



Κεφάλαιο 19: Γιατί παίρνουμε μόνο ένα μικρό ποσοστό από τη διαφημιζόμενη ταχύτητα στο 4G;

Καθηγητής Χρήστος Δουληγέρης
E-mail: cdoulig@unipi.gr
Γραφείο: 302



Μια σύντομη απάντηση

Εισαγωγή

- Οι όροι 3G και 4G δεν είναι απόλυτα σαφείς.
- Για το 4G η κύρια τεχνολογία καλείται **Long Term Evolution (LTE)**. Μία άλλη ανταγωνιστική τεχνολογία είναι το WiMAX.
- Μερικοί αναφέρονται ακόμη και στις προηγμένες εκδόσεις του 3G, όπως το HSPA+ σαν 4G.
- Όλα αυτά έχουν δημιουργήσει σύγχυση στο μυαλό του καταναλωτή όσον αφορά στο **ποια είναι η πραγματική τεχνολογία 3G** και **ποια είναι η πραγματική τεχνολογία 4G**;
- Ως γνωστό η ταχύτητα λήψης της τεχνολογίας για στατικούς χρήστες θα έπρεπε να είναι 7,2 Mbps αλλά η ταχύτητα λήψης που λαμβάνετε είναι 267 Kbps, η οποία είναι μόλις το 3,7% από την αναμενόμενη. **Ποιος πήρε το υπόλοιπο 96%**;
- Η διαπερατότητα που παρατηρεί ο χρήστης στο 4G, αν και αρκετά μεγαλύτερη από αυτή του 3G, είναι ακόμα πολύ μικρότερη από τις διαφημιζόμενες τιμές, οι οποίες ακούμε ότι είναι στη περιοχή των 300 Mbps. Γιατί συμβαίνει αυτό;

Απάντηση: Υπάρχουν δύο βασικοί λόγοι:

- μη ιδανικές συνθήκες δικτύου και
- οι επιβαρύνσεις.

Εναέριο δίκτυο

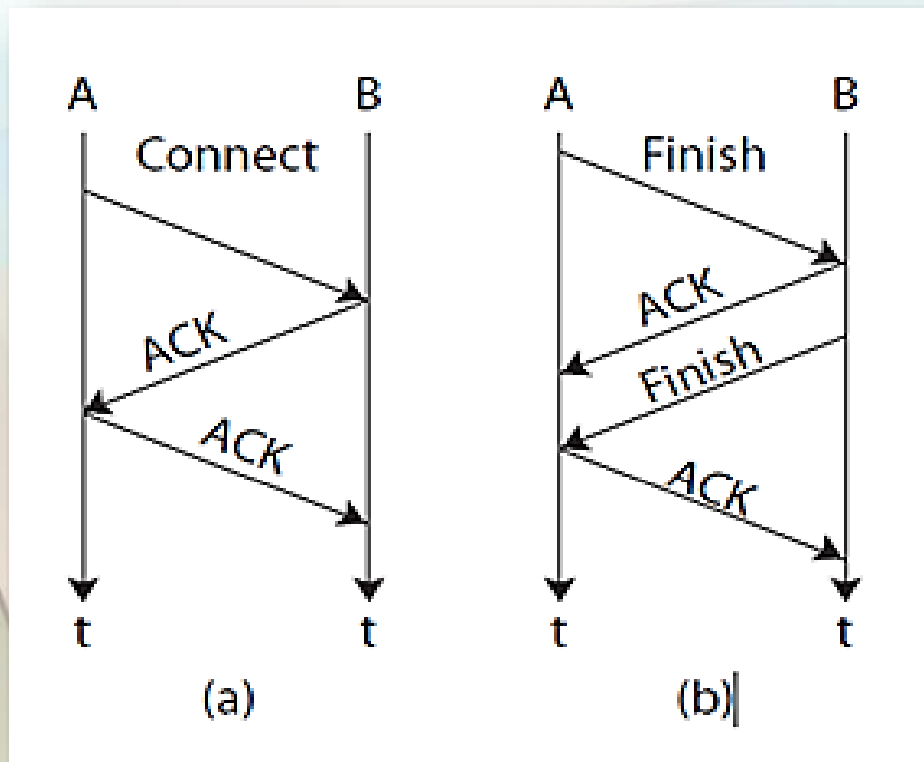
- **Κανάλι μετάδοσης:** Τα ασύρματα κανάλια μετάδοσης υποφέρουν από διάφορους τύπους υποβάθμισης, συμπεριλαμβανομένης της **απώλειας μονοπατιού**, της **σκίασης** και της **πολυβηματικής εξασθένησης**.
- **Παρεμβολή:** Υπάρχουν επίσης πολλοί χρήστες, και οι οποίοι αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Αν υπάρχουν λίγες αλλά ισχυρές παρεμβολές, ή αν οι παρεμβολές είναι αδύναμες αλλά υπάρχουν πολλές στον αριθμό, τότε το λαμβανόμενο SIR θα είναι χαμηλό.

