

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Μοντέλα Ραδιοκάλυψης

Πέτρος Μπίθας

Αν. Καθηγητής Παν. Αθηνών

pbithas@dind.uoa.gr

Δημοσθένης Βουγιούκας

Αν. Καθηγητής Παν. Πειραιώς

dvougiou@unipi.gr

Μοντέλα Απωλειών Διάδοσης

2

- Τα περισσότερα μοντέλα διάδοσης των ραδιοσημάτων προσεγγίζουν το πρόβλημα της εξασθένησης (Transmission Loss) με συνδυασμό θεωρητικών και πειραματικών δεδομένων.
- Στα μοντέλα που ακολουθούν, d είναι η απόσταση μεταξύ Σταθμού Βάσης και Κινητού Σταθμού σε Km, h το ύψος που βρίσκεται η κεραία του ΚΣ και L η Μέση Τιμή της εξασθένησης του ραδιοσήματος σε dB.

Μοντέλα Απωλειών Διάδοσης

3

- **Παράμετροι μοντέλων**
 - Συχνότητα λειτουργίας
 - Απόσταση πομπού-δέκτη
 - Ύψη κεραιών πομπού και δέκτη
 - Τύπος περιοχής (urban, suburban, rural, κ.λπ.)
 - Τύπος εδάφους και κλίση αν υπάρχει
 - Φυσικά εμπόδια και τα χαρακτηριστικά τους
 - Τεχνητά εμπόδια και τα χαρακτηριστικά τους (π.χ. μέσο ύψος κτιρίων, μέση απόσταση μεταξύ τους)
 - Προσανατολισμός δρόμων σε σχέση με πομπό και δέκτη

Μοντέλα Απωλειών Διάδοσης

4

- Τα τοπογραφικά και γεωγραφικά δεδομένα συνήθως παρέχονται από ψηφιακούς χάρτες (3D) μέσω γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (GIS).



Μοντέλα Απωλειών Διάδοσης

5

- Τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται στην πράξη μπορούν να κατηγοριοποιηθούν
 - ▣ **Εμπειρικά** (Okumura-Hata, COST231-Hata, RACE Dual-Slope) : Οι παράμετροι των μοντέλων έχουν υπολογιστεί με τη μέθοδο της προσαρμογής σε εκτεταμένες μετρήσεις
 - ▣ **Μοντέλα βασισμένα σε ιδεώδεις δομές** (Walfisch-Bertoni, Ikegami) : Οι απώλειες υπολογίζονται αναλυτικά με βάση μια ιδεώδη και απλή δομή του εδάφους και των κτιρίων, ώστε να είναι δυνατή η εφαρμογή θεωρητικών τύπων.
 - ▣ **Ημι-εμπειρικά** (COST 231-Walfisch-Ikegami) : Οι παράμετροι είναι ίδιες με τα προηγούμενα, αλλά προκύπτουν από προσαρμογές σε μετρήσεις.
 - ▣ **Ντετερμινιστικά-Αναλυτικά** : Χρήση αναλυτικών μεθόδων (UTD, GTD, PO, ray tracing) με εκτεταμένες γεωγραφικές πληροφορίες.

Μοντελοποίηση Απωλειών Διάδοσης

6

- Εξισώσεις Maxwell
 - ▣ Πολύπλοκες και μη-πρακτικές
- Free space path loss
 - ▣ Απλό
- Ray tracing models
 - ▣ Απαιτεί πληροφορία site-specific
- Εμπειρικά μοντέλα
 - ▣ Δεν γενικεύονται πάντα και σε άλλα περιβάλλοντα
- Στατιστικά μοντέλα
 - ▣ Βασίζονται σε συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας, όπως Rayleigh, Rician και η Log-Normal.
- Αναλυτικά μοντέλα
 - ▣ Χρησιμοποιούν γεωμετρικά χαρακτηριστικά και τη θεωρία H/M διάδοσης

Η επιλογή του καταλληλότερου μοντέλου εξαρτάται από την εκάστοτε εφαρμογή.

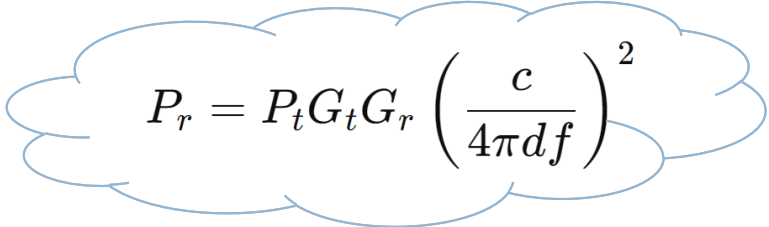
Μοντέλο Ελευθέρου Χώρου (Free Space)

7

- Αποτελεί το βασικό θεωρητικό μοντέλο για τον υπολογισμό της εξασθένησης των ραδιοσημάτων που οφείλεται στην απομάκρυνση του κινητού σταθμού από την κεραία εκπομπής του ΣΒ.
- Η περιοχή στην οποία κινείται ο συνδρομητής θεωρείται ιδανική χωρίς γεωγραφικούς περιορισμούς.
- Η απώλεια διάδοσης δίνεται από την σχέση:

$$PL(dB) = 10 \log_{10} \frac{P_R}{P_T} = 10 \log_{10} G_T + 10 \log_{10} G_R - 20 \log_{10} f - 20 \log_{10} d + k$$

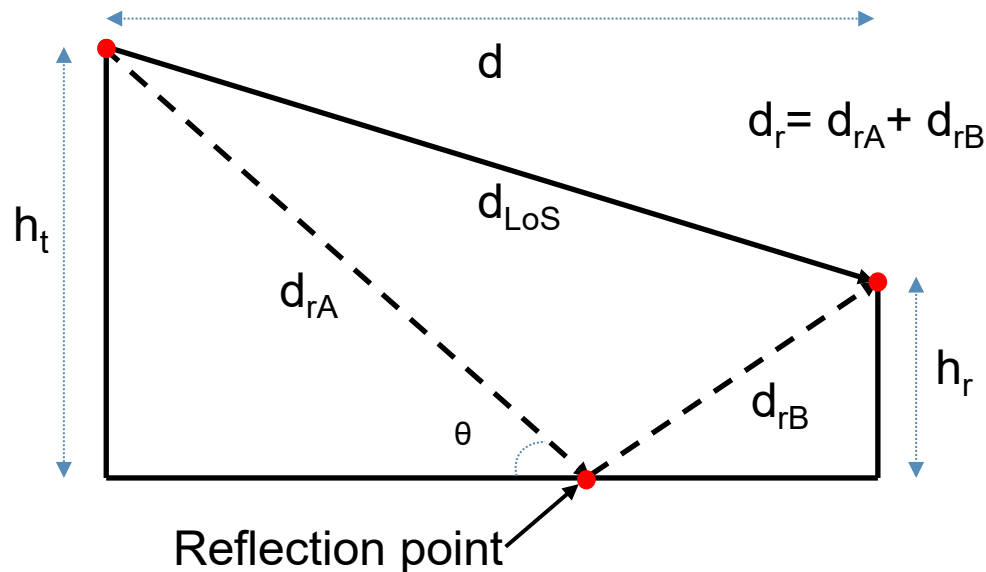
$$k = 20 \log_{10} \left(\frac{3 \times 10^8}{4\pi} \right) = 147.6$$


$$P_r = P_t G_t G_r \left(\frac{c}{4\pi d f} \right)^2$$

Μοντέλο Επίπεδης Γήινης Επιφάνειας (Plane Earth)

8

- Το μοντέλο αυτό έχει σαν θεωρητική βάση την ιδανική περίπτωση μιας γήινης επίπεδης επιφάνειας με πεπερασμένη αγωγιμότητα
 - ▣ χωρίς να λαμβάνει υπόψη το σχήμα του εδάφους και διάφορα υπαρκτά εμπόδια (κτίρια, δένδρα κ.λπ.).



Μοντέλο Επίπεδης Γήινης Επιφάνειας (Plane Earth)

9

- Το μοντέλο αυτό έχει σαν θεωρητική βάση την ιδανική περίπτωση μιας γήινης επίπεδης επιφάνειας με πεπερασμένη αγωγιμότητα
 - ▣ χωρίς να λαμβάνει υπόψη το σχήμα του εδάφους και διάφορα υπαρκτά εμπόδια (κτίρια, δένδρα κ.λπ.).
- Χρησιμοποιείται όπως και το προηγούμενο μοντέλο σαν αναφορά για τη σύγκριση των διαφόρων μοντέλων.

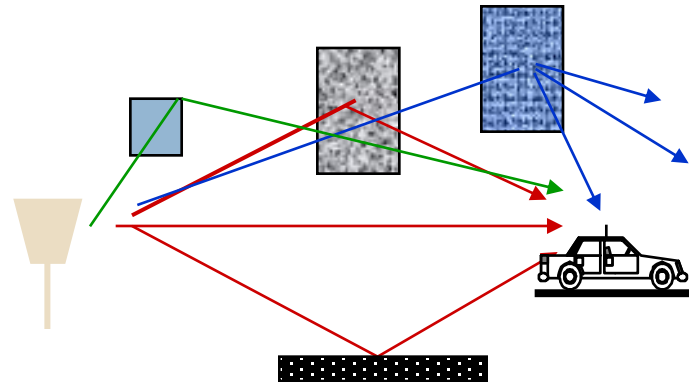
$$PL(dB) = 40 \log(d) - 10 \log G_t(\theta_t, \varphi_t) - 10 \log G_r(\theta_r, \varphi_r) - 20 \log h_t - 20 \log h_r$$

$$P_r(d) = P_t \cdot G_t(\theta_t, \varphi_t) \cdot G_r(\theta_r, \varphi_r) \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \cdot 4 \sin^2 \left(\frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d} \right) \quad \text{χωρίς προσέγγιση}$$

Στατιστικά Μοντέλα Ραδιοδιαύλων

10

- Τυχαίος αριθμός πολυδιαδρομικών συνιστωσών, όπου η κάθε μια από αυτές χαρακτηρίζεται από:
 - Τυχαίο Πλάτος
 - Τυχαία φάση
 - Τυχαία ολίσθηση Doppler
 - Τυχαία καθυστέρηση
- Μεταβολή αυτών με τον χρόνο τ , t
- Συνεπώς έχουμε χρονικά μεταβαλλόμενες κρουστικές αποκρίσεις των ραδιοδιαύλων.



Εμπειρικά Μοντέλα

11

- Χρησιμοποιούνται στις προσομοιώσεις κυψελωτών συστημάτων
- **Okumura model**
 - Εμπειρικό (site/freq specific)
 - Μη εύχρηστο (uses graphs for various parameters, eg frequency, height)
 - 150MHz, 450MHz, 900MHz
- **Hata model**
 - Αναλυτική προσέγγιση του Okumura μοντέλου (using empirical equations)
 - Ευρέως χρησιμοποιούμενο μοντέλο

Εμπειρικά Μοντέλα

12

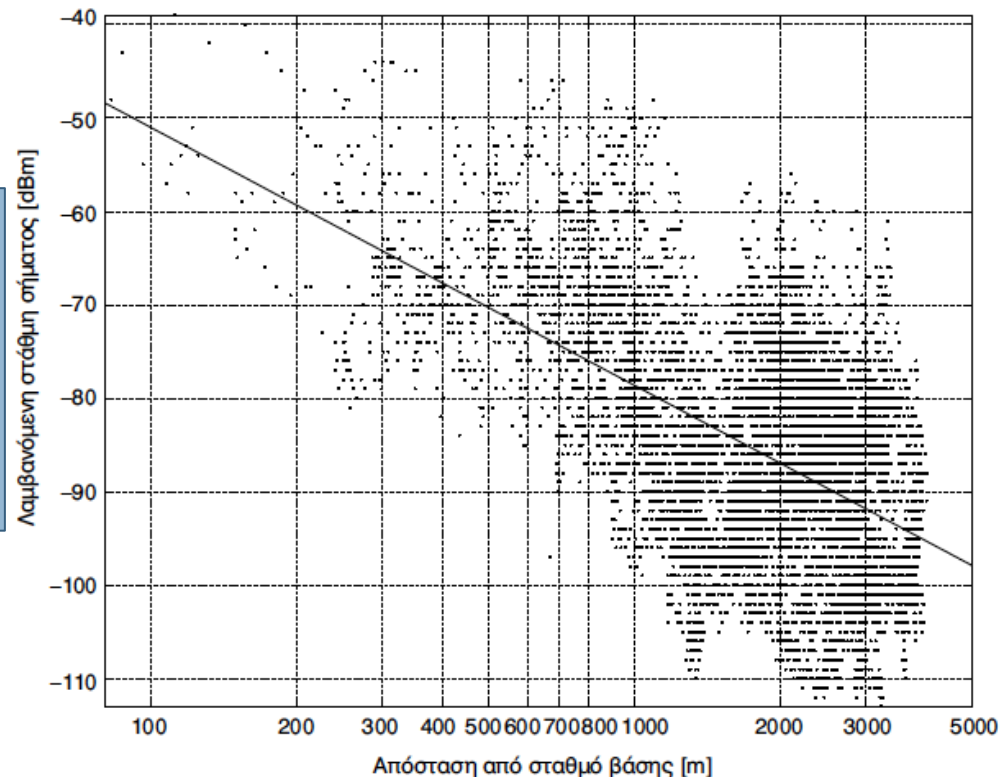
- Χρησιμοποιούνται στις προσομοιώσεις κυψελωτών συστημάτων
- **Cost 136 Model**
 - ▣ Επέκταση του Hata σε υψηλότερες συχνότητες (2 GHz)
- **Walfish/Bertoni**
 - ▣ Cost 136 επέκταση ώστε να ληφθούν υπόψη επιπλέον και οι περιθλάσεις (diffractions) από τις στέγες των κτιρίων.

Εμπειρικά Μοντέλα

13

- Πραγματοποιείται μία εκτεταμένη σειρά ραδιομετρήσεων απώλειας διαδρομής, και στη συνέχεια προσαρμόζουμε μία κατάλληλη συνάρτηση (γράφο) στις ραδιομετρήσεις, με παραμέτρους που παράγονται για το συγκεκριμένο σενάριο (συχνότητα, ύψη κεραίας, περιβάλλον, κ.λπ.)

Το προτεινόμενο εμπειρικό μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να σχεδιάσει συστήματα σε παρόμοια περιβάλλοντα



Εκθετικό μοντέλο υπολογισμού απωλειών διάδοσης

14

- Θέλουμε να εκφράσουμε τη λαμβανόμενη ισχύ P_r σε απόσταση d συναρτήσει της ισχύος σε κάποια απόσταση αναφοράς d_0
- Η τελευταία μπορεί να υπολογιστεί
 - ▣ Χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο απωλειών διάδοσης ελευθέρου χώρου
 - ▣ Πραγματοποιώντας μετρήσεις στο περιβάλλον εφαρμογής
- Πρέπει να βρίσκεται στο μακρινό πεδίο της κεραίας και να είναι μικρότερη από οποιαδήποτε πιθανή χρησιμοποιούμενη απόσταση στο ασύρματο σύστημα

Εκθετικό μοντέλο υπολογισμού απωλειών διάδοσης

15

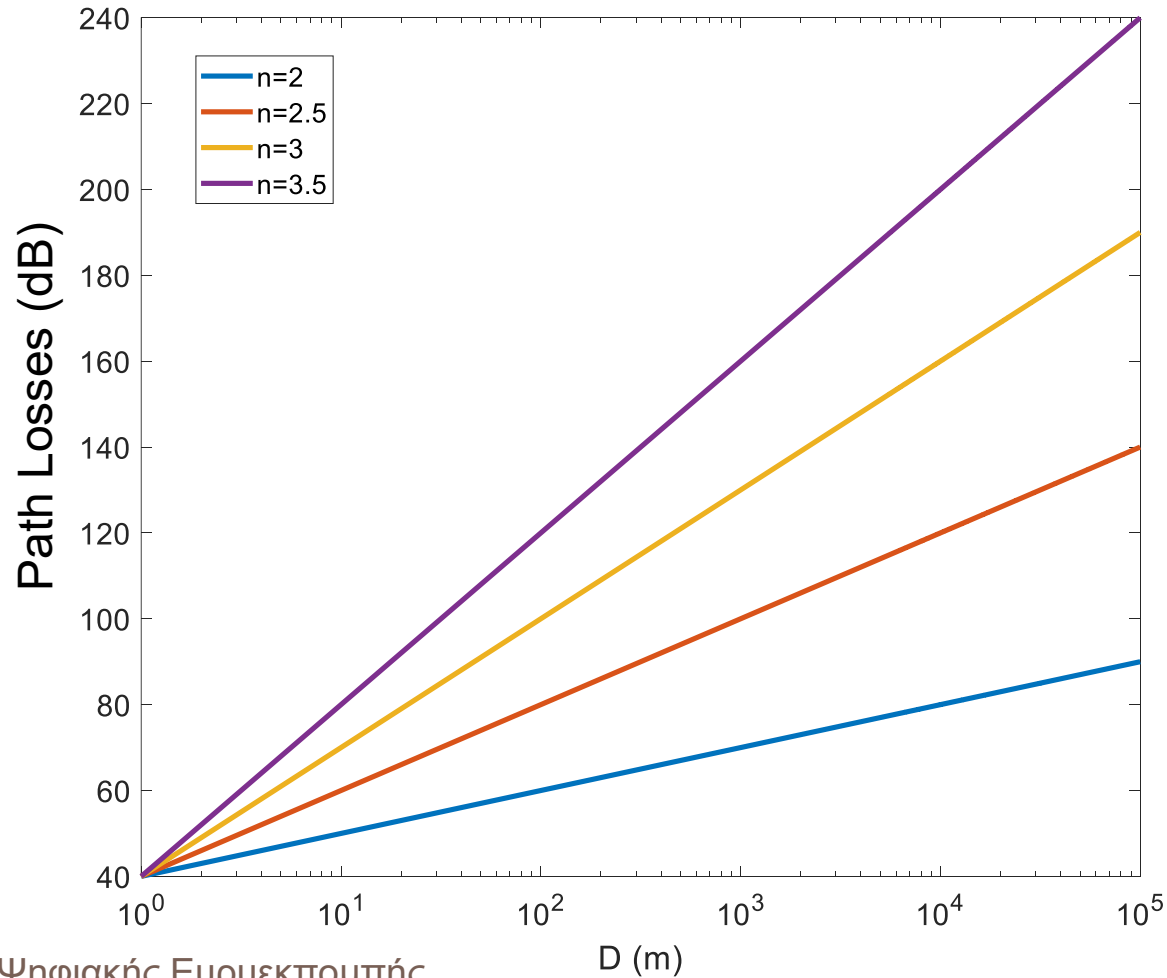
- Η απλούστερη μορφή ενός εμπειρικού μοντέλου απωλειών διάδοσης είναι το μοντέλο απλής κλίσης (power law model):

$$L(dB) = 10n \log\left(\frac{r}{r_{ref}}\right) + L_{ref}$$

- r : απόσταση μεταξύ σταθμού βάσης και κινητού σταθμού
- n : συντελεστής απωλειών διάδοσης
- L_{ref} : προβλεπόμενη απώλεια σε μια απόσταση αναφοράς

