

# Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκπομπής

Μοντέλα Ραδιοκάλυψης

Δημοσθένης Βουγιούκας

Αναπληρωτής Καθηγητής Παν. Αιγαίου

[dnougiou@aegean.gr](mailto:dnougiou@aegean.gr)

ΕΚΠΑ

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## 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

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

## Μοντέλα Απωλειών Διάδοσης

4

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



Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

## 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.

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

## 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 γενικοποιούνται 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.

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

## 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:

$$PL(dB) = 10 \log_{10} \frac{P_R}{P_T} = 10 \log_{10} G_T + 10 \log_{10} G_R - 20 \log_{10} f - 20 \log_{10} d + k$$
$$k = 20 \log_{10} \left( \frac{3 \times 10^8}{4\pi} \right) = 147.6$$

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

## 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.).
- Χρησιμοποιείται όπως και το προηγούμενο μοντέλο σαν αναφορά για την σύγκριση των διαφόρων μοντέλων.

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

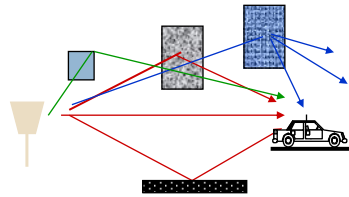
$$P_r(d) = P_t \cdot G_t(\theta_t, \varphi_t) \cdot G_r(\theta_r, \varphi_r) \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \cdot 4 \sin^2 \left( \frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d} \right) \quad \text{χωρίς προσέγγιση}$$

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

## Στατιστικά Μοντέλα Ραδιοδιαύλων

9

- 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  $\tau$ ,  $t$
- Συνεπώς έχουμε χρονικά μεταβαλλόμενες κρουστικές αποκρίσεις των ραδιοδιαύλων.



Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

## Εμπειρικά Μοντέλα

10

- Χρησιμοποιούνται στις προσομοιώσεις κυβελωτών συστημάτων
- **Okumura model**
  - Εμπειρικό (site/freq specific)
  - Μη εύχρηστο (uses graphs)
- **Hata model**
  - Αναλυτική προσέγγιση του Okumura μοντέλου.
- **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.

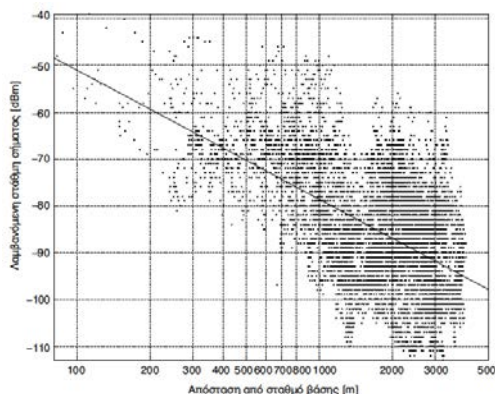
Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

# Εμπειρικά Μοντέλα

11

- 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



Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

# Εκθετικό μοντέλο υπολογισμού απωλειών διάδοσης

12

- 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

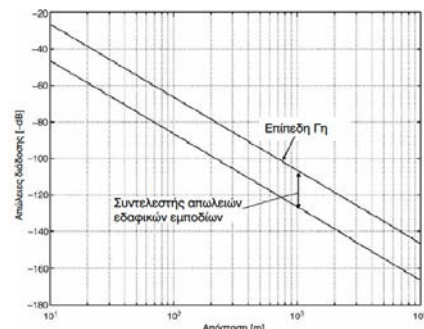
Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

## Μοντέλο απωλειών διάδοσης με Εμπόδια

13

- Η διενέργεια πρακτικών ραδιομετρήσεων σε αστικές και προαστιακές περιοχές συνήθως συστήνει χρήση ενός συντελεστή path loss εκροπή 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  $L_{ref}$  και  $n$  που χρησιμοποιούν.

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



Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

## Μοντέλο Okumura

14

- 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

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

## Μοντέλο Okumura

15

- 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

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

## Μοντέλο Okumura

16

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:

- Η απόσβεση ελευθέρου χώρου είναι:  $L_{FS} = 10 \log \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$
- $A(f_0, d)$  η μεσαία εξασθένιση
- $f_0$  η συχνότητα φέροντος σε MHz
- $d$  η απόσταση σε km και

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

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

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

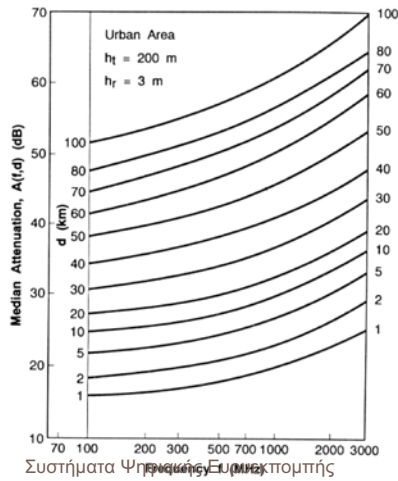
Ο  $G_{area}$  είναι ένας συντελεστής διόρθωσης εξαρτώμενος από το είδος του εδάφους.

