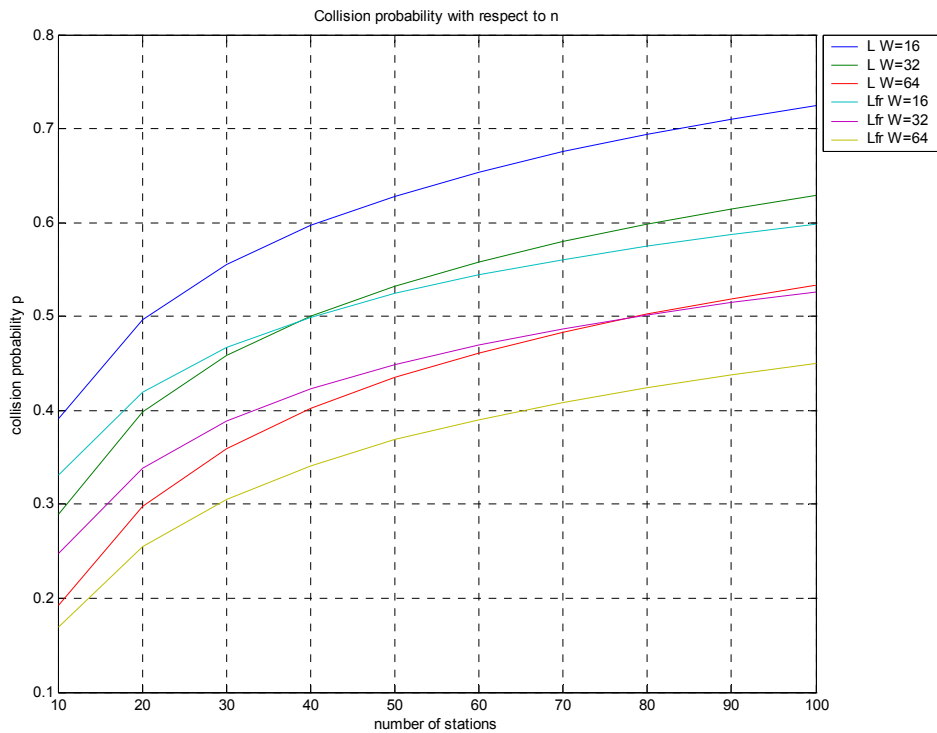
Πιθανότητα σύγκρουσης για διαφορετικούς πληθυσμούς σταθμών. Σύγκριση μοντέλου 2.2.1 (B) και 2.4 (L). ($m=5, M=100$).



Στην γραφική παράσταση 27 παρουσιάζεται η σύγκριση των μοντέλων του κεφαλαίου 3 χωρίς και με υποστήριξη παγώματος του backoff μετρητή. Παρατηρείται μείωση της πιθανότητας σύγκρουσης όταν λαμβάνονται υπ' όψιν τα παγώματα του μετρητή όπως αναφέρεται και στην παράγραφο 2.2.3 όπου και αναφέρεται η αιτιολόγηση της παρατήρησης.

Γραφική παράσταση 27

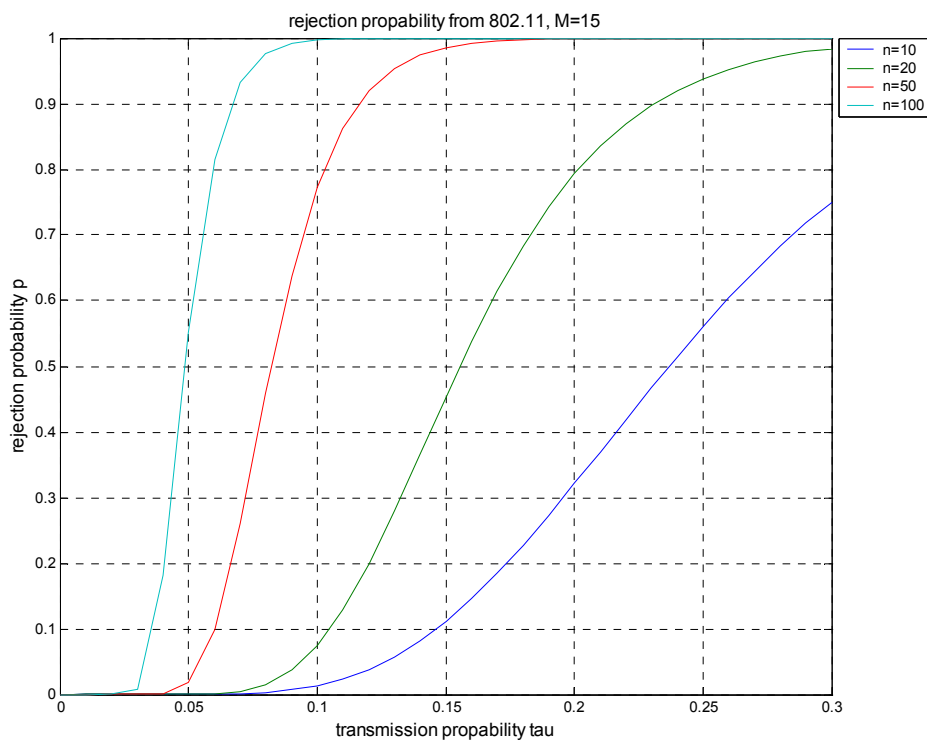
Πιθανότητα σύγκρουσης για διαφορετικούς πληθυσμούς σταθμών. Σύγκριση μοντέλου 3.0 χωρίς (L) και με υποστήριξη παγώματος (Lfr) του backoff μετρητή. ($m=5$, $M=10$).



Η γραφική παράσταση 28 απεικονίζει την πιθανότητα απόρριψης πακέτου που αντιλαμβάνονται τα πρωτόκολλα πάνω από το 802.11 συναρτήσει της πιθανότητας μετάδοσης τ κάθε σταθμού για διάφορους πληθυσμούς ενεργών σταθμών. Το M (μέγιστος αριθμός επαναλήψεων) σε αυτή την περίπτωση είναι 15. Παρουσιάζεται πολύ μικρό ποσοστό απόρριψης μέχρι μια τιμή πέρα από την οποία παρατηρείται μια απότομη σχετικά αύξηση της απόρριψης.

Γραφική παράσταση 28

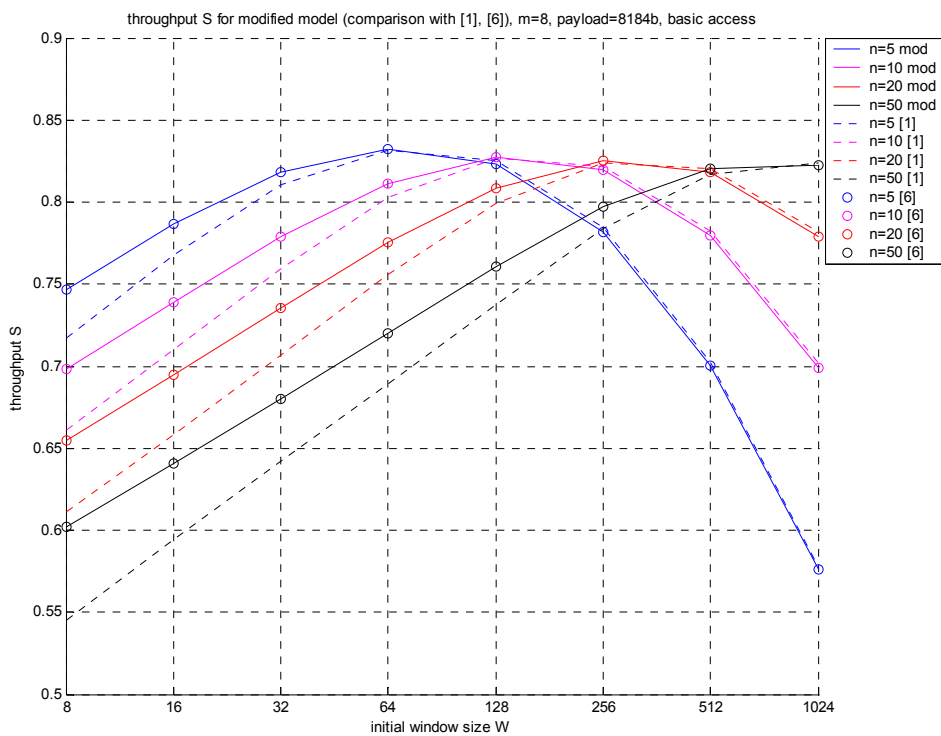
Πιθανότητα απόρριψης πακέτου που αντιλαμβάνεται πρωτόκολλο πάνω από το 802.11. ($M=15$).



Η διαπερατότητα είναι το θέμα της γραφικής παράστασης 29. Συγκρίνει τις προβλέψεις του τροποποιημένου μοντέλου του κεφαλαίου 3 (με άπειρες επαναλήψεις μέχρι ορθής μετάδοσης) με τα μοντέλα [1] και [6]. Με το μοντέλο [1] υπάρχει απόκλιση της τάξης του 3-5% στις περιοχές αριστερά του μέγιστου όπου οι συγκρούσεις είναι η κύρια αιτία υποβάθμισης της διαπερατότητας. Με το μοντέλο [6] υπάρχει ταύτιση που ήταν αναμενόμενη σύμφωνα με τα συμπεράσματα της γραφικής παράστασης 3.2. Η απόκλιση με το [1] αιτιολογείται στην παράγραφο 2.2.3.

Γραφική παράσταση 29

Διαπερατότητα συναρτήσει αρχικού μήκους παραθύρου. Σύγκριση μοντέλων [1], [6], και 3.0 με άπειρες επαναλήψεις. Φορτίο 8184bits, $m=8$.