Εκθετικό μοντέλο υπολογισμού απωλειών διάδοσης

16



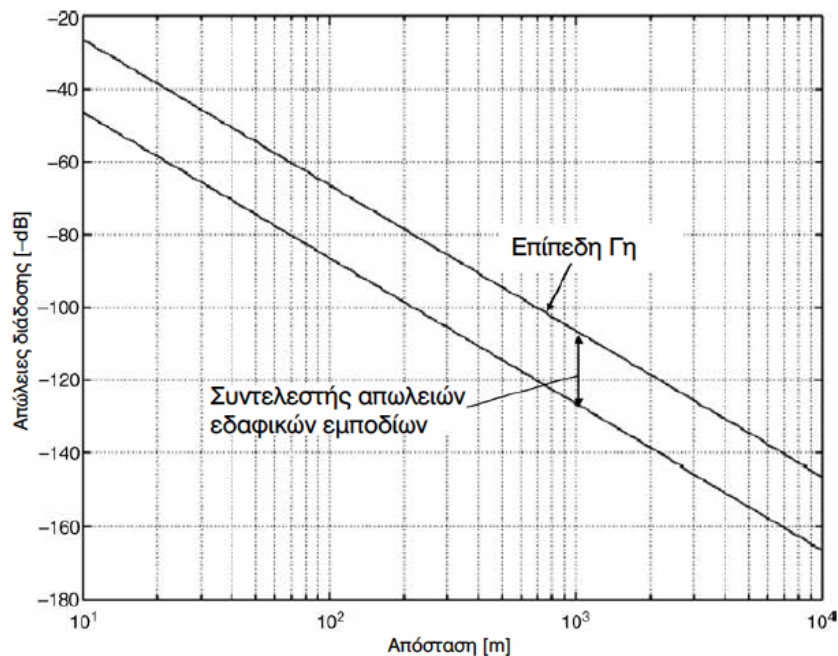
Μοντέλο απωλειών διάδοσης με Εμπόδια

17

- Η διενέργεια πρακτικών ραδιομετρήσεων σε αστικές και προαστιακές περιοχές συνήθως συστήνει χρήση ενός συντελεστή path loss exponent της τάξης του $n \sim 4$.
- Τα πιο πάνω ευρήματα έχουν οδηγήσει σε μοντέλα που αποτελούνται από το μοντέλο επίπεδης Γης (Plane Earth Loss – PEL) και μια έξτρα παράμετρο απώλειας λόγω της απώλειας που προκαλείται από άλλα εμπόδια (clutter).
- Τα μοντέλα διαφέρουν στις παραμέτρους L_m και n που χρησιμοποιούν.

$$L = \text{PlaneEarthLoss} + \text{ClutterFactor} =$$
$$= 40 \log r - 20 \log h_m - 20 \log h_b + L_m$$

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής



Μοντέλο Okumura

18

- Το μοντέλο αυτό βασίζεται σε **στατιστική ανάλυση των πειραματικών μετρήσεων** της ισχύος του ραδιοσήματος
- Χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ισχύος του σήματος σε εδάφη με συγκεκριμένη διαμόρφωση (συνήθως αστικές περιοχές)
- Το μοντέλο συνίσταται από ένα σύνολο καμπυλών με τις οποίες είναι δυνατή η εκτίμηση της ενδιάμεσης (50% ή median) απόσβεσης σε σχέση με τον ελεύθερο χώρο
- Οι βασικές καμπύλες είναι για:
 - Ύψος κεραίας εκπομπής
 - Ύψος κεραίας λήψης
- Οι καμπύλες δίνουν την ενδιάμεση (median) απόσβεση ως συνάρτηση της συχνότητας

Μοντέλο Okumura

19

- Τα χαρακτηριστικά των περιβαλλόντων διάδοσης όπου ισχύει το μοντέλο συνοψίζονται ακολούθως:
 - ▣ Περιοχή συχνοτήτων 150-1920 MHz
 - ▣ Αποστάσεις 1 έως 100 Km
 - ▣ Ύψος κεραίας Σταθμού Βάσης από 30 έως 1000 m
 - ▣ Ύψος κεραίας Κινητού Σταθμού από 1 έως 10 m

Μοντέλο Okumura-Hata

20

Η median απόσβεση διάδοσης μπορεί να βρεθεί από την ακόλουθη έκφραση, όπου όλες οι ποσότητες είναι σε dB:

$$L_{50} = L_{FS} + A(f_0, d) - G(h_t) - G(h_r) - G_{area}$$

Όπου:

$$L_{FS} = 10 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

- ▣ Η απόσβεση ελευθέρου χώρου είναι:
- ▣ $A(f_0, d)$ η μεσαία εξασθένιση (από μετρήσεις σε αστικό υπεραστικό κλπ)
- ▣ f_0 η συχνότητα φέροντος σε MHz
- ▣ d η απόσταση σε km και

$$G(h_t) = 20 \log(h_t / 200), \text{ για } 10m < h_t < 1000m$$

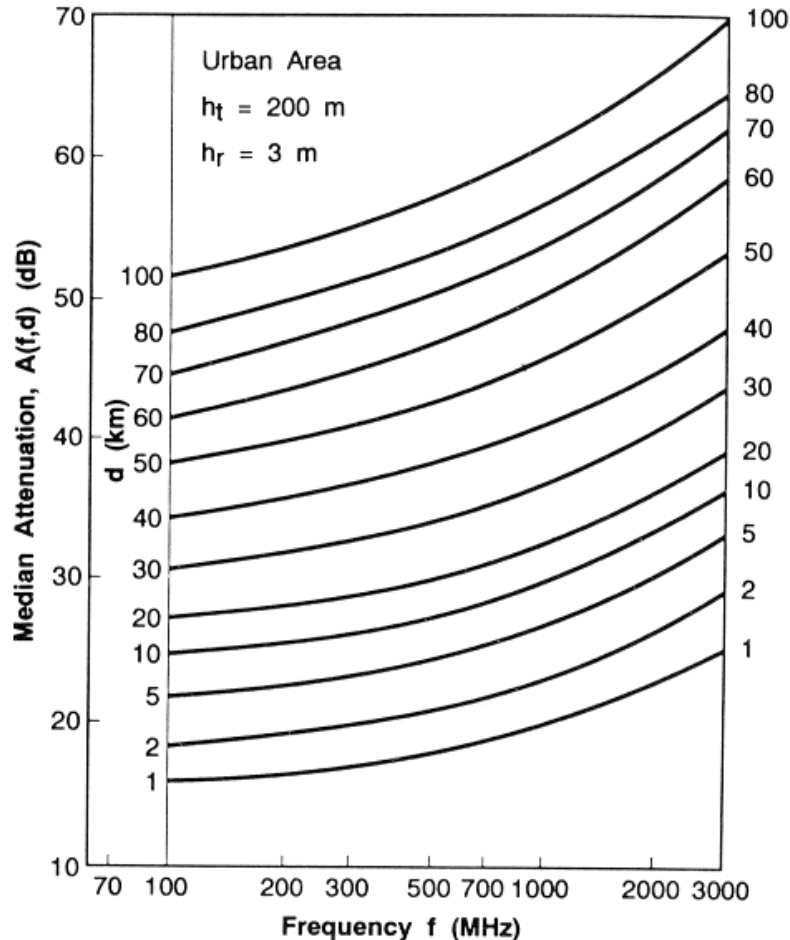
$$G(h_r) = 10 \log(h_r / 3), \text{ για } h_r < 3m$$

$$G(h_r) = 20 \log(h_r / 3), \text{ για } 3m < h_r < 10m$$

Ο G_{area} είναι ένας συντελεστής διόρθωσης εξαρτώμενος από το είδος του εδάφους.

Μοντέλο Okumura

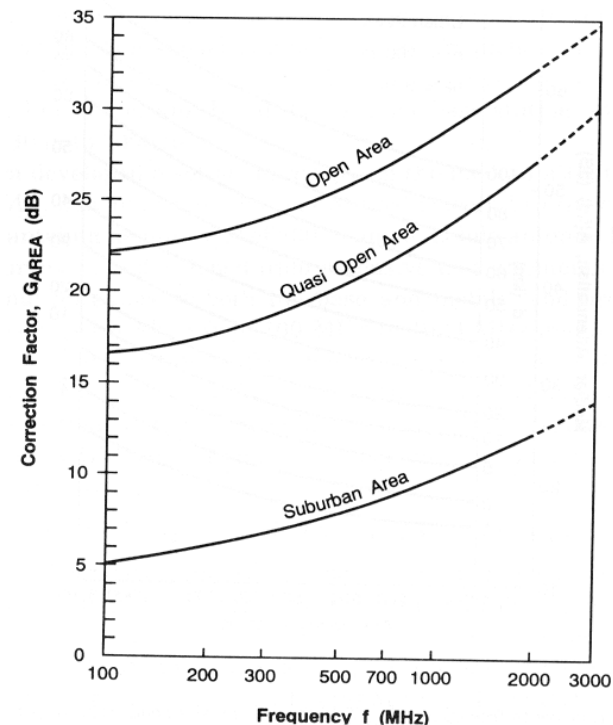
21



Ο πίνακας μας δίνει τη median εξασθένιση:

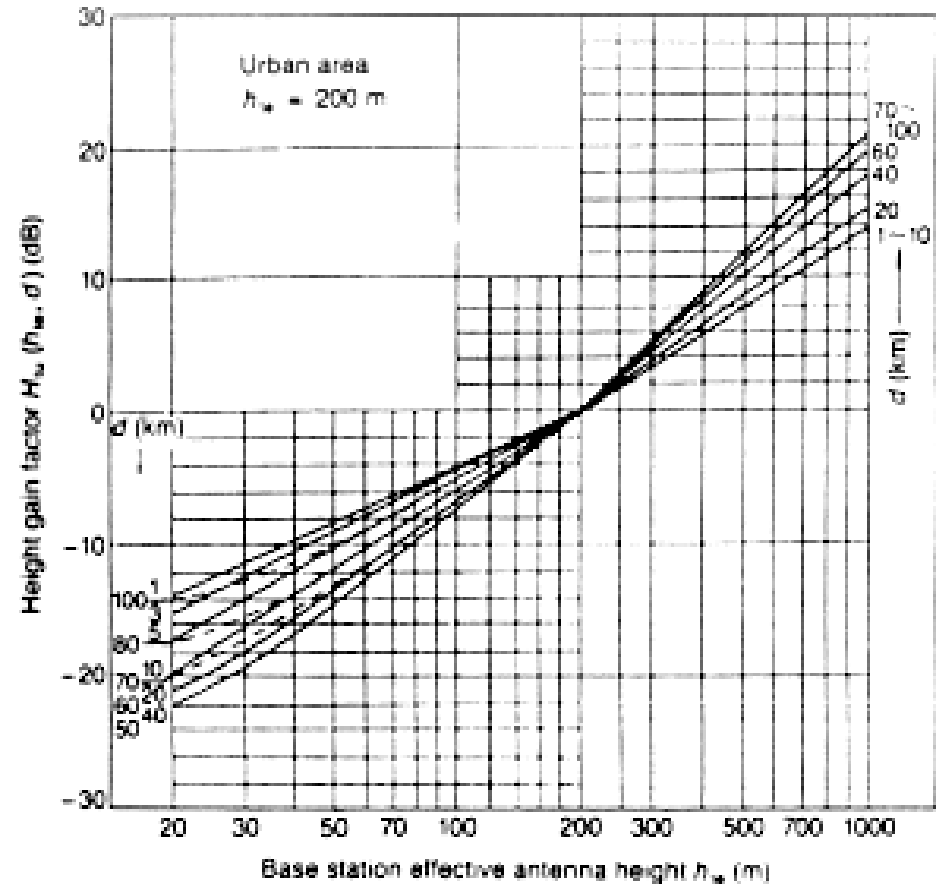
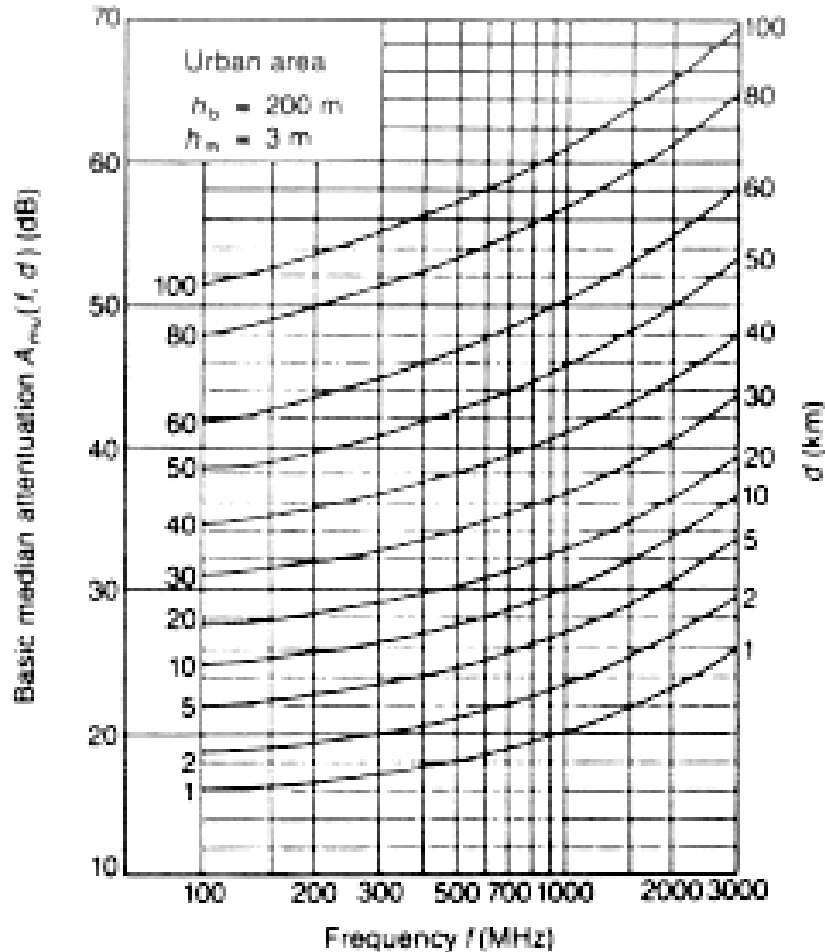
$$A(f_0, d)$$

Με αυτήν και όλα τα προηγούμενα μπορούμε να υπολογίσουμε τη median απόσβεση διάδοσης



