****

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Μάθημα: Δίκτυα Επικοινωνιών

8η Εργαστηριακή Άσκηση

Ονοματεπώνυμο : **Σταυρακάκης Δημήτριος**

ΑΜ : **03112017**

Εξάμηνο : 6ο

Ημερομηνία Παράδοσης: 28/5/2015

# communication_networks.jpg

# Μέρος 1ο: Εισαγωγή

Σε αυτή την εργαστηριακή άσκηση θα μας απασχολήσει η συμπεριφορά **ασύρματων** τοπικών δικτύων που ακολουθούν το πρωτόκολλο **IEEE 802.11**. Για να το μελετήσουμε θα δημιουργήσουμε δύο προσομοιώσεις, αρχικά μια με δύο μόνο κόμβους και στη συνέχεια μια με περισσότερους. Για κάθε μία, θα λάβουμε τις κατάλληλες πληροφορίες (μέσω των αρχείων ίχνους-trace files ) και θα καταλήξουμε σε κάποια συμπεράσματα για τις αποδόσεις τους.

# Μέρος 2ο: Πρότυπο ΙΕΕΕ 802.11

Το πρότυπο ΙΕΕΕ 802.11 υποστηρίζει δύο τρόπους λειτουργίας:

* Με παρουσία σταθμού βάσης (ή αλλιώς σημείο πρόσβασης – access point): στην περίπτωση αυτή όλες οι επικοινωνίες περνούν μέσα από αυτόν τον σταθμό.
* Με απουσία σταθμού βάσης (δικτύωση ad hoc): στην περίπτωση αυτή οι υπολογιστές μεταδίνουν απευθείας ο ένας στον άλλο τις πληροφορίες.

Εμείς θα ασχοληθούμε με τη δεύτερη περίπτωση. Θεωρούμε στην περίπτωσή μας πως όλοι οι ραδιοπομποί έχουν την ίδια σταθερή εμβέλεια. Ωστόσο, όπως αναγράφεται και στην εκφώνηση της άσκησης, όταν ένας δέκτης βρίσκεται στην εμβέλεια δύο ενεργών πομπών το σήμα που λαμβάνει είναι παραμορφωμένο και κατά συνέπεια άχρηστο. Επίσης προβλήματα σε αυτού του είδους τις επικοινωνίες, όταν εγκαθίστανται εντός ενός κτιρίου, είναι οι τοίχοι ή άλλα τέτοιου είδους εμπόδια που παρεμβάλλονται μεταξύ των πομπών και επηρεάζουν πρακτικά την εμβέλεια.

Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων, αναπτύχθηκε ήδη το 1990 το πρωτόκολλο Πολλαπλής Πρόσβασης με Αποφυγή Συγκρούσεων ή MACA (Multiple Access with Collision Avoidance). Το πρωτόκολλο αυτό έχει ως βασική ιδέα την εξής:

Ο αποστολέας πρέπει να διεγείρει τον δέκτη έτσι ώστε ο δέκτης να στείλει ένα μικρό πλαίσιο έχοντας αυτό ως αποτέλεσμα , οι σταθμοί που βρίσκονται κοντά σε αυτόν να «καταλάβουν» ότι πρόκειται να πραγματοποιηθεί μετάδοση δεδομένων και να αποφύγουν εκείνοι τις μεταδόσεις για τη χρονική περίοδο που θα γίνεται η μετάδοση του κυρίως (μεγάλου) πακέτου δεδομένων. Τα πακέτα που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι τα εξής:

* RTS (Ready to Sent) : είναι το πλαίσιο που στέλνει ο αποστολέας αρχικά
* CTS (Clear to Sent) : είναι το πλαίσιο με το οποίο απαντά ο παραλήπτης και ενημερώνει για την ετοιμότητα του να λάβει το πακέτο

Με το που ληφθεί λοιπόν το πακέτο CTS ξεκινά η μετάδοση του κυρίως πακέτου. Οι υπόλοιποι σταθμοί που βρίσκονται εντός εμβέλειας, είτε του πομπού είτε του δέκτη, έχουν ενημερωθεί με τα πακέτα αυτά επίσης, και παραμένουν σιωπηλοί καθώς «καταλαβαίνουν» ότι θα πραγματοποιηθεί μετάδοση δεδομένων.