Κεφάλαιο 4

Εκτίμηση επίδοσης μέσω προσομοιώσεων

-
- 4.1 Εισαγωγή
 - 4.2. Περιγραφή προσομοιωτή
 - 4.3. Εκτέλεση προσομοιώσεων
 - 4.4. Αποτελέσματα, συγκρίσεις, συμπεράσματα
-

4.1 Εισαγωγή

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας υλοποιήθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού java προσομοιωτής διακριτού χρόνου για μελέτη της επίδοσης της λειτουργίας DCF του 802.11. Τα στοιχεία που συλλέχθηκαν επιβεβαιώνουν γενικά τις θεωρητικές προβλέψεις των αναλύσεων που παρατέθηκαν σε προηγούμενες παραγράφους με κάποιες αποκλίσεις.

4.2. Περιγραφή προσομοιωτή

Ο προσομοιωτής διακριτού χρόνου που αναπαράγει την λειτουργία της μετάδοσης στο κοινό μέσο πακέτων καταγράφει μεταξύ άλλων τον ανενεργό χρόνο, τον χρόνο ωφέλιμης μετάδοσης και τον χρόνο που σπαταλείται σε συγκρούσεις. Οι προσομοιώσεις έγιναν με διακριτική ικανότητα 1μsec. Το περιβάλλον διάδοσης θεωρείται ιδανικό όσον αφορά το φυσικό επίπεδο οπότε η οποιαδήποτε απώλεια πακέτου οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στην χρονική επικάλυψη των μεταδόσεων των σταθμών. Θεωρείται ότι οι σταθμοί έχουν πάντα πακέτο προς μετάδοση οπότε οι μετρήσεις που λαμβάνονται αφορούν σύστημα σε κορεσμό.

Ο κάθε κόμβος μπορεί ανά πάσα στιγμή να βρίσκεται σε μια εκ των 7 καταστάσεων που απεικονίζονται στο διάγραμμα 8. Η μετάβαση μεταξύ των καταστάσεων θεωρείται ακαριαία. Τα μαύρα βέλη παριστάνουν τις μεταβάσεις που προκαλούνται από την λήξη κάποιου μετρητή χρόνου παραμονής σε μια κατάσταση. Τα κόκκινα βέλη αντιπροσωπεύουν τις μεταβάσεις ενός σταθμού που προκαλούνται ως συνέπεια του ότι κάποιος άλλος σταθμός μεταδίδει στο μέσο.

Οι 7 καταστάσεις αναλύονται ως εξής:

- DIFS
Ο σταθμός ακροάται το μέσο μετάδοσης. Πριν επιχειρήσει έναρξη διαδικασίας μετάδοσης πρέπει να μετρήσει χρόνο διάρκειας DIFS χωρίς να ανιχνεύσει καμιά δραστηριότητα.
- DIFS_FREEZED
Όταν στην κατάσταση DIFS ανιχνευτεί ηλεκτρομαγνητική δραστηριότητα ο σταθμός περιμένει στην παρούσα κατάσταση πριν αποπειραθεί ξανά να μετρήσει χρόνο DIFS.

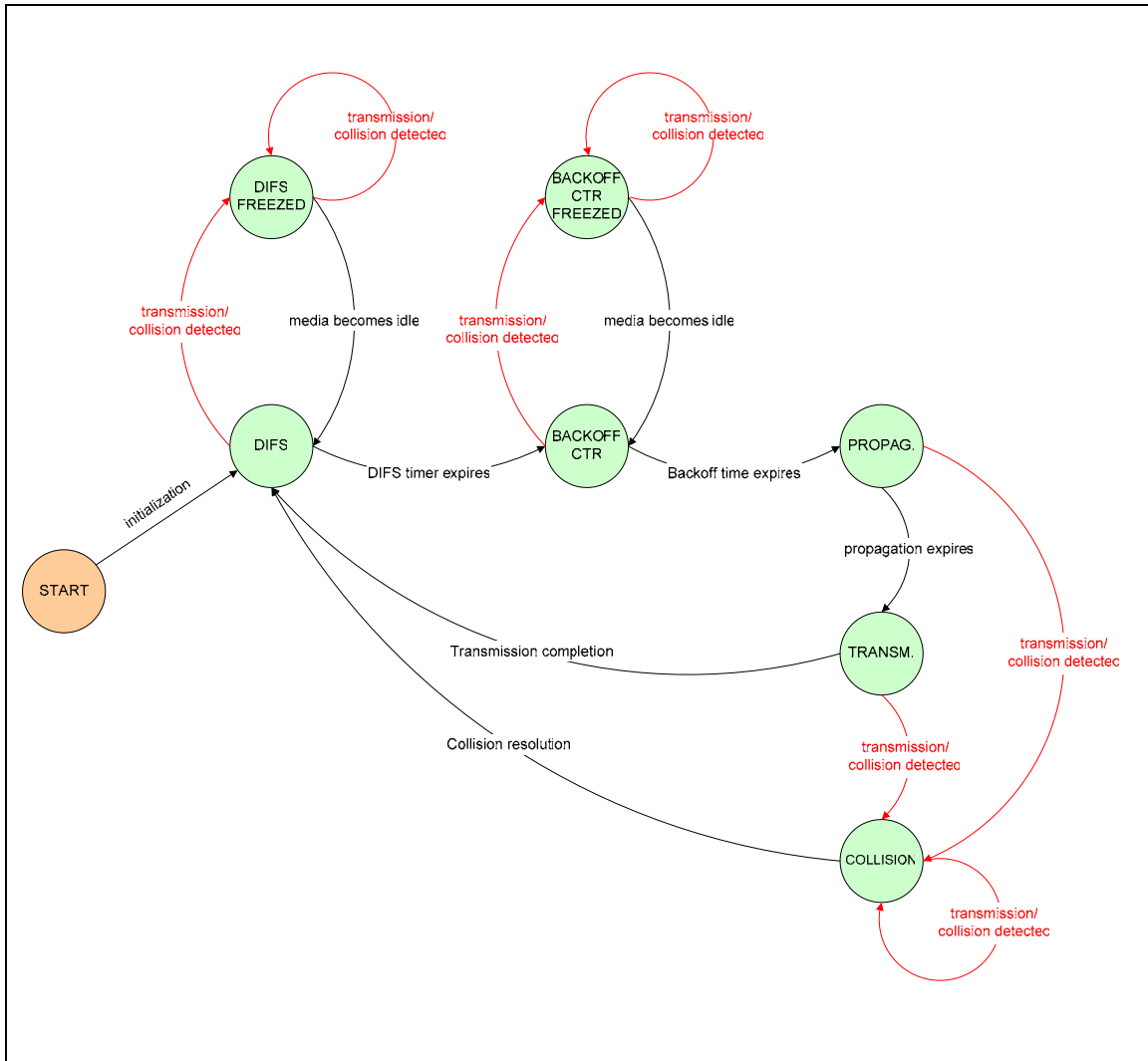
- **BACKOFF_CTR**
Στην κατάσταση αυτή, το μέσο είναι ανενεργό και ο σταθμός μειώνει τον μετρητή backoff counter με την πάροδο του χρόνου σε κβάντα της μιας χρονοσχισμής.
- **BACKOFF_CTR_FREEZED**
Όταν στην κατάσταση BACKOFF_CTR ανιχνευτεί ηλεκτρομαγνητική δραστηριότητα στο κοινό μέσο, ο σταθμός αναστέλλει την μείωση του backoff counter και αναμένει μέχρι το μέσο να καταστεί ξανά ανενεργό.
- **PROPAGATION**
Ο σταθμός έχει ξεκινήσει μετάδοση πακέτου με την είσοδο στην παρούσα κατάσταση και μέχρι αυτό να διαδοθεί στους υπόλοιπους σταθμούς παραμένει σε αυτήν. Η εισαγωγή της κατάστασης αυτής κρίθηκε αναγκαία για πρακτικούς κυρίως λόγους που αφορούν την ικανότητα του προσομοιωτή να αναπαράγει την καθυστέρηση στην διέγερση και απόκριση των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και τον χρόνο που απαιτείται για διάδοση. Απουσία της ισοδυναμεί με ακαριαία διάδοση πράγμα που οδηγεί στην αποφυγή κάθε σύγκρουσης, επέκταση της διάρκειας της αυξάνει την πιθανότητα σύγκρουσης.
- **TRANSMIT**
Ο σταθμός μεταδίδει πακέτο στο κοινό μέσο. Διαρκεί μέχρι να ολοκληρωθεί η μετάδοση ή μέχρι να ανιχνευτεί σύγκρουση.
- **COLLISION**
Κάθε σταθμός που ήταν σε κατάσταση TRANSMIT ή PROPAGATION και διακόπηκε από μετάδοση άλλου σταθμού καταλήγει στην παρούσα κατάσταση. Η διάρκεια της ισούται με την μέγιστη διάρκεια κατακράτησης του κοινού μέσου από τους επηρεαζόμενους σταθμούς.

Ο προσομοιωτής σαρώνει όλους τους σταθμούς και επιλέγει αυτόν με τον ελάχιστο υπολειπόμενο χρόνο μέχρι την επόμενη δράση του. Στην συνέχεια αφαιρεί τον χρόνο αυτό από τους μετρητές όλων των σταθμών και εκτελεί την δράση του σταθμού που επέλεξε. Κατόπιν, και αναλόγως της εκτελεσθείσας δράσης σαρώνει τους υπόλοιπους σταθμούς για υλοποίηση τυχόν παρενεργειών σε αυτούς. Ο έλεγχος για συγκρούσεις εκτελείται κατά την έξοδο από την κατάσταση PROPAGATION. Κάθε σταθμός κατά την έξοδο αυτή ελέγχει τους υπόλοιπους και αν παρατηρήσει έστω και ένα σε κατάσταση PROPAGATION ή TRANSMIT ή COLLISION θεωρεί ότι έλαβε χώρα σύγκρουση και ενεργεί αναλόγως. Καταγράφεται ο χρόνος που σπαταλά κάθε σταθμός σε κάθε κατάσταση, το πλήθος των μεταβάσεων μεταξύ καταστάσεων, ο χρόνος όπου στο κοινό μέσο εκτελείται μετάδοση/σύγκρουση και τέλος τα πετυχημένα ή αποτυχημένα ή απορριφθέντα πακέτα ανά σταθμό και συνολικά.