Μοντέλο Okumura

22



Μοντέλο Okumura-Hata

23

- Το μοντέλο Hata είναι η **εμπειρική αλγεβρική έκφραση** της απώλειας διάδοσης η οποία παρέχεται γραφικά από το μοντέλο Okumura.
- Το μοντέλο είναι ευέλικτο διότι επιτρέπει τη χρήση εξισώσεων αντί γραφικών παραστάσεων.
- Τα μοντέλα Okumura και Hata δίνουν συγκρίσιμα αποτελέσματα για $d > 1 \text{ km}$
- Υπάρχουν εκφράσεις για αστικές, ημιαστικές και αγροτικές περιοχές.
- Αυτές οι εκφράσεις ισχύουν για την περιοχή συχνοτήτων 150 - 1500 MHz
- Στις εκφράσεις αυτές χρησιμοποιούνται :
 - Την συχνότητα σε MHz
 - Το ύψος της κεραίας σε m
 - Την απόσταση πομπού-δέκτη σε km

$$150 \leq f \leq 1500 \text{ MHz}$$

$$30 \leq h_T \leq 200 \text{ m}$$

$$1 \leq h_R \leq 10 \text{ m}$$

$$1 \leq d \leq 20 \text{ Km}$$

Μοντέλο Okumura-Hata

24

- Η έκφραση για την ενδιάμεση απόσβεση σε ένα αστικό περιβάλλον δίδεται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$L_p = \begin{cases} A + B \log_{10}(d) & \text{για αστική περιοχή} \\ A + B \log_{10}(d) - C & \text{για ημιαστική περιοχή} \\ A + B \log_{10}(d) - D & \text{για ανοιχτή περιοχή} \end{cases}$$

$$A = 69.55 + 26.16 \log_{10}(f_c) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m)$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)$$

$$C = 5.4 + 2[\log_{10}(f_c/28)]^2$$

$$D = 40.94 + 4.78[\log_{10}(f_c)]^2 - 18.33 \log_{10}(f_c)$$

Όπου:

h_b το ύψος της κεραίας στο BS

h_m το ύψος της κεραίας στο MS

$a(h_m)$ είναι ο διαρθρωτικός παράγοντας αναφορικά με το ύψος της κεραίας του κινητού

Μοντέλο Okumura-Hata

25

$$a(h_m) = \begin{cases} (1.1 \log_{10}(f_c) - 0.7)h_m - (1.56 \log_{10}(f_c) - 0.8) & \text{Για μέτρια ή μικρή πόλη} \\ \begin{cases} 8.29(\log_{10}(1.54h_m))^2 - 1.1 & \text{για } f_c \leq 200 \text{ MHz} \\ 3.2(\log_{10}(11.75h_m))^2 - 4.97 & \text{για } f_c \square 400 \text{ MHz} \end{cases} & \text{Για μεγάλη πόλη} \end{cases}$$

COST 231 - extension Hata model

26

Επέκταση για περιοχή συχνοτήτων 1500-2000 MHz

$$L_{50}(urban)(dB) = 46.3 + 33.9 \log f_c - 13.82 \log h_b \\ - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log d + C_M$$

$$C_M = \begin{cases} 0dB & \text{Για μικρές πόλεις και προάστια} \\ 3dB & \text{Για μητροπολιτικά κέντρα} \end{cases}$$

- περιοχή συχνοτήτων 1500-2000 MHz
- ύψος της κεραίας του Σ.Β. από 30 έως 200 m.
- ύψος της κεραίας του κινητού σταθμού από 1 έως 10 m.
- $d=1\text{km}$ έως 20 km

Μοντέλο Walfisch - Bertoni

27

Είναι ημι-εμπειρικό μοντέλο το οποίο χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των απωλειών διαδρομής σε αστικά περιβάλλοντα

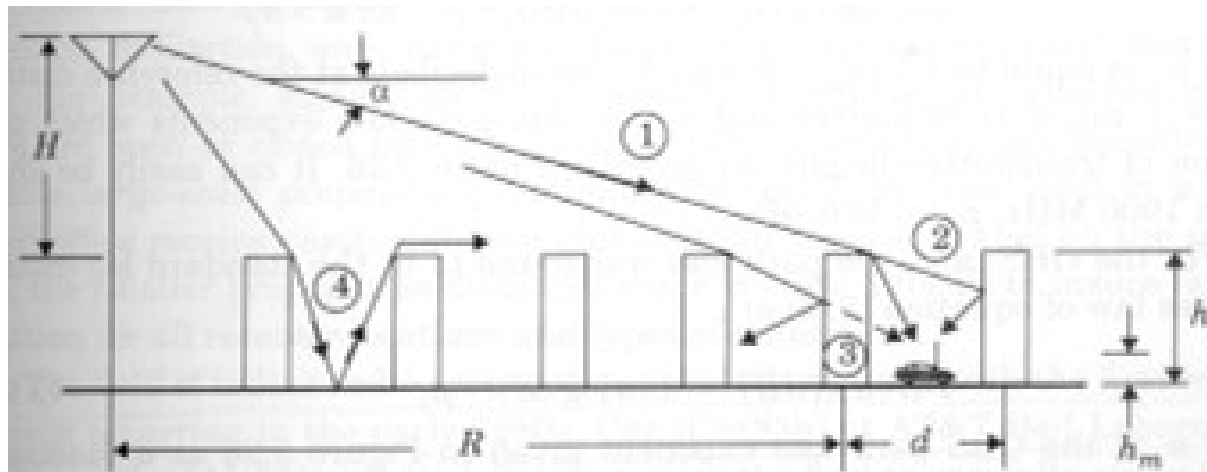
$$PL(d) = PL_{LOS} + L_{rts} + L_{msd}$$

Όπου:

PL_{LOS} απώλειες διαδρομής ελευθέρου χώρου

L_{rts} απώλειες περίθλασης από την κορυφή του κτηρίου έως τον δρόμο

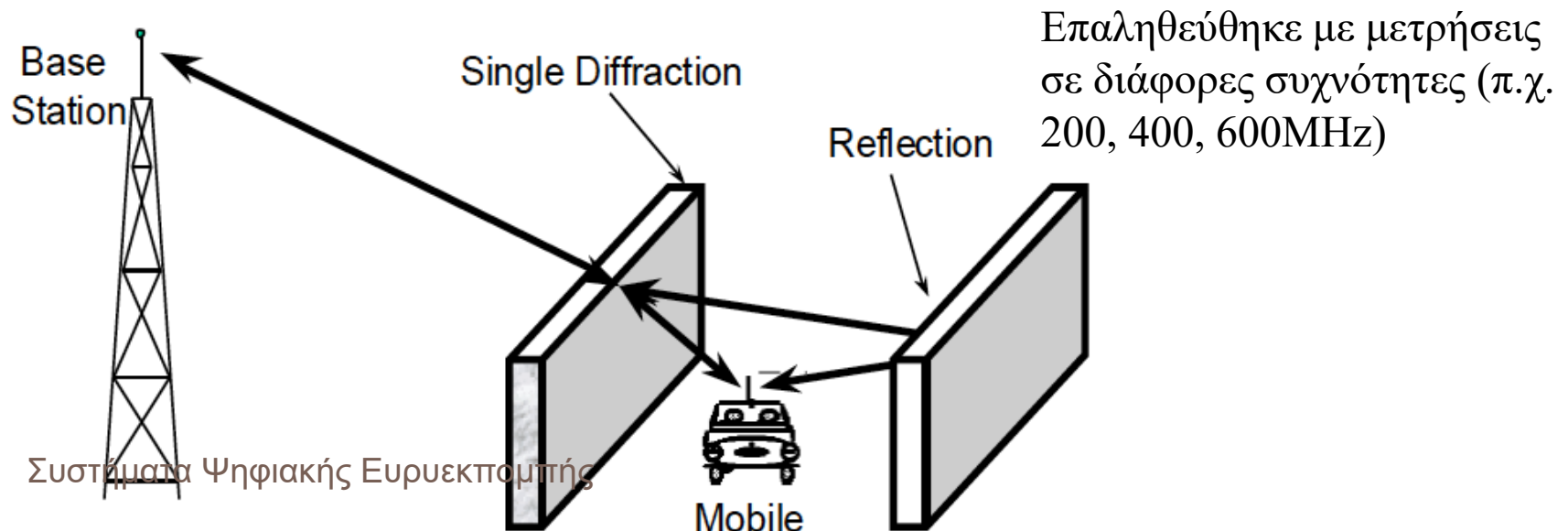
L_{msd} απώλειες περίθλασης από πολλαπλά συνεχόμενα εμπόδια



Ikegami Model

28

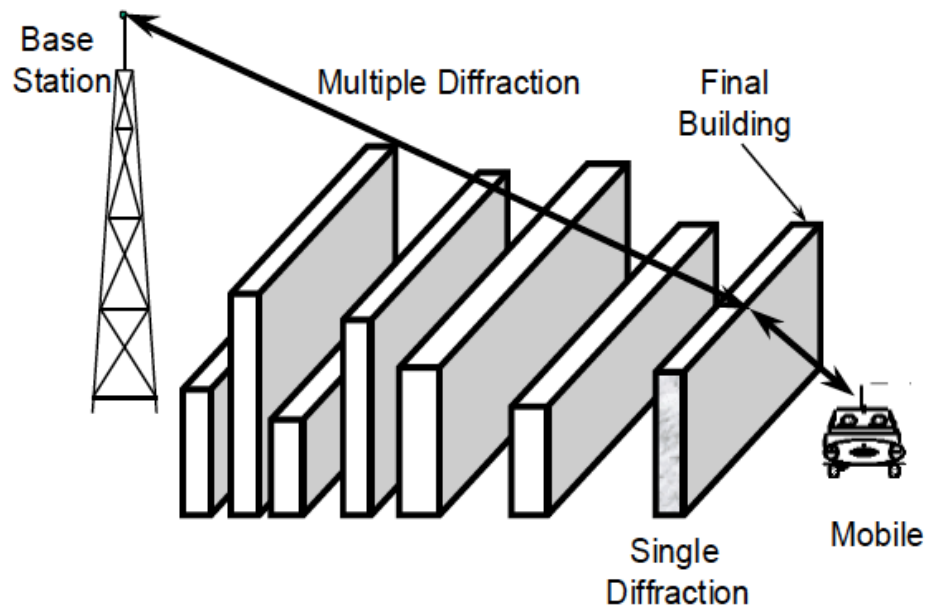
- Λαμβάνει υπόψη μια περίθλαση και μια ανάκλαση
- Χρησιμοποιεί έναν λεπτομερή χάρτη του ύψους των κτιρίων των σχημάτων και θέσεων για να υπολογίσει τις ακτίνες (διαδρομές ραδιοκυμάτων) μεταξύ πομπού και δέκτη
- Η περίθλαση υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία ευθείας ακμής, ενώ η απώλεια ανάκλασης θεωρείται σταθερά ($L_r = 0.25$)



Περίθλαση από στέγες κτιρίων

29

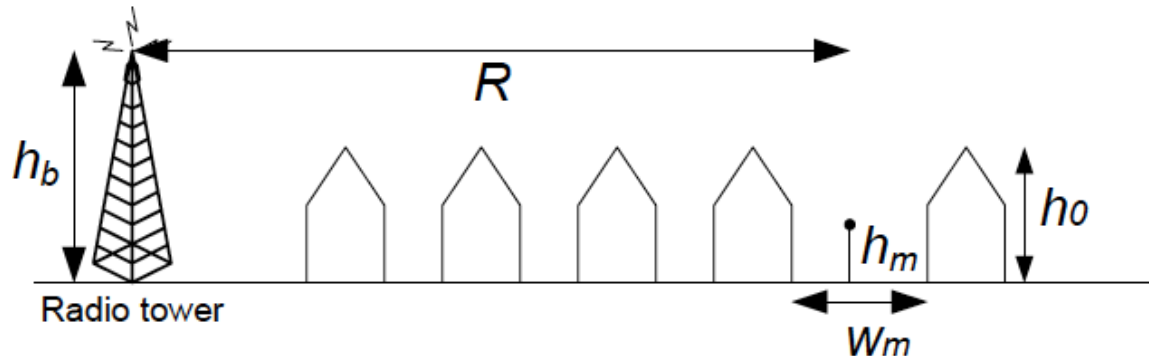
- Ένας από τους κύριους ο μηχανισμούς διάδοσης των ραδιοκυμάτων στα συστήματα Macrocell που λειτουργούν σε σχετικά επίπεδες κατοικημένες περιοχές είναι αυτός της πολλαπλής περίθλασης λόγω των στεγών των κτιρίων.
- Ο «πλήρης» θεωρητικός υπολογισμός είναι πολύπλοκος (multiple edge integral). Συνήθως ακολουθούνται πιο απλοποιημένα μοντέλα.



COST231 Walfisch-Ikegami Model

30

- Σε αυτό το μοντέλο, το μοντέλο Walfisch-Bertoni έχει συνδυαστεί με το μοντέλο Ikegami για περίθλαση μέχρι το επίπεδο του δρόμου.



- Για συνθήκες χωρίς οπτική επαφή (non line of sight, NLOS, conditions), η συνολική απώλεια δίνεται από $L = L_{FSL} + L_{msd} + L_{sd}$
- όπου το L_{FSL} είναι η απώλεια διάδοσης ελευθέρου χώρου, το L_{msd} αντιστοιχεί στην πολλαπλή περίθλαση ευθείας ακμής λόγω πολλαπλών εμποδίων (multiple screen diffraction) στη στέγη του τελευταίου –προς τον κινητό σταθμό– κτιρίου, και το L_{sd} αντιστοιχεί στη μονή περίθλαση και τη διαδικασία σκέδασης στο επίπεδο του δρόμου.

Μοντέλο IEEE 802.16

31

- Στηρίζεται στο μοντέλο απλής κλίσης (εκθετικό). Αναπτύχθηκε ώστε να δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε τρεις τύπους περιοχών, αντιπροσωπευτικούς εκείνων που συναντά κανείς στις Η.Π.Α.
- Διενεργήθηκαν εκτεταμένες μετρήσεις από την AT&T σε 95 μακροκυψέλες στα 1.9GHz και προέκυψε το εξής μοντέλο

$$PL(d) = PL(d_o) + 10n \log\left(\frac{d}{d_o}\right) + k_f + k_h$$

Μοντέλο ΙΕΕΕ 802.16

32

- Οι απώλειες για την απόσταση αναφοράς $d_o=100m$ δίνονται από τις απώλειες ελεύθερου χώρου

$$PL(d_o) = 20 \log \left(\frac{4\pi d_o}{\lambda} \right)$$

- Ο συντελεστής απωλειών διάδοσης δίνεται από

$$n = a - bh_{BS} + ch_{BS}$$

- Όπου $10m \leq h_{BS} \leq 80m$ και οι τρεις σταθερές a, b, c δίνονται από τον επόμενο Πίνακα για τρεις διαφορετικούς τύπους εδάφους.

Μοντέλο IEEE 802.16

33

Σταθερά	Έδαφος Τύπου A	Έδαφος Τύπου B	Έδαφος Τύπου C
a	4.6	4	3.6
b	0.0075	0.0065	0.005
c	12.6	17.1	20

- Τύπου A αντιστοιχεί σε ανώμαλο έδαφος με λόφους και μέτρια προς υψηλή πυκνότητα δέντρων
- Τύπου B, αντιστοιχεί σε ανώμαλο έδαφος με λόφους και χαμηλή πυκνότητα δέντρων, ή επίπεδο έδαφος με μέτρια προς υψηλή πυκνότητα δέντρων
- Τύπου C, αντιστοιχεί σε επίπεδο έδαφος με χαμηλή πυκνότητα δέντρων

Μοντέλο ΙΕΕΕ 802.16

- Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί το μοντέλο σε συχνότητες διαφορετικές από τα 2GHz και για ύψη MS από 2m ως 10m, προστέθηκαν οι διορθωτικοί παράγοντες και k_f και k_h

$$k_f = 6 \log \left(\frac{f_{MHz}}{2000} \right)$$

$$k_h = \begin{cases} -10.8 \log \left(\frac{h_{MS}}{2} \right), & \text{Έδαφος Τύπου A και B} \\ -20 - \log \left(\frac{h_{MS}}{2} \right), & \text{Έδαφος Τύπου C} \end{cases}$$

Street Microcells

35

- Σε περιπτώσεις όπου η κεραία του ΣΒ είναι αρκετά πιο χαμηλά από τις στέγες των κτιρίων και το σύστημα χρησιμοποιεί microcells, τα μοντέλα που έχουν προταθεί είναι τροποποιήσεις του μοντέλου επίπεδης γης (two-ray model).
- Για LOS μεταξύ BS και MS χρησιμοποιούν μοντέλο διπλής κλίσης με ένα συντελεστή απωλειών n_1 μέχρι το breakpoint και ένα άλλο n_2 μετά.
- Για NLOS υπάρχουν δύο προσεγγίσεις

Street Microcells

36

LoS: Μοντέλο Διπλής Κλίσης

- Δύο ξεχωριστοί εκθέτες απωλειών διάδοσης χρησιμοποιούνται για να χαρακτηρίσουν τη διαφορετική διάδοση, για τις κοντινές και μακρινές περιοχές
- Το μοντέλο δίνεται από

$$L = L_b + 10n_1 \log\left(\frac{r}{r_b}\right) + 10(n_2 - n_1) \log\left(1 + \frac{r}{r_b}\right)$$