Ωστόσο παρά αυτή τη λειτουργία, και πάλι υπάρχει το ενδεχόμενο να παρατηρηθούν συγκρούσεις. Αν συμβεί μια τέτοια, ο πομπός στον οποίο συνέβη η αποτυχία λήψης του CTS πακέτου θα περιμένει κάποιο χρονικό διάστημα και θα προσπαθήσει ξανά.

Ας επανέλθουμε τώρα στα δύο πρότυπα που αναφέρθηκαν στην αρχή, τα οποία χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο ΙΕΕΕ 802.11. Η πρώτη περίπτωση λειτουργίας (αυτή με παρουσία σταθμού βάσης) ονομάζεται **Σημειακή Λειτουργία Συντονισμού (PCF).**Η δεύτερη (αυτή με απουσία σταθμού βάσης) ονομάζεται **Κατανεμημένη Λειτουργία Συντονισμού (DCF).** Όλεςοι υλοποιήσεις ασύρματων δικτύων αυτού του προτύπου που μελετάμε υποστηρίζουν την λειτουργία DCF, ενώ η λειτουργία PCF είναι προαιρετική. Στην άσκηση αυτή ακολουθείται η δεύτερη περίπτωση του παραπάνω προτύπου.

Στην περίπτωση της εφαρμογής αυτής της λειτουργίας, χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο CSMA ή CSMA/CA, δηλαδή με αποφυγή συγκρούσεων (CSMA with Collision Avoidance). Στο πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιείται ανίχνευση τόσο του φυσικού όσο και του εικονικού καναλιού. Το πρωτόκολλο αυτό υποστηρίζει δύο μεθόδους λειτουργίας:

* Στην πρώτη μέθοδο, όταν ένας σταθμός επιθυμεί να μεταδώσει ένα μήνυμα ανιχνεύει το κανάλι. Όταν το κανάλι είναι αδρανές, τότε ξεκινάει να μεταδίδει. Καθώς ο αποστολέας μεταδίδει δεν ανιχνεύει ξανά το κανάλι αλλά στέλνει ολόκληρο το πλαίσιο, το όποιο όμως μπορεί να καταστραφεί στον παραλήπτη λόγω παρεμβολών εκεί. Αν το κανάλι είναι απασχολημένο, ο αποστολέας αναβάλλει τυχόν μετάδοση μέχρι το κανάλι να γίνει αδρανές και τότε αρχίζει να μεταδίδει. Αν συμβεί μια σύγκρουση, οι σταθμοί που συγκρούστηκαν αναμένουν ένα τυχαίο χρονικό διάστημα χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο δυαδικής εκθετικής οπισθοχώρησης του Ethernet και ξαναδοκιμάζουν αργότερα.
* Στη δεύτερη μέθοδο τώρα , ο τρόπος λειτουργίας του CMSA/CA βασίζεται στο πρωτόκολλο MACAW και χρησιμοποιεί ανίχνευση εικονικού καναλιού. Η λειτουργία του πρωτοκόλλου MACAW είναι η ακόλουθη: Ο αποστολέας στέλνει ένα πλαίσιο αίτησης αποστολής (RTS) μεγέθους 30 bytes που περιέχει το μέγεθος του πλαισίου δεδομένων που θα ακολουθήσει αργότερα. Όταν ο παραλήπτης το λάβει ανταποκρίνεται με ένα πλαίσιο Έγκρισης της Αποστολής (CTS). Όταν στη συνέχεια το πλαίσιο CTS φτάνει στον αποστολέα, εκείνος ξεκινά την αποστολή των δεδομένων. Αφού ολοκληρωθεί η αποστολή, ο παραλήπτης στέλνει στον αποστολέα ένα πλαίσιο επιβεβαίωσης (ACK).Aν δε φτάσει στον αποστολέα τέτοιο πλαίσιο σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα το πρωτόκολλο εκτελείται ξανά. Ένας κόμβος που βρίσκεται κοντά στον αποστολέα μπορεί να στείλει δεδομένα με την προϋπόθεση ότι αυτά δεν θα παρεμβληθούν στο πλαίσιο CTS που πρέπει να φτάσει στον αποστολέα. Διαφορετικά πρέπει να αναμένουν την λήψη του CTS. Ένας κόμβος που βρίσκεται κοντά στον παραλήπτη αποφεύγει την αποστολή δεδομένων μέχρι να ολοκληρωθεί η λήψη όλων των δεδομένων από τον παραλήπτη. Ο χρόνος αυτός που απαιτείται για την αποστολή των δεδομένων βρίσκεται στην ουσία στο πλαίσιο RTS. Παρόλα αυτά, υπάρχει ο κίνδυνος σύγκρουσης και αν αυτή συμβεί ο πομπός περιμένει ένα τυχαίο χρονικό διάστημα και ξαναστέλνει πλαίσιο RTS. Επίσης οι γειτονικοί κόμβοι των κόμβων αποστολής και λήψης ενεργοποιούν ένα σήμα NAV (Network Allocation Vector-Διάνυσμα Εκχώρησης Δικτύου), το οποίο αποτελεί μια εσωτερική υπενθύμιση για κάθε σταθμό ότι δεν πρέπει να στείλει δεδομένα για κάποιο χρονικό διάστημα.