Ενσύρματο δίκτυο

- **Ζεύξεις:** Η κίνηση που δημιουργεί ο κάθε χρήστης ανταγωνίζεται με την αντίστοιχη των άλλων χρηστών στις συνδέσεις πίσω από το εναέριο διεπαφή του δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Συμβαίνει κυκλοφοριακή συμφόρηση σε αυτές τις συνδέσεις και η προκύπτουσα ουρά αναμονής μειώνει τη διαπερατότητα. Επιπρόσθετα, υπάρχει καθυστέρηση διάδοσης που οφείλεται στις αποστάσεις που διανύονται.
- **Κόμβοι:** Ορισμένοι από αυτούς, όπως οι δρομολογητές, αποθηκεύουν τα πακέτα ενώ περιμένουν τις εξερχόμενες συνδέσεις να ετοιμαστούν, αυξάνοντας έτσι το χρόνο καθυστέρησης των πακέτων. Άλλοι κόμβοι, όπως οι εξυπηρετητές, έχουν περιορισμούς επεξεργαστικής ισχύος και μπορεί να προκαλέσουν πολύ μεγάλη συμφόρηση όταν ευρίσκονται σε πολύ μεγάλη ζήτηση.

Πρωτόκολλα

Σημασιολογία πρωτόκολλου: Πολλές λειτουργίες απαιτούν αλληλουχίες μεταγωγής μηνυμάτων. Για παράδειγμα στο TCP κάθε συνεδρία χρειάζεται να εγκατασταθεί και να απεγκατασταθεί, μέσω τριμερούς χειραψίας και αντίστοιχα τεσσάρων μηνυμάτων τερματισμού. Αυτή η διαδικασία απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



(a). Εγκαθίδρυση συνεδρίας μέσω τριών βημάτων και
(b). κατάργηση επικοινωνίας μέσω τεσσάρων βημάτων στο TCP.

(a). Όταν ο A αρχικοποιεί μία της επικοινωνία με τον B, ο B στέλνει μία επιβεβαίωση (acknowledgement), και ο A επιβεβαιώνει την επιβεβαίωση ώστε να ξέρει ο B ότι ο A γνωρίζει ότι η επικοινωνία έχει εγκαθιδρυθεί.

(b). Όταν ο A ξεκινά την παύση της επικοινωνίας, ο B πρώτα το επιβεβαιώνει. Αμέσως μετά τα ο B στέλνει μήνυμα κατάργησης της σύνδεσης, καθώς οι συνδέσεις του TCP είναι αμφίδρομες: ότι ο A δεν έχει άλλα μηνύματα για τον B δεν σημαίνει ότι ο B δεν έχει άλλα μηνύματα για τον A.

Πρωτόκολλα (συνέχεια)

Επικεφαλίδα πακέτου:

- Κάθε επίπεδο προσθέτει μία επικεφαλίδα προκειμένου να μεταφέρει πληροφορίες ελέγχου. Αυτές οι επικεφαλίδες επιβαρύνουν το δίκτυο, ιδιαίτερα αν το ωφέλιμο φορτίο του πακέτου είναι μικρό και το ποσοστό του φορτίου των επικεφαλίδων γίνεται μεγαλύτερο.
- Κάποια πρωτόκολλα επίσης καθορίζουν επίσης ένα όριο κατακερματισμού πακέτων, με αποτέλεσμα μεγαλύτερα πακέτα διαιρούνται σε μικρότερα αυξάνοντας το μέγεθος των επικεφαλίδων ακόμη περισσότερο.