L_b : Απώλεια διάδοσης αναφοράς κοντά στην απόσταση $r=r_b$

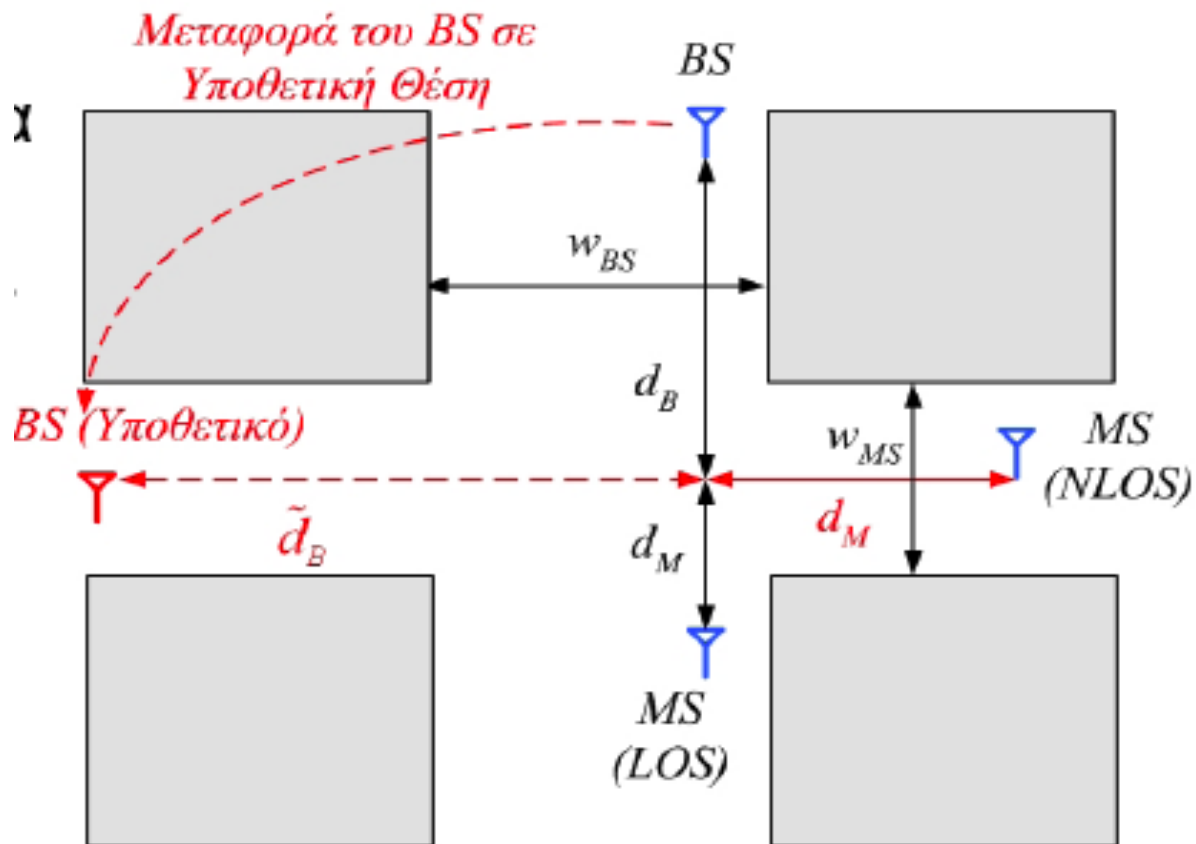
n_1 : Εκθετικό κοντινού πεδίου~2

n_2 : Εκθετικό μακρινού πεδίου~(3-5)

RACE Dual Slope Model

37

Σχετική γεωμετρία για LOS και NLOS



RACE Dual Slope Model

38

- Για LOS:

$$PL(d) = 37 + 10 \log \left[\left(d^{n_1} \right)^p + \left(\frac{d^{n_2}}{d_{BP}^{n_2 - n_1}} \right)^p \right]^{1/p}$$

$(d = d_B + d_M)$ και $(d_{BP} : \text{Breakpoint})$

- Για NLOS αντικατέστησε $\tilde{d}_B \rightarrow d_B$ $\tilde{d}_{BP} \rightarrow d_{BP}$
- Το μοντέλο προέκυψε από μετρήσεις σε $f=1700\text{MHz}$
- Όπου ο παράγοντας επιλέγεται συνήθως $p=4$
- Και $n_1=2.24$ (variance 0.24), $n_2=5.58$ (variance 0.53),
- $d_{BP}=255\text{m}$ (variance 72.5m)

Δορυφορικός Δίαυλος και τα Φαινόμενα Διάδοσης

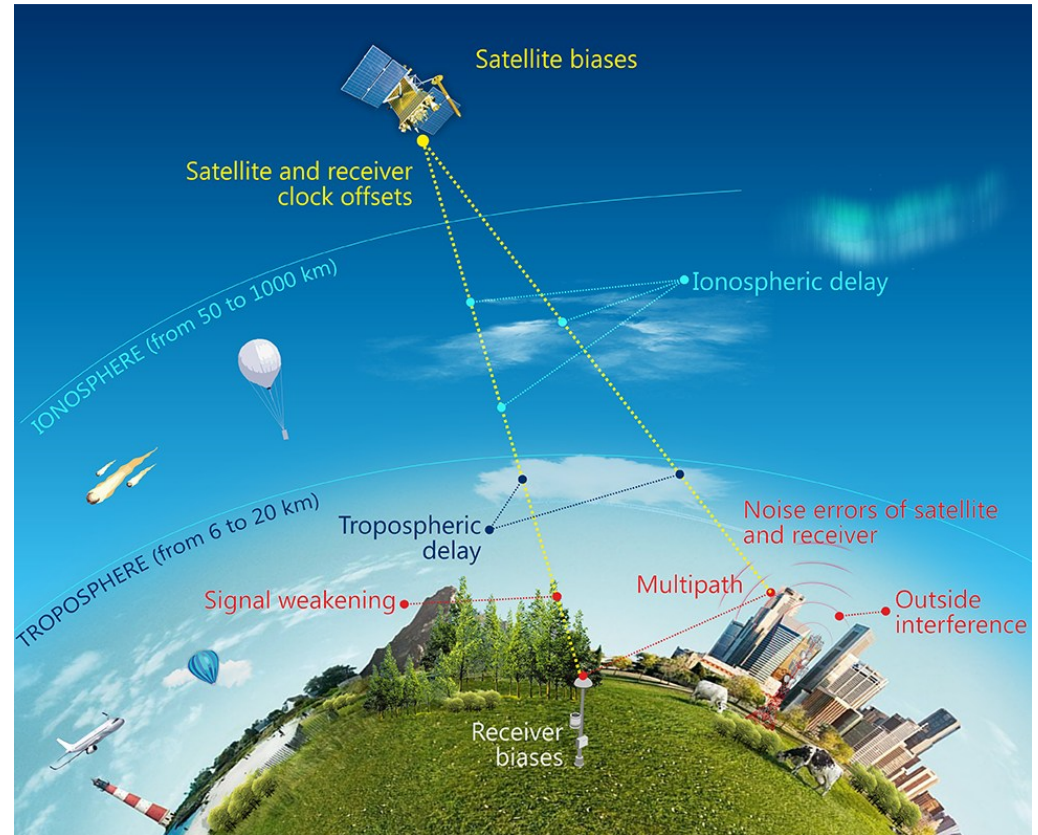
39

- Η μετάδοση των σημάτων στον δορυφορικό δίαυλο επιτυγχάνεται με διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων
- Τα σημαντικότερα προβλήματα που παρουσιάζονται είναι οι παρεμβολές και οι αποσβέσεις
- Οφείλονται στο περιβάλλον διάδοσης και μεταβάλλονται με τυχαίο τρόπο στο πεδίο του χρόνου.
- Η ατμόσφαιρα, ανομοιογενώς απορροφά μέρος των δορυφορικών σημάτων στα διάφορα επίπεδα της
- Σε συχνότητες μεγαλύτερες από 10GHz το φαινόμενο της βροχής παίζει πολύ μεγάλο ρόλο, εξαιτίας του μικρού μήκους κύματος διάδοσης και του παραπλήσιου μεγέθους με το σταγονίδιο της βροχής.

Δορυφορικός Δίαυλος και τα Φαινόμενα Διάδοσης

40

- Τα κυριότερα φαινόμενα διάδοσης παρουσιάζονται στην τροπόσφαιρα (σε συχνότητες μεγαλύτερες από 3 GHz) και στην ιονόσφαιρα (σε συχνότητες μικρότερες από 3 GHz)
- Ανάλογα με τον τρόπο διάδοσης, τα ραδιοκύματα χωρίζονται σε ιονοσφαιρικά, τροποσφαιρικά και κύματα εδάφους



Η Διάδοση στην Ιονόσφαιρα

41

- Η ιονόσφαιρα είναι το άνω στρώμα της ατμόσφαιρας και εκτείνεται από τα 60km έως τα 1000km.
- Η περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται από υψηλές πυκνότητες ελευθέρων ηλεκτρονίων (αρνητικά φορτία) και θετικά φορτισμένων ιόντων
- Συμπεριφέρεται ως αγώγιμο στρώμα για μεγάλο εύρος συχνοτήτων, απορροφώντας και ανακλώντας τα προσπίπτοντα κύματα.
- Ιονοσφαιρική διάθλαση (Ionospheric refraction), ιονοσφαιρικοί σπινθηρισμοί
- (Ionospheric scintillation) και διασπορά (dispersion): Οι μεταβολές στην πυκνότητα των ελευθέρων ηλεκτρονίων στην ιονόσφαιρα δημιουργούν μεταβολές στον δείκτη διάθλασης της ιονόσφαιρας.
- Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ταχείες αλλαγές του πλάτους, της φάσης πόλωσης και της γωνίας άφιξης των ραδιοκυμάτων.

Σήματα δορυφορικών ζεύξεων - Κατηγορίες επιδράσεων

42

- **Τροποσφαιρικές επιδράσεις:** Περιλαμβάνουν επιδράσεις μεταξύ των ραδιοκυμάτων και των χαμηλότερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας της Γης, συμπεριλαμβανομένου των επιδράσεων των **αέριων μαζών** και της **βροχής**.
- **Ιονοσφαιρικές επιδράσεις:** Περιλαμβάνουν επιδράσεις μεταξύ των ραδιοκυμάτων και στρωμάτων φορτισμένων σωματιδίων που βρίσκονται γύρω από τη Γη, και του μαγνητικού πεδίου της Γης.
- **Τοπικές επιδράσεις:** Περιλαμβάνουν επιδράσεις μεταξύ των ραδιοκυμάτων και χαρακτηριστικών του περιβάλλοντος που βρίσκεται πλησίον του δορυφορικού σταθμού εδάφους (π.χ. μορφολογία εδάφους, δέντρα, κτίρια, κλπ)

Μηχανισμοί Εξασθένησης Σήματος

43

- Εξασθένηση (σταγόνες βροχής, ομίχλη, σύννεφα)
- Η εξασθένηση στην οποία υπόκειται ένα ραδιοκύμα όταν περνά από την τροπόσφαιρα οφείλεται
 - ▣ Στις απώλειες λόγω απορρόφησης
 - ▣ Στις απώλειες λόγω σκέδασης του σήματος
- Η απορρόφηση συμβαίνει όταν η ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα. Αυτό συμβαίνει όταν ένα κύμα διαδίδεται μέσω βροχής
- Αναλόγως της συχνότητας λειτουργίας, η βροχή μπορεί επίσης να προκαλέσει σκέδαση σε ένα κύμα, οδηγώντας σε μία επιπλέον απώλεια λόγω σκέδασης

Εμπειρικό μοντέλο εξασθένησης λόγω βροχής (Empirical Rain Model) (ITU 838)

44

$$\gamma = \alpha R^b \text{ dB/km}$$

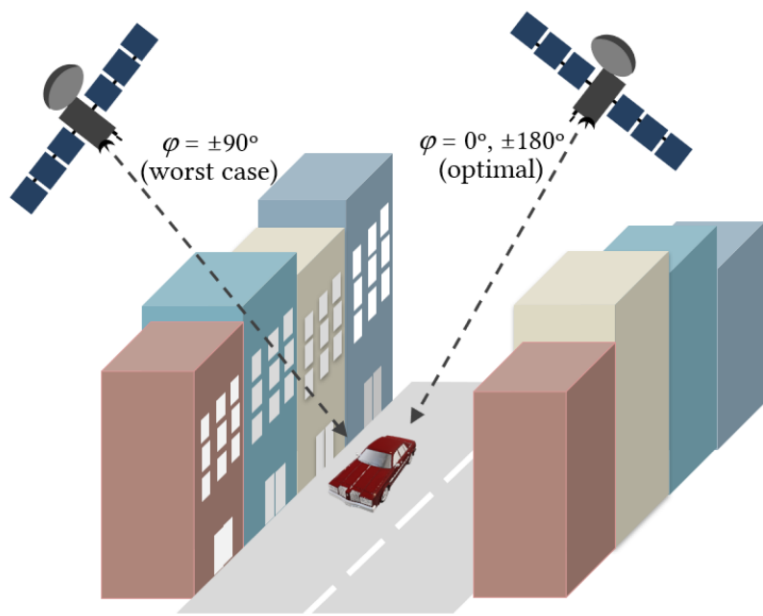
R : Rain Rate in mm/hr

f (GHz)	α	b
1	0.0000387	0.912
10	0.0101	1.276
20	0.0751	1.099
30	0.187	1.021
40	0.350	0.939

Επιδράσεις σκίασης – Διαφορές μεταξύ κινητών δορυφορικών συστημάτων και επίγειων ζεύξεων

45

- Στα κινητά δορυφορικά συστήματα, η γωνία / κατεύθυνση επικοινωνίας μεταξύ κινητού - δορυφόρου είναι πολύ μεγαλύτερη από την περίπτωση επικοινωνίας μεταξύ κινητού – επίγειου σταθμού βάσης.



- Ως εκ τούτου, η επίδραση λόγω σκίασης προκύπτει από τα εμπόδια / περιβάλλον στο άμεσο περιβάλλον του κινητού (σε αντίθεση με τα επίγεια συστήματα, όπου η σκίαση μπορεί να μην οφείλεται μόνο στο άμεσο περιβάλλον του κινητού)

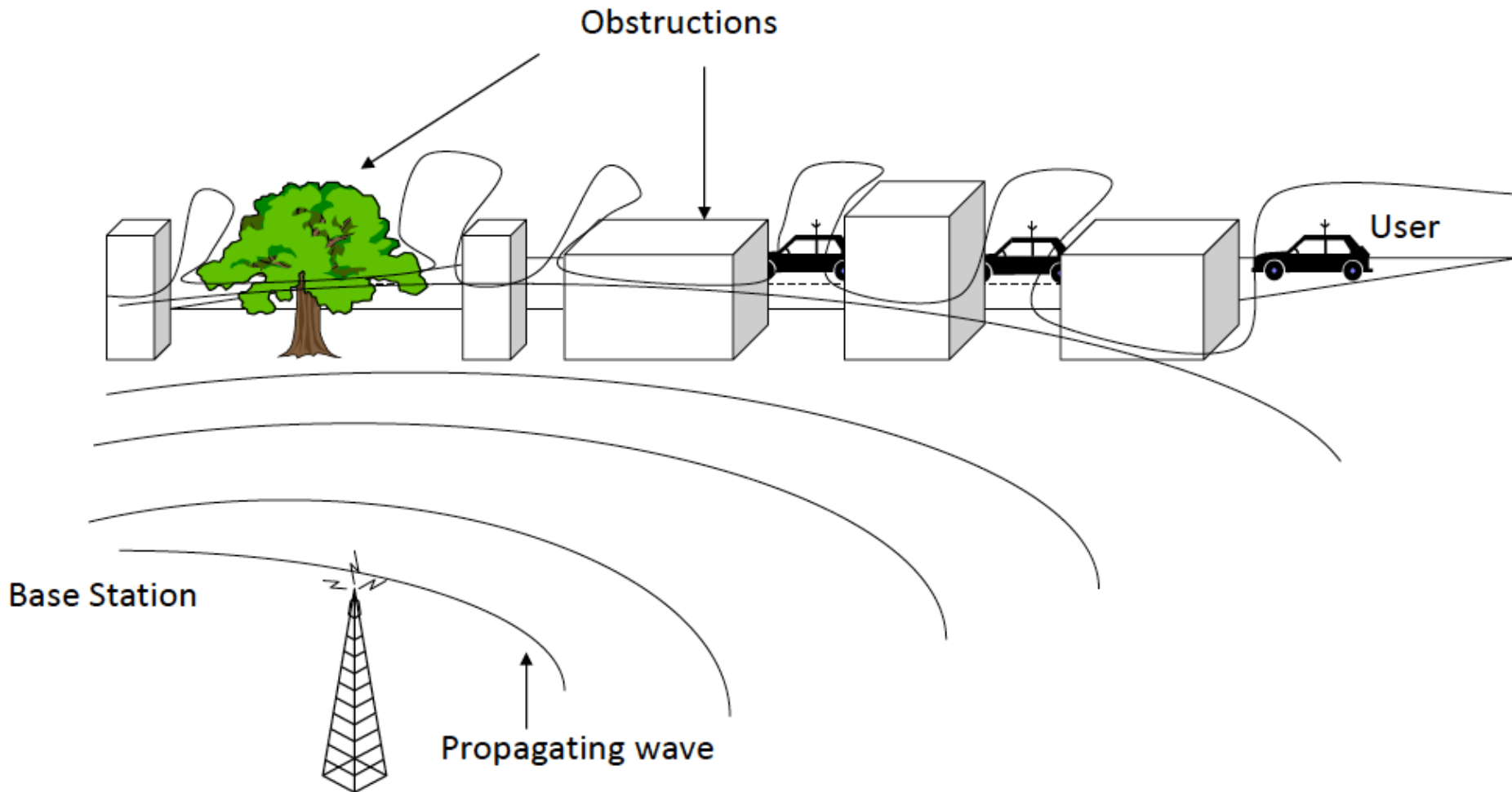
Επιδράσεις σκίασης – Διαφορές μεταξύ κινητών δορυφορικών συστημάτων και επίγειων ζεύξεων