Κατά τις δοκιμές του προσομοιωτή και λόγω του τρόπου λειτουργίας παρουσιάστηκε το φαινόμενο κάποιοι κόμβοι να έχουν προτεραιότητα στην επεξεργασία έναντι άλλων διότι χρησιμοποιήθηκε πίνακας για αποθήκευση τους και η σάρωση για επεξεργασία γινόταν πάντα με αύξουσα σειρά δείκτη. Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό η σάρωση των κόμβων σε κάθε βήμα από σειριακή έγινε τυχαία ώστε να υπάρχει ομοιόμορφη αντιμετώπιση τους.

Η διάρκεια του backoff counter επιλέγεται με ομοιόμορφη κατανομή μέσα στα πλαίσια που ορίζονται από το εκάστοτε παράθυρο ανταγωνισμού (contention window). Η μείωση του μετρητή αυτού δεν γίνεται ανάλογα με τον χρόνο που πέρασε αλλά με το πλήθος των ακέραιων χρονοσχισμών που χωρούν στον χρόνο αυτό κατά την διάρκεια των οποίων το κοινό μέσο ήταν αδρανές, όπως άλλωστε ορίζει και το πρωτόκολλο. Το αρχικό μήκος του παραθύρου αυτού είναι αντικείμενο προς μελέτη σε πολλές από τις δοκιμές που εκτελέστηκαν.

Διάγραμμα 8



4.3. Εκτέλεση προσομοιώσεων

Η ιδεατή διάρκεια κάθε προσομοίωσης ήταν 10 λεπτά, χρόνος που θεωρήθηκε ικανοποιητικός αφού τα αποτελέσματα είχαν αμελητέα διαφορά από δοκιμαστικές προσομοιώσεις μεγαλύτερης διάρκειας.

Οι αριθμητικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις είναι παρόμοιες με τις αντίστοιχες του [1] και αναπαράγονται στον πίνακα 5. Η διαφοροποίηση έγκειται στον προσδιορισμό της διάρκειας επιτυχούς μετάδοσης πακέτου T_s και διάρκειας σύγκρουσης T_c . Στην παρούσα προσομοίωση η διάρκεια των T_s και T_c είναι κατά $(DIFS-2*PROPAGATION_TIME)$ μικρότερη από τις αντίστοιχες του [1] Fig.5. Αυτό συμβαίνει διότι η προσομοίωση μας χειρίζεται τα διαστήματα DIFS ως ανενεργό χρόνο, σε κάθε όμως περίπτωση η διαπερατότητα που απεικονίζεται στις σχετικές γραφικές παραστάσεις αφορά το ποσοστό των ωφέλιμων bits. Η διάρκεια $PROPAGATION_DURATION$ αφορά τον χρόνο που ορίζει το [1] για διάδοση του σήματος ΚΑΙ τον χρόνο που χρειάζεται ένας σταθμός για αίσθηση του καναλιού και απόκριση των κυκλωμάτων του στο σήμα. Συμβουλευόμενοι το [8] (Figure 58, 9.2.10: DFC timing relations) επιλέχθηκε μια τιμή 20 μsec για την παράμετρο αυτή. Από πλευράς σταθμού, η περίπτωση σύγκρουσης θεωρούμε ότι είναι ανιχνεύσιμη λόγω μη άφιξης εμπρόθεσμης επιβεβαίωσης οπότε η διάρκεια της είναι η μέγιστη δυνατή και άρα αντιπροσωπεύει την χειρότερη περίπτωση. Όταν ο προσομοιωτής ανιχνεύσει σύγκρουση στο κοινό μέσο λαμβάνει υπ' όψιν του την μέγιστη υπολειπόμενη (μέχρι να σιγήσουν) διάρκεια μεταξύ των ενεργών σταθμών την οποία και θεωρεί τελικά ως διάρκεια σύγκρουσης.

Για την περίπτωση των πακέτων με μέση τιμή 8184 bits και βασική μέθοδο πρόσβασης έχουμε τις εξής σχέσεις:

$$T_s = PHY + MAC + PAYLOAD + PROP. + SIFS + PHY + ACK + PROP. = \\ 128 + 272 + 8184 + 20 + 28 + 128 + 112 + 20 = 8892 \mu\text{sec}$$

$$T_c = \text{PHY} + \text{MAC} + \text{PAYLOAD} + \text{PROP.} + \text{ACK_TIMEOUT} = \\ 128 + 272 + 8184 + 20 + 28 + 300 = 8932 \text{ } \mu\text{sec}$$

Για την περίπτωση των πακέτων με μέση τιμή 8184 bits και RTS/CTS μέθοδο πρόσβασης έχουμε τις εξής σχέσεις:

$$T_s = \text{RTS} + \text{PHY} + \text{PROP.} + \text{SIFS} + \text{CTS} + \text{PHY} + \text{RPOP.} + \text{SIFS} + \text{PROP.} + \text{PHY} \\ + \text{MAC} + \text{PAYLOAD} + \text{SIFS} + \text{PROP.} + \text{PHY} + \text{ACK} = \\ 160 + 128 + 20 + 28 + 112 + 128 + 20 + 28 + 20 + 128 + 272 + 8184 + 28 \\ + 20 + 128 + 112 = 9516 \mu\text{sec}$$

$$T_c = \text{RTS} + \text{PHY} + \text{CTS_TIMEOUT} = 160 + 128 + 300 = 588 \text{ } \mu\text{sec}$$

Πέραν από το φορτίο των 8184 bytes δοκιμάστηκε και η τιμή 1000 για σκοπούς διερεύνησης της συμπεριφοράς του πρωτοκόλλου για μικρά μήκη πακέτων. Για να είναι πιο ρεαλιστικό το αποτέλεσμα τα μήκη πακέτων που αποστέλλουν οι κόμβοι δεν είναι σταθερά αλλά ακολουθούν ομοιόμορφη κατανομή με μέση τιμή την επιθυμητή.

Ο πίνακας 6 συγκεντρώνει τις πληροφορίες που διαφοροποιούν τις προσομοιώσεις. Το αρχικό μήκος παραθύρου είναι γενικά μεταβλητό και αντικείμενο μελέτης. Το μέγιστο μήκος παραθύρου είναι 2048 για όλες τις δοκιμές.

Πίνακας 6

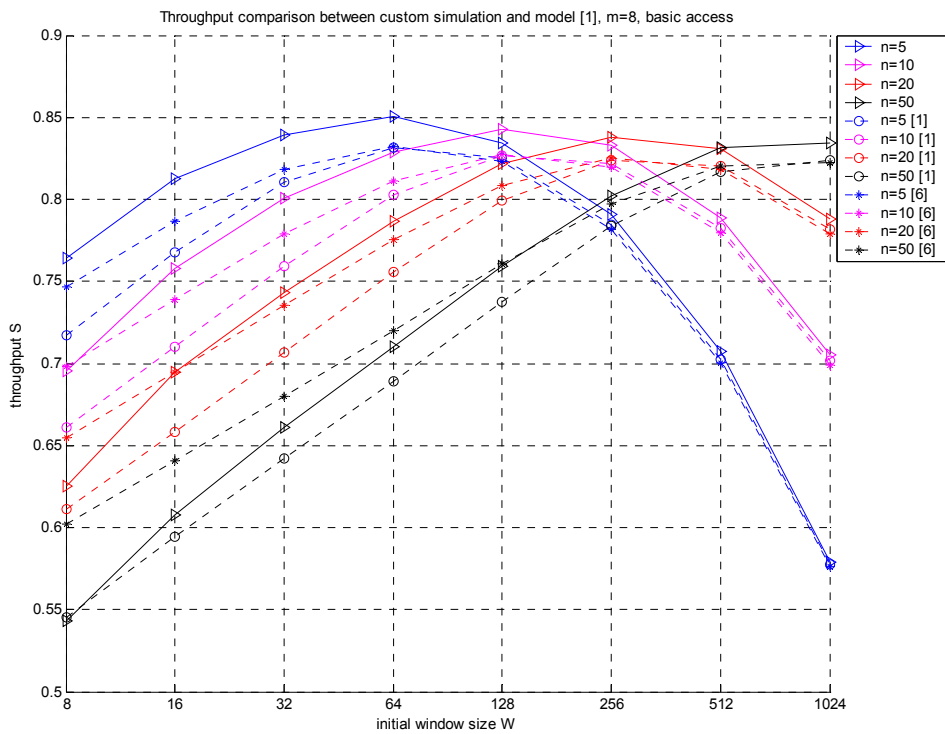
Γραφική παράσταση	Μέθοδος πρόσβασης	Φορτίο (payload)	Επιτρεπόμενες επαναλήψεις ανά πακέτο	Θέμα
30	Βασική	8184 bits	∞	Comparison with [1] and [6]
31	RTS/CTS	8184 bits	∞	Comparison with [1] and [6]
32	Βασική	8184 bits	∞ και 15	Throughput comparison ∞ & 15 retry limits
33	RTS/CTS	8184 bits	∞ και 15	Throughput comparison ∞ & 15 retry limits
34	Βασική και RTS/CTS	1000 bits	∞	Throughput
35	Βασική	8184 bits	∞	Idle & collision slots per packet
36	RTS/CTS	8184 bits	∞	Idle & collision slots per packet
37	Βασική	8184 bits	15	Idle & collision slots per packet
38	RTS/CTS	8184 bits	15	Idle & collision slots per packet
39	Βασική και RTS/CTS	8184 bits	∞	Time % spent on idle & trans. states
40	Βασική και RTS/CTS	8184 bits	∞	Collision probability p
41	Βασική	8184 bits	15	Collision probability p

4.4. Αποτελέσματα, συγκρίσεις, συμπεράσματα

Οι γραφικές παραστάσεις 30 και 31 συγκρίνουν την επίδοση του προσομοιωτή με τα αποτελέσματα των μοντέλων [1] και [6] όσον αφορά την διαπερατότητα με βασική και RTS/CTS μέθοδο πρόσβασης.