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής



# Μοντέλο Okumura

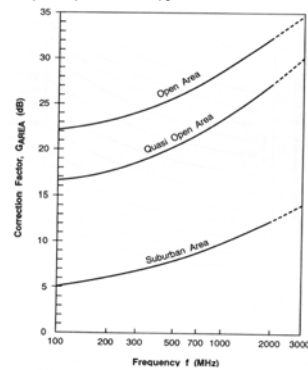
17



Ο πίνακας μας δίνει την median εξασθένιση:

$$A(f_0, d)$$

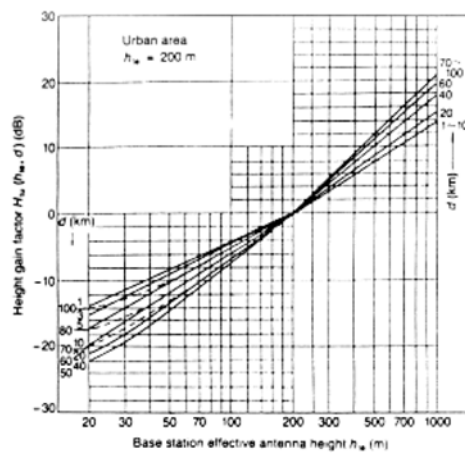
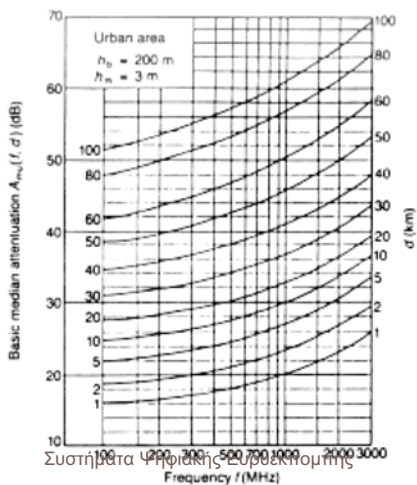
Με αυτήν και όλα τα προηγούμενα μπορούμε να υπολογίσουμε την median απόσβεση διάδοσης



Συστήματα Ψηφιακής Ευρυζωνικότητας

# Μοντέλο Okumura

18



Συστήματα Ψηφιακής Ευρυζωνικότητας

18

## Μοντέλο Hata

19

- 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 την 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

$$\begin{aligned} 150 &\leq f \leq 1500 \text{ MHz} \\ 30 &\leq h_t \leq 200 \text{ m} \\ 1 &\leq h_r \leq 10 \text{ m} \\ 1 &\leq d \leq 20 \text{ Km} \end{aligned}$$

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

## Μοντέλο Hata

20

- 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

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

## Μοντέλο Hata

21

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

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

## COST 231 - extension Hata model

22

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

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

- 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=1km έως 20 km

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

## Μοντέλο Walfisch - Bertoni

23

$$S = P_0 Q^2 P_1$$

$$P_0 = \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2$$

$$S(\text{dB}) = L_0 + L_{rts} + L_{ms}$$

Όπου:

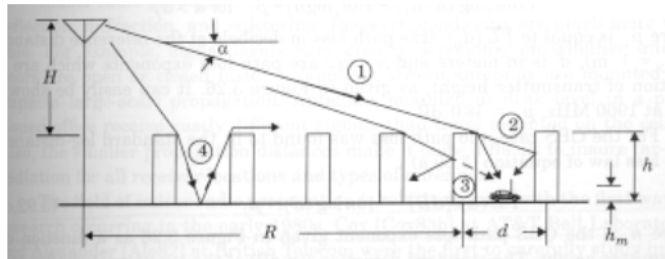
$P_0$  free space path loss

$Q^2$  reduction in the rooftop signal due to the row buildings

$P_1$  diffraction loss from roof to street

$L_{rts}$  rooftop-to-street diffraction and scatter loss

$L_{ms}$  diffraction loss due to the rows of buildings

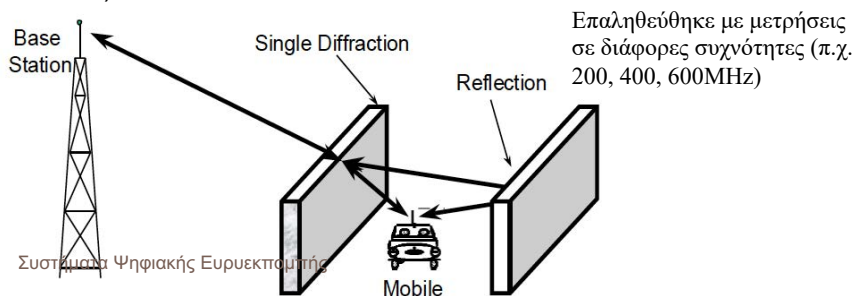


Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

## Ikegami Model

24

- 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 ( $L_r = 0.25$ )

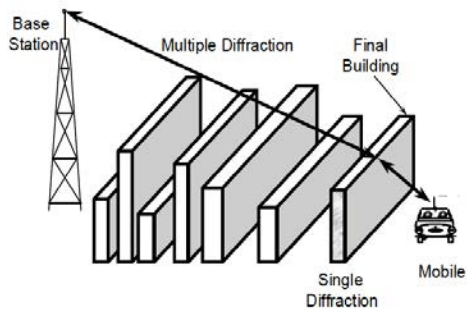


Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

## Περίθλαση από στέγες κτιρίων

25

- Ένας από τους κύριους 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.