46

- Κατά συνέπεια, στην περίπτωση των κινητών δορυφορικών συστημάτων, λόγω των εμποδίων στο άμεσο περιβάλλον του κινητού, μπορεί να υπάρχουν γρήγορες και συχνές μεταβάσεις μεταξύ καταστάσεων LOS και NLOS. Αυτές οι μεταβάσεις προκαλούν διακυμάνσεις / μεταβολές στη στατιστική συμπεριφορά των αργών διαλείψεων, που είναι στενά συνδεδεμένες με τη διαδικασία της σκίασης
- Σε αυτή την περίπτωση, πρέπει να χειριστούμε τη σκίαση και τις γρήγορες διαλείψεις στενής ζώνης ως μια στενά συνδεδεμένη διαδικασία κατά την οποία οι παράμετροι των διαλείψεων (παράγοντας k Rice και τοπική μέση ισχύς σήματος) είναι χρονικά μεταβαλλόμενες

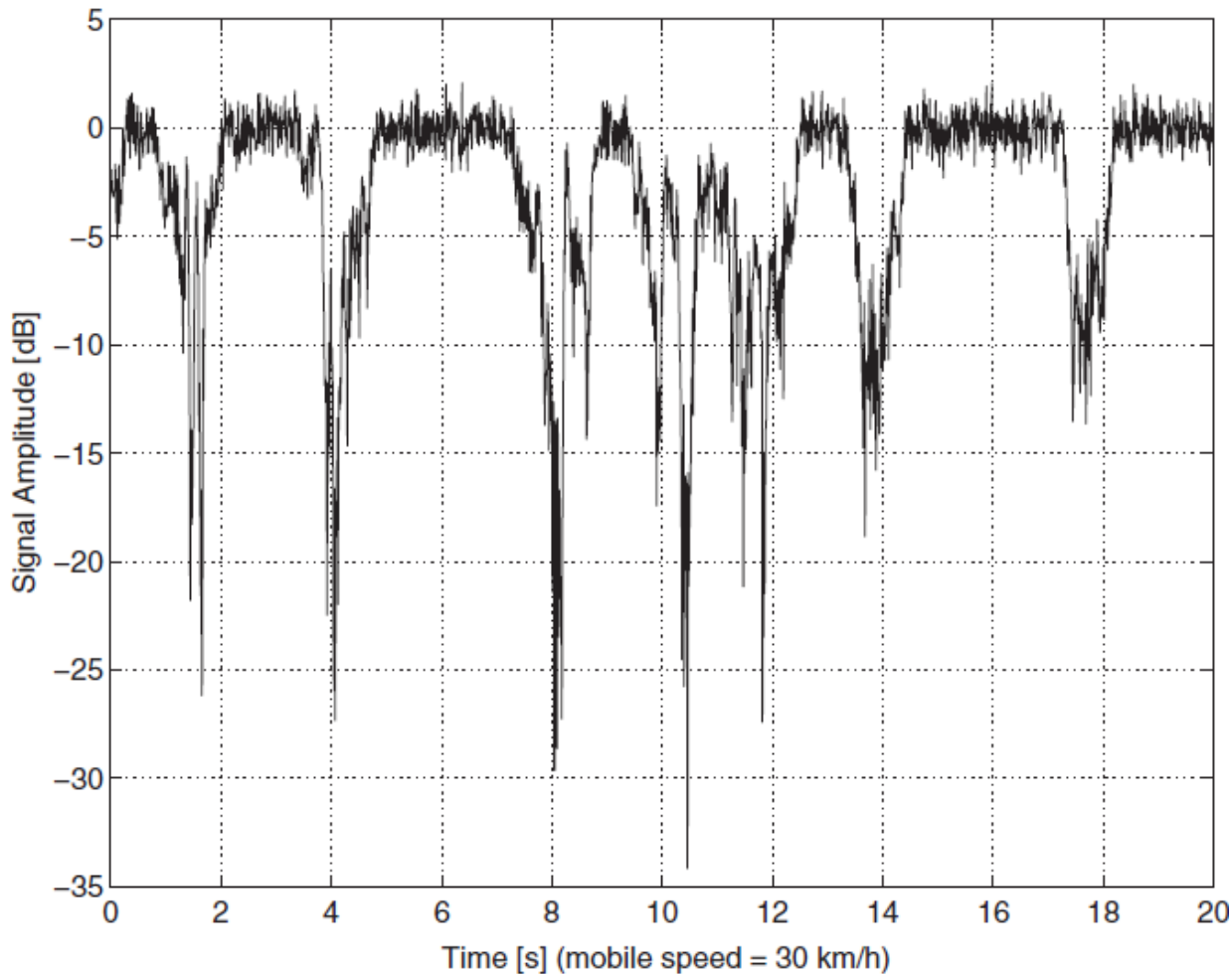
Επιδράσεις Σκίασης

47



Επιδράσεις Σκίασης

48

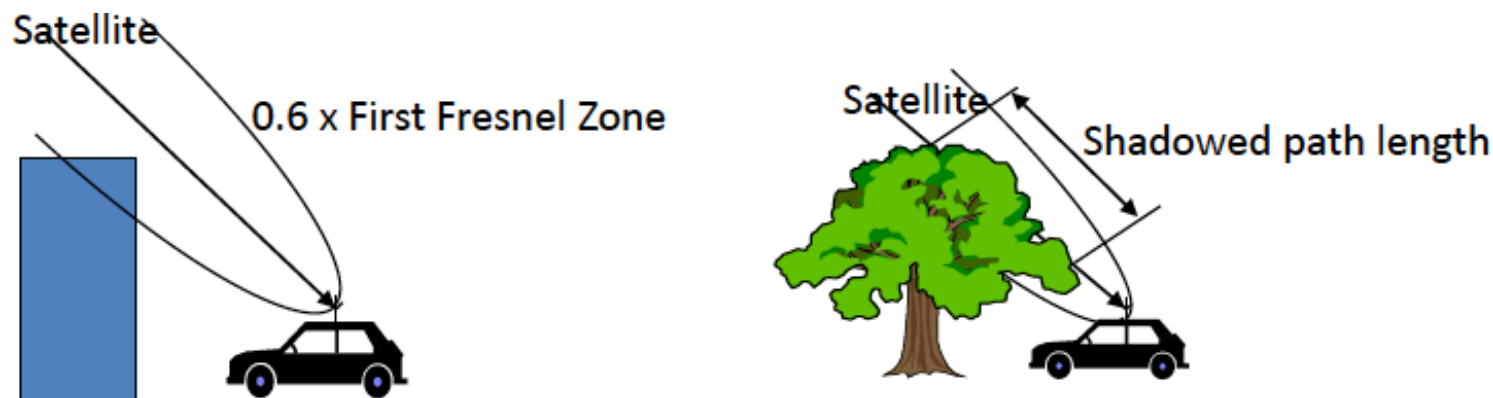


- Ημιαστικό περιβάλλον
- Απότομες, συχνές μεταβολές από συνθήκες LOS σε συνθήκες NLOS

Σκίαση – Τοπικές Επιδράσεις

49

- Τα παρακείμενα στον δέκτη κτίρια μπορούν να προκαλέσουν σημαντική εξασθένηση όταν μπλοκαριστεί η 1η (0.6) ζώνη Fresnel.
- Ως εκ τούτου η επίδραση της σκίασης μπορεί να είναι μικρότερη σε πιο υψηλές συχνότητες εφόσον οι ζώνες Fresnel είναι μικρότερες σε αυτές
- Παρόμοια κατάσταση με την παρουσία δέντρων, όπου όμως τα δέντρα δεν θεωρούνται ότι μπλοκάρουν πλήρως το σήμα, όπως στα κτίρια, και μέρος του σήματος διαδίδεται μέσω των δέντρων



Μοντέλα Δορυφορικών Επικοινωνιών

50

- Empirical Roadside Shadowing Model (ERS)
 - ▣ ITU-P.681
- Στατιστικά Μοντέλα
 - ▣ Μείγμα στατιστικών κατανομών τύπου Rice, Rayleigh και lognormal
- Loo Model
 - ▣ Λαμβάνει υπόψη την ύπαρξη και επίδραση των δέντρων δίπλα από μία διαδρομή
- Lutz Two-State Channel Model
 - ▣ Η περίπτωση / κατάσταση οπτικής επαφής (LOS) αντιπροσωπεύεται από μία καλή κατάσταση και η περίπτωση / κατάσταση NLOS από μία κακή κατάσταση

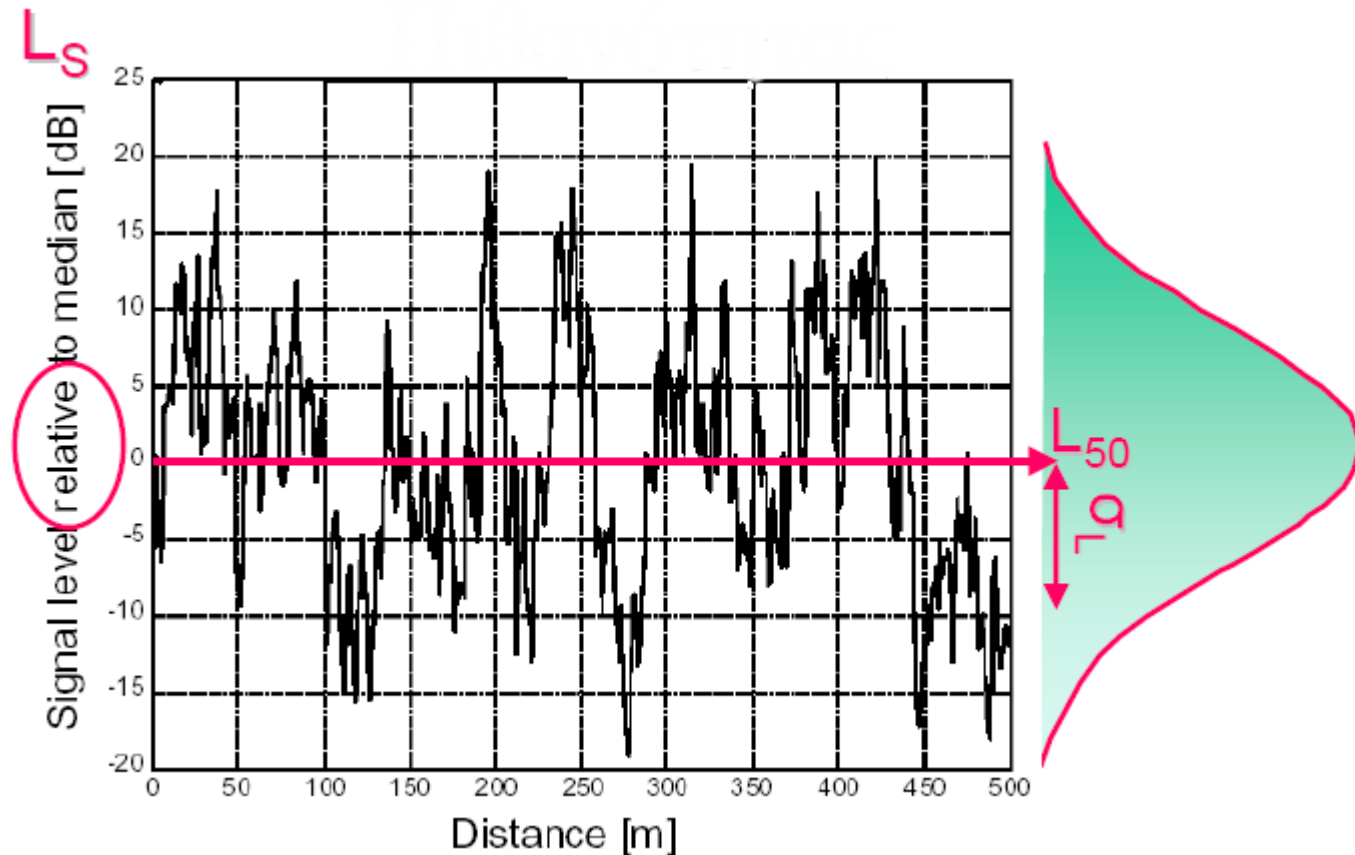
Λογαριθμοκανονική Κατανομή (Lognormal)

51

- Διακύμανση σήματος που λαμβάνει ένα κινητό το οποίο κινείται σε μια σταθερή ακτίνα γύρω από ένα σταθμό κινητής τηλεφωνίας. Κανονικοποιείται (normalised) ως προς τη μεσαία τιμή (median level).
- Η μεσαία τιμή είναι η τιμή που δεν υπερβαίνεται στις 50% των τοποθεσιών / θέσεων στη συγκεκριμένη απόσταση, όπως υπολογίζεται από τα μοντέλα απωλειών διάδοσης (path loss models)
- Η διακύμανση συμβαίνει ανά διαστήματα τα οποία ορίζονται (μπορούν να συγκριθούν) με τα μεγέθη των κτιρίων ή των λόφων κοντά στο κινητό. Συνήθως, αυτές οι διακυμάνσεις συμβαίνουν **ανά δεκάδες ή εκατοντάδες μέτρα.**

Λογαριθμοκανονική Κατανομή (Lognormal)

52



Λογαριθμοκανονική Κατανομή (Lognormal)

53

- Ισχύς

$$\begin{aligned}\Omega(d)(dBm) &= \overline{\Omega(d)}(dBm) + \omega(dB) \\ &= \overline{\Omega(d_o)} - 10n \log\left(\frac{d}{d_o}\right) + \omega_{dB}\end{aligned}$$

- Απώλειες

$$\begin{aligned}PL(d)(dB) &= \overline{PL(d)}(dB) + \omega(dB) \\ &= \overline{PL(d_o)} + 10n \log\left(\frac{d}{d_o}\right) + \omega_{dB}\end{aligned}$$

- ω_{dB} μια τυχαία μεταβλητή (dB), που ακολουθεί κανονική κατανομή, με μηδενική μέση τιμή και τυπική απόκλιση σ_{Ω} σε dB

Λογαριθμοκανονική Κατανομή (Lognormal)

54

- Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (pdf) για τη λαμβανόμενη ισχύ θα είναι:

$$p_{\Omega}(x) = \frac{1}{\sigma_{\Omega}\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x - \mu_{\Omega})^2}{2\sigma_{\Omega}^2}\right]$$

$$\mu_{\Omega}(dBm) = \overline{\Omega(d)} = \overline{\Omega(d_o)} - 10n \log\left(\frac{d}{d_o}\right)$$

- Και για τις απώλειες διάδοσης:

$$\sigma_{\Omega} = \sigma_{PL}(dB)$$

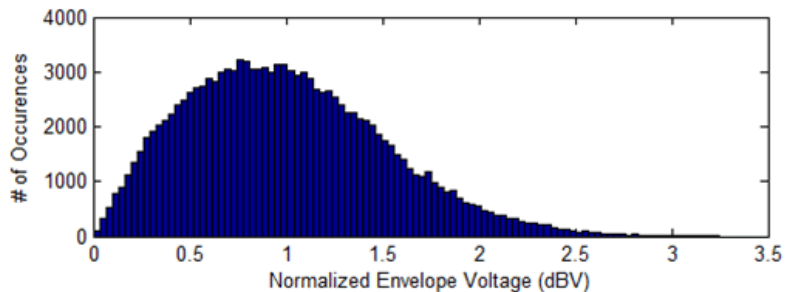
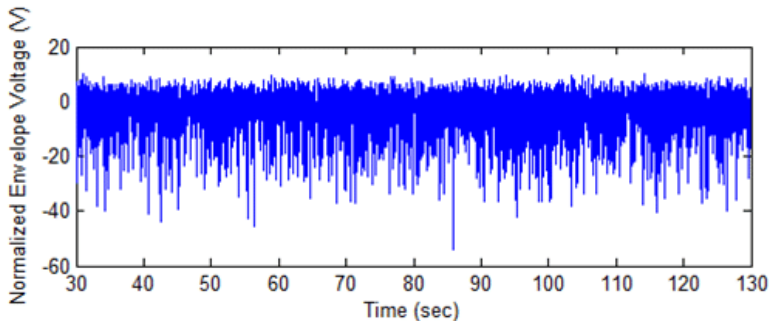
$$p_{PL(dB)}(x) = \frac{1}{\sigma_{PL}\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x - \mu_{PL})^2}{2\sigma_{PL}^2}\right]$$

$$\mu_{PL}(dBm) = \overline{PL(d)} = \overline{PL(d_o)} + 10n \log\left(\frac{d}{d_o}\right)$$

Κατανομή Rayleigh (Rayleigh distribution)

55

- Η κατανομή Rayleigh είναι μια καλή προσέγγιση για να περιγράψει τη διαδικασία των γρήγορων διαλείψεων σε κινητά κανάλια (ασύρματες συσκευές σε κίνηση) στις περιπτώσεις **NLOS**
- Αυτά τα κανάλια αποκαλούνται κανάλια διαλείψεων Rayleigh ή απλώς κανάλια Rayleigh.