# Μέρος 3ο: Σενάριο προσομοίωσης

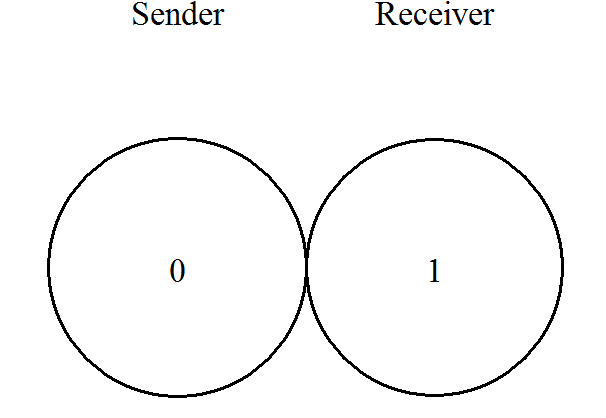
Στην τοπολογία αυτή, ορίζουμε επίπεδο πλέγμα διαστάσεων *opt(gridx) x opt(gridy)*, όπου όλοι οι κόμβοι είναι τοποθετημένοι στο μέσο του άξονα y και σε απόσταση *opt(distx)* μεταξύ τους στον άξονα x, συμμετρικά ως προς το κέντρο του, όπως αναφέρεται στην εκφώνηση. Στην οριζόντια διάταξη που προκύπτει, ο πρώτος κόμβος από αριστερά παράγει *opt(cbrmaxpn)* πακέτα UDP κίνησης CBR με προορισμό τον τελευταίο κόμβο από τα δεξιά. Στο tcl script όπως αυτό βρίσκεται στην εκφώνηση της άσκησης καθορίζονται οι παράμετροι της τοπολογίας. Οι σημαντικότερες από αυτές τις παραμέτρους είναι το πλήθος των ασύρματων κόμβων *opt(nn)*, η οριζόντια απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κόμβων *opt(distx)*, το μέγεθος των πακέτων UDP *opt(udpsize)*, η χρονική στιγμή έναρξης της κίνησης CBR *opt(cbrstart)*, η διάρκεια της προσομοίωσης *opt(simstop)*. Αυτές τις παραμέτρους θα μεταβάλλουμε στα παρακάτω ερωτήματα για να εξάγουμε τα συμπεράσματά μας. Για την μετάδοση των δεδομένων στο δίκτυο χρησιμοποιούμε το πρωτόκολλο UDP. Στη συνέχεια για τις διάφορες προσομοιώσεις με χρήση ενός script σε γλώσσα awk γίνεται μελέτη διαφόρων χαρακτηριστικών του δικτύου και μετράμε διάφορα στοιχεία που μας καθορίζουν την αποδοτικότητά του.

Αφού γράψουμε τον κώδικα, όπως αυτός δίνεται τόσο του tcl όσο και του awk script προχωράμε στην ανάλυση μας.

# Μέρος 4ο: Μελέτη συμπεριφοράς ασύρματου τοπικού δικτύου IEEE 802.11

## 4.1 Επίδραση απόστασης κόμβων

Για να μελετηθεί η επίδραση της απόστασης δύο διαδοχικών κόμβων του δικτύου, θα πραγματοποιηθεί μια σειρά προσομοιώσεων με ένα δίκτυο που θα έχει δύο κόμβους και θα μεταβάλλεται η απόσταση δύο κόμβων, δηλαδή η παράμετρος *opt(distx)* καθώς και η παράμετρος opt(gridx) όπου απαιτείται. Ένα ασύρματο δίκτυο δύο κόμβων, όπως προσομοιώθηκε στο ΝΑΜ με βάση τον αρχικό κώδικα που μας δόθηκε, παρατίθεται ακολούθως:



1. Για αυτές τις προσομοιώσεις και με τη βοήθεια του awk script να γίνει γραφική παράσταση της μέσης τιμής της καθυστέρησης ανά πακέτο συναρτήσει της απόστασης των δύο κόμβων.

