



Κινητές επικοινωνίες

Κεφάλαιο 5 Σχεδιασμός Δικτύου

Προϋπολογισμός ισχύος ραδιοζεύξης (link budget)

- Συνυπολογίζοντας διάφορες παραμέτρους (απώλειες καλωδίωσης, χαρακτηριστικά κεραιών κτλ), υπολογίζουμε τελικά μία μέγιστη απόσταση μεταξύ Σταθμού Βάσης και κινητού, έτσι ώστε το λαμβανόμενο σήμα να είναι έντασης μεγαλύτερης από κάποιο ελάχιστο όριο που έχουμε θέσει.
- Ο προϋπολογισμός ισχύος γίνεται και για το uplink και για το downlink, για να προσδιοριστεί η «χειρότερη» διαδρομή.
- Στη συνέχεια, διάφορα μαθηματικά μοντέλα που έχουν κατασκευαστεί (τα οποία λαμβάνουν υπόψιν όλες τις απώλειες διάδοσης ραδιοκυμάτων λόγω πολυδιόδευσης) μας δίνουν την ακτίνα της κυψέλης, έτσι ώστε το λαμβανόμενο σήμα να είναι πάντα πάνω από

[Παράδειγμα]

Για την downlink ζεύξη:

- Η ενεργός ακτινοβολούμενη ισχύς είναι $50+19-7=62$ dBm

- Λόγω των απωλειών από τις εισχωρήσεις σε κτίρια, στον δέκτη (κινητή μονάδα) καταφτάνει «ιδανικά» ακτινοβολία ισχύος $62-17=45$ dBm

- Αφού η ευαισθησία στον δέκτη είναι -95 dBm, μπορούν να απωλεστούν $45-(-95)=140$ dB (Μέγιστη αποδεκτή ελάττωση σήματος)

Pt (dBm)	50
Απώλειες εντός της κεραίας (λόγω εσωτερικών καλωδίων, καλωδίων μεταφοράς κτλ.) (dB)	7
Απολαβή κεραίας (dB)	19
Ενεργή ακτινοβολούμενη ισχύς	??
Απολαβή κεραίας κινητού (dB)	0
Απώλειες καλωδίων δέκτη (dB)	0
Κέρδος ενίσχυσης στον δέκτη (dB)	0
Ευαισθησία δέκτη KM (dBm)	-95
Απώλειες λόγω εισχώρησης σε κτίρια (dB)	17
Μέγιστη αποδεκτή ελάττωση σήματος	??

[..Συνέχεια]

Για την uplink ζεύξη:

- Η ενεργός ακτινοβολούμενη ισχύς από την ΚΜ είναι **30 dBm**
- Λόγω των διαφόρων απωλειών αλλά και απολαβών που υπεισέρχονται, στο ΣΒ θα έχουμε τελικά στην «ιδανική» περίπτωση $30+19+4-2-17=34$ dBm
- Αφού η ευαισθησία στον δέκτη είναι -95 dBm, μπορούν να απωλεστούν $34-(-95)=129$ dB (Μέγιστη αποδεκτή ελάττωση σήματος)

Εκπομπή εξόδου (dBm)	30
Απολαβή κεραίας κινητού	0
Απώλειες καλωδίων δέκτη ΚΜ	0
Ενεργή ακτινοβολούμενη ισχύς	??
Απολαβή κεραίας ΣΒ (dB)	19
Κέρδος Απολαβής Δέκτη Διαφορισμού ΣΒ (dB)	4
Απώλειες εντός της κεραίας (λόγω καλωδίων κτλ) (dB)	2
Ευαισθησία δέκτη ΣΒ (dBm)	-95
Απώλειες λόγω εισχώρησης σε κτίρια (dB)	17
Μέγιστη αποδεκτή ελάττωση σήματος	??

Ισοσκελισμένη ισχύς

- Αφού για την downlink ζεύξη η μέγιστη αποδεκτή ελάττωση σήματος είναι μεγαλύτερη (140 dB) από ό,τι η αντίστοιχη για την uplink ζεύξη (129 dB), η ακτίνα της κυψέλης καθορίζεται από τους υπολογισμούς της uplink ζεύξης: με άλλα λόγια, η ακτίνα της κυψέλης πρέπει να είναι τέτοια ώστε για κινητά που κινούνται στα όρια της κυψέλης οι απώλειες να μην περνάνε τα 129 dB.
- Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να μειώσουμε τη εκπεμπόμενη ισχύ του ΣΒ κατά $140-129=11$ dBm, δηλαδή να γίνει 39 dBm. Αυτή είναι και η λεγόμενη ισοσκελισμένη ισχύς.

Λίγα λόγια για τις απώλειες γενικά

- Τα παράθυρα κτιρίων που είναι επικαλυμμένα με μεταλλικές επιφάνειες για μεγαλύτερη ανακλαστικότητα στο φως του ήλιου προκαλούν μεγάλες απώλειες στη διάδοση των ραδιοσημάτων.
- Κτίρια από τσιμέντο με χαλύβδινο σκελετό προκαλούν επίσης μεγάλες απώλειες.
- Για κινητές μονάδες μέσα στο αυτοκίνητο: απώλειες της τάξης 5-12 dB.

Μοντέλο διάδοσης στον ελεύθερο χώρο

- Για την τυπική περίπτωση συχνότητας $f=900$ MHz, οι απώλειες όπως περιγράφονται από τη γνωστή σχέση

$$PL(r)[dB] = 20 \log\left(\frac{4\pi r}{\lambda}\right) = 20 \log\left(\frac{4\pi r}{c/f}\right)$$

δίνονται από τον τύπο

$$PL(r) = 91,52 + 20\log(r) \quad \text{dB}$$

όπου το r είναι εκφρασμένο σε km.

[...Συνέχεια του προηγούμενου παραδείγματος]

- Για να έχω απώλειες 129dB, η μέγιστη ακτίνα r της κυψέλης θα πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση

$$129 = 91,52 + 20\log(r)$$

$$\Rightarrow \log(r) = \frac{129 - 91,52}{20} = 1,874$$

$$\Rightarrow r = 10^{1,874} \approx 74,8km$$

Μοντέλο διάδοσης πάνω από επίπεδο έδαφος με ανάκλαση

- Για την τυπική περίπτωση συχνότητας όπου το ύψος του ΣΒ είναι $h_1=30\text{m}$ και το ύψος της κινητής μονάδας είναι $h_2=1,5\text{m}$, οι απώλειες όπως περιγράφονται από τη γνωστή σχέση

$$PL(r) = 40\log r - 20\log h_1 - 20\log h_2 \quad \text{dB}$$

δίνονται από τον τύπο

$$PL(r) = 86,94 + 40\log(r) \quad \text{dB}$$

όπου το r είναι εκφρασμένο σε km.

[...Συνέχεια του προηγούμενου παραδείγματος]

- Για να έχω απώλειες 129dB, η μέγιστη ακτίνα r της κυψέλης, λαμβάνοντας υπόψη πλέον το μοντέλο της ανάκλασης, θα πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση

$$129 = 86,94 + 40 \log(r)$$

$$\Rightarrow \log(r) = \frac{129 - 86,94}{40} = 1,0515$$

$$\Rightarrow r = 10^{1,0515} \approx 11,25 \text{ km}$$

Μεγάλη διαφορά στη μέγιστη επιτρεπτή ακτίνα της κυψέλης, λαμβάνοντας απλά και μονό υπόψη τις ιδανικές ανακλάσεις!!!

Μοντέλο ΟΚUMURA-HATA

- Ο Okumura πραγματοποίησε σειρά μετρήσεων στην περιοχή του Τόκιο, στο φάσμα από 500MHz μέχρι 2GHz. Στη συνέχεια ο Hata έκανε κάποιες απλοποιήσεις στο μοντέλο του Okumura, καθιστώντας το πιο πρακτικό. Το αποτέλεσμα είναι το μοντέλο Okumura-Hata, στο οποίο έχουν προσμετρηθεί όλοι οι παράγοντες απωλειών.

Μοντέλο ΟΚUMURA-HATA (σε αστικό περιβάλλον πόλης)

$$PL(r) = 69,55 + 26,6\log(f) - 13,82\log(h_{BS}) - a(h_{MS}) + [44,9 - 6,55\log(h_{BS})]\log(r)$$

- Ισχύει για
 - Περιοχή συχνότητας f : 150-1000MHz, 1500-2000MHz
 - Αποστάσεις r : 1-20 Km
 - Ύψος Σταθμού Βάσης h_{BS} : 30-200 m
 - Ύψος κινητής μονάδας h_{MS} : 1-10 m
 - $a(h_{MS})=$
 - $[1,1\log(f)-0,7]h_{MS} - [1,56\log(f)-0,8]$ για μικρές και μεσαίες πόλεις
 - $8,29[\log(1,54h_{MS})]^2 - 1,1$ για μεγάλες πόλεις, $f \leq 200\text{MHz}$
 - $3,2[\log(11,75h_{MS})]^2 - 4,97$ για μεγάλες πόλεις, $f \geq 400\text{MHz}$
- Στις παραπάνω σχέσεις, οι απώλειες είναι εκφρασμένες σε dB, η συχνότητα σε MHz, η απόσταση r σε km, τα ύψη κεραιών σε m

Μοντέλο ΟΚUMURA-HATA (σε όχι αστικό περιβάλλον)

- Έστω L οι απώλειες σε αστικό περιβάλλον. Τότε, για άλλες περιοχές το μοντέλο ΟΚUMURA-HATA δίνει τους εξής τύπους:
- Σε προάστια, οι απώλειες είναι $L_{\text{προ}} = L - 2[\log(f)]^2 - 5,4$
- Σε αγροτική περιοχή, χωρίς έντονες διακυμάνσεις στη μορφολογία του εδάφους: $L_{\text{αγρ}} = L - 4,78[\log(f)]^2 + 18,33\log(f) - 35,94$
- Σε επίπεδη αγροτική περιοχή: $L_{\text{αγρ-επ}} = L - 4,78[\log(f)]^2 + 18,33\log(f) - 40,94$

- Για περιβάλλον πόλης, στα 900MHz και ύψη κεραιών ΣΒ και κινητού 30m και 1,5m αντίστοιχα, το μοντέλο Okumura-Hata δίνει απώλειες

$$L = 126,42 + 35,22\log(r)$$

(συγκρίνετέ το με τον θεωρητικό τύπο που έχουμε υπολογίσει, ο οποίος αναγράφεται και στη διαφάνεια 7)

[...Συνέχεια του προηγούμενου παραδείγματος]

- Για να έχω απώλειες 129dB, η μέγιστη ακτίνα r της κυψέλης θα πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση

$$129 = 126,42 + 35,22 \log(r)$$

$$\Rightarrow \log(r) = \frac{129 - 126,42}{35,22} = 0,073$$

$$\Rightarrow r = 10^{0,073} \approx 1,18 \text{ km}$$

(όπου θεωρήσαμε περιβάλλον πόλης)

[Άλλα μοντέλα??]

- Μοντέλο WALFISH-IKEGAMI:
εφαρμόζεται σε πόλεις με πολύ πυκνά κτίρια, με στενούς δρόμους, και για μικρές κυψέλες

Υπολογισμός ακτίνας της κυψέλης με βάση την κίνηση

- Η κατάλληλη ακτίνα της κυψέλης μπορεί να προσδιοριστεί και με βάση την κίνηση που θέλουμε να εξυπηρετήσουμε.
- Ανακαλούμε την ανάλυση με βάση τους πίνακες Erlang

[Παράδειγμα]

- Έστω ότι έχουμε 105 κανάλια συχνοτήτων, με μέγεθος συστάδας 7*. Θέλουμε να σχεδιάσουμε το σύστημα έτσι ο βαθμός εξυπηρέτησης στην ώρα αιχμής να είναι 2%, γνωρίζοντας ότι η μέση διάρκεια κλήσης είναι 2min, καθώς επίσης και ότι στην ώρα αιχμής το 60% των συνδρομητών επιχειρεί κλήση. Επίσης, η έρευνα αγοράς έδειξε ότι υπάρχουν 6000 χρήστες/km². Πόση θα είναι η ακτίνα της κυψέλης?

(* Υπενθυμίζεται ότι το μέγεθος της συστάδας καθορίζεται κυρίως από τις ενδοκαναλικές παρεμβολές (βλέπε Κεφάλαιο 2))

[Λύση]

- Κάθε κυψέλη θα έχει $105/7=15$ κανάλια
- Έστω M το πλήθος των συνδρομητών ανά κυψέλη. Τότε, η κίνηση που πρέπει να ικανοποιήσει η κυψέλη στην ώρα αιχμής (δηλαδή η μέγιστη δυνατή ζήτηση κίνησης που θα υπάρξει για το δίκτυο) θα είναι

$$A = \frac{(0,6 * M) * 2}{60}$$

- Από τους πίνακες Erlang, βρίσκουμε ότι αν έχουμε 15 κανάλια κίνησης και θέλουμε $GOS=2\%$, τότε η κίνηση που εξυπηρετείται είναι 9,01 Erlang.
- Άρα, το M εκείνο που αν τεθεί στην παραπάνω σχέση θα δώσει $A=9,01$ είναι 450,5 – δηλαδή, οι συνδρομητές ανά κυψέλη θα πρέπει να είναι 450

[Λύση (συνέχεια)]

- Αφού ανά ένα km² υπάρχουν 3000 συνδρομητές, το εμβαδό στο οποίο υπάρχουν 450 συνδρομητές είναι 450/3000=0,15 km².
- Το εμβαδό εξαγωνικής κυψέλης ισούται με 2,598R². Άρα, η ακτίνα R της κυψέλης που χρειάζεται, προκειμένου να εξυπηρετηθεί η προσφερόμενη κίνηση, είναι:

$$R = \sqrt{\frac{0,15}{2,598}} = 0,2402 \text{ km}$$

Απαιτείται λοιπόν κυψέλη ακτίνας περίπου 240 m