pdf

$$f(x; \sigma) = \frac{x}{\sigma^2} e^{-x^2/(2\sigma^2)}, \quad x \geq 0,$$

σ^2 : ισχύς του σήματος

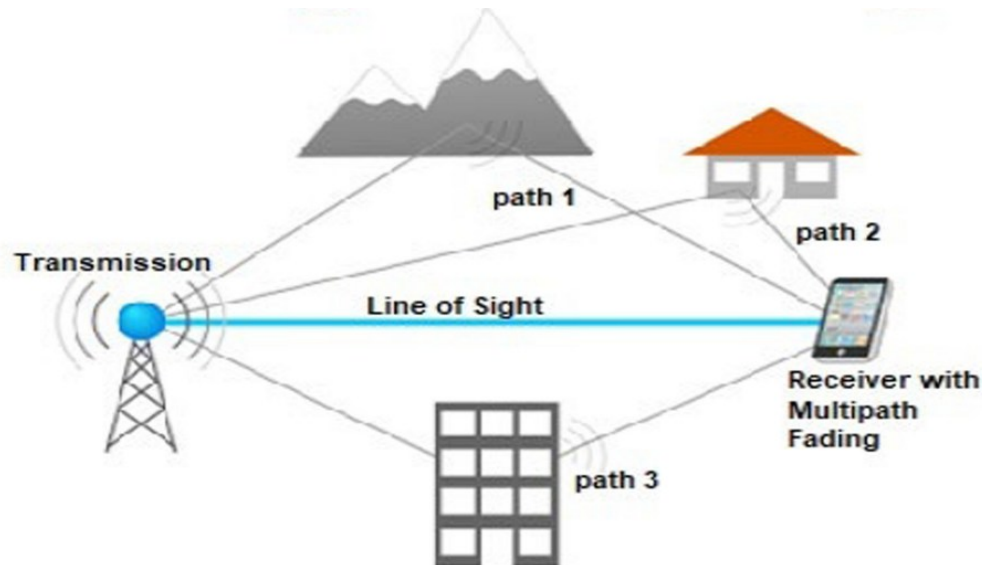
cdf

$$F(x; \sigma) = 1 - e^{-x^2/(2\sigma^2)}$$

Κατανομή Rice (Rician distribution)

56

- Σε περιπτώσεις **LOS** το λαμβανόμενο σήμα αποτελείται συνήθως από μια ισχυρή συνιστώσα (λόγω της διαδρομής οπτικής επαφής) και μικρότερες συνιστώσες (π.χ. λόγω ανακλάσεων)
- Συνήθως η ισχύς αυτής της ισχυρής συνιστώσας είναι μεγαλύτερη από τη συνολική ισχύ των μικρότερων συνιστωσών



Κατανομή Rice (Rician distribution)

57

- Τα αποτελέσματα είναι πιο συμμετρικά και λιγότερο μεταβαλλόμενα από την περίπτωση NLOS
- Η θεωρητική κατανομή που ισχύει σε αυτή την περίπτωση είναι η κατανομή Rice

pdf
$$p_r(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2 + |c_o|^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{r|c_o|}{\sigma^2}\right)$$

c_o : το πλάτος της προστιθέμενης συνιστώσας LOS

τροποποιημένη συνάρτηση Bessel πρώτου είδους και μηδενικής τάξης

$$I_0(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} e^{x \cos(\theta)} d\theta$$

Κατανομή Rice (Rician distribution)

58

- Ο λόγος της ισχύος της απευθείας συνιστώσας προς την ισχύ των πολυδιαδρομικών συνιστωσών καλείται **Rician Factor** και συμβολίζεται συνήθως K

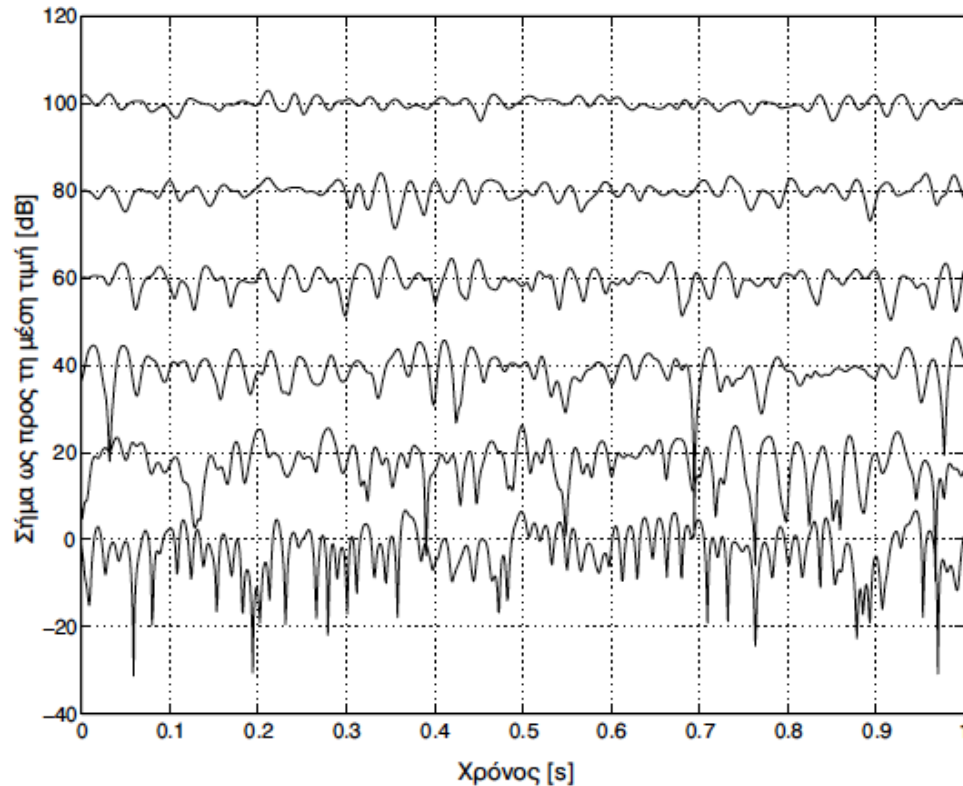
$$K = \frac{|c_o|^2}{2\sigma^2}$$
$$K(dB) = 10 \log \left(\frac{|c_o|^2}{2\sigma^2} \right)$$

$$f_R(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp \left(-\frac{r^2 + 2K\sigma^2}{2\sigma^2} \right) I_0 \left(\frac{r\sqrt{2K\sigma^2}}{\sigma^2} \right), \quad r \geq 0$$

- Είναι προφανές ότι όταν δεν υπάρχει ισχυρή συνιστώσα τότε $K=0$, δηλαδή $K(dB) \rightarrow -\infty$ και η κατανομή εκφυλίζεται στη Rayleigh.

Κατανομή Rice (Rician distribution)

59



- Τυπικά σήματα με διαλείψεις σε συνθήκες LOS (20dB μεταξύ διαγραμμάτων για λόγους ευκρίνειας).
- Μεγαλύτερο K factor σημαίνει μικρότερες διαλείψεις
- Τα κανάλια τύπου Rice είναι πιο 'φιλικά' σε σχέση με τα κανάλια τύπου Rayleigh
- Η κατανομή Rice ισχύει όταν η ισχύς από μια διαδρομή είναι πολύ πιο ισχυρή από τις υπόλοιπες διαδρομές
- Μπορεί επίσης να ισχύσει σε περίπτωση NLOS, όταν η ισχύς από μια διαδρομή είναι πολύ πιο ισχυρή από τις υπόλοιπες διαδρομές

Εμπειρικά Μοντέλα vs Θεωρητικά Μοντέλα

60

- Πλεονεκτήματα εμπειρικών μεθόδων / μοντέλων
 - ▣ Απλός υπολογισμός
 - ▣ Αρκετά ακριβή σε παρόμοια περιβάλλοντα
- Μειονεκτήματα εμπειρικών μεθόδων / μοντέλων
 - ▣ Υπόκεινται σε λάθη 'σκίασης' (Subject to shadowing 'error')
 - ▣ Ανεπαρκής προέκταση (π.χ. χρήση σε άλλες συχνότητες) αλλά και γενίκευση των αποτελεσμάτων (π.χ. χρήση σε άλλες περιοχές)
 - ▣ Φτωχή (καμιά) χρήση γεωγραφίας / γεωμετρίας του περιβάλλοντος

Εμπειρικά Μοντέλα vs Θεωρητικά Μοντέλα

61

- Πλεονεκτήματα θεωρητικών μεθόδων / μοντέλων
 - ▣ Υψηλή ακρίβεια
 - ▣ Υπολογισμός αποτελεσμάτων ανά σημείο
 - ▣ Υπολογισμοί για ένα μεγάλο εύρος παραμέτρων (π.χ. συχνότητες, γεωμετρία, κεραίες, κ.λπ.)
- Μειονεκτήματα θεωρητικών μεθόδων / μοντέλων
 - ▣ Σύνθετοι / Πολύπλοκοι υπολογισμοί
 - ▣ Ακριβά τα δεδομένα εισόδου (π.χ. ψηφιακοί χάρτες εδάφους με μεγάλη ανάλυση, ψηφιακοί χάρτες κτιρίων)
 - ▣ Τα αποτελέσματα δεν μπορούν να γενικευτούν

Computerised Planning Tools

62

- Εμπορικά λογισμικά συστήματα σχεδιασμού
- Επιτρέπουν την πρόβλεψη:
 - Περιοχή κάλυψης
 - Θορύβου
 - Αυτόματη ανάθεση συχνοτήτων
 - Άλλων θεμάτων διαχείρισης δικτύου

Άλλα Μοντέλα Εξωτερικού Χώρου

63

- Υπολογισμός των σημαντικότερων πεδιακών συνιστωσών στον δέκτη και άθροιση.

$$\vec{E}_{total} = \vec{E}_{LOS} + \vec{E}_{GO} + \vec{E}_{UTD} + \vec{E}_{PO}$$

- Για τον υπολογισμό των συνιστωσών (π.χ. ανακλάσεις από το έδαφος ή άλλα τεχνητά εμπόδια όπως τα κτίρια, περιθλάσεις από γωνίες κτιρίων, κάθετες και οριζόντιες, σκέδαση από τραχιές επιφάνειες, ή συνδυασμοί των παραπάνω), χρησιμοποιούνται αντίστοιχες θεωρίες διάδοσης (π.χ. η Γεωμετρική Οπτική, GO, ή ο νόμος του Snell, η Ομοιόμορφη θεωρία της περίθλασης, UTD, ή ο νόμος του Keller, και η Φυσική Οπτική, PO).

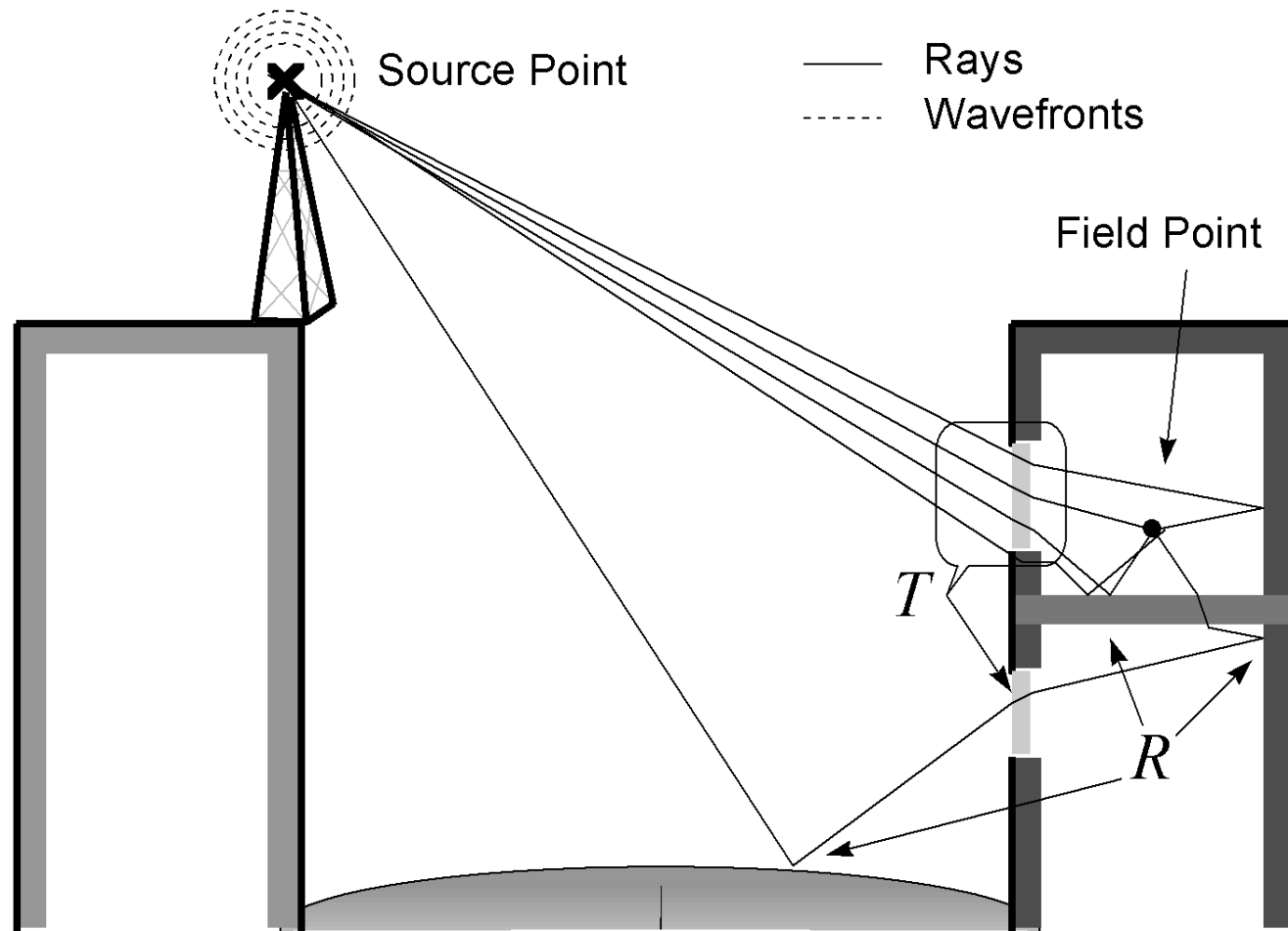
Γεωμετρική Οπτική

64

- Η γεωμετρική οπτική είναι ένας απλός τρόπος προκειμένου να βρεθεί μία κατά προσέγγιση τιμή για το πεδίο του δέκτη:
- Υπολογίστε τις **διαδρομές των ακτινών (ray paths)** μεταξύ πηγής και σημείου ενδιαφέροντος που διέπονται από τους νόμους του Snell (ray tracing)
- Υπολογίστε τους ανάλογα εμπλεκόμενους συντελεστές Fresnel ανάκλασης και διάδοσης
- Υπολογίστε άλλες διορθώσεις
- Αθροίστε όλα τα ray paths λαμβάνοντας υπόψη όλα τα σωστά μεγέθη και φάσεις των επιμέρους ακτινών.