Εκτελούμε μια σειρά προσομοιώσεων, όπου η απόσταση των δύο κόμβων μεταβάλλεται από 10 έως 210 με βήμα 20 (11 προσομοιώσεις). Με την εκτέλεση του awk script λαμβάνουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα για τη μέση τιμή της καθυστέρησης ανά πακέτο:

|  |  |
| --- | --- |
| Απόσταση κόμβων  (m) | Μέση καθυστέρηση πακέτου (ms) |
| 10 | 1,747 |
| 30 | 1,748 |
| 50 | 1,748 |
| 70 | 1,748 |
| 90 | 1,748 |
| 110 | 1,748 |
| 130 | 1,749 |
| 150 | 1,749 |
| 170 | 1,749 |
| 190 | 1,749 |
| 210 | 1,749 |

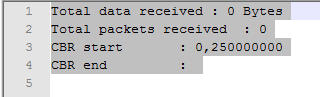
Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, κατασκευάζουμε τη γραφική παράσταση της μέσης καθυστέρησης πακέτου ως συνάρτηση της απόστασης των δύο διαδοχικών κόμβων:

Όπου στον οριζόντιο άξονα είναι η απόσταση των δύο κόμβων (σε m) και στον κατακόρυφο ή μέση καθυστέρηση ανά πακέτο σε (ms)

1. Ποια είναι η ελάχιστη ακέραια τιμή της παραμέτρου opt(distx) για την οποία είναι αδύνατη η μεταφορά δεδομένων μεταξύ των δύο κόμβων; Ποια είναι η εμβέλεια του δικτύου για τους δύο κόμβους;

Μέχρι και τα 210 m, όπως έγινε φανερό από την προηγούμενη σειρά προσομοιώσεων, είναι δυνατή η μεταφορά των δεδομένων μεταξύ των δύο κόμβων, καθώς σε κάθε προσομοίωση έχουμε μεταφορά 306000 bytes. Κάνοντας διάφορες δοκιμές για απόσταση κόμβων μεγαλύτερη των 210m βρίσκουμε ότι η ελάχιστη τιμή απόστασης για την οποία δεν είναι δυνατή η μετάδοση δεδομένων είναι τα 251m. Αυτό το διαπίστωνουμε, καθώς με την ανάλυση μέσω του awk script στην περίπτωση των 251m, διαπιστώνουμε ότι δεν έχουν ληφθεί καθόλου πακέτα. Επομένως για ένα δίκτυο δύο κόμβων η εμβέλεια του δικτύο θα είναι 250m.

Ενδεικτικά, το script σε awk στην περίπτωση των 251 m δίνει το παρακάτω:



1. Τέλος, να γίνει γραφική παράσταση της τιμής της χρησιμοποίησης του καναλιού (utilisation) συναρτήσει της απόστασης των δύο κόμβων. Τι παρατηρείτε;

Γνωρίζουμε ότι η χρησιμοποίηση ενός καναλιού ορίζεται ως , όπου ο πειραματικός ρυθμός μετάδοσης είναι  και ο θεωρητικός τα 11Mbytes. Σύμφωνα με αυτές τις σχέσεις και με ανάλυση των δεδομένων με χρήση ενός awk script λαμβάνουμε τον ακόλουθο πίνακα:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Αποσταση κόμβων  (m) | Ληφθέντα δεδομένα (bytes) | Διάρκεια Μετάδοσης (sec) | Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων (Mbps) | Χρησιμοποίηση (%) |
| 10 | 306000 | 5,981730282 | 0,4092461352 | 3,720419410909% |
| 30 | 306000 | 5,981730482 | 0,4092461216 | 3,720419287272% |
| 50 | 306000 | 5,981730682 | 0,4092461079 | 3,720419162727% |
| 70 | 306000 | 5,981730882 | 0,4092460942 | 3,720419038182% |
| 90 | 306000 | 5,981731082 | 0,4092460805 | 3,720418913636% |
| 110 | 306000 | 5,981731282 | 0,4092460668 | 3,720418789090% |
| 130 | 306000 | 5,981731482 | 0,4092460531 | 3,720418664545% |
| 150 | 306000 | 5,981731682 | 0,4092460395 | 3,720418540909% |
| 170 | 306000 | 5,981731882 | 0,4092460258 | 3,720418416363% |
| 190 | 306000 | 5,981732082 | 0,4092460121 | 3,720418291818% |
| 210 | 306000 | 5,981732082 | 0,4092460121 | 3,720418291818% |