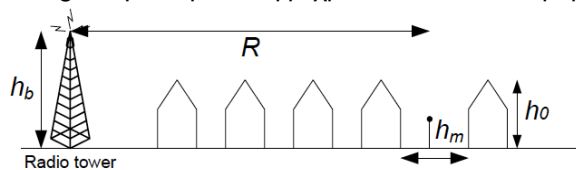


Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

## COST231 Walfisch-Ikegami Model

26

- 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.

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

## Μοντέλο IEEE 802.16

27

- Στηρίζεται στο μοντέλο απλής κλίσης. 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

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

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

## Μοντέλο IEEE 802.16

28

- 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.

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

## Μοντέλο IEEE 802.16

29

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

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

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

## Μοντέλο IEEE 802.16

30

- 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  $k_h$

$$k_f = 6 \log \left( \frac{f_{MHz}}{2000} \right)$$
$$k_h = \begin{cases} -10.8 \log \left( \frac{h_{MS}}{2} \right), & \text{Έδαφος Τύπου A και B} \\ -20 - \log \left( \frac{h_{MS}}{2} \right), & \text{Έδαφος Τύπου C} \end{cases}$$

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

## Street Microcells

31

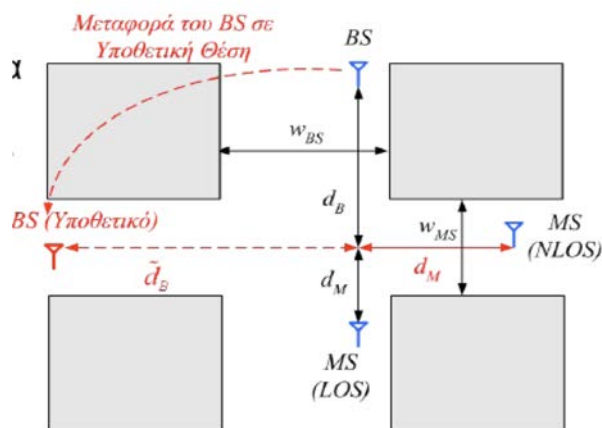
- Σε περιπτώσεις όπου η κεραία του ΣΒ είναι αρκετά πιο χαμηλά από τις στέγες των κτιρίων και το σύστημα χρησιμοποιεί microcells, τα μοντέλα που έχουν προταθεί είναι τροποποιήσεις του μοντέλου επίπεδης γης (two-ray model).
- Για LOS μεταξύ BS και MS χρησιμοποιούν μοντέλο διπλής κλίσης με ένα συντελεστή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

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

## RACE Dual Slope Model

32

Σχετική γεωμετρία για LOS και NLOS



Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής



## RACE Dual Slope Model

33

- Για LOS:

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

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

- Για NLOS αντικατέστησε  $\bar{d}_B \rightarrow d_B$   $\bar{d}_{BP} \rightarrow d_{BP}$
- 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)

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκπομπής

## Σήματα δορυφορικών ζεύξεων - Κατηγορίες επιδράσεων

34

- **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)

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκπομπής

## Μηχανισμοί Εξασθένησης Σήματος

35

- Εξασθένηση (σταγόνες βροχής, ομίχλη, σύννεφα)
- Η εξασθένηση στην οποία υπόκειται ένα ραδιοκύμα όταν περνά από την τροπόσφαιρα αποτελείται από δύο συστατικά τα οποία λαμβάνουν υπόψη απώλειες λόγω απορρόφησης και 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

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκπομπής

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

36

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

$R$ : Rain Rate in mm/hr

$f$ (GHz)	$\alpha$	$b$
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

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκπομπής

## Επιδράσεις σκίασης – Διαφορές μεταξύ κινητών δορυφορικών συστημάτων και επίγειων ζεύξεων

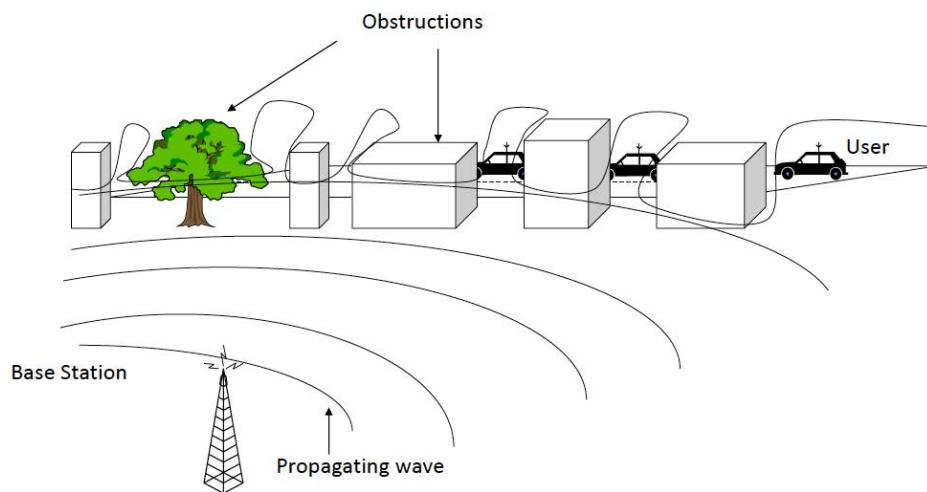
37

- 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)
- 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 της γρήγορης διάλειψης, η οποία είναι στενά συνδεδεμένη 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

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

## Επιδράσεις Σκίασης

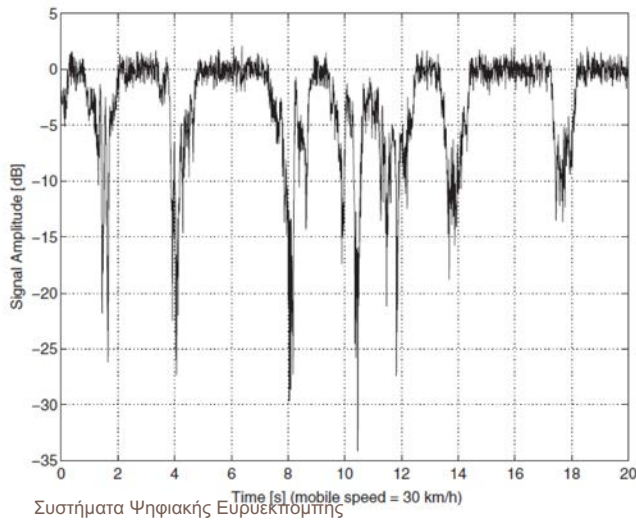
38



Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

## Επιδράσεις Σκίασης

39



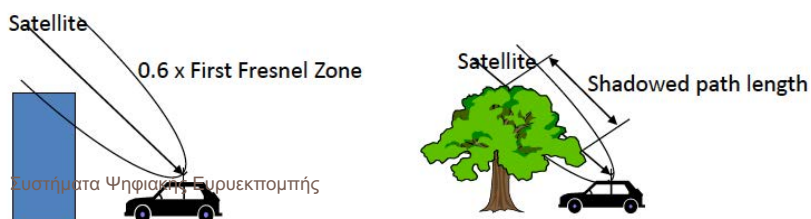
- Ημιαστικό περιβάλλον
- Απότομες, συχνές μεταβολές από συνθήκες LOS σε συνθήκες NLOS

Figure 14.3: Example channel variations measured in a suburban area

## Σκίαση – Τοπικές Επιδράσεις

40

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



## Μοντέλα Δορυφορικών Επικοινωνιών

41

- 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

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκπομπής

## Λογαριθμοκανονική Κατανομή (Lognormal)

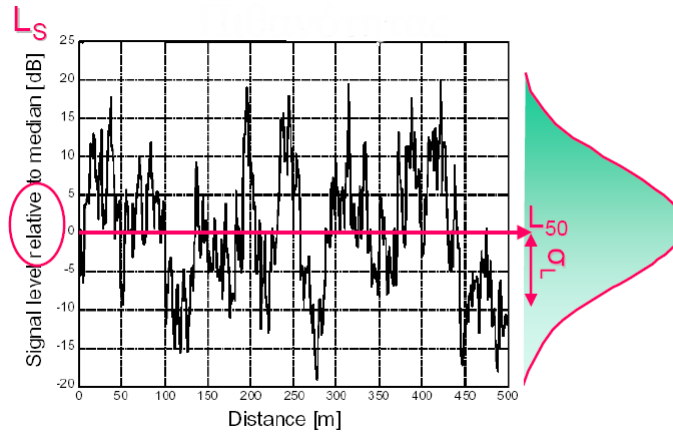
42

- Διακύμανση μεγέθους 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.

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκπομπής

## Λογαριθμοκανονική Κατανομή (Lognormal)

43



Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

## Λογαριθμοκανονική Κατανομή (Lognormal)

44

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

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

- $\omega_{dB}$  μια τυχαία μεταβλητή (dB), που ακολουθεί κανονική κατανομή, με μηδενική μέση τιμή και τυπική απόκλιση  $\sigma_\omega$  σε dB

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

## Λογαριθμοκανονική Κατανομή (Lognormal)

45

- 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:

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

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

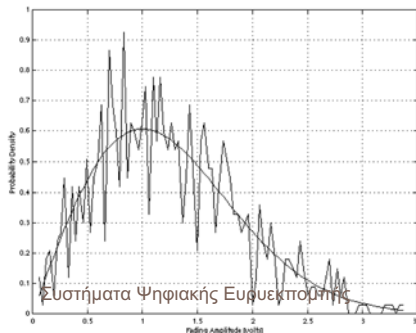
$$\mu_{PL}(dBm) = \overline{PL(d)} = \overline{PL(d_o)} + 10n \log\left(\frac{d}{d_o}\right)$$

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

## Κατανομή Rayleigh (Rayleigh distribution)

46

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



$$\text{pdf } p_r(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right)$$

$\sigma^2$ : ισχύς του σήματος

$$\text{cdf } F_r(R) = \Pr(r \leq R) = 1 - \exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right)$$

## Κατανομή Rice (Rician distribution)

47

- 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
- 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

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

$c_o$ : το πλάτος της προστιθέμενης συνιστώσας LOS

τροποποιημένη συνάρτηση Bessel πρώτου είδους και μηδενικής τάξης  
Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομπής

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

## Κατανομή Rice (Rician distribution)

48

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

$$K = \frac{|c_o|^2}{2\sigma^2}$$

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

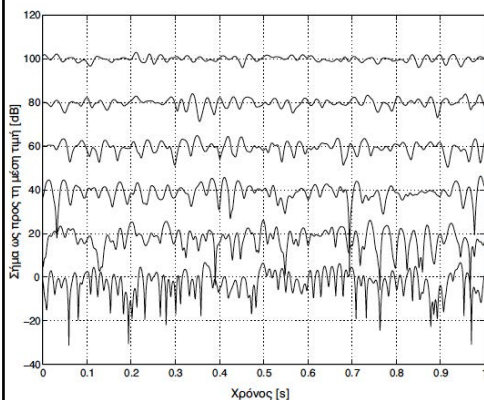
- Είναι προφανές ότι όταν δεν υπάρχει ισχυρή συνιστώσα τότε  $K=0$ , δηλαδή  $K(dB) \rightarrow -\infty$  και η κατανομή εκφυλίζεται στη Rayleigh.

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομπής



## Κατανομή Rice (Rician distribution)

49



Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

- 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' παράτα 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

50

- 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 γενικοποίηση των αποτελεσμάτων (π.χ. χρήση σε άλλες περιοχές)
  - ▣ Προβλήματα ταξινόμησης
  - ▣ Φτωχή (καμιά) χρήση γεωγραφίας / γεωμετρίας του περιβάλλοντος

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

## Εμπειρικά Μοντέλα vs Θεωρητικά Μοντέλα

51

- 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 γενικοποιηθούν

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκπομπής

## Computerised Planning Tools

52

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

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκπομπής

## Άλλα Μοντέλα Εξωτερικού Χώρου

53

- Υπολογισμός των σημαντικότερων πεδιακών συνιστωσών στο 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).

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομπής

## Γεωμετρική Οπτική

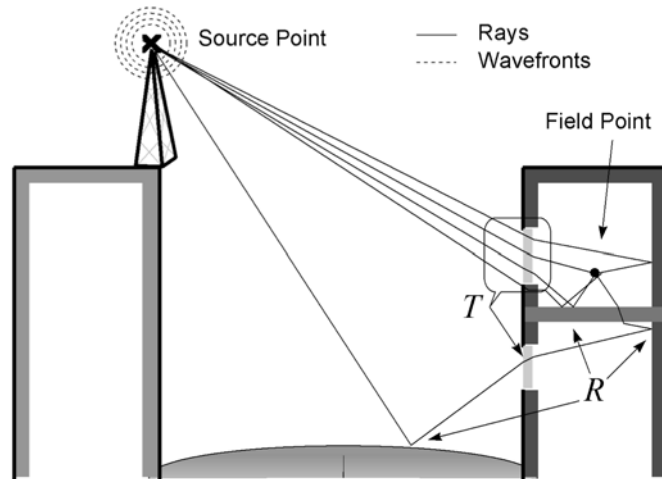
54

- 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.

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομπής

## Γεωμετρική Οπτική

55



Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

## Συνθήκες Γεωμετρικής Οπτικής

56

- Το μήκος κύματος  $\lambda$  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)

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

## Γεωμετρική Οπτική - Μαθηματική Μοντελοποίηση

57

- Το συνολικό γεωμετρικό πεδίο δίνεται από:

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

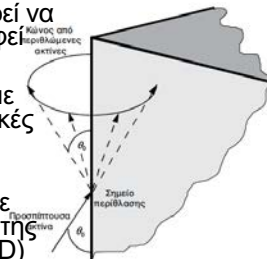
- $N_r$  αριθμός των ανακλώμενων ακτίνων
- $N_t$  αριθμός των μεταδιδόμενων ακτίνων
- $r_n$  απόσταση από την  $n$ -οστή ακτίνα
- $k_i$  ο κυματικός αριθμός του μέσου της  $i$ -οστής ακτίνας διάδοσης
- $A_i$  είναι ο συντελεστής εξάπλωσης (spreading factor) για την  $i$ -οστή ακτίνα (εξαρτάται τις αποστάσεις από την πηγή και το σημείο λήψης και την καμπυλότητα της ανάκλασης και το όριο μετάδοσης)
- $E_{ij}$  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

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

## Γεωμετρική Θεωρία της Περίθλασης

58

- Σε ορισμένες περιπτώσεις περίθλασης πάνω από εμπόδια όπως λόφοι και κτίρια, η περίθλαση μπορεί να προσεγγιστεί με τις μεθόδους που έχουν περιγραφεί προηγουμένως (ευθείας ακμής - knife-edged)
- Σε άλλες περιπτώσεις 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 και με αυτό τον τρόπο φτάνουμε στη 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)



Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

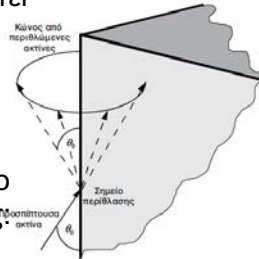
## Γεωμετρική Θεωρία της Περίθλασης

59

- Κεντρική ιδέα του GTD: μια ακτίνα προσπίπτει υπό γωνία στην ακμή ενός εμποδίου με μια γωνία  $\theta_0$ . Η αρχή του Fermat για περίθλαση ακμής προβλέπει τη παραγωγή ενός κώνου ακτίνων περίθλασης με γωνία  $\theta_0$
- Μετά τον ορισμό του σημείου περίθλασης, το πεδίο περίθλασης μπορεί να υπολογιστεί ως