Γεωμετρική Οπτική

65



Συνθήκες Γεωμετρικής Οπτικής

66

- Στο πρώτο βήμα, θεωρητικά θα έπρεπε να ιχνηλατήσουμε όλες τις ακτίνες, αυτό όμως θα είχε τεράστιο υπολογιστικό κόστος
- Οπότε εμείς ιχνηλατούμε μόνο τις ισχυρότερες, δηλ αυτές που έχουν τις λιγότερες αλληλεπιδράσεις στο ταξίδι τους
- Το δεύτερο βήμα στηρίζεται στην υπόθεση ότι όλα τα κύματα είναι τοπικώς επίπεδα και όλες οι επιφάνειες είναι επαρκώς μεγάλες

Συνθήκες Γεωμετρικής Οπτικής

67

- Το μήκος κύματος λ είναι μικρό σε σύγκριση με:
 - ▣ Την απόσταση μεταξύ της πηγής και των πρώτων αλληλεπιδράσεων κατά μήκος κάθε διαδρομής των ακτίνων (ray paths)
 - ▣ Την απόσταση μεταξύ των μεμονωμένων αλληλεπιδράσεων
 - ▣ Τις διαστάσεις των επιμέρους επιφανειών / αντικειμένων
 - ▣ Την καμπυλότητα οποιουδήποτε ορίου (boundary)

Γεωμετρική Οπτική - Μαθηματική Μοντελοποίηση

68

- Το συνολικό γεωμετρικό πεδίο δίνεται από:

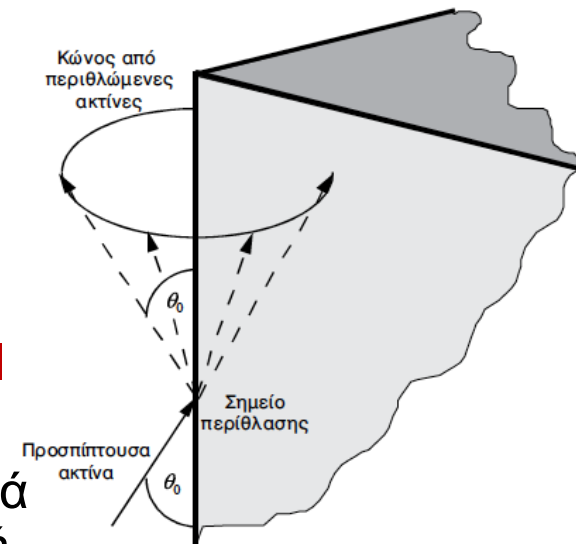
$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_o A_o e^{-jk_o r_o} + \sum_{i=1}^{N_r} \mathbf{RE}_i A_i e^{-jk_i r_i} + \sum_{j=1}^{N_t} \mathbf{TE}_j A_j e^{-jk_j r_j}$$

- N_r αριθμός των ανακλώμενων ακτίνων
- N_t αριθμός των μεταδιδόμενων ακτίνων
- r_n απόσταση από την n -οστή ακτίνα
- k_i ο κυματικός αριθμός του μέσου της i -οστής ακτίνας διάδοσης
- A_i είναι ο συντελεστής εξάπλωσης (spreading factor) για την i -οστή ακτίνα (εξαρτάται τις αποστάσεις από την πηγή και το σημείο λήψης και την καμπυλότητα της ανάκλασης και το όριο μετάδοσης)
- $E_{i,j}$ είναι το προσπίπτον πεδίο το οποίο είναι γειτονικό του σημείου μετάδοσης ή ανάκλασης
- Παράμετρος με την ένδειξη '0' σημειώνεται η απευθείας ακτίνα από την πηγή προς το σημείο διάδοσης, εφόσον δεν υπάρχουν εμπόδια

Γεωμετρική Θεωρία της Περίθλασης

69

- Σε κάποιες περιπτώσεις περίθλασης πάνω από εμπόδια, πχ λόφοι και κτίρια, η περίθλαση μπορεί να προσεγγιστεί με τις μεθόδους που έχουν περιγραφεί προηγουμένως (ευθείας ακμής - knife-edged)
- Σε άλλες, είναι απαραίτητο να λάβουμε υπόψη τη κατασκευή του εμποδίου και τις συστατικές του παραμέτρους (constitutive parameters)
- Η μέθοδος της γεωμετρικής οπτικής μπορεί να επεκταθεί για να συμπεριλάβει τη περίθλαση → γεωμετρική θεωρία της περίθλασης (**geometrical theory of diffraction - GTD**)
- Η αρχική μέθοδος της GTD δεν προέβλεπε σωστά το πεδίο σε σημεία κοντά στο όριο σκιάς (περιοχή μετάβασης - transition region) και η GTD επεκτάθηκε στην ομοιόμορφη γεωμετρική θεωρία της περίθλασης (UTD –Uniform Theory of diffraction)



Γεωμετρική Θεωρία της Περίθλασης

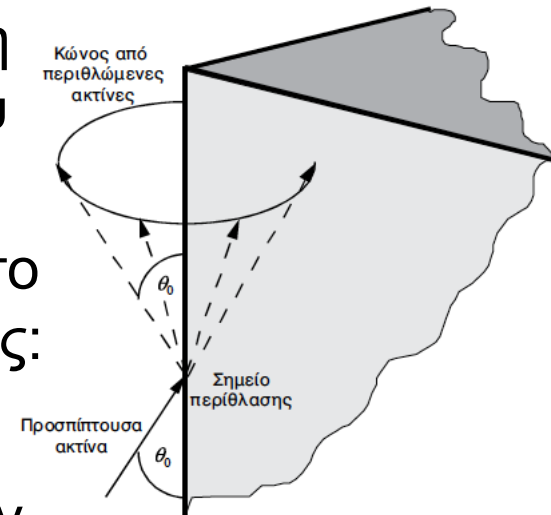
70

- Κεντρική ιδέα του GTD: μια ακτίνα προσπίπτει υπό γωνία στην ακμή ενός εμποδίου με μια γωνία θ_0 . Η αρχή του Fermat για περίθλαση ακμής προβλέπει τη παραγωγή ενός κώνου ακτίνων περίθλασης με γωνία θ_0

- Μετά τον ορισμό του σημείου περίθλασης, το πεδίο περίθλασης μπορεί να υπολογιστεί ως:

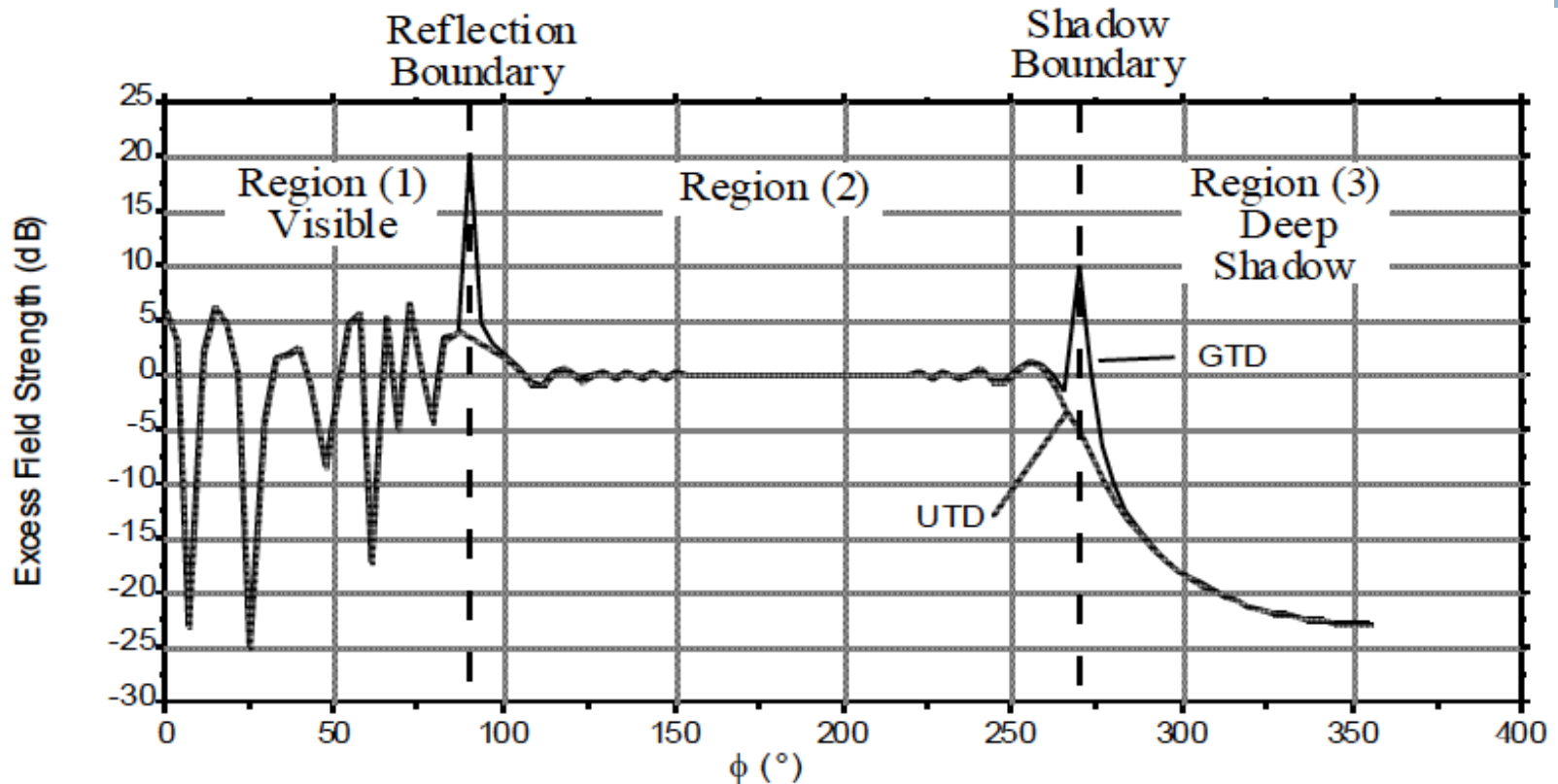
$$\mathbf{E}_d = \mathbf{D}\mathbf{E}_i A_d$$

- Ο πιο πάνω όρος μπορεί να προστεθεί στην εξίσωση υπολογισμού πεδίου της γεωμετρικής οπτικής (geometrical optics), ώστε να υπολογίσει το πεδίο εντός της περιοχής σκιάς



Σύγκριση GTD/UTD για ακμή

71



Ένα μειονέκτημα της μεθόδου GTD είναι ότι δεν υπολογίζει σωστά το πεδίο στα σημεία μετάβασης (transition). Για το σωστό υπολογισμό της περίθλασης σε όλα τα σημεία χρησιμοποιείται η μέθοδος UTD (Uniform Theory of Diffraction).

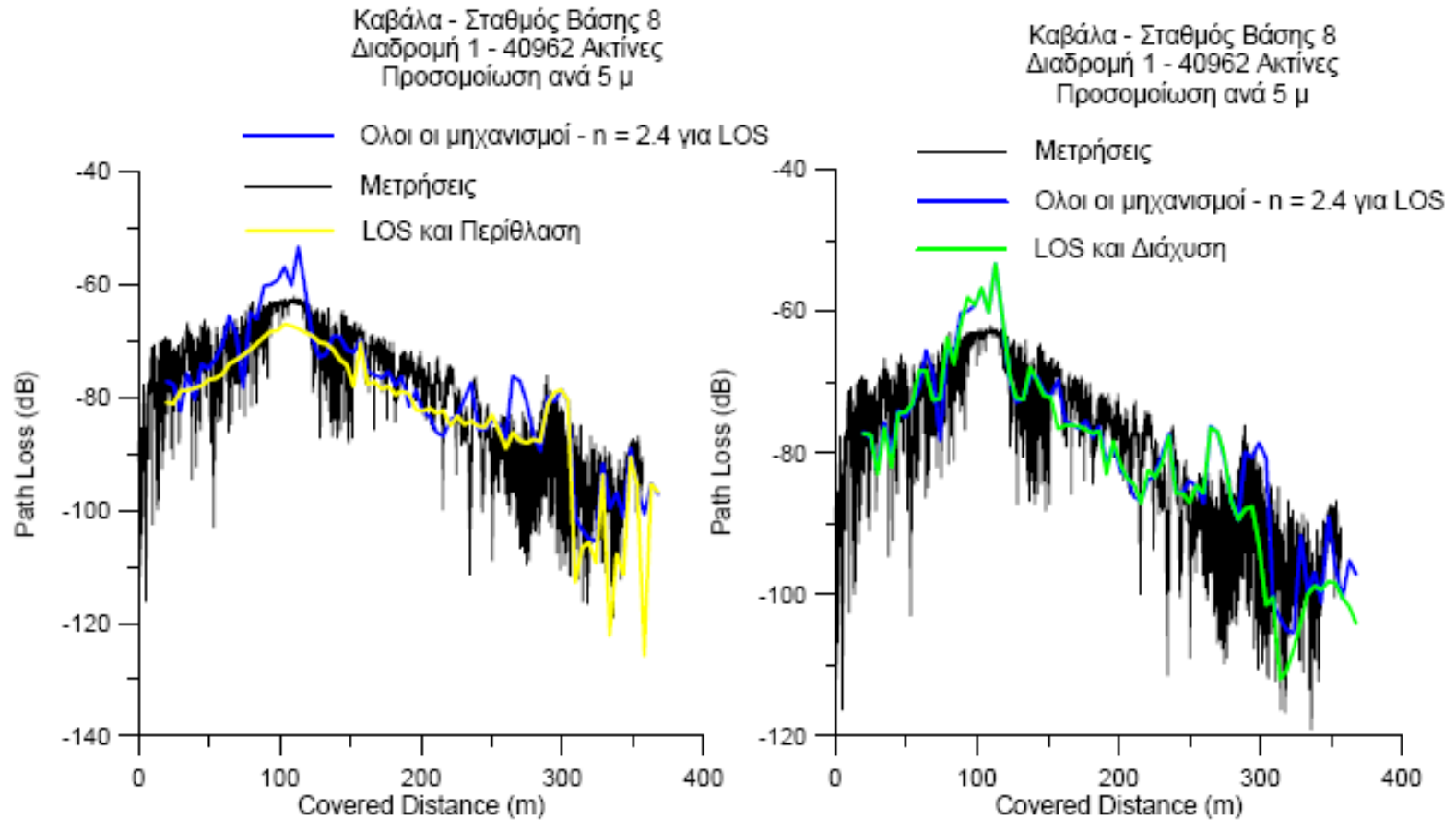
Αναλυτικά Μοντέλα

75

- Κάθε συνιστώσα αναπαρίσταται από μία ακτίνα (ray).
- Απαιτείται πλήρης γνώση της σχετικής γεωμετρίας πομπού-δέκτη-σκεδαστών καθώς και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των σκεδαστών.
- Υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις στο πρόβλημα υπολογισμού των συνιστωσών
 - ▣ Ray launching : δηλαδή εκπομπή ακτινών προς όλες τις κατευθύνσεις (ανάλογα και με το διάγραμμα ακτινοβολίας) και άθροιση στο δέκτη όσων καταφθάνουν, ικανοποιώντας τους αντίστοιχους νόμους.
 - ▣ Υπολογισμός συγκεκριμένων ακτινών (π.χ. μόνο ανακλάσεις και περιθλάσεις ή υβριδικές μέχρι 2ης τάξης), οι οποίες βρίσκονται σε συγκεκριμένα επίπεδα.

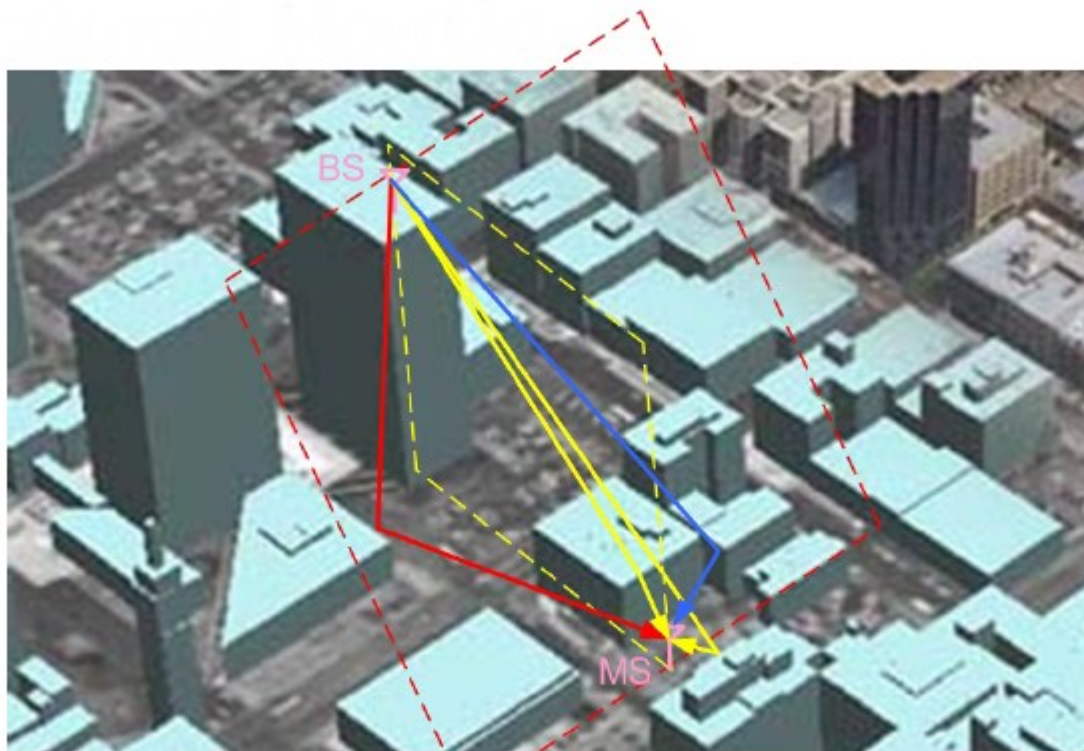
Αναλυτικά Μοντέλα

76



Αναλυτικά Μοντέλα

77



VPP (Vertical Propagation Plane) : Περιέχει τις Κίτρινες Συνιστώσες
TPP (Transverse Propagation Plane) : Περιέχει τις Κόκκινες Συνιστώσες
Οι μπλε Συνιστώσες είναι σκεδάσεις εκτός VPP ή TPP

Μοντέλα διάδοσης εσωτερικών χώρων

78

- Το κανάλι εσωτερικού χώρου είναι διαφορετικό από το εξωτερικού χώρου:
 - μικρότερες αποστάσεις
 - μεγάλη ποικιλία χώρων – λόγω διάταξης κτιρίων, επίπλων, υλικών κατασκευής, κ.λ.π.
 - σχετικά νέο πεδίο έρευνας (20 χρόνια νεότερο).