Επίπεδο ελέγχου σηματοδότησης:

- Στο Διαδίκτυο, η πραγματική κίνηση των ροών δεδομένων γίνεται μέσω των καναλιών δεδομένων, ενώ τα σήματα ελέγχου μεταδίδονται μέσω των καναλιών ελέγχου. Αυτά τα κανάλια σηματοδότησης αντλούν τους διαθέσιμους πόρους από τη μετάδοση δεδομένων και τις δεσμεύουν για τα σήματα ελέγχου.
- Στα πρότυπα του 3G και του 4G, έχουν γίνει πολύ μεγάλες προσπάθειες να σχεδιαστούν κατάλληλα τα κανάλια ελέγχου.
- Μερικές φορές όμως διαστασιοποιούνται μικρά με αποτέλεσμα να προκαλείται επιπλέον καθυστέρηση και περαιτέρω μείωση της απόδοσης. Άλλες φορές διαστασιοποιούνται πολύ μεγάλα, καταλανώνοντας χωρίς να απαιτείται μεγάλα ποσά από τη συνολική χωρητικότητα μειώνοντας έτσι την διαπερατότητα.

Πρωτόκολλα (συνέχεια)

Υπάρχουν 5 κύριες λειτουργίες διαχείρισης δικτύου:

- **Απόδοση:** παρακολουθεί, συλλέγει και αναλύει μετρικές απόδοσης.
- **Παραμετροποίηση:** ανανεώνει το σχεδιασμό των παραμέτρων των επιλογών ελέγχου σε διαφορετικά πρωτόκολλα.
- **Χρέωση:** διατηρεί τα δεδομένα που απαιτούνται για τον προσδιορισμό της χρέωσης κάθε χρήστη, π.χ. όταν ο χρήστης χρησιμοποιεί το δίκτυο με χρονοχρέωση.
- **Διαχείριση βλάβης:** παρακολουθεί συνεχώς προκειμένου να δει αν κάποια σύνδεση είτε κάποιος κόμβος καταρρεύσει και στη συνέχεια περιορίζει, επισκευάζει και κάνει τη διάγνωση των αρχικών αιτιών που την προκάλεσαν.
- **Ασφάλεια:** πιστοποιεί, διατηρεί την ακεραιότητα και ελέγχει την εμπιστευτικότητα.

Μια εκτενής απάντηση

Η ταχύτητα της ασύρματης (ή της ενσύρματης) σύνδεσής σας στο Διαδίκτυο δεν μία είναι ένας αριθμός, αλλά πολλοί αριθμοί που εξαρτώνται από τις απαντήσεις στις παρακάτω τέσσερις ερωτήσεις.

– **1^η Ερώτηση:** Σε ποιο επίπεδο μετριέται η ταχύτητα;

Απάντηση: Ανάλογα με το επίπεδο που μιλάμε, αλλάζει το μέρος του ενσύρματου δικτύου και του πρωτοκόλλου που εμπλέκεται. Όσο περισσότερες συνδέσεις τρέχουν ενσύρματο δίκτυο, τόσο μεγαλώνουν και οι πιθανότητες να συμβεί συμφόρηση. Όσο πιο πολλά πρωτόκολλα εμπλέκονται τόσο αυξάνεται η επιβάρυνση.

– **2^η Ερώτηση:** Σε ποιο σημείο μετριέται η ταχύτητα;

Απάντηση: Υπάρχει εξάρτηση από την τοποθεσία των δύο τερματικών στην οποία μετριέται η ταχύτητα, τα διαφορετικά κομμάτια του δικτύου backhaul και τα διαφορετικά πρωτόκολλα τα οποία περιλαμβάνει. Αυτό που καθορίζει την τιμή του τεστ ταχύτητας είναι πάντα η πιο αδύναμη σύνδεση.

– **3^η Ερώτηση:** Σε ποιο σημείο μετριέται η ταχύτητα;

Απάντηση: Υπάρχει εξάρτηση από την τοποθεσία των δύο τερματικών στην οποία μετριέται η ταχύτητα, τα διαφορετικά κομμάτια του δικτύου backhaul και τα διαφορετικά πρωτόκολλα τα οποία περιλαμβάνει. Αυτό που καθορίζει την τιμή του τεστ ταχύτητας είναι πάντα η πιο αδύναμη σύνδεση. Μεγαλύτερη δραστηριότητα του χρήστη μεταφράζεται στην εκπομπή περισσότερων bit, τα οποία προκαλούνται από:

- Παρεμβολές (μία πολλαπλασιαστική συμπεριφορά) όπως είδαμε στο Κεφάλαιο 1: $x/y \geq s$ όπου το s είναι κάποια τιμή στόχος για το SIR.
- Συμφόρηση (μία προσθετική συμπεριφορά) όπως στο Κεφάλαιο 14: $x + y \leq c$ όπου το c είναι κάποιο όριο χωρητικότητας.
- Σύγκρουση (μία δυαδική συμπεριφορά) όπως στο Κεφάλαιο 18: $x, y \in \{0,1\}$ αν οι συνεδρίες x , και y δεν μπορούν να μεταδώσουν την ίδια χρονική στιγμή χωρίς να έχουμε σύγκρουση.

– **4^η Ερώτηση:** Σε ποια εφαρμογή μετριέται η ταχύτητα;

Απάντηση: σε ποια εφαρμογή μετριέται η ταχύτητα; Αυτό έχει σημασία για δύο λόγους.

- (1) **Διαφορετικές μορφές κίνησης χρησιμοποιούν διαφορετικά είδη πρωτοκόλλων, κάποια τα οποία έχουν μεγαλύτερη επιβάρυνση σε σχέση με άλλα.** Για παράδειγμα, τα γραπτά μηνύματα καταλαμβάνουν μικρό ποσοστό της κίνησης του καναλιού δεδομένων αλλά απαιτούν περισσότερη πληροφορία ελέγχου. Η λήψη ενός ηλεκτρονικού μηνύματος και η κίνηση ιστού είναι λιγότερο απαιτητικές ως προς την επιβάρυνση σε σύγκριση με υπηρεσίες VoIP και τηλεδιάσκεψης.
- (2) **Οι προσδοκίες του χρήστη και η συνάρτηση χρησιμότητάς του διαφέρουν πολύ για διαφορετικές εφαρμογές.** Τα διαδραστικά παιχνίδια έχουν πολύ αυστηρές απαιτήσεις τόσο σε καθυστερήσεις όσο και στις μεταβολές τους, ενώ η λήψη αρχείων δεν έχει. Άλλες εφαρμογές μπορούν να ανεχθούν μεγαλύτερη καθυστέρηση επικοινωνίας αν η διαπερατότητα από τη στιγμή της εκκίνησης είναι σταθερά υψηλή. Άλλες εφαρμογές είναι πιο ευαίσθητες σε μεταβολές του χρόνου, αλλά μπορούν να αποδώσουν σε μεταβολές διαπερατότητας με άνεση. Κάθε αντικειμενική μέτρηση της ταχύτητας πρέπει να μεταφραστεί στην υποκειμενική εμπειρία του χρήστη.

Παραδείγματα

Παράδειγμα εναέριας μετάδοσης

Παρακάτω ακολουθεί ένα παράδειγμα 4G LTE. Η διαπερατότητα στο φυσικό επίπεδο και αποκλειστικά για μετάδοση μέσω αέρα, μπορεί να υπολογιστεί όπως:

- Για κάθε υπο-πλαίσιο δεδομένων (μία μονάδα χρόνου η οποία διαρκεί 1 ms), μετράμε πόσα bit στάλθηκαν.
- Το φυσικό επίπεδο του LTE βασίζεται στη διαμόρφωση OFDM, διαιρώντας το φάσμα σε μπλοκ και χρησιμοποιώντας επεξεργασία σήματος σε κάθε ένα από αυτά.
- Ο αριθμός των bit που εκπέμπονται είναι ίσος με:
- (α) αριθμό των συμβόλων σε κάθε μπλοκ συχνοτήτων πολλαπλασιασμένο επί (β) τον αριθμό των μπλοκ, μετά πολλαπλασιασμένο , με (γ) τον αριθμό των bit σε κάθε σύμβολο και μετά πολλαπλασιασμένο (δ) με την ενίσχυση της κωδικοποίησης και κέρδος των πολλαπλών κεραιών.
- Για το (α) παραπάνω, ο αριθμός των συμβόλων είναι (α₁) το γινόμενο του αριθμού των συμβόλων ανά φέρουσα επί (α₂) τον αριθμό των φερουσών ανά μπλοκ συχνοτήτων με (α₃) αφαιρεμένη την επιβάρυνση.
- Ο τύπος που υπολογίζει τα bit που στέλνονται σε κάθε υπο-πλαίσιο είναι:

$$\begin{aligned}
 & \text{Σύμβολα/φερουσα} - \text{επιβαρυνση ελεγχου} \\
 & \times \text{αριθμό φερουσών ανα μπλοκ συχνοτητων} \\
 & - \text{εκτιμηση επιβαρυνσης του καναλιού} \times \frac{\text{bit}}{\text{σύμβολο}} \\
 & \times \text{πληθος των μπλοκ συχνοτητων} \\
 & \times \text{κερδος κωδικοποιησης και πολλαπλών κεραιών}
 \end{aligned}$$

Παράδειγμα εναέριας μετάδοσης (συνέχεια)

Ποιες είναι οι αριθμητικές τιμές των παραπάνω παραγόντων;

- **Σύμβολα ανά φέρουσα:** Συνήθως είναι 12-14 στο LTE.
- **Επιβάρυνση/φέρουσα:** τουλάχιστον 1 αλλά κάποιες φορές 2 ή 3 σύμβολα ανά φέρουσα σε ένα υ-πο-πλαίσιο για τον έλεγχο της σηματοδοσίας.
- **Φέρουσες/μπλοκ συχνοτήτων:** συνήθως 12 φέρουσες ανά μπλοκ συχνότητας πλάτους 180kHz.
- **Εκτίμηση της επιβάρυνσης του καναλιού ανά μπλοκ συχνοτήτων:** το μέγεθος των επικεφαλίδων που χρησιμοποιούνται για την αποστολή πιλοτικών συμβόλων για την εκτίμηση του καναλιού είναι συνήθως 20 σύμβολα για συστήματα πολλαπλών κεραιών τύπου 4 x 4.
- **Bit/Σύμβολο:** Εξαρτάται από τη διαμόρφωση, το λαμβανόμενο λόγο Σήματος προς Παρεμβολή (SIR) και τη δυνατότητα του αποκωδικοποιητή. Ιδανικά μπορεί να είναι 6 για το LTE. Συνήθως είναι 4, χρησιμοποιώντας το μικρότερης δύναμης όταν η κατάσταση του καναλιού δεν είναι αρκετά καλή. Εάν το κανάλι είναι σε ακόμη χειρότερη κατάσταση, τότε ο αριθμός αυτός μπορεί να γίνει 2.
- **Αριθμός των μπλοκ συχνοτήτων:** Ας υποθέσουμε ότι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε όλη την ζώνη των 20 MHz ενός καναλιού LTE, με 1MHz σε κάθε πλευρά για λόγους προστασίας. Επειδή κάθε μπλοκ συχνοτήτων στην OFDM έχει πλάτος 180 kHz έχουμε 100 μπλοκ. Στην πραγματικότητα, η αμφίδρομη επικοινωνία πραγματοποιείται είτε με διπλή διαίρεση συχνότητας (FDD- Frequency Division Duplex) οπότε έχουμε 10MHz δηλαδή 50 μπλοκ ή με διπλή διαίρεση χρόνου (TDD- Time Devision Duplex) οπότε έχουμε διαθέσιμο το 40% του χρόνου για την ανοδική ζεύξη και το 60% του χρόνου για την καθοδική ζεύξη.

Παράδειγμα εναέριας μετάδοσης (συνέχεια)

Ποιες είναι οι αριθμητικές τιμές των παραπάνω παραγόντων;

- **Ρυθμός κωδικοποίησης:** Ο ρυθμός κωδικοποίησης του καναλιού είναι η επιβάρυνση λόγω της κωδικοποίησης του καναλιού που προσθέτει πλεονασμό για να προστατέψει τα εκπεμπόμενα bit από τον θόρυβο του καναλιού. Όσο υψηλότερος ο ρυθμός κωδικοποίησης τόσο λιγότερος πλεονασμός προστίθεται. Ιδανικά, θέλουμε να είναι κοντά στο 1 αλλά μπορεί να είναι χαμηλότερο για συγκεκριμένες κωδικοποιήσεις.
- **Κέρδος πολλαπλών κεραιών:** ιδανικά σε ένα σύστημα κεραιών 4 x 4 η μεταβλητή αυτή θα πρέπει να είναι 4. Αλλά λόγω του περιορισμού του αριθμού των συσκευών (κάποιες φορές είναι δυνατό να εγκατασταθούν μόνο 2 κεραιές) και λόγω της παρεμβολής των καναλιών στον χώρο πολύ συχνά αυτή η μεταβλητή έχει την τιμή 2.

Άρα, ο αριθμός των bit που εκπέμπονται σε 1 ms στην καλύτερη περίπτωση θα είναι:

$$[(14 - 1) \times 12 - 10] \times 6 \times 100 \times 0,9 \times 4 = 315.360 \text{ bit}$$

το οποίο μεταφράζεται σε $315.360/0,001 = 315 \text{ Mbps}$. Θα ήταν πράγματι εντυπωσιακό αν θα μπορούσαμε να έχουμε αυτή τη χρήσιμη διαπερατότητα όλη την ώρα.

Στην πραγματικότητα το πιο πιθανό σενάριο είναι:

$$[(12 - 2) \times 12 - 20] \times 4 \times 50 \times 0,7 \times 2 = 28.000 \text{ bit}$$

το οποίο μεταφράζεται σε $28.000/0,001 = 28 \text{ Mbps}$, δηλαδή περίπου το 8,8% της αρχικής εκτίμησης.

Παράδειγμα εναέριας μετάδοσης (συνέχεια)

- Εάν μετρηθούν η επανεκπομπή και η επιβάρυνση του επιπέδου MAC: το PDCP έχει επικεφαλίδα 3,5 byte συν τον αριθμό ακολουθίας, το RLC έχει επικεφαλίδα 5,5 byte συν τον αριθμό ακολουθίας, το MAC έχει επικεφαλίδα 1 byte και CRC 3 byte, και υπάρχει τουλάχιστον άλλος ένα λόγος απώλειας της χρήσιμης διαπερατότητας 0,9, ρίχνοντας τον ρυθμό στα περίπου 25 Mbps.
- Τα παραπάνω περιλαμβάνουν μόνο την υποβάθμιση του φυσικού επιπέδου και την επιβάρυνση του επιπέδου MAC. Είναι ήδη μικρότερο του 8% της ιδανικής περίπτωσης.
- Αν σε όλα αυτά προσμετρήσουμε την αλληλεπίδραση μεταξύ των χρηστών και των ανώτερων επιπέδων και την συμφόρηση του backhaul δικτύου η διαπερατότητα του δικτύου μπορεί να πέσει κατά ένα παράγοντα 2-5.
- Τώρα, τα 5-10 Mbps σε μία κινητή συσκευή είναι μία αρκετά εντυπωσιακή ταχύτητα και μπορεί να καταστήσει δυνατές πολλές εφαρμογές ενεργές, συμπεριλαμβανομένων των μέσης ποιότητας ρευμάτων βίντεο.
- Η εμπειρία των χρηστών δεν είναι κακή, ειδικά όταν η διαπερατότητα του WiFi στις οικίες των περισσότερων ανθρώπων είναι σήμερα μόνον περίπου 5-20 Mbps, καθώς περιορίζεται από την ταχύτητα του 802.11b ή την ταχύτητα της πύλης του backhaul δικτύου). Αλλά δεν θα πρέπει να εκπλαγείτε αν δεν «αισθανθείτε» την ταχύτητα των 300Mbps στο έξυπνο κινητό σας τεχνολογίας LTE.

Παραδείγματα οπισθόζευξης

Το δίκτυο backhaul κινητής τηλεφωνίας αποτελείται από κάποιες ζεύξεις που συνδέουν την ασύρματη ζεύξη με το υπόλοιπο από άκρο σε άκρο σύστημα όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα, έπειτα με το κύριο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας και μετέπειτα με το δημόσιο δίκτυο IP. Έτσι πολλοί παράγοντες μπορεί να μειώσουν τη χρήσιμη διαπερατότητα.

1^η Περίπτωση: Η διαπερατότητα του TCP μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

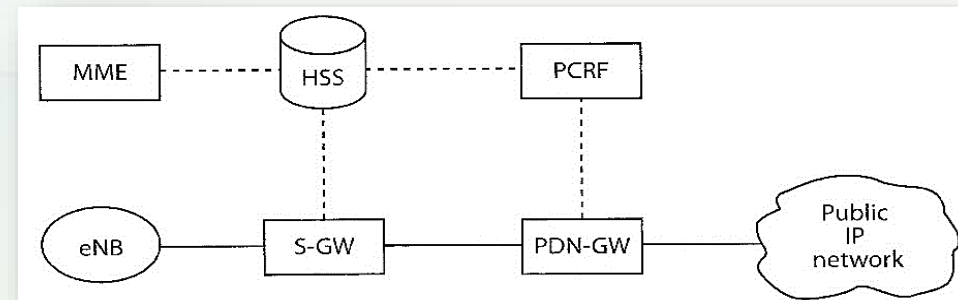
Διαπερατότητα TCP $t = M \times \text{γεθος παραθύρου TCP} / \text{RTT}$,

όπου το RTT είναι ο χρόνος μετ' επιστροφής (Round Trip Time). Το μέγιστο μέγεθος παραθύρου είναι $2^{16} - 1 = 65535$ bytes.

- Ο λόγος ύπαρξης του παραθύρου του δέκτη είναι για να αποτρέψει το πρόβλημα επικοινωνίας μεταξύ ενός γρήγορου πομπού και ενός αργού δέκτη.
- Υποθέστε ότι είστε συνδεδεμένοι με μία σύνδεση 1Gbps και ότι εκπέμπετε ένα αρχείο σε έναν προορισμό με καθυστέρηση 100 ms. Σε αυτή την περίπτωση η μέγιστη διαπερατότητα TCP που μπορεί να επιτευχθεί είναι:

$$65535 \times 8 / 0.1 \approx 5,24 \text{ Mbps}$$

- Παρόλο που είμαστε συνδεδεμένοι με μία ζεύξη Ethernet του 1Gbps, δεν θα πρέπει να περιμένουμε παραπάνω από 5,24 Mbps ενώ μεταφέρουμε το αρχείο, δεδομένου του μεγέθους του παραθύρου του TCP και του RTT.



Τα κύρια μέρη του πυρήνα του εξελικτικού πακέτου στο LTE: η εναέρια μετάδοση (μεταξύ της συσκευής του τελικού χρήστη και του BS ονομάζεται eNB στο LTE), το δημόσιο δίκτυο IP και το υπόλοιπο ενσύρματο δίκτυο που είναι το κύριο δίκτυο της κινητής τηλεφωνίας. Η συμπαγείς γραμμές αντιπροσωπεύουν τις φυσικές συνδέσεις με την ζεύξη μεταξύ του τηλεφώνου και του BS να είναι η μόνη ασύρματη ζεύξη. Οι διακεκομμένες γραμμές αντιπροσωπεύουν τους διαύλους του επίπεδου ελέγχου. Ο BS διέρχεται μέσα από πόλες διαφόρων επιπέδων στο δίκτυο της κινητής τηλεφωνίας πριν φτάσει στο δημόσιο δίκτυο IP.

Παραδείγματα οπισθόζευξης (συνέχεια)

2^η Περίπτωση: Στην πράξη το TCP μπορεί να μην φτάσει στο μέγιστο μέγεθος παραθύρου λόγω του μηχανισμού ελέγχου της συμφόρησης που αποτρέπει τον αποστολέα από το να υπερφορτώσει το δίκτυο.

- Το παράθυρο TCP είναι το $\min\{\text{παράθυρο συμφόρησης}, \text{παράθυρο δέκτη}\}$.
- Το παράθυρο συμφόρησης μειώνεται όταν ανιχνευτεί συμφόρηση μέσα στο δίκτυο, π.χ. μία απώλεια πακέτου. Η διαπερατότητα του TCP για ζεύξεις μακρινών αποστάσεων μπορεί να υπολογιστεί όπως παρακάτω:

$$\text{TCP throughput} \leq \text{MSS} / (\text{RTT} * \sqrt{p})$$

όπου το MSS είναι το μέγιστο μέγεθος του τμήματος (σταθερό για το πρωτόκολλο TCP/IP, συνήθως 1460 byte), και p ο ρυθμός απώλειας των πακέτων. Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα υψηλό ρυθμό απώλειας πακέτων 0,1%, το οποίο μας δίνει το παρακάτω άνω όριο για τη διαπερατότητα:

$$1460 * 8 / (0.1 * \sqrt{0.001}) \approx 3,63\text{Mbps}$$

Παραδείγματα οπισθόζευξης (συνέχεια)

- 3^η Περίπτωση:** το πρόβλημα των εκρήξεων δεδομένων (flash crowds), π.χ. τη μεγάλη επισκεψιμότητα σε έναν δημοφιλή εξυπηρετητή ιστού την ίδια χρονική στιγμή.
- Η εφαρμογή του εξυπηρετητή μπορεί να μην είναι σε θέση να δημιουργήσει δεδομένα αρκετά γρήγορα λόγω της συμφόρησης (στη CPU, στη μνήμη ή στο εύρος του δικτύου).
 - Για παράδειγμα, ο πομπός μπορεί να γράψει λίγα δεδομένα, προκαλώντας την ενεργοποίηση του αλγόριθμου Nagle που καθυστερεί την αποστολή δεδομένων. Στην ουσία συνδυάζει τα μικρά πακέτα πληροφοριών σε μεγάλα για να πετύχει την καλύτερη αξιοποίηση του δικτύου, αλλά αυξάνεται η καθυστέρηση. Αυτό είναι μία απαραίτητη υποχώρηση για να μπορέσουμε να ελέγξουμε την επιβάρυνση και να τη μειώσουμε, αλλά με κόστος, την αύξηση της καθυστέρησης.
 - Αν υποθέσουμε ότι για τους παραπάνω λόγους, χρειάζονται 4 RTT για έναν server για να στείλει data 1 MSS. Η ενεργή διαπερατότητα γίνεται πολύ μικρή:
 - $1400 * 8 / (0,1 * 4) \approx 29,2 \text{ kbps}$
 - Αυτό ίσως εξηγεί γιατί χρειάζεται αρκετή ώρα για να εμφανιστεί μία απλή ιστοσελίδα στο φυλλομετρητή.
 - Αν η συμφόρηση στον εξυπηρετητή είναι όπως αναφέρουμε παραπάνω, δεν έχει σημασία αν το κινητό μας είναι συνδεδεμένο σε δίκτυο 4G LTE ή στο παλιό 2G GSM.

Σύνοψη

Πλαίσιο 19: Η ταχύτητα προσφέρεται σε διάφορες γεύσεις

Μία μετάδοση σε ένα κυψελωτό δίκτυο διασχίζει όχι μόνο τον αέρα, αλλά επίσης το δίκτυο κορμού και το δημόσιον Διαδίκτυο. Η χρήσιμη διαπερατότητα στο επίπεδο εφαρμογής συχνά περιορίζεται από τις μη ιδεατές συνθήκες των πολλών κόμβων και ζεύξεων κατά μήκος των μονοπατιών από το ένα άκρο στο άλλο και από τις αναπό-φευκτες επιβαρύνσεις στην κατασκευή των πακέτων, των μηνυμάτων ελέγχου και των διαδικασιών των πρωτοκόλλων. Τα αποτελέσματα των τεστ ταχυτήτων εξαρτώ-νται από παράγοντες οι οποίοι δίνονται περιληπτικά από το «ποιο επίπεδο, πού, πότε και γιατί».

Τέλος Κεφαλαίου 16 Ερωτήσεις;;;