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

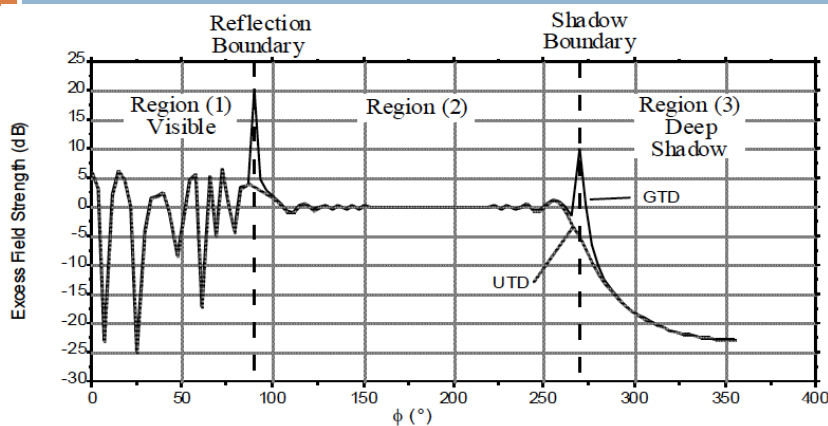
- Ο πιο πάνω όρος μπορεί να προστεθεί στην εξίσωση υπολογισμού πεδίου της γεωμετρικής οπτικής (geometrical optics), ώστε να υπολογίσει το πεδίο εντός της περιοχής σκιάς



Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

## Σύγκριση GTD/UTD για ακμή

60



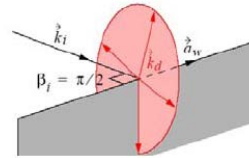
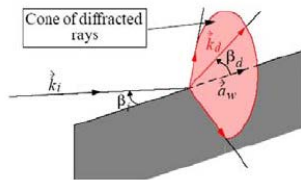
Ένα μειονέκτημα της μεθόδου GTD είναι ότι δεν υπολογίζει σωστά το πεδίο στα σημεία μετάβασης (transition). Για το σωστό υπολογισμό της περίθλασης σε όλα τα σημεία χρησιμοποιείται η μέθοδος UTD (Uniform Theory of Diffraction).

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

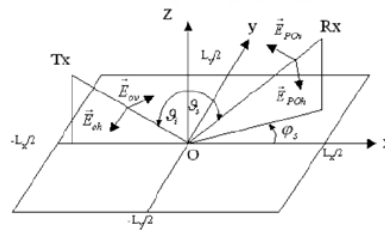
# Αναλυτικά Μοντέλα

61

## Γεωμετρία Περίθλασης από Ακμή και Νόμος του Keller



## Γεωμετρία Σκέδασης



Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

# Αναλυτικά Μοντέλα

62

## Συνεισφορά Περίθλασης

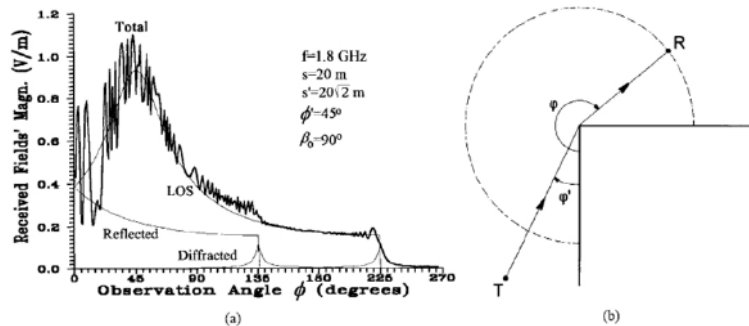


Fig. 4. (a) Field distribution of various components of a spherical wave normally incident on a  $90^\circ$  conducting wedge. Emitted field strength is  $\sqrt{60}$  V/m. (b) Wedge diffraction geometry.

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

# Αναλυτικά Μοντέλα

63

## Συνεισφορά Συνιστωσών

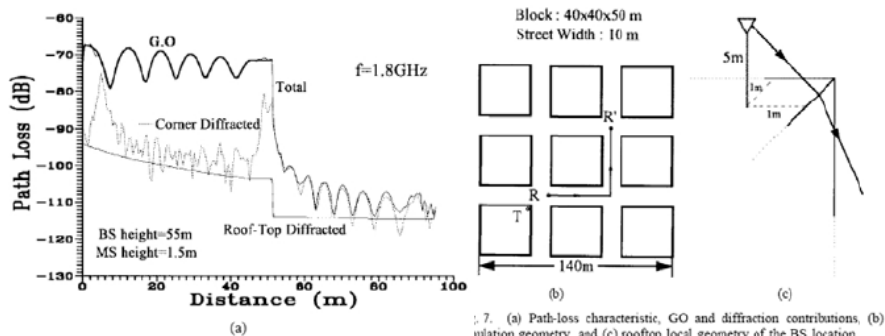


Fig. 7. (a) Path-loss characteristic, GO and diffraction contributions, (b) relation geometry, and (c) rooftop local geometry of the BS location.

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

# Αναλυτικά Μοντέλα

64

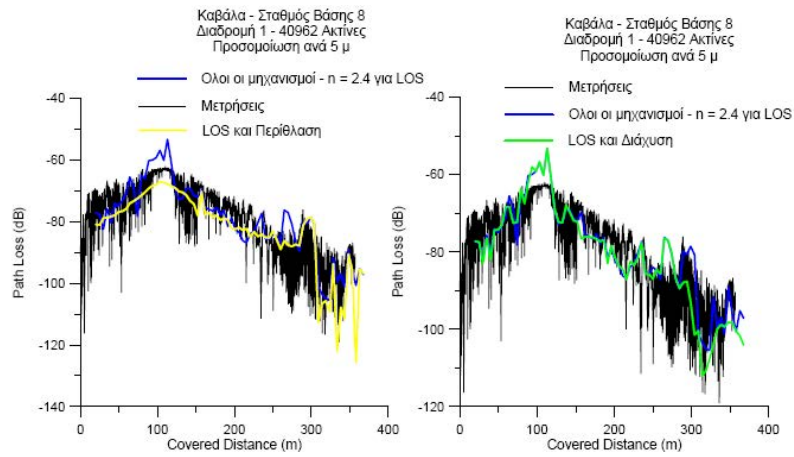
- Κάθε συνιστώσα αναπαρίσται από μία ακτίνα (ray).
- Απαιτείται πλήρης γνώση της σχετικής γεωμετρίας πομπού-δέκτη-σκεδαστών καθώς και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των σκεδαστών.
- Υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις στο πρόβλημα υπολογισμού των συνιστωσών
  - Ray launching : δηλαδή εκπομπή ακτινών προς 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.

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής



# Αναλυτικά Μοντέλα

65



Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

# Αναλυτικά Μοντέλα

66



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

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

## Μοντέλα διάδοσης εσωτερικών χώρων

67

- 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)

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

## Μοντέλο Keenan-Motley

68

- 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 εξασθένηση 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
- $k_{wj}$  : είναι ο αριθμός των τοίχων του τύπου  $j$  ανάμεσα στο πομπό και στο δέκτη

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

## Μοντέλο Keenan-Motley

69

- 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

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

## Μοντέλα Εσωτερικού Χώρου Απλής Κλίσης

70

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

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

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

## Γραμμικό Μοντέλο Εσωτερικού Χώρου

71

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

- 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

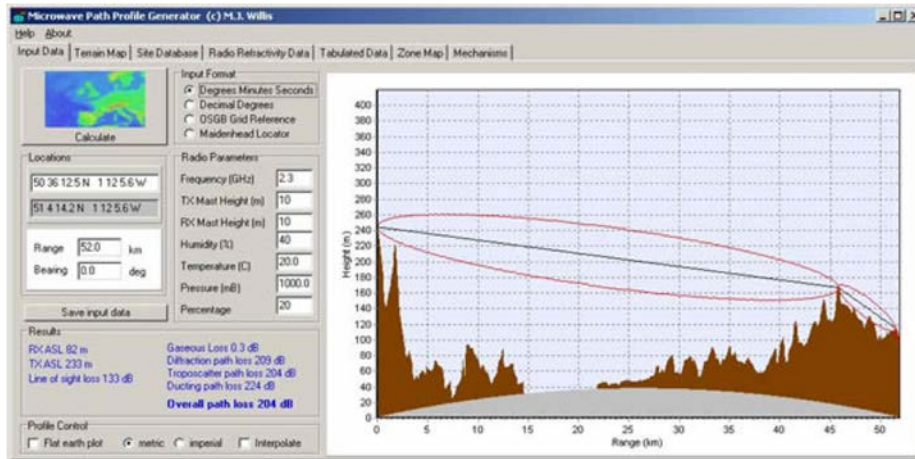
Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκπομπής

Microwave Path Profile  
Generator

<http://www.mike-willis.com/software.html>

# Input Data

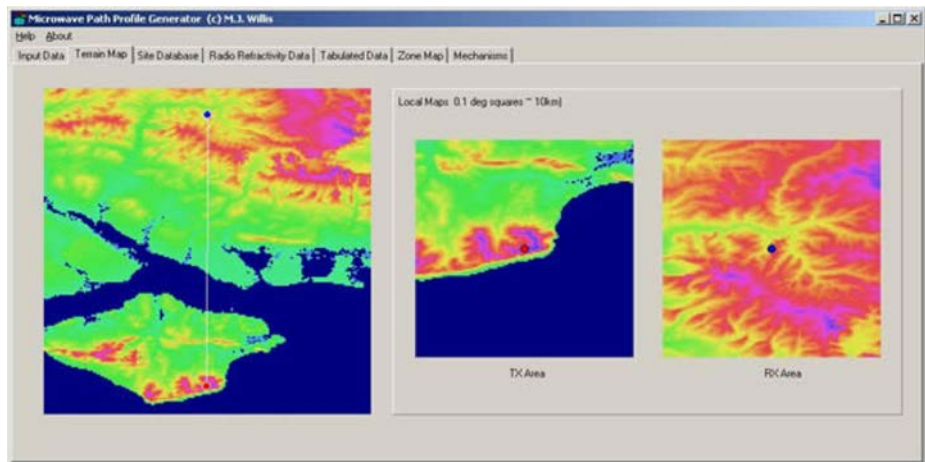
73



Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

# Terrain Map

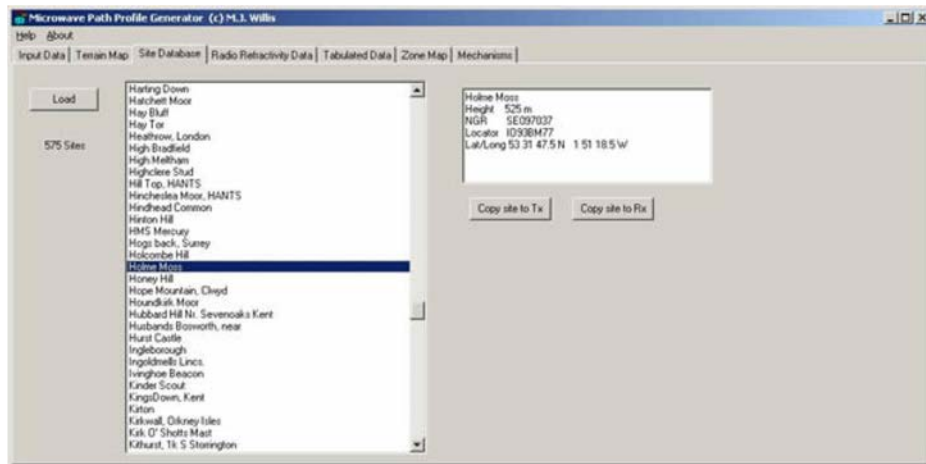
74



Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

# Site Database

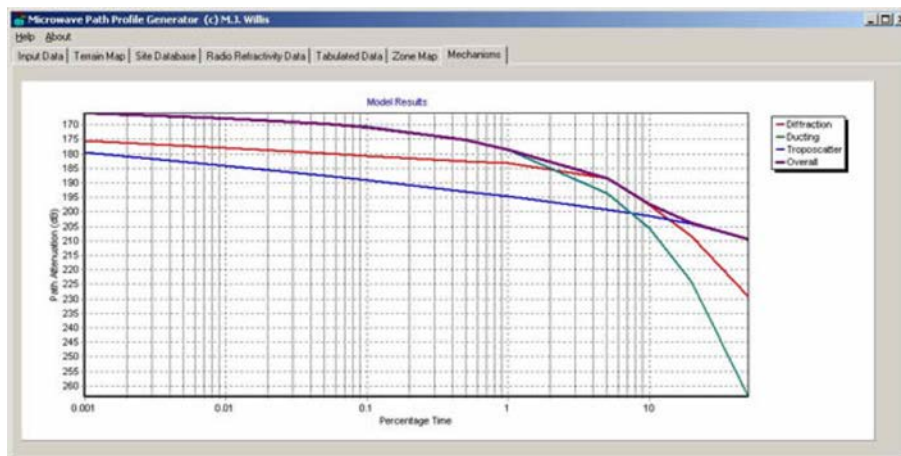
75



Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

# Mechanism

76



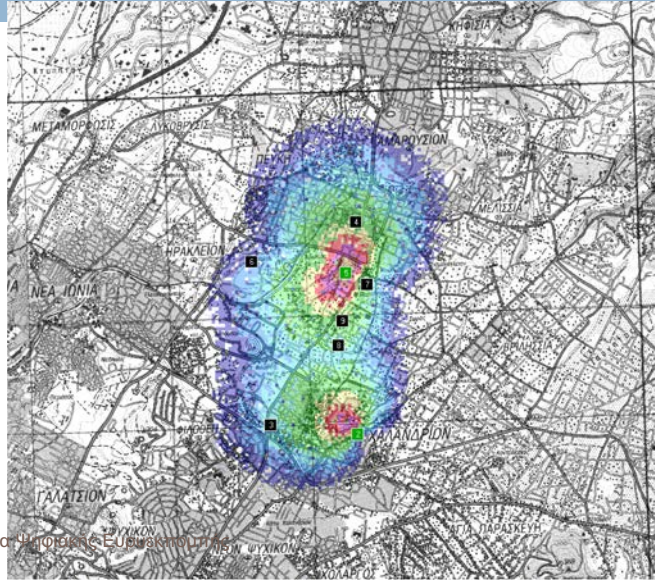
Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής





# Area Coverage

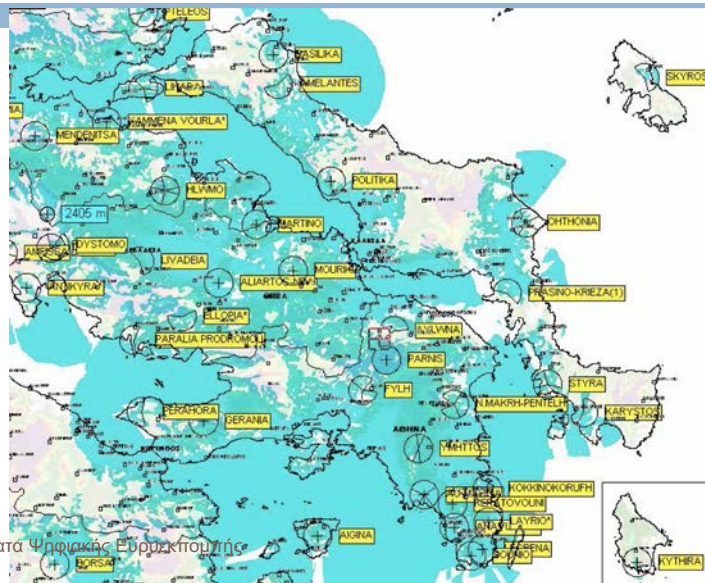
79



Συστήματα

# Area Coverage

80



Συστήματα Φοιτικής Ευρωπαϊκής