



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ  
ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΨΗΦΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΚΑΝΑΤΑΣ**

**ΟΝ./ΕΠΩΝ.: ΧΡΙΣΤΙΝΑ ΑΝΑΓΝΩΣΤΗ**

**Α.Μ.: 0531**

***ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ***

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ  
ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

**ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2011**

## Στόχος

Στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι να περιγράψει τα κυριότερα υπάρχοντα Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών μέσω ερωτήσεων πολλαπλών επιλογών για την καλύτερη κατανόηση τους. Θα αναφερθούμε στις τεχνικές μετάδοσης πληροφορίας, στο ραδιοδιάλυο, όσο και στα βασικά χαρακτηριστικά των κυριότερων Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών.

Η εργασία απευθύνεται κυρίως στους φοιτητές του Προπτυχιακού και Μεταπτυχιακού αντίστοιχα Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Ψηφιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Πειραιώς.

## Περιεχόμενα

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	6
1.1 Στόχοι και Τάσεις Κινητών Επικοινωνιών .....	6
1.2 Εφαρμογές Συστημάτων Κινητών Επικοινωνιών .....	7
1.2.1 Τεχνολογίες Εφαρμογών .....	7
1.3 Τεχνολογίες Δικτύωσης και Μεταγωγής .....	8
1.4 Στρωματοποίηση κατά OSI και TCP/IP .....	9
1.5 Τύποι Διαύλων Επικοινωνίας και Αμφιδρόμηση .....	9
1.6 Κυβελωτά Συστήματα 1 <sup>ης</sup> Γενιάς .....	10
1.7 Εξέλιξη των Ασύρματων Συστημάτων Επικοινωνιών .....	11
1.7.1 Κυβελωτά Συστήματα 2 <sup>ης</sup> Γενιάς .....	11
1.7.2 Κυβελωτά Συστήματα 2.5 Γενιάς .....	11
1.7.3 Κυβελωτά Συστήματα 3 <sup>ης</sup> Γενιάς .....	12
1.7.4 Συστήματα Ασύρματης Τηλεφωνίας .....	12
1.7.5 Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα Επικοινωνιών (WLANs) .....	12
1.7.6 Ασύρματα Προσωπικά Δίκτυα Επικοινωνιών (WPANs) .....	13
1.7.7 Δίκτυα Ασύρματης Ευρυζωνικής Ραδιο-Πρόσβασης (BWANs, WMANs) .....	13
1.7.8 Επαγγελματικά Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών (PMRs) .....	13
1.7.9 Ψηφιακά Συστήματα Ευρυεκπομπής .....	13
1.7.10 Δορυφορικά Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών .....	14
1.8 ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ .....	15
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΚΑΙ ΕΜΠΕΙΡΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΔΙΑΔΟΣΗΣ</b> .....	24
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	24
2.2 Διάδοση Ραδιοκυμάτων .....	24
2.2.1 Ιδιότητες των Μέσων Μετάδοσης .....	26
2.3 Απώλειες και Αναλυτικά Μοντέλα Διάδοσης .....	26
2.3.1 Μοντέλο Απωλειών Ελεύθερου Χώρου (Free Space Loss) .....	27
2.3.2 Η Εξίσωση του Radar .....	27
2.3.3 Ανάκλαση Επίπεδων Κυμάτων από Λείο Επίπεδο Έδαφος .....	27
2.3.4 Μοντέλο Επίπεδης Γης (Plane Earth Model) .....	28
2.3.5 Ανάκλαση και Σκέδαση από Τραχιές Επιφάνειες .....	28
2.3.6 Περίθλαση .....	29
2.3.6.1 Η Αρχή του Huygens .....	29
2.3.6.2 Τα ελλειψοειδή και οι Ζώνες Fresnel .....	29
2.3.6.3 Περίθλαση από Ευθεία Ακμή (Knife Edge Diffraction) .....	30
2.3.6.4 Περίθλαση από Ευθεία Ακμή πάνω από Επίπεδο Έδαφος .....	30
2.3.6.5 Περίθλαση από Πολλαπλές Ευθείες Ακμές .....	30
2.4 Απώλειες και Εμπειρικά Μοντέλα Διάδοσης .....	32
2.4.1 Μοντέλο Egli .....	32
2.4.2 Μοντέλο Okumura-Hata .....	32
2.4.3 Μοντέλο COST 231 – Walfisch - Ikegami .....	33
2.4.4 Μοντέλα Εσωτερικών Χώρων .....	33
2.5 ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ .....	35
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Διαλείψεις και Χαρακτηρισμός Ραδιοδιαύλου</b> .....	47
3.1 Διαλείψεις – Ένα Χωρικό Φαινόμενο .....	47
3.1.1 Είδη Διαλείψεων .....	47
3.1.2 Διαλείψεις Μεγάλης Κλίμακας (Large Scale Fading) .....	48

3.1.3	Εμπειρικός Προσδιορισμός Παραμέτρων Μοντέλου Διάδοσης Απλής Κλίσης .....	48
3.2	Ολίσθηση Doppler .....	49
3.3	Αναπαράσταση Πολυδιαδρομικής Διάδοσης .....	49
3.3.1	Ντετερμινιστικός Δίαυλος .....	49
3.3.2	Επίδραση Περιορισμένου Εύρους Ζώνης .....	50
3.3.3	Τυχαία Χρονικά Μεταβαλλόμενος Δίαυλος .....	50
3.3.4	Δίαυλος Στενής Ζώνης .....	51
3.3.5	Παράμετροι Χαρακτηρισμού Δίαυλου Στενής Ζώνης .....	52
3.4	ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ .....	53
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Ψηφιακές Τεχνικές για Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών</b> ....		61
4.1	Κωδικοποίηση Πηγής .....	61
4.1.1	Στοιχεία θεωρίας πληροφορίας .....	61
4.1.2	Κωδικοποίηση διακριτών πηγών .....	61
4.1.2.1	Κωδικοποίηση Huffman .....	62
4.1.2.2	Κωδικοποίηση Lempel – Ziv .....	62
4.1.3	Κωδικοποίηση αναλογικών πηγών .....	63
4.1.3.1	Ομοιόμορφος κβαντισμός .....	63
4.1.3.2	Μη ομοιόμορφος κβαντισμός .....	64
4.1.3.3	Παλμοκωδική διαμόρφωση (PCM) .....	64
4.1.3.4	Διαφορική παλμοκωδική διαμόρφωση (DPCM) .....	64
4.2	Κωδικοποίηση Διαύλου .....	65
4.2.1	Κωδικοποίηση Συστάδας (Block Coding) .....	65
4.2.2	Συνελκτική κωδικοποίηση (Convolutional Coding) .....	66
4.2.3	Διάτρητοι κώδικες (Punctured Codes) .....	66
4.2.4	Αλυσιδωτοί κώδικες (Concatenated Codes) .....	66
4.3	Τεχνικές Διαμόρφωσης .....	67
4.3.1	Διαμόρφωση Μεταλλαγής Μετατόπισης Φάσης (PSK) .....	67
4.3.2	Διαμόρφωση Μεταλλαγής Μετατόπισης Συχνότητας (FSK) .....	68
4.3.3	Στη Διαμόρφωση Μεταλλαγής Μετατόπισης Πλάτους (ASK) .....	68
4.3.4	Διαμόρφωση Μ-αδικής Ορθογωνικής Μεταλλαγής Πλάτους (M – QAM) .....	68
4.3.5	Φασματικά Αποδοτικές Διαμορφώσεις ( MSK, GMSK ) .....	68
4.3.6	Διαφορική Διαμόρφωση Μεταλλαγής Μετατόπισης Φάσης (DPSK) .....	68
4.4	Επίδοση Ψηφιακών Τεχνικών .....	69
4.4.1	Πιθανότητα σφάλματος σε διάυλο με διαλείψεις τύπου Rayleigh .....	69
4.5	Διαμόρφωση OFDM .....	69
4.5.1	Διάστημα φύλαξης – Κυκλικό πρόθεμα .....	69
4.5.2	Υλοποίηση συστήματος OFDM .....	70
4.5.3	Προβλήματα συγχρονισμού .....	70
4.5.4	Μη-γραμμικές παραμορφώσεις .....	71
4.5.5	Μετάδοση σημάτων OFDM σε ασύρματο διάυλο .....	71
4.5.6	Βασικές παράμετροι συστήματος OFDM .....	71
4.6	Τεχνικές διασποράς φάσματος .....	72
4.6.1	Διασπορά φάσματος απευθείας ακολουθίας (DS – SS) .....	73
4.6.1.1	Λέκτης RAKE .....	73
4.6.1.2	Επίδοση συστημάτων DS – SS .....	73
4.6.2	Διασπορά φάσματος με μεταπήδηση συχνότητας (FH – SS) .....	74
4.6.3	Κώδικες διασποράς .....	74
4.6.3.1	Ακολουθίες μέγιστου μήκους .....	74

4.6.3.2 Κώδικες Gold.....	75
4.6.3.3 Ακολουθίες Walsh – Hadamard .....	75
4.7 Τεχνικές Διαφορισμού (Diversity Techniques).....	75
4.7.1 Διαφορική λήψη χώρου .....	76
4.7.1.1 Επιλεκτικός συνδυασμός (Selection Combining – SC) .....	76
4.7.1.2 Συνδυαστική μέγιστου λόγου (Maximal Ratio Combining – MRC) .....	77
4.7.1.3 Συνδυαστική σταθερού κέρδους (Equal Gain Combining – EGC) .....	77
4.7.2 Διαφορική Εκπομπή.....	77
4.8 Χωρητικότητα διαύλου.....	77
4.9 ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ .....	79
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Αρχές και Σχεδίαση Κυψελωτών Συστημάτων</b> .....	96
5.1 Πρόσβαση στο Διάυλο.....	96
5.1.1 Τεχνικές Πολλαπλής Πρόσβασης.....	96
5.1.2 Τεχνικές Τυχαίας Πρόσβασης .....	99
5.1.3 Πρωτόκολλα Φάσματος.....	101
5.2 Κυψελωτά Συστήματα.....	101
5.2.1 Η Έννοια της Κυψέλης και της Επαναχρησιμοποίησης Συχνοτήτων .....	101
5.2.1.1 Σχεδίαση Κυψελωτών Συστημάτων.....	102
5.2.2 Τύποι Κυψελών .....	102
5.2.3 Τεχνικές Μεταπομπής.....	103
5.2.4 Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση .....	105
5.2.5 Παρεμβολές.....	105
5.2.5.1 Ομοδιαυλικές Παρεμβολές και Θόρυβος .....	106
5.2.5.2 Παρεμβολές Γειτονικών Διαύλων.....	106
5.2.6 Τεχνικές Βελτίωσης Φασματικής Απόδοσης.....	107
5.2.6.1 Τομεοποίηση Κυψελών.....	107
5.2.6.2 Διάσπαση Κυψελών.....	107
5.2.7 Τεχνικές Απόδοσης Διαύλων.....	107
5.2.7.1 Σταθερή Απόδοση Διαύλων.....	108
5.2.7.2 Δυναμική Απόδοση Διαύλων.....	108
5.2.7.3 Ελαστική Απόδοση Διαύλων.....	109
5.3 ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ .....	110
6. Βιβλιογραφία .....	126

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Στόχοι και Τάσεις Κινητών Επικοινωνιών

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε στα μελλοντικά ασύρματα συστήματα κινητών επικοινωνιών. Τα συστήματα αυτά θα επιτρέπουν την επικοινωνία του ανθρώπου που μετακινείται, με οποιονδήποτε συνδρομητή του ίδιου ή διαφορετικού συστήματος οπουδήποτε κι αν βρίσκεται αυτός, οποιαδήποτε στιγμή, παρέχοντας υπηρεσίες πολυμέσων.

Το όραμα και η επιδιωκόμενη εξέλιξη των ασύρματων δικτύων επικοινωνιών είναι η υποστήριξη πολλαπλών υπηρεσιών υψηλού ρυθμού μετάδοσης και υψηλής ποιότητας μεταξύ φορητών τερματικών συσκευών, που μπορεί να βρίσκονται οπουδήποτε, οποτεδήποτε. Η εξέλιξη αυτή θα επιτρέπει τη λειτουργία εικονικών γραφείων, χρησιμοποιώντας μικρές συσκευές χειρός, με λειτουργίες τηλεφώνου, modem, fax και επικοινωνία υπολογιστών.

Με τον όρο ασύρματες επικοινωνίες αναφερόμαστε σε εφαρμογές, σε συστήματα αλλά και σε περιοχές κάλυψης. Οι εφαρμογές περιλαμβάνουν τη μετάδοση σήματος φωνής απ' ευθείας ή μέσω πρωτοκόλλου διαδικτύου (Voice over IP - VoIP), την πρόσβαση στο διαδίκτυο, την πλοήγηση και την αναζήτηση στον παγκόσμιο ιστό, τη μεταφορά γραπτών μηνυμάτων, τη μεταφορά αρχείων μεταξύ υπολογιστών, την αναζήτηση και ειδοποίηση χρηστών (paging), υπηρεσίες συνδρομητών και video τηλεδιασκέψεις.

Τίθεται ένα βασικό ερώτημα ως προς τον επαρκή χαρακτηρισμό των ασύρματων επικοινωνιών: Είναι πραγματικά απαραίτητος ο κατακερματισμός που παρατηρείται στη βιομηχανία και που εμφανίζεται με την κατασκευή διαφορετικών προϊόντων, τη δημιουργία διαφορετικών προτύπων και την προσφορά διαφορετικών υπηρεσιών; Η απάντηση σαφώς είναι καταφατική.

Οι διαφορετικές απαιτήσεις κάθε εφαρμογής είναι εξαιρετικά δύσκολο να ικανοποιηθούν από ένα και μόνο ασύρματο σύστημα επικοινωνιών. Αν και στα ενσύρματα συστήματα η ολοκλήρωση των απαιτήσεων είναι γενικά εφικτή, στα ασύρματα συστήματα η ολοκλήρωση δεν είναι ακόμη δυνατή. Εκείνο που έχει επιτευχθεί είναι η ομαδοποίηση των βασικών εφαρμογών και η αντιμετώπιση των κυριότερων απαιτήσεων τους από ένα ευρέως αποδεκτό σύστημα, όπως το UMTS (Universal Mobile Telecommunications System).

Ένα πολύ σημαντικό βήμα, στην κατεύθυνση της αποφυγής του κατακερματισμού της βιομηχανίας και της μείωσης του κόστους ανάπτυξης των συστημάτων, υπήρξε η δημιουργία μιας κοινά αποδεκτής προδιαγραφής, όπως το GSM. Η επιτυχία του συστήματος GSM αποτέλεσε και την κινητήρα δύναμη για τη δημιουργία και την υιοθέτηση μιας κοινής προδιαγραφής για τα συστήματα 3<sup>ης</sup> γενιάς όπως η τεχνολογία WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access).

Η επιτυχία των μελλοντικών συστημάτων κινητών επικοινωνιών δεν είναι δεδομένη. Για το λόγο αυτό απαιτείται σχεδιασμός και συμφωνίες σε διεθνές επίπεδο ώστε τόσο τα 3<sup>ης</sup> γενιάς δίκτυα, όσο και τα 4<sup>ης</sup> γενιάς δίκτυα που βρίσκονται ακόμη στο στάδιο διαμόρφωσης των προδιαγραφών, να καλύψουν τις ανάγκες των χρηστών και να αποτελέσουν την αιχμή της ανάπτυξης. Οι παράγοντες κλειδιά είναι οι εξής:

- Η παροχή πρόσβασης υψηλής ταχύτητας, που να υποστηρίζει ευρυζωνικές υπηρεσίες, όπως ταχεία πρόσβαση στο Internet ή εφαρμογές πολυμέσων.
- Η ευελιξία των δικτύων, ώστε να υποστηρίζουν νέες υπηρεσίες, όπως ο παγκόσμιος προσωπικός αριθμός συνδρομητή και η επικοινωνία μέσω δορυφόρου.
- Το ανεκτό κόστος των υπηρεσιών, με χρεώσεις στα επίπεδα των σημερινών αλλά και πιο χαμηλές, αν είναι δυνατό.
- Η συμβατότητα με τα σημερινά συστήματα κινητών επικοινωνιών, ώστε να είναι η δυνατή η ανάπτυξη και η επέκτασή τους με το ελάχιστο δυνατό κόστος.

## 1.2 Εφαρμογές Συστημάτων Κινητών Επικοινωνιών

Η συνεχής ανάπτυξη νέων συστημάτων κινητών επικοινωνιών έρχεται κυρίως να εξυπηρετήσει τις ανάγκες των εφαρμογών της νέας εποχής. Οι νέες εφαρμογές, πολλές από τις οποίες δεν είναι νέες για τα ενσύρματα συστήματα αλλά αποτελούν ζητούμενο για τα ασύρματα συστήματα, προβάλλουν απαιτήσεις που τα υπάρχοντα συστήματα δεν είναι σε θέση να ικανοποιήσουν. Κλασικό παράδειγμα είναι τα συστήματα 2<sup>ης</sup> γενιάς, όπως το GSM, που άλλοτε δεν μπορούν να διαχειριστούν και άλλοτε ούτε να προσφέρουν εφαρμογές που γεννούν καταϊγιστική (bursty) κίνηση με πολλές πολυμεσικές συνιστώσες, όπως μπορούν τα συστήματα 3<sup>ης</sup> γενιάς, που αποδίδουν πόρους δυναμικά, ανάλογα με τις στιγμιαίες ανάγκες της εφαρμογής. Η ευελιξία της τεχνολογίας της ραδιοεπαφής είναι καταλυτική στην υποστήριξη των νέων εφαρμογών, καθώς πρέπει να υποστηρίζει εφαρμογές με μεταβαλλόμενο ρυθμό μετάδοσης, να μπορεί να μεταφέρει στην ίδια σύνδεση υπηρεσίες με διαφορετικές απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας, και να μπορεί να πολυπλέκει διαφορετικές υπηρεσίες φωνής και δεδομένων σε μια πολυμεσική υπηρεσία.

Μια πολυμεσική εφαρμογή αποτελείται από πολλαπλά μέσα-συνιστώσες, όπως φωνή, video, εικόνες και μουσική. Νέες συνιστώσες μπορεί να προστίθενται στο υπάρχον μείγμα κατά τη διάρκεια μιας σύνδεσης, καθώς και παλιές να αφαιρούνται. Οι πολυμεσικές εφαρμογές μπορεί να είναι είτε διαδραστικές (interactive), είτε διανεμητικές (distributional). Οι διαδραστικές εφαρμογές περιλαμβάνουν κάποια ανάδραση από το χρήστη. Το είδος της ανάδρασης καθορίζει το αν η εφαρμογή είναι διαλογική, ή τύπου μηνύματος, ή υπηρεσία ανάκτησης δεδομένων. Οι διανεμητικές εφαρμογές δεν απαιτούν κάποια ανάδραση από το χρήστη αλλά μπορούν να ελέγχονται από το χρήστη.

### 1.2.1 Τεχνολογίες Εφαρμογών

Στα σύγχρονα συστήματα κινητών επικοινωνιών, έχει γίνει σαφές ότι απαιτείται διαχωρισμός των φορέων παροχής των υπηρεσιών δικτύου και των φορέων ανάπτυξης των ασύρματων εφαρμογών.

Χαρακτηριστικές τεχνολογίες ανάπτυξης εφαρμογών κινητών επικοινωνιών είναι το WAP (Wireless Application Protocol), η Java, το i-mode, και η WML (Wireless Markup Language).

Το WAP είναι ένα πρωτόκολλο το οποίο βασίστηκε στη γλώσσα HTTP και σχεδιάστηκε για την υποστήριξη εφαρμογών ασύρματων επικοινωνιών, από το WAP Forum, έναν οργανισμό προτυποποίησης για το mobile Internet.

Η Java είναι, πλέον, ευρέως γνωστή από το διαδίκτυο. Μπορούμε να την περιγράψουμε ως ένα πρωτόκολλο ανεξάρτητο πλατφόρμας, ένα εργαλείο που αποσυνδέει τη διαδικασία ανάπτυξης των εφαρμογών από τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της κάθε πλατφόρμας. Οι εφαρμογές Java είναι διαθέσιμες στο δίκτυο και εκτελούνται στα κινητά τερματικά. Η μόνη απαίτηση είναι το λειτουργικό σύστημα της συσκευής να περιλαμβάνει την Java Virtual Machine, ώστε να εκτελείται κώδικας Java.

Το i-mode είναι μια τεχνολογία υπηρεσιών ασύρματης πρόσβασης στο διαδίκτυο, μέσω κινητού τηλεφώνου, που αναπτύχθηκε από την NTT DoCoMo στην Ιαπωνία. Το i-mode βασίζεται σε τεχνολογία μεταγωγής πακέτων και το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του είναι ότι ο συνδρομητής είναι συνεχώς συνδεδεμένος στο διαδίκτυο, έναντι χαμηλής πάγιας χρέωσης, και χρεώνεται επιπλέον ανάλογα με τον όγκο των δεδομένων που διακινεί. Έτσι, έχει άμεση πρόσβαση στις διαδικτυακές υπηρεσίες, με χαμηλό κόστος.

### 1.3 Τεχνολογίες Δικτύωσης και Μεταγωγής

Τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα χαρακτηρίζονται ως προς τη δυνατότητα μεταγωγής (switching) αλλά και τη δυνατότητα δρομολόγησης (routing). Με τον όρο μεταγωγή εννοούμε τη διαδικασία της φυσικής μετακίνησης των bits από τη θύρα εισόδου στη θύρα εξόδου ενός τηλεπικοινωνιακού κόμβου. Η διαδικασία μεταγωγής βασίζεται στην πληροφορία που συλλέγετε από τη διαδικασία της δρομολόγησης. Με τη σειρά της, η δρομολόγηση είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά της πληροφορίας από τον αποστολέα στον παραλήπτη μέσα στο δίκτυο. Αλγόριθμοι δρομολόγησης αναλαμβάνουν την αρχικοποίηση και τη διατήρηση των λεγόμενων πινάκων δρομολόγησης.

Υπάρχουν δύο τεχνολογίες μεταγωγής: η μεταγωγή κυκλώματος (circuit switching) και η μεταγωγή πακέτων (packet switching). Στη μεταγωγή κυκλώματος ένα αποκλειστικό μονοπάτι επικοινωνίας εγκαθίσταται μεταξύ των δύο επικοινωνούντων μηχανών, μέσω των κόμβων (δρομολογητών) του δικτύου. Το μονοπάτι επικοινωνίας είναι μια διασυνδεδεμένη αλληλουχία από φυσικές ζεύξεις (γραμμές μεταφοράς) μεταξύ των κόμβων του δικτύου.

Χαρακτηριστικό των δικτύων μεταγωγής κυκλώματος είναι η ελάχιστη καθυστέρηση μετάδοσης των δεδομένων από τον πομπό στο δέκτη. Τρία είναι τα βασικά χαρακτηριστικά που πρέπει να θυμάται κανείς για τις κλήσεις σε δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος: να είναι συνεχείς, αποκλειστικές και πρόσκαιρες.

Στη μεταγωγή πακέτων δεν υπάρχει αποκλειστική απόδοση της χωρητικότητας σε συγκεκριμένες συνδέσεις. Τα δεδομένα στέλνονται σε μικρά μπλοκ, που καλούνται πακέτα (packets), μέσω των δρομολογητών του δικτύου. Κάθε πακέτο παραλαμβάνεται ολόκληρο από κάθε ενδιάμεσο δρομολογητή, αποθηκεύεται μέχρι να ελευθερωθεί η απαιτούμενη εξερχόμενη γραμμή, οπότε και προωθείται στον επόμενο δρομολογητή. Όταν τα πακέτα είναι μικρά και όλα του ίδιου μεγέθους συχνά αποκαλούνται κελιά (cells).

Οι υπηρεσίες που παρέχονται από τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα μπορούν να διακριθούν σε υπηρεσίες με σύνδεση (connection oriented services) και σε υπηρεσίες χωρίς σύνδεση (connectionless services). Κύριο χαρακτηριστικό μιας υπηρεσίας με σύνδεση είναι ότι η εγκατάσταση της σύνδεσης γίνεται πριν τη μετάδοση της πληροφορίας. Χαρακτηριστικό μιας υπηρεσίας χωρίς σύνδεση είναι ότι κάθε μήνυμα περιέχει η διεύθυνση προορισμού και δρομολογείται ανεξάρτητα από τα άλλα μηνύματα.



Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και την ανάπτυξη των δικτύων 3<sup>ης</sup> γενιάς έχει γίνει δυνατή η παροχή υπηρεσιών πολυμέσων. Άρα ο τελικός στόχος είναι η ανάπτυξη δικτύων αποκλειστικά βασισμένων στην τεχνολογία μεταγωγής πακέτων, ή όπως χαρακτηριστικά αναφέρεται “All IP Networks”, φέροντας το όνομα του πρωτοκόλλου IP (Internet Protocol).

Οι βασικοί λόγοι για τους οποίους έχει επιλεγεί η “All IP” αρχιτεκτονική για τα μελλοντικά δίκτυα είναι κυρίως το μειωμένο κόστος για τους παρόχους, που προέρχεται από τη χρήση ήδη υπάρχοντος εξοπλισμού αλλά και η ευελιξία τόσο στην ανάπτυξη των υπηρεσιών όσο και στην επέκταση του δικτύου.

## 1.4 Στρωματοποίηση κατά OSI και TCP/IP

Το μοντέλο OSI (Open System Interconnection) περιγράφει την αρχιτεκτονική το δικτύου και βασίζεται σε επτά επίπεδα-στρώματα (layers). Το μοντέλο OSI καθορίζει τις λειτουργίες κάθε στρώματος. Με τη στρωμάτωση επιτυγχάνεται ο κατακερματισμός ενός πολύπλοκου προβλήματος, όπως η όλη διαδικασία επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων του δικτύου, σε επιμέρους προβλήματα πιο εύκολα στην επίλυση τους. Επιπλέον, τα πρότυπα (standards) μπορούν να αναπτυχθούν ανεξάρτητα και ταυτόχρονα για κάθε στρώμα, ενώ αλλαγές στα πρότυπα ενός στρώματος δεν επηρεάζουν τα πρότυπα άλλου στρώματος.

Κάθε στρώμα δέχεται υπηρεσίες (services) από το κατώτερο στρώμα και παρέχει υπηρεσίες στο ανώτερο στρώμα, απομονώνοντας το από τις λεπτομέρειες υλοποίησης των προσφερόμενων υπηρεσιών. Αυτό επιτυγχάνεται με τον ορισμό κατάλληλων διεπαφών (interfaces).

Παρακάτω αναφέρονται τα στρώματα κατά το μοντέλο OSI:

1. Φυσικό Στρώμα (Physical Layer)
2. Στρώμα Ζεύξης Δεδομένων (Data Link Layer)
3. Στρώμα Δικτύου (Network Layer)
4. Στρώμα Μετάδοσης (Transport Layer)
5. Στρώμα Συνόδου (Session Layer)
6. Στρώμα Παρουσίασης (Presentation Layer)
7. Στρώμα Εφαρμογής (Application Layer)

Ένα άλλο μοντέλο στρωμάτωσης που έχει επικρατήσει είναι το μοντέλο TCP/IP. Οι βασικοί στόχοι του TCP/IP ήταν η δυνατότητα σύνδεσης πολλαπλών δικτύων με τρόπο διαφανή, η δυνατότητα να επιζεί το δίκτυο σε περίπτωση βλαβών του υποδικτύου, χωρίς να διακόπτονται οι υπό εξέλιξη επικοινωνίες, και η παροχή ευέλικτης αρχιτεκτονικής υποστηρίζοντας πλήθος εφαρμογών με δισταμένες απαιτήσεις.

Παρακάτω αναφέρονται τα στρώματα κατά το μοντέλο TCP/IP:

1. Φυσικό Στρώμα και Στρώμα Ζεύξης Δεδομένων (Host to Network)
2. Στρώμα Διαδικτύου (Internet Layer)
3. Στρώμα Μετάδοσης (Transport Layer)
4. Στρώμα Εφαρμογής (Application Layer)

## 1.5 Τύποι Διαύλων Επικοινωνίας και Αμφιδρόμηση

Τα ασύρματα συστήματα ραδιομετάδοσης χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την κατεύθυνση μετάδοσης της πληροφορίας. Τα simplex, τα half-duplex, και τα full-duplex συστήματα. Στα simplex, η επικοινωνία είναι δυνατή μόνο στη μία κατεύθυνση, με κλασσικό παράδειγμα τα συστήματα τηλεειδοποίησης. Στα half-duplex συστήματα έχουμε αμφίδρομη αλλά όχι ταυτόχρονη επικοινωνία, χρησιμοποιείται δηλαδή ένας δίαυλος και για τις δύο κατευθύνσεις, και συνεπώς ο χρήστης, μια δεδομένη χρονική στιγμή, μπορεί μόνο να εκπέμπει ή μόνο να λαμβάνει. Η επιλογή εκπομπής συνήθως γίνεται με την πίεση κάποιου πλήκτρου, και τα συστήματα συχνά αποκαλούνται και “push-to-talk”. Στα full-duplex συστήματα έχουμε ταυτόχρονη εκπομπή και λήψη μεταξύ χρηστών και Σταθμών Βάσης. Το σύστημα παρέχει δύο ταυτόχρονους διαύλους για την επικοινωνία στις δύο κατευθύνσεις. Η κατεύθυνση από τον BTS προς τον MS καλείται ευθεία (forward) ή κάτω-ζεύξη (downlink – DL), ενώ από τον MS προς τον BTS καλείται αντίστροφη (reverse) ή άνω-ζεύξη (uplink – UL). Οι δύο δίαυλοι είτε χρησιμοποιούν διαφορετική συχνότητα για την ευθεία και την αντίστροφη ζεύξη, οπότε προκύπτει σύστημα Frequency Division Duplex (FDD), είτε χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα αλλά γειτονικές χρονοσχισμές (timeslot), οπότε προκύπτει σύστημα Time Division Duplex (TDD).

Στα FDD συστήματα οι πομποδέκτες χρησιμοποιούν την ίδια κεραία για εκπομπή και λήψη, οπότε απαιτείται η χρήση διπλέκτη. Ο διπλέκτης είναι ένα τρίθυρο μικροκυματικό στοιχείο που επιτρέπει την πολυπλεξία και την από-πολυπλεξία των σημάτων που καταφθάνουν στις θύρες του. Για την επαρκή απομόνωση εκπομπής και λήψης και για την ελαχιστοποίηση τους κόστους του διπλέκτη, απαιτείται αρκετή απόσταση μεταξύ των δύο διαύλων επικοινωνίας και φίλτρα με μικρή ζώνη διέλευσης για γειτονικούς διαύλους.

Η υλοποίηση των TDD συστημάτων είναι δυνατή μόνο με ψηφιακές τεχνικές και απαιτεί τη χρήση χρονικών διαστημάτων φύλαξης (guard times) μεταξύ των χρονοσχισμών σε ένα χρονοπλάνο. Η απαίτηση αυτή προκύπτει από τη μεταβαλλόμενη καθυστέρηση διάδοσης, αλλά και τη χρονική εξάπλωση του διαύλου λόγω πολυδιαδρομικής διάδοσης. Με την TDD τεχνική γίνεται δυνατή η ευέλικτη απόδοση πόρων στις δύο ζεύξεις.

Γενικά χρησιμοποιούμε FDD συστήματα σε περιπτώσεις όπου θέλουμε κάλυψη μεγάλων αποστάσεων με υψηλή ισχύ εκπομπής και TDD συστήματα σε περιπτώσεις όπου έχουμε περιορισμένο εύρος ζώνης και πυκνή δομή επαναχρησιμοποίησης.

## 1.6 Κυψελωτά Συστήματα 1<sup>ης</sup> Γενιάς

Το πρώτο παγκοσμίως κυψελωτό σύστημα που λειτούργησε ήταν στην Ιαπωνία και ήταν 1<sup>ης</sup> γενιάς. Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός κυψελωτού συστήματος 1<sup>ης</sup> γενιάς είναι η αναλογική διαμόρφωση FM καθώς και η τεχνική πολλαπλής πρόσβασης FDMA και η τεχνική FDD. Η φασματική πυκνότητα ισχύος του διαμορφωμένου σήματος στα συστήματα FDD πρέπει να ελέγχεται προσεκτικά, ώστε η παρασιτικά ακτινοβολούμενη ισχύς σε γειτονικούς διαύλους να είναι 60-80dB χαμηλότερα από την επιθυμητή.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των ψηφιακών συστημάτων έναντι των αναλογικών στα κυψελωτά συστήματα 1<sup>ης</sup> γενιάς είναι:

- Έχουν αυξημένη ανοσία στο θόρυβο.
- Δίνουν τη δυνατότητα επεξεργασίας του σήματος προσφέροντας περισσότερο αποδοτικές τεχνικές μετάδοσης και την καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών, κάνοντας χρήση κωδικών διόρθωσης σφαλμάτων, φασματικά αποδοτικών τεχνικών διαμόρφωσης, αποδοτική κωδικοποίηση πληροφορίας και κωδικοποίηση διαύλου.
- Έχουν τη δυνατότητα εφαρμογής τεχνικών κρυπτογράφησης για την ασφάλεια της μετάδοσης.
- Δίνουν ευελιξία στην ανάπτυξη και επέκταση των δικτύων.
- Έχουν την χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος.
- Επιτρέπουν την εφαρμογή διαφορετικών επιπέδων ποιότητας υπηρεσίας παρέχοντας ταυτόχρονα υπηρεσίες φωνής και δεδομένων.
- Είναι εύκολα υλοποιήσιμα σε VLSI χαμηλού κόστους.
- Παρέχουν τη δυνατότητα για επιπλέον τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης (TDMA/CDMA/SDMA) και duplexing (TDD).
- Επιτρέπουν την υλοποίηση επαναπροσδιοριζόμενων δεκτών λογισμικού (Software Defined Radio –SDR) και των λεγόμενων cognitive radios.

Υπάρχουν βέβαια και κάποια μειονεκτήματα έναντι των αναλογικών συστημάτων. Αυτά είναι τα εξής:

- Ανάγκη για ισοστάθμιση ώστε να αποφεύγονται διασυμβολικές παρεμβολές.
- Κόστος αντικατάστασης υπάρχοντων αναλογικών συστημάτων, όπου αυτά υπήρχαν.
- Ποιότητα φωνής συχνά υποβαθμισμένη
- Ανάγκη για συγχρονισμό
- Αυξημένη πολυπλοκότητα αλγορίθμων, διαδικασιών ελέγχου και πρωτοκόλλων.

## 1.7 Εξέλιξη των Ασύρματων Συστημάτων Επικοινωνιών

### 1.7.1 Κυψελωτά Συστήματα 2<sup>ης</sup> Γενιάς

Ήταν συνεπώς αναμενόμενη η στροφή της βιομηχανίας στις ψηφιακές τεχνικές που αποδείχτηκαν ιδιαίτερα αποτελεσματικές και στα ενσύρματα συστήματα επικοινωνιών. Τα 2<sup>ης</sup> γενιάς κυψελωτά δίκτυα βασίζονται όλα σε ψηφιακές τεχνικές, εκμεταλλευόμενα τα εμφανή και πολλαπλά τους πλεονεκτήματα.

Στα κυψελωτά συστήματα 2<sup>ης</sup> γενιάς συγκαταλέγονται όλα τα υπάρχοντα και λειτουργούντα συστήματα. Στηρίζονται στις τεχνικές TDMA ή DS-CDMA και για τις ΗΠΑ είναι τα IS-54, IS-136 και IS-95, για δε την Ευρώπη το GSM και για την Ιαπωνία το PDC.

### 1.7.2 Κυψελωτά Συστήματα 2.5 Γενιάς

Η δυνατότητα όμως υποστήριξης υπηρεσιών δεδομένων είναι περιορισμένη στα 2<sup>ης</sup> γενιάς συστήματα και η ανάγκη για παροχή υπηρεσιών με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, ώστε να μεταδίδονται εικόνες υψηλής ποιότητας και video πραγματικού χρόνου, ή να παρέχεται πρόσβαση στο Διαδίκτυο με υψηλές ταχύτητες, οδήγησε στην σχεδίαση των συστημάτων 2.5 γενιάς. Τα συστήματα 2.5 γενιάς στηρίζονται σε

συστήματα τεχνολογίας 2<sup>ης</sup> γενιάς και προσφέρουν υπηρεσίες δεδομένων υψηλότερης ταχύτητας υποστηρίζοντας τεχνολογίες μεταγωγής πακέτου. Ουσιαστικά πρόκειται για υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας στα ήδη λειτουργούντα συστήματα, εξασφαλίζοντας μια πιο ομαλή μετάβαση στα συστήματα 3<sup>ης</sup> γενιάς. Το βασικό χαρακτηριστικό είναι η παροχή κινητικότητας IP, φέρνοντας τους χρήστες κινητών επικοινωνιών πιο κοντά στο Internet.

### 1.7.3 Κυψελωτά Συστήματα 3<sup>ης</sup> Γενιάς

Το βασικό χαρακτηριστικό συστημάτων 3<sup>ης</sup> γενιάς είναι η υποστήριξη εφαρμογής πολυμέσων και η δυνατότητα πρόσβασης σε πληροφορίες και υπηρεσίες από δημόσια ή ιδιωτικά δίκτυα, με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Οι βασικές απαιτήσεις που τίθενται από τα 3<sup>ης</sup> γενιάς συστήματα είναι οι εξής:

- Ρυθμοί μετάδοσης μέχρι και 2 Mbps.
- Μεταβαλλόμενος ρυθμός μετάδοσης για δυνατότητα προσφοράς εύρους ζώνης κατά απαίτηση.
- Πολυπλεξία υπηρεσιών, με διαφορετικές απαιτήσεις ως προς την ποιότητα (π.χ φωνή, video, πακέτα δεδομένων), στην ίδια σύνδεση.
- Μεταβαλλόμενες απαιτήσεις ως προς την καθυστέρηση, ανάλογα με την ευαισθησία της υπηρεσίας ως προς την καθυστέρηση.
- Μεταβαλλόμενες απαιτήσεις ποιότητας ανάλογα με την υπηρεσία, από 10% FER (Frame Error Rate) ως 10<sup>-6</sup> BER.
- Συνύπαρξη 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> γενιάς συστημάτων και υποστήριξη μεταπομπής μεταξύ των συστημάτων για βελτίωση της κάλυψης και εξισορρόπηση του τηλεπικοινωνιακού φορτίου.
- Υποστήριξη ασύμμετρης τηλεπικοινωνιακής κίνησης στην ευθεία και την αντίστροφη ζεύξη (π.χ όπως στο web browsing όπου η κίνηση στην ευθείας ζεύξη είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντίστροφη).
- Μεγάλη φασματική απόδοση.
- Συνύπαρξη FDD και TDD συστημάτων.

### 1.7.4 Συστήματα Ασύρματης Τηλεφωνίας

Τα συστήματα ασύρματης τηλεφωνίας είναι full-duplex συστήματα επικοινωνιών, που χρησιμοποιούν μια ραδιοεπαφή για τη σύνδεση μιας φορητής τερματικής συσκευής σε ένα Σταθμό Βάσης, που συνδέεται σε μια αποκλειστική τηλεφωνική γραμμή με συγκεκριμένο νούμερο τηλεφώνου του PSTN ή του ISDN. Τα συστήματα είναι σχεδιασμένα να παρέχουν ραδιοκάλυψη σε μικρές αποστάσεις, γεγονός που επιτρέπει την απλούστευση της υλοποίησής τους. Τα συστήματα ασύρματης τηλεφωνίας αρχικά δεν έδιναν τη δυνατότητα περιαγωγής στους χρήστες και φυσικά δεν υποστήριζαν μεταπομπές. Σήμερα, με την ανάπτυξη των συστημάτων DECT, δίνεται η δυνατότητα τόσο για περιαγωγή, όσο και για μεταπομπή των κλήσεων είτε μεταξύ γειτονικών Σταθμών Βάσης DECT, είτε μεταξύ DECT και GSM. Με την ταυτόχρονη ανάπτυξη των κυψελωτών δικτύων 3<sup>ης</sup> γενιάς, είναι δυνατό να προκύψουν τερματικές συσκευές που θα είναι διπλού τρόπου λειτουργίας υποστηρίζοντας DECT-UMTS.

### 1.7.5 Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα Επικοινωνιών (WLANs)

Τα ασύρματα LANs παρέχουν υπηρεσίες δεδομένων υψηλού ρυθμού μετάδοσης σε μια μικρή περιοχή, με κινητικότητα των χρηστών. Τα συστήματα τοπικής ασύρματης δικτύωσης λειτουργούν στις ζώνες ISM στα 2.4 GHz και στα 5.8GHz, καθώς και στη ζώνη των 5.2GHz, με κάποιες παραλλαγές ανά γεωγραφική περιοχή. Η λειτουργία στις ISM ζώνες δεν προϋποθέτει αδειοδότηση, αλλά στην ίδια ζώνη συχνοτήτων μπορεί να λειτουργούν παρόμοια συστήματα, αυξάνοντας την πιθανότητα παρεμβολών. Για το λόγο αυτό τα WLANs συστήματα στις ISM ζώνες πρέπει να εκπέμπουν με περιορισμένη ισχύ ανά μονάδα εύρους ζώνης και για να το επιτύχουν χρησιμοποιούν τεχνικές διασποράς φάσματος. Αντίθετα, η ζώνη των 5.2GHz είναι αδειοδοτημένη για χρήση WLAN στις περισσότερες χώρες, με αποτέλεσμα τα προβλήματα παρεμβολών σχεδόν να εκλείπουν. Οι προδιαγραφές που υφίστανται για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα, προέρχονται από δύο οργανισμούς: το IEEE και το ETSI.

#### **1.7.6 Ασύρματα Προσωπικά Δίκτυα Επικοινωνιών (WPANs)**

Τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα επικοινωνιών (WPANs, Wireless Personal Area Networks) στοχεύουν στην ασύρματη δικτύωση φορητών υπολογιστών, κινητών υπολογιστικών μονάδων, όπως τα PDAs (Personal Digital Assistants), περιφερειακών, κυψελωτών τηλεφώνων, και άλλων ηλεκτρονικών συσκευών, που βρίσκονται σε μικρές αποστάσεις μεταξύ τους.

Ουσιαστικά προδιαγράφηκαν τεχνικές για την συνεργασία των WLANs και WPANs, όπως π.χ η ανταλλαγή πληροφοριών με στόχο την ελαχιστοποίηση των παρεμβολών που προκαλούν μεταξύ τους. Δύο ακόμη προδιαγραφές βρίσκονται υπό εξέλιξη, η IEEE802.15.3, ή High-Rate WPAN με ρυθμούς μέχρι 55Mbps και η IEEE802.15.4 ή Low-Rate WPAN, με στόχο χαμηλού κόστους και χαμηλής κατανάλωσης ισχύος τερματικά.

#### **1.7.7 Δίκτυα Ασύρματης Ευρυζωνικής Ραδιο-Πρόσβασης (BWANs, WMANs)**

Τα δίκτυα αυτά προσφέρουν υπηρεσίες υψηλού ρυθμού μετάδοσης (φωνής, δεδομένων και video) σε οικιακούς συνδρομητές ή και επιχειρήσεις, με αρχιτεκτονικές σημείο-προς-σημείο (point-to-point), σημείο-προς-πολλαπλά σημεία (point-to-multipoint – MP-MP). Στην κατηγορία αυτή των υπηρεσιών ανήκουν οι Local Multipoint Distribution Services (LMDS) και οι Multi-channel Multipoint Distribution Services (MMDS).

#### **1.7.8 Επαγγελματικά Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών (PMRs)**

Τα επαγγελματικά δίκτυα κινητών επικοινωνιών PMR (Professional Mobile Radio) είναι σχεδιασμένα να προσφέρουν υπηρεσίες σε οργανισμούς κοινής ωφέλειας για την κάλυψη των αναγκών επικοινωνίας απομακρυσμένων και διάσπαρτων κινητών μονάδων με τα κέντρα επιχειρήσεων. Κλασικό παράδειγμα προδιαγραφής αποτελεί το TETRA (Terrestrial Trunked Radio).

#### **1.7.9 Ψηφιακά Συστήματα Ευρυεκπομπής**

Τα ψηφιακά συστήματα ευρυεκπομπής στοχεύουν στην παροχή πολυμεσικών υπηρεσιών (π.χ ήχος, video) σε πολλαπλούς αποδέκτες, με ελεύθερη λήψη. Σε σχέση με τα αναλογικά δίκτυα ευρυεκπομπής (π.χ, αναλογική τηλεόραση, ραδιοφωνία

AM/FM) προσφέρουν τα πλεονεκτήματα της ψηφιακής τεχνολογίας, όπως είναι ψηφιακός ήχος με ποιότητα εφάμιλλη του CD, ψηφιακό video υψηλής ανάλυσης, καθώς και πρόσθετες υπηρεσίες, όπως οδηγός προγράμματος, υπηρεσίες ενημέρωσης μέσω κειμένου ή στατικής εικόνας, συνδρομητικές υπηρεσίες, ενώ με τις κατάλληλες μετατροπές μπορούν να προσφέρουν και διαδραστικές υπηρεσίες.

Ένα ψηφιακό δίκτυο ευρυεκπομπής αναπτύσσεται συνήθως ως δίκτυο μονής συχνότητας (Single Frequency Network – SFN), δηλαδή χρησιμοποιεί την ίδια συχνότητα σε όλη την περιοχή που καλύπτει. Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό είναι ότι, με την ψηφιακή μετάδοση και τις εξελιγμένες τεχνικές συμπίεσης του σήματος πληροφορίας, είναι εφικτή η αποδοτική αξιοποίηση του φάσματος, δηλαδή η μετάδοση μεγάλου όγκου πληροφορίας χρησιμοποιώντας περιορισμένο εύρος συχνοτήτων.

#### **1.7.10 Δορυφορικά Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών**

Τα δορυφορικά συστήματα αρχικά προσφέρονταν μόνο υπηρεσίες επικοινωνίας φωνής στην κοινότητα του εμπορικού ναυτικού, ενώ αργότερα προστέθηκαν υπηρεσίες δεδομένων και επίγεια φορητά τερματικά. Η ουσιαστική ισχύς των κινητών δορυφορικών επικοινωνιών πηγάζει από τη δυνατότητα που έχουν να προσφέρουν υπηρεσίες σε αχανείς εκτάσεις, όπου τέτοιες υπηρεσίες δεν θα μπορούσαν να παρασχεθούν αποδοτικά από επίγεια συστήματα, είτε λόγω της γεωγραφικής περιοχής (όπως σε περιοχές ωκεανών), είτε λόγω της έλλειψης ικανοποιητικής υποδομής (σε αραιοκατοικημένες ή υπό ανάπτυξη περιοχές). Τα δορυφορικά συστήματα κινητών επικοινωνιών είναι ικανά να παρέχουν υπηρεσίες σε ένα μεγάλο αριθμό τερματικών, διαφορετικού τύπου, σε ξηρά, θάλασσα και αέρα. Παραδείγματα πλατφόρμας για τερματικά είναι τα επίγεια κινητά, τα αεροσκάφη, τα πλοία και διάφορα μέρη συλλογής δεδομένων και ελέγχου.

## 1.8 ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Η ταχύτετη εξέλιξη των ασυρμάτων δικτύων οφείλεται?
  - a) Στην ανάπτυξη των φορητών υπολογιστών
  - b) Στην ανάπτυξη των υπολογιστών χειρός
  - c) Στην ανάπτυξη των κυψελωτών συστημάτων
  - d) Στο συνδυασμό των a,b,c
  - e) Κανένα από τα παραπάνω

Σωστή απάντηση το d σελίδα 1

2. Με τον όρο ασύρματες επικοινωνίες αναφερόμαστε:
  - a) Σε εφαρμογές, συστήματα και περιοχές κάλυψης
  - b) Σε εφαρμογές καθώς και σε περιοχές κάλυψης
  - c) Σε κανένα από τα παραπάνω

Σωστή απάντηση το b σελίδα 1

3. Τι περιλαμβάνουν οι εφαρμογές στις ασύρματες επικοινωνίες?
  - a) Μετάδοση σήματος φωνής απ'ευθείας ή μέσω του VoIP
  - b) Τη μεταφορά γραπτών μηνυμάτων καθώς και τη μεταφορά αρχείων μεταξύ υπολογιστών
  - c) Την αναζήτηση και ειδοποίηση χρηστών (paging)
  - d) Την πρόσβαση στο διαδίκτυο, την πλοήγηση και την αναζήτηση του παγκόσμιου ιστού
  - e) Τις video τηλεδιασκέψεις καθώς και όλες τις υπηρεσίες συνδρομητών
  - f) Όλα τα παραπάνω
  - g) Τα b, c και d

Σωστή απάντηση το f σελίδα 1

4. Ποια είναι τα χαρακτηριστικά ποιότητας υπηρεσίας (QoS) που εξετάζουμε?
  - a) Τον ελάχιστο απαιτούμενο ρυθμό μετάδοσης
  - b) Τον μέγιστο ανεκτό ρυθμό σφαλμάτων
  - c) Τη μέγιστη ανεκτή καθυστέρηση
  - d) Όλα τα παραπάνω
  - e) Κανένα από τα παραπάνω

Σωστή απάντηση το d σελίδα 2

5. Τα συστήματα WCDMA που καλούνται και UTRA ανήκουν στα συστήματα?
  - a) 1ης γενιάς
  - b) 2ης γενιάς
  - c) 3ης γενιάς
  - d) 4<sup>ης</sup> γενιάς

Σωστή απάντηση το c σελίδα 2

6. Ποιοι είναι οι παράγοντες κλειδιά ώστε τα δίκτυα 3ης και 4ης γενιάς να αποτελέσουν την αιχμή ανάπτυξης?
- a) Η παροχή πρόσβασης υψηλής ταχύτητας
  - b) Η ευελιξία των δικτύων
  - c) Το ανεκτό κόστος των υπηρεσιών
  - d) Η συμβατότητα με τα σημερινά συστήματα
  - e) Όλα τα παραπάνω

Σωστή απάντηση το e σελίδα 3

7. Το GSM θεωρείτε σύστημα?
- a) 1<sup>ης</sup> γενιάς
  - b) 2<sup>ης</sup> γενιάς
  - c) 3<sup>ης</sup> γενιάς

Σωστή απάντηση το b σελίδα 5

8. Οι πολυμεσικές εφαρμογές μπορεί να είναι?
- a) Διαδραστικές (interactive)
  - b) Διαχρονικές
  - c) Διανεμητικές (distributional)
  - d) Το a, c

Σωστή απάντηση το d σελίδα 6

9. Οι διανεμητικές εφαρμογές απαιτούν κάποια ανάδραση από τον χρήστη?
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το b σελίδα 6

10. Οι χαρακτηριστικές τεχνολογίες ανάπτυξης εφαρμογών κινητών επικοινωνιών είναι:
- a) WAP, JAVA, WML
  - b) WAP, i-mode, JAVA
  - c) WAP, i-mode, JAVA, WML

Σωστή απάντηση το c σελίδα 6

11. Το i-mode προσφέρει χαμηλό κόστος στον χρήστη?
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 7



12. Από τι χαρακτηρίζονται τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα?

- a) Τη δυνατότητα μεταγωγής (switching)
- b) Τη δυνατότητα δρομολόγησης (routing)
- c) Όλα τα παραπάνω
- d) Κανένα από τα παραπάνω

Σωστή απάντηση το c σελίδα 8

13. Τι εννοούμε με τον όρο μεταγωγή (switching)?

- a) Τη μετακίνηση των bits από τη θύρα εισόδου προς τη θύρα εξόδου ενός τηλεπικοινωνιακού κόμβου
- b) Τη μετακίνηση των bits από τη θύρα εξόδου προς τη θύρα εισόδου ενός τηλεπικοινωνιακού κόμβου
- c) Κανένα από τα παραπάνω

Σωστή απάντηση το a σελίδα 8

14. Η διαδικασία μεταγωγής στηρίζεται στη διαδικασία δρομολόγησης?

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 8

15. Η ελάχιστη καθυστέρηση μετάδοσης των δεδομένων από τον πομπό στον δέκτη είναι χαρακτηριστικό ποιών δικτύων?

- a) Των δικτύων μεταγωγής κυκλωμάτων
- b) Των δικτύων μεταγωγής πακέτων

Σωστή απάντηση το a σελίδα 8

16. Τα δίκτυα που προσφέρουν υπηρεσίες χωρίς σύνδεση είναι:

- a) Τα δίκτυα μεταγωγής πακέτων
- b) Τα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος

Σωστή απάντηση το b σελίδα 9

17. Τα δίκτυα που προσφέρουν υπηρεσίες με σύνδεση είναι:

- a) Τα δίκτυα μεταγωγής πακέτων
- b) Τα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος

Σωστή απάντηση το b σελίδα 9

18. Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης για το EDGE είναι?

- a) 160 Kbps
- b) 480 Kbps
- c) 384 Kbps

Σωστή απάντηση το b σελίδα 9

19. Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης για το GRPS είναι?
- a) 160 Kbps
  - b) 480 Kbps
  - c) 384 Kbps

Σωστή απάντηση το a σελίδα 9

20. Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης για το UMTS είναι?
- a) 160 Kbps
  - b) 480 Kbps
  - c) 384 Kbps
  - d) 2 Mbps
  - e) Το c, d

Σωστή απάντηση το e σελίδα 9

21. Τι δίκτυα θεωρούνται τα GRPS, EDGE και το UMTS?
- a) Δίκτυα μεταγωγής πακέτων
  - b) Δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 9

22. Το μοντέλο αναφοράς OSI βασίζεται σε πόσα επίπεδα (layers)?
- a) 3 επίπεδα
  - b) 5 επίπεδα
  - c) 7 επίπεδα

Σωστή απάντηση το c σελίδα 10

23. Οι αλλαγές στα πρότυπα ενός στρώματος επηρεάζουν τα πρότυπα άλλου στρώματος?
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το b σελίδα 10

24. Στο μοντέλο αναφοράς OSI η σύνδεση μεταξύ δύο οντοτήτων σε δύο στίβους πρωτοκόλλων συμβαίνει στο φυσικό στρώμα (Physical Level)?
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 10

25. Το πρωτόκολλο TCP/IP έχει επικρατήσει έναντι του πρωτοκόλλου OSI?
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 13

26. Οι υπηρεσίες που παρέχει το στρώμα διαδικτύου στο μοντέλο TCP/IP είναι?

- a) Με σύνδεση
- b) Χωρίς σύνδεση

Σωστή απάντηση το b σελίδα 13

27. Ποιο από τα ακόλουθα πρωτόκολλα στο στρώμα μετάδοσης είναι πιο αξιόπιστο?

- a) TCP
- b) UDP

Σωστή απάντηση το a σελίδα 14

28. Συμπληρώστε ποια από τα ακόλουθα στρώματα επηρεάζονται περισσότερο από την ασύρματη μετάδοση?

- a) Το στρώμα εφαρμογής
- b) Το στρώμα μετάδοσης
- c) Το στρώμα διαδικτύου
- d) Το φυσικό στρώμα
- e) Το στρώμα ζεύξης δεδομένων
- f) Κανένα από τα παραπάνω

Σωστή απάντηση το b,c,d,e σελίδες 13,14

29. Για να επικοινωνήσει ο κινητός σταθμός με τον σταθμό βάσης χρησιμοποιεί τους ραδιοδιαύλους και την αντίστοιχη ραδιοεπαφή?

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 15

30. Από τι αποτελείται ο σταθμός βάσης?

- a) Κεραίες εκπομπής και λήψης
- b) Τους αντίστοιχους πομποδέκτες
- c) Τα a και b
- d) Κανένα από τα παραπάνω

Σωστή απάντηση το c σελίδα 15

31. Ποιες είναι οι βασικές λειτουργίες ενός κυψελωτού συστήματος τηλεφωνίας?

- a) Να εντοπίζει και να παρακολουθεί τους κινητούς σταθμούς
- b) Να εντοπίζει και να παρακολουθεί τους σταθερούς σταθμούς
- c) Να συνδέει τους κινητούς σταθμούς στους βέλτιστους σταθμούς βάσης
- d) Τα a και c

Σωστή απάντηση το d σελίδα 16

32. Ποια είναι τα σημαντικότερα κριτήρια για την αξιολόγηση μιας ζεύξης?

- a) Ο χρόνος
- b) Η ακρίβεια της μέτρησης
- c) Ο συνδυασμός και των δύο
- d) Κανένα από τα παραπάνω

Σωστή απάντηση το c σελίδα 17

33. Ο στόχος των σύγχρονων ψηφιακών τεχνικών είναι η μείωση του χρόνου παρακολούθησης και έλεγχου των ραδιοζεύξεων?

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 17

34. Οι βασικοί παράγοντες που καθορίζουν τη φασματική απόδοση των κυψελωτών συστημάτων είναι:

- a) Το μέγεθος των κυψελών
- b) Η δυνατότητα των ραδιοζεύξεων να αντεπεξέρχονται σε παρεμβολές
- c) Η δυνατότητα του συστήματος να αντιδρά σε μεταβολές της κίνησης
- d) Τα a και c
- e) Όλα τα παραπάνω

Σωστή απάντηση το e σελίδα 17

35. Τα ασύρματα συστήματα ραδιομετάδοσης χωρίζονται:

- a) Στα simplex συστήματα
- b) Στα half-duplex συστήματα
- c) Στα full-duplex συστήματα
- d) Στα duplex συστήματα
- e) Τα a, b και c

Σωστή απάντηση το e σελίδα 17

36. Πώς ονομάζονται τα συστήματα όταν η επικοινωνία είναι δυνατή μόνο στη μία κατεύθυνση?

- a) Simplex συστήματα
- b) Half-duplex συστήματα
- c) Full-duplex συστήματα

Σωστή απάντηση το a σελίδα 17

37. Πώς ονομάζονται τα συστήματα όταν έχουμε αμφίδρομη αλλά όχι ταυτόχρονη επικοινωνία?

- a) Simplex συστήματα
- b) Half-duplex συστήματα
- c) Full-duplex συστήματα

Σωστή απάντηση το b σελίδα 17

38. Πώς ονομάζονται τα συστήματα όταν έχουμε ταυτόχρονη εκπομπή και λήψη μεταξύ χρηστών και σταθμών βάσης?
- Simplex συστήματα
  - Half-duplex συστήματα
  - Full-duplex συστήματα

Σωστή απάντηση το c σελίδα 17

39. Η κατεύθυνση από τον BTS (σταθμός βάσης) προς τον MS (κινητό σταθμό) καλείται:
- Ευθεία (forward) ή κάτω ζεύξη (downlink-DL)
  - Αντίστροφη (reverse) ή άνω ζεύξη (uplink –UL)

Σωστή απάντηση το a σελίδα 17

40. Η κατεύθυνση από τον MS (κινητό σταθμό) προς τον BTS (σταθμός βάσης) καλείται:
- Ευθεία (forward) ή κάτω ζεύξη (downlink-DL)
  - Αντίστροφη (reverse) ή άνω ζεύξη (uplink –UL)

Σωστή απάντηση το b σελίδα 17

41. Όταν δύο δίαυλοι χρησιμοποιούν διαφορετική συχνότητα για την ευθεία και αντίστροφη ζεύξη προκύπτει:
- Το σύστημα FDD (Frequency Division Duplex)
  - Το σύστημα TDD (Time Division Duplex)

Σωστή απάντηση το a σελίδα 18

42. Όταν δύο δίαυλοι χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα για την ευθεία και αντίστροφη ζεύξη αλλά γειτονικές χρονοσχισμές (timeslot) προκύπτει:
- Το σύστημα FDD (Frequency Division Duplex)
  - Το σύστημα TDD (Time Division Duplex)

Σωστή απάντηση το b σελίδα 18

43. Με τη βοήθεια σχήματος περιγράψτε τους τύπους αμφιδρόμησης FDD και TDD:

Σωστή απάντηση σχήμα 1.4 σελίδα 18

44. Η υλοποίηση των TDD συστημάτων είναι δυνατή μόνο με ψηφιακές τεχνικές και απαιτεί τη χρήση χρονικών διαστημάτων φύλαξης (guard time) μεταξύ των χρονοσχισμών σένα χρονοπλάισιο.
- Σωστό
  - Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 19

45. Για να έχουμε καλύτερη παραμετροποίηση της εκπομπής βελτιώνοντας την αποδοτικότητα του συστήματος χρησιμοποιούμε τα συστήματα:
- a) FDD (Frequency Division Duplex)
  - b) TDD (Time Division Duplex)

Σωστή απάντηση το b σελίδα 20

46. Σε ποια συστήματα έχουμε χαμηλή παρεμβολή γειτονικών διαύλων στις κυψέλες?
- a) FDD (Frequency Division Duplex)
  - b) TDD (Time Division Duplex)

Σωστή απάντηση το a σελίδα 21

47. Ποια τεχνική αμφιδρόμησης χρησιμοποιούμε όταν θέλουμε να καλύψουμε μεγάλες αποστάσεις με υψηλή ισχύ εκπομπής?
- a) FDD (Frequency Division Duplex)
  - b) TDD (Time Division Duplex)

Σωστή απάντηση το a σελίδα 21

48. Ποια τεχνική αμφιδρόμησης χρησιμοποιούμε όταν θέλουμε να έχουμε περιορισμένο εύρος ζώνης και πυκνή δομή επαναχρησιμοποίησης?
- a) FDD (Frequency Division Duplex)
  - b) TDD (Time Division Duplex)

Σωστή απάντηση το b σελίδα 21

49. Ποια είναι τα βασικά χαρακτηριστικά των συστημάτων 1ης γενιάς?
- a) Η αναλογική διαμόρφωση FM
  - b) Η τεχνική πολλαπλής πρόσβασης FDMA
  - c) Η τεχνική FDD
  - d) Ο συνδυασμός όλων των παραπάνω

Σωστή απάντηση το d σελίδα 22

50. Τα συστήματα 1ης γενιάς βασίζονται:
- a) Σε αναλογικές τεχνικές
  - b) Σε ψηφιακές τεχνικές
  - c) Όλα τα παραπάνω

Σωστή απάντηση το c σελίδα 22

51. Τα συστήματα 2ης γενιάς βασίζονται:
- a) Σε αναλογικές τεχνικές
  - b) Σε ψηφιακές τεχνικές
  - c) Όλα τα παραπάνω

Σωστή απάντηση το b σελίδα 24

52. Ποια συστήματα προσφέρουν υπηρεσίες δεδομένων υψηλότερης ταχύτητας υποστηρίζοντας έτσι τις τεχνολογίες μεταγωγής πακέτου?

- a) 2<sup>ης</sup> γενιάς
- b) 2.5<sup>ης</sup> γενιάς
- c) 3<sup>ης</sup> γενιάς

Σωστή απάντηση το b σελίδα 27

53. Σε ποια κυψελωτά συστήματα έχουμε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης?

- a) 1<sup>ης</sup> γενιάς
- b) 2<sup>ης</sup> γενιάς
- c) 3<sup>ης</sup> γενιάς

Σωστή απάντηση το c σελίδα 28

54. Τα συστήματα ασύρματης τηλεφωνίας είναι:

- a) Simplex συστήματα
- b) Half-duplex συστήματα
- c) Full-duplex συστήματα

Σωστή απάντηση το c σελίδα 30

55. Το δίκτυο μονής συχνότητας (Single Frequency Network – SFN) είναι ένα ψηφιακό δίκτυο ευρέεκτομής όπου χρησιμοποιεί την ίδια συχνότητα σε όλη την περιοχή που καλύπτει.

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 37

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΚΑΙ ΕΜΠΕΙΡΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΔΙΑΔΟΣΗΣ

### 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο ραδιοδιάυλος αποτελεί μια μεγάλη πρόκληση για επιτυχή και αξιόπιστη επικοινωνία υψηλού ρυθμού μετάδοσης. Τα σημαντικότερα προβλήματα στην ασύρματη διάδοση είναι ο θόρυβος, οι παρεμβολές, η παρεμπόδιση από ανθρώπινες και φυσικές κατασκευές και η πολυδιαδρομική διάδοση. Η κατάσταση επιδεινώνεται καθώς τα παραπάνω φαινόμενα μεταβάλλονται χρονικά με απρόβλεπτο τρόπο κυρίως με την κίνηση των τερματικών σταθμών. Τα χαρακτηριστικά αυτά θέτουν τα βασικά όρια στην έκταση της κάλυψης, το ρυθμό μετάδοσης και την αξιοπιστία της επικοινωνίας στο ραδιοδιάυλο. Τα όρια καθορίζονται από πολλούς παράγοντες με κυριότερους το περιβάλλον διάδοσης και την κινητικότητα των χρηστών. Τα περισσότερα συστήματα κινητών επικοινωνιών χρησιμοποιούν τις ζώνες συχνοτήτων VHF (0,03 ως 0,3 GHz), UHF (0,3 ως 3 GHz) και SHF (3 ως 30 GHz), όπου η καμπυλότητα της γης αλλά και η ιονόσφαιρα δεν επηρεάζουν τη διάδοση. Η ηλεκτρομαγνητική (H/M) ενέργεια, με τη μορφή ραδιοκυμάτων, διαδίδεται απομακρυσμένη από την κεραία εκπομπής και υπάρχουν πολλοί τρόποι που τα ραδιοκύματα ταξιδεύουν, ανάλογα με τη συχνότητα εκπομπής.

### 2.2 Διάδοση Ραδιοκυμάτων

Με τον όρο διάδοση ραδιοκυμάτων εννοούμε την όδευση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και τη μεταφορά H/M ενέργειας από μια κεραία πομπού σε μια κεραία δέκτη σε περιβάλλον που συμμετέχον τόσο το έδαφος και η τροπόσφαιρα ή η ιονόσφαιρα, όσο και διάφορες φυσικές ή τεχνητές κατασκευές.

Τα H/M κύματα χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τους μηχανισμούς διάδοσης. Ο κάθε τύπος κύματος είναι άμεσα συσχετισμένος με κάποιο μέσο μετάδοσης και κυρίως τα διαφορετικά στρώματα της ατμόσφαιρας καθώς και τα διάφορα φυσικά ή τεχνητά εμπόδια στην επιφάνεια της γης.

Τα ιονοσφαιρικά ή ουράνια κύματα (sky waves, ή ionospheric waves), είναι κύματα που ανακλώνται ή υπόκεινται σκέδαση από την ιονόσφαιρα. Τα τροποσφαιρικά κύματα (tropospheric waves), είναι κύματα που ανακλώνται, περιθλώνται ή υπόκεινται σκέδαση από την τροπόσφαιρα. Τα κύματα εδάφους (ground waves), είναι κύματα που μεταδίδονται κοντά στην επιφάνεια της γης και χωρίζονται σε κύματα χώρου (space waves) και σε κύματα επιφάνειας (surface waves ή Norton surface waves). Τα κύματα χώρου με τη σειρά τους περιλαμβάνουν τα απευθείας κύματα (direct waves), τα ανακλώμενα από το έδαφος κύματα (ground reflected waves), και τα περιθλώμενα από τα εμπόδια στην επιφάνεια της γης κύματα (diffracted waves).

Κάποιες από τις σημαντικότερες παραμέτρους που καθορίζουν τη σημασία του κάθε τύπου ραδιοκύματος είναι η απόσταση της διάδοσης και η συχνότητα των H/M κυμάτων. Η συχνότητα των ραδιοκυμάτων είναι κυμαίνεται από 3 kHz ως 300 GHz.

Ο σημαντικότερος τύπος κυμάτων είναι τα κύματα χώρου και τα τροποσφαιρικά κύματα, δηλαδή τα ανακλώμενα, διαθλώμενα ή σκεδαζόμενα από την τροπόσφαιρα.



Οι μηχανισμοί διάδοσης των ραδιοκυμάτων, εκτός της απευθείας συνιστώσας είναι τρεις:

- Η ανάκλαση (reflection), που συμβαίνει όταν ένα εκπεμπόμενο ηλεκτρομαγνητικό κύμα προσκρούει σε μια λεία επιφάνεια με πολύ μεγάλες διαστάσεις συγκρινόμενες με το μήκος κύματος του RF σήματος.
- Η περίθλαση (diffraction), που συμβαίνει όταν ανάμεσα στον πομπό και το δέκτη υπάρχει φυσικό ή τεχνητό εμπόδιο με μεγάλες διαστάσεις συγκρινόμενες με το μήκος κύματος, το οποίο προκαλεί την εμφάνιση δευτερευόντων κυμάτων πίσω από το εμπόδιο σύμφωνα με την αρχή του Huygens.
- Η σκέδαση ή διάχυση (diffuse scattering) που συμβαίνει όταν ένα σήμα προσκρούει είτε σε μια μεγάλη τραχιά επιφάνεια ή σε επιφάνεια της οποίας διαστάσεις είναι της τάξης του μήκους κύματος ή μικρότερες, με αποτέλεσμα η ανακλώμενη ενέργεια να διασκορπίζεται σε όλες τις κατευθύνσεις.

Η επίδραση του ραδιοδιαύλου στο εκπεμπόμενο σήμα είναι πολλαπλή και γίνεται αισθητή κυρίως με τις απώλειες διάδοσης (path loss) και το φαινόμενο των διαλείψεων μικρής κλίμακας (small scale fading) και των διαλείψεων μεγάλης κλίμακας (large scale fading). Κάθε ένα από τα φαινόμενα έχει διαφορετική φυσική προέλευση και πρέπει να μελετώνται όλα τα κατά τη σχεδίαση αλλά και κατά την αξιολόγηση της επίδοσης των κυψελωτών συστημάτων.

Οι απώλειες διάδοσης στις οποίες έχει αποδοθεί ο όρος εξασθένηση, καθορίζουν την εξάρτηση της μείωσης της μέσης ισχύος του λαμβανόμενου σήματος από την απόσταση πομπού-δέκτη.

Μπορούμε να διακρίνουμε τρεις γενικές κατηγορίες μοντέλων: τα εμπειρικά, τα στατιστικά και τα αναλυτικά. Τα εμπειρικά μοντέλα αποτελούν προσαρμογές σε δεδομένα μετρήσεων και συνήθως περιγράφουν τις στατιστικές κατανομές των διαλείψεων με βάση κάποιες παραμέτρους των πειραματικών μετρήσεων, καθώς επίσης δίνουν και την εξασθένηση του σήματος σε συνάρτηση με την απόσταση σε διάφορους τύπους περιβάλλοντος. Τα στατιστικά μοντέλα βασίζονται σε συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας που συνήθως χρησιμοποιούνται στη διάδοση ραδιοκυμάτων, όπως η Rayleigh, η Rician και η Lognormal. Τα αναλυτικά μοντέλα χρησιμοποιούν γεωμετρικά χαρακτηριστικά και τις θεωρίες ηλεκτρομαγνητικής διάδοσης όπως τη Γεωμετρική Οπτική (Geometrical Optics – GO), την Ομοιόμορφη Θεωρία της Περίθλασης (Uniform Theory of Diffraction – UTD), και τη Φυσική Οπτική (Physical Optics – PO), για τον υπολογισμό και τη μελέτη των επιπτώσεων στο λαμβανόμενο σήμα από την παρουσία σκεδαστών στην περιοχή του κινητού. Η επιλογή του καταλληλότερου μοντέλου εξαρτάται άμεσα από την εκάστοτε εφαρμογή.

Συνήθως, τα εμπειρικά διακρίνονται για την ευκολία χρήστη τους, ενώ τα αναλυτικά για το εύρος των εφαρμογών, δηλαδή, ανάλογα με την υλοποίηση, μπορούν να εφαρμοσθούν για την πρόβλεψη μεγεθών μεγάλης και μικρής κλίμακας αλλά και για εφαρμογές στενής ή ευρείας ζώνης. Υπάρχουν και μοντέλα τα οποία θα μπορούσαμε να τα χαρακτηρίσουμε υβριδικά και τα οποία παρέχουν αναλυτικούς τύπους υπολογισμών αλλά με παραμέτρους που έχουν εξαχθεί από προσαρμογές σε μετρήσεις, δηλαδή εμπειρικές.

### 2.2.1 Ιδιότητες των Μέσων Μετάδοσης

Η ηλεκτρική και μαγνητική συμπεριφορά των υλικών όταν σε αυτά εφαρμόζονται ηλεκτρομαγνητικά πεδία, χαρακτηρίζεται από τις συντακτικές παραμέτρους  $\epsilon$ ,  $\mu$ ,  $\sigma$ . Οι συντακτικές παράμετροι συμμετέχουν στις συντακτικές σχέσεις που συνδέουν τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, και περιγράφουν σε μακροσκοπική κλίμακα τις ιδιότητες των μέσων.

Τα μαγνητικά μέσα είναι εκείνα που παρουσιάζουν μαγνητική πόλωση υπό την επίδραση μαγνητικού πεδίου, δηλαδή τα μαγνητικά δίπολα ευθυγραμμίζονται με το εφαρμοζόμενο πεδίο κατά τρόπο ανάλογο εκείνου των ηλεκτρικών διπόλων.

Τα αγωγά συνήθως μεταλλικά, μέσα χαρακτηρίζονται από την κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρικών φορτίων παράγοντας ηλεκτρικά ρεύματα. Τα ηλεκτρικά φορτία που αποτελούν το ηλεκτρικό φορτίο είναι ηλεκτρόνια υψηλής ενέργειας που με την επίδραση ηλεκτρικού πεδίου απελευθερώνονται από τα άτομα.

Τα μέσα, των οποίων οι συντακτικές παράμετροι δεν είναι συνάρτηση του πλάτους των πεδίων στα οποία εκτίθενται, καλούνται γραμμικά, διαφορετικά καλούνται μη γραμμικά. Αποτέλεσμα της μη γραμμικότητας είναι η παραγωγή υψηλότερων αρμονικών που σε πολλές περιπτώσεις γίνονται εμφανείς ως παρεμβολή στο επιθυμητό σήμα.

Τα μέσα των οποίων οι συντακτικές παράμετροι δεν είναι συνάρτηση της θέσης καλούνται ομογενή. Διαφορετικά καλούνται ανομοιογενή. Τα μέσα των οποίων οι συντακτικές παράμετροι δεν είναι συνάρτηση της συχνότητας καλούνται μη διασκορπιστικά, διαφορετικά καλούνται διασκορπιστικά μέσα.

Τα μέσα, των οποίων οι συντακτικές παράμετροι δεν είναι συνάρτηση της κατεύθυνσης των πεδίων, καλούνται ισοτροπικά, διαφορετικά καλούνται ανισοτροπικά. Στα ισοτροπικά υλικά, τόσο η διηλεκτρική σταθερά όσο και η μαγνητική διαπερατότητα, είναι βαθμωτά μεγέθη και συνεπώς, τα διανύσματα της διηλεκτρικής μετατόπισης και της μαγνητικής επαγωγής είναι παράλληλα με τις εντάσεις του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου αντίστοιχα. Η ιδιότητα της ανισοτροπίας είναι ενδογενής των ατομικών/ μοριακών δομών των διηλεκτρικών, αλλά μπορεί και να προκληθεί λόγω της εφαρμογής ενός εξωτερικού πεδίου.

### 2.3 Απώλειες και Αναλυτικά Μοντέλα Διάδοσης

Με τον όρο απώλειες διάδοσης, ορίζουμε το λόγο της εκπεμπόμενης ισχύος προς την λαμβανόμενη ισχύ, για ένα δεδομένο περιβάλλον διάδοσης και είναι συνήθως μια συνάρτηση της απόστασης διάδοσης.

Στη συνέχεια παρατίθενται εμπειρικά και αναλυτικά μοντέλα απωλειών διάδοσης (path loss models) με εφαρμογή στα συστήματα κινητών επικοινωνιών. Το πρόβλημα του προσδιορισμού της συμπεριφορά της μέσης λαμβανόμενης ισχύος γίνεται δύσκολο αν αναλογιστούμε ότι, για κάθε τύπο περιβάλλοντος, όπου υπάρχουν διαφορετικά φυσικά και τεχνητά εμπόδια, μπορεί να υπερτερούν διαφορετικοί μηχανισμοί διάδοσης και συνεπώς η εξάρτηση από την απόσταση να είναι δραματικά διαφορετική. Για το λόγο αυτό, έχουν αναπτυχθεί διαφορετικά μοντέλα ραδιοδιάδοσης, που προβλέπουν την εξάρτηση της μέσης ισχύος από την απόσταση και τα οποία εξαρτώνται από πολλές παραμέτρους, όπως η συχνότητα, τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος και ο τύπος των κεραιών.

Ανάλογα με την πολυπλοκότητα του μοντέλου, οι βασικές πληροφορίες στις οποίες στηρίζονται τα μοντέλα αυτά είναι η συχνότητα λειτουργίας, ο τύπος της

περιοχής (αστική, προαστιακή, αγροτική, με λόφους και βουνά), η απόσταση πομπού και δέκτη, το ύψος της κεραίας του πομπού, το ύψος της κεραίας του δέκτη, καθώς και συγκεκριμένα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής, όπως ο προσανατολισμός των δρόμων, το μέσο ύψος των κτιρίων, η μέση απόσταση μεταξύ των οικοδομικών τετραγώνων, η μορφολογία της περιοχής στην ευθεία που ενώνει πομπό και δέκτη, η παρουσία ή όχι δένδρων, ακόμη και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των επιφανειών των κτιρίων και του εδάφους.

### **2.3.1 Μοντέλο Απωλειών Ελεύθερου Χώρου (Free Space Loss)**

Το μοντέλο απωλειών ελεύθερου χώρου (Free Space Loss – FSL), περιγράφει το φαινόμενο της ζεύξης μεταξύ πομπού και δέκτη σε χώρο ελεύθερο από άλλα φυσικά ή τεχνητά εμπόδια. Αυτό σημαίνει ότι οι κεραίες βρίσκονται πολύ μακριά όσο από τα έδαφος, όσο και από οποιοδήποτε άλλο εμπόδιο που θα μπορούσε να προκαλέσει ανακλάσεις, περιθλάσεις, σκεδάσεις ή να εξασθενήσει το σήμα. Παρούσα θεωρείται μόνο η απευθείας συνιστώσα και το μέσο θεωρείται ισοτροπικό, ομογενές και χωρίς απώλειες.

### **2.3.2 Η Εξίσωση του Radar**

Η εξίσωση του Radar μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της λαμβανόμενης ισχύος εξαιτίας της σκέδασης της H/M ακτινοβολίας από ένα αντικείμενο που ακτινοβολείται από μια κεραία πομπού. Βασικό μέγεθος, στην περίπτωση της σκέδασης από στόχους, είναι η ενεργός διατομή radar ή επιφάνεια σκέδαση (radar cross section), η οποία είναι ένα μέτρο της ενεργού επιφάνειας στο στόχο κι της επανακτινοβολουμένης ισχύος. Ορίζεται ως η ισοδύναμη επιφάνεια που συλλέγει τόση ισχύ από το προσπίπτον ηλεκτρομαγνητικό κύμα, που, αν σκεδαστεί ισοτροπικά, θα παράγει στο δέκτη πυκνότητα ισχύος ίση με εκείνη που παράγει ο πραγματικός στόχος.

### **2.3.3 Ανάκλαση Επίπεδων Κυμάτων από Λείο Επίπεδο Έδαφος**

Οι συντελεστές ανάκλασης ως συναρτήσεως της γωνίας πρόσπτωσης είναι μιγαδικοί, με αποτέλεσμα το ανακλώμενο κύμα να διαφέρει όχι μόνο κατά πλάτος αλλά και κατά φάση από το προσπίπτον κύμα. Στην περίπτωση που το προσπίπτον κύμα είναι κυκλικά πολωμένο και η γωνία πρόσπτωσης είναι μικρότερη από τη γωνία Brewster, τότε το ανακλώμενο είναι κυκλικά πολωμένο με αντιστραμμένη τη φορά περιστροφής του διανύσματος του ηλεκτρικού πεδίου. Αν η γωνία πρόσπτωσης είναι μεγαλύτερη από τη γωνία Brewster, τότε η φορά περιστροφής διατηρείται. Αν η γωνία είναι ίση με τη γωνία Brewster, τότε η πόλωση μετατρέπεται σε γραμμική εξαιτίας του μηδενισμού του συντελεστή ανάκλασης για τη συνιστώσα του ηλεκτρικού πεδίου που αντιστοιχεί στην παράλληλη (κατακόρυφη) πόλωση. Επιπλέον, αν η επιφάνεια ανάκλασης είναι ένας καλός αγωγός, τότε η σχέση πλατών των δύο συνιστωσών του ηλεκτρικού πεδίου παραμένει η ίδια, οπότε αν είχαμε κυκλική πόλωση αυτή θα διατηρηθεί και μετά την ανάκλαση. Αν, όμως, το μέσο ανάκλασης είναι διηλεκτρικό, η σχέση των πλατών αλλάζει, επειδή είναι διαφορετικές οι τιμές των συντελεστών ανάκλασης στην κάθετη και την παράλληλη πόλωση, οπότε η κυκλική πόλωση θα μετατραπεί σε ελλειπτική. Στην περίπτωση που το προσπίπτον κύμα έχει ελλειπτική πόλωση, πρέπει να σημειώσουμε ότι στην γενική περίπτωση το ανακλώμενο αλλά και το μεταδιδόμενο κύμα θα έχει ελλειπτική

πόλωση με φορά περιστροφής την ίδια ή και διαφορετική ανάλογα με τις σχέσεις των πλατών και των φάσεων των δύο συνιστωσών. Σε κάθε περίπτωση, απαιτείται ξεχωριστή ανάλυση λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιότητες του υλικού ανάκλασης.

### 2.3.4 Μοντέλο Επίπεδης Γης (Plane Earth Model)

Το μοντέλο επίπεδης γης ή όπως πολλές φορές αποκαλείται μοντέλο δύο ακτίνων, στηρίζεται στη θεωρία της γεωμετρικής οπτικής και λαμβάνει υπόψη την απευθείας συνιστώσα του ηλεκτρικού πεδίου, αλλά και την ανακλώμενη από το έδαφος. Το συνολικό λαμβανόμενο ηλεκτρικό πεδίο είναι το διανυσματικό άθροισμα των δύο συνιστωσών.

Η διαφορά φάσης μεταξύ των δύο συνιστωσών καλείται σημείο καμψής (breakpoint). Πριν από το σημείο αυτό η εξασθένηση ακολουθεί τον κανόνα 20dB/decade, ενώ μετά το σημείο ακολουθεί τα 40dB/decade.

Όταν έχουμε σταθερό ύψος πομπού και απόσταση  $d$ , μπορούμε να απεικονίσουμε την ισχύ που λαμβάνει ένας δέκτης συναρτήσει του ύψους του και του μήκους κύματος του εκπεμπόμενου κύματος. Ο λόγος που μας ενδιαφέρει αυτή η απεικόνιση είναι ότι ο δέκτης μπορεί να είναι σχεδιασμένος να λαμβάνει περισσότερα του ενός σήματα σε διαφορετικές συχνότητες, όπως στην περίπτωση του τηλεοπτικού δέκτη.

Κέρδος ύψους κεραίας καλείται όταν υπάρχει σημαντικό κέρδος στην ενεργό τιμή του ηλεκτρικού πεδίου με την αύξηση του ύψους της κεραίας του πομπού στο μοντέλο επίπεδης γης. Άρα για κάθε διπλασιασμό του ύψους, είτε του πομπού είτε του δέκτη, έχουμε ένα κέρδος της τάξης των 6dB.

### 2.3.5 Ανάκλαση και Σκέδαση από Τραχιές Επιφάνειες

Μέχρι στιγμής στα προβλήματα της ανάκλασης, έχουμε θεωρήσει λείες επιφάνειες που παρέχουν ανακλώμενα H/M κύματα με σαφώς καθορισμένη κατεύθυνση, εκείνη που υποδεικνύει ο νόμος του Snell. Στην πράξη όμως, οι επιφάνειες ανάκλασης δεν είναι λείες αλλά τραχιές, δηλαδή έχουν ανωμαλίες οι οποίες μπορεί να θεωρηθούν ως μικρά μέτωπα-εμπόδια στην πορεία του προσπίπτοντος κύματος. Αποτέλεσμα της τραχύτητας της επιφάνειας είναι η διάχυση της ανάκλασης σε πολλές κατευθύνσεις ή όπως αποκαλείται σκέδαση.

Η τραχύτητα της επιφάνειας είναι στατιστικό φαινόμενο δεδομένου ότι, τόσο η θέση όσο και το μέγεθος των ανωμαλιών, είναι τυχαία μεγέθη. Επιπλέον, ο χαρακτηρισμός μιας επιφάνειας ως λεία ή τραχιά συνδέεται άμεσα με τη χρησιμοποιούμενη συχνότητα αλλά και τη γωνία πρόσπτωσης. Απαιτείται λοιπόν ένα μέτρο της τραχύτητας της επιφάνειας και το πλέον διαδεδομένο είναι το κριτήριο του Rayleigh. Δηλαδή θεωρούμε προσπίπτον κύμα στην τραχιά επιφάνεια και ξεχωρίζουμε δύο ακτίνες τις οποίες και παρατηρούμε πριν και μετά την ανάκλαση.

Μέχρι στιγμής έχουμε αναφέρει απλά τη διάκριση τραχιάς και λείας επιφάνειας. Είναι δεδομένο ότι η προσπίπτουσα ενέργεια σε μια τραχιά επιφάνεια μπορεί να μοντελοποιηθεί μετά την πρόσπτωση, αποτελούμενη από δύο συνιστώσες. Εκείνη που αντιστοιχεί στην ανάκλαση προς τη σαφώς καθορισμένη κατεύθυνση και εκείνη στη διακεχυμένη ανάκλαση (σκέδαση). Αυτή η θεώρηση δεν είναι απλά μια υπόθεση αλλά είναι ένα δεδομένο που έχει αποδεχθεί πειραματικά.

## 2.3.6 Περίθλαση

### 2.3.6.1 Η Αρχή του Huygens

H/M κύματα, η επιφάνεια, που ορίζεται από το γεωμετρικό τόπο των σημείων που το ηλεκτρικό πεδίο έχει σταθερή φάση, καλείται ισοφασική επιφάνεια ή κυματικό μέτωπο. Το επίπεδο στο οποίο βρίσκονται το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο είναι πάντα κάθετο στην κατεύθυνση διάδοσης του κύματος για κύματα TEM και εφαπτόμενο στο κυματικό μέτωπο. Το κυματικό μέτωπο για μια σημειακή ισοτροπική πηγή είναι σφαιρικό, όποτε αναφερόμαστε σε σφαιρικά κύματα. Σε μεγάλες αποστάσεις από την πηγή, το κυματικό μέτωπο τείνει να γίνει επίπεδο, όποτε αναφερόμαστε σε επίπεδα κύματα.

Η αρχή του Huygens, η οποία εξάγεται και από τις εξισώσεις του Maxwell, μας υποδεικνύει ότι κάθε σημείο σε ένα πρωτεύον κυματικό μέτωπο αποτελεί πηγή δευτερευόντων σφαιρικών κυματικών μετώπων και αυτά τα δευτερεύοντα κυματική μέτωπα συνδυάζονται και παράγουν ένα νέο επίπεδο κυματικό μέτωπο στην κατεύθυνση διάδοσης του κύματος.

Με την αρχή Huygens, θα έπρεπε κανονικά να μεταδίδονται κύματα και προς την αντίθετη κατεύθυνση. Ο Fresnel λοιπόν διαισθητικά υπέθεσε ότι για να μην έχουμε διάδοση σε κατεύθυνση αντίθετη του διανύσματος θα πρέπει τα σφαιρικά κυματικά μέτωπα να έχουν πλάτος ανομοιόμορφο με την κατεύθυνση.

Περίθλαση καλείται όταν μία κάμψη, καμπύλωση των ραδιοκυμάτων προκύπτει γύρω από την αιχμή του εμποδίου. Συνήθως η περίθλαση αποτελεί μέρος της γενικότερης θεωρίας που καλείται Φυσική Οπτική, ή κυματική οπτική. Η Φυσική Οπτική αναγνωρίζει την κυματική φύση του φωτός επιτρέποντας έτσι να λάβουμε υπόψη μας τη διαφορά φάσης λόγω του διαφορετικού μήκους δύο μονοπατιών διάδοσης. Επιπλέον τα H/M κύματα μπορούν να αντιμετωπίζονται είτε ως βαθμωτά είτε ως διανυσματικά λαμβάνοντας υπόψη και τα χαρακτηριστικά της πόλωσης.

Σε υψηλές συχνότητες το φαινόμενο της περίθλασης, όπως και της ανάκλασης και της διάθλασης, είναι τοπικό και εξαρτάται από τα ακόλουθα:

- Τη γεωμετρία του αντικειμένου στο σημείο της περίθλασης (π.χ σφήνα, ακμή, καμπύλη επιφάνεια, κ.λ.π).
- Το πλάτος, τη φάση και την πόλωση του προσπίπτοντος πεδίου στο σημείο της περίθλασης.

### 2.3.6.2 Τα ελλειψοειδή και οι Ζώνες Fresnel

Οι ζώνες Fresnel ορίζονται ως η περιοχή μεταξύ δυο διαδοχικών καμπυλών που προκύπτουν από την τομή. Οι ζώνες Fresnel έχουν μεγαλύτερο εύρος στο ενδιάμεσο σημείο μεταξύ πομπού και δέκτη.

Στην καθημερινή πρακτική, απαιτείται η γνώση των επιπλέον απωλειών διάδοσης, λόγω της παρεμπόδισης από φυσικά ή τεχνητά εμπόδια. Επειδή όμως το φαινόμενο της περίθλασης είναι τοπικό και εξαρτάται άμεσα από τη γεωμετρία και τις ιδιότητες των πιθανών εμποδίων σε μια ασύρματη ζεύξη, συνήθως εξετάζουμε συγκεκριμένες περιπτώσεις στις οποίες είναι δυνατές και κάποιες πολύ χρήσιμες προσεγγίσεις. Λόγω της μεγάλης πολυπλοκότητας που παρουσιάζουν τα H/M προβλήματα της περίθλασης, συνήθως χρησιμοποιούμε τα αποτελέσματα από

συγγενή προβλήματα σκέδασης από σφαίρα ή κύλινδρο, ή την ευθεία ακμή ενός απορροφητικού ημιεπιπέδου.

### 2.3.6.3 Περίθλαση από Ευθεία Ακμή (Knife Edge Diffraction)

Αυτή η περίπτωση είναι η πλέον συνηθισμένη και χρησιμοποιείται σε ασύρματες ζεύξεις για τον υπολογισμό των απωλειών λόγω περίθλασης από εμπόδια που παρουσιάζουν ευθεία ακμή. Αν υποθέσουμε ότι μεταξύ πομπού και δέκτη παρεμβάλλεται ένα τελείως απορροφητικό ημιεπίπεδο εμπόδιο, τότε η επίδραση του εμποδίου είναι αμελητέα, αν το άκρο του ημιεπιπέδου είναι αρκετά χαμηλότερα από την ευθεία της οπτικής επαφής. Η περίπτωση αυτή χαρακτηρίζεται ως διάδοση σε ελεύθερο χώρο και το βαθμωτό λαμβανόμενο πεδίο συμβολίζεται ως  $E_0$ . Η χρήση βαθμωτών μιγαδικών πεδίων είναι επαρκής, γιατί αποδεικνύεται ότι οι συντελεστές περίθλασης είναι κοινοί και για τις δύο πολώσεις του ηλεκτρικού πεδίου και συνεπώς, η βαθμωτή προσέγγιση του Kirchhoff για το μιγαδικό πλάτος του ηλεκτρικού πεδίου είναι επαρκής για τον υπολογισμό του μιγαδικού πλάτους του περιθλώμενου πεδίου.

Αν αρχίσουμε να αυξάνουμε το ύψος του ημιεπιπέδου πλησιάζοντας στην ευθεία οπτικής επαφής, τότε περισσότερες ζώνες Fresnel θα αρχίσουν να παρεμποδίζονται και το πλάτος του λαμβανόμενου πεδίου θα παρουσιάζει διακύμανση. Το πλάτος της διακύμανσης αυξάνεται όσο πλησιάζει το εμπόδιο την ευθεία οπτικής επαφής, θέση στην οποία το πλάτος του λαμβανόμενου πεδίου είναι το μισό σε σχέση με εκείνο του ελεύθερου χώρου. Για μεγαλύτερα ύψη, η διακύμανση σταματά και το πλάτος του πεδίου μειώνεται σταδιακά.

Το προσπίπτον κύμα μπορεί να είναι είτε επίπεδο, είτε σφαιρικό, είτε κυλινδρικό, αλλά το περιθλώμενο από την ευθεία ακμή κύμα είναι κυλινδρικό. Το συνολικό πεδίο στο δέκτη υπολογίζεται με χρήση της θεωρίας της περίθλασης Fresnel, σύμφωνα με την οποία οι συνεισφορές από τις δευτερεύουσες πηγές Huygens του κυματικού μετώπου, που εκτείνεται πάνω από το εμπόδιο, αθροίζονται λαμβάνοντας υπόψη της διαφορές φάσης λόγω του διαφορετικού μονοπατιού που διανύει το πεδίο από κάθε δευτερεύουσα πηγή.

### 2.3.6.4 Περίθλαση από Ευθεία Ακμή πάνω από Επίπεδο Έδαφος

Σε πρακτικές εφαρμογές, η περίθλαση από ευθεία ακμή λαμβάνει χώρα πάνω από επίπεδο έδαφος, γεγονός που πρέπει να ληφθεί υπόψη ώστε πιθανές ανακλάσεις πριν ή και μετά το εμπόδιο να προσμετρώνται στο συνολικά λαμβανόμενο πεδίο στο δέκτη. Οι απώλειες στην περίπτωση αυτή εξαρτώνται από το ύψος του εμποδίου πάνω από το έδαφος, τη σχετική του θέση ως προς πομπό και δέκτη, τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του εδάφους, και τη συχνότητα λειτουργίας.

Το συνολικό πεδίο προκύπτει από το άθροισμα των συνιστωσών καθώς και του απευθείας πεδίου, αν αυτό υπάρχει.

### 2.3.6.5 Περίθλαση από Πολλαπλές Ευθείες Ακμές

Στην περίπτωση όπου πολλαπλές ευθείες ακμές παρεμβάλλονται μεταξύ πομπού και δέκτη, η επέκταση των αποτελεσμάτων από μια ευθεία ακμή δεν είναι απλή. Όταν περιθλώμενο πεδίο από μια ακμή προσπίπτει σε μια δεύτερη, παράγει περιθλώμενο πεδίο που υπολογίζεται αναλυτικά χρησιμοποιώντας την αρχή του Huygens για το ημιεπίπεδο που εκτείνεται πάνω από την πρώτη ακμή. Λόγω της μαθηματικής πολυπλοκότητας του αντικειμένου, έχουν κατά καιρούς προταθεί διάφορες προσεγγίσεις στο πρόβλημα της περίθλασης από πολλαπλές ακμές, οι

οποίες έχουν ελεγχθεί ως προς την ακρίβεια τους με αναλυτικές μεθόδους και πειραματικές μετρήσεις.

Η προσέγγιση του Bullington είναι η πλέον απλή σε πολυπλοκότητα υπολογισμών και στηρίζεται στην υπόθεση ότι οι απώλειες περίθλασης, λόγω δύο εμποδίων, ισούνται με τις απώλειες περίθλασης ενός ισοδύναμου εικονικού εμποδίου, που η κορυφή του προσδιορίζεται από το σημείο τομής των ευθειών που ενώνουν το κάθε ένα από τα δύο αρχικά εμπόδια με τον πομπό και τον δέκτη αντίστοιχα.

Από τη στιγμή που θα προσδιοριστεί το ισοδύναμο εμπόδιο, χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των απωλειών περίθλασης οι τύποι του μοντέλου περίθλασης από ευθεία ακμή. Το μοντέλο είναι απλό στην εφαρμογή του, αλλά σε μερικές περιπτώσεις δεν λαμβάνει υπόψη σημαντικά εμπόδια, με συνέπεια να υποτιμώνται οι απώλειες και τα αποτελέσματα του να είναι συνήθως πιο αισιόδοξα από την πραγματικότητα.

Με την προσέγγιση των Epstein-Peterson υπολογίζουμε τις απώλειες περίθλασης για κάθε εμπόδιο χωριστά και στο τέλος αθροίζουμε όλες τις απώλειες. Η προσέγγιση μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλαπλά εμπόδια. Οι υπολογισμοί συνεχίζονται μέχρι να καταλήξουμε στην πραγματική θέση δέκτη, δηλαδή αν έχουμε  $n$  εμπόδια, η διαδικασία θα τελειώσει με τον υπολογισμό των απωλειών του  $n$ -οστού εμποδίου, με τη βοήθεια μιας ευθείας που θα ενώνει το  $n-1$  εμπόδιο με τον δέκτη. Για κάθε επιμέρους υπολογισμό λαμβάνονται υπόψη τα ύψη  $h_n$ .

Στην περίπτωση που τα εμπόδια είναι δύο, έχει αποδειχθεί από τον Millington ότι η προσέγγιση των Epstein-Peterson δεν είναι ικανοποιητική, αν τα δύο εμπόδια βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους.

Η προσέγγιση του Deygout προτάθηκε επειδή οι προηγούμενες προσεγγίσεις στο πρόβλημα της περίθλασης από πολλαπλά εμπόδια υποτιμούν γενικά τις απώλειες. Η μέθοδος αυτή καλείται και μέθοδος της κύριας ακμής, επειδή το πρώτο βήμα στη μεθοδολογία είναι ο εντοπισμός της ακμής με τη μεγαλύτερη παράμετρο περίθλασης. Ο υπολογισμός της παραμέτρου γίνεται για κάθε ακμή ξεχωριστά θεωρώντας ότι οι υπόλοιπες ακμές δεν υφίστανται.

Η μέθοδος δίνει γενικά πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα που είναι πολύ κοντά στα πειραματικά δεδομένα. Παρόλα αυτά γίνεται απαισιόδοξη, δηλαδή υπερεκτιμά τις απώλειες λόγω περίθλασης, όταν τα εμπόδια είναι πολύ κοντά μεταξύ τους. Για το λόγο αυτό προτείνεται μια τροποποίηση της μεθόδου από τη σύσταση της ITU-R P.526.

Η τροποποίηση της προσέγγισης Deygout, που προτείνει η σύσταση P.526 της ITU-R, βρίσκει εφαρμογή σε ζεύξεις εντός αλλά και πέρα από τον ράδιο-ορίζοντα. Η μεθοδολογία υπολογισμού των απωλειών λόγω περίθλαση από εμπόδια της γης, λαμβάνει υπόψη της την ενεργό ακτίνα της γης, και περιλαμβάνει γενικά τρία βήματα. Το πρώτο βήμα είναι κοινό με τη μεθοδολογία της προσέγγισης Deygout, όπου υπολογίζεται η κύρια ακμή, σύμφωνα με την παράμετρο περίθλασης. Στη συνέχεια επαναλαμβάνουμε το βήμα αυτό για τις δύο περιοχές της ζεύξης, πρώτα από τον πομπό μέχρι την κύρια ακμή και στη συνέχεια από την κύρια ακμή μέχρι τον δέκτη.

## 2.4 Απώλειες και Εμπειρικά Μοντέλα Διάδοσης

Πολλές φορές είναι επιθυμητό να εκφράζουμε τη μέση λαμβανόμενη ισχύ ή τις απώλειες διάδοσης σε απόσταση, συναρτήσει της ισχύος ή των απωλειών διάδοσης σε κάποιο σημείο αναφοράς. Η λαμβανόμενη ισχύς στην απόσταση αναφοράς, μπορεί είτε να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας το μοντέλο απωλειών διάδοσης ελεύθερου χώρου είτε να προκύψει από μετρήσεις στο περιβάλλον εφαρμογής, ως μέση τιμή πολλών μετρήσεων σε σημεία που απέχουν απόσταση ίση με το σημείο αναφοράς από τον πομπό. Πρέπει βέβαια η απόσταση αυτή να βρίσκεται στο μακρινό πεδίο της κεραίας του πομπού, αλλά ταυτόχρονα να είναι μικρότερη από οποιαδήποτε πιθανή χρησιμοποιούμενη απόσταση στο ασύρματο σύστημα επικοινωνιών που μελετάται.

Στα ασύρματα συστήματα επικοινωνιών οι συνθήκες διάδοσης ελεύθερου χώρου δεν πληρούνται. Τα Η/Μ κύματα διαδίδονται σε πιο πολύπλοκα περιβάλλοντα, όπου ανακλώνονται, περιθλώνται, ή διαχέονται από το έδαφος, τα κτίρια και άλλα αντικείμενα. Συνεπώς οι απώλειες διάδοσης δεν εξαρτώνται μόνο από την απόσταση και τη συχνότητα, αλλά και από τα ύψη των κεραιών του κινητού σταθμού και του σταθμού βάσης, τα γεωμετρικά και τοπολογικά χαρακτηριστικά των σκεδαστών καθώς επίσης και από τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους.

Αναλυτική μοντελοποίηση της διάδοσης για πολύπλοκα περιβάλλοντα μπορεί να επιτευχθεί με επίλυση των εξισώσεων Maxwell με οριακές συνθήκες που εκφράζουν τα φυσικά χαρακτηριστικά των αντικειμένων. Η πολυπλοκότητα των υπολογισμών αλλά και η έλλειψη των απαραίτητων παραμέτρων έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη προσεγγιστικών μοντέλων, που αποκαλούνται και εμπειρικά μοντέλα, τα οποία στοχεύουν στο χαρακτηρισμό του ραδιοδιαύλου και των απωλειών διάδοσης.

### 2.4.1 Μοντέλο Egli

Ο Egli διεξήγαγε μια σειρά μετρήσεων πάνω από ανώμαλο μεν έδαφος αλλά όχι με ψηλά φυσικά εμπόδια και σε συχνότητες μεταξύ 90MHz και 1000MHz. Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το μοντέλο βρίσκει εφαρμογή σε περιοχές, σχεδόν ομαλές, με μικρές ανωμαλίες. Ο Egli παρατήρησε ότι η μέση λαμβανόμενη ισχύς του σήματος είναι αντιστρόφως ανάλογη της τέταρτης δύναμης της απόστασης από τον πομπό. Έτσι ανέπτυξε ένα μοντέλο βασισμένο στην εξίσωση διάδοσης επίπεδης επιφάνειας. Εντούτοις παρατήρησε, πρώτον, ότι υπήρχε μία επιπλέον απώλεια σε σχέση με εκείνη που προέβλεπε η εξίσωση της επίπεδης επιφάνειας και, δεύτερον, ότι αυτή η επιπλέον απώλεια εξαρτιόταν από τη συχνότητα και τη φύση του εδάφους. Εισηγήθηκε λοιπόν έναν πολλαπλασιαστικό διορθωτικό παράγοντα που λαμβάνει υπόψη την απόκλιση από το μοντέλο επίπεδης γης.

### 2.4.2 Μοντέλο Okumura-Hata

Το μοντέλο αυτό είναι ένα καθαρά εμπειρικό μοντέλο του οποίου οι παράμετροι έχουν υπολογιστεί με τη μέθοδο της προσαρμογής σε εκτεταμένες μετρήσεις. Ο Okumura ανέπτυξε μια εμπειρική προγνωστική μέθοδο καταλήγοντας σε μια σειρά από χρήσιμες γραφικές καμπύλες, για κάθε παράμετρο, όπως τη συχνότητα, το ύψος της κεραίας του Σταθμού Βάσης κ.α. Το μοντέλο του υπολογίζει την ένταση πεδίου και την περιοχή εξυπηρέτησης για δεδομένο περιβάλλον.



Βασίστηκε σε μετρήσεις που διεξήγαγε στο Τόκιο, σε συχνότητες 150MHz, 450MHz και 900MHz. Το μοντέλο του όμως δεν είναι εύκολα αξιοποιήσιμο από ένα εργαλείο σχεδίασης. Στη συνέχεια ο Hata, στηριζόμενος στα αποτελέσματα του Okumura και στην προσπάθεια του να απλοποιήσει τη συγκεκριμένη μέθοδο, καθιέρωσε μια σειρά από εμπειρικές παραμετρικές εξισώσεις οι οποίες λαμβάνουν κάποιο καθορισμένο εύρος τιμών και διαφέρουν ανάλογα με το περιβάλλον διάδοσης. Αν και στην προσπάθεια του αυτή έκανε κάποιες απλοποιήσεις, το μοντέλο που ανέπτυξε έτυχε πολύ μεγάλης αναγνώρισης και χρησιμοποιείται ευρέως, καθώς δίνει πολύ καλές προσεγγίσεις με μικρό σφάλμα.

Το μοντέλο δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα για μακροκυβελωτά συστήματα και κατοικημένες περιοχές. Οι απώλειες διάδοσης διακρίνονται ανάλογα με τον τύπο της περιοχής: αστικό (urban), προαστιακό (suburban), και αγροτικό (rural).

#### **2.4.3 Μοντέλο COST 231 – Walfisch - Ikegami**

Το μοντέλο αυτό είναι αποτέλεσμα συνδυασμού δύο διαφορετικών μεθόδων, εκείνης των Walfisch-Bertoni και εκείνης των Ikegami-Yoshida-Umehira. Οι διορθώσεις και οι προσθήκες έγιναν στα πλαίσια του COST 231 με σκοπό την προσαρμογή του μοντέλου σε συνθήκες και χαρακτηριστικά των ευρωπαϊκών πόλεων. Το μοντέλο αργότερα έγινε αποδεκτό από την ITU-R και προστέθηκε. Στο προτεινόμενο μοντέλο λαμβάνονται υπόψη τέσσερις παράγοντες:

- Τα ύψη των κτιρίων που παρεμβάλλονται μεταξύ πομπού και δέκτη.
- Το πλάτος των δρόμων.
- Η απόσταση μεταξύ των κτιρίων.
- Η κατεύθυνση των δρόμων αναφορικά με την απευθείας συνιστώσα που συνδέει τον πομπό με το δέκτη.

Παρόλο που λαμβάνονται υπόψη γεωμετρικά και τοπολογικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος, το μοντέλο είναι στατιστικό και όχι αναλυτικό αφού χρησιμοποιεί χαρακτηριστικές τιμές των παραμέτρων και όχι μια τοπογραφική βάση δεδομένων.

#### **2.4.4 Μοντέλα Εσωτερικών Χώρων**

Η πρόβλεψη του λαμβανόμενου σήματος σε εσωτερικούς χώρους είναι εξίσου σημαντική με εκείνη στους εξωτερικούς χώρους. Τα συστήματα κινητών επικοινωνιών μπορούν κάλλιστα να λειτουργούν και με τις δύο κεραίες πομπού και δέκτη σε εσωτερικό χώρο, όπως π.χ. στα κλασσικά ασύρματα φορητά συστήματα τηλεφωνίας, στις περιπτώσεις όπου έχουν εγκατασταθεί Σταθμοί Βάσης σε εσωτερικούς χώρους αλλά και στα WLANs.

Ο ραδιοδιάυλος στους εσωτερικούς χώρους διαφέρει σημαντικά από εκείνο των εξωτερικών χώρων. Η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη είναι πολύ μικρότερη, εξαιτίας των μεγάλων απωλειών που προκαλούνται από τους εσωτερικούς τοίχους, τα έπιπλα, αλλά και λόγω της μικρότερης ισχύος εκπομπής. Τα περισσότερα μοντέλα υπολογισμού της μέσης τιμής των απωλειών διάδοσης για εσωτερικούς χώρους είναι εμπειρικά.

Το μοντέλο, που προτάθηκε από τους Keenan και Motley, έχει ως βάση την παρατήρηση ότι οι απώλειες διάδοσης σε εσωτερικούς χώρους εξαρτώνται άμεσα από

το πλήθος των ορόφων και των τοίχων που παρεμβάλλονται μεταξύ πομπού και δέκτη, στο νοητό απευθείας μονοπάτι που τους συνδέει.

Το μοντέλο MWM (Μοντέλο Πολλαπλών Τοίχων) προτάθηκε στα πλαίσια του COST 231 και αποτελεί μια τροποποίηση του προηγούμενου μοντέλου επειδή στην πραγματικότητα οι ολικές απώλειες από τη διέλευση πολλών ορόφων δεν είναι γραμμική συνάρτηση του αριθμού των ορόφων.

Το Απλό Γραμμικό μοντέλο υποθέτει ότι οι επιπλέον απώλειες των απωλειών ελεύθερου χώρου είναι γραμμική συνάρτηση της απόστασης. Με το μοντέλο αυτό προκύπτει ότι όσο αυξάνει η απόσταση, τόσο μεγαλύτερη είναι η απόκλιση από τις απώλειες ελεύθερου χώρου.

## 2.5 ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Σημειώστε ποια είναι τα σημαντικότερα προβλήματα στην ασύρματη διάδοση?

- a) Ο θόρυβος
- b) Οι παρεμβολές
- c) Η παρεμπόδιση από ανθρώπινες κατασκευές
- d) Η παρεμπόδιση από φυσικές κατασκευές
- e) Η πολυδιαδρομική διάδοση
- f) Όλα τα παραπάνω
- g) Το a, b και το e

Σωστή απάντηση το f σελίδα 43

2. Οι ζώνες συχνοτήτων που χρησιμοποιούν τα περισσότερα συστήματα κινητών επικοινωνιών χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα στη διάδοση είναι:

- a) UHF (0,3 ως 3 GHz)
- b) SHF (3 ως 30 GHz)
- c) Όλα τα παραπάνω

Σωστή απάντηση το c σελίδα 43

3. Με τον όρο διάδοση ραδιοκυμάτων εννοούμε την όδευση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και τη μεταφορά Η/Μ ενέργειας από μια κεραία πομπού σε μια κεραία δέκτη.

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 43

4. Από τι εξαρτάται η διάδοση ραδιοκυμάτων στα συστήματα κινητών επικοινωνιών?

- a) Από τη χρησιμοποιούμενη συχνότητα
- b) Από τα διαγράμματα ακτινοβολίας
- c) Από τα κέρδη των κεραιών
- d) Από τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του εδάφους
- e) Από τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των διαφόρων σκεδαστών Η/Μ ενέργειας
- f) Από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά
- g) Από τη σχετική θέση κεραιών και σκεδαστών στο χώρο
- h) Όλα τα παραπάνω
- i) Το a, d, e, f και g

Σωστή απάντηση το h σελίδα 43

5. Τα Η/Μ κύματα χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τους μηχανισμούς διάδοσης?

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 44

6. Σημειώστε τις κατηγορίες που χωρίζονται τα κύματα εδάφους (Ground Waves):

- a) Τα κύματα χώρου (Space Waves)
- b) Τα κύματα επιφάνειας (Surface Waves ή Norton Surface Waves)
- c) Τα τροποσφαιρικά κύματα (Tropospheric Waves)
- d) Τα ιονοσφαιρικά κύματα (Sky Waves)
- e) Όλα τα παραπάνω
- f) Το a και b

Σωστή απάντηση το f σελίδα 44

7. Από τι εξαρτάται η εξασθένηση του κύματος επιφάνειας (surface waves)?

- a) Από την αγωγιμότητα του εδάφους
- b) Από την διηλεκτρική σταθερά του εδάφους κατά μήκος του μονοπατιού διάδοσης
- c) Όλα τα παραπάνω
- d) Κανένα από τα παραπάνω

Σωστή απάντηση το c σελίδα 44

8. Ο σημαντικότερος τύπος κυμάτων για τα συστήματα κινητών επικοινωνιών είναι τα κύματα χώρου και τα τροποσφαιρικά κύματα?

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το b σελίδα 45

9. Το εύρος ζώνης στις ζώνες συχνοτήτων UHF (300MHz-3GHz) και SHF (3 -30GHz) είναι ικανό για τη μετάδοση υψηλής ποιότητας φωνής και δεδομένων?

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 45

10. Ποιοι είναι οι μηχανισμοί διάδοσης των ραδιοκυμάτων?

- a) Η ανάκλαση (reflection)
- b) Η περίθλαση (diffraction)
- c) Η σκέδαση ή διάχυση (diffuse scattering)
- d) Όλα τα παραπάνω
- e) Το a και c

Σωστή απάντηση το d σελίδα 46

11. Αναφέρεται πόσα και ποια είδη διαλείψεων έχουμε:

- Διαλείψεις μικρής κλίμακας (small scale fading)
- Διαλείψεις μεγάλης κλίμακας (large scale fading)

Σωστή απάντηση σελίδα 47

12. Ποιοι είναι οι παράγοντες που κάνουν αισθητή την επίδραση του ραδιοδιαύλου στο εκπεμπόμενο σήμα?

- a) Οι απώλειες διάδοσης (path loss)
- b) Το φαινόμενο διαλείψεων μικρής κλίμακας (small scale fading)
- c) Το φαινόμενο διαλείψεων μεγάλης κλίμακας (large scale fading)
- d) Όλα τα παραπάνω
- e) Το b και c

Σωστή απάντηση το d σελίδα 47

13. Οι απώλειες διάδοσης καθορίζουν την μείωση της μέσης ισχύος του λαμβανόμενου σήματος από την απόσταση πομπού-δέκτη?

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 47

14. Οι γενικότερες κατηγορίες μοντέλων ραδιοδιαύλων είναι?

- a) Τα εμπειρικά μοντέλα
- b) Τα στατιστικά μοντέλα
- c) Τα αναλυτικά μοντέλα
- d) Όλα τα παραπάνω
- e) Το a και c

Σωστή απάντηση το d σελίδα 47

15. Αναφέρετε τις τρεις σχέσεις που συνδέουν τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία και περιγράφουν τις ιδιότητες των μέσων?

Σωστή απάντηση σχέση 2.1 σελίδα 48

16. Στην σχέση  $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$  αντιστοιχίστε το κάθε σύμβολο με τον ορισμό του καθώς και τη μονάδα μέτρησης του:

- a)  $D$  a) διηλεκτρική μετατόπιση ή πυκνότητα ηλεκτρικής ροής a) Farads/m
- b)  $\epsilon$  b) ένταση ηλεκτρικού πεδίου b) Volt/m
- c)  $E$  c) διηλεκτρική σταθερά c) Coulomb/m

Σωστή απάντηση a,a,c / b,c,a / c,b,b σελίδα 48

17. Στην σχέση  $\vec{B} = \mu \vec{H}$  αντιστοιχίστε το κάθε σύμβολο με τον ορισμό του καθώς και τη μονάδα μέτρησης του:

- a)  $B$  a) ένταση μαγνητικού πεδίου a) Weber/m<sup>2</sup>
- b)  $\mu$  b) μαγνητική επαγωγή ή πυκνότητα μαγνητικής ροής b) Henries/m
- c)  $H$  c) μαγνητική διαπερατότητα c) Ampere/m

Σωστή απάντηση a,b,a / b,c,b / c,a,c σελίδα 48

18. Στην σχέση  $\vec{J} = \sigma \vec{E}$  αντιστοιχήστε το κάθε σύμβολο με τον ορισμό του καθώς και τη μονάδα μέτρησης του:

- |              |                                    |                          |
|--------------|------------------------------------|--------------------------|
| a) $\vec{J}$ | a) πυκνότητα ρεύματος αγωγιμότητας | a) Siemens/m             |
| b) $\sigma$  | b) αγωγιμότητα                     | b) Ampere/m <sup>2</sup> |
| c) $\vec{E}$ | c) ένταση του ηλεκτρικού πεδίου    | c) Volt/m                |

Σωστή απάντηση a,a,b / b,b,a / c,c,c σελίδα 48

19. Αναφέρετε τις τιμές των συντακτικών παραμέτρων καθώς και τις μονάδες τους για τον ελεύθερο χώρο:

Σωστή απάντηση σχέση 2.2 σελίδα 48

20. Ένα υλικό για το οποίο ισχύει η σχέση  $\sigma / \omega \epsilon < 100$  τι μέσο είναι?

- a) Διηλεκτρικό μέσο
- b) Μαγνητικό μέσο
- c) Αγώγιμο μέσο
- d) Κανένα από τα παραπάνω

Σωστή απάντηση a σελίδα 49

21. Ένα υλικό για το οποίο ισχύει η σχέση  $\sigma / \omega \epsilon > 100$  τι μέσο είναι?

- a) Διηλεκτρικό μέσο
- b) Μαγνητικό μέσο
- c) Αγώγιμο μέσο
- d) Κανένα από τα παραπάνω

Σωστή απάντηση c σελίδα 49

22. Τα μέσα μετάδοσης των οποίων οι συντακτικές παράμετροι δεν είναι συνάρτηση του πλάτους των πεδίων στα οποία εκτίθενται είναι:

- a) Τα γραμμικά μέσα
- b) Τα μη-γραμμικά μέσα

Σωστή απάντηση a σελίδα 49,50

23. Τα μέσα μετάδοσης των οποίων οι συντακτικές παράμετροι δεν είναι συνάρτηση της θέσης των πεδίων καλούνται:

- a) Ομογενή μέσα
- b) Ανομογενή μέσα

Σωστή απάντηση a σελίδα 50

24. Τα μέσα μετάδοσης των οποίων οι συντακτικές παράμετροι δεν είναι συνάρτηση της συχνότητας των πεδίων καλούνται:

- a) Διασκορπιστικά μέσα
- b) Μη-διασκορπίστικα μέσα

Σωστή απάντηση b σελίδα 50

25. Τα μέσα μετάδοσης των οποίων οι συντακτικές παράμετροι δεν είναι συνάρτηση της κατεύθυνσης των πεδίων καλούνται:

- a) Ισοτροπικά μέσα
- b) Ανισοτροπικά μέσα

Σωστή απάντηση a σελίδα 50

26. Δώστε τις κυματικές εξισώσεις για τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που παρουσιάζουν ημιτονοειδή μεταβολή με το χρόνο:

Σωστή απάντηση σχέση 2.5 σελίδα 50

27. Δώστε τις διαφορικές εξισώσεις του Maxwell με τους αντίστοιχους φασιθέτες των πεδίων:

Σωστή απάντηση σχέση 2.7 σελίδα 50

28. Δώστε την κυματική εξίσωση των εγκάρσιων ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων για το ηλεκτρικό πεδίο:

Σωστή απάντηση σχέση 2.12 σελίδα 51

29. Δώστε τη σχέση της ταχύτητας διάδοσης  $u$  για οποιοδήποτε μη αγώγιμο μέσο.

Σωστή απάντηση σχέση 2.17 και 2.18 σελίδες 52, 53

30. Δώστε την ταχύτητα διάδοσης και το μήκος κύματος ενός H/M κύματος συχνότητας 900MHz σε ένα τούβλο με  $\epsilon_r = 4$ :

$$u = 3 \cdot 10^8 / \sqrt{4} = 1.5 \cdot 10^8 \text{ m / sec}$$

Σωστή απάντηση σελίδα 53

31. Η σταθερά εξασθένησης  $\alpha$  δίνεται πολλές φορές και σε μονάδες dB/m και όχι μόνο σε Nepers/m?

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση α σελίδα 53

32. Δώστε την ταχύτητα διάδοσης  $H/M$  κύματος και την αντίσταση του μέσου που προκύπτει για καλούς αγωγούς?

Σωστή απάντηση σχέση 2.25 σελίδα 54

33. Με τον όρο απώλειες διάδοσης ορίζουμε το λόγο της εκπεμπόμενης ισχύος προς τη λαμβανόμενη ισχύ:

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση α σελίδα 55

34. Από ποιες παραμέτρους εξαρτώνται τα διαφορετικά μοντέλα ραδιοδιάδοσης?

- a) Την συχνότητα
- b) Τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος
- c) Από τον τύπο των κεραιών
- d) Όλα τα παραπάνω
- e) Το a και c

Σωστή απάντηση d σελίδα 55

35. Το μοντέλο απωλειών ελεύθερου χώρου (Free Space Loss-FSL) περιγράφει το φαινόμενο της ζεύξης μεταξύ πομπού και δέκτη σε χώρο ελεύθερο από άλλα φυσικά ή τεχνητά εμπόδια?

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση α σελίδα 55

36. Δώστε τη σχέση της λαμβανόμενης ισχύος ελεύθερου χώρου σε συνάρτηση με την πυκνότητα ροής ισχύος (Power Flux Density)?

Σωστή απάντηση σχέση 2.28 σελίδα 56

37. Δώστε τη σχέση των απωλειών  $L$  για δύο κεραιές ιστροπικές.

Σωστή απάντηση σχέση 2.30 σελίδα 56

38. Δώστε τη σχέση για τις απώλειες ελεύθερου χώρου (free space loss) σε λογαριθμικές μονάδες.

Σωστή απάντηση σχέση 2.31 σελίδα 56



39. Στις απώλειες ελεύθερου χώρου ισχύει ότι για κάθε διπλασιασμό της απόστασης  $d$  οι απώλειες αυξάνονται κατά:
- a) 10dB/decade
  - b) 20dB/decade
  - c) 30dB/decade

Σωστή απάντηση b σελίδα 56

40. Οι απώλειες ελεύθερου χώρου για δύο κάθε διπλασιασμό της συχνότητας αυξάνονται κατά:
- a) 6dB
  - b) 10dB
  - c) 20dB

Σωστή απάντηση a σελίδα 57

41. Η ενεργός διατομή radar ή επιφάνεια σκέδασης (radar cross section) ορίζεται ως η ισχύς που επανακτινοβολείται στην κατεύθυνση του δέκτη προς την προσπίπτουσα στο στόχο πυκνότητα ισχύος?
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση a σελίδα 58

42. Για την κάθετη πόλωση ενός Η/Μ πεδίου ο συντελεστής ανάκλασης είναι πάντα αρνητικός και δεν μηδενίζεται:
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση a σελίδα 63

43. Όταν η επιφάνεια ανάκλασης είναι ένας καλός αγωγός δηλαδή η σχέση πλατών των δύο συνιστώσων του ηλεκτρικού πεδίου μετά την ανάκλαση παραμένει ίδια τότε έχουμε:
- a) Κυκλική πόλωση
  - b) Ελλειπτική πόλωση

Σωστή απάντηση a σελίδα 64

44. Όταν η επιφάνεια ανάκλασης είναι διηλεκτρικό δηλαδή η σχέση πλατών των δύο συνιστώσων του ηλεκτρικού πεδίου μετά την ανάκλαση αλλάζει τότε έχουμε:
- a) Κυκλική πόλωση
  - b) Ελλειπτική πόλωση

Σωστή απάντηση b σελίδα 64

45. Στο μοντέλο επίπεδης γης το συνολικό λαμβανόμενο ηλεκτρικό πεδίο είναι το διανυσματικό άθροισμα της συνιστώσας του ηλεκτρικού πεδίου και της ανακλώμενης συνιστώσας από το έδαφος?

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση a σελίδες 64,65

46. Δώστε τη σχέση που συνδέει στο μοντέλο δύο ακτίνων το ανακλώμενο πεδίο με το προσπίπτον πεδίο.

Σωστή απάντηση σχέση 2.51 σελίδα 66

47. Δώστε τη λογαριθμική σχέση για το μοντέλο δύο ακτίνων της εκπεμπόμενης ισχύος προς τη λαμβανόμενη ισχύ.

Σωστή απάντηση σχέση 2.66 σελίδα 69

48. Για το μοντέλο επίπεδης γης συμπεραίνουμε ότι για κάθε διπλασιασμό της απόστασης οι απώλειες αυξάνονται κατά:

- a) 10dB
- b) 20dB
- c) 40dB

Σωστή απάντηση c σελίδα 69

49. Στο μοντέλο επίπεδης γης η εξασθένηση πριν το σημείο καμπής (breakpoint) ακολουθεί:

- a) 10dB/decade
- b) 20dB/decade
- c) 40dB/decade

Σωστή απάντηση b σελίδα 69

50. Στο μοντέλο επίπεδης γης η εξασθένηση μετά το σημείο καμπής (breakpoint) ακολουθεί:

- a) 10dB/decade
- b) 20dB/decade
- c) 40dB/decade

Σωστή απάντηση c σελίδα 69

51. Με τη βοήθεια σχήματος περιγράψτε το κέρδος ύψους κεραίας όπως αυτό προκύπτει από το μοντέλο επίπεδης γης:

Σωστή απάντηση σχήμα 2.10 σελίδα 71

52. Ο συντελεστής ανάκλασης μηδενίζεται στη γωνία Brewster για την κατακόρυφη ή παράλληλη πόλωση?
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση a σελίδα 71

53. Με τη βοήθεια σχήματος περιγράψτε το φαινόμενο της διάχυσης – σκέδασης:

Σωστή απάντηση σχήμα 2.13 σελίδα 73

54. Υπολογίστε τη διαφορά φάσης μεταξύ δύο ακτίνων που προσπίπτουν σε τραχιά επιφάνεια καθώς και το κριτήριο Rayleigh?

Σωστή απάντηση σχέση 2.76 και 2.77 σελίδα 74

55. Όταν η διαφορά φάσης  $\Delta\phi < 0.1$  τότε η επιφάνεια θεωρείται:

- a) Τραχιά
- b) Λεία
- c) Κανένα από τα παραπάνω

Σωστή απάντηση b σελίδα 77

56. Ο γεωμετρικός τόπος των σημείων που το ηλεκτρικό πεδίο έχει σταθερή φάση καλείται:

- a) Ισοφασική επιφάνεια
- b) Ισοτροπική επιφάνεια
- c) Κυματικό μέτωπο
- d) Το a και c

Σωστή απάντηση d σελίδα 77

57. Δώστε τον παράγοντα κλίσης (oblique ή inclination factor) που διατύπωσε ο Fresnel?

Σωστή απάντηση σχέση 2.86 σελίδα 78

58. Από τι εξαρτάται το φαινόμενο της περίθλασης, της ανάκλασης και της διάθλασης σε υψηλές συχνότητες?

- a) Τη γεωμετρία του αντικειμένου
- b) Το πλάτος του προσπίπτοντος πεδίου
- c) Τη φάση του προσπίπτοντος πεδίου
- d) Την πόλωση του προσπίπτοντος πεδίου
- e) Την οπτική του αντικειμένου
- f) Το a, b, c, d
- g) Το a, b, d, e

Σωστή απάντηση f σελίδα 80

59. Δώστε τη σχέση του παράγοντα περίθλασης  $u$  κατά Fresnel-Kirchhoff συναρτήσει των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της ζεύξης:

Σωστή απάντηση σχέση 2.94 σελίδα 82

60. Οι ζώνες Fresnel ορίζονται ως η περιοχή μεταξύ δύο διαδοχικών καμπυλών που προκύπτουν από την τομή?

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση a σελίδα 82

61. Πότε οι ζώνες Fresnel έχουν μεγαλύτερο εύρος?

- a)  $d_1 \gg d_2$
- b)  $d_1 \ll d_2$
- c)  $d_1 = d_2$

Σωστή απάντηση c σελίδα 82

62. Δώστε το εύρος της ζώνης (ακτίνας) Fresnel για τις περιπτώσεις που  $d_1 = d_2$ ?

Σωστή απάντηση σχέση 2.99 σελίδα 82

63. Δώστε τη σχέση με την οποία υπολογίζεται το σημείο καμπής (breakpoint)?

Σωστή απάντηση σχέση 2.101 σελίδα 84

64. Δώστε τη σχέση του σημείου καμπής (breakpoint) στο οποίο η πρώτη ζώνη Fresnel αγγίζει την επιφάνεια στο μοντέλο επίπεδης γης:

Σωστή απάντηση σχέση 2.107, 2.108 σελίδα 86

65. Δώστε τους τύπους για το πραγματικό και φανταστικό μέρος του μιγαδικού ολοκληρώματος Fresnel?

Σωστή απάντηση σχέση 2.115 σελίδα 89

66. Δώστε τον τύπο για τις απώλειες λόγω περίθλασης από ευθεία ακμή?

Σωστή απάντηση σχέση 2.117 ή 2.118 σελίδα 90

67. Για  $u = 0$  πόσες είναι οι απώλειες λόγω περίθλασης?

- a) 6dB
- b) 10dB
- c) 20dB

Σωστή απάντηση a σελίδα 90

68. Δώστε την προσεγγιστική σχέση της ITU-R για τις απώλειες περίθλασης από ευθεία ακμή:

Σωστή απάντηση σχέση 2.119 σελίδα 90

69. Με τη βοήθεια σχήματος περιγράψτε τη γεωμετρία για περίθλαση από ευθεία ακμή πάνω από επίπεδο έδαφος:

Σωστή απάντηση σχήμα 2.26 σελίδα 92

70. Δώστε τον τύπο για τις απώλειες περίθλασης από στρογγυλεμένο εμπόδιο καθώς και την εξασθένηση σύμφωνα με τους παράγοντες  $T(m,n)$ ?

Σωστή απάντηση σχέσεις 2.125 και 2.126 σελίδες 95, 96

71. Δώστε τη σχέση για μέση λαμβανόμενη ισχύ  $P_r$  σε απόσταση  $d$  συναρτήσει της ισχύος ή των απωλειών διάδοσης σε κάποιο σημείο αναφοράς  $d_0$  και απώλειες ελεύθερου χώρου.

Σωστή απάντηση σχέσεις 2.138 και 2.139 σελίδα 103

72. Από τι εξαρτώνται οι απώλειες διάδοσης?

- a) Από την απόσταση
- b) Από την συχνότητα
- c) Από τα ύψη των κεραιών του κινητού σταθμού
- d) Από τα ύψη των κεραιών του σταθμού βάσης
- e) Από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των σκεδαστών
- f) Από τα τοπολογικά χαρακτηριστικά των σκεδαστών
- g) Από τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των σκεδαστών
- h) Όλα τα παραπάνω
- i) Το a, b, c, d

Σωστή απάντηση h σελίδα 104

73. Δώστε τη σχέση που υπολογίζει τη λαμβανόμενη ισχύ σε λογαριθμικές μονάδες σε ένα απλό εκθετικό μοντέλο διάδοσης?

Σωστή απάντηση σχέση 2.141 σελίδα 104

74. Με τη βοήθεια σχήματος περιγράψτε τις απώλειες διάδοσης για διαφορετικούς συντελεστές εξασθένησης:

Σωστή απάντηση σχήμα 2.38 σελίδα 105

75. Δώστε τη σχέση που υπολογίζει τη μεσαία απώλεια διάδοσης σε dB σύμφωνα με το μοντέλο Egli?

Σωστή απάντηση σχέση 2.143 σελίδες 105, 106

76. Το μοντέλο Okumura-Hata δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα για μακροκυβελωτά συστήματα και κατοικημένες περιοχές?

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση a σελίδα 106

77. Ποιοι παράγοντες λαμβάνονται υπόψη κατά το μοντέλο COST231-Walfisch-Ikegami?

- a) Τα ύψη των κτιρίων που παρεμβάλλονται μεταξύ πομπού και δέκτη
- b) Το πλάτος των δρόμων
- c) Η απόσταση μεταξύ των κτιρίων
- d) Η κατεύθυνση των δρόμων αναφορικά με την απευθείας συνιστώσα που συνδέει τον πομπό με τον δέκτη
- e) Όλα τα παραπάνω
- f) Το a, c και d

Σωστή απάντηση e σελίδα 109

78. Το μοντέλο COST231-Walfisch-Ikegami είναι αξιόπιστο όταν η κεραία του Σταθμού Βάσης είναι πάνω από τις στέγες των κτιρίων?

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση a σελίδα 110

79. Κατά το απλό γραμμικό μοντέλο εσωτερικών χώρων ισχύει ότι όσο αυξάνεται η απόσταση  $d$  τόσο μεγαλύτερη είναι η απόκλιση από τις απώλειες ελεύθερου χώρου?

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση a σελίδα 117

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Διαλείψεις και Χαρακτηρισμός Ραδιοδιαύλου

### 3.1 Διαλείψεις – Ένα Χωρικό Φαινόμενο

Θεωρούμε ακίνητο δεκτή σε περιβάλλον πολυδιαδρομικής διάδοσης, όπου εκπέμπεται ένα αδιαμόρφωτο φέρον και όπου διαδοχικές εκδόσεις του εκπεμπόμενου σήματος από πολλαπλούς μηχανισμούς διάδοσης καταφθάνουν στο δέκτη.

Κάθε πολυδιαδρομική συνιστώσα καταφθάνει στο δέκτη με διαφορετική χρονική καθυστέρηση και, λόγω του διαφορετικού ηλεκτρικού μονοπατιού που διανύουν, η κάθε συνιστώσα έχει μια σχετική ολίσθηση φάσης. Η υπέρθεση των συνιστωσών κάθε χρονική στιγμή οδηγεί στην αθροιστική ή την αφαιρετική συμβολή των ραδιοκυμάτων, ανάλογα με τις σχετικές φάσεις των συνιστωσών.

Αν θεωρήσουμε ότι ο δέκτης κινείται, τότε προκύπτει ένα δυναμικό περιβάλλον πολυδιαδρομικής διάδοσης στο οποίο υπάρχει συνεχής αλλαγή του ηλεκτρικού μήκους κάθε μονοπατιού διάδοσης και συνεπώς οι σχετικές ολισθήσεις φάσης μεταξύ των συνιστωσών μεταβάλλονται συναρτήσει της θέσης του δέκτη.

Στην πραγματικότητα υπάρχουν πολύ περισσότερες συνιστώσες στο δέκτη και η περιβάλλουσα έχει πιο περίπλοκη μορφή. Για ένα δέκτη που κινείται στο χώρο, η εξάρτηση από τη απόσταση μεταφράζεται σε εξάρτηση από το χρόνο, αλλά ο δέκτης παραμένει ένας σηματολήτης στο χώρο των διαλείψεων. Άρα η συμβολή των πολυδιαδρομικών συνιστωσών παράγει μια μορφή στάσιμου κύματος σε συνάρτηση με την απόσταση.

#### 3.1.1 Είδη Διαλείψεων

Αν θεωρήσουμε δέκτη που κινείται σε περιβάλλον πολυδιαδρομικής διάδοσης και καταγράψουμε τη στιγμιαία λαμβανόμενη ισχύ συναρτήσει της απόστασης, θα προκύψει η Υπέρθεση Διαλείψεων.

Εκείνο που παρατηρούμε είναι ότι μπορούμε να διακρίνουμε δύο είδη διαλείψεων. Αρχικά τις διαλείψεις μεγάλης κλίμακας (large scale fading), που εμπεριέχουν τα δύο από τα τέσσερα βασικά χαρακτηριστικά της ραδιομετάδοσης: τις απώλειες διάδοσης, δηλαδή τη μεταβολή της εξασθένησης με την απόσταση, και την σκίαση, δηλαδή την τυχαία μεταβλητή της εξασθένησης για δεδομένη απόσταση. Οι μεγάλης κλίμακας διαλείψεις εκφράζουν τη μέση εξασθένηση της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος εξαιτίας της κίνησης σε μεγάλες περιοχές. Η στατιστική ανάλυση των αργών διαλείψεων δίνει ένα μέτρο των απωλειών διάδοσης συναρτήσει της απόστασης. Επιπλέον, διακρίνουμε τις διαλείψεις μικρής κλίμακας (small scale fading) που περιγράφουν τη μεταβολή των χαρακτηριστικών του σήματος (πλάτους και φάσης) για μετατοπίσεις του κινητού σταθμού της τάξης του  $\lambda/2$ . οι διαλείψεις μικρής κλίμακας οφείλονται στη χρονική διασπορά του σήματος λόγω πολυδιαδρομικής διάδοσης και στη χρονική μεταβολή του διαύλου λόγω μετατόπισης του δέκτη, αλλά και των σκεδαστών που συμμετέχουν στη διάδοση.

Στην υπέρθεση διαλείψεων η αφαιρετική συμβολή πολυδιαδρομικών συνιστωσών έχει ως αποτέλεσμα η λαμβανόμενη ισχύς του σήματος να μειώνεται κατά δεκάδες dB, συνήθως 30 ή και περισσότερα dB, σε σχέση με τη μέση τιμή. Όταν η στιγμιαία ισχύς είναι χαμηλότερη από την απαιτούμενη τιμή των προδιαγραφών για την επίδοση της ζεύξης, αναφερόμαστε σε ραδιοδιάυλο που βρίσκεται σε ισχυρές διαλείψεις (deep fade). Επειδή συνήθως, κατά τη σχεδίαση των συστημάτων, υπάρχει ένα προβλεπόμενο περιθώριο ισχύος (link margin) της τάξης των 10-20-dB για την αντιμετώπιση των διαλείψεων και άλλων υποβιβασμών του

διαύλου, θεωρούμε ότι ο ραδιοδίαυλος είναι σε ισχυρές διαλείψεις, όταν η λαμβανόμενη ισχύς είναι κατά 10-20-dB χαμηλότερη της μέσης λαμβανόμενης ισχύος. Όπως γίνεται αντιληπτό, η επιδείνωση του ρυθμού σφαλμάτων (BER), κατά τη διάρκεια που ο δίαυλος βρίσκεται σε ισχυρές διαλείψεις, είναι δραματική και εν μέρει μπορεί να βελτιωθεί, αυξάνοντας την ισχύ του εκπεμπόμενου σήματος. Η διάρκεια όμως των ισχυρών διαλείψεων είναι συνήθως μικρή και συνεπώς η αύξηση της ισχύος στο πομπό είναι σπατάλη. Κατά τη διάρκεια των ισχυρών διαλείψεων είναι αρκετά τα διαδοχικά bits τα οποία επηρεάζονται και, για το λόγο αυτό, αναφερόμαστε σε ριπές σφαλμάτων. Οι συνήθεις κώδικες διόρθωσης σφαλμάτων μπορούν να διορθώσουν μέχρι κάποιο μικρό αριθμό διαδοχικών εσφαλμένων bits και άρα απαιτούνται και εφαρμόζονται διαφορετικές μέθοδοι για τις ριπές σφαλμάτων λόγω ισχυρών διαλείψεων, όπως η διαφορική λήψη, η κωδικοποίηση σε συνδυασμό με διεμπλοκή (coding-interleaving), και προσαρμοστικές (adaptive) τεχνικές διαμόρφωσης και κωδικοποίησης.

Στη χρονικά μεταβαλλόμενη χρονική διασπορά, το εύρος ζώνης του σήματος θα ολισθαίνει σχετικά με τη συνάρτηση μεταφοράς και άρα, η εξασθένηση που υφίσταται το σήμα θα μεταβάλλεται, οδηγώντας σε επίπεδες διαλείψεις (flat fading). Όταν το εύρος ζώνης του εκπεμπόμενου σήματος είναι μεγάλο σε σχέση με την περίοδο μεταβολής του μέτρου της συνάρτησης μεταφοράς, τότε δύο συχνότητες, που απέχουν αρκετά μέσα στο εύρος ζώνης του σήματος, θα υφίστανται διαφορετική εξασθένηση και έτσι θα έχουμε διαλείψεις επιλεκτικές ως προς τη συχνότητα (frequency selective fading). Σε σχέση και με το λόγο των πλατών  $S$ , είναι προφανές ότι ακόμη και μεγάλη διασπορά να παρουσιάζει ο δίαυλος, αν ο λόγος  $S$  παίρνει μικρές τιμές, τότε δεν υπάρχει πρόβλημα διαλείψεων.

### 3.1.2 Διαλείψεις Μεγάλης Κλίμακας (Large Scale Fading)

Τα απλά μοντέλα απωλειών διάδοσης αναφέρονται σε μέσες τιμές και δε λαμβάνουν υπόψη το γεγονός ότι το περιβάλλον μπορεί να είναι εντελώς διαφορετικό σε δύο περιπτώσεις όπου πομπός και δέκτης απέχουν τη ίδια απόσταση. Τα ραδιοκύματα σκιάζονται από τα κτίρια και άλλες κατασκευές. Η σκίαση δεν είναι βέβαια ούτε απόλυτη ούτε απότομη, είναι συνήθως βαθμιαία, λόγω της ύπαρξης του φαινομένου της περίθλασης. Η λαμβανόμενη ισχύς είναι στην πραγματικότητα μια τυχαία μεταβλητή που εξαρτάται από τον αριθμό και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των σκεδαστών, που συμμετέχουν στη διάδοση. Οι τυχαίες μεταβολές του λαμβανόμενου σήματος, λόγω της παρουσίας των αντικειμένων στο χώρο διάδοσης, καλούνται συχνά και διαλείψεις σκίασης (shadow fading). Άρα, οι τιμές της λαμβανόμενης ισχύος μπορεί να είναι αρκετά διαφορετικές από τη μέση τιμή που προβλέπουν τα μοντέλα απωλειών διάδοσης.

Όταν η κατανομή της λαμβανόμενης ισχύος, εκφρασμένης σε λογαριθμική κλίμακα, είναι κανονική, τότε την αποκαλούμε λογαριθμοκανονική (lognormal).

### 3.1.3 Εμπειρικός Προσδιορισμός Παραμέτρων Μοντέλου Διάδοσης Απλής Κλίσης

Συνήθως, κατά τη σχεδίαση των συστημάτων κινητών επικοινωνιών, γίνονται μετρήσεις της λαμβανόμενης ισχύος για τον προσδιορισμό του περιβάλλοντος διάδοσης. Ένας βασικός λόγος είναι ο προσδιορισμός, τόσο του συντελεστή απωλειών διάδοσης, όσο και της τυπικής απόκλισης, που θα εισαχθούν στο μοντέλο απλής κλίσης και στον υπολογισμό της περιοχής κάλυψης. Με τις μετρήσεις γίνονται



γνωστές οι μέσες τιμές λαμβανόμενης ισχύος σε κάποιες αποστάσεις και είναι έτσι δυνατός ο προσδιορισμός του συντελεστή απωλειών διάδοσης και της τυπικής απόκλισης, με τη μέθοδο του ελάχιστου μέσου τετραγωνικού σφάλματος (Minimum Mean Squared Error – MMSE).

Ο υπολογισμός του εύρους του παραθύρου στηρίζεται στην απαίτηση, τα δείγματα από τα οποία προκύπτει η μέση τιμή να είναι ανεξάρτητα. Η ανεξαρτησία μπορεί να εξεταστεί μέσω της συσχέτισης, αφού η μέση τιμή προσεγγιστικά είναι Gaussian, ως άθροισμα πολλών ανεξάρτητων δειγμάτων, σύμφωνα με το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα. Αποδεικνύεται ότι, αν τα δείγματα έχουν προκύψει από δειγματοληψία ενός δέκτη με γραμμική χαρακτηριστική συνάρτηση εξόδου, δηλαδή αν τόσο η καταγραφή όσο και οι υπολογισμοί έχουν γίνει σε volts, τότε απαιτούνται τουλάχιστον 57 δείγματα, ώστε η εκτίμηση της μέσης τιμής να απέχει από την πραγματική  $+1$  dB με διάστημα εμπιστοσύνης 90%. Σε περίπτωση λογαριθμικής χαρακτηριστικής συνάρτησης εξόδου του δέκτη, τα δείγματα που απαιτούνται είναι τουλάχιστον 85 για εκτίμηση  $+1$  dB από την πραγματική με 90% διάστημα εμπιστοσύνης. Αν γνωρίζουμε το ρυθμό με τον οποίο αποσυσχετίζονται τα δείγματα, δηλαδή μετά από πόσα δείγματα η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης της περιβάλλουσας παίρνει τιμές μικρότερες από μια τιμή κατωφλίου η οποία συνήθως επιλέγεται να είναι 0.5, τότε μπορούμε να υπολογίσουμε το εύρος του παραθύρου σε μήκη κύματος.

## 3.2 Ολίσθηση Doppler

Η ολίσθηση Doppler συνδέεται με την ταχύτητα του κινητού και τη γωνία μεταξύ της κατεύθυνσης κίνησης του κινητού και της κατεύθυνσης άφιξης του σήματος. Άρα, αν το κινητό κινείται στην κατεύθυνση άφιξης του σήματος, η ολίσθηση Doppler είναι θετική, ενώ αν το κινητό απομακρύνεται, η ολίσθηση Doppler είναι αρνητική. Η ολίσθηση Doppler είναι ο ρυθμός μεταβολής του φυσικού μήκους του ηλεκτρικού μονοπατιού  $\Delta l/\Delta t$ , όπου βέβαια το φυσικό μήκος ανάγεται σε μήκη κύματος.

Συνήθως η ολίσθηση Doppler είναι μικρή, της τάξης των 1Hz – 1KHz. Συνεπώς μπορεί κάποιος να αναρωτηθεί γιατί μας ενδιαφέρει ως φαινόμενο. Πράγματι, αν όλα τα κύματα που καταφθάνουν στο δέκτη έχουν την ίδια ολίσθηση Doppler, τότε, με μια μικρή διόρθωση στον τοπικό ταλαντωτή του δέκτη, το πρόβλημα θα ήταν πολύ μικρό. Τα κύματα όμως έχουν διαφορετικές ολισθήσεις Doppler, με γεγονός που προκαλεί διαλείψεις στο δέκτη. Πράγματι, αν θεωρήσουμε ότι στο δέκτη καταφθάνουν δύο κύματα με διαφορετική ολίσθηση Doppler, τότε η εικόνα της συνάρτησης μεταφοράς και της κρουστικής απόκρισης είναι αυτή που απεικονίζεται στο μοντέλο δύο κυμάτων. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά των δύο συχνοτήτων, τόσο πιο γρήγορη είναι η μεταβολή της περιβάλλουσας, δηλαδή η ολίσθηση Doppler μας υποδεικνύει το ρυθμό της χρονικής μεταβολής του διαύλου.

## 3.3 Αναπαράσταση Πολυδιαδρομικής Διάδοσης

### 3.3.1 Ντετερμινιστικός Δίαυλος

Σε έναν ντετερμινιστικό δίαυλο θεωρούμε Κινητό Σταθμό που βρίσκεται σε χώρο που λειτουργεί σύστημα ασύρματων επικοινωνιών. Στον Κινητό Σταθμό προσπίπτουν πολλαπλά, επίπεδα κύματα από τυχαίες γενικά κατευθύνσεις άφιξης αλλά και καθένα με διαφορετική γενικά πόλωση. Κάθε προσπίπτον κύμα προέρχεται είτε από την απευθείας ζεύξη είτε μετά από την παρέμβαση σκεδαστών στο

περιβάλλον. Δηλαδή, θεωρούμε διάφορους μηχανισμούς διάδοσης μεταξύ πομπού και δέκτη. Θεωρούμε ότι οι σκεδαστές είναι διασκορπισμένοι στο χώρο και το εκπεμπόμενο πεδίο αλληλεπιδρά με κάθε σκεδαστή και καταφθάνει στο δέκτη με διαφορετικό πλάτος και φάση.

Αν υποθέσουμε λοιπόν ότι οι  $N$  το πλήθος σκεδαστές συνεισφέρουν  $N$  επίπεδα κύματα που στο εξής θα τα καλούμε συνιστώσες πολυδιαδρομικής διάδοσης (multipath components – MPCs). Κάθε συνιστώσα θα μπορούσε να εκληφθεί και ως μια ακτίνα διάδοσης, όπως συνήθως γίνεται στα προγράμματα πρόβλεψης της ραδιοδιάδοσης που στηρίζονται σε τεχνικές ανίχνευσης ακτίνων (ray tracing techniques). Το εκπεμπόμενο πεδίο λοιπόν αλληλεπιδρά με τους σκεδαστές και δίνει συνιστώσες πολυδιαδρομικής διάδοσης. Κάθε συνιστώσα που προέρχεται από μια φυσική πηγή σκέδασης αλληλεπιδρά με το διάγραμμα της κεραίας και μοντελοποιείται ως μια μιγαδική σταθερά.

### 3.3.2 Επίδραση Περιορισμένου Εύρους Ζώνης

Μέχρι στιγμής, έχουμε υποθέσει ότι ο ραδιοδίαυλος έχει απεριόριστο εύρος ζώνης και συνεπώς, διακριτικότητα στο πεδίο της καθυστέρησης είναι απεριόριστη. Δηλαδή, δύο πολυδιαδρομικές συνιστώσες που καταφθάνουν με διαφορά καθυστέρησης  $\Delta t$  μπορούν να διαχωριστούν όσο μικρή και αν είναι η  $\Delta t$ . Στα πραγματικά όμως ασύρματα συστήματα το εύρος ζώνης περιορίζεται από το σύστημα επικοινωνίας, δηλαδή τα φίλτρα, τις κεραίες, τις βαθμίδες ενίσχυσης και μετατροπής συχνοτήτων κτλ.

### 3.3.3 Τυχαία Χρονικά Μεταβαλλόμενος Δίαυλος

Το περιβάλλον σκέδασης είναι τυχαίο αφού τα χαρακτηριστικά των σκεδαστών (θέση, διάσταση, ηλεκτρικές ιδιότητες) είναι τυχαία. Η κίνηση του δέκτη είναι επίσης τυχαία. Συνεπώς, η χρονική μεταβολή του ραδιοδιαύλου δεν είναι ντετερμινιστική. Για τον ακριβή χαρακτηρισμό του διαύλου απαιτείται η από κοινού συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (joint pdf) των συναρτήσεων του συστήματος σε όλα τα πεδία περιγραφής του. Επειδή η από κοινού pdf δεν είναι πρακτικά ποτέ γνωστή, αρκεί ο προσδιορισμός των μέσων τιμών (ροπές πρώτης τάξης) και των συναρτήσεων αυτοσυσχέτισης των συναρτήσεων του συστήματος (ροπές δεύτερης τάξης).

Ένας διάυλος καλείται στατικός υπό την ευρεία έννοια (Wide Sense Stationary – WSS), όταν τα στατιστικά μεγέθη των διαλείψεων παραμένουν σταθερά για μικρές χρονικές περιόδους. Συνεπώς, οι συναρτήσεις συσχέτισης εξαρτώνται από τις χρονικές μεταβλητές  $t_1$  και  $t_2$  μόνο μέσω της διαφοράς  $\Delta t = t_1 - t_2$ . Αποδεικνύεται ότι, όταν ο διάυλος είναι WSS, τότε έχουμε σκεδάσεις με ασυσχέτιστες ολισθήσεις Doppler. Δηλαδή, οι εξασθενήσεις και οι ολισθήσεις φάσης συνιστωσών που έχουν διαφορετικές ολισθήσεις Doppler είναι ασυσχέτιστες.

Ένας διάυλος θεωρείται ότι προσφέρει ασυσχέτιστη σκέδαση (Uncorrelated Scattering – US), όταν οι εξασθενήσεις και οι ολισθήσεις φάσης συνιστωσών που έχουν διαφορετικές καθυστερήσεις, είναι ασυσχέτιστες. Ο Bello απέδειξε ότι όταν ένας διάυλος είναι US τότε είναι WSS για τη μεταβλητή της συχνότητας και συνεπώς, οι συναρτήσεις αυτοσυσχέτισης εξαρτώνται από τις μεταβλητές  $f_1$  και  $f_2$  μόνο μέσω της διαφοράς τους  $\Delta f = f_1 - f_2$ .

Οι WSSUS δίαυλοι έχουν ασυσχέτιστες σκεδάσεις, τόσο στο πεδίο της καθυστέρησης, όσο και στο πεδίο της ολίσθησης Doppler. Η υπόθεση WSSUS είναι ρεαλιστική για την περιγραφή των μεταβολών μικρής κλίμακας του διαύλου. Λόγω της γοργής μεταβολής της φάσης του ηλεκτρικού πεδίου των προσπίπτοντων κυμάτων, δύο συνιστώσες από διαφορετικά προσπίπτοντα κύματα θεωρούνται ασυσχέτιστες.

### 3.3.4 Δίαυλος Στενής Ζώνης

Κατά τη μετακίνηση του Κινητού Σταθμού, το πλάτος της μιγαδικής περιβάλλουσας υπόκειται σε διαλείψεις μικρής κλίμακας τύπου Rayleigh. Η μέση τετραγωνική τιμή αντιστοιχεί στη μέση ισχύ και, για μια τ.μ που ακολουθεί κατανομή Rayleigh, η μέση ισχύς είναι  $2\sigma^2$ . Λόγω διαλείψεων μικρής κλίμακας τύπου Rayleigh, προκειμένου να εξασφαλίσουμε ότι η λαμβανόμενη ισχύς είναι μεγαλύτερη από μια τιμή κατωφλίου, η οποία συνήθως είναι η ελάχιστη απαιτούμενη ισχύς, με πιθανότητα  $x\%$ , αρκεί να υπολογίσουμε το αντίστοιχο περιθώριο διαλείψεων (fading margin). Αντίστροφα, αν γνωρίζουμε το περιθώριο, μπορούμε να υπολογίσουμε την πιθανότητα να λάβουμε ισχύ μικρότερη από την τιμή κατωφλίου από τη c.d.f. Ένα περιθώριο διάλειψης 20dB υπονοεί ότι έχουμε προϋπολογίσει 100 φορές μεγαλύτερη μέση ισχύ από την ελάχιστη απαιτούμενη ( $100R_{\min}^2=2\sigma^2$ ).

Το μοντέλο του Aulin παρέχει τη δυνατότητα αναλυτικού υπολογισμού της φασματικής πυκνότητας ισχύος, αλλά παρουσιάζει μεγάλες ασυνέχειες για τη μέγιστη τιμή της γωνίας και επίπεδη φασματική πυκνότητα ισχύος για κάποιο εύρος τιμών την συχνότητας. Θεωρείται ακριβές μόνο για μικρές τιμές της γωνίας. Η μορφή της p.d.f είναι τέτοια ώστε να λαμβάνει υπόψη ότι η πλειοψηφία των εισερχόμενων κυμάτων ταξιδεύει σε σχεδόν οριζόντια κατεύθυνση. Άρα είναι μια τ.μ όπου η μέση τιμή είναι μηδέν, είναι κυρίως συγκεντρωμένη σε μικρές γωνίες, ενώ η φ.π.ι δεν έχει ασυνέχειες και δεν εκτείνεται στο άπειρο. Το μειονέκτημα της p.d.f αυτής είναι ότι η φασματική πυκνότητα ισχύος προκύπτει με αριθμητική ολοκλήρωση.

Η κατανομή Rice αφορά την περίπτωση ύπαρξης εκτός των πολυδιαδρομικών συνιστωσών και μιας σταθερής συνιστώσας με ισχυρό πλάτος (συνήθως LOS ή μια ισχυρή ανάκλαση), όπου οι κατανομές πλάτους και φάσης της μιγαδικής περιβάλλουσας είναι διαφορετικές.

Το πραγματικό και φανταστικό μέρος της μιγαδικής περιβάλλουσας θα είναι πάλι Gaussian με την ίδια διασπορά αλλά δεν έχουν μηδενική μέση τιμή. Το πλάτος της μιγαδικής περιβάλλουσα ακολουθεί κατανομή Rice της οποίας η p.d.f είναι η τροποποιημένη συνάρτηση Bessel πρώτου είδους και μηδενικής τάξης. Ο λόγος της ισχύος της απευθείας συνιστώσας προς την ισχύ των πολυδιαδρομικών συνιστωσών καλείται παράγοντας Rice.

Μια πολύ χρήσιμη κατανομή είναι η Nakagami-m, η οποία έχει συμπεριφορά παρόμοια με της Ricean. Αν το K.O.Θ. δεν ικανοποιείται, τότε η Nakagami-m, είναι μια προσεγγιστική κατανομή για το πλάτος της μιγαδικής περιβάλλουσας. Από πολλές μετρήσεις έχει αποδειχθεί ότι το πλάτος ακολουθεί πράγματι τη Nakagami-m. Ενώ μοιάζει με την Ricean, έχει διαφορετική κλίση για τιμές του πλάτους κοντά στο 0. Η κατανομή αυτή μπορεί να περιγράψει είτε καλύτερες είτε χειρότερες συνθήκες διαλείψεων από τη Rayleigh, επιλέγοντας κατάλληλα τιμές για την παράμετρο m.

### 3.3.5 Παράμετροι Χαρακτηρισμού Διάυλου Στενής Ζώνης

Η κατανομή Rayleigh περιγράφει τα στατιστικά μεγέθη πρώτης τάξης της περιβάλλουσας, για μικρές μετατοπίσεις, στις οποίες η μέση τιμή θεωρείται σταθερή. Υπάρχουν δύο πολύ χρήσιμα μεγέθη δεύτερης τάξης της περιβάλλουσας, τα οποία αξίζει να αναφερθούν:

- Ο Ρυθμός Τμήσεως Κατωφλίου (Level Crossing Rate – LCR), που περιγράφει πόσο συχνά η περιβάλλουσα τέμνει ένα προκαθορισμένο κατώφλι πλάτους.
- Η Μέση Διάρκεια Διαλείψεων (Average Fade Duration – AFD), που περιγράφει για πόσο χρονικό διάστημα παραμένει η περιβάλλουσα κάτω από ένα προκαθορισμένο κατώφλι πλάτους.

Τα δύο αυτά μεγέθη είναι 2<sup>ης</sup> τάξης επηρεάζονται όχι μόνο από το περιβάλλον των σκεδαστών αλλά και από την ταχύτητα κίνησης του Κινητού Σταθμού. Χρησιμεύουν τόσο στην επιλογή του ρυθμού μετάδοσης, όσο στην επιλογή του μήκους των κωδικών λέξεων (codewords), αλλά και στην επιλογή του σχήματος κωδικοποίησης που πρέπει να χρησιμοποιηθεί.

### 3.4 ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Κάθε πολυδιαδρομική συνιστώσα καταφθάνει στο δέκτη με?

- a) Διαφορετική χρονική καθυστέρηση
- b) Την ίδια χρονική καθυστέρηση

Σωστή απάντηση το a σελίδα 121

2. Οι σχετικές ολισθήσεις φάσεις μεταξύ των συνιστωσών μεταβάλλονται συναρτήσει της θέσης του δέκτη?

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 122

3. Η συμβολή των πολυδιαδρομικών συνιστωσών παράγει μια μορφή στάσιμου κύματος σε συνάρτηση με την απόσταση?

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 123

4. Ποια είναι τα βασικά χαρακτηριστικά για τις διαλείψεις μεγάλης κλίμακας (large scale fading)?

- a) Οι απώλειες διάδοσης δηλαδή η μεταβολή της εξασθένισης με την απόσταση
- b) Η σκίαση δηλαδή η τυχαία μεταβολή της εξασθένισης για δεδομένη απόσταση
- c) Η μεταβολή των χαρακτηριστικών του σήματος (πλάτους και φάσης) για μετατοπίσεις του κινητού σταθμού της τάξης του  $\lambda/2$
- d) Όλα τα παραπάνω
- e) Το a και b

Σωστή απάντηση το d σελίδα 126

5. Οι διαλείψεις μεγάλης κλίμακας εκφράζουν τη μέση εξασθένηση της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος εξαιτίας της κίνησης σε μεγάλες περιοχές?

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 126

6. Οι διαλείψεις μικρής κλίμακας (small scale fading) περιγράφουν:

- a) Τις απώλειες διάδοσης δηλαδή τη μεταβολή της εξασθένισης με την απόσταση
- b) Τη σκίαση δηλαδή την τυχαία μεταβολή της εξασθένισης για δεδομένη απόσταση
- c) Τη μεταβολή των χαρακτηριστικών του σήματος (πλάτους και φάσης) για μετατοπίσεις του κινητού σταθμού της τάξης του  $\lambda/2$
- d) Όλα τα παραπάνω
- e) Το a και b

Σωστή απάντηση το c σελίδα 126

7. Οι διαλείψεις μικρής κλίμακας (small scale fading) οφείλονται:
- a) Στη χρονική διασπορά του σήματος λόγω πολυδιαδρομικής διάδοσης
  - b) Στη χρονική μεταβολή του διαύλου λόγω μετατόπισης του δέκτη
  - c) Στη χρονική μεταβολή των σκεδαστών που συμμετέχουν στη διάδοση
  - d) Όλα τα παραπάνω
  - e) Το a και b

Σωστή απάντηση το d σελίδα 127

8. Θεωρούμε ότι ο ραδιοδιάυλος είναι σε ισχυρές διαλείψεις όταν η λαμβανόμενη ισχύς είναι:
- a) 10-20dB χαμηλότερη της μέσης λαμβανόμενης ισχύς
  - b) 20-30dB χαμηλότερη της μέσης λαμβανόμενης ισχύς
  - c) Κανένα από τα παραπάνω

Σωστή απάντηση το a σελίδα 127

9. Με τη βοήθεια σχήματος περιγράψτε την υπέρθεση διαφορετικού τύπου διαλείψεων:

Σωστή απάντηση σχήμα 3.8 σελίδα 127

10. Το μέγεθος της χρονικής διασποράς (Delay Spread) στο διάυλο εξαρτάται από τη μέγιστη διαφορά των καθυστερήσεων των πολυδιαδρομικών συνιστωσών?
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 128

11. Δώστε τη σχέση της συνάρτησης μεταφοράς του απλοποιημένου διαύλου για 2 πολυδιαδρομικές συνιστώσες:

Σωστή απάντηση σελίδα 128, 129

12. Οι επίπεδες διαλείψεις (flat fading) προκύπτουν όταν το εύρος ζώνης του σήματος ολισθαίνει σχετικά με τη συνάρτηση μεταφοράς?
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 130

13. Όταν το εύρος ζώνης του εκπεμπόμενου σήματος είναι μεγάλο σε σχέση με την περίοδο μεταβολής του μέτρου της συνάρτησης μεταφοράς δηλαδή δύο συχνότητες που απέχουν αρκετά μέσα στο εύρος ζώνης του σήματος υφίστανται διαφορετική εξασθένιση. Τότε οι διαλείψεις που προκύπτουν είναι:
- a) Επίπεδες διαλείψεις (flat fading)
  - b) Επιλεκτικές διαλείψεις ως προς την συχνότητα (frequency selective fading)

Σωστή απάντηση το b σελίδα 130

14. Στην περίπτωση που ο λόγος των πλατών των 2 πολυδιαδρομικών συνιστωσών παίρνει πολύ μικρές τιμές προκύπτει ότι:
- a) Υπάρχει πρόβλημα διαλείψεων
  - b) Δεν υπάρχει πρόβλημα διαλείψεων

Σωστή απάντηση το b σελίδα 130

15. Ποιες ψηφιακές τεχνικές χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση της διασυμβολικής παρεμβολής?
- a) Η ισοστάθμιση
  - b) Η διασπορά φάσματος
  - c) Η διαμόρφωση πολλαπλών φέροντων
  - d) Η χρήση έξυπνων κεραιών
  - e) Όλα τα παραπάνω
  - f) Το b, c και d

Σωστή απάντηση το e σελίδα 132

16. Οι διαλείψεις σκίασης (shadow fading) προκύπτουν από τις τυχαίες μεταβολές του λαμβανόμενου σήματος λόγω της παρουσίας των αντικειμένων στο χώρο?
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 132, 133

17. Όσο πιο ακριβές είναι το μοντέλο των απωλειών διάδοσης κατά την λογαριθμική κατανομή τόσο μικρότερη είναι η τιμή της τυπικής απόκλισης?
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 134

18. Περιγράψτε το φαινόμενο της σκίασης με τη βοήθεια σχήματος και δώστε την σχέση για τη λαμβανόμενη ισχύ σε δέκτη με απόσταση  $d$  από το Σταθμό Βάσης:

Σωστή απάντηση σχήμα 3.14 σελίδα 136

19. Στις διαλείψεις μεγάλης κλίμακας ισχύει ότι η τυπική απόκλιση  $\sigma_{\text{R}}^2$  είναι ανεξάρτητη της απόστασης  $d$  σε λογαριθμική κλίμακα?
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 134

20. Για τη σχεδίαση συστήματος Κινητών Επικοινωνιών έγιναν μετρήσεις της λαμβανόμενης ισχύος με τα εξής αποτελέσματα .

$d_i$ (m)	$P_r(d_i)$ (dBm)
100	0
400	-30
1000	-40
2000	-65

Υπολογίστε το συντελεστή απωλειών διάδοσης και την τυπική απόκλιση χρησιμοποιώντας τη μέθοδο MMSE (μέσου τετραγωνικού σφάλματος) και το μοντέλο απωλειών διάδοσης απλής κλίσης?

Σωστή απάντηση παράδειγμα 3.1 σελίδα 140

21. Περιγράψτε με τη βοήθεια σχήματος το φαινόμενο της ολίσθησης Doppler και δώστε τη σχέση που την περιγράφει:

Σωστή απάντηση σχήμα 3.20 και σχέση 3.31 σελίδα 141

22. Όταν το κινητό κινείται στην κατεύθυνση άφιξης του σήματος η ολίσθηση Doppler είναι:

- a) Θετική
- b) Αρνητική

Σωστή απάντηση το a σελίδα 142

23. Όταν το κινητό απομακρύνεται από την κατεύθυνση άφιξης του σήματος η ολίσθηση Doppler είναι:

- a) Θετική
- b) Αρνητική

Σωστή απάντηση το b σελίδα 142

24. Σύμφωνα με το μοντέλο δύο κυμάτων για την ολίσθηση Doppler προκύπτει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά των δύο συχνοτήτων ( $\Delta f$ ) τόσο πιο γρήγορη είναι η μεταβολή της περιβάλλουσας?

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 143

25. Κατά την ολίσθηση Doppler προκύπτει ότι όσο αυξάνεται ο σηματοθορυβικός λόγος (SNR) ο ρυθμός σφαλμάτων (BER):

- a) Βελτιώνεται
- b) Δεν βελτιώνεται
- c) Παραμένει ίδιος

Σωστή απάντηση το b σελίδα 144



26. Δώστε τη σχέση εισόδου – εξόδου σε έναν ασύρματο διάυλο με τη βοήθεια της κρουστικής απόκρισης και της συνάρτησης μεταφοράς του διαύλου:

Σωστή απάντηση σχέση 3.48 σελίδα 147

27. Δώστε τη σχέση της συνάρτησης μεταφοράς βασικής ζώνης για ένα μοντέλο με διακριτές πολυδιαδρομικές συνιστώσες:

Σωστή απάντηση σχέση 3.55 σελίδα 148

28. Τι εννοούμε με τον όρο φασματική διασπορά:

- a) Παρόλο που το σύστημα είναι μεν γραμμικό αλλά χρονικά μεταβαλλόμενο στο φάσμα του σήματος εξόδου δεν υπάρχουν φασματικές συνιστώσες που υπήρχαν στο φάσμα του σήματος εισόδου
- b) Παρόλο που το σύστημα είναι μεν γραμμικό αλλά χρονικά μεταβαλλόμενο στο φάσμα του σήματος εξόδου θα υπάρχουν φασματικές συνιστώσες που δεν υπήρχαν στο φάσμα του σήματος εισόδου

Σωστή απάντηση το b σελίδα 152

29. Δώστε τη σχέση που προκύπτει με αντίστροφο μετασχηματισμό Fourier για τη συνάρτηση διασποράς καθυστέρησης και Doppler (Delay Doppler Spread Function) συναρτήσει του χρόνου?

Σωστή απάντηση σχέση 3.70 σελίδα 153

30. Από ποιο υποσύστημα επικοινωνίας περιορίζεται το εύρος ζώνης στα πραγματικά ασύρματα συστήματα επικοινωνιών?

- a) Τα φίλτρα
- b) Τις κεραίες
- c) Τις βαθμίδες ενίσχυσης
- d) Τις βαθμίδες μετατροπής συχνότητας
- e) Όλα τα παραπάνω

Σωστή απάντηση το e σελίδα 154

31. Ένας διάυλος καλείται στατικός υπό την ευρεία έννοια (Wide Sense Stationary – WSS) όταν τα στατιστικά μεγέθη των διαλείψεων παραμένουν σταθερά για μικρές χρονικές περιόδους.

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 157

32. Δώστε τη σχέση για τις φασματικές πυκνότητες ισχύος ως μετασχηματισμός Fourier συναρτήσεων αυτοσυσχέτισης:

Σωστή απάντηση σχέση 3.80 σελίδα 157

33. Η συνάρτηση σκέδασης περιγράφει τη διασπορά του διαύλου στα πεδία καθυστέρησης και ολίσθησης Doppler?

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 158,159

34. Με τη βοήθεια σχήματος περιγράψτε τη συνάρτηση που δίνει το προφίλ καθυστέρησης ισχύος (Power Profile – PFP):

Σωστή απάντηση σχήμα 3.32 σελίδα 160

35. Υπολογίστε τη μέση επιπλέον καθυστέρηση (Mean Delay ή Average Delay) από ένα προφίλ καθυστέρησης ισχύος (Power Delay Profile – PDP):

Σωστή απάντηση σχέση 3.90 σελίδα 161

36. Υπολογίστε την ενεργό διασπορά καθυστέρησης (RMS Delay Spread) ως την τετραγωνική ρίζα της κεντρικής ροπής δεύτερης τάξης του προφίλ καθυστέρησης ισχύος (Power Delay Profile – PDP):

Σωστή απάντηση σχέση 3.93, 3.94 σελίδα 161,162

37. Υπολογίστε τη Mean Excess Delay και την RMS Delay Spread για την περίπτωση του μοντέλου GSM για αστικό περιβάλλον:

Σωστή απάντηση παράδειγμα 3.2 σελίδα 163

38. Το εύρος ζώνης συνοχής είναι ένα στατιστικό μέτρο του εύρους συχνοτήτων όπου όλες οι φασματικές συνιστώσες συμπεριφέρονται:

- a) Με το ίδιο σχεδόν κέρδος
- b) Με σχεδόν γραμμική φάση
- c) Όλα τα παραπάνω

Σωστή απάντηση c σελίδα 164

39. Δώστε τον ορισμό για την ενεργό τιμή της διασποράς Doppler (rms Doppler spread):

Σωστή απάντηση σχέσεις 3.111 και 3.112 σελίδα 167

40. Με τη βοήθεια σχήματος περιγράψτε το χρόνο συνοχής (Coherence Time  $T_c$ ) σε ένα επίπεδο συσχέτισης  $c \in [0,1)$ :

Σωστή απάντηση σχήμα 3.35 σελίδα 168

41. Ο χρόνος συνοχής  $T_c$  είναι αντιστρόφως ανάλογος της μέγιστης ολίσθησης Doppler:

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 169

42. Ποιες οι συνθήκες για να έχουμε γρήγορες διαλείψεις και αργές διαλείψεις για το δίαυλο ευρείας ζώνης?

Σωστή απάντηση σχέσεις 3.119 και 3.120 σελίδα 170

43. Δώστε τη σχέση που συνδέεται η μέση λαμβανόμενη ισχύ του ζωνοπερατού σήματος  $y(t)$  με την ισχύ της μιγαδικής περιβάλλουσας:

Σωστή απάντηση σχέση 3.136 σελίδα 174

44. Δώστε τις συνθήκες που πρέπει να πληρούν οι ορθογώνιες συνιστώσες της μιγαδικής περιβάλλουσας ώστε η περιβάλλουσα να ακολουθεί κατανομή Rayleigh:

Σωστή απάντηση σχέση 3.142 σελίδα 175

45. Περιγράψτε με σχήμα τη μορφή της φασματικής πυκνότητας ισχύος των ορθογώνιων συνιστωσών:

Σωστή απάντηση σχήμα 3.42 σελίδα 180

46. Με τη βοήθεια σχήματος περιγράψτε την μορφή της φασματικής πυκνότητας ισχύος της περιβάλλουσας:

Σωστή απάντηση σχήμα 3.46 σελίδα 186

47. Περιγράψτε τις συνθήκες υπό τις οποίες προκύπτει η κατανομή Rice για τη μιγαδική περιβάλλουσα:

Σωστή απάντηση σχέση 3.177 σελίδα 186

48. Δώστε τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας όταν το πλάτος της μιγαδικής περιβάλλουσας ακολουθεί κατανομή Rice:

Σωστή απάντηση σχέση 3.178, 3.179 σελίδα 186

49. Ο παράγοντας Rice προκύπτει από τον λόγο της ισχύος της απευθείας συνιστώσας προς την ισχύ των πολυδιαδρομικών συνιστωσών?

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 187

50. Όταν ο παράγοντας Rice είναι 0 τότε έχουμε:

- a) Gauss κατανομή
- b) Rayleigh κατανομή

Σωστή απάντηση το b σελίδα 187

51. Όταν ο παράγοντας Rice παίρνει μεγάλες τιμές τότε έχουμε:

- a) Gauss κατανομή
- b) Rayleigh κατανομή

Σωστή απάντηση το a σελίδα 187

52. Δώστε τη σχέση που συνδέει την παράμετρο  $m$  της κατανομής Nakagami με τον παράγοντα Rice,  $K$  για  $m > 1$ :

Σωστή απάντηση σχέση 3.190 σελίδα 189

53. Αναφέρετε τα 2 χρήσιμα στατικά μεγέθη 2<sup>ης</sup> τάξης της περιβάλλουσας και τι περιγράφουν σε διάλο στενής ζώνης:

Είναι ο Ρυθμός Τμήσεως Κατωφλίου (Level Crossing Rate – LCR) και η Μέση Διάρκεια Διαλείψεων (Average Fade Duration – AFD).

Σωστή απάντηση σελίδα 189

54. Σε τι χρησιμεύουν τα στατιστικά μεγέθη 2ης τάξης LCR (Level Crossing Rate) και AFD (Average Fade Duration)?

- a) Στην επιλογή του ρυθμού μετάδοσης
- b) Στην επιλογή του μήκους των κωδικών λέξεων (code words)
- c) Στην επιλογή του σχήματος κωδικοποίησης που θα χρησιμοποιηθεί
- d) Όλα τα παραπάνω
- e) Το a και c

Σωστή απάντηση d σελίδα 190

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Ψηφιακές Τεχνικές για Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών**

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την κωδικοποίηση και διαμόρφωση του ψηφιακού σήματος, την προστασία του από αλλοιώσεις κατά τη μετάδοση στο ραδιο-διάλυο κινητών επικοινωνιών, καθώς και τεχνικές για την καλύτερη δυνατή λήψη τους σήματος. Επίσης, παρουσιάζεται μια αξιολόγηση των τεχνικών αυτών, για μετάδοση σε τυπικούς διαύλους με θόρυβο και διαλείψεις.

### **4.1 Κωδικοποίηση Πηγής**

Τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα μεταφέρουν τα δεδομένα που παράγονται από κάποια πηγή πληροφορίας σε κάποιο προορισμό. Ανάλογα αν αυτά τα δεδομένα είναι αναλογικά σήματα ή ψηφιακά, διακρίνουμε τις πηγές σε αναλογικές και ψηφιακές αντίστοιχα. Ανεξάρτητα από το είδος της πηγής, ένα ψηφιακό σύστημα επικοινωνιών μεταφέρει ψηφιοποιημένη πληροφορία, άρα τα δεδομένα των αναλογικών πηγών πρέπει να ψηφιοποιηθούν προτού μεταδοθούν.

Τα δεδομένα που παράγει η πηγή πληροφορίας είναι, γενικά, τυχαία, δηλαδή περιγράφονται με στατιστικούς όρους. Η απλούστερη μορφή πηγής είναι η διακριτή πηγή που παράγει μια σειρά από “σύμβολα” που ανήκουν σε ένα πεπερασμένο αλφάβητο.

Αν η πιθανότητα εμφάνισης του κάθε συμβόλου δεν εξαρτάται από τα προηγούμενα ή τα επόμενα του, τότε λέμε ότι έχουμε διακριτή πηγή χωρίς μνήμη (Discrete Memoryless Source – DMS).

#### **4.1.1 Στοιχεία θεωρίας πληροφορίας**

Η μέση αμοιβαία πληροφορία (average mutual information) δυο τυχαίων μεταβλητών προκύπτει αθροίζοντας τις αμοιβαίες πληροφορίες όλων των πιθανών ζευγών ενδεχομένων, με βάση τις αντίστοιχες πιθανότητες εμφάνισης.

Όταν η τυχαία μεταβλητή παριστάνει το “αλφάβητο” των συμβόλων που παράγει μια πηγή, τότε η μέση τιμή της ιδιο-πληροφορίας της τυχαίας μεταβλητής καλείται εντροπία της πηγής (entropy of the source). Η εντροπία μιας πηγής εκφράζει τη μέση ποσότητα πληροφορίας ανά σύμβολο που παράγει η πηγή και είναι ένα μέτρο της αβεβαιότητας σχετικά με την τυχαία μεταβλητή. Η εντροπία είναι πάντα μη αρνητική και μηδενίζεται αν, και μόνο αν, η τυχαία μεταβλητή είναι ντετερμινιστική.

Για τη μέση ποσότητα πληροφορίας που παράγει μια συνεχής πηγή, χρησιμοποιούμε το μέγεθος της διαφορικής εντροπίας (differential entropy).

#### **4.1.2 Κωδικοποίηση διακριτών πηγών**

Η κωδικοποίηση μιας διακριτής πηγής πληροφορίας στοχεύει στην αναπαράσταση με bits των – διακριτών – συμβόλων που παράγει η πηγή. Τα bits που αντιστοιχούν στο κάθε σύμβολο της πηγής είναι οι κωδικές λέξεις (codewords) του κώδικα. Προφανώς, υπάρχουν πολλές μέθοδοι κωδικοποίησης για την αναπαράσταση των συμβόλων που παράγει μια πηγή. Η αποδοτικότητα μιας μεθόδου κωδικοποίησης πηγής εκφράζεται με το μέσο πλήθος των bits που απαιτούνται για την παράσταση ενός συμβόλου. Αυτή η τιμή πρέπει να είναι όσο το δυνατό μικρότερη, ιδανικά να είναι ίση με την εντροπία της πηγής.

Η αποδοτικότητα μιας τεχνικής μπορεί να αυξηθεί με τη μέθοδο της επέκτασης πηγής (source extension method) όπου ομαδοποιούμε τα σύμβολα του αλφάβητου, ανά  $K$  κι έτσι προκύπτει ένα εκτεταμένο αλφάβητο, μεγέθους  $L^K$ . Γενικά όσο αυξάνεται το  $K$ , τόσο περισσότερο βελτιώνεται η αποδοτικότητα, αυξάνεται όμως εκθετικά το μέγεθος του εκτεταμένου αλφαβήτου, άρα και η πολυπλοκότητα.

Το πλήθος των bits που ο κώδικας αντιστοιχεί σε κάθε σύμβολο μπορεί να μην είναι σταθερό, οπότε έχουμε κώδικα μεταβλητού μήκους (variable length code). Μπορεί, για παράδειγμα, να αντιστοιχούν λιγότερα bits σε σύμβολα που έχουν τη μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης, ώστε το μέσο μήκος κωδικής λέξης να είναι μειωμένο. Το ζητούμενο στη σχεδίαση ενός κώδικα μεταβλητού μήκους είναι να επιτυγχάνει μείωση του μέσου μήκους κωδικής λέξης, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα ότι η κωδικοποίηση γίνεται με τρόπο αμφιμονοσήμαντο, ώστε ο δέκτης να μπορεί να αναπαράγει ακριβώς τα σύμβολα που εξέπεμψε η πηγή. Αυτό εξασφαλίζει η συνθήκη προθέματος (prefix condition) που πρέπει να ισχύει για όλες τις κωδικές λέξεις και υπογορεύει ότι καμιά κωδική λέξη δεν πρέπει να είναι αρχικό τμήμα άλλης κωδικής λέξης. Για παράδειγμα, αν το σύμβολο  $A$  αντιστοιχεί στο bit 1, τότε κανένα άλλο σύμβολο δεν πρέπει να αντιστοιχεί σε κωδική λέξη που να ξεκινά από 1. απαιτείται λοιπόν ένας συστηματικός τρόπος που να παράγει κωδικές λέξεις ενός κώδικα μεταβλητού μήκους, που να τηρούν την ιδιότητα προθέματος.

#### 4.1.2.1 Κωδικοποίηση Huffman

Η κωδικοποίηση Huffman είναι μια συστηματική μέθοδος παραγωγής κώδικα μεταβλητού μήκους, ο οποίος μάλιστα κώδικας είναι βέλτιστος, δηλαδή επιτυγχάνει το ελάχιστο δυνατό μέσο μήκος κωδικής λέξης, διατηρώντας τη συνθήκη προθέματος. Ο αλγόριθμος κωδικοποίησης Huffman διατυπώνεται ως εξής:

- Γράφουμε τα σύμβολα με φθίνουσα σειρά πιθανότητας εμφάνισης.
- Τα δύο λιγότερο πιθανά ενώνονται σε ένα, που καλείται “reduced source”, με πιθανότητα ίση με το άθροισμα των αρχικών.
- Οι γραμμές που καταλήγουν σε “reduced source” αριθμούνται με 0 και 1. Δεν έχει σημασία ποιος κλάδος αριθμείται με το 0 ή το 1, αρκεί σε όλη τη διαδικασία να εφαρμοστεί η ίδια λογική, π.χ. ο άνω κλάδος να αριθμείται με 0 και ο κάτω με 1.
- Τα σύμβολα αναδιατάσσονται με φθίνουσα σειρά πιθανότητας εμφάνισης.
- Οι ενώσεις συνεχίζονται έως ότου προκύψει reduced source με πιθανότητα 1.
- Διαβάζοντας τα bits από το τέλος προς την αρχή παίρνουμε την κωδική λέξη κάθε συμβόλου.

Ο κώδικας Huffman που σχηματίζεται με αυτό τον τρόπο δεν είναι μοναδικός. Μπορεί να υπάρχουν διαφορετικοί κώδικες Huffman, για την ίδια πηγή, με το ίδιο μέσο μήκος κωδικής λέξης.

#### 4.1.2.2 Κωδικοποίηση Lempel – Ziv

Η εφαρμογή του αλγόριθμου κωδικοποίησης Huffman βασίζεται στη γνώση της στατιστικής συμπεριφοράς της πηγής πληροφορίας. Αυτή η πληροφορία όμως, συνήθως, δεν είναι διαθέσιμη, οπότε ή πρέπει με κάποιο τρόπο να εκτιμηθούν τα στατιστικά χαρακτηριστικά της πηγής, ή να χρησιμοποιηθεί μια τεχνική καθολικής κωδικοποίησης πηγής (Universal Source Coding – USC), που μπορεί να εφαρμοστεί

σε πηγές με άγνωστα στατιστικά χαρακτηριστικά. Η απλούστερη USC τεχνική προτάθηκε από τους Lempel και Ziv. Ο αλγόριθμος εφαρμόζεται σε ένα πεπερασμένο πλήθος συμβόλων πληροφορίας. Η βασική ιδέα είναι ο διαχωρισμός των δεδομένων σε μη επικαλυπτόμενες ομάδες, διαφορετικού μήκους, οι οποίες κωδικοποιούνται με βάση ένα “λεξικό” που δημιουργείται κατά τη διαδικασία κωδικοποίησης. Ο αλγόριθμος διατυπώνεται ως εξής:

- Το λεξικό αρχικοποιείται ώστε να περιλαμβάνει όλες τις πιθανές ομάδες μήκους 1, δηλαδή όλα τα σύμβολα, στα οποία αποδίδεται ένας αύξων αριθμός. Η κωδική λέξη που αντιστοιχεί στο κάθε σύμβολο είναι η δυαδική αναπαράσταση του αύξοντος αριθμού.
- Διατρέχουμε τα δεδομένα, αναζητώντας την μεγαλύτερου μήκους ομάδα που υπάρχει ήδη στο λεξικό, έστω  $W$ .
- Στην ομάδα  $W$  αντιστοιχούμε την κωδική λέξη που της αντιστοιχεί.
- Η  $W$  μαζί με το επόμενο σύμβολο των δεδομένων, που δεν ανήκει στην  $W$ , σχηματίζουν ένα νέο σύμβολο που καταχωρείται στο λεξικό και του αποδίδεται, ως κωδική λέξη, η δυαδική αναπαράσταση του αύξοντα αριθμού του στο λεξικό.
- Η διαδικασία συνεχίζεται από το 2<sup>ο</sup> βήμα.

Θεωρητικά, το μέγεθος του λεξικού που κατασκευάζεται μπορεί να είναι άπειρο. Στην πράξη όμως περιορίζεται το αρχικό πλήθος δεδομένων που κωδικοποιούνται, ώστε το λεξικό να μπορεί να περιλαμβάνει κωδικές λέξεις με συγκεκριμένο μέγεθος.

### 4.1.3 Κωδικοποίηση αναλογικών πηγών

Τα δεδομένα που παράγει μια αναλογική πηγή, δηλαδή το αναλογικό σήμα πληροφορίας καταλαμβάνει ένα εύρος τιμών, εντός του οποίου μπορεί να λάβει, θεωρητικά οποιαδήποτε τιμή, έχει δηλαδή “άπειρες” πιθανές τιμές. Το σήμα αυτό πρέπει να αναπαρασταθεί με ψηφιακό τρόπο, δηλαδή με πεπερασμένο πλήθος συμβόλων (bits στο δυαδικό σύστημα) τα οποία στη συνέχεια κωδικοποιούνται. Όμως, ένα δυαδικό σύστημα μπορεί να αναπαραστήσει πεπερασμένο πλήθος τιμών. Άρα, το πρώτο βήμα για την κωδικοποίηση του αναλογικού σήματος είναι η διακριτοποίηση των τιμών. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται κβαντισμός (quantization).

#### 4.1.3.1 Ομοιόμορφος κβαντισμός

Για την υλοποίηση του κβαντισμού, πρέπει να οριστεί ένα πεπερασμένο πλήθος “επιτρεπτών” τιμών (επίπεδα κβαντισμού) και οι αναλογικές, πραγματικές, τιμές να μετατραπούν στις πλησιέστερες επιτρεπτές. Η διαδικασία του κβαντισμού προκαλεί μη αναστρέψιμη αλλοίωση στο αρχικό σήμα, που ονομάζεται θόρυβος κβαντισμού (quantization noise). Γενικά, όσο περισσότερες είναι οι επιτρεπτές τιμές, τόσο καλύτερα το κβαντισμένο σήμα προσεγγίζει το αρχικό άρα, τόσο μικρότερος είναι ο θόρυβος κβαντισμού. Η διαφορά μεταξύ δυο διαδοχικών επιπέδων κβαντισμού ονομάζεται βήμα κβαντισμού (quantization step) και μπορεί να είναι σταθερό (uniform quantization) ή όχι (non-uniform quantization). Η επίπτωση του κβαντισμού στο σήμα περιγράφεται με το λόγο ισχύος σήματος προς θόρυβο κβαντισμού (Signal Quantization Noise Ratio).

#### 4.1.3.2 Μη ομοιόμορφος κβαντισμός

Η διαδικασία κβαντισμού που είδαμε έως τώρα, χαρακτηρίζεται ομοιόμορφη, δηλαδή έχει σταθερό βήμα κβαντισμού. Ο ομοιόμορφος κβαντισμός είναι η απλούστερη μορφή μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. Διαιρεί το εύρος τιμών του αναλογικού σήματος σε ίσα τμήματα και αντιστοιχεί ένα επίπεδο κβαντισμού στο κάθε τμήμα. Όταν η κατανομή του πλάτους του αναλογικού σήματος είναι σχεδόν ομοιόμορφη, τότε ο ομοιόμορφος κβαντισμός είναι αποδοτικός. Δεδομένου ότι το πλήθος των επιπέδων κβαντισμού είναι πεπερασμένο, θα ήταν προτιμότερο να ανατεθούν περισσότερα επίπεδα κβαντισμού σε μικρά πλάτη και λιγότερα στα μεγαλύτερα πλάτη, ώστε οι μικρές τιμές του αναλογικού σήματος, που εμφανίζονται συχνότερα, να έχουν μικρότερο σφάλμα κβαντισμού σε σχέση με τις μεγαλύτερες τιμές, που δεν εμφανίζονται συχνά. Αυτό επιτυγχάνεται με ανομοιόμορφο κβαντισμό, όπου δηλαδή το βήμα κβαντισμού δεν είναι σταθερό. Για την υλοποίηση του μη ομοιόμορφου κβαντισμού, αρχικά περιορίζεται το πλάτος του σήματος με μια μη γραμμική διάταξη συμπίεσης (compression), στη συνέχεια το συμπιεσμένο σήμα υφίσταται ομοιόμορφο κβαντισμό και τέλος αποσυμπίεση (expansion). Η συνδυασμένη χρήση συμπίεστη και αποσυμπίεστη για την επίτευξη μη ομοιόμορφου κβαντισμού αναφέρεται ως companding. Στο μη ομοιόμορφο κβαντισμό το βήμα κβαντισμού δεν είναι σταθερό, αλλά εξαρτάται από το πλάτος του σήματος εισόδου.

Η τεχνική της συμπίεσης πρέπει να είναι τέτοια ώστε, τελικά, με το μη ομοιόμορφο κβαντισμό να ανατίθενται περισσότερες στάθμες κβαντισμού (μικρότερο βήμα κβαντισμού) σε τιμές του πλάτους του σήματος εισόδου που έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης. Για το σκοπό αυτό, στα τηλεφωνικά συστήματα που χρησιμοποιούν την τεχνική PCM εφαρμόζονται οι τεχνικές  $\mu$ -Law companding (B. Αμερική) και A-Law companding (Ευρώπη). Η τεχνική  $\mu$ -Law companding είναι μια μέθοδος λογαριθμικής συμπίεσης/αποσυμπίεσης του πλάτους του σήματος που προτάθηκε αρχικά από την Bell Systems. Ενώ η A-Law companding είναι ουσιαστικά μια προσέγγιση του λογαριθμικού συμπίεστη, που προτάθηκε από τη CCIT.

#### 4.1.3.3 Παλμοκωδική διαμόρφωση (PCM)

Η παλμοκωδική διαμόρφωση (Pulse Code Modulation – PCM) είναι μια πολύ απλή μέθοδος για τη μετατροπή μιας αναλογικής κυματομορφής σε μια σειρά δυαδικών ψηφίων. Υλοποιείται με τη διαδικασία συνδυασμένης χρήσης PCM και compander.

#### 4.1.3.4 Διαφορική παλμοκωδική διαμόρφωση (DPCM)

Στην παλμοκωδική διαμόρφωση, κάθε δείγμα του σήματος κωδικοποιείται ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα. Όμως, σε πραγματικά αναλογικά σήματα υπάρχει συνήθως συσχέτιση μεταξύ διαδοχικών δειγμάτων. Έτσι, είναι αποδοτικότερο να κωδικοποιείται όχι η απόλυτη τιμή των δειγμάτων, αλλά οι μεταβολές μεταξύ διαδοχικών δειγμάτων, οπότε το εύρος τιμών που πρέπει να κωδικοποιηθεί είναι μικρότερο, άρα απαιτούνται λιγότερα επίπεδα κβαντισμού και συνεπώς λιγότερα bits. Η τεχνική αυτή καλείται διαφορική παλμοκωδική διαμόρφωση (Differential PCM).

Πολλές πηγές πληροφορίας, στην πράξη, δεν είναι στατικές, αλλά ημι-στατικές, δηλαδή η τυπική απόκλιση και η αυτοσυσχέτιση μεταβάλλονται αργά με το χρόνο. Για να μειωθεί το σφάλμα κβαντισμού σε αυτή την περίπτωση, ένας τρόπος



είναι το βήμα του κβαντιστή να μεταβάλλεται ανάλογα με την τυπική απόκλιση των προηγούμενων δειγμάτων. Τότε λέμε ότι έχουμε προσαρμοζόμενη παλμοκωδική διαμόρφωση (Adaptive PCM – APCM). Επίσης, οι συντελεστές που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του τρέχοντος δείγματος στην DPCM, με βάση την διαφορική παλμοκωδική διαμόρφωση, μπορούν να αναπροσαρμόζονται, ακολουθώντας τις μεταβολές της πηγής (ADPCM).

## 4.2 Κωδικοποίηση Διαύλου

Η κωδικοποίηση διαύλου αποσκοπεί στην προστασία των ψηφιακών δεδομένων από σφάλματα που προκύπτουν κατά τη μετάδοση τους στο δίαυλο και οφείλονται σε θόρυβο, διαλείψεις και άλλες υποβαθμίσεις και παραμορφώσεις που εισάγει ο δίαυλος. Αυτό επιτυγχάνεται με την ελεγχόμενη προσθήκη πλεοναζόντων δεδομένων (redundant data) που επιλέγονται και προστίθενται με τέτοιο τρόπο ώστε ο δέκτης να μπορεί να τα αξιοποιήσει για την ανίχνευση (error detection) ή και τη διόρθωση (error correction) των σφαλμάτων. Οι δυο βασικές τεχνικές κωδικοποίησης διαύλου είναι η κωδικοποίηση συστάδας (block coding) και η συνελκτική κωδικοποίηση (convolutional coding).

### 4.2.1 Κωδικοποίηση Συστάδας (Block Coding)

Οι κώδικες συστάδας διαφοροποιούνται ως προς το πλήθος των επιπλέον bits που προσθέτουν σε κάθε ομάδα από bits πληροφορίας, αλλά και ως προς τον τρόπο με τον οποίο αυτά προστίθενται ώστε να σχηματιστούν οι κωδικές λέξεις. Αν ο κώδικας είναι δυαδικός, τότε οι αποστάσεις καλούνται αποστάσεις Hamming. Για παράδειγμα, η απόσταση Hamming των κωδικών λέξεων 100110 και 110010 είναι 2.

Η ελάχιστη απόσταση ενός κώδικα είναι ένα μέτρο της ικανότητας ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων που έχει ο κώδικας: όσο μεγαλύτερη είναι, τόσο περισσότερα σφάλματα, ανά ομάδα ψηφίων πληροφορίας μπορεί να διορθώνει ο κώδικας. Η ικανότητα διόρθωσης σφαλμάτων ορίζεται ως το μέγιστο πλήθος εσφαλμένων ψηφίων ανά κωδική λέξη που μπορεί – σίγουρα – να διορθώσει ο κώδικας. Η ικανότητα ανίχνευσης σφαλμάτων του κώδικα είναι δηλαδή ένας δυαδικός κώδικας με ελάχιστη απόσταση Hamming ίση με 3, ανιχνεύει – σίγουρα – ομάδες που έχουν 2 εσφαλμένα bits.

Ο δέκτης προκειμένου να ανακτήσει το σήμα πληροφορίας από την κωδική λέξη που έχει λάβει, υπολογίζει την απόσταση Hamming (hard – decision decoding) ή την Ευκλείδεια απόσταση (soft – decision decoding) της λαμβανόμενης κωδικής λέξης από όλες τις πιθανές κωδικές λέξεις και επιλέγει αυτή που δίνει τη μικρότερη απόσταση. Η διαδικασία είναι απλή, απαιτεί όμως τον υπολογισμό  $2^k$  αποστάσεων, όσες και οι πιθανές κωδικές λέξεις. Αυτός ο τρόπος αποκωδικοποίησης δίνει τη μικρότερη πιθανότητα σφάλματος σε δίαυλο AWGN, αλλά και σε δυαδικό συμμετρικό δίαυλο (Binary Symmetric Channel – BSC) με πιθανότητα σφάλματος έως 0.5. Η πιθανότητα εσφαλμένου bit εξαρτάται από το συγκεκριμένο κωδικοποιητή και αποκωδικοποιητή που χρησιμοποιείται.

Κέρδος κωδικοποίησης (coding gain) ονομάζεται η μείωση στην ελάχιστη τιμή του σηματοθορυβικού λόγου που απαιτείται για την επίτευξη μιας επιθυμητής τιμής της πιθανότητας λάθους, σε σύγκριση με το ίδιο σύστημα χωρίς κωδικοποίηση, χρησιμοποιώντας την ίδια διαμόρφωση, στον ίδιο δίαυλο.

Ο εκτεταμένος κώδικας Golay (Extended Golay Code) είναι πολύ ισχυρότερος από τον κώδικα Hamming, αφού διορθώνει – σίγουρα – οποιαδήποτε τριάδα σφαλμάτων σε μια κωδική λέξη, αλλά και το 19% από τις πιθανές τετράδες σφαλμάτων. Τα μειονεκτήματά του σε σχέση με τον κώδικα Hamming είναι ο χαμηλότερος ρυθμός κωδικοποίησης (1/2) αλλά και η μεγαλύτερη πολυπλοκότητα του αποκωδικοποιητή.

Ο κώδικας BCH είναι γενίκευση του κώδικα Hamming κι επιτρέπει τη διόρθωση περισσότερων του ενός σφαλμάτων ανά κωδική λέξη. Είναι κώδικες που δίνουν πολλές δυνατότητες επιλογής μεγέθους συστάδας, ρυθμού κωδικοποίησης και ικανότητας διόρθωσης. Για μεγάλο μέγεθος συστάδας (μερικές εκατοντάδες ψηφία) οι κώδικες BCH έχουν την καλύτερη επίδοση από όλους τους άλλους κώδικες συστάδας με το ίδιο μέγεθος ομάδας και τον ίδιο αριθμό κωδικοποίησης.

Οι κώδικες Reed – Solomon (RS code) πρόκειται για υπο - κατηγορία κώδικα BCH. Είναι μη δυαδικοί κώδικες κι έχουν πολύ καλά χαρακτηριστικά ως προς την ελάχιστη απόσταση μεταξύ κωδικών λέξεων, άρα και ως προς την ικανότητα διόρθωσης σφαλμάτων.

#### 4.2.2 Συνελικτική κωδικοποίηση (Convolutional Coding)

Ένας συνελικτικός κώδικας χαρακτηρίζεται από την τριάδα παραμέτρων  $(n, k, K)$ . Ο συνελικτικός κωδικοποιητής μπορεί να περιγραφεί με  $n$  δυαδικά διανύσματα, ένα για κάθε αθροιστή, με μήκος  $K-k$  το καθένα, που περιέχει τις συνδέσεις στον αντίστοιχο αθροιστή, δηλαδή η τιμή 1 στο διάνυσμα δηλώνει ότι η αντίστοιχη θέση συνδέεται στον αθροιστή. Τα διανύσματα αυτά περιγράφουν τον κώδικα και συνήθως εκφράζονται με τον αντίστοιχο οκταδικό αριθμό.

Ένας συνελικτικός κώδικας μπορεί, εναλλακτικά, να περιγραφεί σχηματικά με κατάλληλα διαγράμματα. Ένας τέτοιος τρόπος είναι το διάγραμμα δέντρου, το οποίο, με αφετηρία μια αυθαίρετη αρχική κατάσταση του καταχωρητή και με βάση τις πιθανές τιμές εισόδου, δείχνει τις εξόδους και τις επόμενες καταστάσεις. Μια συμπυκνωμένη μορφή του διαγράμματος δέντρου είναι και το διάγραμμα trellis, ενώ ένας ακόμα τρόπος αναπαράστασης είναι το διάγραμμα καταστάσεων.

#### 4.2.3 Διάτρητοι κώδικες (Punctured Codes)

Ο ρυθμός κωδικοποίησης και η ελάχιστη απόσταση Hamming ενός κώδικα μπορούν να μεταβληθούν χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές. Η πιο συνηθισμένη τεχνική αυτού του είδους είναι η “διάτρηση” (puncturing). Με την τεχνική αυτή, σε κώδικες συστάδας αφαιρείται ένα από τα πλεονάζοντα bits που εισάγει ο κωδικοποιητής. Στους συνελικτικούς κώδικες, η τεχνική puncturing υλοποιείται διαγράφοντας, περιοδικά, bits από μια ή περισσότερες εξόδους του κωδικοποιητή, αυξάνοντας το ρυθμό κωδικοποίησης. Χρησιμοποιώντας το ίδιο κύκλωμα κωδικοποίησης, μπορούμε να πετύχουμε κώδικες διαφορετικού ρυθμού.

#### 4.2.4 Αλυσιδωτοί κώδικες (Concatenated Codes)

Οι αλυσιδωτοί κώδικες είναι μια αλληλουχία διαφορετικών τεχνικών κωδικοποίησης, που συνδυάζει τα πλεονεκτήματα όλων των τεχνικών που χρησιμοποιούνται. Η τεχνική αυτό προτάθηκε από τον Forney με σκοπό τα

δημιουργία μιας ισχυρής τεχνικής κωδικοποίησης. Έχουμε δυο διαδοχικά στάδια κωδικοποίησης: τον εξωτερικό και τον εσωτερικό κώδικα. Ο εξωτερικός κώδικας επιλέγεται ώστε να μπορεί να αντιμετωπίζει επιτυχώς ριπές σφαλμάτων ενώ, ο εσωτερικός κώδικας, επιλέγεται ένας κώδικας με μεγάλη ικανότητα διόρθωσης των τυχαίων σφαλμάτων που εισάγει ο δίαυλος.

### 4.3 Τεχνικές Διαμόρφωσης

Διαμόρφωση καλείται η διαδικασία κατά την οποία το προς μετάδοση μήνυμα “αποτυπώνεται” σε ένα σήμα ραδιοσυχνοτήτων, το οποίο ονομάζεται “φέρον”, γιατί ουσιαστικά μεταφέρει την πληροφορία. Η “αποτύπωση” συνίσταται στη μεταβολή κάποιου χαρακτηριστικού του φέροντος (πλάτος, συχνότητα, φάση), ανάλογα με το σήμα πληροφορίας, με τρόπο ώστε ο δέκτης, αφού λάβει το διαμορφωμένο σήμα, να μπορέσει εύκολα και αξιόπιστα να ανακτήσει το σήμα πληροφορίας.

Υπάρχουν πολλές τεχνικές με τις οποίες μπορεί να πραγματοποιηθεί μια ψηφιακή διαμόρφωση. Η επιλογή της τεχνικής ψηφιακής διαμόρφωσης που χρησιμοποιεί ένα σύστημα επιλέγεται ανάλογα με την ευκολία υλοποίησης, την ανθεκτικότητα σε σφάλματα και τα επιθυμητά φασματικά χαρακτηριστικά. Πολλές φορές, ένα σύστημα μεταβάλλει τη μέθοδο ψηφιακής διαμόρφωσης που χρησιμοποιεί, κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του, προκειμένου να ανταποκριθεί καλύτερα στις απαιτήσεις των υπηρεσιών που παρέχει. Η επίδοση μιας μεθόδου διαμόρφωσης αξιολογείται με βάση την αποδοτικότητα ισχύος και την αποδοτικότητα φάσματος.

Η αποδοτικότητα ισχύος (power efficiency) εκφράζει τη δυνατότητα της μεθόδου διαμόρφωσης να διαφυλάσσει την αξιόπιστη μετάδοση του σήματος, όταν η ισχύς του είναι χαμηλή, σε σύγκριση με την ισχύ του θορύβου και των παρεμβολών. Συνήθως, χαρακτηρίζεται από την απαιτούμενη τιμή του λόγου της ενέργειας ενός bit, προς τη φασματική πυκνότητα ισχύος του θορύβου, ώστε να εξασφαλίζεται μια συγκεκριμένη μέση πιθανότητα εσφαλμένου bit.

Η αποδοτικότητα φάσματος (bandwidth efficiency) εκφράζει τη δυνατότητα της μεθόδου ψηφιακής διαμόρφωσης να αξιοποιεί το διαθέσιμο φάσμα για τη μετάδοση δεδομένων, με όσο το δυνατό μεγαλύτερο ρυθμό. Επειδή τα bits στο δίαυλο μετάδοσης παρίστανται με παλμούς, υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων απαιτούν παλμούς με μικρότερη χρονική διάρκεια κι επομένως, απαιτούν, γενικά, μεγαλύτερο φάσμα συχνοτήτων. Η αποδοτικότητα φάσματος εκφράζεται ως το πηλίκο του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, προς το εύρος ζώνης συχνοτήτων που καταλαμβάνει το μεταδιδόμενο σήμα. Υπάρχει ένα θεμελιώδες άνω όριο στην αποδοτικότητα φάσματος, που τίθεται από το θεώρημα του Shannon, σύμφωνα με το οποίο, για αυθαίρετα μικρή πιθανότητα σφάλματος, η μέγιστη αποδοτικότητα φάσματος περιορίζεται από το σηματοθορυβικό λόγο (SNR).

#### 4.3.1 Διαμόρφωση Μεταλλαγής Μετατόπισης Φάσης (PSK)

Στη Διαμόρφωση Μεταλλαγής Μετατόπισης Φάσης (Phase Shift Keying – PSK), το πλάτος και η συχνότητα του διαμορφωμένου σήματος παραμένουν σταθερά, ενώ η φάση έχει μια από  $M$  πιθανές τιμές (μια για κάθε σύμβολο του αλφαβήτου της διαμόρφωσης).

#### 4.3.2 Διαμόρφωση Μεταλλαγής Μετατόπισης Συχνότητας (FSK)

Στη Διαμόρφωση Μεταλλαγής Μετατόπισης Συχνότητας (Frequency Shift Keying – FSK), το πλάτος και η φάση του διαμορφωμένου σήματος παραμένουν σταθερά, ενώ η συχνότητα έχει μια από  $M$  πιθανές τιμές (μια για κάθε σύμβολο του αλφαβήτου της διαμόρφωσης).

#### 4.3.3 Στη Διαμόρφωση Μεταλλαγής Μετατόπισης Πλάτους (ASK)

Στη Διαμόρφωση Μεταλλαγής Μετατόπισης Πλάτους (Amplitude Shift Keying – ASK), η συχνότητα και η φάση του διαμορφωμένου σήματος παραμένουν σταθερά, ενώ το πλάτος έχει μια από  $M$  πιθανές τιμές (μια για κάθε σύμβολο του αλφαβήτου της διαμόρφωσης).

#### 4.3.4 Διαμόρφωση $M$ -αδικής Ορθογωνικής Μεταλλαγής Πλάτους ( $M$ – QAM)

Η διαμόρφωση αυτή είναι μια υβριδική τεχνική PSK/ASK, όπου τα ψηφιακά σύμβολα του αλφαβήτου έχουν διαφορετικά πλάτη και φάσεις. Εναλλακτικά, μπορεί να θεωρηθεί ότι προκύπτει από δύο διαμορφώσεις πλάτους, που οι φάσεις τους παρουσιάζουν διαφορά  $180^\circ$ , δηλαδή πραγματοποιούνται σε δύο κάθετους μεταξύ τους άξονες, για αυτό ονομάζεται ορθογωνική μεταλλαγή πλάτους. Ο σηματοστερισμός μπορεί να έχει διαφορετικές μορφές, ανάλογα με το μέγεθος του αλφαβήτου ή ακόμα και για το ίδιο μέγεθος αλφαβήτου να χρησιμοποιούνται διαφορετικά ψηφιακά σύμβολα, άρα και διαφορετικός σηματοστερισμός.

#### 4.3.5 Φασματικά Αποδοτικές Διαμορφώσεις (MSK, GMSK)

Η διαμόρφωση GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) είναι μια μορφή δυαδικής διαμόρφωσης, που προκύπτει από την MSK. Οι πλευρικοί λοβοί του φάσματος της GMSK είναι ακόμη χαμηλότεροι από αυτούς της MSK. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διέλευση της MSK διαμορφωμένης κυματομορφής από ένα φίλτρο μορφοποίησης παλμών Gauss, το οποίο έχει κρουστική απόκριση και συνάρτηση μεταφοράς.

Η διαμόρφωση GMSK χαρακτηρίζεται αποδοτική ως προς την ισχύ, αφού έχει σταθερή περιβάλλουσα, αλλά και ως προς το φάσμα, αφού οι πλευρικοί λοβοί του φάσματος της έχουν πολύ χαμηλότερη ισχύ από τον κύριο λοβό.

#### 4.3.6 Διαφορική Διαμόρφωση Μεταλλαγής Μετατόπισης Φάσης (DPSK)

Στις τεχνικές που αναφέρθηκαν έως τώρα, ο δέκτης γνωρίζει και αξιοποιεί τη συχνότητα του φέροντος, προκειμένου να αποδιαμορφώσει τα λαμβανόμενα σήμα. Οι τεχνικές αυτές καλούνται σύμφωνες (coherent). Υπάρχουν όμως και τεχνικές που δεν απαιτούν τη γνώση αυτή και καλούνται ασύμφωνες (non – coherent) τεχνικές. Οι πιο συνηθισμένες τεχνικές αυτής της κατηγορίας είναι οι διαφορικές (differential) τεχνικές διαμόρφωσης, όπου η ψηφιακή πληροφορία κωδικοποιείται όχι σε κάποιο χαρακτηριστικό του φέροντος, αλλά στις μεταβολές αυτού του χαρακτηριστικού. Το πλεονέκτημα των διαφορικών τεχνικών είναι η απλούστερη υλοποίηση του δέκτη, αφού δεν απαιτείται διάταξη ανάκτησης της συχνότητας του φέροντος, με τίμημα όμως την αύξηση της πιθανότητας σφάλματος, αφού κάθε σφάλμα που εμφανίζεται προκαλεί, συνήθως, ριπή σφαλμάτων.

Μια απλή και πολύ συχνά χρησιμοποιούμενη διαφορική τεχνική διαμόρφωσης είναι η διαφορική διαμόρφωση μεταλλαγής φάσης (Differential Phase Shift Keying – DFSK). Σε αυτή την τεχνική η σειρά των δυαδικών δεδομένων πληροφορίας κωδικοποιείται, με διαφορετικό τρόπο, κι στη συνέχεια διαμορφώνεται κατά BPSK.

#### 4.4 Επίδοση Ψηφιακών Τεχνικών

Η τεχνική ψηφιακής διαμόρφωσης για ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα επιλέγεται με βάση την αποδοτικότητα φάσματος και ισχύος ή, ισοδύναμα, την πιθανότητα σφάλματος κατά την λήψη.

##### 4.4.1 Πιθανότητα σφάλματος σε διάυλο με διαλείψεις τύπου Rayleigh

Ο διάυλος AWGN είναι ένας διάυλος αναφοράς, όπου η πιθανότητα σφάλματος κατά τη λήψη ενός bit ή ενός συμβόλου εξαρτάται από την ενέργεια του σήματος και το επίπεδο του θορύβου. Σε πραγματικούς όμως διαύλους κινητών επικοινωνιών, εκτός από την παρουσία του θορύβου, το σήμα υφίσταται διαλείψεις που οφείλονται σε φαινόμενα σκίασης και πολυδιαδρομικής διάδοσης και μεταβάλλονται τυχαία με το χρόνο και τη θέση του δέκτη. Σε τέτοιους διαύλους, ο σηματοθορυβικός λόγος ανά σύμβολο είναι μια τυχαία μεταβλητή που περιγράφεται από μια συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας, οπότε και η πιθανότητα λανθασμένου συμβόλου θα είναι μια τυχαία μεταβλητή και θα πρέπει να περιγράφεται με κάποια στατιστικά χαρακτηριστικά.

#### 4.5 Διαμόρφωση OFDM

Η βασική ιδέα της ορθογωνικής πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – OFDM) είναι η διαίρεση του προς μετάδοση ευρυζωνικού (wideband) σήματος σε μεγάλο αριθμό παράλληλων σημάτων στενής ζώνης (narrowband). Ενώ ένα συμβατικό σύστημα καταλαμβάνει όλο το διαθέσιμο φάσμα, χρησιμοποιώντας παλμούς πολύ μικρής διάρκειας, στην τεχνική OFDM (και γενικά στις παράλληλες τεχνικές μετάδοσης), τα προς μετάδοση ψηφιακά δεδομένα διοχετεύονται παράλληλα στα υποκανάλια, με χαμηλότερο ρυθμό μετάδοσης, δηλαδή έχουμε –ισοδύναμα- πολλά συστήματα τα οποία μεταδίδουν ταυτόχρονα το καθένα, ένα μικρό μέρος της πληροφορίας, με αργό ρυθμό μετάδοσης, ώστε το καθένα να είναι σήμα στενής ζώνης, ενώ ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης παραμένει σταθερός.

Σε σύγκριση με την απλή πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (FDM), η τεχνική OFDM επιτυγχάνει εξοικονόμηση φάσματος, αφού τα υποκανάλια είναι αλληλοκαλυπτόμενα. Η αλληλοκάλυψη των καναλιών επιτρέπεται, με την προϋπόθεση ότι μεταξύ τους θα είναι ορθογώνια. (Orthogonal FDM). Η ορθογωνιότητα εξασφαλίζει ότι στα σημεία όπου το φάσμα ενός υποκαναλιού παρουσιάζει κορυφή, το φάσμα των γειτονικών υποκαναλιών παρουσιάζει μηδενισμό. Για να ισχύει αυτό, θα πρέπει τα υποκανάλια να έχουν φέρουσες συχνότητες που να είναι ακέραια πολλαπλάσια μιας βασικής συχνότητας.

##### 4.5.1 Διάστημα φύλαξης – Κυκλικό πρόθεμα

Ένα ακόμα πλεονέκτημα των τεχνικών παράλληλης μετάδοσης είναι το γεγονός ότι η διάρκεια του συμβόλου είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με τα σειριακά

συστήματα. Το γεγονός αυτό επιτρέπει τη χρήση χρονικών διαστημάτων “φύλαξης” (Guard Intervals) μεταξύ διαδοχικών συμβόλων. Η προσθήκη του χρονικού διαστήματος φύλαξης προστατεύει το σήμα από τη διασυμβολική παρεμβολή, που προκαλεί η πολυδιαδρομική διάδοση.

Έτσι, θα πρέπει η χρονική διάρκεια του διαστήματος φύλαξης να είναι τουλάχιστον ίση με τη μέγιστη χρονική διασπορά που εισάγει ο διάυλος, ώστε να αποφεύγεται η διασυμβολική παρεμβολή. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στα δίκτυα SFN, όπου η παράμετρος αυτή καθορίζεται, σε μεγάλο βαθμό, από τις αποστάσεις μεταξύ των αναμεταδοτών του δικτύου ή, αντίστροφα, το μέγεθος του διαστήματος φύλαξης περιορίζει τη μέγιστη επιτρεπτή απόσταση μεταξύ των αναμεταδοτών του SFN. Από την άλλη πλευρά, το διάστημα φύλαξης είναι ένα χρονικό διάστημα όπου δε μεταδίδεται πληροφορία, συνεπώς υποβιβάζεται το ρυθμός μετάδοσης δεδομένων. Στα συστήματα σειριακής μετάδοσης αυτή η τεχνική δεν μπορεί να εφαρμοστεί γιατί, συνήθως, η μέγιστη χρονική διασπορά του διαύλου είναι αρκετά μεγάλη σε σχέση με τη διάρκεια του συμβόλου κι έτσι είναι ασύμφορη η χρήση τέτοιων διαστημάτων φύλαξης, γιατί θα υποβίβαζε υπερβολικά το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων.

Κατά τη διάρκεια του διαστήματος φύλαξης, ο δέκτης απορρίπτει όποια σήματα λαμβάνει. Ο πομπός μπορεί να μην εκπέμπει σήμα κατά τη διάρκεια του διαστήματος φύλαξης, αλλά σε ένα σύστημα OFDM, που υλοποιείται με διακριτό/ταχύ μετασχηματισμό Fourier, είναι αποδοτικότερο, κατά τη διάρκεια του διαστήματος φύλαξης, ο πομπός να εκπέμπει ένα τμήμα του εκπεμπόμενου συμβόλου και συγκεκριμένα μια κυκλική επέκταση του, ώστε η ισοστάθμιση στο δέκτη να είναι πολύ απλούστερη. Συγκεκριμένα, η εισαγωγή της κυκλικής επέκτασης στο μεταδιδόμενο σήμα, επιτρέπει την πραγματοποίηση της ισοστάθμισης στο δέκτη μέσω μιας απλής μιγαδικής διαίρεσης. Έτσι, το διάστημα φύλαξης καταλαμβάνεται από ένα τμήμα του προς μετάδοση συμβόλου, το οποίο δημιουργείται με τη μορφή κυκλικού προθέματος (Cyclic Prefix – CP).

#### **4.5.2 Υλοποίηση συστήματος OFDM**

Στο σύστημα OFDM, το προς μετάδοση σήμα, αφού κωδικοποιηθεί και διαχωριστεί σε πακέτα, διαμορφώνεται ψηφιακά (στη βασική ζώνη) με μία από τις γνωστές μεθόδους ψηφιακής διαμόρφωσης (π.χ. QPSK, 16-QAM κ.τ.λ.). Στη συνέχεια, το σήμα μετατρέπεται από σειριακό σε παράλληλο ώστε να τροφοδοτηθεί στον IFFT. Κατά σύμβαση, τα ψηφιακά σύμβολα πριν το κύκλωμα IFFT, αντιστοιχούν στο πεδίο της συχνότητας, ενώ μετά τον IFFT στο πεδίο του χρόνου. Έτσι, στην έξοδο του IFFT έχουμε χρονικά δείγματα του προς μετάδοση OFDM συμβόλου.

#### **4.5.3 Προβλήματα συγχρονισμού**

Η λειτουργία ενός συστήματος OFDM στηρίζεται στην ορθογωνιότητα μεταξύ των υπο-καναλιών. Σε περίπτωση που η συνθήκη ορθογωνιότητας δεν ισχύει, τότε υπάρχουν παρεμβολές μεταξύ των υπο-καναλιών και δημιουργείται ενδο-συμβολική παρεμβολή. Η ορθογωνιότητα παύει να ισχύει όταν εμφανίζονται προβλήματα συγχρονισμού. Τα προβλήματα αυτά δημιουργούνται από τους ταλαντωτές που χρησιμοποιούνται στον πομπό και το δέκτη (carrier frequency offset), από το θόρυβο φάσης των ταλαντωτών (phase noise), από αποκλίσεις μεταξύ των κυκλωμάτων δειγματοληψίας που χρησιμοποιούνται στον πομπό και το δέκτη

(sampling clock offset) και από σφάλματα στην εκτίμηση της έναρξης των συμβόλων OFDM στο δέκτη (timing offset).

Η επίδραση του σφάλματος συγχρονισμού εξαρτάται από τη σχετική απόκλιση συχνότητας, δηλαδή από την πραγματική απόκλιση κανονικοποιημένη ως προς το εύρος του κάθε υπο-καναλιού. Έτσι, μια συγκεκριμένη τιμή απόκλισης συχνότητας λόγω Doppler, ή λόγω απόκλισης των ταλαντωτών μπορεί να έχει αμελητέα επίδραση σε ένα σύστημα OFDM με μεγάλο εύρος υπο-καναλιών, ενώ να είναι καταστροφική για ένα σύστημα με υπο-κανάλια μικρού εύρους.

#### 4.5.4 Μη-γραμμικές παραμορφώσεις

Στα σήματα OFDM παρατηρούνται πολύ υψηλές τιμές του λόγου της μέγιστης προς τη μέση ισχύ (Peak –to – Average Power Ratio – PPAR). Έτσι, το σήμα OFDM παρουσιάζει μεγάλη δυναμική περιοχή (dynamic range) και πρέπει είτε να χρησιμοποιούνται ενισχυτές με μεγάλο εύρος γραμμικής λειτουργίας ή οι ενισχυτές να λειτουργούν με μεγάλη αναδίπλωση ισχύος (backoff). Στην πρώτη περίπτωση το κόστος του ενισχυτή θα είναι πολύ υψηλό, ενώ στην δεύτερη περίπτωση η αποδοτικότητα ισχύος θα είναι πολύ χαμηλή.

#### 4.5.5 Μετάδοση σημάτων OFDM σε ασύρματο διάυλο

Όπως προαναφέρθηκε, τα σήματα OFDM ενδείκνυνται για μετάδοση σημάτων ευρείας ζώνης σε ασύρματους διαύλους. Αυτό συμβαίνει γιατί η διασυμβολική παρεμβολή, που εισάγεται λόγω της συχνο-επιλεκτικής συμπεριφοράς του διαύλου, αναιρείται πολύ εύκολα, με την προϋπόθεση η μέγιστη χρονική διασπορά του διαύλου να μην είναι μεγαλύτερη από το διάστημα φύλαξης σε περίπτωση που η διασπορά του διαύλου είναι μεγαλύτερη από το διάστημα φύλαξης, τότε αναιρείται ένα μέρος της διασυμβολικής παρεμβολής, ενώ παραμένει το υπόλοιπο (residual ISI).

Εκτός της συχνο-επιλεκτικής συμπεριφοράς του διαύλου, το σήμα επηρεάζεται και από τη χρονική μεταβολή του διαύλου, που χαρακτηρίζεται από την ολίσθηση συχνότητας που προκαλείται στο σήμα, λόγω του φαινομένου Doppler.

Είναι προφανές ότι ένα σύστημα OFDM, με μεγάλο διάστημα φύλαξης, μπορεί να αντιμετωπίσει επιτυχώς διαύλους με έντονα συχνο-επιλεκτική συμπεριφορά, δηλαδή με μεγάλη χρονική διασπορά. Αυτό προϋποθέτει τη χρήση μεγάλου διαστήματος φύλαξης και άρα μεγάλης διάρκειας OFDM συμβόλου. Για δεδομένο εύρος ζώνης, η μεγάλη διάρκεια του OFDM συμβόλου οδηγεί σε υπο-κανάλια μικρού εύρους συχνοτήτων, που είναι ευπαθή στα σφάλματα συγχρονισμού και στη χρονική μεταβολή του διαύλου. Αυτοί οι παράγοντες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή των παραμέτρων ενός OFDM συστήματος. Οι τελικές επιλογές εξαρτώνται από τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του διαύλου και τις απαιτήσεις των τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών.

#### 4.5.6 Βασικές παράμετροι συστήματος OFDM

Κατά την επιλογή των παραμέτρων του συστήματος, ορίζεται αρχικά η διάρκεια του διαστήματος φύλαξης, τουλάχιστον ίση με τη μέγιστη χρονική διασπορά του διαύλου, και στη συνέχεια επιλέγεται η διάρκεια του OFDM συμβόλου να είναι τουλάχιστον 4 φορές μεγαλύτερη από τη διάρκεια του διαστήματος φύλαξης. Έτσι, το OFDM σήμα προστατεύεται από τη διασυμβολική παρεμβολή, χωρίς μεγάλη

υποβάθμιση του ρυθμού μετάδοσης. Το χρονικό αυτό διάστημα, χωρίς δηλαδή το διάστημα φύλαξης, αναφέρεται ως η “χρήσιμη” διάρκεια του OFDM συμβόλου (useful symbol duration). Η διάρκεια αυτή επηρεάζει άμεσα τον αριθμό των φερόντων που θα χρησιμοποιηθούν, άρα και το μέγεθος των FFT/IFFT. Η τιμή της είναι αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης μεταξύ των φερόντων των γειτονικών υποκαναλιών. Άρα, η αύξηση της διάρκειας του OFDM συμβόλου αντιστοιχεί σε μείωση της απόστασης μεταξύ των φερόντων που, για δεδομένο εύρος ζώνης, αυξάνει το πλήθος των υποκαναλιών. Στην πράξη, οι αστάθειες στη συχνότητα των φερόντων και η μετατόπιση συχνότητας, λόγω φαινομένου Doppler, θέτουν ένα κάτω όριο για το εύρος των υποκαναλιών. Θα πρέπει, δηλαδή, το εύρος αυτό να είναι αρκετά μεγάλο, ώστε να μην επηρεάζεται ουσιαστικά από τις πιθανές μετατοπίσεις στις συχνότητες των φερόντων.

Με την κατάτμηση του ευζωνικού διαύλου σε διαύλους στενής ζώνης τεχνική OFDM επιτυγχάνει να περιορίσει πολύ την επίδραση της συχνο-επιλεκτικής συμπεριφοράς του καναλιού. Ωστόσο, δεν καταφέρνει να αποκλείσει αυτή καθαυτή την εμφάνιση των διαλείψεων, που οφείλονται στην τυχαία χρονικά μεταβαλλόμενη κρουστική απόκριση του διαύλου, ούτε να αντιμετωπίσει την ύπαρξη θορύβου. Η περαιτέρω προστασία των μεταδιδόμενων ψηφιακών δεδομένων απαιτεί τη χρήση τεχνικών κωδικοποίησης, που επιτρέπουν την ανίχνευση ή και τη διόρθωση σφαλμάτων. Η χρήση κωδικοποίησης σε συνδυασμό με την τεχνική OFDM αναφέρεται ως Coded OFDM (COFDM).

#### 4.6 Τεχνικές διασποράς φάσματος

Όπως προαναφέρθηκε, η τεχνική πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης κώδικα (Code Division Multiple Access – CDMA) είναι μια αποδοτική τεχνική πολυπλεξίας με την οποία διαφορετικοί χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν το ίδιο φάσμα, ταυτόχρονα, χωρίς να προκαλούν παρεμβολές μεταξύ τους. Τα συστήματα CDMA ανήκουν στη ευρύτερη κατηγορία συστημάτων διασποράς φάσματος (Spread Spectrum Systems). Στα συστήματα αυτά το μεταδιδόμενο σήμα χρησιμοποιεί εύρος συχνοτήτων πολύ μεγαλύτερο από όσο είναι αναγκαίο για τη μετάδοση του στο δίαυλο, με παράλληλη μείωση της φασματικής πυκνότητας ισχύος, ώστε η συνολική του ισχύς να παραμένει σταθερή. Επειδή υπάρχουν κι άλλες τεχνικές που αυξάνουν το εύρος ζώνης του σήματος, χωρίς όμως να χαρακτηρίζονται spread spectrum, είναι αναγκαίο να καθορίσουμε τα κριτήρια που θα πρέπει να πληρεί ένα σήμα ώστε να χαρακτηρίζεται σήμα spread spectrum. Ένα σήμα χαρακτηρίζεται σήμα spread spectrum, όταν:

- Το εύρος ζώνης του σήματος είναι πολύ μεγαλύτερο από εκείνο που απαιτείται για τη μετάδοση του σήματος στο δίαυλο.
- Η διασπορά του φάσματος επιτυγχάνεται με τη χρήση κατάλληλου κώδικα διασποράς (spreading code), που είναι ανεξάρτητος από το σήμα πληροφορίας.
- Η ανάκτηση του σήματος στο δέκτη γίνεται με συσχέτιση του λαμβανόμενου σήματος με ένα αντίγραφο του κώδικα διασποράς.

Η τεχνολογία διασποράς φάσματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για πολυπλεξία χρηστών, ενώ, εκτός από τις τηλεπικοινωνίες, έχει πολλές εφαρμογές σε στρατιωτικά συστήματα, σε συστήματα εκτίμησης θέσης και χρόνου και σε τεχνικές χαρακτηρισμού ραδιοδιαύλου. Οι δύο σημαντικότερες τεχνικές διασποράς φάσματος



είναι τεχνική απευθείας ακολουθίας (Direct Sequence – DS) και η μεταπήδηση συχνότητας (Frequency Hopping – FH).

#### **4.6.1 Διασπορά φάσματος απευθείας ακολουθίας (DS – SS)**

##### **4.6.1.1 Δέκτης RAKE**

Για την περίπτωση διάδοσης σε δίαυλο με πολυδιαδρομική διάδοση, ένας τυπικός δέκτης SS σήματος, συντονίζεται σε μια μόνο συνιστώσα του λαμβανόμενου σήματος, συνήθως την πρώτη που λαμβάνει και υπερβαίνει ένα προκαθορισμένο επίπεδο ισχύος. Με τον τρόπο αυτό, απορρίπτονται οι υπόλοιπες συνιστώσες και δεν προκαλείται διασυμβολική παρεμβολή. Ωστόσο, και οι υπόλοιπες συνιστώσες του σήματος μεταφέρουν πληροφορία, αφού είναι ουσιαστικά αντίγραφα του σήματος πληροφορίας. Αν χρησιμοποιήσουμε ένα δέκτη με πολλούς κλάδους, που ο καθένας συντονίζεται σε μια διαφορετική συνιστώσα του λαμβανόμενου σήματος, είναι δυνατό να συλλέξουμε όλη την ενέργεια του λαμβανόμενου του σήματος και να βελτιώσουμε το σηματοθορυβικό λόγο στο δέκτη. Ένας τέτοιος δέκτης καλείται RAKE.

Ουσιαστικά, ο δέκτης RAKE συλλέγει και συνδυάζει συνιστώσες του σήματος με διαφορετική καθυστέρηση, δηλαδή επιτυγχάνει διαφορική λήψη στο πεδίο της καθυστέρησης (delay domain diversity). Φυσικά δεν έχουν όλες οι πολυδιαδρομικές συνιστώσες καθυστέρησης ίση με ακέραιο πολλαπλάσιο του chip interval, άρα τα αντίγραφα του κώδικα δεν είναι απόλυτα συγχρονισμένα με τις πολυδιαδρομικές συνιστώσες. Όμως, όπως είδαμε, καθυστερήσεις μικρότερες από το chip interval δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν επιτυχώς να και να απορριφθούν.

##### **4.6.1.2 Επίδοση συστημάτων DS – SS**

Πρέπει να σημειωθεί ότι, προκειμένου να υλοποιηθεί ένα σύστημα πολλαπλής πρόσβασης με τεχνολογία διασποράς φάσματος, εφαρμόζεται μια τεχνική ελέγχου της ισχύος εκπομπής (power control). Αυτό είναι απαραίτητο, γιατί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που προκύπτουν στην άνω ζεύξη είναι ότι ο Σταθμός Βάσης λαμβάνει ισχυρά σήματα από Κινητούς Σταθμούς που βρίσκονται σε μικρή απόσταση από αυτόν ή/και αντιμετωπίζουν ευνοϊκές συνθήκες διάδοσης, ενώ τα σήματα Κινητών Σταθμών που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση ή/και οι συνθήκες διάδοσης που αντιμετωπίζουν είναι δυσμενείς. Έτσι, κατά την επικοινωνία ενός απομακρυσμένου Κινητού Σταθμού με το Σταθμό Βάσης, το σήμα της άνω ζεύξης φθάνει στο Σταθμό Βάσης αρκετά εξασθενημένο, σε αντίθεση με τα σήματα των Κινητών Σταθμών που βρίσκονται πλησιέστερα στο Σταθμό Βάσης, με αποτέλεσμα ο λόγος ισχύος σήματος προς ισχύ θορύβου και παρεμβολής (SNR) να είναι πολύ χαμηλός. Η κατάσταση αυτή αναφέρεται ως near – far problem. Η τεχνική ελέγχου της εκπεμπόμενης ισχύος διασφαλίζει ότι τα σήματα από όλους τους Κινητούς Σταθμούς φτάνουν στο Σταθμό Βάσης με την ίδια ισχύ. Όταν ο Σταθμός Βάσης διαπιστώνει πως ο λόγος SINR για την άνω ζεύξη ενός Κινητού Σταθμού είναι υψηλότερος ή χαμηλότερος από μια επιθυμητή τιμή, τότε στέλνει μήνυμα σε αυτό τον Κινητό Σταθμό για να μειώσει ή να αυξήσει, αντίστοιχα, την ισχύ εκπομπής του. Αυτή η επιθυμητή τιμή μπορεί να διαφέρει για κάθε Κινητό Σταθμό, ανάλογα με την υπηρεσία που την στιγμή εκείνη προσφέρεται στο Σταθμό αυτό.

#### 4.6.2 Διασπορά φάσματος με μεταπήδηση συχνότητας (FH – SS)

Στα συστήματα διασποράς φάσματος με μεταπήδηση συχνότητας (Frequency Hopping Spread Spectrum – FH – SS) η συχνότητα του RF φέροντος μεταβάλλεται συνεχώς, παίρνοντας τιμές σε ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων, με τρόπο που καθορίζεται από τον κώδικα διασποράς. Η ακολουθία των διαδοχικών τιμών που παίρνει η συχνότητα φέροντος καλείται ακολουθία μεταπήδησης (hopping sequence). Το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών αλλαγών συχνότητας φέροντος, ή αλλιώς, το χρονικό διάστημα, που η συχνότητα φέροντος παραμένει σταθερή, είναι το chip interval. Όταν το διάστημα αυτό είναι πολύ μικρότερο από τη διάρκεια των παλμών του σήματος πληροφορίας, τότε στη διάρκεια ενός συμβόλου το σήμα πληροφορίας αλλάζει πολλές φορές συχνότητα φέροντος, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται διαφορισμός στο πεδίο της συχνότητας. Έτσι, το σήμα προστατεύεται από πιθανές παρεμβολές στενής ζώνης και από τη συχνό-επιλεκτική συμπεριφορά του διαύλου, ενώ είναι και πολύ δύσκολο να ανιχνευθεί και να αποκωδικοποιηθεί.

#### 4.6.3 Κώδικες διασποράς

Η κατάλληλη επιλογή του κώδικα διασποράς είναι ένα πολύ σημαντικό στοιχείο για την απόδοση ενός συστήματος SS. Ο κώδικας δημιουργείται με βάση μια δυαδική ακολουθία, όπου η τιμή “1” της ακολουθίας αντιστοιχεί σε θετικό παλμό του κώδικα, ενώ η τιμή “0” σε αρνητικό παλμό. Όλοι οι παλμοί του κώδικα έχουν χρονική διάρκεια. Το ζητούμενο είναι λοιπόν η σχεδίαση της δυαδικής ακολουθίας.

Για την ακολουθία αυτή είναι επιθυμητό το πλήθος των “0” να είναι περίπου ίσο με το πλήθος των “1”, ώστε η μέση χρονική τιμή να είναι περίπου 0 και το φάσμα του να μην έχει DC – συνιστώσα (Balance Property). Επιπλέον, θα πρέπει στην ακολουθία να υπάρχουν όσο το δυνατό λιγότερες και μικρότερου μήκους ομάδες από συνεχόμενα “0” ή “1”. Μια τέτοια ομάδα αναφέρεται ως run. Αν υπάρχουν ομάδες μεγάλου μήκους, τότε το τελικό σήμα δεν εμφανίζει πολύ συχνές μεταβολές πλάτους, άρα το φάσμα δεν εξαπλώνεται αρκετά (Run Property). Τέλος, προκειμένου να διαχωρίζονται οι συνιστώσες πολυδιαδρομικής διάδοσης, είναι επιθυμητό η ακολουθία αυτή να διαφέρει από ολισθημένες εκδόσεις του ενατού της (Shift Property).

Αυτές οι ιδιότητες ικανοποιούνται από τυχαίες ακολουθίες, πολύ μεγάλου (ιδανικά άπειρου) μήκους, αφού αυτές έχουν τιμές 0, 1 με πιθανότητα 0.5, μια ομάδα μήκους  $r$  εμφανίζεται με πιθανότητα  $1/2^r$ , ενώ η αυτοσυσχέτιση τους είναι η κρουστική συνάρτηση. Μια ακολουθία που δημιουργείται με τρόπο ντετερμινιστικό, δηλαδή δεν είναι τυχαία, αλλά έχει τις ιδιότητες που προαναφέρθηκαν (balance, run, shift), όταν το μήκος της γίνεται πολύ μεγάλο, καλείται ψευδο-τυχαία ακολουθία (Pseudo – random Sequence).

##### 4.6.3.1 Ακολουθίες μέγιστου μήκους

Οι πιο σημαντικοί κώδικες διασποράς είναι αυτοί που παράγονται από ψευδοτυχαίες ακολουθίες μέγιστου μήκους (Maximal Length Sequences ή m – sequences). Οι ακολουθίες αυτές παράγονται από ένα γραμμικό καταχωρητή ολίσθησης n-βαθμίδων με ανάδραση (Linear Feedback Shift Registers – LFSR) και έχουν τη μέγιστη περίοδο που μπορεί να έχει μια ακολουθία που παράγεται από έναν τέτοιο LFSR.

Οι maximal linear codes έχουν πολύ καλές ιδιότητες σε ότι αφορά την απόρριψη συνιστωσών πολυδιαδρομικής διάδοσης. Όμως, κάποια άλλα

χαρακτηριστικά καθιστούν τους κώδικες αυτούς μη αποδοτικούς για εφαρμογή σε συστήματα που χρησιμοποιούν τις τεχνικές CDMA για πολλαπλή πρόσβαση. Άρα, όταν απορρίπτονται οι συνιστώσες πολυδιαδρομικής διάδοσης και αποφεύγεται η διασυμβολική παρεμβολή, υφίσταται η παρεμβολή από τα σήματα των υπολοίπων χρηστών (Multiple User Interference – MUI). Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί διάφοροι άλλοι κώδικες, που ενώ δεν είναι τόσο αποτελεσματικοί στην απόρριψη συνιστωσών πολυδιαδρομικής διάδοσης όπως οι maximal linear codes, εντούτοις παρουσιάζουν πολύ καλύτερα χαρακτηριστικά ως προς τις μεταξύ τους ετεροσυσχετίσεις και προστατεύουν το σήμα από την εμφάνιση MUI.

#### 4.6.3.2 Κώδικες Gold

Οι κώδικες Gold είναι κώδικες που έχουν καλύτερες ιδιότητες ετεροσυσχέτισης σε σχέση με τους maximal linear codes. Παράγονται από ακολουθίες που προκύπτουν από την άθροιση (modulo-2) δυο m-sequences, μήκους  $2^{n-1}$  η κάθε μία. Οι ακολουθίες αυτές διατηρούν τις ιδιότητες που επιτρέπουν να χαρακτηρίζονται ψευδο-τυχαίες (balance, run, shift). Η άθροιση δυο τυχαίων m-sequences δεν είναι σίγουρο ότι θα οδηγήσει στη δημιουργία μιας ακολουθίας Gold. Για το σύνολο των m-sequences μήκους  $2^{n-1}$ , υπάρχει ένα υποσύνολο ακολουθιών, οι οποίες καλούνται προτιμώμενες ακολουθίες (preferred sequences), οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία μιας ακολουθίας Gold.

#### 4.6.3.3 Ακολουθίες Walsh – Hadamard

Ένας πίνακας καλείται Hadamard όταν είναι τετραγωνικός, με στοιχεία τα -1 και +1 και τα διανύσματα των γραμμών του είναι αμοιβαία ορθογώνια.

Οι πίνακες που αναφέραμε είναι της λεγόμενης κανονικής μορφής. Αναφέρεται ότι η πρώτη γραμμή και η πρώτη στήλη αποτελούνται μόνο από +1 στην κανονική μορφή. Επίσης, έχουμε τις εξής ιδιότητες:

- Μπορούμε να εναλλάξουμε τις γραμμές.
- Μπορούμε να εναλλάξουμε τις στήλες.
- Μπορούμε να αλλάξουμε το πρόσημο όλων των στοιχείων μιας γραμμής.
- Μπορούμε να αλλάξουμε το πρόσημο όλων των στοιχείων μιας στήλης.

Έτσι προκύπτουν και πάλι πίνακες Hadamard, οι οποίοι καλούνται ισοδύναμοι. Η σημαντική ιδιότητα της ορθογωνιότητας των γραμμών ή των στηλών ενός πίνακα Hadamard έχει οδηγήσει στη χρήση των γραμμών ή στηλών ως ορθογώνιες ακολουθίες στα CDMA συστήματα και ιδιαίτερα στην ευθεία ζεύξη (downlink). Δυστυχώς, σε διαύλους με μεγάλη χρονική διασπορά λόγω πλυδιαδρομικής διάδοσης, η ορθογωνιότητα καταστρέφεται με αποτέλεσμα την αυξημένη πιθανότητα σφάλματος. Για το λόγο αυτό απαιτείται πολύ καλός συγχρονισμός.

## 4.7 Τεχνικές Διαφορισμού (Diversity Techniques)

Όπως προαναφέρθηκε, στα συστήματα κινητών επικοινωνιών, ένας παράγοντας που υποβαθμίζει σημαντικά την ποιότητα των ζεύξεων, άρα και την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών, είναι οι διαλείψεις. Οι τεχνικές διαφορισμού είναι ένας σχετικά εύκολος αλλά πολύ αποδοτικός τρόπος για να αντιμετωπιστούν οι

επιπτώσεις των διαλείψεων και να βελτιωθεί η ποιότητα μιας ασύρματης ζεύξης. Οι τεχνικές αυτές εκμεταλλεύονται την τυχαία μεταβολή των χαρακτηριστικών του ασύρματου διαύλου. Συγκεκριμένα, σε μια τεχνική διαφορισμού, το σύστημα εκπομπής ή/και λήψης χρησιμοποιεί πολλά “κανάλια”, δηλαδή πολλαπλές εκδοχές του εκπεμπόμενου ή λαμβανόμενου σήματος, που ονομάζονται κλάδοι διαφορισμού (diversity branches) και είναι μεταξύ τους ανεξάρτητα, ή ασυσχέτιστα σε μεγάλο βαθμό. Έτσι, αν ένα κανάλι παρουσιάζει έντονες διαλείψεις ή, γενικά, δυσμενείς συνθήκες διάδοσης (θόρυβος, παρεμβολές κτλ.), η πιθανότητα να παρουσιάζουν το ίδιο δυσμενείς συνθήκες, ταυτόχρονα, και τα υπόλοιπα (ασυσχέτιστα) κανάλια, είναι πολύ χαμηλή. Γενικά, με τις τεχνικές διαφορισμού μπορεί να επιτευχθεί βελτίωση του σηματοθορυβικού λόγου στο δέκτη, μέχρι και 20-30dB.

Το ζητούμενο στην υλοποίηση μιας τεχνικής διαφορισμού είναι ο καθορισμός του τρόπου με τον οποίο δημιουργούνται τα ανεξάρτητα κανάλια και ο τρόπος με τον οποίο τα σήματα από τα ανεξάρτητα κανάλια συνδυάζονται, ώστε να βελτιωθεί η ποιότητα της ζεύξης. Ο παράγοντας που διαφοροποιεί τα κανάλια μεταξύ τους δεν είναι απαραίτητα ο φυσικός διαχωρισμός των διαφορετικών διαδρομών που μπορεί να ακολουθούν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα κατά τη διάδοσή τους. Τα κανάλια μπορεί να διαφοροποιούνται ανάλογα με οποιοδήποτε παράγοντα τα καθιστά μεταξύ τους ανεξάρτητα, ή ασυσχέτιστα σε μεγάλο βαθμό. Έτσι, έχουμε διαφορική εκπομπή/λήψη χώρου (space diversity ή antenna diversity) όπου έχουμε πολλαπλές κεραιές για εκπομπή ή/και λήψη του σήματος, διαφορική εκπομπή/λήψη συχνότητας (frequency diversity) όπου τα διαφορετικά κανάλια αντιστοιχούν σε διαφορετικές ραδιοσυχνότητες, διαφορική εκπομπή/λήψη πόλωσης (polarization diversity) και άλλες τεχνικές ή συνδυασμούς αυτών. Η επιλογή και ο τρόπος υλοποίησης μιας συγκεκριμένης τεχνικής εξαρτάται από τις παραμέτρους και τις απαιτήσεις του συστήματος όπου πρόκειται να εφαρμοστεί.

#### **4.7.1 Διαφορική λήψη χώρου**

Η τεχνική της διαφορικής λήψης χώρου απαιτεί τη χρήση πολλαπλών κεραιών λήψης (τουλάχιστον 2), τοποθετημένων σε τέτοια μεταξύ τους απόσταση, ώστε οι δίαυλοι μέσω των οποίων λαμβάνουν το σήμα να είναι ασυσχέτιστοι. Αν τα κανάλια αυτά είναι ασυσχέτιστα, τότε η πιθανότητα να υφίστανται ταυτόχρονα διάλειψη θα είναι μικρή. Έτσι, επιτυγχάνεται σημαντική βελτίωση της μέσης τιμής του σηματοθορυβικού λόγου, άρα μείωση του ρυθμού σφαλμάτων, χωρίς αύξηση της εκπεμπόμενης ισχύος. Το όφελος για την ποιότητα της ζεύξης, χρησιμοποιώντας διαφορική λήψη χώρου, διακρίνεται σε κέρδος “διάταξης” (array gain), που οφείλεται στην αύξηση του σηματοθορυβικού λόγου, που επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας πολλαπλές κεραιές για τη λήψη του σήματος, και σε κέρδος διαφορισμού (diversity gain), που εκφράζει τη μείωση της πιθανότητας λάθους, που επιτυγχάνεται όταν χρησιμοποιηθεί διαφορική λήψη. Ιδιαίτερα για το διαφορικό κέρδος να σημειώσουμε ότι γίνεται εμφανές ως αλλαγή της κλίσης της καμπύλης του ρυθμού σφαλμάτων (BER) ως προς το SNR.

##### **4.7.1.1 Επιλεκτικός συνδυασμός (Selection Combining – SC)**

Κάθε στιγμή, η λογική μονάδα επιλέγει τον κλάδο με το μεγαλύτερο στιγμιαίο σηματοθορυβικό λόγο και τροφοδοτεί το αντίστοιχο λαμβανόμενο σήμα στον αποδιαμορφωτή. Η όλη διαδικασία δεν μπορεί να υλοποιείται στιγμιαία, πρέπει όμως να ολοκληρώνεται γρήγορα σε σύγκριση με το ρυθμό μεταβολής του ασύρματου

διαύλου. Η τεχνική αυτή είναι εύκολη στην υλοποίηση γιατί απαιτεί μόνο τη μέτρηση του στιγμιαίου σηματοθορυβικού λόγου σε κάθε κλάδο και έναν επιλογέα, που να επιλέγει τον κλάδο αυτό.

Η τεχνική SC απαιτεί συνεχή μέτρηση του σηματοθορυβικού λόγου σε όλους τους κλάδους λήψης και, ίσως συχνές αλλαγές κλάδου. Για συστήματα συνεχούς μετάδοσης είναι πρακτικά ανεφάρμοστη, γιατί εισάγει μεγάλη καθυστέρηση. Εναλλακτικά, μπορεί να επιλέγεται αρχικά ο κλάδος με το μεγαλύτερο σηματοθορυβικό λόγο και να εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ο ίδιος, εφόσον το SNR παραμένει πάνω από μια προκαθορισμένη οριακή τιμή, ακόμα κι αν κάποιο άλλος κλάδος έχει υψηλότερο SNR. Αν στον κλάδο που χρησιμοποιείται, το SNR γίνει μικρότερο από το όριο, τότε «σαρώνονται» οι άλλοι κλάδοι μέχρι να βρεθεί κλάδος με αποδεκτό SNR. Το πλεονέκτημα της προσέγγισης αυτής είναι η ακόμη ευκολότερη υλοποίηση.

#### **4.7.1.2 Συνδυαστική μέγιστου λόγου (Maximal Ratio Combining – MRC)**

Η τεχνική επιλογής του επιλεκτικού συνδυασμού είναι απλή στην υλοποίηση αλλά όχι βέλτιστη, γιατί κάθε στιγμή χρησιμοποιείται μόνο ένας από τους διαφορικούς κλάδους, ενώ δεν αξιοποιούνται τα σήματα που λαμβάνουν οι υπόλοιποι. Η βασική ιδέα της τεχνικής MRC είναι να χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα όλοι οι κλάδοι, με κατάλληλη ρύθμιση του πλάτους και της φάσης τους, ώστε τελικά να επιτυγχάνεται η υψηλότερη τιμή του SNR.

#### **4.7.1.3 Συνδυαστική σταθερού κέρδους (Equal Gain Combining – EGC)**

Η τεχνική αυτή είναι μια απλούστερη εκδοχή της MRC. Χρησιμοποιείται όταν δεν είναι εφικτή η ρύθμιση του πλάτους των βαρών στην MRC, οπότε όλα τα πλάτη τίθενται ίσα, αλλά οι φάσεις ρυθμίζονται κατάλληλα ώστε τα σήματα που αθροίζονται να είναι συμφασικά. Η επιτυγχανόμενη βελτίωση του σηματοθορυβικού λόγου είναι λίγο μικρότερη από αυτή που επιτυγχάνει η MRC.

#### **4.7.2 Διαφορική Εκπομπή**

Σε πολλές περιπτώσεις, είναι περισσότερο πρακτικό ο δέκτης να έχει μόνο μια κεραία λήψης, λόγω περιορισμών στο κόστος και τον όγκο του εξοπλισμού. Στις περιπτώσεις αυτές, μπορεί να χρησιμοποιείται διαφορική εκπομπή, οπότε ο διάυλος έχει πολλαπλές εισόδους (τις κεραίες του πομπού) και μια έξοδο (την κεραία του δέκτη) και το σύστημα αναφέρεται ως MISO (Multiple-Input-Single-Output), σε αντίθεση με τα συστήματα διαφορική λήψης που αναφέρονται ως SIMO (Single-Input-Multiple-Output).

Ο τρόπος με τον οποίο το σήμα εκπέμπεται από τις πολλαπλές κεραίες του δέκτη καθορίζεται με μια κωδικοποίηση χώρου-χρόνου (Space-Time Coding – STC). Ο απλούστερος και πιο δημοφιλής STC είναι ο κώδικας Alamouti.

### **4.8 Χωρητικότητα διαύλου**

Οι πρωτοποριακές εργασίες του Shannon καθόρισαν τα απόλυτα όρια χωρητικότητας των τηλεπικοινωνιακών διαύλων με λευκό θόρυβο Gauss. Ο Shannon αντιμετώπισε το βασικό πρόβλημα της αξιόπιστης μετάδοσης της πληροφορίας με στατιστικούς όρους, χρησιμοποιώντας πιθανοτικά μοντέλα για τις πηγές της

πληροφορίας και τους τηλεπικοινωνιακούς διαύλους. Βασισμένος στη στατιστική θεώρηση, υιοθέτησε ένα λογαριθμικό μέτρο για το πληροφοριακό περιεχόμενο μιας πηγής. Επιπλέον, έδειξε ότι οι επιπτώσεις της περιορισμένης ισχύος ενός πομπού, του περιορισμένου εύρους ζώνης και του λευκού θορύβου μπορούν να συσχετισθούν με το διάυλο και να ενσωματωθούν σε μια παράμετρο που την ονόμασε χωρητικότητα διαύλου.

Η σπουδαιότητα της χωρητικότητας του διαύλου έγκειται στο γεγονός ότι, αν ο ρυθμός της πληροφορίας είναι μικρότερος του ορίου Shannon, τότε είναι θεωρητικά πιθανό να επιτύχουμε αξιόπιστη, χωρίς σφάλματα, μετάδοση μέσω του διαύλου, χρησιμοποιώντας κατάλληλη κωδικοποίηση. Αν ο ρυθμός της πληροφορίας είναι μεγαλύτερος του ορίου Shannon, τότε δεν είναι εφικτή η αξιόπιστη μετάδοση της πληροφορίας, ασχέτως της επεξεργασίας που μπορεί να υποστεί το σήμα στον πομπό και/ή στο δέκτη.

Ο καθορισμός των ορίων, για τη χωρητικότητα σε χρονικά μεταβαλλόμενους ραδιοδιαύλους με σκίαση, διαλείψεις λόγω πολυδιαδρομικής διάδοσης και διασυμβολική παρεμβολή, είναι μια πρόκληση και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του διαύλου, το ρυθμό μεταβολής του και τη δυνατότητα ανίχνευσης των μεταβολών. Ένα σχετικά απλό στον υπολογισμό όριο είναι εκείνο για τις χειρότερες συνθήκες διάδοσης στο διάυλο. Η εφαρμογή του στην πράξη είναι εύκολη με δεδομένο ότι πολλές τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις σχεδιάζονται έτσι ώστε να παρουσιάζουν αποδεκτή ποιότητα, κάτω από άσχημες συνθήκες διάδοσης.

## 4.9 ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Ανεξάρτητα από το είδος πηγής τα δεδομένα των αναλογικών πηγών πρέπει να ψηφιοποιηθούν πριν μεταδοθούν:

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 195

2. Με τον όρο διακριτή πηγή χωρίς μνήμη DMS (Discrete Memory less Source) εννοούμε ότι η πιθανότητα εμφάνισης του κάθε συμβόλου δεν εξαρτάται από τα προηγούμενα ή τα επόμενα του:

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 195

3. Δώστε τη σχέση που εκφράζει το μέγεθος της αμοιβαίας πληροφορίας (mutual information) των  $x_i, y_i$ :

Σωστή απάντηση σχέση 4.2 σελίδα 195

4. Δώστε τη σχέση της ιδιο – πληροφορίας (self information) για τα ενδεχόμενα  $x_i, y_i$ :

Σωστή απάντηση σχέση 4.3 σελίδα 196

5. Δώστε τη σχέση της μέσης αμοιβαίας πληροφορίας (average mutual information) για τα ενδεχόμενα  $x_i, y_i$ :

Σωστή απάντηση σχέση 4.4 σελίδα 196

6. Δώστε τη σχέση της εντροπίας της πηγής (entropy of the source) για τα ενδεχόμενα  $x_i, y_i$ :

Σωστή απάντηση σχέση 4.5 σελίδα 196

7. Δώστε τη σχέση της εντροπίας όταν όλα τα σύμβολα που παράγει η πηγή είναι ισοπίθανα:

Σωστή απάντηση σχέση 4.6 σελίδα 196

8. Η εντροπία μιας πηγής έχει  $n$  πιθανές τιμές και είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη όταν:

- a)  $H(x) = \log n$
- b)  $H(x) \leq \log n$
- c)  $H(x) \geq \log n$

Σωστή απάντηση το b σελίδα 197

9. Δώστε τη σχέση της διαφορικής εντροπίας (differential entropy) για τη μέση ποσότητα πληροφορίας:

Σωστή απάντηση σχέση 4.8 σελίδα 197

10. Η κωδικοποίηση μιας διακριτής πηγής γίνεται μέσω των κωδικών λέξεων (codewords) δηλαδή των bits που αντιστοιχούν στο κάθε σύμβολο της πηγής:

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 197

11. Κατά την συνθήκη προθέματος (prefix condition) ισχυριζόμαστε ότι κάθε κωδική λέξη θα πρέπει να είναι το αρχικό τμήμα άλλης κωδικής λέξης:

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το b σελίδα 197, 198

12. Διατυπώστε τον αλγόριθμο κωδικοποίησης Huffman:

- a) Γράφουμε τα σύμβολα με φθίνουσα σειρά πιθανότητας εμφάνισης.
- b) Τα δύο λιγότερο πιθανά ενώνονται σε ένα, που καλείται “reduced source”, με πιθανότητα ίση με το άθροισμα των αρχικών.
- c) Οι γραμμές που καταλήγουν σε “reduced source” αριθμούνται με 0 και 1. Δεν έχει σημασία ποιος κλάδος αριθμείται με το 0 ή το 1, αρκεί σε όλη τη διαδικασία να εφαρμοστεί η ίδια λογική, π.χ. ο άνω κλάδος να αριθμείται με 0 και ο κάτω με 1.
- d) Τα σύμβολα αναδιατάσσονται με φθίνουσα σειρά πιθανότητας εμφάνισης.
- e) Οι ενώσεις συνεχίζονται έως ότου προκύψει reduced source με πιθανότητα 1.
- f) Διαβάζοντας τα bits από το τέλος προς την αρχή παίρνουμε την κωδική λέξη κάθε συμβόλου.

Σωστή απάντηση σελίδα 199

13. Δώστε τη σχέση του μέσου μήκους κωδικής λέξης για την κωδικοποίηση Huffman:

Σωστή απάντηση σχέση 4.10 σελίδα 199



14. Η πολυπλοκότητα ενός κώδικα Huffman αυξάνεται όταν:

- a) Μειώνεται το K
- b) Αυξάνεται το L
- c) Αυξάνεται το K
- d) Μειώνεται το L
- e) Ο συνδυασμός των a και b
- f) Ο συνδυασμός των c και d
- g) Ο συνδυασμός των b και c

Σωστή απάντηση το f σελίδα 201

15. Έστω το μήνυμα πληροφορίας AABBAACABBCAAB. Δώστε το λεξικό που κατασκευάζεται με την εφαρμογή της κωδικοποίησης Lempel-Ziv:

Σωστή απάντηση το παράδειγμα 4.3 σελίδα 202

16. Ο κβαντισμός (quantization) δεν είναι απαραίτητος για την κωδικοποίηση ενός αναλογικού σήματος:

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το b σελίδα 203

17. Δώστε τη σχέση του σηματοθορυβικού λόγου κβαντισμού στον ομοιόμορφο κβαντισμό:

Σωστή απάντηση σχέση 4.11 σελίδα 204

18. Ποιος είναι ο σηματοθορυβικός λόγος που προκύπτει όταν χρησιμοποιούνται n bits (δηλαδή  $2^n$  επίπεδα κβαντισμού) και ομοιόμορφο κβαντισμό?

Σωστή απάντηση σχέση 4.12 σελίδα 204

19. Κατά πόσο αυξάνεται ο σηματοθορυβικός λόγος για κάθε επιπλέον bit που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση των επιπέδων κβαντισμού:

- a) 6dB
- b) 12dB
- c) 20dB

Σωστή απάντηση το a σελίδα 204

20. Ο ομοιόμορφος κβαντισμός είναι αποδοτικός όταν η κατανομή του πλάτους του αναλογικού σήματος είναι:

- a) Μη ομοιόμορφη
- b) Σχεδόν ομοιόμορφη

Σωστή απάντηση το b σελίδα 204, 205

21. Στον μη – ομοιόμορφο κβαντισμό ισχύει ότι το βήμα κβαντισμού είναι σταθερό και δεν εξαρτάται από το πλάτος του σήματος εισόδου:
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το b σελίδα 205

22. Δώστε τη σχέση εξόδου για την τεχνική  $\mu$  – Law companding για σήμα εισόδου – εξόδου  $x_{\max}$ ,  $y_{\max}$  αντίστοιχα:

Σωστή απάντηση σχέση 4.13 σελίδα 206

23. Δώστε τη σχέση εξόδου για την τεχνική A – Law companding για σήμα εισόδου – εξόδου  $x_{\max}$  και  $y_{\max}$  αντίστοιχα:

Σωστή απάντηση σχέση 4.15 σελίδα 206

24. Δώστε τη σχέση προηγούμενων δειγμάτων της διαφορικής παλμοκωδικής διαμόρφωσης (Differential PCM):

Σωστή απάντηση σχέση 4.16 σελίδα 210

25. Προσαρμοζόμενη παλμοκωδική διαμόρφωση (Adaptive PCM – APCM) έχουμε όταν το βήμα του κβαντιστή μεταβάλλεται ανάλογα με την τυπική απόκλιση των προηγούμενων δειγμάτων:

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 210

26. Έστω ότι έχουμε μετάδοση με ρυθμό 128 kbps στο δίαυλο και ο ρυθμός κωδικοποίησης είναι  $2/3$  ( $R_c = \kappa/n = 2/3$ ). Ποιος ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων πληροφορίας?

Ο ρυθμός μετάδοσης είναι  $(2/3) * 128 = 85.33$  kbps

Σωστή απάντηση σελίδα 211

27. Η απόσταση Hamming ορίζεται όταν:

- a) Ο κώδικας των λέξεων δεν είναι δυαδικός
- b) Ο κώδικας των λέξεων είναι δυαδικός

Σωστή απάντηση το b σελίδα 211

28. Δώστε τη σχέση της ικανότητας διόρθωσης σφαλμάτων ανά κωδική λέξη:

Σωστή απάντηση σχέση 4.20 σελίδα 211

29. Δώστε τη σχέση της πιθανότητας εσφαλμένης κωδικοποίησης μιας ομάδας  $n$  bits σε διάλο BSC:

Σωστή απάντηση σχέση 4.22 σελίδα 212

30. Δώστε τη σχέση της πιθανότητας εσφαλμένου bit που χρησιμοποιείται από το συγκεκριμένο κωδικοποιητή και αποκωδικοποιητή Hamming:

Σωστή απάντηση σχέση 4.23 σελίδα 212

31. Τι ορίζεται ως κέρδος κωδικοποίησης (coding gain)?

Κέρδος κωδικοποίησης (coding gain) ονομάζεται ως η μείωση στην ελάχιστη τιμή του σηματοθορυβικού λόγου ( $E_b/N_0$ ) που απαιτείται για την επίτευξη μιας επιθυμητής τιμής της πιθανότητας λάθους, σε σύγκριση με το ίδιο σύστημα χωρίς κωδικοποίηση, χρησιμοποιώντας την ίδια διαμόρφωση, στον ίδιο διάλο.

Σωστή απάντηση σελίδα 212

32. Δώστε τη σχέση της πιθανότητας Hamming εσφαλμένου bit για hard – decision decoding:

Σωστή απάντηση σχέση 4.24 σελίδα 212

33. Δώστε τη σχέση της πιθανότητας λάθους στο διάλο AWGN με διαμόρφωση BPSK:

Σωστή απάντηση σχέση 4.25 σελίδα 212

34. Ποιος κώδικας για hard – decision decoding θεωρείται ισχυρότερος:

- a) Hamming
- b) Golay

Σωστή απάντηση το b σελίδα 213

35. Δώστε τη σχέση της πιθανότητας Golay λανθασμένων bits για hard – decision decoding:

Σωστή απάντηση σχέση 4.27 σελίδα 213

36. Η διόρθωση περισσοτέρων του ενός σφαλμάτων ανά κωδική λέξη επιτυγχάνεται καλύτερα με τον κώδικα:
- Hamming
  - Golay
  - BCH

Σωστή απάντηση το c σελίδα 213

37. Δώστε τις σχέσεις για το πλήθος σφαλμάτων ανά κωδική λέξη και το μέγιστο της ελάχιστης απόστασης για έναν  $(n, k)$  κώδικα RS (Reed – Solomon):

Σωστή απάντηση σχέσεις 4.28, 4.29 σελίδα 213, 214

38. Δώστε τη σχέση της πιθανότητας σφάλματος στο BSC διάυλο του κώδικα RS (Reed – Solomon):

Σωστή απάντηση σχέση 4.30 σελίδα 214

39. Με τη βοήθεια σχήματος παρουσιάστε ένα συνιλεκτικό κώδικα με μήκος περιορισμού 4 και ρυθμό κωδικοποίησης  $1/3$ :

Σωστή απάντηση σχήμα 4.10(a) σελίδα 215

40. Με τη βοήθεια σχήματος αναφέρετε πως λειτουργεί η εφαρμογή αλυσιδωτού κώδικα (Concatenated Code):

Σωστή απάντηση σχήμα 4.11 σελίδα 217

41. Με τον όρο διαμόρφωση εννοούμε την διαδικασία κατά την οποία το προς μετάδοση μήνυμα αποτυπώνεται σε ένα σήμα ραδιοσυχνοτήτων το οποίο ονομάζεται φέρον:

- Σωστό
- Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 217

42. Η επιλογή της τεχνικής ψηφιακής διαμόρφωσης επιλέγεται:

- Με την ευκολία υλοποίησης της τεχνικής
- Με την ανθεκτικότητα της τεχνικής σε σφάλματα
- Με τα επιθυμητά φασματικά χαρακτηριστικά της τεχνικής
- Όλα τα παραπάνω
- Το a και b

Σωστή απάντηση το d σελίδα 217

43. Ορίστε την αποδοτικότητα φάσματος (bandwidth efficiency) που χρησιμοποιείται κατά τις τεχνικές διαμόρφωσης:

$$n_B = R_b/B \text{ bps/Hz}$$

Σωστή απάντηση σελίδα 218

44. Δώστε τη σχέση της μέγιστης αποδοτικότητας φάσματος (bandwidth efficiency) που περιορίζεται από το σηματοθορυβικό λόγο (SNR) κατά Shannon:

$$n_{B,max} = \log_2(1+SNR)$$

Σωστή απάντηση σελίδα 218

45. Όσο μεγαλύτερη φασματική απόδοση έχει μια μέθοδος διαμόρφωσης τόσο πιο ευαίσθητη είναι σε σφάλματα:

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 218

46. Δώστε τη σχέση μιας γενικής ψηφιακής διαμορφωμένης κυματομορφής:

Σωστή απάντηση σχέση 4.31 σελίδα 218

47. Με τη βοήθεια σχήματος αποδώστε το διάγραμμα σηματοστερισμού (constellation map) για BPSK  $M=2$  και QPSK  $M=4$ :

Σωστή απάντηση σχήμα 4.12 σελίδα 220

48. Δώστε τη σχέση της διαμόρφωσης μεταλλαγής μετατόπισης πλάτους (ASK) με σταθερή συχνότητα και φάση και το πλάτος να έχει μία από  $M$  πιθανές τιμές:

Σωστή απάντηση σχέση 4.38 σελίδα 223

49. Κατά τη διαμόρφωση  $M$ -αδικής Ορθογωνικής μεταλλαγής πλάτους ( $M$ -QAM):

- a) Τα ψηφιακά σύμβολα του αλφαβήτου έχουν διαφορετικά πλάτη
- b) Τα ψηφιακά σύμβολα του αλφαβήτου έχουν διαφορετικές φάσεις
- c) Ο συνδυασμός των παραπάνω

Σωστή απάντηση το c σελίδα 224

50. Σε ποια διαμορφωμένη κυματομορφή εμφανίζεται αλλαγή φάσης 180 μοίρες:

- a) QPSK
- b) OQPSK

Σωστή απάντηση a σελίδα 225

51. Δώστε τις σχέσεις της κανονικοποιημένης φασματικής πυκνότητας ισχύος της διαμόρφωσης QPSK και MSK:

Σωστή απάντηση σχέσεις 4.43 και 4.44 σελίδα 226, 227

52. Δώστε τη σχέση της κρουστικής απόκρισης και της συνάρτησης μεταφοράς από ένα φίλτρο μορφοποίησης παλμών Gauss για τη διαμόρφωση GMSK (Gaussian Minimum Shift Keing):

Σωστή απάντηση σχέσεις 4.45 και 4.46 σελίδα 228

53. Σε ποιο είδος διαμόρφωσης χρησιμοποιούνται οι ημιτονικοί παλμοί?

- a) OQPSK
- b) MSK

Σωστή απάντηση b σελίδα 227

54. Η GSMK διαμόρφωση χαρακτηρίζεται αποδοτική ως προς την ισχύ σε σχέση με την MSK διαμόρφωση λόγω του φίλτρου μορφοποίησης:

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 228

55. Τι τεχνικές χρησιμοποιούνται όταν ο δέκτης γνωρίζει και αξιοποιεί τη συχνότητα του φέροντος προκειμένου να αποδιαμορφώσει το λαμβανόμενο σήμα:

- a) Σύμφωνες τεχνικές (coherent)
- b) Ασύμφωνες τεχνικές (non-coherent)
- c) Διαφορικές τεχνικές (differential)

Σωστή απάντηση το a σελίδα 228

56. Το μειονέκτημα των διαφορικών (differential) τεχνικών είναι:

- a) Αύξηση της πιθανότητας σφάλματος
- b) Ριπή σφαλμάτων που προκαλείται από το κάθε σφάλμα που εμφανίζεται
- c) Ο συνδυασμός των a και b
- d) Κανένα από τα παραπάνω

Σωστή απάντηση το c σελίδα 228

57. Η τεχνική της ψηφιακής διαμόρφωσης επιλέγεται για ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα:

- a) Από την αποδοτικότητα του φάσματος
- b) Από την αποδοτικότητα της ισχύος
- c) Από την πιθανότητα σφάλματος κατά την λήψη
- d) Όλα τα παραπάνω
- e) Ο συνδυασμός των a και c

Σωστή απάντηση το d σελίδα 229

58. Με τη βοήθεια σχήματος αναφέρετε τη γενική μορφή του δέκτη προσαρμοσμένου φίλτρου (matched filter receiver):

Σωστή απάντηση σχήμα 4.20 σελίδα 230

59. Με τη βοήθεια σχήματος αναφέρετε τη γενική μορφή του δέκτη συσχέτισης (correlation receiver):

Σωστή απάντηση σχήμα 4.21 σελίδα 231

60. Δώστε τις σχέσεις της πιθανότητας εμφάνισης λανθασμένου bit για τις διαμορφώσεις BPSK και QPSK σε δίαυλο AWGN:

Σωστή απάντηση σχέσεις 4.51 και 4.52 σελίδα 231

61. Δώστε τις σχέσεις της πιθανότητας σφάλματος για τις διαμορφώσεις M-PAM και M-QAM:

Σωστή απάντηση σχέσεις 4.57 και 4.58 σελίδα 232

62. Η M-PAM διαμόρφωση μπορεί να θεωρηθεί ότι προκύπτει από:

- a) Μία PAM διαμόρφωση
- b) Δύο PAM διαμορφώσεις
- c) Τρεις PAM διαμορφώσεις

Σωστή απάντηση το b σελίδα 232

63. Δώστε τις σχέσεις της μέσης πιθανότητας εμφάνισης λανθασμένου bit για τις διαμορφώσεις BPSK, BFSK και DPSK:

Σωστή απάντηση σχέσεις 4.69, 4.70 και 4.71 σελίδα 235

64. Στο δίαυλο AWGN ο ρυθμός σφαλμάτων μειώνεται εκθετικά με το σηματοθορυβικό λόγο ενώ σε διαύλους με διαλείψεις, η μείωση είναι γραμμική:
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 235

65. Για να επιτευχθεί εξοικονόμηση φάσματος σε μια OFDM τεχνική αφού τα κανάλια είναι αλληλοκαλυπτόμενα θα πρέπει να ισχύει:
- a) Η αλληλοκάλυψη των καναλιών επιτρέπεται όταν τα κανάλια μεταξύ τους είναι ορθογώνια
  - b) Όταν το φάσμα ενός υποκαναλιού παρουσιάζει κορυφή, τα φάσματα των γειτονικών υποκαναλιών παρουσιάζουν μηδενισμό
  - c) Τα υποκανάλια πρέπει να έχουν φέρουσες συχνότητες που είναι ακέραια πολλαπλάσια μιας βασικής συχνότητας
  - d) Όλα τα παραπάνω
  - e) Ο συνδυασμός των a και c

Σωστή απάντηση το d σελίδα 237

66. Δώστε τη σχέση που δίνει το φάσμα του εκπεμπόμενου OFDM σήματος από την υπέρθεση των φασμάτων των υποκαναλιών:

Σωστή απάντηση σχέση 4.76 σελίδα 243

67. Που στηρίζεται η λειτουργία ενός συστήματος OFDM?
- a) Στην ορθογωνιότητα μεταξύ των υποκαναλιών
  - b) Στην μη ορθογωνιότητα μεταξύ των υποκαναλιών
  - c) Κανένα από τα παραπάνω

Σωστή απάντηση το a σελίδα 243

68. Δώστε τη σχέση του λόγου PAPR για ένα σήμα συνεχούς χρόνου  $s(t)$ :

Σωστή απάντηση σχέση 4.80 σελίδα 244

69. Οι τεχνικές κωδικοποίησης που επιτρέπουν την ανίχνευση ή και τη διόρθωση σφαλμάτων σε συνδυασμό με την τεχνική OFDM καλούνται Coded OFDM:
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 249



70. Σε ποιους παράγοντες οφείλεται η απώλεια ορθογωνιότητας ενός συστήματος OFDM?

- a) Προβλήματα από τους ταλαντωτές που χρησιμοποιούνται στον πομπό και δέκτη (carrier frequency offset)
- b) Προβλήματα από το θόρυβο φάσης των ταλαντωτών (phase noise)
- c) Προβλήματα από αποκλίσεις μεταξύ των κυκλωμάτων δειγματοληψίας που χρησιμοποιούνται στον πομπό και το δέκτη (sampling clock offset)
- d) Προβλήματα από σφάλματα στην εκτίμηση της έναρξης των συμβόλων OFDM στον δέκτη (timing offset)
- e) Όλα τα παραπάνω
- f) Ο συνδυασμός των a, b και d
- g) Ο συνδυασμός των a, c και d

Σωστή απάντηση το e σελίδα 243

71. Πότε ένα σήμα χαρακτηρίζεται ως spread spectrum σήμα:

- a) Όταν το εύρος ζώνης του σήματος είναι πολύ μεγαλύτερο από εκείνο που απαιτείται για τη μετάδοση του σήματος στο δίαυλο
- b) Όταν η διασπορά του φάσματος επιτυγχάνεται με τη χρήση κατάλληλου κώδικα διασποράς (spreading code) που είναι ανεξάρτητος από το σήμα πληροφορίας
- c) Όταν η ανάκτηση του σήματος στο δέκτη γίνεται με συσχέτιση του λαμβανόμενου σήματος με ένα αντίγραφο του κώδικα διασποράς
- d) Όλα τα παραπάνω
- e) Το a και b

Σωστή απάντηση το d σελίδα 250

72. Δώστε τον ορισμό του παράγοντα εξάπλωσης του φάσματος (spreading factor):

Σωστή απάντηση σχέση 4.87 σελίδα 250

73. Αναφέρετε τις δύο σημαντικότερες τεχνικές διασποράς φάσματος?

- a) Η απευθείας ακολουθία (Direct Sequence – DS)
- b) Η μεταπήδηση συχνότητας (Frequency Hopping – FH)

Σωστή απάντηση σελίδα 251

74. Με τη βοήθεια σχήματος δώστε την υλοποίηση του δέκτη συσχέτισης για DS-CDMA:

Σωστή απάντηση σχήμα 4.35 σελίδα 252

75. Δώστε τη σχέση της πιθανότητας λάθους συνυπολογίζοντας το θόρυβο και την παρεμβολή για BPSK-CDMA σήμα που μεταδίδεται σε δίαυλο AWGN:

Σωστή απάντηση σχέση 4.98 σελίδα 255

76. Ένας δέκτης CDMA χρειάζεται για να λειτουργήσει  $E_b/N_0=10$ . Πόσο πρέπει να είναι το κέρδος επεξεργασίας, ώστε να έχουμε περιθώριο παρεμβολής 20dB?

Σωστή απάντηση παράδειγμα 4.7 σελίδα 256

77. Έστω ένα CDMA σύστημα με κέρδος επεξεργασίας 100, coding gain 6dB και επιθυμητή τιμή σηματοθορυβικού λόγου  $E_b/N_0=10$ . Ποιος είναι ο μέγιστος αριθμός χρηστών που υποστηρίζει το σύστημα?

Σωστή απάντηση παράδειγμα 4.8 σελίδα 257

78. Ως chip interval ορίζεται το χρονικό διάστημα που η συχνότητα φέροντος στα συστήματα διασποράς φάσματος με μεταπήδηση (FH-SS) συχνότητας παραμένει σταθερή:

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 258

79. Οι ψευδο-τυχαίες ακολουθίες μέγιστου μήκους (Maximal Length Sequences ή m-sequences) παράγονται από ένα γραμμικό καταχωρητή ολίσθησης n-βαθμίδων με ανάδραση (Linear Feedback Shift Registers –LFSR):

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 260

80. Με τη βοήθεια σχήματος δώστε ένα παράδειγμα δημιουργίας μιας ακολουθίας μέγιστου μήκους m-sequence μήκους 7 από ένα γραμμικό καταχωρητή ολίσθησης n-βαθμίδων με ανάδραση LFSR:

Σωστή απάντηση σχήμα 4.38 σελίδα 260

81. Πόση εξασθένιση δέχεται από το δέκτη ένα σήμα DS-SS που φθάνει με κανονικοποιημένη καθυστέρηση  $\tau/T_c=0.5$ , αν το σύστημα χρησιμοποιεί maximal linear Code με  $N=50$ ?

Σωστή απάντηση παράδειγμα 4.9 σελίδα 262

82. Τι θα πρέπει να ισχύει για να έχουμε συγχρονισμένους χρήστες στις ακολουθίες μέγιστου μήκους:

- a)  $\rho_{ij}(\tau)=0$  για κάθε  $i$  διαφορετικό του  $j$
- b)  $\rho_{ij}(0)=0$  για κάθε  $i$  διαφορετικό του  $j$

Σωστή απάντηση το b σελίδα 263

83. Οι κώδικες Gold είναι κώδικες που έχουν καλύτερες ιδιότητες ετεροσυσχέτισης σε σχέση με τους maximal linear codes:
- Σωστό
  - Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 263

84. Δώστε τη σχέση της ετεροσυσχέτισης για ακολουθίες Gold:

Σωστή απάντηση σχέση 4.109 σελίδα 264

85. Δώστε τον πιο απλό πίνακα Hadamard όταν αυτός είναι τετραγωνικός:

Σωστή απάντηση σχέση 4.110 σελίδα 264

86. Οι μεγαλύτεροι πίνακες Hadamard προκύπτουν με την επαναληπτική σχέση του πίνακα Hadamard:

- Σωστό
- Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 264

87. Σημειώστε ποιες είναι οι ιδιότητες των πινάκων Hadamard:

- Ότι μπορούμε να εναλλάξουμε τις γραμμές
- Ότι μπορούμε να εναλλάξουμε τις στήλες
- Ότι μπορούμε να αλλάξουμε το πρόσημο όλων των στοιχείων μιας γραμμής
- Ότι μπορούμε να αλλάξουμε το πρόσημο όλων των στοιχείων μιας στήλης
- Όλα τα παραπάνω
- Το a και b

Σωστή απάντηση το e σελίδα 264

88. Σε διαύλους με μεγάλη χρονική διασπορά λόγω πολυδιαδρομικής διάδοσης, η ορθογωνιότητα στα CDMA συστήματα καταστρέφεται με αποτέλεσμα την μείωση πιθανότητα σφάλματος:

- Σωστό
- Λάθος

Σωστή απάντηση το b σελίδα 265

89. Αναφέρετε τρεις σημαντικές τεχνικές διαφορισμού?

- Διαφορική εκπομπή /λήψη χώρου (space diversity ή antenna diversity)
- Διαφορική συχνότητας (frequency diversity)
- Διαφορική πόλωσης (polarization diversity)

Σωστή απάντηση σελίδα 265

90. Η τεχνική της διαφορική λήψης χώρου (space diversity) απαιτεί τη χρήση πολλαπλών κεραιών λήψης:
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 266

91. Η πιθανότητα να έχουμε ταυτόχρονα μεγάλες διαλείψεις κατά την τεχνική διαφορικής λήψης χώρου είναι:
- a) Μικρή
  - b) Μεγάλη
  - c) Πολύ μεγάλη

Σωστή απάντηση το a σελίδα 265

92. Που οφείλεται το κέρδος διάταξης (array gain) κατά την τεχνική διαφορικής λήψης χώρου:
- a) Στην αύξηση του σηματοθορυβικού λόγου
  - b) Στην μείωση της πιθανότητας λάθους

Σωστή απάντηση το a σελίδα 266

93. Που οφείλεται το κέρδος διαφορισμού (diversity gain) κατά την τεχνική διαφορικής λήψης χώρου:
- a) Στην αύξηση του σηματοθορυβικού λόγου
  - b) Στην μείωση της πιθανότητας λάθους

Σωστή απάντηση το b σελίδα 266

94. Περιγράψτε με τη βοήθεια σχήματος τη βελτίωση ρυθμού σφαλμάτων με χρήση διαφορικών τεχνικών:

Σωστή απάντηση σχήμα 4.42 σελίδα 267

95. Περιγράψτε με τη βοήθεια σχήματος τη γενική μορφή διάταξης της διαφορικής τεχνικής λήψης χώρου:

Σωστή απάντηση σχήμα 4.43 σελίδα 267

96. Η τεχνική του επιλεκτικού συνδυασμού (Selection-Combining-SC) δεν απαιτεί την συνεχή μέτρηση του σηματοθορυβικού λόγου σε όλους τους κλάδους λήψης:
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το b σελίδα 270

97. Με τη βοήθεια σχήματος περιγράψτε το γενικό διάγραμμα υλοποίησης της τεχνικής του συνδυασμού μέγιστου λόγου (Maximal Ratio Combining – MRC):

Σωστή απάντηση σχήμα 4.45 σελίδα 271

98. Ποια από τις παρακάτω τεχνικές θεωρείται βέλτιστη?

- a) Η τεχνική του επιλεκτικού συνδυασμού (Selection Combining – SC)
- b) Η τεχνική του συνδυαστικού μέγιστου λόγου (Maximal Ratio Combining – MRC)

Σωστή απάντηση το b σελίδα 271

99. Στην τεχνική διαφορικής εκπομπής ο διάυλος έχει πολλές εισόδους και μία έξοδο:

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το b σελίδα 274

100. Ο πιο δημοφιλής και απλούστερος κώδικας που χρησιμοποιείται για την κωδικοποίηση χώρου-χρόνου (Space-Time Coding-STC) είναι ο κώδικας Alamouti:

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 274

101. Με τη βοήθεια σχήματος περιγράψτε ένα σύστημα  $2 \times 1$  με τον κώδικα Alamouti:

Σωστή απάντηση σχήμα 4.48 σελίδα 275

102. Ένα σύστημα με πολλαπλές κεραίες εκπομπής και λήψης αναφέρεται ως:

- a) MISO
- b) SIMO
- c) MIMO

Σωστή απάντηση το c σελίδα 276

103. Δώστε τη διανυσματική εξίσωση των συστημάτων MIMO με επίπεδες διαλείψεις:

Σωστή απάντηση σχέση 4.137 σελίδα 277

104. Με τη βοήθεια σχήματος περιγράψτε την εφαρμογή μετασχηματισμού ιδιομορφων τιμών σε διάυλο MIMO:

Σωστή απάντηση σχήμα 4.49 σελίδα 278

105. Με τη βοήθεια σχήματος περιγράψτε την ανάλυση διαύλου MIMO σε παράλληλους και ανεξάρτητους διαύλους:

Σωστή απάντηση σχήμα 4.50 σελίδα 278

106. Περιγράψτε τη σχέση χωρητικότητας διαύλου κατά Shannon:

Σωστή απάντηση σχέση 4.139 σελίδα 279

107. Έστω ένα σήμα με εύρος ζώνης  $B = 200\text{kHz}$  μεταδίδεται σε δίαυλο AWGN με φασματική πυκνότητα ισχύος  $N_0/2$  με  $N_0 = 2 \cdot 10^{-9} \text{ W/Hz}$  και η λαμβανομένη ισχύς στο δέκτη με  $S = 2\text{mW}$ . Υπολογίστε το σηματοθορυβικό λόγο και την χωρητικότητα του διαύλου:

Σωστή απάντηση παράδειγμα 4.11 σελίδα 279

108. Περιγράψτε πως προκύπτει η σχέση του σηματοθορυβικού λόγου εκφρασμένου σε dB συναρτήσει της μέγιστης φασματικής απόδοσης κατά Shannon:

Σωστή απάντηση σχέσεις 4.146, 4.147 και 4.148 σελίδα 281

109. Δώστε τη σχέση της χωρητικότητας που αφορά SISO σύστημα συναρτήσει του κέρδους ισχύος του διαύλου και της εκπεμπόμενης ισχύος:

Σωστή απάντηση σχέση 4.149 σελίδα 282

110. Ορίστε τον πίνακα συμμεταβλητότητας του λαμβανόμενου σήματος σε δίαυλο MIMO:

Σωστή απάντηση σχέση 4.152 σελίδα 283

111. Περιγράψτε πως προκύπτει η χωρητικότητα του συστήματος χρησιμοποιώντας την ανάλυση του MIMO διαύλου σε παράλληλους διαύλους:

Σωστή απάντηση σχέσεις 4.153 και 4.154 σελίδα 283

112. Περιγράψτε πώς προκύπτει η χωρητικότητα ενός συστήματος MIMO χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο water-filling:

Σωστή απάντηση σχέσεις 4.155, 4.156, 4.157 και 4.158 σελίδα 284

113. Ισχύει ότι για μικρές τιμές του σηματοθορυβικού λόγου η χωρητικότητα ενός SISO συστήματος αυξάνεται λογαριθμικά με το SNR:
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το b σελίδα 285

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΡΑΙΑ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Αρχές και Σχεδίαση Κυβελωτών Συστημάτων

### 5.1 Πρόσβαση στο Δίαυλο

Λόγω του περιορισμένου εύρους φάσματος που έχει αποδοθεί στα ασύρματα συστήματα επικοινωνιών αλλά και των μεγάλων αναγκών που αυξάνονται καθημερινά, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη αποδοτικών τεχνικών κατανομής του φάσματος σε πολλούς ετερογενείς χρήστες. Οι εφαρμογές που απαιτούν συνεχή μετάδοση, όπως η φωνή και το video, γενικά απαιτούν αποκλειστικούς διαύλους για την διάρκεια της κλήσης. Η κατανομή του εύρους ζώνης με απόδοση αποκλειστικών διαύλων καλείται πολλαπλή πρόσβαση. Σε αντίθεση με τη φωνή και το video, η μετάδοση δεδομένων συμβαίνει σε ριπές. Η κατανομή του εύρους ζώνης, για χρήστες με μετάδοση σε ριπές, γίνεται συνήθως με τυχαία απόδοση διαύλου, η οποία δεν εξασφαλίζει πρόσβαση στο διάυλο και καλείται τυχαία πρόσβαση. Η επιλογή της πολλαπλής ή της τυχαίας πρόσβασης, καθώς επίσης και της τεχνικής που θα χρησιμοποιηθεί για κάθε μία, εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της τηλεπικοινωνιακής κίνησης του συστήματος και τη συμβατότητα με άλλα συστήματα. Η επιλογή γίνεται πολυπλοκότερη, όταν οι συχνότητες επαναχρησιμοποιούνται για να αυξηθεί η φασματική απόδοση του συστήματος. Τέλος, πολλές φορές το ίδιο φάσμα μπορεί να χρησιμοποιείται από διαφορετικά συστήματα χωρίς συντονισμό και, για το λόγο αυτό, χρησιμοποιούμε τα λεγόμενα πρωτόκολλα φάσματος.

#### 5.1.1 Τεχνικές Πολλαπλής Πρόσβασης

Ένα θεμελιώδες αποτέλεσμα της θεωρίας των τηλεπικοινωνιών είναι ότι διαφορετικοί χρήστες μπορούν να μοιράζονται το ίδιο μέσο μετάδοσης, όταν τα σήματα τους είναι ορθογώνια μεταξύ τους, δηλαδή η ετεροσυσχέτιση τους, που δίνει το μέτρο της ομοιότητας τους, είναι μηδενική, ώστε να είναι διαχωρίσιμα στο δέκτη. Η ορθογωνιότητα των σημάτων μπορεί να επιτευχθεί με χρήση των βασικών ιδιοτήτων των σημάτων. Οι τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης αποδίδουν αποκλειστικούς διαύλους σε πολλαπλούς χρήστες. Η διαίρεση μπορεί να είναι συχνότητας (FDMA), χρόνου (TDMA), κώδικα (CDMA), χώρου (SDMA), ή συνδυασμοί αυτών. Στην FDMA, το ολικό εύρος ζώνης του συστήματος χωρίζεται σε διαύλους μη επικαλυπτόμενους στη συχνότητα, που αποδίδονται σε διαφορετικούς χρήστες. Στη CDMA, ο χρόνος και το εύρος ζώνης χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα από διαφορετικούς χρήστες που διαμορφώνονται από ορθογωνικούς ή ημι-ορθογωνικούς κώδικες διασποράς. Τέλος, στην SDMA, γίνεται χρήση έξυπνων κεραιών που δίνουν τη δυνατότητα του χωρικού διαχωρισμού των χρηστών από τους Σταθμούς Βάσης και, έτσι, είναι δυνατή η χρήση των ίδιων πόρων του συστήματος για χωρικά διασκορπισμένους χρήστες.

Η FDMA τεχνική είναι σχετικά απλή, αλλά απαιτεί πολύ αυστηρά προκαθορισμένα ζωνοπερατά φίλτρα (BPF), τα οποία κοστίζουν. Η απομόνωση των διαύλων και κατά συνέπεια η ορθογωνιότητα των σημάτων εξασφαλίζονται με την εισαγωγή συχνοτικών διαστημάτων φύλαξης μεταξύ των διαύλων.

Το γεγονός της αποκλειστικής διάθεσης, ακόμη και για διαστήματα όπου δεν υπάρχουν δεδομένα προς μετάδοση (π.χ. περίοδοι σιωπών), χαρακτηρίζει την τεχνική ως μικρής φασματικής απόδοσης. Συνήθως συνδυάζεται με TDD τεχνική, ώστε να αποφεύγεται η ταυτόχρονη εκπομπή και λήψη και επιπλέον να είναι δυνατή η χρήση τεχνικών διαφορισμού στο Σταθμό Βάσης, τόσο για την ευθεία όσο και για την



αντίστροφη ζεύξη, λόγω της ομοιότητας των διαύλων στις δύο κατευθύνσεις. Άμεση συνέπεια του τελευταίου είναι η μεταφορά της πολυπλοκότητας της επεξεργασίας του σήματος στο Σταθμό Βάσης, δηλαδή η απλοποίηση των φορητών συσκευών, που συνεπάγεται μειωμένο κόστος και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας.

Η τεχνική TDMA υλοποιείται με αποκλειστικά ψηφιακές τεχνικές, ενώ απαιτείται συγχρονισμός μεταξύ όλων των χρηστών. Η ορθογωνιότητα μεταξύ των χρηστών επηρεάζεται σημαντικά από τη διασυμβολική παρεμβολή που προκαλεί ένα σήμα, από μια χρονοσχισμή σε επόμενες χρονοσχισμές. Πρέπει να σημειωθεί ότι, σε σχέση με την FDMA τεχνική, ο ρυθμός μετάδοσης είναι πολλαπλάσιος κατά ένα παράγοντα, ίσο με τον αριθμό των χρηστών που μοιράζονται το συχνοτικό δίαυλο. Τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα της τεχνικής TDMA είναι:

- Δεν υπάρχουν προβλήματα ενδοδιαμόρφωσης.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε υπηρεσίες φωνής και δεδομένων.
- Υποστηρίζει μεταβαλλόμενο ρυθμό μετάδοσης.
- Είναι φασματικά πιο αποδοτική μέθοδος αφού δεν χρησιμοποιούνται συχνοτικά διαστήματα φύλαξης.
- Επειδή η μετάδοση γίνεται σε ριπές, είναι δηλαδή ασυνεχής, προσφέρει μικρότερη κατανάλωση ισχύος.
- Τα προϊόντα που στηρίζονται σε τεχνολογία TDMA παράγονται μαζικά σε VLSI και έχουν μειωμένο κόστος.
- Παρέχει τη δυνατότητα μέτρησης της ποιότητας σε επίπεδο πλαισίου (frame).
- Είναι ιδανική για περιπτώσεις με ιεραρχικές δομές κυψελών.
- Είναι πλέον δοκιμασμένη και αποτελεσματική τεχνολογία.

Οι δύο τεχνικές που προαναφέραμε έχουν τρία σημαντικά μειονεκτήματα: Το πρώτο είναι ότι κατά τη διάρκεια περιόδων σιωπής σε μια τηλεφωνική συνδιάλεξη (50%-65% του χρόνου) δεν είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίηση του διαύλου από άλλους χρήστες, αφού η μεταγωγή κυκλώματος πρέπει να γίνει σε εξαιρετικά μικρό χρονικό διάστημα, που δεν είναι πρακτικά εφικτό. Το δεύτερο μειονέκτημα είναι η σχετικά αραιή δομή επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων που μπορούμε να επιτύχουμε, όπως θα αναλυθεί και στη συνέχεια. Το τρίτο μειονέκτημα αφορά σε όλες τις τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης και σχετίζεται με το φαινόμενο των διαλείψεων. Ειδικά για την τεχνική FDMA, όπου το εύρος ζώνης των διαύλων είναι κατά κανόνα μικρότερο από τις υπόλοιπες τεχνικές, το πρόβλημα των διαλείψεων είναι εξαιρετικά σημαντικό.

Στην τεχνική CDMA, με τους ορθογωνικούς κώδικες ο δέκτης μπορεί να ξεχωρίσει το επιθυμητό σήμα από τους άλλους CDMA χρήστες, χωρίς παρεμβολές. Στην πράξη, το στενής ζώνης σήμα πληροφορίας διαμορφώνεται από ένα ευρείας ζώνης σήμα διασποράς. Κάθε χρήστης έχει το δικό του σήμα διασποράς (κώδικα) και μπορεί να εκπέμπει στην ίδια συχνότητα και ταυτόχρονα με άλλους χρήστες. Με τους ημι-ορθογωνικούς κώδικες, ο δέκτης δεν μπορεί να ξεχωρίσει τελείως το επιθυμητό σήμα από τους άλλους χρήστες και έτσι παραμένει μια παρεμβολή μεταξύ των χρηστών. Το πλεονέκτημα τους όμως είναι ότι δεν υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των κωδικών σε δεδομένο εύρος ζώνης. Αυτή η ιδιότητα είναι γνωστή και ως soft capacity. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την παραγωγή των ημι-ορθογωνικών CDMA σημάτων είναι η Direct Sequence (DS – CDMA). Συνεπώς, όλα τα πλεονεκτήματα της διασποράς απευθείας ακολουθίας εμφανίζονται στο CDMA, έναντι των FDMA και TDMA.

Γενικά η τεχνική CDMA έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις FDMA και TDMA τεχνικές. Αρχικά, μπορούμε να αναφέρουμε τα εξής:

- Δεν υπάρχουν προβλήματα ενδοδιαμόρφωσης.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε υπηρεσίες φωνής και δεδομένων.
- Υποστηρίζει μεταβαλλόμενο ρυθμό μετάδοσης.
- Είναι φασματικά πιο αποδοτική μέθοδος αφού δεν χρησιμοποιούνται συχνοτικά διαστήματα φύλαξης.
- Επειδή η μετάδοση γίνεται σε ριπές, είναι δηλαδή ασυνεχή, προσφέρει μικρότερη κατανάλωση ισχύος.
- Τα προϊόντα που στηρίζονται σε τεχνολογία TDMA παράγονται μαζικά σε VLSI και έχουν μειωμένο κόστος.
- Παρέχει τη δυνατότητα μέτρησης της ποιότητας σε επίπεδο πλαισίου (frame).
- Είναι ιδανική για περιπτώσεις με ιεραρχικές δομές κυψελών.
- Είναι πλέον δοκιμασμένη και αποτελεσματική τεχνολογία.

Οι δύο τεχνικές που προαναφέραμε έχουν τρία σημαντικά πλεονεκτήματα: Το πρώτο είναι ότι κατά τη διάρκεια περιόδων σιωπής σε μια τηλεφωνική συνδιάλεξη (50%-65% του χρόνου) δεν είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίηση του διαύλου από άλλους χρήστες, αφού η μεταγωγή κυκλώματος πρέπει να γίνει σε εξαιρετικά μικρό χρονικά διάστημα, που δεν είναι πρακτικά εφικτό. Το δεύτερο μειονέκτημα είναι η σχετικά αραιή δομή επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων που μπορούμε να επιτύχουμε, όπως θα αναλυθεί και στη συνέχεια. Το τρίτο μειονέκτημα αφορά σε όλες τις τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης και σχετίζεται με το φαινόμενο των διαλείψεων. Ειδικά για την τεχνική FDMA, όπου το εύρος ζώνης των διαύλων είναι κατά κανόνα μικρότερο από τις υπόλοιπες τεχνικές, το πρόβλημα των διαλείψεων είναι εξαιρετικά σημαντικό.

Στην τεχνική CDMA, με τους ορθογωνικούς κώδικες ο δέκτης μπορεί να ξεχωρίσει το επιθυμητό σήμα από τους άλλους CDMA χρήστες, χωρίς παρεμβολές. Στην πράξη, το στενής ζώνης σήμα πληροφορίας διαμορφώνεται από ένα ευρείας ζώνης σήμα διασποράς. Κάθε χρήστης έχει το δικό του σήμα διασποράς (κώδικα) και μπορεί να εκπέμπει στην ίδια συχνότητα και ταυτόχρονα με άλλους χρήστες. Με τους ημι-ορθογωνικούς κώδικες, ο δέκτης δεν μπορεί να ξεχωρίσει τελείως το επιθυμητό σήμα από τους άλλους χρήστες και έτσι παραμένει μια παρεμβολή μεταξύ των χρηστών. Το πλεονέκτημα τους όμως είναι ότι δεν υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των κωδικών σε δεδομένο εύρος ζώνης. Αυτή η ιδιότητα είναι γνωστή και ως soft capacity. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την παραγωγή των ημι-ορθογωνικών CDMA σημάτων είναι η Direct Sequence (DS -CDMA). Συνεπώς, όλα τα πλεονεκτήματα της διασποράς απευθείας ακολουθίας εμφανίζονται στο CDMA, έναντι των FDMA και TDMA. Κάποια από τα πλεονεκτήματα της CDMA είναι τα εξής:

- Εκμεταλλευόμαστε τις σιωπηλές περιόδους στις τηλεφωνικές συνομιλίες.
- Δεν απαιτείται η χρήση ισοσταθμιστή (equalizer) για την αντιμετώπιση διασυμβολικής παρεμβολής.
- Στα κυψελωτά συστήματα, όπου γειτονικές κυψέλες χρησιμοποιούν τον ίδιο δίαυλο, δεν απαιτείται μεταπομπή στη συχνότητα.
- Δεν απαιτούνται διαστήματα φύλαξης, τα οποία είναι απώλεια στη συνολική χωρητικότητα του συστήματος.
- Επιτυγχάνει πολύ μεγαλύτερες χωρητικότητες σε επίπεδο χρηστών ανά κυψέλη.
- Δεν απαιτούνται πολύπλοκες τεχνικές απόδοσης και διαχείρισης του φάσματος.

- Έχει πολύ καλή συμπεριφορά, όσον αφορά στην ασφάλεια της μετάδοσης των δεδομένων.
- Σε φυσιολογικές συνθήκες, η προσθήκη ενός επιπλέον χρήστη επιδρά λίγο μόνο στην ποιότητα των υπηρεσιών των υπαρχόντων χρηστών.
- Είναι δυνατή η συνύπαρξη με άλλα αναλογικά συστήματα.
- Μπορεί να παρέχει εύρος ζώνης κατά απαίτηση (bandwidth on demand).

Με την SDMA τεχνική ουσιαστικά γίνεται έλεγχος της ακτινοβολούμενης Η/Μ ενέργειας για κάθε χρήστη στην περιοχή κάλυψης. Ο έλεγχος επιτυγχάνεται με τη χρήση έξυπνων, προσαρμοστικών κεραιών. Σε κάθε περιοχή που εξυπηρετείται από έναν κύριο λοβό, εφαρμόζονται τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης FDMA, TDMA ή CDMA. Μια εξαιρετικά απλοποιημένη περίπτωση εφαρμογής SDMA είναι ο διαχωρισμός των κυψελών σε τομείς.

Ένα σημαντικό θέμα κατά τη σχεδίαση των συστημάτων είναι και ο αριθμός των χρηστών που υποστηρίζουν, δηλαδή η χωρητικότητα. Στα FDMA, TDMA και στο ορθογωνικό CDMA υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των χρηστών λόγω του πεπερασμένου πλήθους των διαθέσιμων διαύλων ή ορθογωνικών κωδικών. Στο ημι-ορθογωνικό CDMA δεν υπάρχει απόλυτο όριο στον αριθμό των χρηστών, αλλά η απόδοση μειώνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός αυτός, λόγω αυξημένων παρεμβολών. Η μείωση των παρεμβολών επιτυγχάνεται είτε με τη χρήση έξυπνων κεραιών, είτε με τεχνικές ταυτόχρονης ανάκτησης πολλαπλών χρηστών (multiuser detection).

### 5.1.2 Τεχνικές Τυχαίας Πρόσβασης

Στα περισσότερα ασύρματα δίκτυα δεδομένων, μόνο μια μικρή, απρόβλεπτη και δυναμική υπο-ομάδα χρηστών στέλνει δεδομένα μια χρονική στιγμή. Στα συστήματα αυτά, είναι μη αποδοτική η απόδοση αποκλειστικών διαύλων σε κάθε χρήστη και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης. Τα πρωτόκολλα αυτά βασίζονται στη μετάδοση δεδομένων σε πακέτα και ανήκουν σε δύο κατηγορίες: στις τεχνικές ALOHA και στα πρωτόκολλα δέσμευσης (reservation) ή απόδοσης κατά απαίτηση (demand-assignment).

Στην απλή τεχνική ALOHA, ο πομπός στέλνει δεδομένα στο δίαυλο κάθε φορά που αυτά είναι διαθέσιμα, γεγονός που οδηγεί στη σύγκρουση των δεδομένων στο δέκτη. Όσα πακέτα συγκρούστηκαν θα πρέπει να σταλούν ξανά μετά από κάποιο τυχαίο χρονικά διάστημα. Η δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων ενός διαύλου ALOHA, ορισμένη ως ο ρυθμός με τον οποίο τα πακέτα λαμβάνονται σωστά, είναι πολύ μικρή, λόγω της μεγάλης πιθανότητας συγκρούσεων. Είναι ενδεικτική η μέγιστη δυνατότητα μεταφοράς σε ένα δίαυλο ALOHA, που φθάνει το 18% του ρυθμού μετάδοσης στο δίαυλο, αν ένας μόνο χρήστης τον χρησιμοποιούσε. Αν ο χρόνος διαιρεθεί σε σχισμές και κάθε μετάδοση πακέτου γίνεται σε προκαθορισμένες σχισμές, προκύπτουν αρκετά λιγότερες συγκρούσεις γιατί δεν υφίστανται μερικώς επικαλυπτόμενα πακέτα. Αυτή η τροποποίηση της απλής τεχνικής ALOHA καλείται σύστημα ALOHA με θυρίδες (slotted ALOHA). Παρόλο που η slotted- ALOHA διπλασιάζει περίπου (36%) τη δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων σε σχέση με την απλή ALOHA τεχνική, εντούτοις δεν είναι αποδοτική τεχνική για πολλούς χρήστες υψηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων. Ο αριθμός των συγκρούσεων στην ALOHA μπορεί να μειωθεί λόγω του φαινομένου αρπαγής (capture effect), που είναι παρόμοιο με εκείνο του “near-far” στο CDMA. Ειδικότερα, λόγω της μείωσης της ισχύος, με την απόσταση, ένα πακέτο, που εκπέμφθηκε από ένα κινητό που βρίσκεται μακριά από το δέκτη, προκαλεί σχετικά μικρή παρεμβολή σε ένα πακέτο που εκπέμφθηκε

από κοντινότερη απόσταση κι έτσι, παρόλη τη σύγκρουση των πακέτων στο δέκτη, το τελευταίο θα ληφθεί χωρίς σφάλματα. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τεχνική διασποράς φάσματος σε συνδυασμό με την ALOHA, ώστε να μειωθούν οι συγκρούσεις. Συγκεκριμένα, δύο πακέτα που συγκρούονται μπορούν να διακριθούν στο δέκτη αφού έχουν διαμορφωθεί με διαφορετική ψευδοτυχαία ακολουθία διασποράς.

Στα ενσύρματα δίκτυα (π.χ. στο Ethernet), η τεχνική ALOHA επικουρείται από την ανίχνευση φέροντος (carrier sensing), κατά την οποία ο πομπός ανιχνεύει το δίαυλο πριν αποστείλει δεδομένα, ώστε να αντιληφθεί αν ο δίαυλος είναι κατειλημμένος. Αν είναι, η εκπομπή καθυστερεί μέχρι ο δίαυλος να είναι διαθέσιμος. Η ανίχνευση φέροντος συνδυάζεται και με την αναγνώριση σύγκρουσης (collision detection) κατά την οποία ο δίαυλος παρακολουθείται κατά τη μετάδοση των πακέτων αν κάποιος άλλος χρήστης προσπαθήσει να καταλάβει το δίαυλο προκαλώντας σύγκρουση, ο πομπός επανεκπέμπει το πακέτο χωρίς να περιμένει την αρνητική επιβεβαίωση ή τη λέξη του χρόνου (timeout) από το δέκτη. Η αναγνώριση των συγκρούσεων προαπαιτεί την αναγνώριση των εκπομπών άλλων χρηστών, γεγονός που είναι αδύνατο σε ασύρματα συστήματα λόγω των απωλειών διάδοσης και της σκίασης μεταξύ των χρηστών. Η δυσκολία της αναγνώρισης συγκρούσεων στα ασύρματα συστήματα καλείται και πρόβλημα κρυμμένων τερματικών (hidden terminal problem).

Ένα άλλο πρόβλημα στα ασύρματα δίκτυα είναι και αυτό των εκτεθειμένων τερματικών (exposed terminals). Λόγω της αδυναμίας χρήσης των τεχνικών ανίχνευσης φέροντος και αναγνώρισης συγκρούσεων στους ραδιοδιαύλους, τα ασύρματα τοπικά δίκτυα υπολογιστών (WLANs) χρησιμοποιούν την τεχνική της αποφυγής συγκρούσεων (collision avoidance). Με την τεχνική αυτή, ο δέκτης ενημερώνει όλους τους γειτονικούς πομπούς ότι δέχεται ένα πακέτο, εκπέμποντας έναν τόνο κατειλημμένου (busy tone). Οι πομποί που έχουν πακέτα προς εκπομπή περιμένουν ένα τυχαίο χρονικό διάστημα μετά τη λήξη του τόνου για να εκπέμψουν τα πακέτα τους. Έτσι, αυξάνεται σημαντικά η δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων στο ALOHA. Η αποδοτικότητα της τεχνικής μπορεί να μειωθεί από τα φαινόμενα των απωλειών διάδοσης, της σκίασης και των διαλείψεων που επηρεάζουν τον τόνο. Η χρήση του τόνου προτάθηκε για μετάδοση διδομένων στο σύστημα κινητών επικοινωνιών AMPS και καλείται και Inhibit Sense Multiple Access (ISMA). Μια άλλη τεχνική αποφυγής συγκρούσεων χρησιμοποιεί αιτήσεις για αποστολή από τον πομπό και επιβεβαιώσεις από το δέκτη.

Τα πρωτόκολλα δέσμευσης (reservation protocols) αποδίδουν διαύλους στους χρήστες κατά απαίτηση, μέσω ενός αποκλειστικού διαύλου δεσμεύσεων. Η απόδοση γίνεται είτε κεντρικά από ένα Σταθμό Βάσης, είτε από ένα κοινό αλγόριθμο που τρέχει σε κάθε τερματικό.

Μια σχετικά νέα τεχνική τυχαίας πρόσβασης, που συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των ALOHA και των πρωτοκόλλων δέσμευσης, είναι η Packet Reservation Multiple Access (PRMA). Στην PRMA ο χρόνος διαιρείται σε σχισμές και οι σχισμές οργανώνονται σε πλαίσια, με  $N$  σχισμές ανά πλαίσιο. Η τεχνική PRMA είναι ιδιαίτερα αποδοτική σε τηλεπικοινωνιακή κίνηση που οφείλεται σε εφαρμογές πολυμέσων με ανάμεικτες υπηρεσίες φωνής και δεδομένων, αφού εξασφαλίζεται συνεχής ροή για τη φωνή, ενώ τα δεδομένα χρησιμοποιούν το δίαυλο όσο είναι απαραίτητο.

Όλες οι τεχνικές τυχαίας πρόσβασης απαιτούν επιβεβαιώσεις πακέτων, ώστε να εξασφαλίζεται η ορθή λήψη των πακέτων. Αν δεν ληφθεί επιβεβαίωση για κάποιο

πακέτο, μέσα σε ένα χρονικό παράθυρο, τότε το πακέτο επανεκπέμπεται. Λόγω της αποστολής των επιβεβαιώσεων στο ραδιοδιάλυο, είναι συχνή η καθυστέρηση, η απώλεια ή η καταστροφή τους λόγω ραδιομετάδοσης. Αυτό το φαινόμενο έχει ως αποτέλεσμα την επανεκπομπή πακέτων, χωρίς αυτό να είναι απαραίτητο, καθώς και την άφιξη των ίδιων πακέτων στο δέκτη, γεγονός που απαιτεί κάποιο αντιμετώπιση από το πρωτόκολλο επικοινωνίας.

### 5.1.3 Πρωτόκολλα Φάσματος

Πολλές φορές, διαφορετικά συστήματα χρησιμοποιούν την ίδια φασματική περιοχή, χωρίς συντονισμό, και αυτό απαιτεί την διαλειτουργικότητα των διαφορετικών τεχνικών πρόσβασης. Αυτή η συνύπαρξη των συστημάτων μπορεί να διευκολυνθεί από κάποιους φασματικούς κανόνες συμπεριφοράς, δηλαδή μια ελάχιστη ομάδα κανόνων, που επιτρέπουν ακριβώς τη συνύπαρξη των συστημάτων. Ένα παράδειγμα έχει τεθεί από το WINForum, έναν οργανισμό από διάφορες εταιρίες ανάπτυξης ασύρματων προϊόντων, που καθόρισε μια ομάδα κανόνων για τη ζώνη συχνοτήτων των 2GHz στην Αμερική. Η ίδια ομάδα κανόνων υιοθετήθηκε και για την απόδοση στην περιοχή των 60GHz. Τα βασικά στοιχεία των κανόνων είναι:

- Άκουσε πριν εκπέμψεις, ώστε να βεβαιωθείς ότι ο πομπός σου είναι ο μόνος χρήστης του φάσματος και να περιοριστεί έτσι η παρεμβολή σε άλλους χρήστες.
- Περίορισε το χρόνο εκπομπής, ώστε να δίνεις τη δυνατότητα σε άλλους χρήστες να εκπέμψουν.
- Περίορισε την ισχύ εκπομπής, ώστε να μην προκαλείς παρεμβολή σε χρήστες γειτονικής ζώνης συχνοτήτων ή σε χρήστες που επαναχρησιμοποιούν το φάσμα σε κάποια απόσταση.

## 5.2 Κυψελωτά Συστήματα

### 5.2.1 Η Έννοια της Κυψέλης και της Επαναχρησιμοποίησης Συχνοτήτων

Τα κυψελωτά ραδιοσυστήματα στηρίζονται στην έξυπνη απόδοση και την επαναχρησιμοποίηση των ραδιοδιαλύων στην περιοχή κάλυψης και εφαρμογής του συστήματος. Σε κάθε κυψελωτό Σταθμό Βάσης, αποδίδεται μια ομάδα ραδιοδιαλύων που χρησιμοποιείται σε μια μικρή γεωγραφική περιοχή, που καλείται κυψέλη (cell). Στους Σταθμούς Βάσης γειτονικών κυψελών αποδίδονται ομάδες διαλύων, που περιέχουν διαφορετικούς διαύλους από εκείνους των γειτονικών κυψελών. Οι κεραιές των Σταθμών Βάσης είναι σχεδιασμένες να επιτυγχάνουν την επιθυμητή κάλυψη μέσα σε συγκεκριμένη κυψέλη. Περιορίζοντας την περιοχή κάλυψης στα όρια μιάς κυψέλης, είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίηση ομάδων διαλύων σε άλλες κυψέλες που απέχουν μεταξύ τους απόσταση ικανή, ώστε να εξασφαλίζεται το επίπεδο των ομοδιαυλικών παρεμβολών σε ανεκτά όρια. Η διαδικασία σχεδίασης, επιλογής και απόδοσης των ομάδων διαλύων σε όλους τους κυψελωτούς Σταθμούς Βάσης τους συστήματος, καλείται σχεδίαση απόδοσης συχνοτήτων (frequency planning) και οδηγεί σε ένα κυψελωτό δίκτυο με επανα-χρησιμοποίηση συχνότητας (frequency reuse).

Η εξαγωνική κυψέλη είναι θεμελιώδες σχήμα και είναι ένα απλοποιημένο μοντέλο της ραδιοκάλυψης κάθε Σταθμού Βάσης, έχει όμως υιοθετηθεί παγκοσμίως για την ευκολία που παρέχει στην ανάλυση και τη σχεδίαση των κυψελωτών συστημάτων. Η πραγματική ραδιοκάλυψη μιας κυψέλης εξαρτάται από τις κεραιές

εκπομπής και το φυσικό ανάγλυφο, είναι άμορφη και μπορεί να προκύψει από μετρήσεις ή από εφαρμογή μοντέλων διάδοσης.

### 5.2.1.1 Σχεδίαση Κυψελωτών Συστημάτων

Για να σχεδιάσουμε ένα κυψελωτό σύστημα, καθορίζοντας τις ομάδες διαύλων που πρέπει να αποδώσουμε σε κάθε κυψέλη, θεωρούμε δύο ακέραιους  $i$  και  $j$  ( $i \geq j$ ), που αποκαλούνται και παράμετροι ολίσθησης. Από την κυψελωτή δομή που έχει μια κυψέλη, παρατηρούμε ότι κάθε εξάγωνο συνορεύει με έξι όμοια εξάγωνα, που το καθένα είναι η αρχή μιας αλυσίδας εξαγώνων. Ξεκινώντας από οποιαδήποτε κυψέλη ως αναφορά, βρίσκουμε τις πλησιέστερες ομοδιαυλικές κυψέλες ως εξής:

- Μετακινούμαστε  $i$  κυψέλες κατά μήκος οποιασδήποτε αλυσίδας εξαγώνων.
- Στρέφουμε ανθρωπολογικά κατά  $60^\circ$  και στη συνέχεια,
- Μετακινούμαστε  $j$  κυψέλες κατά μήκος οποιασδήποτε αλυσίδας εξαγώνων προς την οποία στραφήκαμε.

Ο λόγος της απόστασης μεταξύ διαδοχικών ομοδιαυλικών κυψελών, προς την ακτίνα της κυψέλης, καλείται λόγος ομοδιαυλικής επαναχρησιμοποίησης (co-channel reuse ratio) ή περίοδος επαναχρησιμοποίησης.

Υπάρχει συνεπώς εξάρτηση του λόγου από τον αριθμό των κυψελών στο cluster. Στην ανάπτυξη των δικτύων, η επιλογή του αριθμού των κυψελών ανά cluster καθορίζεται τόσο από τις αναμενόμενες ομοδιαυλικές παρεμβολές, όσο και από τη χωρητικότητα του συστήματος σε αντίθεση με το θερμικό θόρυβο, που αντιμετωπίζεται με αύξηση του σηματοθορυβικού λόγου, η ομοδιαυλική παρεμβολή δεν καταπολεμάται με αύξηση της ισχύος του φέροντος στον πομπό, γιατί με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η παρεμβολή στις γειτονικές ομοδιαυλικές κυψέλες. Για τη μείωση της ομοδιαυλικής παρεμβολής, οι ομοδιαυλικές κυψέλες πρέπει να απέχουν μια ελάχιστη απόσταση, ώστε να παρέχεται ικανή απομόνωση λόγω των απωλειών διάδοσης.

Όσο ο αριθμός των κυψελών στο cluster  $N$  αυξάνει, η σχετική απόσταση μεταξύ ομοδιαυλικών κυψελών αυξάνει και αυτή και συνεπώς, μειώνεται η πιθανότητα για ομοδιαυλική παρεμβολή. Εξαιτίας του γεγονότος αυτού, ο λόγος επαναχρησιμοποίησης πολλές φορές καλείται και συντελεστής μείωσης ομοδιαυλικής παρεμβολής. Ο λόγος όμως της περιόδου επαναχρησιμοποίησης σχετίζεται και με την επιθυμητή χωρητικότητα κάθε κυψέλης και άρα, όλου του συστήματος, λόγω της εξάρτησης από το cluster  $N$ . Επομένως, προκύπτει ένα θέμα προσδιορισμού της ελάχιστης επιτρεπόμενης τιμής του λόγου. Η μείωση του λόγου στη χαμηλότερη δυνατή τιμή εξυπηρετεί τους στόχους του χαμηλού κόστους και της μεγάλης χωρητικότητας. Η αύξηση όμως στη μέγιστη δυνατή τιμή εξυπηρετεί το στόχο της καλής ποιότητας μετάδοσης.

### 5.2.2 Τύποι Κυψελών

Τα πρώτα κυψελωτά συστήματα εξυπηρετούσαν χρήστες που βρίσκονταν σε οχήματα και η ακτίνα των κυψελών εκτεινόταν σε αρκετά χιλιόμετρα. Κυψέλες με αρκετά μεγάλη ακτίνα, της τάξης μερικών δεκάδων χιλιομέτρων, καλούνται μακροκυψέλες (macrocells). Για την υποστήριξη περισσότερων συνδρομητών, δηλαδή μεγαλύτερης χωρητικότητας, οι ραδιοδιάυλοι επαναχρησιμοποιούνται, μειώνοντας ταυτόχρονα την ισχύ εκπομπής από τους Σταθμούς Βάσης. Προκύπτου

λοιπόν μικρότερες σε έκταση κυψέλες, που καλούνται μικροκυψέλες (picocells), οι οποίες χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα σε εσωτερικούς χώρους, αλλά και σε περιοχές υψηλής πυκνότητας τηλεπικοινωνιακή κίνηση, που ονομάζονται και hot-spots.

Για να εκμεταλλευτούμε τα πλεονεκτήματα όλων των τύπων των κυψελών, συνήθως σχεδιάζουμε τα δίκτυα με ιεραρχική δομή κυψελών, δηλαδή με επικάλυψη διαφορετικών τύπων κυψελών. Προκύπτουν έτσι δύο τύποι συστημάτων ιεραρχημένων κυψελών: τα συστήματα χαμηλής βαθμίδας ιεράρχησης (Low Tier Systems), όπου συνδυάζονται μικροκυψέλες και μικροκυψέλες, και τα συστήματα υψηλής βαθμίδας ιεράρχησης (High Tier Systems), όπου συνδυάζονται μικροκυψέλες και μακροκυψέλες. Τα χαμηλή βαθμίδας συστήματα χρησιμοποιούνται για την κάλυψη μικρών περιοχών με πεζούς χρήστες, ενώ τα υψηλής βαθμίδας υποστηρίζουν και χρήστες κινούμενους με υψηλές ταχύτητες. Γενικά, τα χαμηλής βαθμίδας συστήματα παρέχουν καλύτερη ποιότητα φωνής και μικρότερο κόστος, λόγω της απουσίας τεχνικών αντιμετώπισης της χρονικής διασποράς.

Μια άλλη κατηγορία κυψελών είναι αυτή των δορυφορικών συστημάτων που καλούνται megacells και καλύπτουν μεγάλες γεωγραφικές περιοχές. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας των κεραιών είναι πιθανή η παροχή ακόμη και μακροκυψελών από δορυφόρους χαμηλής τροχιάς ή από πλατφόρμες που παραμένουν στη στρατόσφαιρα.

### 5.2.3 Τεχνικές Μεταπομπής

Όταν ένας Κινητός Σταθμός, με κλήση σε εξέλιξη, διασχίζει τα όρια μιας κυψέλης, είναι απαραίτητη η μεταφορά της κλήσης σε γειτονικό Σταθμό Βάσης, κατά τρόπο μη αντιληπτό στο χρήστη, ώστε να διατηρηθεί η απαιτούμενη ποιότητα ζεύξης, χωρίς να προκληθεί παρεμβολή, ομοδιαυλική ή σε γειτονικούς διαύλους. Ο τύπος αυτός μεταπομπής καλείται διακυψελική μεταπομπή (intercell handoff). Πολλές φορές είναι επιθυμητή η μεταπομπή της κλήσης σε διαφορετικό δίαυλο της ίδιας κυψέλης, που παρουσιάζει ποιοτικά χαρακτηριστικά. Ο τύπος αυτός της μεταπομπής καλείται ενδοκυψελική μεταπομπή (intracell handoff). Γενικά, η διαδικασία μεταπομπής περιλαμβάνει δύο στάδια: πρώτον την εκτίμηση της ποιότητας της ζεύξης και την έναρξη της διαδικασίας μεταπομπής και δεύτερον την απόδοση των πόρων του συστήματος.

Είναι εύλογο να παρατηρήσει κανείς την εξάρτηση της μεταπομπής από το μέγεθος της κυψέλης. Όσο μικρότερες σε μέγεθος είναι οι κυψέλες, τόσο πιο γρήγορα πρέπει να ολοκληρώνεται η αξιολόγηση της ποιότητας της ζεύξης αλλά και ο αλγόριθμος μεταπομπής. Επιπλέον, έχει αποδειχθεί ότι ο ρυθμός μεταπομπών αυξάνει με ρυθμό ανάλογο της τετραγωνικής ρίζας της πυκνότητας των κλήσεων σε μακροκυψέλες, αλλά γραμμικά σε μικροκυψέλες.

Ανάλογα με τη συμμετοχή και το ρόλο του Σταθμού Βάσης και του Κινητού Σταθμού στην αξιολόγηση της ζεύξης και την έναρξη της μεταπομπής, μπορούμε να διακρίνουμε τρεις κατηγορίες αλγορίθμων μεταπομπών. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν αλγόριθμοι μεταπομπής με έλεγχο από το δίκτυο (Network-Controlled HandOff – NCHO), οι οποίοι και χρησιμοποιήθηκαν στα κυψελωτά συστήματα 1<sup>ης</sup> γενιάς, όπως το AMPS. Στους NCHO αλγόριθμους η ποιότητα της ζεύξης αξιολογείται αποκλειστικά από τους Σταθμούς Βάσης που ανήκουν στο ίδιο κέντρο μεταγωγής (MSC), όπου και αποφασίζετε η έναρξη της μεταπομπής.

Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν αλγόριθμοι μεταπομπής που υποβοηθούνται από τον Κινητό Σταθμό (Mobile-Assisted HandOff – MAHO), οι οποίοι χρησιμοποιούνται από πολλά 2<sup>ης</sup> γενιάς κυψελωτά συστήματα TDMA, όπως το GSM

και το IS-54. Στους MAHO αλγόριθμους, η αξιολόγηση της ποιότητας της ζεύξης με τον εξυπηρετούντα Σταθμό Βάσης γίνεται από τον ίδιο το Σταθμό Βάσης και τον Κινητό Σταθμό, ενώ η αξιολόγηση των ζεύξεων με εναλλακτικούς Σταθμούς Βάσης γίνεται μόνο από τον Κινητό Σταθμό και προωθείται προς τον εξυπηρετούντα Σταθμό Βάσης, ώστε να αποφασίσει με τη βοήθεια του MSC για την έναρξη της μεταπομπής. Τυπικά, οι MAHO αλγόριθμοι υποστηρίζουν διακυψελικές και ενδοκυψελικές μεταπομπές που διαρκούν το πολύ 2 δευτερόλεπτα και η ανανέωση των αξιολογήσεων είναι συχνή.

Στην Τρίτη κατηγορία ανήκουν αλγόριθμοι μεταπομπής με έλεγχο από τον Κινητό Σταθμό (Mobile-Controlled HandOff – MCHO), μια αποκεντρωμένη στρατηγική που χρησιμοποιείται από το σύστημα DECT. Οι MCHO αλγόριθμοι είναι ίδιοι με τους MAHO αλγόριθμους στον τρόπο αξιολόγηση της ζεύξης, αλλά στους MCHO ο εξυπηρετών Σταθμός Βάσης αποστέλλει τις μετρήσεις της ζεύξης στον Κινητό Σταθμό και η απόφαση για την έναρξη της μεταπομπής γίνεται από τον Κινητό Σταθμό. Η διάρκεια των μεταπομπών είναι περίπου 100msec, γεγονός που τους καθιστά ιδανικούς για μικροκυψελωτά και πικοκυψελωτά συστήματα.

Οι αλγόριθμοι μεταπομπής μπορούν να κατηγοριοποιηθούν και ανάλογα με τον τρόπο που γίνεται η μεταφορά της κλήσης στο νέο δίαυλο. Υπάρχουν λοιπόν οι backward handoff αλγόριθμοι οι οποίοι ενεργοποιούν τη διαδικασία μεταπομπής μέσω του εξυπηρετούντα Σταθμού Βάσης, χωρίς να υπάρχει πρόσβαση στο νέο δίαυλο, αν δεν επιβεβαιωθεί η απόδοση των πόρων. Επίσης, υπάρχουν και οι forward handoff αλγόριθμοι οι οποίοι ενεργοποιούν τη διαδικασία μεταπομπής μέσω διαύλου του νέου Σταθμού Βάσης, χωρίς να στηρίζονται στον παλιό δίαυλο. Αυτοί οι αλγόριθμοι είναι πιο γρήγοροι, αλλά με μικρότερη αξιοπιστία. Οι backward αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται στο GSM, ενώ οι forward στο DECT.

Μια επιπλέον διάκριση των αλγόριθμων μεταπομπής είναι σε hard, soft και softer handoff. Στους hard αλγόριθμους, ο Κινητός Σταθμός είναι συνδεδεμένος μόνο με έναν Σταθμό Βάσης κάθε στιγμή. Στους soft αλγόριθμους έχουμε διατήρηση πολλών, συνήθως δύο, ταυτόχρονα ραδιοζεύξεων και μια ζεύξη διακόπτεται μόνο, όταν το επίπεδο σήματος βρίσκεται κάτω από μια τιμή κατωφλίου. Τέλος, οι softer αλγόριθμοι αναφέρονται στην περίπτωση όπου ο Κινητός Σταθμός βρίσκεται στην επικαλυπτόμενη περιοχή από δύο γειτονικούς τομείς ενός Σταθμού Βάσης.

Οι soft και softer αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται από τα 3<sup>ης</sup> γενιάς δίκτυα, όπου αποτελούν και εργαλείο αντιμετώπισης των παρεμβολών. Επιπλέον των soft και softer αλγορίθμων, στο WCDMA, έχουμε και τους εξής τύπους μεταπομπών:

- Διασυχνοτικές hard μεταπομπές, που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά της κλήσης από ένα WCDMA φέρον σε κάποιο άλλο.
- Hard μεταπομπές μεταξύ συστημάτων π.χ. από WCDMA FDD σε WCDMA TDD ή GSM σε DECT.

Παρόλο που ο καλύτερος αλγόριθμος μεταπομπής είναι εκείνος που μεγιστοποιεί τη χωρητικότητα του δικτύου, υπάρχουν πολλά κριτήρια για την αποδοτικότητα ενός αλγορίθμου. Σε αυτά περιλαμβάνονται η πιθανότητα έναρξης της μεταπομπής, η πιθανότητα διακοπής της κλήσης και η καθυστέρηση έναρξης της μεταπομπής.



#### 5.2.4 Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση

Με τον όρο τηλεπικοινωνιακή κίνηση εννοούμε το φορτίο ενός συστήματος εξυπηρετών (servers). Είναι ένας καθαρός αριθμός χωρίς φυσική μονάδα, αν και, λόγω της μεγάλης σημασίας που έχει στη σχεδίαση των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, του αποδίδουμε τη μονάδα Erlang.

Στα συστήματα τηλεφωνίας οι εξυπηρετές είναι τα ζευκτικά κυκλώματα (trunks) και στα ασύρματα ραδιοσυστήματα είναι οι διαθέσιμοι ραδιοδίαυλοι. Συνεπώς, 1Erlang είναι η κίνηση που μεταφέρει ένας πλήρως κατειλημμένος ραδιοδίαυλος. Βέβαια, η άφιξη και η λήξη μιας τηλεφωνικής κλήσης είναι στοχαστικές διαδικασίες.

Εκείνο που ενδιαφέρει, τόσο το χρήστη όσο και το σχεδιαστή ενός συστήματος κινητών επικοινωνιών, είναι η δυνατότητα του χρήστη να προσπελάσει το σύστημα, κατά την ώρα του μέγιστου προσφερόμενου φορτίου κίνηση. Ορίζεται λοιπόν ο Βαθμός Εξυπηρέτησης (Grade of Service – GoS) σαν το μέτρο της μέγιστης αποδεκτής πιθανότητας μια κλήση είτε να χαθεί, είτε να βρίσκεται σε ουρά αναμονής για περισσότερο από συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Εναπόκειται στο σχεδιαστή του συστήματος να αποφασίσει για τον αριθμό των διαθέσιμων διαύλων, κατά τρόπο τέτοιο, ώστε να ικανοποιεί ένα προκαθορισμένο GoS, με δεδομένο το μέγιστο προσφερόμενο τηλεπικοινωνιακό φορτίο.

Το μοντέλο Erlang B περιγράφει ένα σύστημα στο οποίο οι κλήσεις αφικνούνται κατά Poisson, με μέσο ρυθμό  $\lambda$  και βρίσκουν πάντα ένα διαθέσιμο δίαυλο, μέχρι ένας μέγιστος αριθμός διαύλων να είναι κατειλημμένος. Στο σημείο αυτό, όποιες κλήσεις αφικνούνται, απορρίπτονται και υποθέτουμε ότι ο χρήστης δεν προσπαθεί ξανά.

Το μοντέλο Erlang C χρησιμοποιείται για συστήματα με  $n$  διαθέσιμους διαύλους, αλλά όταν οι δίαυλοι είναι κατειλημμένοι, κάθε νέα κλήση που καταφθάνει δεν απορρίπτεται, αλλά παραμένει σε ουρά αναμονής μέχρι να βρεθεί διαθέσιμος, δίαυλος. Το μοντέλο πλέον είναι μια ουρά  $M / M / n$  με κατανομή Poisson για τις αφίξεις και εκθετική κατανομή για τους χρόνους εξυπηρέτησης.

#### 5.2.5 Παρεμβολές

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της ασύρματης διάδοσης είναι η παρουσία παρεμβολών, που αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα περιορισμού της χωρητικότητας των συστημάτων κινητών επικοινωνιών. Η επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων στα κυβελωτά συστήματα αποτελεί τη βασική πηγή ομοδιαυλικών παρεμβολών, που προκύπτει από την πλήρη επικάλυψη της φασματικής πυκνότητας ισχύος του επιθυμητού και των ανεπιθύμητων σημάτων. Οι παρεμβολές λόγω επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων περιορίζονται χρησιμοποιώντας είτε τεχνικές δυναμικής απόδοσης διαύλων, είτε κατευθυντικές κεραιές, είτε τεχνικές ανίχνευσης πολλαπλών χρηστών. Όλες όμως αυτές οι τεχνικές αυξάνουν την πολυπλοκότητα του συστήματος. Άλλες πηγές παρεμβολών στα ασύρματα συστήματα είναι οι παρεμβολές στενής ζώνης, που προκαλούνται από χρήστες άλλων συστημάτων που λειτουργούν στην ίδια ζώνη συχνοτήτων. Οι παρεμβολές από γειτονικούς διαύλους αντιμετωπίζονται με τη χρήση διαστημάτων φύλαξης, μεταξύ των διαύλων, αλλά η τεχνική αυτή δεν είναι φασματικά αποδοτική. Οι παρεμβολές στενής ζώνης αντιμετωπίζονται με τη χρήση φίλτρων σχισμής (notch filters) ή τεχνικών διασποράς

φάσματος. Τα φίλτρα σχισμής είναι απλά στην υλοποίηση, αλλά προαπαιτούν τη γνώση της ακριβούς θέσης της παρεμβολής στο φάσμα. Οι τεχνικές διασποράς του φάσματος είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές στην αντιμετώπιση παρεμβολών στενής ζώνης, αλλά απαιτούν μεγάλη διασπορά του εύρους του σήματος και οδηγούν σε μεγάλη πολυπλοκότητα των συστημάτων. Για το λόγο αυτό οι τεχνικές διασποράς του φάσματος δεν χρησιμοποιούνται απλά για την αντιμετώπιση των παρεμβολών στενής ζώνης, αλλά για τα σημαντικά πλεονεκτήματα που παρέχουν στην πολλαπλή πρόσβαση των χρηστών στο ίδιο εύρος ζώνης.

#### 5.2.5.1 Ομοδιαυλικές Παρεμβολές και Θόρυβος

Οι κυψελωτές ραδιοζεύξεις συνήθως παρουσιάζουν το φαινόμενο του κατωφλίου (threshold effect), δηλαδή η ποιότητα της ζεύξης είναι αποδεκτή, όταν ο μέσος λαμβανόμενος λόγος ισχύος φέροντος προς θόρυβο  $C / N$  και ο μέσος λόγος ισχύος φέροντος προς παρεμβολή  $C / I$  υπερβαίνουν συγκεκριμένες τιμές κατωφλίου. Οι τιμές κατωφλίου εξαρτώνται από πολλές παραμέτρους της ραδιοζεύξης, συμπεριλαμβανομένων του είδους της διαμόρφωσης, της κωδικοποίησης, της αρχιτεκτονικής του δέκτη, του περιβάλλοντος διάδοσης, της επιθυμητής ποιότητας μετάδοσης και της ταχύτητας του Κινητού Σταθμού.

Για γρήγορα κινούμενους σταθμούς, οι απώλειες διάδοσης και η σκίαση καθορίζουν την ποιότητα της ζεύξης για δεδομένες τιμές κατωφλίου  $(C / N)_{th}$  και  $(C / I)_{th}$ . Όταν η ταχύτητα κίνησης είναι μικρή, τότε η ποιότητα της ζεύξης μπορεί να γίνει μη αποδεκτή, όταν ο διάυλος παρουσιάζει ισχυρές διαλείψεις.

#### 5.2.5.2 Παρεμβολές Γειτονικών Διαύλων

Οι παρεμβολές από γειτονικούς διαύλους προέρχονται από τη μερική επικάλυψη της φασματικής πυκνότητας ισχύος του επιθυμητού με τα ανεπιθύμητα σήματα. Η επικάλυψη οφείλεται στην ατελή υλοποίηση των φίλτρων του δέκτη, που επιτρέπουν τη διαρροή φασματικής πυκνότητας ισχύος στο εύρος συχνοτήτων του διαύλου. Το πρόβλημα γίνεται εντονότερο όταν ο χρήστης που χρησιμοποιεί γειτονικό διάυλο βρίσκεται σε μικρή απόσταση από το δέκτη του χρήστη με τον επιθυμητό διάυλο και η ισχύς της παρεμβολής που προκαλεί είναι αυξημένη. Το φαινόμενο καλείται near-far και μπορεί να εμφανισθεί και όταν ένας Κινητός Σταθμός που βρίσκεται κοντά στο Σταθμό Βάσης, εκπέμπει σε γειτονικό διάυλο εκείνου στον οποίο εκπέμπει ένας άλλος Κινητός Σταθμός που βρίσκεται μακριά από το Σταθμό Βάσης. Συνέπεια του φαινομένου είναι ο Σταθμός Βάσης να μην είναι σε θέση να διαχωρίσει τον επιθυμητό Κινητό Σταθμό.

Οι παρεμβολές γειτονικών διαύλων περιορίζονται τόσο με τη χρήση ικανοποιητικού φίλτρου, όσο και με την προσεκτική απόδοση των συχνοτήτων στους Σταθμούς Βάσης. Συγκεκριμένα, σε έναν Σταθμό Βάσης μπορούν να αποδοθούν συχνότητες μη γειτονικές και έτσι να διατηρήσουμε όσο μεγαλύτερη απόσταση γίνεται μεταξύ των διαύλων του ίδιου Σταθμού Βάσης. Όσο μικρότερη είναι η απόσταση επαναχρησιμοποίησης σε ένα κυψελωτό σύστημα, η ισχύς των παρεμβολών από τους γειτονικούς διαύλους είναι μεγαλύτερη και θα πρέπει η απόσταση των διαύλων στο Σταθμό Βάσης να είναι μεγάλη. Αν ο παρεμβάλλον διάυλος δεν είναι ο αμέσως διπλανός, μπορούμε να χαλαρώσουμε τις απαιτήσεις του φίλτρου και όσο πιο πολύ απομακρυνόμαστε από τη ζώνη διέλευσης, τόσο πιο μικρή μπορεί να είναι η κλίση της εξασθένησης του φίλτρου.

Επίσης, να θυμίσουμε ότι σε TDD συστήματα διαφορετικών παροχών που λειτουργούν στην ίδια γεωγραφική περιοχή, χωρίς όμως κάποιο μεταξύ τους συντονισμό, προκύπτει ισχυρή παρεμβολή γειτονικών διαύλων που αντιμετωπίζεται μόνο με επαρκή απόσταση των ζωνών συχνοτήτων που χρησιμοποιούν οι πάροχοι και με τη χρήση απότομων φίλτρων.

### **5.2.6 Τεχνικές Βελτίωσης Φασματικής Απόδοσης**

Υπάρχουν πολλές τεχνικές βελτίωσης της φασματικής απόδοσης των κυψελωτών συστημάτων, συμπεριλαμβανομένων της τομεοποίησης των κυψελών (cell sectoring), της διάσπαση των κυψελών (cell splitting), της χρήσης έξυπνων κεραιών μεταγωγής λοβού (switched-beam smart antennas) και των ιεραρχικών κυψελωτών δομών. Η φασματική απόδοση των συστημάτων είναι αντιστρόφως ανάλογη της έκτασης των κυψελών. Βέβαια με τη μείωση του μεγέθους των κυψελών, έχουμε επιδείνωση του προβλήματος των γρήγορων μεταπομπών. Πολλές φορές, αντί να μειώσουμε το μέγεθος των κυψελών, μειώνουμε το μέγεθος των ομάδων επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων (clusters), αυξάνοντας την επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων.

#### **5.2.6.1 Τομεοποίηση Κυψελών**

Η τομεοποίηση κυψελών είναι μια πολύ κοινή μέθοδος για τον περιορισμό των ομαδιαυλικών παρεμβολών. Κάθε κυψέλη χωρίζεται σε τομείς με τη χρήση κατευθυντικών κεραιών. Συνηθέστερες εφαρμογές είναι τομείς των  $120^\circ$  και των  $60^\circ$ , αν και υπάρχουν και υλοποιήσεις με τομείς των  $90^\circ$ .

Οι συχνοτήτες των φερόντων, που έχουν αποδοθεί στην κυψέλη, χωρίζονται σε ομάδες ανά τομέα. Είναι πλέον εμφανής η μείωση των πρωταρχικών ομοδιαυλικών παρεμβολών από έξι σε δύο, για σενάριο επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων με 7 κυψέλες ανά cluster και τομεοποίηση  $120^\circ$

#### **5.2.6.2 Διάσπαση Κυψελών**

Κατά τη διαδικασία της διάσπασης κυψελών (cell splitting), χωρίζουμε την κυψέλη σε μικρότερες κυψέλες, δημιουργώντας νέους Σταθμούς Βάσης σε προκαθορισμένες περιοχές της αρχικής κυψέλης, με μειωμένη εκπεμπόμενη ισχύ και συνεπώς μικρότερη ακτίνα κάλυψης, ώστε να αυξηθεί η χωρητικότητα του συστήματος με την αυξημένη επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων. Με τη συνεχή διάσπαση κυψελών, είναι δυνατή η αντιμετώπιση αυξημένου φορτίου τηλεπικοινωνιακής κίνησης.

Παρατηρούμε από τη μέχρι τώρα ανάλυση ότι η διάσπαση των κυψελών συνεπάγεται μείωση της ακτίνας της κυψέλης και προσθήκη νέων Σταθμών Βάσης με κέρδος την αύξηση της χωρητικότητας. Στην πράξη ένας σχεδιαστής επιθυμεί να χρησιμοποιεί αρχικά μεγάλη ακτίνα κυψελών και όταν παραστεί ανάγκη για επέκταση του δικτύου και αύξηση της χωρητικότητας προβαίνει στη μείωση της ακτίνας σύμφωνα με τις ανάγκες.

### **5.2.7 Τεχνικές Απόδοσης Διαύλων**

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των κυψελωτών συστημάτων με επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων είναι η δυνατότητα για δυναμική απόδοση

διαύλων, ανάλογα με τις ανάγκες για τηλεπικοινωνιακή κίνηση. Οι ραδιοπόροι του συστήματος προκύπτουν, ανάλογα με την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης (FDMA, TDMA, SDMA, CDMA) που χρησιμοποιείται. Στις FDMA και TDMA τεχνικές, ο ίδιος δίαυλος χρησιμοποιείται σε διαφορετικές κυψέλες με μοναδικό γνώμονα το επίπεδο των παρεμβολών. Στο CDMA κάθε χρήστης χρησιμοποιεί τον ίδιο δίαυλο, αλλά διαφορετική ψευδοτυχαία ακολουθία για τη διασπορά του φάσματος. Έχουμε δηλαδή ταυτόχρονα διαθεσιμότητα και επαναχρησιμοποίηση όλου του φάσματος, σε κάθε κυψέλη, και συνεπώς η δυνατότητα για δυναμική απόδοση των ραδιοπόρων του συστήματος είναι έμφυτη. Κάθε νέα κλήση εγκαθίσταται μόνο όταν η συνολική προκύπτουσα παρεμβολή είναι μικρότερη από την προκαθορισμένη τιμή κατωφλίου. Συνεπώς, το πρόβλημα της απόδοσης των ραδιοπόρων του συστήματος στο CDMA συνδέεται άμεσα με τις τεχνικές ελέγχου ισχύος στην ευθεία και την αντίστροφη ζεύξη. Βέβαια και στις FDMA και TDMA τεχνικές εφαρμόζεται έλεγχος ισχύος, αλλά δεν επηρεάζει τόσο πολύ τη χωρητικότητα του συστήματος, όπως στο CDMA.

Το πρόβλημα της απόδοσης των ραδιοπόρων ενός συστήματος μπορεί να περιγραφεί ως εξής: Με δεδομένη μια ομάδα διαύλων, που προκύπτουν από καθαρισμένη διαθέσιμη φασματική περιοχή, πρέπει να αποδοθούν οι δίαυλοι και το επίπεδο ισχύος εκπομπής, έτσι ώστε για κάθε ομάδα διαύλων που αποδίδεται σε μια κυψέλη, ο λόγος ισχύος του φέροντος προς παρεμβολή θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από μια τιμή κατωφλίου.

Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες τεχνικών απόδοσης διαύλων: η σταθερή απόδοση διαύλων (Fixed Channel Assignment – FCA), η ελαστική απόδοση διαύλων (Flexible Channel Assignment) και η δυναμική απόδοση διαύλων (Dynamic Channel Assignment – DCA).

#### **5.2.7.1 Σταθερή Απόδοση Διαύλων**

Με την τεχνική αυτή, σε κάθε κυψέλη αποδίδεται ένας σταθερός αριθμός διαύλων. Σε περίπτωση που όλοι οι δίαυλοι είναι κατειλημμένοι, μια νέα κλήση ή μια προσπάθεια για μεταπομπή θα απορριφθεί. Οι πιθανότητες απόρριψης είναι δυνατό να μειωθούν αν χρησιμοποιηθούν διάφορα σενάρια δανεισμού διαύλων από γειτονικές κυψέλες. Η πιο βασική τεχνική είναι ο απλός δανεισμός, όπου αποδίδεται ένας δανεικός δίαυλος σε κάποιο χρήστη, με την προϋπόθεση ότι δεν προκαλεί ομοδιαυλική παρεμβολή. Όταν γίνεται δανεισμός διαύλου, όλες οι υπόλοιπες κυψέλες του cluster δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν τον ίδιο δίαυλο. Η αποδοτικότητα της τεχνικής δανεισμό μειώνεται σε συνθήκες υψηλής κίνησης και η χρήση των διαύλων γίνεται χειρότερη από την FCA τεχνική. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται εν μέρει χρησιμοποιώντας μια υβριδική τεχνική, όπου οι δίαυλοι σε κάθε κυψέλη χωρίζονται σε δύο ομάδες: σε εκείνη που οι δίαυλοι ανήκουν αποκλειστικά στην κυψέλη και σε εκείνη που οι δίαυλοι είναι διαθέσιμοι προς δανεισμό. Υπάρχουν αρκετές παραλλαγές της τεχνικής αυτή και ο λόγος του αριθμού των διαύλων κάθε ομάδας μπορεί να μεταβάλλεται δυναμικά ανάλογα με τις αλλαγές στην τηλεπικοινωνιακή κίνηση.

#### **5.2.7.7 Δυναμική Απόδοση Διαύλων**

Με την τεχνική αυτή οι δίαυλοι ή τα φέροντα δεν αποδίδονται μόνιμα σε κυψέλες. Κάθε κυψέλη μπορεί να χρησιμοποιήσει οποιοδήποτε δίαυλο ή φέρον, που δεν παραβιάζετε τον κανόνα επαναχρησιμοποίησης διαύλων ή συχνοτήτων. Ο διαχωρισμός μεταξύ διαύλων και φερόντων γίνεται γιατί στα TDMA συστήματα υπάρχουν πολλαπλοί δίαυλοι ανά φέρον και μπορεί να αποδίδονται ανεξάρτητα ή σε

ομάδες διαύλων ανά φέρον. Οι DCA τεχνικές είναι πολύ πιο αποδοτικές από τις FCA τεχνικές, ιδιαίτερα σε συνθήκες ανομοιογενούς και χρονικά μεταβαλλόμενης κίνησης.

Υπάρχουν DCA τεχνικές που διαφέρουν στην κατανομή του ελέγχου και την επικοινωνία μεταξύ των Σταθμών Βάσης. Έτσι, έχουμε τις κεντρικές (centralized DCA) με χαρακτηριστικό παράδειγμα τη μέγιστη ομαδοποίηση (Maximum Packing – MP), που απαιτούν πληροφορίες σε επίπεδο συστήματος για την απόδοση των διαύλων, τις αποκεντρωμένες (decentralized DCA) τεχνικές που απαιτούν επικοινωνία μεταξύ κάποιων ομάδων Σταθμών Βάσης και τις πλήρως αποκεντρωμένες (fully-decentralized DCA) τεχνικές, όπου δεν υπάρχει καθόλου επικοινωνία μεταξύ των Σταθμών Βάσης. Οι πλήρως αποκεντρωμένες τεχνικές είναι ιδανικές για ασύρματα συστήματα τηλεφωνίας που χρησιμοποιούν αλγορίθμους μεταπομπής MCHO, όπως το DECT, και βασίζονται μόνο στην παρακολούθηση των τοπικών παρεμβολών για την απόδοση των διαύλων.

Στην τεχνική μέγιστης ομαδοποίησης μια κλήση ή μια αίτηση για μεταπομπή απορρίπτεται μόνον όταν δεν μπορεί να γίνει αναδιάταξη των κλήσεων σε όλο το σύστημα, ώστε να υπάρξει διαθέσιμος δίαυλος.

Παραδείγματα αποκεντρωμένων τεχνικών είναι η απλή δυναμική απόδοση διαύλων (simple DCA), η οποία απαιτεί επικοινωνία μεταξύ μικρού αριθμού Σταθμών Βάσης, που καλείται γειτονικά παρεμβολών, και η δυναμική απόκτηση πόρων (Dynamic Resource Acquisition – DRA), στην οποία ο δίαυλος που θα αποδοθεί σε μια κλήση ή μεταπομπή θα πρέπει να ελαχιστοποιεί μια συνάρτηση κόστους, ενώ ο δίαυλος που θα αποδεσμευτεί λόγω λήξης της κλήσης ή της μεταπομπής, πρέπει να μεγιστοποιεί μια συνάρτηση ανταμοιβής. Οι συναρτήσεις κόστους και ανταμοιβής επιλέγονται ώστε να μεγιστοποιούν τη φασματική απόδοση του συστήματος για δεδομένο βαθμό εξυπηρέτησης.

### **5.2.7.3 Ελαστική Απόδοση Διαύλων**

Οι τεχνικές ελαστικής απόδοσης διαύλων συνδυάζουν χαρακτηριστικά των FCA και των DCA τεχνικών. Σε κάθε κυψέλη αποδίδεται μι σταθερή ομάδα διαύλων, αλλά μια ομάδα διαύλων κρατείται για ελαστική απόδοση από το κέντρο μεταγωγής. Η απόδοση των ελαστικών διαύλων μπορεί να είναι είτε προγραμματισμένη είτε προβλέψιμη. Στην προγραμματισμένη απόδοση θεωρούμε ότι μελλοντικές αλλαγές στην κατανομή της τηλεπικοινωνιακής κίνησης υποδεικνύονται στο χώρο και το χρόνο, οπότε οι αλλαγές στην απόδοση των ελαστικών διαύλων γίνονται σε προκαθορισμένες κορυφές της μεταβολής της κίνησης. Στην προβλέψιμη απόδοση, το φορτίο κίνησης μετράτε συνεχώς ή περιοδικά σε κάθε Σταθμό Βάσης και η απόδοση γίνεται με βάση αυτές τις μετρήσεις.

### 5.3 ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Πως καλείται η κατανομή του εύρους ζώνης με απόδοση αποκλειστικών διαύλων?
- Τυχαία πρόσβαση
  - Πολλαπλή πρόσβαση

Σωστή απάντηση το b σελίδα 291

2. Τα πρωτόκολλα φάσματος στηρίζονται στη χρήση του ίδιου φάσματος από διαφορετικά συστήματα χωρίς συντονισμό:
- Σωστό
  - Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 291

3. Ποιες τεχνικές χρησιμοποιούνται για τη συνεχή αμφίδρομη επικοινωνία ενός χρήστη με το δίκτυο?
- FDD
  - TDD
  - GSM
  - Όλα τα παραπάνω
  - Το a και b

Σωστή απάντηση το e σελίδα 291

4. Οι τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης μπορούν να διαιρεθούν:
- Στις τεχνικές συχνότητας (FDMA)
  - Στις τεχνικές χρόνου (TDMA)
  - Στις τεχνικές κώδικα (CDMA)
  - Στις τεχνικές χώρου (SDMA)
  - Ο συνδυασμός όλων των παραπάνω

Σωστή απάντηση το e σελίδα 292

5. Περιγράψτε με τη μορφή σχήματος τις 4 τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης (FDMA, TDMA, CDMA, SDMA):

Σωστή απάντηση σχήμα 5.1 σελίδα 292

6. Στην τεχνική CDMA το σήμα πληροφορίας στενής ζώνης διαμορφώνεται από ένα ευρείας ζώνης σήμα διασποράς:
- Σωστό
  - Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 294

7. Σημειώστε ποια από τα παρακάτω είναι σημαντικά πλεονεκτήματα της τεχνικής πρόσβασης TDMA:
- a) Δεν υπάρχουν προβλήματα ενδοδιαμόρφωσης
  - b) Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε υπηρεσίες φωνής και δεδομένων
  - c) Υποστηρίζει μεταβαλλόμενο ρυθμό μετάδοσης
  - d) Είναι φασματικά πιο αποδοτική μέθοδος αφού δεν χρησιμοποιεί συχνοτικά διαστήματα φύλαξης
  - e) Επειδή η μετάδοση γίνεται σε ριπές είναι δηλαδή ασυνεχής, προσφέρει μικρότερη κατανάλωση ισχύος
  - f) Τα προϊόντα που στηρίζονται σε τεχνολογία TDMA παράγονται μαζικά σε VLSI και έχουν μειωμένο κόστος
  - g) Παρέχει τη δυνατότητα μέτρησης της ποιότητας σε επίπεδο πλαισίου (frame)
  - h) Είναι ιδανική για περιπτώσεις με ιεραρχικές δομές κυψελών
  - i) Είναι πλέον δοκιμασμένη σε αποτελεσματική τεχνολογία

Σωστή απάντηση όλα τα παραπάνω σελίδα 293

8. Σημειώστε ποια από τα παρακάτω είναι τα πλεονεκτήματα των τεχνικών FDMA και TDMA:
- a) Δεν είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίηση του διαύλου από άλλους χρήστες
  - b) Έχουν σχετικά αραιή δομή επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων
  - c) Οι τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης σχετίζονται με το φαινόμενο των διαλείψεων
  - d) Όλα τα παραπάνω
  - e) Το a και c

Σωστή απάντηση το d σελίδα 293

9. Στους ημι-ορθογωνικούς κώδικες το γεγονός ότι δεν υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των κωδικών σε δεδομένο εύρος ζώνης καλείται soft capacity:
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 294

10. Με την τεχνική SDMA γίνεται έλεγχος της ακτινοβολούμενης Η/Μ ενέργειας για πολλαπλούς χρήστες στην περιοχή κάλυψης όπου ο έλεγχος επιτυγχάνεται με τη χρήση έξυπνων προσαρμοστικών κεραιών:
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το b σελίδα 295

11. Αναφέρετε τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη μείωση των παρεμβολών στα CDMA συστήματα που χρησιμοποιούν ημι-ορθογωνικούς κώδικες:
- a) Η χρήση έξυπνων κεραιών
  - b) Η τεχνική ταυτόχρονης ανάκτησης πολλαπλών χρηστών (multiuser detection)

Σωστή απάντηση σελίδα 295

12. Σημειώστε ποια από τα παρακάτω είναι πλεονεκτήματα της τεχνικής CDMA:
- a) Εκμεταλλευόμαστε τις σιωπηλές περιόδους στις τηλεφωνικές συνομιλίες
  - b) Δεν απαιτείται η χρήση ισοσταθμιστή (equalizer) για την αντιμετώπιση διασυμβολικής παρεμβολής
  - c) Στα κυψελωτά συστήματα δεν απαιτείται μεταπομπή στη συχνότητα
  - d) Επιτυγχάνει πολύ μεγαλύτερες χωρητικότητες σε επίπεδο χρηστών ανά κυψέλη
  - e) Δεν απαιτούνται πολύπλοκες τεχνικές απόδοσης και διαχείρισης του φάσματος
  - f) Έχει πολύ καλή συμπεριφορά όσον αφορά στην ασφάλεια της μετάδοσης των δεδομένων
  - g) Σε φυσιολογικές συνθήκες η προσθήκη ενός επιπλέον χρήστη επιδρά λίγο μόνο στην ποιότητα των υπηρεσιών των υπάρχοντων χρηστών
  - h) Είναι δυνατή η συνύπαρξη με άλλα αναλογικά συστήματα
  - i) Μπορεί να παρέχει εύρος ζώνης κατά απαίτηση (bandwidth on demand)

Σωστή απάντηση όλα τα παραπάνω σελίδα 294, 295

13. Τα πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης διακρίνονται σε:
- a) Στις τεχνικές ALOHA
  - b) Στα πρωτόκολλα δέσμευσης (reservation protocols) ή πρωτόκολλα απόδοσης κατά απαίτηση (demand-assignment)
  - c) Όλα τα παραπάνω

Σωστή απάντηση το c σελίδα 295

14. Για την μετάδοση υψηλών ρυθμών μεταφοράς δεδομένων η τεχνική slotted-ALOHA είναι πιο αποδοτική σε σχέση με την απλή τεχνική ALOHA για πολλούς χρήστες:
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το b σελίδα 295

15. Η τεχνική διασποράς φάσματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με την τεχνική ALOHA με στόχο την μείωση των συγκρούσεων των πακέτων:
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 296

16. Περιγράψτε πως χρησιμοποιείται η τεχνική ALOHA στα ενσύρματα δίκτυα.

Σωστή απάντηση σελίδα 296

17. Με τη μορφή σχήματος περιγράψτε τη δυσκολία αναγνώρισης συγκρούσεων στα ασύρματα δίκτυα (hidden terminal problem):

Σωστή απάντηση σχήμα 5.2 σελίδα 296



18. Με τη μορφή σχήματος περιγράψτε την αποφυγή προβλήματος κρυμμένων τερματικών στα ασύρματα τοπικά δίκτυα:

Σωστή απάντηση σχήμα 5.4 σελίδα 297

19. Τα πρωτόκολλα δέσμευσης (reservation protocols) αποδίδουν δίαυλους στους χρήστες κατά απαίτηση μέσω ενός αποκλειστικού διαύλου δεσμεύσεων:

- Σωστό
- Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 298

20. Αναφέρετε ποια είναι και τι κάνει η τεχνική τυχαίας πρόσβασης που συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των τεχνικών ALOHA και των πρωτοκόλλων δέσμευσης:

Η τεχνική είναι η Packet Reservation Multiple Access (PRMA) όπου ο χρόνος διαιρείται σε σχισμές και οι σχισμές οργανώνονται σε πλαίσια με  $N$  σχισμές ανά πλαίσιο.

Σωστή απάντηση σελίδα 298

21. Όλες οι τεχνικές τυχαίας πρόσβασης δεν απαιτούν επιβεβαιώσεις πακέτων για να εξασφαλίζεται η ορθή λήψη των πακέτων:

- Σωστό
- Λάθος

Σωστή απάντηση το b σελίδα 299

22. Τα κυψελωτά ραδιοσυστήματα στηρίζονται στην απόδοση αλλά όχι στην επαναχρησιμοποίηση των ραδιοδιαύλων στην περιοχή κάλυψης και εφαρμογής του συστήματος:

- Σωστό
- Λάθος

Σωστή απάντηση το b σελίδα 299

23. Σημειώστε ποια είναι τα στοιχεία που πρέπει να λάβουμε υπόψη πριν τη μετάδοση με χρήση πρωτοκόλλων φάσματος:

- Άκουσε πριν εκπέμψεις, ώστε να βεβαιωθείς ότι ο πομπός σου είναι ο μόνος χρήστης του φάσματος και να περιορισθεί έτσι η παρεμβολή σε άλλους χρήστες
- Περιορίσε τον χρόνο εκπομπής, ώστε να δίνεις τη δυνατότητα σε άλλους χρήστες να εκπέμψουν
- Περιορίσε την ισχύ εκπομπής, ώστε να μη προκαλείς παρεμβολή σε χρήστες γειτονικής ζώνης συχνοτήτων ή σε χρήστες που επαναχρησιμοποιούν το φάσμα σε κάποια απόσταση
- Όλα τα παραπάνω
- Το a και c

Σωστή απάντηση το d σελίδα 299

24. Σε κάθε Σταθμό Βάσης ενός κυψελωτού συστήματος αποδίδεται μια ομάδα ραδιοδιαύλων που χρησιμοποιείται σε μια μικρή γεωγραφική περιοχή:
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 300

25. Με τη βοήθεια σχήματος περιγράψτε την επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων στα κυψελωτά συστήματα:

Σωστή απάντηση σχήμα 5.6 σελίδα 300

26. Στα κυψελωτά συστήματα περιορίζοντας την περιοχή κάλυψης στα όρια μια κυψέλης είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίηση ομάδων διαύλων σε άλλες κυψέλες που απέχουν μεταξύ τους απόσταση ικανή, ώστε να εξασφαλίζεται το επίπεδο των ομοδιαυλικών παρεμβολών σε μη ανεκτά όρια:
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το b σελίδα 300

27. Πως καλείται η διαδικασία σχεδίασης, επιλογής και απόδοσης των ομάδων διαύλων σε όλους τους κυψελωτούς Σταθμού Βάσης του συστήματος?

Καλείται σχεδίαση απόδοσης συχνοτήτων (frequency planning) και οδηγεί σε ένα κυψελωτό δίκτυο με επαναχρησιμοποίηση συχνότητας (frequency re-use).

Σωστή απάντηση σελίδα 300

28. Η ραδιοκάλυψη μιας κυψέλης στα κυψελωτά συστήματα εξαρτάται:
- a) Από τις κεραίες εκπομπής
  - b) Από την ισχύ εκπομπής
  - c) Από το φυσικό ανάγλυφο της κυψέλης
  - d) Όλα τα παραπάνω

Σωστή απάντηση το d σελίδα 300

29. Δώστε τη σχέση υπολογισμού για το εμβαδόν ενός εξαγώνου καθώς και την απόσταση μεταξύ των κέντρων δύο γειτονικών κυψελών:

Σωστή απάντηση σχέσεις 5.3, 5.4 σελίδα 301

30. Δώστε τη σχέση υπολογισμού των αριθμών των κυψελών ανά ομάδα στα κυψελωτά συστήματα:

Σωστή απάντηση σχέση 5.5 σελίδα 303

31. Η απόσταση δύο οποιωνδήποτε ομοδιαυλικών κυψελών εξαρτάται από τον αριθμό των κυψελών στο cluster:
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 303

32. Δώστε τον ορισμό του λόγου ομοδιαυλικής επαναχρησιμοποίησης (co-channel reuse ratio):

Ορίζεται ως ο λόγος της απόστασης μεταξύ διαδοχικών ομοδιαυλικών κυψελών  $D$  προς την ακτίνα της κυψέλης  $R$ . Άρα  $D / R = \text{SQRT}(3N)$

Σωστή απάντηση σελίδα 303

33. Η αύξηση της ισχύος του φέροντος στον πομπό σε ένα κυψελωτό σύστημα επιτυγχάνει μείωση της παρεμβολής στις γειτονικές ομοδιαυλικές κυψέλες:
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το b σελίδα 303

34. Για να επιτύχουμε μείωση της ομοδιαυλικής παρεμβολής θα πρέπει οι ομοδιαυλικές κυψέλες να απέχουν μια ελάχιστη απόσταση ώστε να παρέχεται ικανή απομόνωση λόγω των απωλειών διάδοσης:
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 303

35. Οι κυψέλες με αρκετά μεγάλη ακτίνα της τάξης των μερικών δεκάδων χιλιομέτρων καλούνται:
- a) Μακροκυψέλες (macrocells)
  - b) Μικροκυψέλες (microcells)
  - c) Πικοκυψέλες (picocells)

Σωστή απάντηση το a σελίδα 305

36. Ποιο το εύρος της ακτίνα που έχουν οι μικροκυψέλες (microcells):
- a) 2-3 km
  - b) 1-2 km
  - c) 100-200 μέτρα

Σωστή απάντηση το b σελίδα 305

37. Οι πικροκυψέλες (picocells) χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα σε εξωτερικούς χώρους αλλά και σε περιοχές υψηλής πυκνότητας τηλεπικοινωνιακής κίνησης που ονομάζονται hot-spots:

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το b σελίδα 305

38. Που τοποθετούνται οι Σταθμοί Βάσης των μακροκυψελών (macrocells):

- a) Σε υψηλούς πύργους με καλή ορατότητα της περιοχής κάλυψης
- b) Πάνω από τις στέγες των κτιρίων και προορίζονται για παροχή υπηρεσιών στενής ζώνης
- c) Στο επίπεδο των δρόμων προς κάλυψη σε ύψη μέχρι 4m και αν πρόκειται για εσωτερικούς χώρους σε διαδρόμους ή και σε ανελκυστήρες

Σωστή απάντηση το a σελίδα 305

39. Που τοποθετούνται οι Σταθμοί Βάσης των μικροκυψελών (microcells):

- a) Σε υψηλούς πύργους με καλή ορατότητα της περιοχής κάλυψης
- b) Πάνω από τις στέγες των κτιρίων και προορίζονται για παροχή υπηρεσιών στενής ζώνης
- c) Στο επίπεδο των δρόμων προς κάλυψη σε ύψη μέχρι 4m και αν πρόκειται για εσωτερικούς χώρους σε διαδρόμους ή και σε ανελκυστήρες

Σωστή απάντηση το b σελίδα 305

40. Που τοποθετούνται οι Σταθμοί Βάσης των πικροκυψελών (picocells):

- a) Σε υψηλούς πύργους με καλή ορατότητα της περιοχής κάλυψης
- b) Πάνω από τις στέγες των κτιρίων και προορίζονται για παροχή υπηρεσιών στενής ζώνης
- c) Στο επίπεδο των δρόμων προς κάλυψη σε ύψη μέχρι 4m και αν πρόκειται για εσωτερικούς χώρους σε διαδρόμους ή και σε ανελκυστήρες

Σωστή απάντηση το c σελίδα 305

41. Αναφέρετε ποια από τα παρακάτω συστήματα κυψελών συνδυάζονται στα συστήματα χαμηλής βαθμίδας ιεράρχησης (Low Tier Systems):

- a) Μακροκυψέλες (macrocells)
- b) Μικροκυψέλες (microcells)
- c) Πικροκυψέλες (picocells)

Σωστή απάντηση το b και c σελίδα 305

42. Αναφέρετε ποια από τα παρακάτω συστήματα κυψελών συνδυάζονται στα συστήματα υψηλής βαθμίδας ιεράρχησης (High Tier Systems):

- a) Μακροκυψέλες (macrocells)
- b) Μικροκυψέλες (microcells)
- c) Πικροκυψέλες (picocells)

Σωστή απάντηση το a και b σελίδα 305

43. Με τη μορφή σχήματος περιγράψτε τους διάφορους τύπους κυψελών:

Σωστή απάντηση σχήμα 5.10 σελίδα 306

44. Η μεταπομπή σε μια κυψέλη δεν εξαρτάται από το μέγεθος της:

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το b σελίδα 307

45. Ο ρυθμός μεταπομπών μιας κυψέλης αυξάνεται με ρυθμό ανάλογο της τετραγωνικής ρίζας της πυκνότητας των κλήσεων στις μακροκυψέλες, ενώ στις μικροκυψέλες ο ρυθμός αυξάνεται γραμμικά:

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 307

46. Αναφέρετε τις 3 κατηγορίες αλγορίθμων μεταπομπών ανάλογα με τη συμμετοχή και το ρόλο του Σταθμού Βάσης και του Κινητού Σταθμού:

- a) Είναι οι αλγόριθμοι μεταπομπής με έλεγχο από το δίκτυο (Network-Controlled Handoff – NCHO)
- b) Είναι οι αλγόριθμοι μεταπομπής που υποβοηθούνται από τον Κινητό Σταθμό (Mobile-Assisted Handoff- MAHO)
- c) Είναι οι αλγόριθμοι μεταπομπής με έλεγχο από τον Κινητό Σταθμό (Mobile-Controlled Handoff – MCHO)

Σωστή απάντηση σελίδες 307, 308

47. Ποιοι αλγόριθμοι υποστηρίζουν μόνο διακυψελικές μεταπομπές που διαρκούν μερικά δευτερόλεπτα και η ανανέωση της αξιολόγησης της ποιότητας των ζευξέων δεν είναι συχνή:

- a) NCHO (Network-Controlled Handoff)
- b) MAHO (Mobile-Assisted Handoff)
- c) MCHO (Mobile-Controlled Handoff)

Σωστή απάντηση το a σελίδα 308

48. Ποιοι αλγόριθμοι υποστηρίζουν διακυψελικές και ενδοκυψελικές μεταπομπές που διαρκούν το πολύ 2 δευτερόλεπτα και η ανανέωση των αξιολογήσεων είναι συχνή:

- a) NCHO (Network-Controlled Handoff)
- b) MAHO (Mobile-Assisted Handoff)
- c) MCHO (Mobile-Controlled Handoff)

Σωστή απάντηση το b σελίδα 308

49. Ποιοι αλγόριθμοι θεωρούνται ιδανικοί για μικροκυβελωτά και πικοκυβελωτά συστήματα:
- a) NCHO (Network-Controlled Handoff)
  - b) MAHO (Mobile-Assisted Handoff)
  - c) MCHO (Mobile-Controlled Handoff)

Σωστή απάντηση το c σελίδα 308

50. Ποιοι αλγόριθμοι θεωρούνται πιο αξιόπιστοι για τη μεταφορά της κλήσης στο νέο δίαυλο:
- a) Backward handoff
  - b) Forward handoff

Σωστή απάντηση το a σελίδα 308

51. Σε ποιους αλγόριθμους έχουμε διατήρηση πολλών, συνήθως δύο, ταυτόχρονων ραδιοζεύξεων και μια ζεύξη διακόπτεται μόνο, όταν το επίπεδο σήματος βρίσκεται κάτω από μια τιμή κατωφλίου:
- a) Hard handoff
  - b) Soft handoff
  - c) Softer handoff

Σωστή απάντηση το b σελίδα 308, 309

52. Σε ποιους αλγόριθμους αναφερόμαστε όταν ο Κινητός Σταθμός είναι συνδεδεμένος με έναν Σταθμό Βάσης κάθε στιγμή:
- a) Hard handoff
  - b) Soft handoff
  - c) Softer handoff

Σωστή απάντηση το a σελίδα 308

53. Σε ποιους αλγόριθμους αναφερόμαστε όταν ο Κινητός Σταθμός βρίσκεται στην επικαλυπτόμενη περιοχή από δυο γειτονικούς τομείς ενός Σταθμού Βάσης:
- a) Hard handoff
  - b) Soft handoff
  - c) Softer handoff

Σωστή απάντηση το c σελίδα 309

54. Ποια είναι τα κριτήρια για την επιλογή της αποδοτικότητας ενός αλγόριθμου μεταπομπής:
- a) Η πιθανότητα έναρξης της μεταπομπής
  - b) Η πιθανότητα διακοπής της κλήσης
  - c) Η πιθανότητα καθυστέρησης έναρξης της μεταπομπής
  - d) Όλα τα παραπάνω

Σωστή απάντηση το d σελίδα 309

55. Με τη μορφή σχήματος αποδώστε το μοντέλο χαμένων κλήσεων κατά την τηλεπικοινωνιακή κίνηση:

Σωστή απάντηση σχήμα 5.11 σελίδα 311

56. Με τη μορφή σχήματος αποδώστε το μοντέλο αναμονής κλήσεων κατά την τηλεπικοινωνιακή κίνηση:

Σωστή απάντηση σχήμα 5.12 σελίδα 311

57. Ορίζουμε ως Βαθμό Εξυπηρέτησης (Grade of Service – GoS) το μέτρο της μέγιστης αποδεκτής πιθανότητας μιας κλήσης είτε να χαθεί, είτε να βρίσκεται σε ουρά αναμονής για περισσότερο από συγκεκριμένο χρονικό διάστημα:

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 311

58. Δώστε τη σχέση της τηλεπικοινωνιακής κίνησης που παράγει ο κάθε χρήστης και ένα σύνολο χρηστών:

Σωστή απάντηση σχέσεις 5.8, 5.9 σελίδες 311, 312

59. Δώστε τη σχέση της πιθανότητας απόρριψης (blocking probability) κατά το μοντέλο Erlang B:

Σωστή απάντηση σχέση 5.10 σελίδα 312

60. Το μοντέλο Erlang B περιγράφει ένα σύστημα στο οποίο οι κλήσεις αφικνούνται κατά Poisson, με μέσο ρυθμό  $\lambda$  και βρίσκουν πάντα ένα διαθέσιμο διάυλο, μέχρι ένας μέγιστος αριθμός διαύλων να είναι κατειλημμένος:

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 312

61. Δώστε τη σχέση πιθανότητας καθυστέρησης μιας κλήσης κατά το μοντέλο Erlang C:

Σωστή απάντηση σχέση 5.12 σελίδα 316

62. Δώστε τη σχέση πιθανότητας καθυστέρησης μιας κλήσης με την αντίστοιχη πιθανότητα απόρριψης κατά το μοντέλο Erlang B:

Σωστή απάντηση σχέση 5.13 σελίδα 316

63. Δώστε τη σχέση πιθανότητας μιας κλήσης να βρίσκεται στην ουρά για περισσότερο από συγκεκριμένο χρονικό διάστημα  $t$  συναρτήσει της μέσης χρονικής διάρκειας μιας κλήσης κατά το μοντέλο Erlang C:

Σωστή απάντηση σχέση 5.16 σελίδα 316

64. Με τη βοήθεια σχήματος περιγράψτε το μοντέλο κίνησης πακέτων δεδομένων:

Σωστή απάντηση σχήμα 5.15 σελίδα 320

65. Δώστε τις σχέσεις της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας, της συνάρτησης αθροιστικής κατανομής καθώς και την μέση τιμή του μεγέθους των πακέτων κατά την κατανομή Pareto:

Σωστή απάντηση σχέσεις 5.18, 5.19, 5.20 σελίδα 321

66. Δώστε την πιθανότητα η μέση λαμβανόμενη ισχύς να είναι μεγαλύτερη από μια τιμή κατωφλίου  $\gamma$  όταν η μέση τιμή της ισχύος ακολουθεί την λογαριθμοκανονική κατανομή:.

Σωστή απάντηση σχέση 5.21 σελίδα 321

67. Δώστε τις σχέσεις για το απαιτούμενο περιθώριο διαλείψεων (Fading Margin – FM) καθώς και την ακτίνα κάλυψης για δεδομένο περιβάλλον διάδοσης όταν η μέση τιμή της ισχύος ακολουθεί την λογαριθμοκανονική κατανομή:

Σωστή απάντηση σχέσεις 5.35, 5.36 σελίδα 326

68. Υπολογίστε την ακτίνα κάλυψης για πιθανότητα  $\Pr[Pr(R) > \gamma] = 75\%$  και  $\Pr[Pr(R) > \gamma] = 90\%$ , για σύστημα με συχνότητα λειτουργίας 1900MHz σε περιβάλλον με  $n=3$ ,  $\sigma=8\text{dB}$  και  $\Pr(100\text{m})=-80\text{dBm}$ . Υποθέστε ότι η ευαισθησία του δέκτη είναι  $-102\text{dBm}$ .

Σωστή απάντηση παράδειγμα 5.1 σελίδα 326

69. Ποιες από τις παρακάτω είναι τεχνικές μείωσης των ομοδιαυλικών παρεμβολών στα κυψελωτά συστήματα:

- Τεχνικές δυναμικής απόδοσης διαύλων
- Χρήση κατευθυντικών κεραιών
- Τεχνικές ανίχνευσης/ανάκτησης πολλαπλών χρηστών
- Όλα τα παραπάνω

Σωστή απάντηση το d σελίδα 327



70. Οι παρεμβολές από γειτονικούς διαύλους αντιμετωπίζονται με τη χρήση διαστημάτων φύλαξης μεταξύ των διαύλων όπου η τεχνική αυτή είναι φασματικά αποδοτική:
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το b σελίδα 327

71. Οι παρεμβολές στενής ζώνης αντιμετωπίζονται με τη χρήση φίλτρων σχισμής (notch filters) ή τεχνικών διασποράς φάσματος:
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 327

72. Η ποιότητα της ζεύξης κατά τις κυψελωτές ραδιοζεύξεις είναι αποδεκτή όταν ο μέσος λαμβανόμενος λόγος ισχύος φέροντος προς το θόρυβο C/N και ο μέσος λόγος ισχύος φέροντος προς παρεμβολή C/I δεν υπερβαίνουν συγκεκριμένες τιμές κατωφλίου:
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το b σελίδα 327

73. Από ποιες παραμέτρους εξαρτώνται οι τιμές κατωφλίου στις κυψελωτές ραδιοζεύξεις:
- a) Από τις παραμέτρους του είδους διαμόρφωσης
  - b) Από τις παραμέτρους της κωδικοποίησης
  - c) Από τις παραμέτρους της αρχιτεκτονικής του δέκτη
  - d) Από το περιβάλλον διάδοσης
  - e) Από την επιθυμητή ποιότητα διάδοσης
  - f) Από την ταχύτητα του Κινητού Σταθμού
  - g) Όλα τα παραπάνω

Σωστή απάντηση το g σελίδα 327

74. Δώστε τις σχέσεις της πιθανότητας θερμικού θορύβου και της πιθανότητας ομοδιαυλικής παρεμβολής:

Σωστή απάντηση σχέσεις 5.37, 5.38 σελίδα 328

75. Αναφέρετε τις 2 παραμέτρους που πρέπει να καθοριστούν για τη σχεδίαση ενός μακροκυψελωτού συστήματος:
- a) Είναι η απαιτούμενη ισχύς εκπομπής
  - b) Και ο συντελεστής επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων D/R

Σωστή απάντηση σελίδα 328

76. Ισχύει ότι όσο μειώνεται η πιθανότητα θερμικού θορύβου τόσο μειώνεται το απαιτούμενο περιθώριο για δεδομένη τιμή της πιθανότητας θερμικού θορύβου:
- α) Σωστό
  - β) Λάθος

Σωστή απάντηση το b σελίδα 329

77. Ισχύει ότι όσο αυξάνεται η τιμή της τυπικής απόκλισης  $\sigma_{pr}$  τόσο αυξάνεται και το απαιτούμενο περιθώριο για δεδομένη τιμή της πιθανότητας θερμικού θορύβου:
- α) Σωστό
  - β) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 329

78. Με τη βοήθεια σχήματος περιγράψτε την ομοδιαυλική παρεμβολή στην ευθεία ζεύξη:

Σωστή απάντηση σχήμα 5.19 σελίδα 331

79. Με τη βοήθεια σχήματος περιγράψτε την ομοδιαυλική παρεμβολή στην αντίστροφη ζεύξη:

Σωστή απάντηση σχήμα 5.20 σελίδα 332

80. Δώστε την προσεγγιστική σχέση για το λόγο φέροντος προς παρεμβολή στον Κινητό Σταθμό που τον συνδέει με το μέγεθος του cluster N κατά την ομοδιαυλική παρεμβολή:

Σωστή απάντηση σχέση 5.46 σελίδα 332

81. Οι παρεμβολές από γειτονικούς διαύλους προέρχονται από τη μερική επικάλυψη της φασματικής πυκνότητας ισχύος του επιθυμητού με τα ανεπιθύμητα σήματα:
- α) Σωστό
  - β) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 333

82. Για να περιορισθούν οι παρεμβολές γειτονικών διαύλων θα πρέπει ο Σταθμός Βάσης να είναι σε θέση να διαχωρίσει τον επιθυμητό Κινητό Σταθμό:
- α) Σωστό
  - β) Λάθος

Σωστή απάντηση το b σελίδα 333

83. Σημειώστε ποιες είναι οι τεχνικές βελτίωσης της φασματικής απόδοσης των κυψελωτών συστημάτων:
- a) Η τομεοποίηση των κυψελών (cell sectoring)
  - b) Η διάσπαση των κυψελών (cell splitting)
  - c) Η χρήση έξυπνων κεραιών μεταγωγής λοβού (switched-beam smart antennas)
  - d) Όλα τα παραπάνω

Σωστή απάντηση το d σελίδα 335

84. Αν μειώσουμε το μέγεθος των κυψελών μειώνεται το πρόβλημα των γρήγορων μεταπομπών:
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 335

85. Με την χρήση της τομεοποίησης των κυψελών η κάθε κυψέλη χωρίζεται σε συνηθισμένους τομείς των  $120^\circ$ ,  $60^\circ$  και  $90^\circ$ :
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 335

86. Με την τομεοποίηση κυψελών έχουμε αύξηση των ομοδιαυλικών παρεμβολών:
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το b σελίδα 335

87. Σημειώστε ποιο είναι το κόστος που προκύπτει από την τομεοποίηση των κυψελών:
- a) Ο αυξανόμενος αριθμός κεραιών στο Σταθμό Βάσης
  - b) Ο αυξανόμενος αριθμός μεταπομπών
  - c) Ο μειωμένος βαθμός χρησιμοποίησης των διαύλων
  - d) Όλα τα παραπάνω
  - e) Το a και b

Σωστή απάντηση το d σελίδα 336

88. Με τη βοήθεια σχήματος περιγράψτε την διαδικασία διάσπασης των κυψελών (cell splitting):

Σωστή απάντηση σχήμα 5.25 σελίδα 338

89. Με τη μορφή σχήματος περιγράψτε τη διάσπαση κυψελών ανά 3 κυψέλες για κάθε αρχική κυψέλη:

Σωστή απάντηση σχήμα 5.27 σελίδα 340

90. Στην πρώτη φάση διάσπασης 1:3 κυβελών απαιτείται εισαγωγή νέων Σταθμών Βάσης:
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το b σελίδα 340

91. Στην δεύτερη φάση διάσπασης 1:4 κυβελών απαιτείται εισαγωγή νέων Σταθμών Βάσης:
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 340

92. Ισχύει ότι μετά την πρώτη φάση διάσπασης σε συνεχείς διασπάσεις ο παράγοντας επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων  $K$  διατηρείται σταθερός:
- a) Σωστό
  - b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 340

93. Σε ποιες τεχνικές απόδοσης διαύλων ο ίδιος δίαυλος χρησιμοποιείται σε διαφορετικές κυψέλες με μοναδικό γνώμονα το επίπεδο των παρεμβολών:
- a) TDMA
  - b) FDMA
  - c) CDMA
  - d) SDMA
  - e) Όλα τα παραπάνω

Σωστή απάντηση το a και b σελίδα 341

94. Σε ποια τεχνική απόδοσης διαύλων ο κάθε χρήστης χρησιμοποιεί τον ίδιο δίαυλο, αλλά διαφορετική ψευδοτυχαία ακολουθία για τη διασπορά φάσματος:
- a) TDMA
  - b) FDMA
  - c) CDMA
  - d) SDMA
  - e) Όλα τα παραπάνω

Σωστή απάντηση το c σελίδα 341

95. Αναφέρεται τις 3 βασικές κατηγορίες τεχνικών απόδοσης διαύλων:
- a) Η σταθερή απόδοση διαύλων (Fixed Channel Assignment)
  - b) Η ελαστική απόδοση διαύλων (Flexible Channel Assignment)
  - c) Η δυναμική απόδοση διαύλων (Dynamic Channel Assignment)

Σωστή απάντηση σελίδα 342

96. Η τεχνική δανεισμού διαύλων μειώνεται σε συνθήκες υψηλής κίνησης στην κυψέλη και η χρήση των διαύλων γίνεται χειρότερη από την τεχνική σταθερής απόδοσης διαύλων (FCA):

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 342

97. Αναφέρεται τις 2 ομάδες που χωρίζεται η κάθε κυψέλη για να έχουμε αποτελεσματικότητα της τεχνικής FCA (Fixed Channel Assignment):

- a) Είναι η ομάδα όπου οι δίαυλοι ανήκουν αποκλειστικά στην κυψέλη
- b) Είναι η ομάδα όπου οι δίαυλοι είναι διαθέσιμοι προς δανεισμό

Σωστή απάντηση σελίδα 342

98. Οι τεχνικές FCA (Fixed Channel Assignment) είναι πιο αποδοτικές από τις DCA (Dynamic Channel Assignment) τεχνικές ιδιαίτερα σε συνθήκες ανομοιογενούς και χρονικά μεταβαλλόμενης κίνησης:

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το b σελίδα 342

99. Στην τεχνική δυναμικής απόδοσης διαύλων οι δίαυλοι ή τα φέροντα αποδίδονται μόνιμα σε κυψέλες:

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το b σελίδα 342

100. Οι τεχνικές ελαστικής απόδοσης διαύλων συνδυάζουν χαρακτηριστικά των FCA και DCA τεχνικών:

- a) Σωστό
- b) Λάθος

Σωστή απάντηση το a σελίδα 343

## 6. Βιβλιογραφία

1. ITU Web Page, <http://www.itu.int/imt>, ITU, 2000.
2. H.Zimmermann, "OSI Reference Model – The ISO Model of Architecture for Open Systems Interconnection", IEEE Trans. On Communications, vol. COM-28, No. 4, pp. 425-432, April, 1980.
3. J.D Day, "The (Un)Revised OSI Reference Model", Computer Commun. Rev., vol. 25, pp. 39-55, October 1995.
4. D.Comer, Internetworking with TCP/IP, Volume I: Principles, Protocols, and Architecture, Prentice Hall, 1995.
5. Andrew S. Tanenbaum, Δίκτυα Υπολογιστών, Τρίτη Έκδοση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2000.
6. EIA/TIA IS-54, Cellular System Dual Mode Mobile Station-Base Station Compability Specification, Telecommunications Industry Association, May, 1990.
7. Gilhousen K.S. Jacobs I.M. Padovani R. Viterbi A.J. Weaver L.A. and Wheatley III, C.E., "On the Capacity of a Cellular CDMA System", IEEE Trans. On Vehicular Technology, Vol. 40, pp. 303-312, May, 1991.
8. Knisely, N. Kumar, S. Laha, S. and Nanda, S., "Evolution of Wireless Data Services: IS-95 to cdma-2000", IEEE Trans. On Communications, Vol. 36. pp. 140-149, October, 1998.
9. Molisch, A.P. Novak, H. and Bonek, E., "The DECT radio link", Telektronikk, vol. 94, No. 2, pp. 45-53, 1998.
10. Lovsletten, J., "DECT as a part of personal communication", Telektronikk, vol. 94, No. 2, pp. 40-44, 1998.
11. E.C. Jordan and K.G. Balmain, Electromagnetic Waves and Radiating Systems, Prentice Hall Inc., New Jersey, Second Edition, 1968.
12. J.D. Krauss and D.A. Fleisch, Electromagnetics with Applications, Fifth Edition, McGraw-Hill, 1999.
13. P.Beckmann and A. Spizzichino, The Scattering of Electromagnetic Waves from Rough Surfaces, Artech House Inc., 1987.
14. L.B. Felsen and N. Marcuvitz, Radiation and Scattering of Waves, Prentice Hall, N.J., 1973.
15. ITU-R P.526-10, Propagation by diffraction, ITU, Geneva, 2007.
16. K. Bullington, "Radio Propagation af Frequencies About 30 Mc", Proc. IRE, vol. 35, No. 10, pp. 1122-1136, 1947.
17. J. Epstein and D.W. Peterson, "An Experimental Study of Wave Propagation at 850Mc", Proc. IRE, vol. 41, No.5, pp. 595-611, 1953.
18. G. Millington, R. Hewitt, F.S. Immirzi, "Double Knife-Edge Diffraction in Field-strength Prediction", IEE Monograph No. 507E, pp. 419-429, 1962.
19. J. Deygout, "Multiple Knife-Edge Diffraction of Microwaves", IEEE Trans. On Antennas & Propagation, vol. 14, No. 4, pp. 480-489, 1966.
20. Ram, S., Whinnery, J.R. and VanDuzer, T., Fields and Waves in Communication Electronics, John Wiley & Sons Ltd., 1994.
21. Y.Okumura, E. Ohmori and K. Fukuda, "Field strength and its Variability in VHF and UHF Land Mobile Radio Service", Rev. Elec. Commun. Lab., vol. 16, nos. 9 and 10, pp. 25-873, 1968.
22. COST 231 Final Report, Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems, 1991.

23. F. Ikegami, S. Yoshida, M. Umehira, "Propagation factors controlling mean field strength on urban streets", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 32, no. 8, pp. 822-828, August 1984.
24. ITU-R Handbook, Terrestrial land mobile radiowave propagation in the VHF/UHF bands, ITU, Geneva, 2002.
25. J.M. Keenan, A. J. Motley, "Radio coverage in buildings", *British Telecom Technology Journal*, vol.8, no. 1, pp. 19-24, Jan. 1990.
26. D.M.J. Devasirvatham, C. Banerjee, R.R. Murray, D.A. Rappaport, "Four-frequency radiowave propagation measurements of the indoor environment in a large metropolitan commercial building", In Proc. of *IEEE Globecom '91*, pp. 1281-1286, December 1991.
27. G.J.M Janssen, P.A. Stigter, R. Prasad, "Wideband indoor channel measurements and BER analysis of frequency selective multiath channels at 2.4, 4.75 and 11.5GHz", *IEEE Trans. On Communications*, vol. 44, No. 10, pp. 1272-1288, October 1996.
28. B. Sklar, "Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communication Systems Part I: Characterization", *IEEE Communications Magazine*, pp. 90-100, July 1997.
29. B. Sklar, *Digital Communications: Fundamentals and Applications*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1988.
30. W.C. Jakes, *Microwave Mobile Communications*, John Wiley and Sons Ltd., 1974.
31. L.A. Zadeh, "Frequency Analysis of Variable Networks", *Proceedings IRE*, vol. 38, pp. 291-299, 1950.
32. T. Kailath, "Sampling models for linear time variant filters", M.I.T. Research Lab of Electronics, Cambridge, Mass., Rep. No. 352, 1959.
33. P.A. Bello, "Characterization of randomly time-variant linear channels", *IEEE Trans. On Communications*, vol. 11, pp. 360-393, December 1963.
34. N. Skentos, A.G. Kanatas, P.I. Dallas, P. Constantinou: "MIMO Channel Characterization for Short Range Fixed Wireless Propagation Environments", *Wireless Personal Communication (An International Journal on)*, vol. 36, No. 4, pp. 339-361, March 2002.
35. Theodore S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice (2<sup>nd</sup> Edition)*, Pearson Education, 2002.
36. R. Clarke, "A statistical theory of mobile radio reception", *Bell System Technical Journal*, vol. 47, pp. 957-1000, 1968.
37. M. Nagakami, "The m distribution: a general formula of intensity distribution of rapid fading", *Statistical Methods in Radio Wave Propagation*, W.G. Hoffman, ed., Pergamon Press, pp. 3-36, 1960.
38. Huffman, D., A., "A method for the construction of minimum redundancy codes", *Proceedings of the IRE*, vol. 40, pp. 1098-1101, September 1962.
39. Ziv, J., and Lempel, A., "A universal algorithm for sequential data compression", *IEEE Trans. Infor. Theory*, vol. IT-23, pp. 337-343, May 1977.
40. Ziv, J., and Lempel, A., "Compression of individual sequences via variable-rate coding", *IEEE Trans. Infor. Theory*, vol. IT-24, pp. 530-536, Sep. 1978.
41. G. D. Forney, Jr., *Concatenated Codes*. Cambridge, MA: MIT Press, 1966.
42. D.J.G. Mestdagh, and P.M.P. Spruyt, "A method to reduce clipping in DMT-based transceivers", *IEEE Trans. Commun.*, pp. 1234-1238, Oct. 1996.

43. G.D. Pantos, A.G. Kanatas, and Ph. Constantinou, "Performance evaluation of OFDM transmission over a challenging urban propagation environment", *IEEE Trans. On Broadcast.*, vol. 49(1), pp. 87-96, March 2003.
44. Le Floch, B., Alard, M., and Berrou, C., "Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing", *Proc. IEEE*, 83(6), pp. 982-996, June 1995
45. R.L. Peterson, R.E. Ziemer, and D.E. Borth, *Introduction to Spread Spectrum Communications*, UpperSaddle River, NJ: Prentice Hall, 1995.
46. R.Gold, "Optimal binary sequences for spread spectrum multiplexing (Corresp.)", *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 13, No. 4, pp. 619-621, 1967.
47. Cox, D., C., "Antenna Diversity Performance in Mitigating the Effects of Portable Radiotelephone Orientation and Multipath Propagation", *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-31, No. 5, pp. 620-628, May 1983.
48. Kahn, L., "Ratio Squarer", *Proceedings of IRE (Correspondence)*, vol. 42, pp. 1074, Nov. 1954.
49. Alamouti, S., M., "A simple transmitter diversity scheme for wireless communication", *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, vol. 16, pp. 1451-1458, 1998.
50. C.E. Shannon, "A mathematical theory of communication", *Bell System Tech. J.*, pp. 379-423, 623-656, 1948.
51. C.E. Shannon and W.Weaver, *The mathematical theory of communication*, University of Illinois Press, Urbana, 1949.
52. John G. Proakis, *Digital Communications*, McGraw Hill Inc., second edition. 1989.
53. A.J. Viterbi, *CDMA Principles of Spread Spectrum Communication*, Addison Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts, 1995.
54. V.H. MacDonald, "The cellular concept", *The Bell Systems Technical Journal*, vol. 58, No. 1, pp. 15-43, Jan. 1979.
55. T.S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*, Prentice Hall PTR, New Jersey, 1996.
56. G.I. Zysman, J.A. Tarallo, R.E. Howard, J. Freidenfelds, R.A. Valenzuela, P.M. Mankiewich, "Technology evolution for mobile and personal communications", *Bell Labs Tech. Journal*, vol. 5, Iss. 1, pp. 107-129, 2000.
57. <http://www.femtoforum.org>
58. S.Nanda, "Teletraffic models for urban and suburban microcells: Cell sizes and handoff rates", *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. 42, pp. 673-682, Nov. 1993.
59. H. Holma, A. Toskala, *WCDMA for UMTS*, John Wiley & Sons Ltd., UK, 2000.
60. A.M. Viterbi, and A.J. Viterbi, "Erlang Capacity of a Power Controlled CDMA System", *IEEE J. on Sel. Areas Commun.*, vol. 11, pp. 892-900, August 1993.
61. S. Tekinay and B. Jabbari, "Handover and Channel Assignment in Mobile Cellular Networks", *IEEE Trans. On Communications*, vol. 29, pp. 42-46, November 1991.
62. G. Falciasacca, M. Frullone, G. Riva, M. Sentinelli, and A.M. Serra, "Investigation on a dynamic channel allocation for high capacity mobile radio systems", *IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 176-181, Philadelphia, USA, 1988.



63. H. Panzer, and R.Beck, “Adaptive resource allocation in metropolitan area cellular mobile radio systems”, IEEE Vehicular Technology Conference, pp. 638-645, Orlando, USA, 1990.
64. D.E. Everitt, and N.W. MacFayden, “Analysis of multicellular mobile radiotelephone systems: a model and evaluation”, British Telecomm Technical Journal, vol. 1, pp. 37-45, 1983.
65. K.A. West, and G.L. Stuber, “An aggressive dynamic channel assignment strategy for a microcellular environment”, IEEE Trans. On Vehicular Technology, vol. 43, pp. 1027-1038, November 1994.
66. J.Tajima, and K. Imamura, “A strategy for flexible channel assignment in mobile communications systems”, IEEE Trans. On Vehicular Technology, vol. 37, pp. 92-103, May 1988.
67. 3GPP Web Page, <http://www.3gpp.org>. 3GPP2, 2000.
68. Α. Κανάτας, Φ. Κωνσταντίνου, και Γ. Πάντος “Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών”, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2008.