**Σημείωση:** Ο παραπάνω πίνακας προέκυψε με τις στρογγυλοποιήσεις του Excel

Από τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα προκύπτει η γραφική παράσταση της χρησιμοποίησης των δεδομένων ως συνάρτηση της απόστασης δύο διαδοχικών κόμβων.

Όπου στον οριζόντιο άξονα είναι η απόσταση των δύο κόμβων (σε m) και στον κατακόρυφο η χρησιμοποίηση του καναλιού σε ποσοστό επί τοις εκατό (όπως φαίνεται και στον πάνω πίνακα). Στο τέλος της γραφικής παρατηρείται αυτή η σταθερή γραμμή, λόγω των στρογγυλοποιήσεων του excel. Πρακτικά θα ήταν φθίνουσα. Αυτό ισχύει γιατί με την αύξηση της απόστασης δύο κόμβων μειώνεται ο χρόνος μετάδοσης των ίδιων δεδομένων και επομένως και ο ρυθμός μετάδοσης και η χρησιμοποίηση του καναλιού. Ωστόσο, παρατηρούμε ότι η χρησιμοποίηση μειώνεται ελάχιστα. Στην πράξη όμως αυτή η μείωση δεν έχει κάποια σημασία. Μπορούμε να θεωρήσουμε πως η χρησιμοποίηση μένει σχετικά σταθερή.

Τα αποτελέσματα του κώδικα awk που χρησιμοποιήθηκαν για τα παραπάνω είναι τα ακόλουθα:

## 4.2. Επίδραση αριθμού κόμβων

Στη συνέχεια ακολουθεί μια σειρά προσομοιώσεων όπου η μεταβλητή παράμετρος του δικτύου είναι το πλήθος των κόμβων. Στις προσομοιώσεις αυτές η απόσταση δύο διαδοχικών κόμβων είναι 20m.

1. Υπολογίστε με τη βοήθεια του awk script τη μέση τιμή της καθυστέρησης ανά πακέτο για κάθε μία από αυτές τις τοπολογίες, προσαρμόζοντας ανάλογα την παράμετρο opt(gridx) που καθορίζει το μήκος του πλέγματος, όπου απαιτείται. Πώς επηρεάζει τη μέση καθυστέρηση το πλήθος των κόμβων και γιατί; Σχεδιάστε διάγραμμα που απεικονίζει τη μέση καθυστέρηση μετάδοσης πακέτου (σε msec) συναρτήσει του πλήθους των κόμβων της τοπολογίας.

Με εκτέλεση του awk script για την παραπάνω σειρά προσομοιώσεων λαμβάνουμε τη μέση καθυστέρηση μετάδοσης πακέτου, η οποία για κάθε προσομοίωση παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα:

|  |  |
| --- | --- |
| Αριθμός κόμβων | Μέση καθυστέρηση (msec) |
| 2 | 1,747 |
| 4 | 1,749 |
| 8 | 1,750 |
| 12 | 1,766 |
| 16 | 4,149 |
| 20 | 4,170 |
| 26 | 6,516 |
| 32 | 6,551 |

Παρατηρούμε ότι με την αύξηση του αριθμού των κόμβων στο ασύρματο δίκτυο, αυξάνεται και η μέση καθυστέρηση ανά πακέτο. Αυτό είναι λογικό, αφού όσο αυξάνεται ο αριθμός των κόμβων του δικτύου χρειάζεται να πραγματοποιηθεί περισσότερες φορές αποστολή και λήψη πακέτων λόγω των ενδιάμεσων κόμβων που παρεμβάλλονται μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη. Επομένως, σύμφωνα με το παραπάνω, είναι λογικό σε μεγαλύτερο πλήθος κόμβων να έχουμε μεγαλύτερη μέση καθυστέρηση ανά πακέτο. Παρακάτω βρίσκεται το γράφημα της μέσης καθυστέρησης σε ms (κατακόρυφος άξονας) ως συνάρτηση του αριθμού των κόμβων (οριζόντιος άξονας):

1. Πόσο χρόνο διαρκεί η συμπλήρωση των πινάκων δρομολόγησης σε κάθε μία από τις παραπάνω τοπολογίες; Σχεδιάστε διάγραμμα που απεικονίζει το χρόνο συμπλήρωσης των πινάκων δρομολόγησης (σε msec) συναρτήσει του πλήθους των κόμβων της εκάστοτε τοπολογίας.

Ο χρόνος που διαρκεί η συμπλήρωση των πινάκων δρομολόγησης αντιστοιχεί στην τιμή του Routing Delay που εμφανίζει ως αποτέλεσμα εκτέλεση του awk script. Τα αποτελέσματα που μας προέκυψαν παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα:

|  |  |
| --- | --- |
| Αριθμός κόμβων | Διάρκεια συμπλήρωσης πινάκων (msec) |
| 2 | 4,304 |
| 4 | 8,714 |
| 8 | 12,757 |
| 12 | 16,293 |
| 16 | 20,745 |
| 20 | 25,147 |
| 26 | 31,801 |
| 32 | 36,925 |

Από τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα προκύπτει η γραφική παράσταση του χρόνου συμπλήρωσης των πινάκων δρομολόγησης συναρτήσει του αριθμού των κόμβων της τοπολογίας.

1. Σχεδιάστε το πλήθος των βημάτων (hops) που απαιτούνται για τη μετάδοση των πακέτων κίνησης CBR από τον αποστολέα στον παραλήπτη συναρτήσει του πλήθους των κόμβων της εκάστοτε τοπολογίας. Πώς δικαιολογείται η συμπεριφορά αυτή του δικτύου;

Για την απάντηση σε αυτή την ερώτηση, θα κοιτάξουμε στην προσομοίωση στο NAM τον αριθμό των κόμβων στους οποίους μπαίνουν τα CBR πακέτα πριν καταφτάσουν στον τελικό τους παραλήπτη. Αυτός ο αριθμός των μεταβάσεων είναι το πλήθος των βημάτων (hops) που απαιτούνται για τη μετάδοση των πακέτων. Αφού κάναμε την παραπάνω διαδικασία όπως την περιγράψαμε βρήκαμε τα ακόλουθα:

|  |  |
| --- | --- |
| Αριθμός κόμβων | Αριθμός βημάτων |
| 2 | 1 |
| 4 | 1 |
| 8 | 1 |
| 12 | 1 |
| 16 | 2 |
| 20 | 2 |
| 26 | 2 |
| 32 | 3 |

Από τα παραπάνω δεδομένα σχεδιάζουμε τη γραφική παράσταση του αριθμού των βημάτων ως συνάρτηση του αριθμού των κόμβων του δικτύου.

Ο οριζόντιος άξονας μας δείχνει τον αριθμό των κόμβων ενώ ο κατακόρυφος τον αριθμό των βημάτων.

Παρατηρούμε ότι ο αριθμός των ενδιάμεσων βημάτων που απαιτούνται για να φτάσουν τα πακέτα στον παραλήπτη **αυξάνεται** όσο αυξάνονται και οι κόμβοι που υπάρχουν στο δίκτυο μας. Αυτό είναι λογικό και έχει άμεση εξάρτηση από την **εμβέλεια** του δικτύου. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο ερώτημα, η εμβέλεια του ασύρματου δικτύου είναι 250m. Επομένως είναι αναμενόμενο πως όσο αυξάνουμε το πλήθος των κόμβων και διατηρούμε σταθερή την απόσταση δύο διαδοχικών κόμβων, κάποια στιγμή ο τελευταίος κόμβος του δικτύου που είναι ο παραλήπτης, θα απέχει περισσότερο από 250m από τον αρχικό κόμβο που είναι ο αποστολέας. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούμε κατάλληλο αριθμό ενδιάμεσων κόμβων ώστε να είναι δυνατή η μετάδοση των δεδομένων στον τελικό προορισμό τους. Πρακτικά ο αριθμός βημάτων που απαιτούνται είναι ίσος με **(n-1) 20 div 250 +1.**