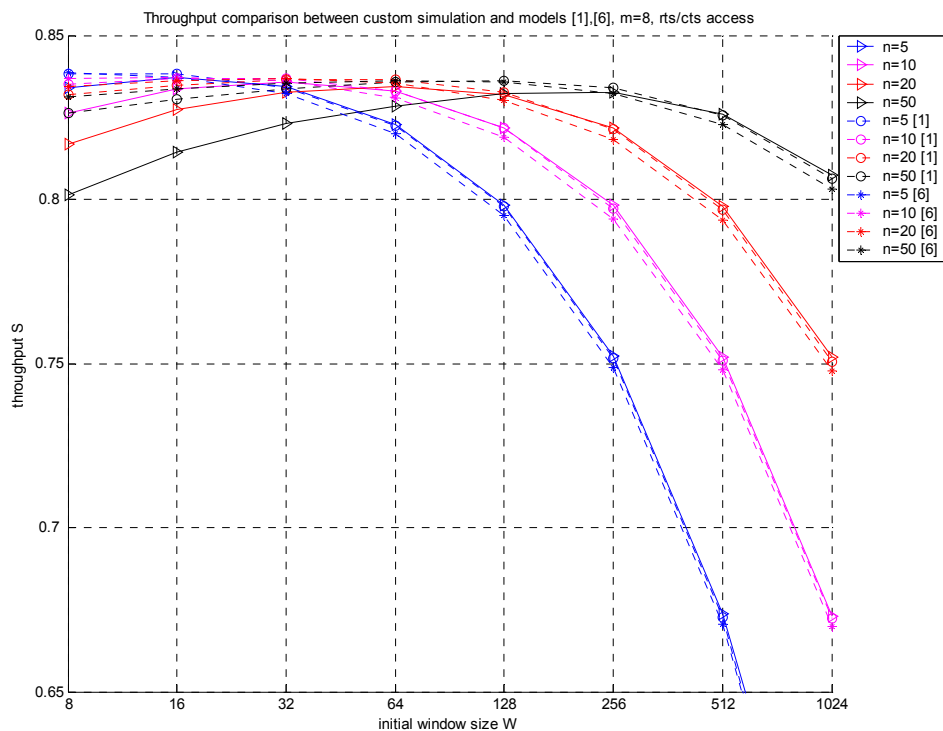
Γραφική παράσταση 30

Διαπερατότητα κοινού μέσου. Αποτελέσματα προσομοίωσης (συνεχής γραμμή με '▷') συγκριτικά με το μοντέλο Bianchi [1] (διακεκομμένη γραμμή με 'ο') και το μοντέλο [6] (διακεκομμένη γραμμή με '*'). Βασική μέθοδος πρόσβασης, φορτίο 8184 bits, μεταβλητό αρχικό μήκος παραθύρου για διάφορα πλήθη ενεργών σταθμών. Οι επιτρεπόμενες επαναλήψεις είναι πρακτικά άπειρες.



Γραφική παράσταση 31

Διαπερατότητα κοινού μέσου. Αποτελέσματα προσομοίωσης (συνεχής γραμμή με '▷') συγκριτικά με το μοντέλο Bianchi [1] (διακεκομμένη γραμμή με 'ο') και το μοντέλο [6] (διακεκομμένη γραμμή με '*'). RTS/CTS μέθοδος πρόσβασης, φορτίο 8184 bits, μεταβλητό αρχικό μήκος παραθύρου για διάφορα πλήθη ενεργών σταθμών. Οι επιτρεπόμενες επαναλήψεις είναι πρακτικά άπειρες.



Η μέγιστη απόκλιση των αποτελεσμάτων του προσομοιωτή από τα αποτελέσματα του [1] και [6] δεν ξεπερνά το 5% και μειώνεται όσο οι τιμές του αρχικού παραθύρου αυξάνουν. Οι ψηλότερες τιμές που δίνει ο προσομοιωτής σε σχέση με το μοντέλο [1] οφείλονται, πιθανότατα, στο ότι λαμβάνει υπ' όψιν του παγώματα του backoff μετρητή ενός σταθμού που προκαλούνται από μεταδόσεις και συγκρούσεις. Το μοντέλο [1] δεν περιλαμβάνει λόγω απλοποίησης τα παγώματα αυτά ενώ το [6], που επίσης υπερεκτιμά την διαπερατότητα σε σχέση με το [1] τα περιλαμβάνει. Αγνοώντας τα παγώματα αυτά συμπίπτει ο χρόνος λήξης του μετρητή και οι μεταδόσεις είναι συχνότερες.

Το μέγιστο εμφανίζεται στην ίδια περιοχή αρχικού μήκους παραθύρου. Ποσοτικά, είναι σε όλες τις περιπτώσεις μεταξύ 80-85% και η ποιοτική μορφή των

καμπύλων είναι παρόμοια. Επιβεβαιώνεται η θεωρητική πρόβλεψη ότι όσο ο λόγος n/W παραμένει κοντά στις τιμές 13-14 (για τα δεδομένα του πίνακα 5) έχουμε μέγιστη διαπερατότητα.

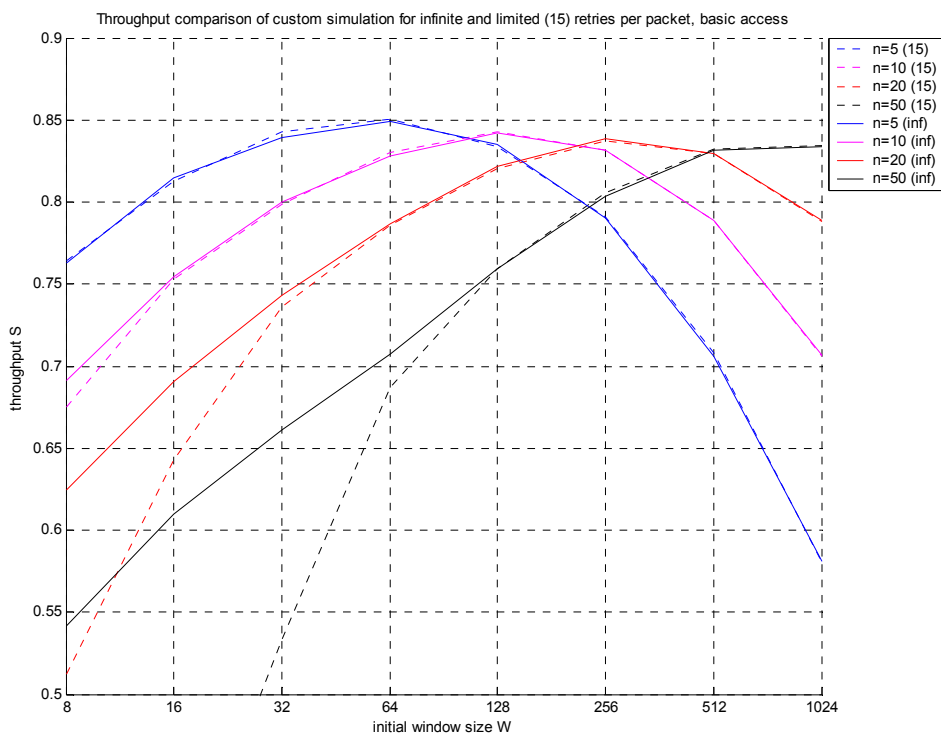
Όσον αφορά την μέθοδο πρόσβασης RTS/CTS έχουμε για όλες τις περιπτώσεις πληθυσμού μέγιστο γύρο στο 83-84%. Η προσομοίωση έδειξε κάπως χειρότερες επιδόσεις του πρωτοκόλλου κατά 2-3% όταν οι πληθυσμοί είναι σχετικά μεγάλοι (20, 50) και το αρχικό μήκος παραθύρου μικρό (8, 16) (σύστημα υπό συμφόρηση).

Γενικά μπορούμε να ισχυριστούμε ότι όσον αφορά την διαπερατότητα η προσομοίωση έχει καλή ταύτιση με τα αποτελέσματα των [1] και [6] και κατά συνέπεια τα επιβεβαιώνει.

Η απουσία ορίου στις απόπειρες μετάδοσης μέχρι την επιτυχία αποδίδει ψηλότερες τιμές διαπερατότητας όσον αφορά την περιοχή αριστερά του μέγιστου όπου επικρατούν οι συγκρούσεις. Το συμπέρασμα προκύπτει με παρατήρηση της γραφικής παράστασης 32 όσον αφορά την βασική μέθοδο πρόσβασης και την 33 για την μέθοδο RTS/CTS. Θέτοντας όριο στις επαναλήψεις έχει ως αποτέλεσμα πιο συχνές επαναφορές του contention window στην αρχική του τιμή και άρα ο μέσος όρος του μήκους του παραθύρου αυτού στο σύστημα είναι μικρότερος από τον αντίστοιχο του μοντέλου με άπειρες επαναλήψεις. Κατά συνέπεια ο σπαταλούμενος σε συγκρούσεις χρόνος είναι μεγαλύτερος, όπως και προβλέπεται στην θεωρητική ανάλυση.

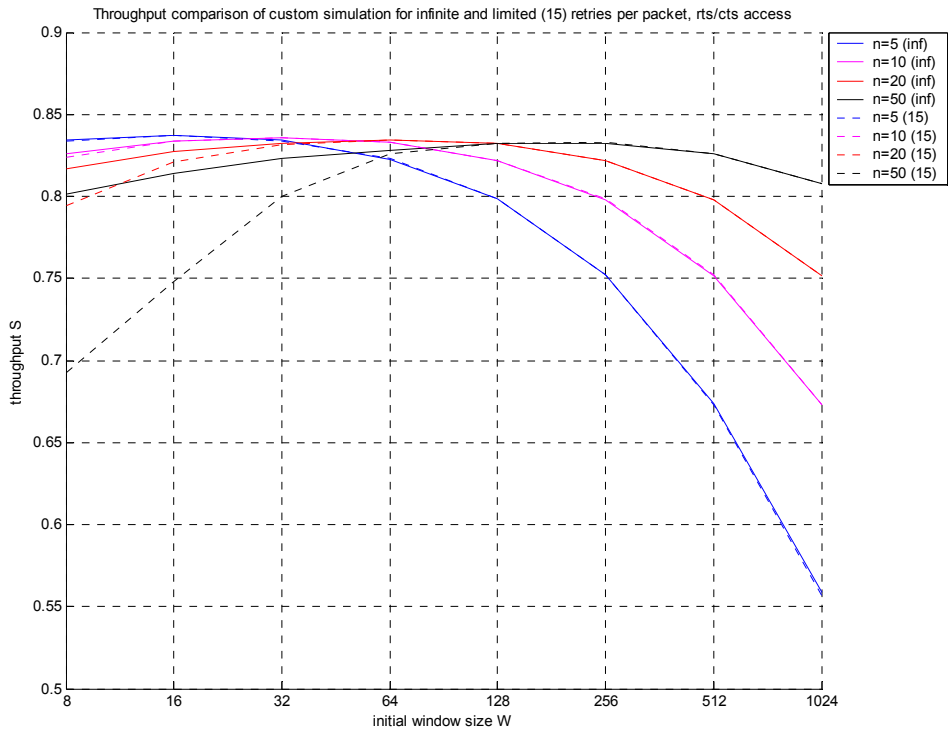
Γραφική παράσταση 32

Διαπερατότητα κοινού μέσου (αποτελέσματα προσομοίωσης). Βασική μέθοδος πρόσβασης, φορτίο 8184 bits, μεταβλητό αρχικό μήκος παραθύρου για διάφορα πλήθη ενεργών σταθμών. Οι διακεκομμένες γραμμές αφορούν την περίπτωση όπου επιτρέπονται άπειρες πρακτικά επαναλήψεις μέχρι την ορθή μετάδοση πακέτου και οι συνεχόμενες πεπερασμένες (15).



Γραφική παράσταση 33

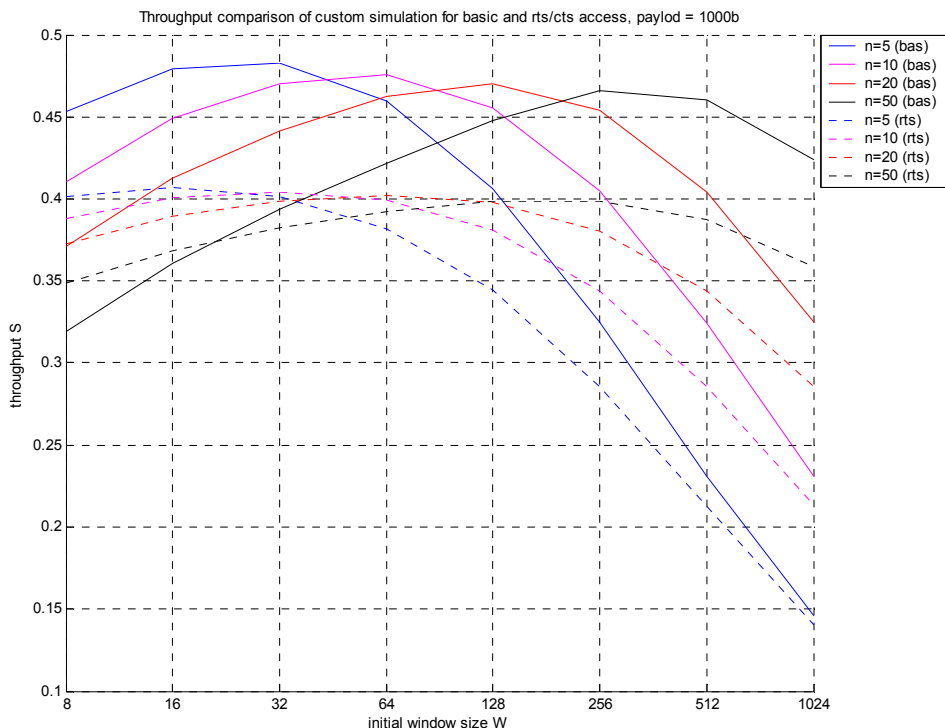
Διαπερατότητα κοινού μέσου (αποτελέσματα προσομοίωσης). RTS/CTS μέθοδος πρόσβασης, φορτίο 8184 bits, μεταβλητό αρχικό μήκος παραθύρου για διάφορα πλήθη ενεργών σταθμών. Οι διακεκομμένες γραμμές αφορούν την περίπτωση όπου επιτρέπονται άπειρες πρακτικά επαναλήψεις μέχρι την ορθή μετάδοση πακέτου και οι συνεχόμενες πεπερασμένες.



Το μήκος πακέτου 1000 bits είναι το αντικείμενο μελέτης της γραφικής παράστασης 34. Όπως αναμενόταν το μέγιστο είναι μειωμένο σε σχέση με μεγαλύτερου μήκους πακέτα και κυμαίνεται μεταξύ 45-50% για τον βασικό και 39-42% για τον RTS/CTS τρόπο πρόσβασης. Αυτό αιτιολογείται από το ότι τα bytes επικεφαλίδων αποτελούν μεγαλύτερη σχετική επιβάρυνση. Η βασική μέθοδος πρόσβασης για αυτό το μήκος πακέτου επιτυγχάνει καλύτερες επιδόσεις από την RTS/CTS και επιβεβαιώνεται η θεωρητική πρόβλεψη της εξίσωσης 2.2.1.14 για πληθυσμούς 5, 10, 20. Για πληθυσμούς 50 κόμβων προβλέπεται θεωρητικά, οριακά έστω, ότι η βασική μέθοδος υστερεί της RTS/CTS. Έχοντας όμως λιγότερες συγκρούσεις σε σχέση με το [1] αναμενόταν το κατώφλι να είναι ψηλότερο.

Γραφική παράσταση 34

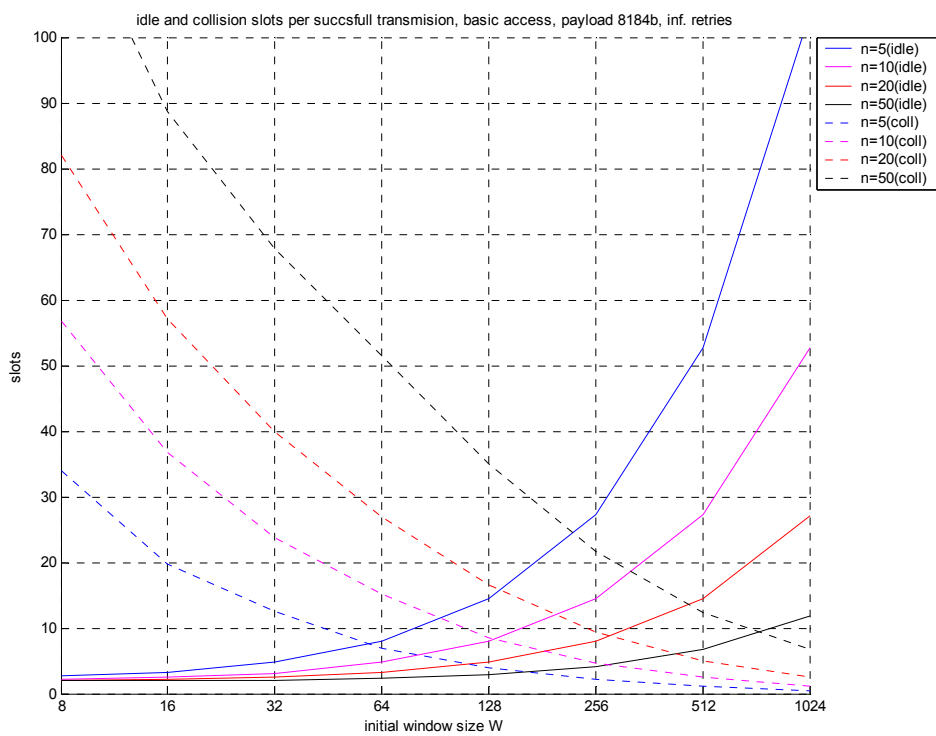
Διαπερατότητα κοινού μέσου (αποτελέσματα προσομοίωσης). Φορτίο 1000 bits, μεταβλητό αρχικό μήκος παραθύρου για διάφορα πλήθη ενεργών σταθμών. Άπειρες επιτρεπόμενες επαναλήψεις μέχρι την ορθή μετάδοση πακέτου. Οι διακεκομμένες γραμμές αφορούν την περίπτωση μεθόδου πρόσβασης RTS/CTS και οι συνεχόμενες βασική μέθοδο.



Οι γραφικές παραστάσεις 35-38 παρουσιάζουν τον μέσο χρόνο ανά επιτυχώς μεταδοθέν πακέτο (σε μονάδες χρονοσχισμών) που σπαταλείται σε αδράνεια και συγκρούσεις.

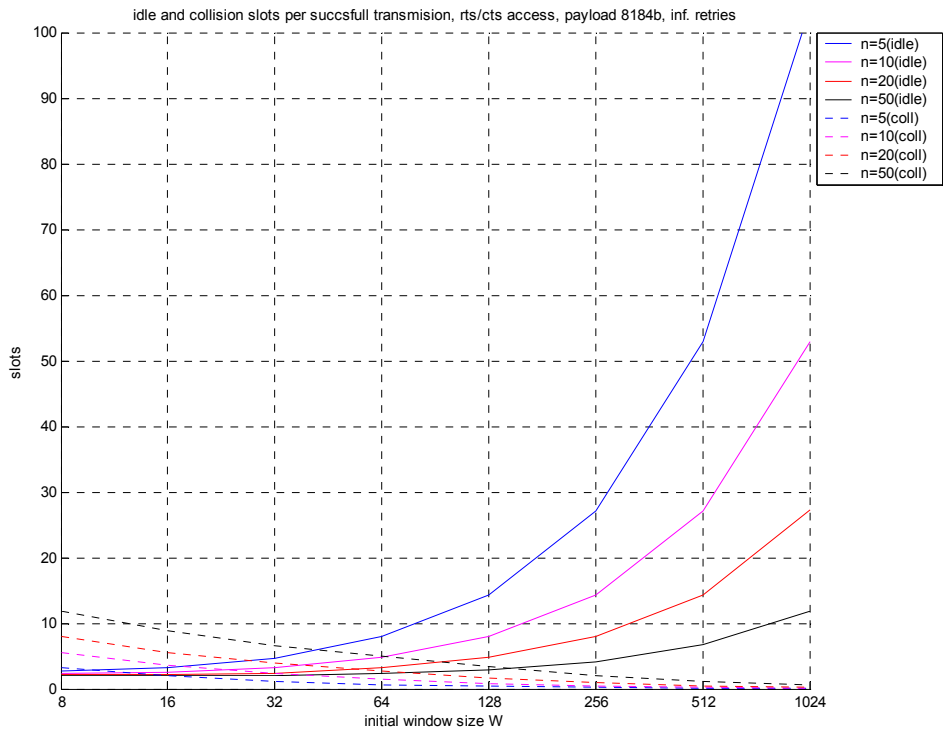
Γραφική παράσταση 35

Χρονοσχισμές ανενεργές (συνεχόμενες γραμμές) και σύγκρουσης (διακεκομμένες γραμμές) που αντιστοιχούν σε κάθε επιτυχημένη μετάδοση. Βασική μέθοδος πρόσβασης, φορτίο 8184 bits, μεταβλητό αρχικό μήκος παραθύρου για διάφορα πλήθη ενεργών σταθμών, άπειρες επιτρεπόμενες επαναλήψεις μέχρι την ορθή μετάδοση πακέτου.



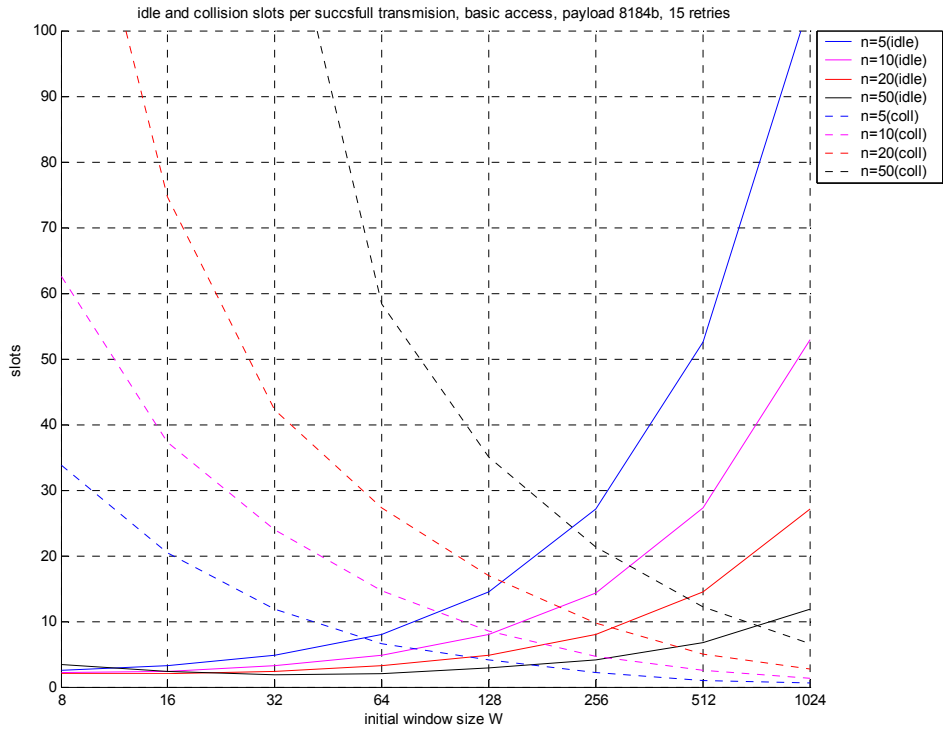
Γραφική παράσταση 36

Χρονοσχισμές ανενεργές (συνεχόμενες γραμμές) και σύγκρουσης (διακεκομμένες γραμμές) που αντιστοιχούν σε κάθε επιτυχημένη μετάδοση. RTS/CTS μέθοδος πρόσβασης, φορτίο 8184 bits, μεταβλητό αρχικό μήκος παραθύρου για διάφορα πλήθη ενεργών σταθμών, άπειρες επιτρεπόμενες επαναλήψεις μέχρι την ορθή μετάδοση πακέτου.



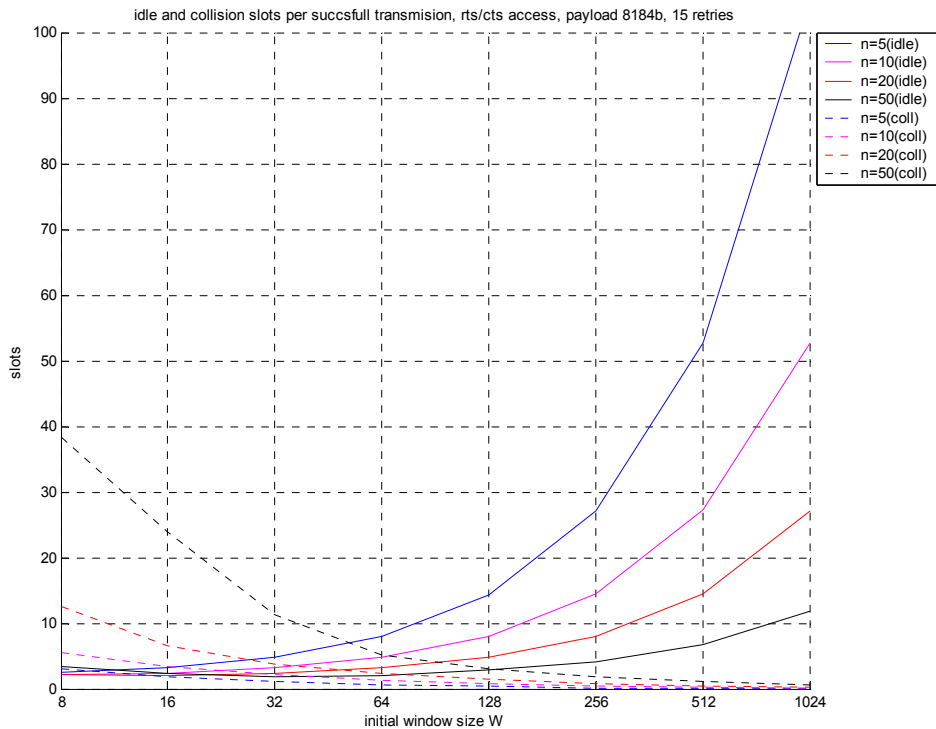
Γραφική παράσταση 37

Χρονοσχισμές ανενεργές (συνεχόμενες γραμμές) και σύγκρουσης (διακεκομμένες γραμμές) που αντιστοιχούν σε κάθε επιτυχημένη μετάδοση. Βασική μέθοδος πρόσβασης, φορτίο 8184 bits, μεταβλητό αρχικό μήκος παραθύρου για διάφορα πλήθη ενεργών σταθμών, 15 επιτρεπόμενες επαναλήψεις μέχρι την ορθή μετάδοση πακέτου.



Γραφική παράσταση 38

Χρονοσχισμές ανενεργές (συνεχόμενες γραμμές) και σύγκρουσης (διακεκομμένες γραμμές) που αντιστοιχούν σε κάθε επιτυχημένη μετάδοση. RTS/CTS μέθοδος πρόσβασης, φορτίο 8184 bits, μεταβλητό αρχικό μήκος παραθύρου για διάφορα πλήθη ενεργών σταθμών, 15 επιτρεπόμενες επαναλήψεις μέχρι την ορθή μετάδοση πακέτου.

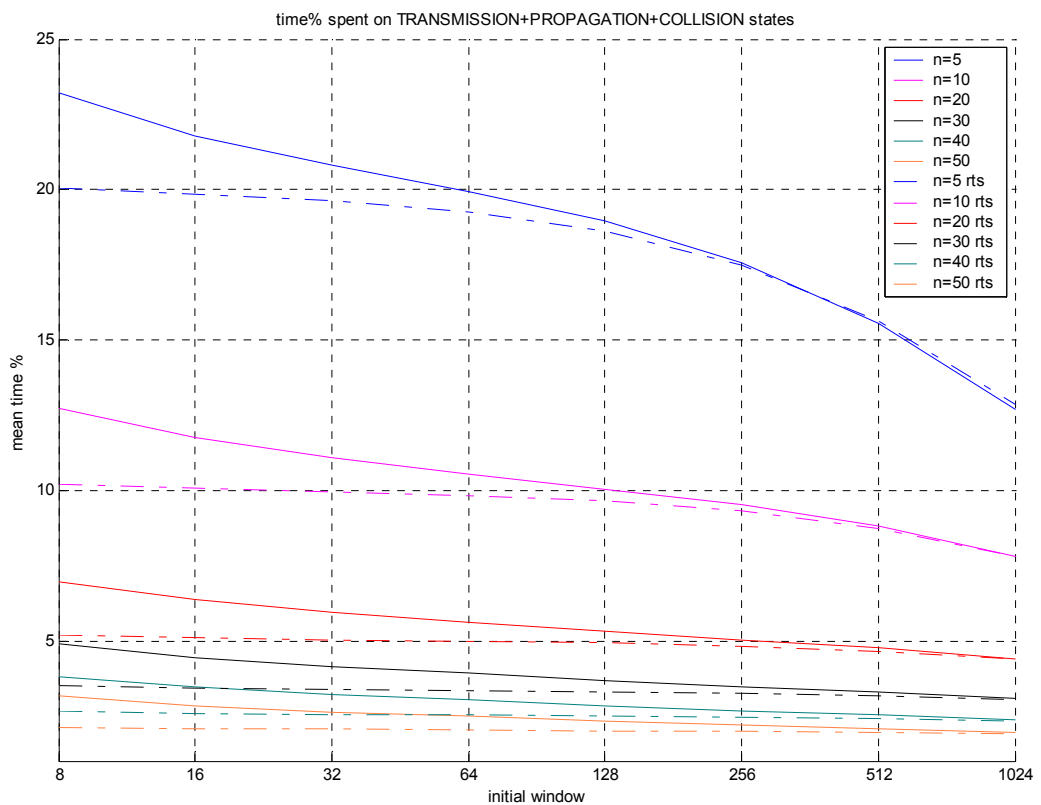


Ο πίνακας 6 διευκρινίζει τις περιπτώσεις που παρουσιάζονται. Παρατηρείται ότι ο χρόνος που αφορά την αδράνεια είναι σταθερός σε όλες τις περιπτώσεις. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η μέθοδος πρόσβασης και ο αριθμός των επιτρεπόμενων επαναμεταδόσεων δεν επηρεάζουν το μέγεθος αυτό. Αντίθετα, η χρήση RTS/CTS μεθόδου μειώνει δραστικά τον σπαταλούμενο σε συγκρούσεις χρόνο ενώ η ύπαρξη ορίου στο πλήθος επαναμεταδόσεων τον αυξάνει. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με αυτά του [1] (Fig.11, Fig.12) παρατηρούμε συμφωνία όσον αφορά τον αδρανή χρόνο ενώ ο χρόνος συγκρούσεων στο [1] είναι μεγαλύτερος. Αυτό συμβαίνει διότι στο [1] το ποσοστό χρόνου που «λείπει» από την διαπερατότητα υπάρχει στις συγκρούσεις αυξάνοντας τις χρονοσχισμές σύγκρουσης ανά πακέτο.

Στις γραφική παράσταση 39 απεικονίζεται το ποσοστό του χρόνου που σπαταλά ένας τυπικός κόμβος σε κατάσταση μετάδοσης (καταστάσεις PROPAGATION, TRANSMISSION, COLLISION) ως συνάρτηση της αρχικής τιμής παραθύρου. Με συνεχόμενες γραμμές απεικονίζονται αποτελέσματα με βασική μέθοδο πρόσβασης και με διακεκομμένες γραμμές με RTS/CTS μέθοδο.

Γραφική παράσταση 39

Ποσοστό χρόνου ενός τυπικού κόμβου που σπαταλείται σε καταστάσεις PROP+TRANSMISSION+COLLISION. Με συνεχόμενη γραμμή η βασική μέθοδος πρόσβασης και με διακεκομμένη η μέθοδος RTS/CTS, φορτίο 8184 bits, μεταβλητό αρχικό μήκος παραθύρου για διάφορα πλήθη ενεργών σταθμών. Οι επιτρεπόμενες επαναλήψεις είναι άπειρες.



Παρατηρούμε ότι το ποσοστό χρόνου που ο σταθμός τελεί υπό μετάδοση μειώνεται καθώς αυξάνεται ο αριθμός των ενεργών σταθμών στο σύστημα. Σε κάθε αύξηση του πληθυσμού έχουμε δυο τάσεις που επενεργούν στο ποσοστό αυτό: μια

ανοδική που οφείλεται στην αύξηση των συγκρούσεων στο σύστημα και μια καθοδική που οφείλεται στο ότι το ποσοστό πετυχημένης μετάδοσης στο σύστημα διαμοιράζεται σε περισσότερους κόμβους και ο ρυθμός συγκρούσεων, αν και αυξάνεται, επίσης διαμοιράζεται σε περισσότερους κόμβους έχοντας μάλιστα υπ' όψιν ότι δεν μετέχουν όλοι οι κόμβοι σε κάθε σύγκρουση. Φαίνεται εκ του αποτελέσματος ότι οι παράγοντες που μειώνουν το εν λόγω ποσοστό χρόνου επικρατούν.

Όσον αφορά την επίδραση του αρχικού μήκους παραθύρου, αύξηση του συνεπάγεται μείωση του χρόνου που ένας κόμβος σπαταλά σε μεταδόσεις ιδίως όταν η μέθοδος πρόσβασης είναι η βασική. Για την βασική μέθοδο, παρατηρώντας την περιοχή γύρω από ένα δεδομένο μήκος παραθύρου βρίσκουμε ότι ο ρυθμός ($=1^n$ παράγωγος) μείωσης του ποσοστού χρόνου μετάδοσης ελαττώνεται καθώς ο πληθυσμός αυξάνει.

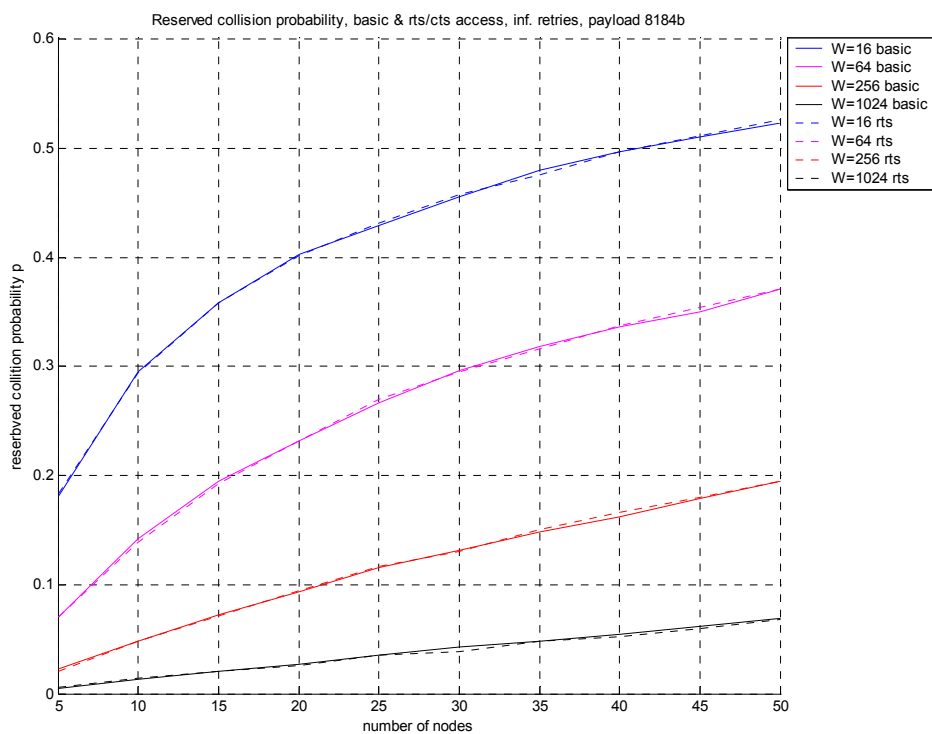
Συγκρίνοντας τις δυο μεθόδους πρόσβασης καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η RTS/CTS όσον αφορά το δεδομένο μήκος πακέτου είναι λιγότερο ενεργοβόρος από την βασική ιδίως για αρχικά μήκη παραθύρου μικρότερα του 128 (όπου και το σύστημα χαρακτηρίζεται από αυξημένους ρυθμούς σύγκρουσης).

Το συμπλήρωμα χρόνου της γραφικής 39 σπαταλείται στις καταστάσεις DIFS, DIFS_FREEZED, BACKOFF_CTRL, BACKOFF_CTRL_FREEZED. Για πληθυσμούς μεγαλύτερους των 5 ενεργών σταθμών παρατηρούμε ότι σε ποσοστό χρόνου >75% ο σταθμός δεν μεταδίδει αλλά ακροάται το μέσο.

Η γραφική παράσταση 40 παρουσιάζει την πιθανότητα σύγκρουσης p που αντιλαμβάνεται ένας σταθμός δεδομένου ότι θα μεταδώσει πακέτο.

Γραφική παράσταση 40

Δεσμευμένη (δεδομένης της μετάδοσης) πιθανότητα σύγκρουσης p που αντιλαμβάνεται ένας σταθμός συναρτήσει του πληθυσμού και για διάφορα αρχικά μήκη παραθύρου. Βασική και RTS/CTS μέθοδος πρόσβασης, άπειρες επαναμεταδόσεις μέχρι την επιτυχία ενός πακέτου, φορτίο 8184 bits. Το μέγιστο μήκος παραθύρου είναι πάντα 2048.



Ο υπολογισμός της προκύπτει από καταμέτρηση των μεταβάσεων που συμβαίνουν από τις καταστάσεις PROPAGATION και TRANSMISSION ως εξής:

$$p = 1 - \left(\frac{PROP_to_TRANS}{PROP_to_TRANS + PROP_to_COLL} \right) \left(\frac{TRANS_to_DIFS}{TRANS_to_DIFS + TRANS_to_COLL} \right)$$

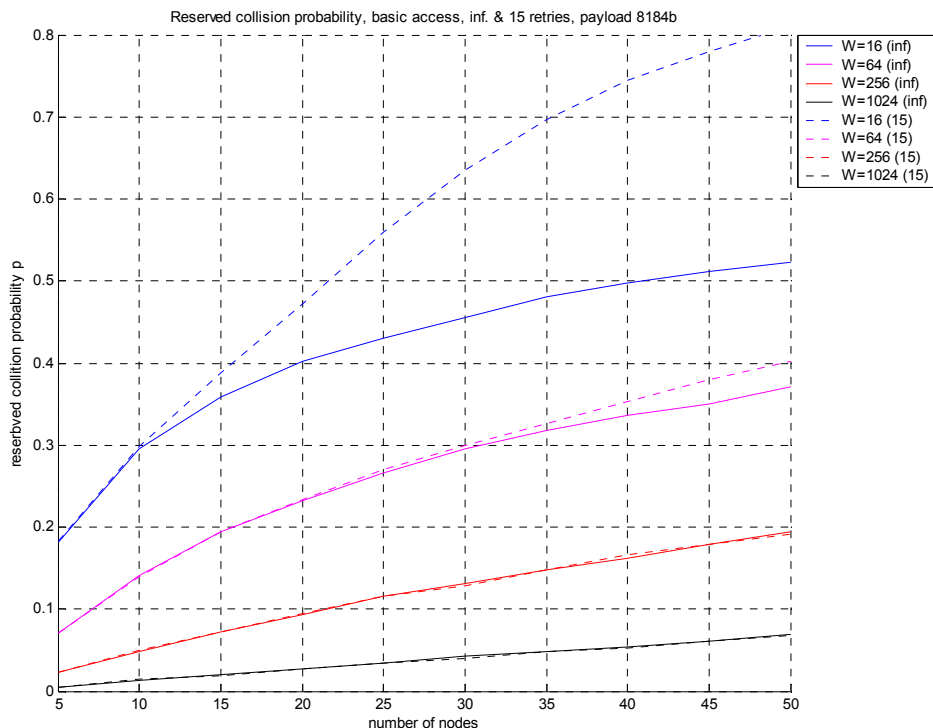
Παρατηρούμε ότι η πιθανότητα είναι ανεξάρτητη της μεθόδου πρόσβασης και αυτό επιβεβαιώνει την θεωρητική πρόβλεψη των σχέσεων 2.1.3 και 2.2.1.5+2.2.1.6 που

εκφράζουν την p ως ανεξάρτητη από την χρονική διάρκεια της σύγκρουσης. Άμεση σύγκριση με τις γραφικές 1- 4 γενικά δεν μπορεί να γίνει διότι οι τελευταίες θεωρούν διαφορετικό μέγιστο μήκος παραθύρου.

Η γραφική 41 συγκρίνει την πιθανότητα σύγκρουσης δεδομένου ότι ένας σταθμός μεταδίδει (p) που δίνουν ένα σύστημα με άπειρες επαναλήψεις μέχρι την ορθή μετάδοση ενός πακέτου και ένα με περιορισμένες (15), οι υπόλοιπες συνθήκες είναι ίδιες με την γραφική 40. Παρατηρούμε ότι οι άπειρες επαναλήψεις αποδίδουν μικρότερες τιμές για την p και αυτό αιτιολογείται από το γεγονός ότι το μέσο μήκος παραθύρου στο σύστημα είναι μεγαλύτερο παρά όταν οι επαναλήψεις είναι πεπερασμένες (στις πεπερασμένες επαναλήψεις συμβαίνει συχνότερη επαναφορά του παραθύρου στο αρχικό του μήκος). Η διαφορά αυτή διευρύνεται όσο ο πληθυσμός των σταθμών αυξάνει και ελαττώνεται όσο το αρχικό μήκος παραθύρου αυξάνει. Η παρατήρηση αυτή συνάδει με τα θεωρητικά συμπεράσματα της σύγκρισης των μοντέλων 2.2.1 και 2.2.2.

Γραφική παράσταση 41

Δεσμευμένη (δεδομένης της μετάδοσης) πιθανότητα σύγκρουσης p που αντιλαμβάνεται ένας σταθμός συναρτήσει του πληθυσμού και για διάφορα αρχικά μήκη παραθύρου. Βασική μέθοδος πρόσβασης, άπειρες και περιορισμένες (15) επαναμεταδόσεις μέχρι την επιτυχία ενός πακέτου, φορτίο 8184 bits. Το μέγιστο μήκος παραθύρου είναι πάντα 2048.



Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα και μελλοντική εργασία

Οι θεωρητικές προβλέψεις συμφωνούν εν γένη τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά όσον αφορά την διαπερατότητα του πρωτοκόλλου. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης καταδεικνύουν ότι οι απλοποιητικές παραδοχές που εισήχθησαν δεν επηρεάζουν αισθητά την επίδοση. Η ανάλυση του κεφαλαίου 2.1 απέδωσε σχέσεις που έδωσαν μια πολύ ικανοποιητική εικόνα της συμπεριφοράς του 802.11. Το μοντέλο του κεφαλαίου 2.2.1 επιβεβαιώνει τα συμπεράσματα του 2.1 με μια διαφορετική προσέγγιση. Βελτίωση στο 2.2.1 έδωσε το μοντέλο του κεφαλαίου 2.2.2 εισάγοντας την έννοια του παγώματος του backoff μετρητή. Τέλος, στο κεφάλαιο 3 συνδυάστηκε το πάγωμα του backoff μετρητή με τις πεπερασμένες προσπάθειες μετάδοσης ώστε να επιτευχθεί ένα πιο ρεαλιστικό μοντέλο. Το μοντέλο αυτό είχε ορισμένες ποιοτικές αποκλίσεις ως προς το 2.2.1 αλλά η ταύτιση τους ήταν μεγάλη. Έγινε προσπάθεια, αυτές οι μικρές ποσοτικά αποκλίσεις να αιτιολογηθούν. Τέλος η κατασκευή ενός μοντέλου το οποίο υλοποιήθηκε σε λογισμικό (κεφάλαιο 4) μας έδωσε την ευκαιρία να επιβεβαιώσουμε τα θεωρητικά αποτελέσματα και να εξάγουμε στοιχεία τα οποία δεν ήταν εύκολο να προβλεφθούν βάση των υφιστάμενων μοντέλων όπως το ποσοστό χρόνου που ένας σταθμός σπαταλά σε ακρόαση ή μετάδοση.

Η ακρίβεια του προσομοιωτή μπορεί να βελτιωθεί αυξάνοντας την διακριτικότητα του. Περισσότερα στατιστικά στοιχεία όπως το πραγματικό μέσο μήκος παραθύρου, η κατανομή του υπολειπόμενου μήκους παραθύρου, οι πιθανότητες μετάβασης μεταξύ των καταστάσεων είναι πληροφορίες που μπορεί να καταγραφούν και να αντιπαραβληθούν με σχετικές εργασίες. Ένα πιο ρεαλιστικό μοντέλο διαύλου θα απέδιδε καλύτερα την συμπεριφορά του πρωτοκόλλου σε περιβάλλον παρεμβολών, διασποράς και εξασθένησης σήματος. Όσον αφορά την σύσταση του πληθυσμού μιας κυψέλης θα ήταν χρήσιμο να περιληφθούν σταθμοί με διάφορα είδη κίνησης (αλληλεπιδραστική, μεταφορά εικόνας, κλπ). Σκόπιμο θα ήταν να δοκιμαστούν σενάρια κίνησης του πρωτοκόλλου TCP προς διερεύνηση της πιθανότητας να παράγεται κίνηση με χαρακτηριστικά αυτοπαρεμφείας.

Βιβλιογραφία

- [1] Bianchi G., “Performance analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function”, IEEE Journal on Selected Area in Communications, V18, N3, 2000.
- [2] G. Bianchi, L. Fratta, M. Oliveri, “Performance evaluation and enhancement of the CSMA/CA MAC protocol for 802.11 Wireless LANs”, in Proc. PIMRC 1996, Taipei, Taiwan, R.O.C., Oct. 1996, pp.392-396.
- [3] P.Chatzimisios, A. C. Boucouvalas and V. Vitsas
Packet delay analysis of the IEEE 802.11 MAC protocol.
IEE Electronic Letters, 4th Sept. 2003, Vol.39, No. 18, pp.1358-1359
- [4] Y. Tay, K. Chua, “A capacity analysis for the IEEE 802.11 MAC protocol”,
Wireless Networks, vol.7, no. 2, March 2001, pp. 159-171.
- [5] O. Tickoo and B. Sikdar, “*On the Impact of IEEE 802.11 MAC on Traffic Characteristics*,” IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 21, no. 2, pp. 189-203, February 2003.
- [6] Mustafa Ergen, Pravin Varaiya, “ Throughput Analysis and Admission Control in IEEE 802.11a” appear on ACM-Kluwer MONET Special Issue on WLAN Optimization at the MAC and Network Levels.
- [7] F. Cali, M. Conti, E. Gregori, “IEEE 802.11 Wireless LAN: capacity analysis and protocol enhancement, INFOCOM 98, San Francisco, CA, March 1998.

- [8] ANSI/IEEE Std 802.11, 1999 Edition, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications.
- [9] Ajay Chandra V. Gummalla, John O. Limb, “Wireless Medium Access Control Protocols”, IEEE Communications Surveys and Tutorials 3(2): (2000)
- [10] Nitin Gupta and P. R. Kumar, “A performance analysis of the IEEE 802.11 Wireless LAN Medium Access Control”, Communications in Information and Systems, pp. 279-304, vol. 3, no. 4, 2003
- [11] J. Weinmiller, H. Woesner, JP Ebert, A. Wolisz, “Analyzing and Tuning the Distributed Coordination Function in the IEEE 802.11 DFWMAC Draft Standard”, proceedings of MASCOT 96, San Jose California, Feb 1996.
- [12] Ivor Horton, “Beginning Java 2”, ISBN 1-861002-23-8, Wrox press, 1999
- [13] Kenneth Litwak, “Pure Java 2”, ISBN 0-672-31654-4, SAMS publishing, 2000
- [14] Σταφυλοπάτης Α. “Ανάλυση επίδοσης υπολογιστικών συστημάτων”, κεφάλαιο 3:Προσομοίωση, εκδόσεις ΕΜΠ, 1996.