- Μοντέλα εσωτερικού χώρου
 - Μοντέλο Ericsson πολλαπλών κλίσεων
 - Μοντέλο παράγοντα εξασθένησης (attenuation factor)

Μοντέλο Keenan-Motley

79

□ Μοντέλα Εσωτερικών Χώρων

$$PL(d) = PL(d_o) + 10n \log_{10} d + \sum_{i=1}^I k_{fi} L_{fi} + \sum_{j=1}^J k_{wj} L_{wj}$$

- $PL(d_o)$ είναι η εξασθένιση αναφορικά με την απόσταση αναφοράς (1 μέτρο) ($PL(d_o)=37dB$)
 - n : είναι ο συντελεστής απωλειών διάδοσης ($n=2$)
 - d : είναι η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη
 - L_{fi} : είναι οι απώλειες που προκαλούνται από τα πατώματα του τύπου i
 - I : το πλήθος των κατηγοριών για τα πατώματα
 - J : το πλήθος των κατηγοριών για τους τοίχους
 - k_{fi} : είναι ο αριθμός των ορόφων (πατωμάτων) του τύπου i , μεταξύ πομπού και δέκτη
 - L_{wj} : είναι οι απώλειες που οφείλονται στους τοίχους του τύπου j , που παρεμβάλλονται στο μονοπάτι διάδοσης
 - k_{wi} : είναι ο αριθμός των τοίχων του τύπου j ανάμεσα στο πομπό και στο δέκτη
- Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Μοντέλο Keenan-Motley

80

- Τυπικές Τιμές Απωλειών για $f=1700\text{MHz}-1900\text{MHz}$
- Στη βιβλιογραφία υπάρχουν διάφορες τιμές για διαφορετικές συχνότητες και άλλα υλικά.

Υλικό	Απώλειες (dB)
Τούβλο	2.5
Γυψοσανίδα	1.3
Τσιμέντο	10.8
Πλάκα Ορόφου	23.62

Μοντέλα Εσωτερικού Χώρου Απλής Κλίσης

81

$$PL(d) = PL(d_o) + 10n \log(d)$$

Τυπικές Τιμές n και $[PL(d_o)]$ για 0.8-1.9GHz (COST231)		
Περιβάλλον	n $[PL(d_o)]$	Κύριος Μηχανισμός
Διάδρομοι	1.4-1.9 [39.2-42.7]	Κυματοδήγηση
Μεγάλα, ανοικτά δωμάτια	~2 [37.5]	LOS
Πυκνά Επιπλωμένα Δωμάτια	~ 4 [33.3]	OBS, NLOS
Πολλαπλοί Όροφοι	5.2-5.4 [21.9-44.9]	Εξασθένηση από Δάπεδα και Τοίχους

Γραμμικό Μοντέλο Εσωτερικού Χώρου

82

$$PL(d) = FSL(d) + ad$$

- Για εμπορικά κέντρα
- Για συχνότητες από 0.9-4GHz και
- Για αποστάσεις BS-MS μέχρι 100m

$$a(dB / m) = 0.2 - 0.6$$

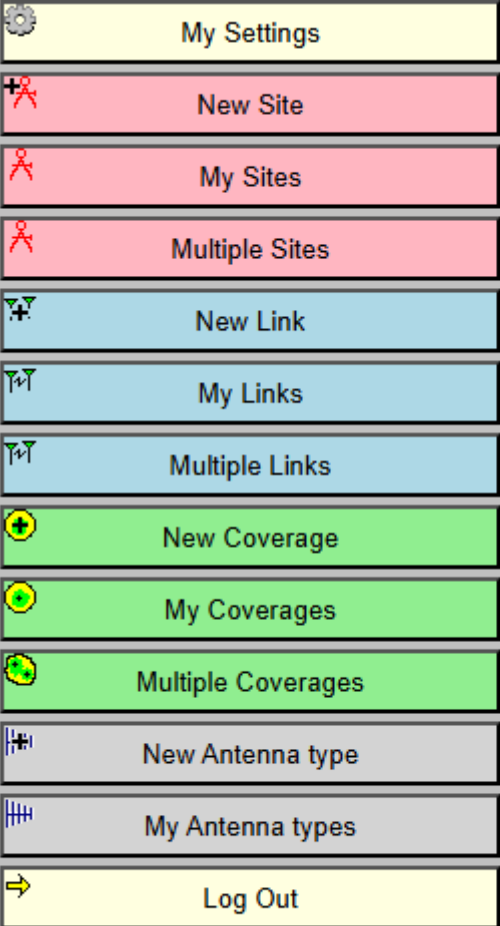
- Παρατηρήστε ότι όσο αυξάνει η απόσταση d , τόσο μεγαλύτερη η απόκλιση από το FSL

Microwave Path Profile Generator

<https://www.ve2dbe.com/english1.html>

Input Data

84




A vertical menu of navigation options with icons and text labels. The menu items are:

- My Settings (gear icon)
- New Site (plus and scissors icon)
- My Sites (scissors icon)
- Multiple Sites (scissors icon)
- New Link (plus and chain link icon)
- My Links (chain link icon)
- Multiple Links (chain link icon)
- New Coverage (plus and globe icon)
- My Coverages (globe icon)
- Multiple Coverages (globe icon)
- New Antenna type (plus and antenna icon)
- My Antenna types (antenna icon)
- Log Out (arrow icon)


Copyright Roger Coudé Canada 2005

Terrain Map


85

 **New Link**

The link requires two different sites

From 

Antenna height (m above ground) 32.81 ft

To 

Antenna height (m above ground) 16.40 ft

Description

Frequency (MHz)

Tx power (Watts) 36.99 dBm

Tx line loss (dB)

Tx antenna gain (dBi)

Rx antenna gain (dBi)

Rx line loss (dB)

Rx threshold (μ V) -127.00 dBm

Required reliability (%)

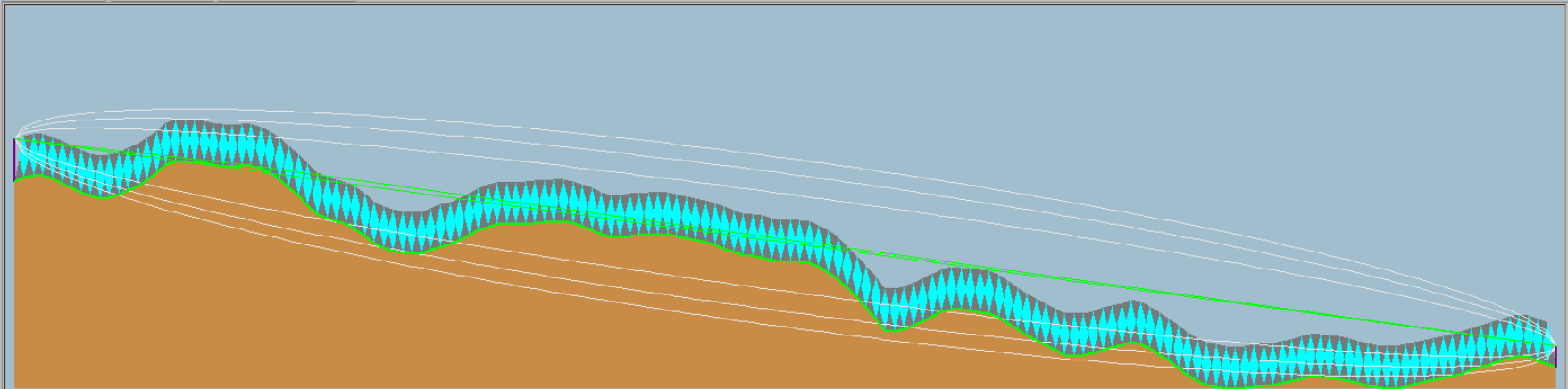
Use land cover

Use two rays

Site Database

86

[Add to my links](#)
[Modify this link](#)
[Return to main menu](#)

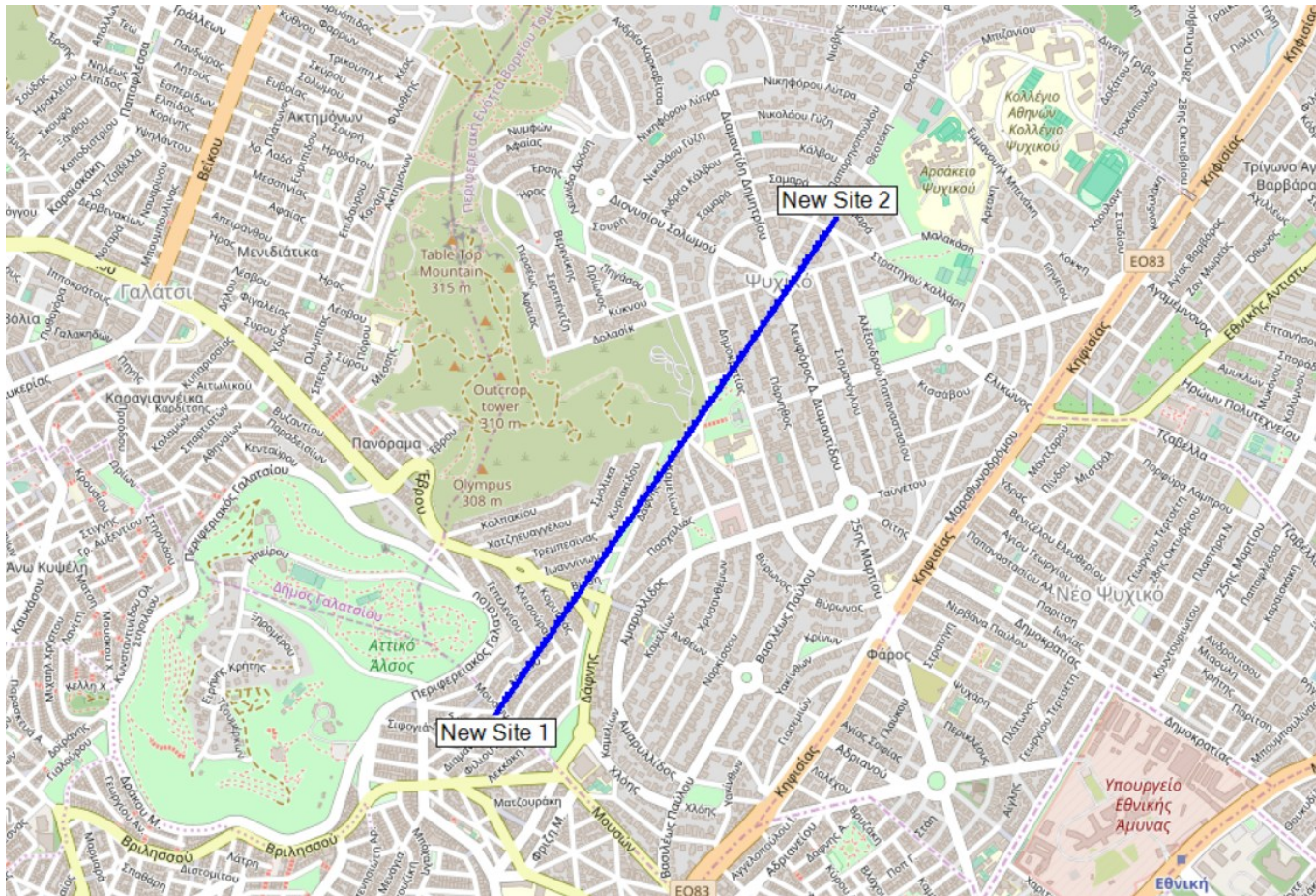


Radio link study 1

New Site 1 (1)		(2) New Site 2	
Latitude	38.002656 °	Latitude	38.014693 °
Longitude	23.763428 °	Longitude	23.773899 °
Ground elevation	244.3 m	Ground elevation	200.2 m
Antenna height	10.0 m	Antenna height	5.0 m
Azimuth	34.42 TN 29.62 MG °	Azimuth	214.43 TN 209.62 MG °
Tilt	-1.74 °	Tilt	1.73 °
Radio system		Propagation	
TX power	36.99 dBm	Free space loss	95.74 dB
TX line loss	2.00 dB	Obstruction loss	10.83 dB
TX antenna gain	8.00 dBi	Forest loss	0.00 dB
RX antenna gain	8.00 dBi	Urban loss	20.86 dB
RX line loss	2.00 dB	Statistical loss	16.12 dB
RX sensitivity	-127.00 dBm	Total path loss	143.55 dB
Performance			
Distance		1.623 km	
Precision		10.0 m	
Frequency		905.000 MHz	
Equivalent Isotropically Radiated Power		19.905 W	
System gain		175.99 dB	

Mechanism



87



Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

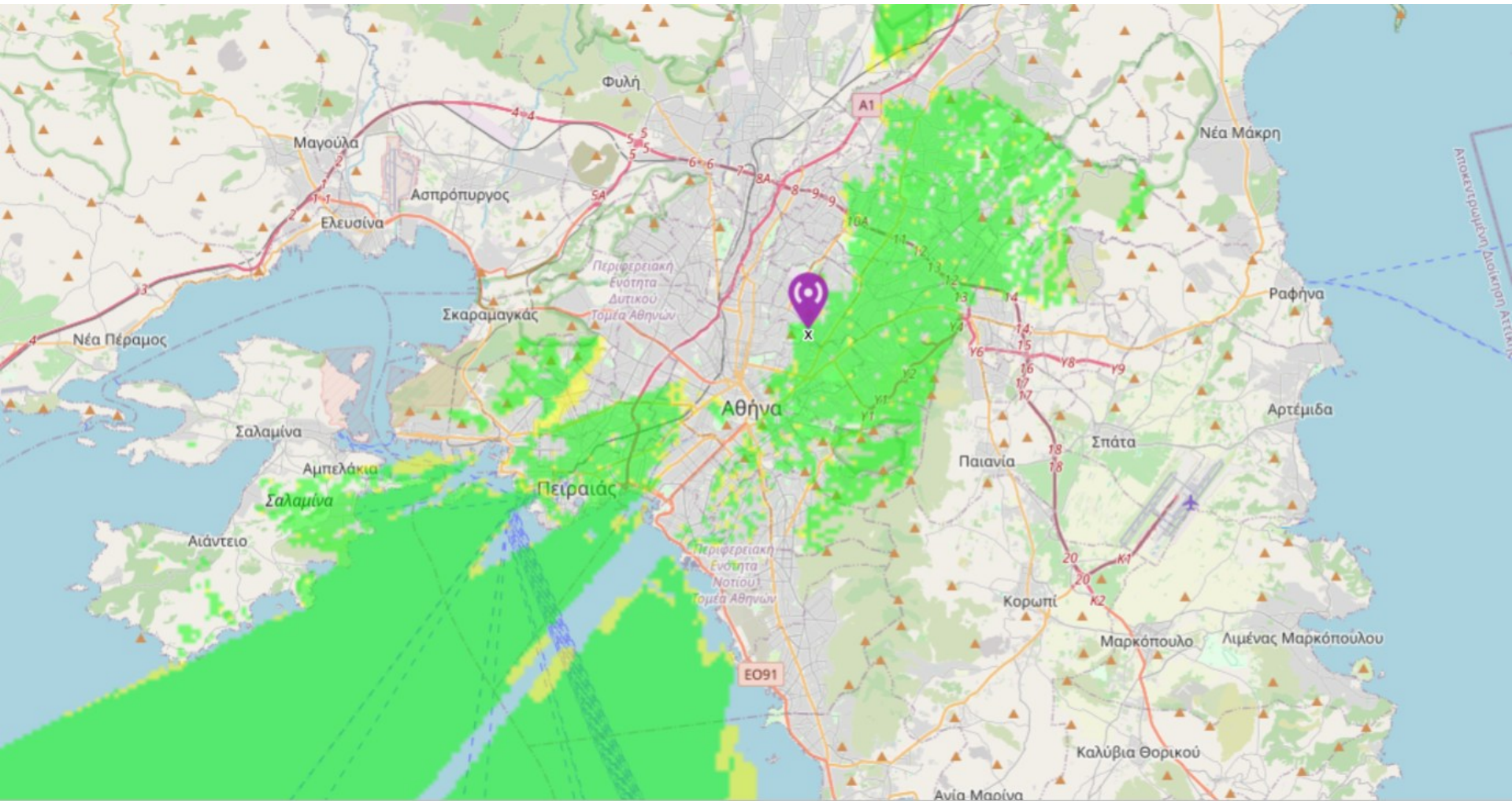
Area Coverage

88

Centre Site	New Site 1	
Antenna Height (m above ground)	15	49.21 ft
Antenna Type	Ellipse	
Antenna Azimuth (°)	45	
Antenna Tilt (°)	45	
Antenna Gain (dBi)	8	
<hr/>		
Mobile Antenna Height (m)	2	6.56 ft
Mobile Antenna Gain (dBi)	2	
<hr/>		
Description		
Frequency (MHz)	3400	
Tx power (Watts)	20	43.01 dBm
Tx line loss (dB)	3	
Rx line loss (dB)	0.5	
Rx threshold (μV)	0.5	-113.02 dBm
Required reliability (%)	70	
<hr/>		
Strong Signal Margin (dB)	10	
Strong Signal Color		
Weak Signal Color		
Opacity (%)	50	
Maximum range (km)	100	62.1371 mi
Rendering	High resolution	
Use land cover	<input checked="" type="checkbox"/>	
Use two rays	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input type="button" value="Define as default values"/>		<input type="button" value="Restore original values"/>
<hr/>		
<input type="button" value="Submit"/>		

Area Coverage

89



Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής