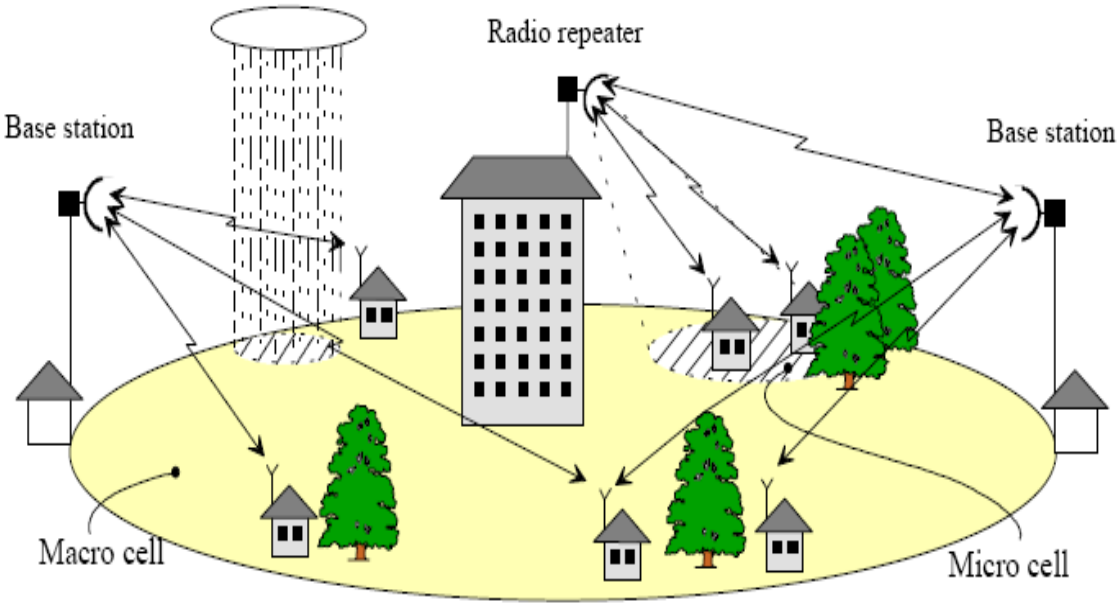
Α.Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ - ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΕΠΙΛΟΓΗΣ
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ Η/Υ

Π Τ Υ Χ Ι Α Κ Η Ε Ρ Γ Α Σ Ι Α

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΣΗΜΕΙΟΥ ΠΡΟΣ ΠΟΛΛΑ ΣΗΜΕΙΑ

LOCAL MULTIPOINT DISTRIBUTION SERVICE (L.M.D.S.)



ΧΑΝΙΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2005

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΜΠΑΡΜΠΟΥΝΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ: ΜΑΝΤΑΤΗ ΑΦΡΟΔΙΤΗ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ:

Η εργασία αυτή αφιερώνεται στους γονείς μου που τόσα χρόνια στήριξαν τις προσπάθειές μου, πίστεψαν σε μένα και βοήθησαν στην επίτευξη των στόχων μου.
Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους τους διδάσκοντες του Προγράμματος Σπουδών Επιλογής του Παραρτήματος Χανίων ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ που υπήρξαν καθηγητές μου κατά την διάρκεια των προπτυχιακών μου σπουδών.
Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον Δρ. Μπαρμπουνάκη Ιωάννη, εισηγητή της πτυχιακής μου εργασίας που με την βοήθειά του, τις οδηγίες του και την υπομονή του κατάφερα να ολοκληρώσω την εργασία αυτή.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ 10
2. ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ L.M.D.S.; 11
2.1 L.M.D.S. (Local Multipoint Distribution System) 11
2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα 12
3. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ L.M.D.S. & ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ 14
3.1 Κατηγορίες χρηστών 14
3.1.1 Corporations (CORP) – Μεγάλες Εταιρείες 15
3.1.2 Small-medium sized enterprises (SME) – Μικρομεσαίες επιχειρήσεις 15
3.1.3 Small office and home office users (SOHO) – Μικρά γραφεία 16
3.1.4 Private Households (HH) – Νοικοκυριά 16
3.2 Γεωγραφικός καταμερισμός χρηστών 16
3.3 Καθορισμός και ταξινόμηση υπηρεσιών του L.M.D.S. 17
3.3.1 Υπηρεσία τηλεδιάσκεψης 18
3.3.2 Υπηρεσία φωνής 18
3.3.3 Περιήγηση ιστοσελίδων και πρόσβαση στο διαδίκτυο. 19
3.4 Είδος υπηρεσιών ανά κατηγορία χρηστών. 19
3.4.1 Οι μικρο – μεσαίες επιχειρήσεις (SME) 20
3.4.2 Μικρά γραφεία (SOHO) 20
3.4.3 Νοικοκυριά 21
3.5 Διευκρινήσεις για την διαθεσιμότητα του δικτύου 21
3.6 Δομή τερματικού εξοπλισμού L.M.D.S. 21
3.7 Χρήσεις τερματικού εξοπλισμού L.M.D.S. ανά κατηγορία χρηστών. 22
4. Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ L.M.D.S. 24
4.1 Εξέταση της αρχιτεκτονικής του L.M.D.S. 24
4.1.1 Κέντρο ελέγχου και κύριο κέντρο συντονισμού. 25
4.1.2 Σταθμός βάσης και εξοπλισμός πρόσβασης χρήστη 26
4.2 Διακυτταρικά δίκτυα ως δίκτυα κορμού 27
4.3 Εξασθένηση λόγω βροχόπτωσης στα διακυτταρικά δίκτυα 29
4.4 Τρόποι διακίνησης υπηρεσιών μέσω διακυτταρικών συνδέσεων 31
4.5 Ρυθμός δεδομένων και περιθώρια σύνδεσης για δίκτυο κορμού μικροκυματικών ζεύξεων. 33
4.6 Κυτταροειδές δίκτυο πρόσβασης L.M.D.S. 34
4.7 Απαιτήσεις και περιορισμοί στον σχεδιασμό του κυττάρου. 35
4.8 Χωρητικότητα δικτύου κυττάρων. 36
4.8.1 Περιορισμοί στο συνολικό ρυθμό δεδομένων των χρηστών. 36
4.8.2 Περιορισμοί στον αριθμό των ταυτόχρονα ενεργών χρηστών. 37
4.9 Διαθεσιμότητα δικτύου πρόσβασης. 39
5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ 41
5.1 Σχεδιασμός συχνότητας 41
5.2 Δομή καναλιού για την κάτω και άνω ζεύξη 42
5.3 Συνύπαρξη δυο ή περισσότερων παρόχων 44
5.4 Ευρυζωνικές υπηρεσίες σε συστοιχίες τεσσάρων & δέκα έξι κυττάρων 45
5.5 Εκπομπή ATM και MPEG καναλιών 47
5.6 Κεραίες πολλών λοβών για την επίτευξη μεγαλύτερης χωρητικότητας σε κάθε κύτταρο. 50
5.7 Παρεμβολές μεταξύ γειτονικών κυττάρων. 52

5.8 Εκχώρηση συχνοτήτων για τον περιορισμό των παρεμβολών σε γειτονικά κύτταρα....53
5.9 Βελτίωση κάλυψης χρηστών που δέχονται παρεμβολή....54
5.10 Εύρος ζώνης κατανεμημένο σε δίκτυο κορμού....55
5.11 Εναλλακτικός σχεδιασμός κυττάρου που παράγει καλύτερες τιμές C/I....55
5.12 Σχεδιασμός ζώνης συχνοτήτων για επιπλέον 1 GHz για εύρος από 42,5 έως 43,5 GHz....57
6. L.M.D.S. RADIO SUB-SYSTEMS....60
6.1 Τρόποι πολλαπλής πρόσβασης και δομής....60
6.2 Μετάδοση και πρόσβαση στα κανάλια άνω ζεύξης....60
6.3 Μετάδοση και πρόσβαση στα κανάλια κάτω ζεύξης....61
6.4 Τεχνικές διαμόρφωσης και κωδικοποίησης στα κανάλια άνω ζεύξης....62
6.5 Τεχνικές διαμόρφωσης και κωδικοποίησης στα κανάλια κάτω ζεύξης....64
6.6 Χαρακτηριστικά κεραιών....65
6.6.1 Κατευθυντικές κεραίες σταθμών βάσης....65
6.6.2 Παν-κατευθυντικές κεραίες σταθμών βάσης....66
6.6.3 Κεραίες χρήστη....66
6.6.4 Κεραίες σταθμών βάσης με πιο πολύπλοκο σύστημα εστίασης....67
6.6.5 Εύρος ζώνης....68
6.6.6 Γραμμικές κεραίες διπλής πόλωσης....68
6.7 Αρχιτεκτονική μικροκυματικού εξοπλισμού σταθμού βάσης στα 40GHz....68
6.7.1 Πομπός....68
6.7.2 Δέκτης....69
6.8 Αρχιτεκτονική μικροκυματικού εξοπλισμού χρήστη στα 40GHz....69
6.8.1 Υποβιβαστής συχνότητας δέκτη....69
6.8.2 Πομποί στα 40GHz....69
7. ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ (Μ.Α.C.)....73
7.1 LISSY (LAN Interconnection Satellite Systems – Δορυφορικά συστήματα διασύνδεσης δικτύων LAN)....73
7.1.1 Είσοδος στο δίκτυο....73
7.1.2 Δυναμική κατανομή θυρίδων....75
7.2 C-TDMA (Contention – TDMA)....76
7.2.1 Είσοδος στο δίκτυο....76
7.2.2 Κατανομή θυρίδων....76
7.3 DAVIC (Digital Audio Video Council)....77
7.3.1 Είσοδος στο δίκτυο και σταθμοσκόπηση (polling)....77
7.3.2 Κατανομή θυρίδων....78
7.4 Σύγκριση παραμέτρων των πρωτοκόλλων....79
7.5 Αποτελέσματα προσομοίωσης....80
7.5.1 Χαρακτηριστικά κίνησης και καναλιού....80
7.5.2 Υπόθεση προσομοίωσης....81
7.5.3 Χρόνος προσομοίωσης....82
7.5.4 Σύγκριση καθυστέρησης από άκρη σε άκρη....82
7.5.5 Αποτελέσματα με 50 χρήστες....82
7.5.6 Αποτελέσματα με 100 χρήστες....83
7.5.7 Αποτελέσματα με 150 χρήστες....83
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ:....85

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ:

A	
ABR	Available BitRate
ADSL	Asymetric Digital Subscriber Line
ACTS	Advanced Communication Technologies and Services
ATM	Asynchronous Transfer Mode
B	
BAP	Broadband Access Point
BER	Bit Error Ratio
BoD	Bandwidth on Demand
BS	Base Station
BWA	Broadband Wireless Access
10BASE-T	Twisted Pair Ethernet
C	
CBR	Constant BitRate
CC	Control Centre
CDMA	Code Division Multiple Access
CEPT	Conferencé Européenne des Postes et Télégraphes et Télécommunications
CORP	Corporation
CNR	Carrier-to-Noise Ratio
CPE	Customer Premises Equipment
CRABS	Cellular Radio Access to Broadband Services
D	
DAVIC	Digital Audio VIdeo Council
DBS	Direct Broadcast Satellite
DECT	Digital Enhanced Cordless Telephone
DQPSK	Differential Quaternary Phase Shift Keying
DRO	D.. Running Oscillator
DTH	Direct-To-Home
DVB	Digital Video Broadcast
DVB - T	Digital Video Broadcast - Terrestrial
DVB - C	Digital Video Broadcast - Cable
DVB - S	Digital Video Broadcast – Satellite
E	
ERC	European Radiocommunications Committee
ETS	European Telecommunications Standard
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
F	
FDD	Frequency Division Duplex
FDM	Frequency Division Multiplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access

G	
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
H	
HH	HouseHold
HFR	Hybrid Fibre Radio
HIPERLAN	High Performance Local Area Network
I	
IF	Intermediate Frequency
IDU	InDoor Unit
IP	Internet Protocol
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISO	International Standardisation Organisation
ISP	Internet Service Provider
ITU	International Telecommunications Union
L	
LAN	Local Area Network
LED	Light Emitting Diode
LISSY	Local network Interconnection using Satellite Systems
LMDS	Local Multipoint Distribution System
LNA	Low Noise Amplifier
LOS	Line-Of-Sight
M	
MAC	Medium Access Control
MAPON	Master Antenna Passive Optical Network architecture
MCC	Main Co-ordination Centre
MMDS	Multi-channel Multi-point Distribution System
MMIC	Millimetre-wave Monolithic Integrated Circuit
MPEG	Motion Pictures Expert Group
MVDS	Multipoint Video Distribution System
MWS	Multimedia Wireless System
N	
NIU	Network Interface Unit
NRE	Non Recurring Engineering
O	
ODU	OutDoor Unit
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex
P	
PABX	Private Automatic Branch eXchange
PAL	Phase Alternating Line
PAR	Peak-to-Average Ratio
POTS	Plain Old Telephone Service
PSTN	Public Switched Telephone Network

	Q	
QoS		Quality of Service
QAM		Quadrature Amplitude Modulation
QPSK		Quaternary Phase-Shift Keying
	R	
RF		Radio Frequency
RLAN		Radio Local Area Network
	S	
SDH		Synchronous Digital Hierarchy
SME		Small Medium Enterprise
SOHO		Small Office/Home Office
SONET		Synchronous Optical NETwork
STB		Set-Top Box
	T	
TCP		Transport Control Protocol
TDM		Time Division Multiplexing
TDMA		Time Division Multiple Access
TS		Transport Stream
TV		TeleVision
	U	
UMTS		Universal Mobile Telephone System
UNI		User Network Interface
	V	
VBR		Variable BitRate
VoD		Video on Demand
	W	
WAN		Wide Area Network
WDM		Wave Division Multiplexing
WRC		World Radio Conferance
WWW		World Wide Web

ΠΕΡΙΛΗΨΗ:

Σε αυτή την εργασία περιγράφεται ένα πλήρες σύστημα L.M.D.S. τελευταίας γενιάς. Γίνεται αναφορά στις προϋποθέσεις και στις απαιτήσεις του σχεδιασμού ενός τέτοιου συστήματος και ακολουθεί η ανάλυση της αρχιτεκτονικής του.

Επίσης, περιγράφεται ο σχεδιασμός της κυτταρικής δομής, η κατανομή και επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων για πιο αποδοτικές ευρυζωνικές υπηρεσίες ενώ παρουσιάζονται και οι τεχνικές διαμόρφωσης και κωδικοποίησης των μεταδόσεων στην άνω και κάτω ζεύξη.

Τέλος, γίνεται μια αναφορά στον εξοπλισμό των σταθμών βάσης και χρήστη και των τριών κύριων πρωτοκόλλων πρόσβασης του χρήστη στο δίκτυο του συστήματος (LISSY, C-TDMA & DAVIC).

Είναι προφανές ότι η τεχνολογία εξελίσσεται συνεχώς και ως εκ τούτου μια τέτοια εργασία όσο σύγχρονες πηγές πληροφορίας και να χρησιμοποιήσει, είναι αδύνατο να παραμείνει σύγχρονη για μεγάλο χρονικό διάστημα.

ABSTRACT:

The main objective of this thesis, is to describe the latest generation Local Multipoint Distribution Systems. A report on the requirements and the design objectives of this system has been done and an analysis of its architecture follows.
Furthermore, we describe the frequency plans, the cellular structure and the frequency reuse strategies for an efficient quality of broadband services whereas we present modulation and coding schemes for the uplink and downlink channels.
Finally, an outline of the main components of the base stations and users has been done and we recall the important points concerning the three main protocols of LISSY, DAVIC and C-TDMA for the medium access (MAC) of the user in the network.

1. **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Προς το παρόν, οι συνδέσεις των χρηστών με τα δίκτυα τηλεφωνίας και δεδομένων (PSTN, ISDN, ADSL κα) γίνονται μέσω ενσύρματου τοπικού βρόχου είτε με χάλκινο αγωγό είτε με ομοαξονικό καλώδιο είτε με οπτική ίνα.
Όμως υπάρχουν αυξανόμενες ανάγκες για υπηρεσίες ευρείας ζώνης και καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να εξελίσσεται με ταχύτατους ρυθμούς, ο αριθμός των εναλλακτικών προτάσεων και λύσεων συνεχίζει να αυξάνεται. Η εισαγωγή του συστήματος L.M.D.S. (Local Multipoint Distribution System), κρίθηκε αναγκαία σε παγκόσμια κλίμακα, γιατί καθιστά ικανή την ποιότητα των πολυάριθμων υπηρεσιών που προσφέρει στους χρήστες.
Το σύστημα L.M.D.S. βασίζεται σε τεχνολογία για μικροκυματική ασύρματη επικοινωνία μετάδοσης ευρείας ζώνης ενός σημείου προς πολλά.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν αναλύονται τα εξής θέματα:
Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται λεπτομερώς η έννοια του L.M.D.S. και γίνεται μια απαρίθμηση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων του σε σχέση με τα υπάρχοντα ενσύρματα συστήματα.
Στο τρίτο κεφάλαιο ορίζονται οι κατηγορίες των χρηστών και των υπηρεσιών που μπορούν να απολαμβάνουν σε σχέση με τις ανάγκες τους.
Στο τέταρτο κεφάλαιο εξετάζεται η αρχιτεκτονική του που βασίζεται κυρίως σε τέσσερα επίπεδα. Επίσης, αναλύεται η δομή του κυτταροειδές δικτύου πρόσβασης L.M.D.S. και οι απαιτήσεις και περιορισμοί του σχεδιασμού του κυττάρου.
Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύονται οι στρατηγικές που χρησιμοποιούνται για κατανομή και επαναχρησιμοποίηση συχνότητας για παροχή καλύτερης ποιότητας υπηρεσιών.
Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφονται οι τρόποι πρόσβασης, δομής και κωδικοποίησης των καναλιών άνω και κάτω ζεύξης. Επίσης γίνεται μια αναφορά στα κύρια στοιχεία που απαρτίζουν τον εξοπλισμό του σταθμού βάσης και του χρήστη.
Στο έβδομο κεφάλαιο περιγράφονται τα τρία κύρια πρωτόκολλα (LISSY, DAVIC, C-TDMA) που χρησιμοποιούνται για την πρόσβαση του χρήστη στο δίκτυο.
Το όγδοο και τελευταίο κεφάλαιο αποτελεί μια σύνοψη συμπερασμάτων που προέκυψαν από την μελέτη του συστήματος L.M.D.S. στην συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία.

2. ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ L.M.D.S.;

2.1 L.M.D.S. (Local Multipoint Distribution System)

Το L.M.D.S. είναι ένα σύστημα ασύρματης επικοινωνίας ευρείας ζώνης για μετάδοση ενός σημείου προς πολλά, το οποίο προσφέρει αξιόπιστες, ψηφιακές και αμφίδρομες υπηρεσίες φωνής, εικόνας, δεδομένων και internet.
Τα ακρωνύμια του L.M.D.S. δηλώνουν τα εξής:
L (LOCAL): δηλώνει τα χαρακτηριστικά της διάδοσης στην εμβέλεια συχνότητας που περιορίζεται στην περιοχή κάλυψης ενός μόνο κυττάρου, οι δοκιμές που έγιναν σε αστικά κυρίως κέντρα τοποθετούν την εμβέλεια μετάδοσης του μέχρι 5 χιλιόμετρα, με απαραίτητη την οπτική επαφή μεταξύ των δυο σημείων.
M (MULTIPOINT): Δείχνει ότι τα σήματα που μεταδίδονται, προέρχονται από ένα κεντρικό σημείο σε πολλά (πολυσημειακή - PMP), όπως η τηλεοπτική εκπομπή ενώ το ασύρματο μονοπάτι της επιστροφής από τον χρήστη στον σταθμό βάσης γίνεται με την μετάδοση από σημείο σε σημείο (δισημειακή P-P).
D (DISTRIBUTION): αναφέρεται στην διανομή των σημάτων, η οποία μπορεί να περιέχει ταυτόχρονα, φωνή, δεδομένα, internet και κινούμενη εικόνα με ρυθμό μετάδοσης έως και 34Mbps ανά χρήστη.
S (SERVICE): υπονοεί την φύση της σχέσης διαχειριστή (πωλητή) και χρήστη. Οι υπηρεσίες που προσφέρονται μέσω του L.M.D.S. δικτύου εξαρτώνται απόλυτα από τις επιλογές του διαχειριστή, όπως δεδομένα / φωνή / εικόνα, τα οποία μπορούν εύκολα να ενοποιηθούν και να παρέχουν μια πληθώρα υπηρεσιών για την κάλυψη σύγχρονων τηλεπικοινωνιακών αναγκών. [7]

Πρόκειται για μια τεχνολογία η οποία έρχεται να καλύψει τους μεγάλους περιορισμούς στην επικοινωνία μεταξύ των πολύ γρήγορων τοπικών δικτύων L.A.N. και των αργών δικτύων ευρείας περιοχής W.A.N. (Wide Area Network).
Το σύστημα L.M.D.S. είναι μια εναλλακτική λύση αντί της εγκατάστασης οπτικών ινών ή ομοαξονικού καλωδίου καθ' όλη τη διαδρομή μέχρι τον χρήστη για την παροχή υπηρεσιών ευρείας ζώνης. Μερικές υπηρεσίες L.M.D.S. προσφέρουν συμμετρική μετάδοση δεδομένων (symmetrical service), όπου το εύρος μετάδοσης είναι ίσο και στις δυο κατευθύνσεις, ενώ άλλες προσφέρουν ασύμμετρη μετάδοση δηλ. υποστηρίζουν δυσανάλογα περισσότερο εύρος στην μια κατεύθυνση απ΄ ότι στην άλλη, μόνο ως προς τον χρήστη (asymmetrical service). Στην τελευταία αυτή περίπτωση η μετάδοση από τον χρήστη καλύπτεται με ενσύρματες συνδέσεις. [6], [2]

2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Μερικά από τα πλεονεκτήματα της υλοποίησης ενός σταθερού ασύρματου συστήματος είναι:

1. Η εγκατάσταση αυτού του καινούργιου συστήματος δεν κοστίζει πολύ και η επέκτασή του δεν είναι δύσκολη.
2. Η εγκατάσταση του είναι εύκολη και γρήγορη χωρίς να επηρεάζεται το περιβάλλον και η γύρω περιοχή. Όλος ο εξοπλισμός μπορεί να μεταφερθεί και να εγκατασταθεί με μεγάλη ευκολία καθώς είναι μικρός σε μέγεθος.
3. Ο εξοπλισμός μπορεί να εγκατασταθεί αμέσως μετά από την συγκατάθεση του πελάτη-χρήστη. Αυτό διαφέρει στα συστήματα καλωδίωσης, γιατί μια τέτοια κατασκευή θα έπρεπε να είχε υλοποιηθεί από την αρχή της κατασκευής του ίδιου του κτιρίου απαιτεί την κατάλληλη υποδομή από την αρχή της κατασκευής.
4. Επιπλέον, η κατασκευή του γίνεται ¨κατ' εντολή του πελάτη-χρήστη¨ σε σχέση με τις αρχιτεκτονικές καλωδιώσεων χωρίς να χρειάζεται το κτίριο ιδιαίτερη υποδομή.
5. Το κόστος της αναβάθμισης μπορεί να είναι αρκετά χαμηλό αφού δεν χρειάζεται καμία άλλη υποδομή εκτός από τον τελικό εξοπλισμό, ο οποίος αναβαθμίζεται εύκολα.
6. Με την ολοκλήρωση της βασικής κατασκευής, μπορεί να επιτευχθεί μέγιστη ποιότητα υπηρεσιών.
7. Η εμβέλεια του ασύρματου αυτού δικτύου φτάνει τα 5-6km.
8. Η επαναχρησιμοποίηση του φάσματος είναι πολύ υψηλή λόγω της κυτταρικής δομής που χρησιμοποιείται.
9. Υποστηρίζεται η παροχή υπηρεσιών φωνής και δεδομένων μέχρι και σε 80.000 κόμβους πελατών από ένα και μοναδικό σημείο.
10. Η οργάνωση, η συντήρηση, η διαχείριση και η αναβάθμισή του δικτύου γίνεται εύκολα και με μικρό κόστος.
11. Η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων προσεγγίζει την τάξη των 2Gbps. Ωστόσο, πιο ρεαλιστικές τιμές δείχνουν κατά μέσο όρο ταχύτητες γύρω στα 34Mbps.
12. Καλύπτει πολλά πεδία υπηρεσιών και εφαρμογών, όπως: μετάδοση φωνής, Voice over IP, τηλεδιάσκεψη, μετάδοση δεδομένων, εφαρμογές Internet/Intranet, Virtual Private Network (VPN), Ηλεκτρονικό εμπόριο κτλ.

Κάποια από τα ελάχιστα μειονεκτήματα ή τους περιορισμούς της υλοποίησης ενός τέτοιου συστήματος είναι:

1. Η αναγκαία οπτική επαφή μεταξύ του εξοπλισμού του χρήστη και του σταθμού βάσης.
2. Η κεραία του σταθμού βάσης θα πρέπει να είναι τοποθετημένη στην οροφή ενός αρκετά ψηλού κτιρίου και να είναι στραμμένη σε ευθεία προς τον χρήστη.
3. Πιθανό να χρειάζεται η τοποθέτηση επαναλήπτη σε περίπτωση που υπάρχουν εμπόδια και εάν η απόσταση ξεπερνάει τα 5km μεταξύ του σταθμού βάσης και της κεραίας λήψης και εκπομπής του χρήστη, φυσικά ύστερα από ένα πολύ καλό σχεδιασμό.
4. Οι πομποδέκτες θα πρέπει να βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους γιατί το σήμα εξασθενεί όταν υπάρχει πολύ υγρασία ή βροχόπτωση.

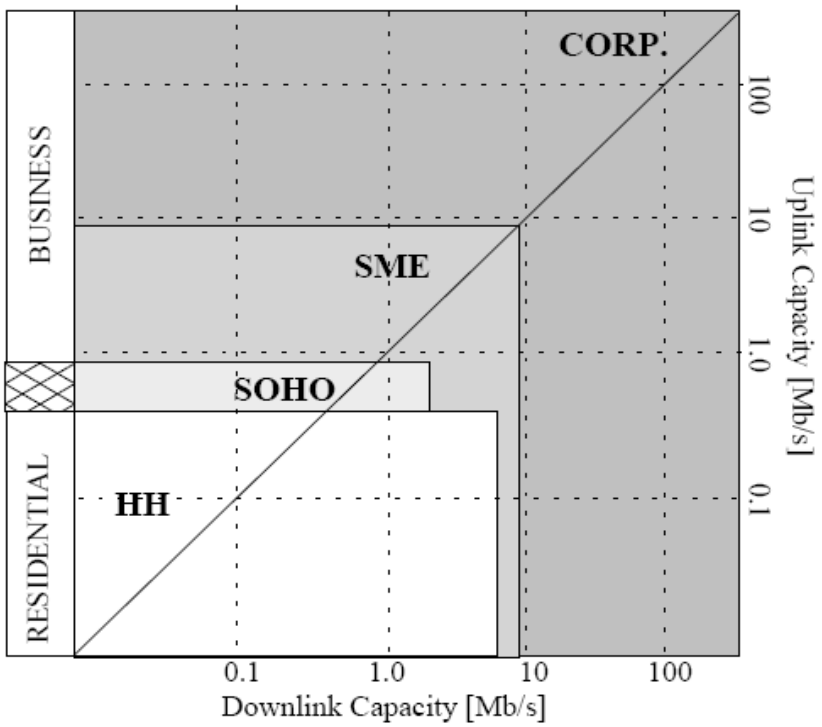
[6], [7]

3. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ L.M.D.S. & ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Η εξέλιξη της αγοράς και η απελευθέρωσή της από την παραδοσιακή της δομή, δημιουργεί μια υψηλά ανταγωνιστική αγορά όπου διαφορετικές τεχνολογίες σε ένα βαθμό διανέμουν τις ίδιες υπηρεσίες. Κατά συνέπεια, τα συστήματα L.M.D.S. θα πρέπει να είναι ικανά να μεταφέρουν ένα ευρύ πεδίο ποιοτικών υπηρεσιών με ανταγωνιστική τιμή σε σχέση με την ποιότητα. Αυτές μπορούν να ποικίλουν από μια απλή τηλεφωνική υπηρεσία έως και μια πλήρη υπηρεσία πολυμέσων. Επιπρόσθετα, διαφορετικοί συνδυασμοί κατηγοριών χρηστών και γεωγραφικών τομέων αντιμετωπίζονται με ανάλογα πακέτα υπηρεσιών, οδηγώντας στην δημιουργία ενός πολυσύνθετου και γεμάτου με αλληλοσυγκρουόμενες απαιτήσεις συστήματος.

3.1 Κατηγορίες χρηστών

Οι χρήστες παραδοσιακά χωρίζονται σε 2 κατηγορίες: τους επαγγελματίες και τους οικιακούς χρήστες (business & residential users) οι οποίοι διαφέρουν μεταξύ τους από πολλές απόψεις. Το μεγαλύτερο μέρος των επαγγελματιών χρηστών απαιτούν συμμετρικές συνδέσεις, ενώ το μεγαλύτερο μέρος των απλών χρηστών χαρακτηρίζεται από απαιτήσεις ασύμμετρων συνδέσεων για ευρυζωνικές υπηρεσίες. Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό είναι η μεγάλη διαφορά στην επένδυση και την δυνατότητα πληρωμής.
Υπάρχει ποικιλία χρηστών στην κάθε κατηγορία και για την καλύτερη παρουσίαση των χρηστών, η κάθε κατηγορία διαχωρίζεται σε δυο υποκατηγορίες.
Οι επαγγελματίες χρήστες είναι διαχωρισμένοι στους εταιρικούς (Corporations: CORP) και στους μικρομεσαίους (Small-medium sized enterprises: SME) ενώ οι οικιακοί χρήστες χωρίζονται μεταξύ των μικρών γραφείων και γραφείων – σπιτιών (Small – office & Home – office: SOHO) και των ιδιωτικών νοικοκυριών (Households: HH).



Σχήμα 1: Διαχωρισμός χρηστών του L.M.D.S.

3.1.1 Corporations (CORP) – Μεγάλες Εταιρείες

Οι εταιρείες έχουν μεγάλη απαίτηση σε χωρητικότητα που κυμαίνεται από συμμετρικές συνδέσεις των 155Mb/s και πάνω. Αυτές οι συνδέσεις συνήθως μεταφέρουν συνολική κυκλοφορία με χαμηλή ανομοιογένεια στην κίνηση των δεδομένων, συχνά χρησιμοποιούμενη για διασύνδεση των LANs (Local Area Network – Τοπικό δίκτυο δεδομένων) και PABXs (Private Automatic Branch Exchange – Αυτόματο τηλεφωνικό κέντρο) με την χρήση μισθωμένων γραμμών. Μια νέα ενδιαφέρουσα εφαρμογή είναι η υψηλής ταχύτητας σύνδεση με το διαδίκτυο.

3.1.2 Small-medium sized enterprises (SME) – Μικρομεσαίες επιχειρήσεις

Οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις καθορίζονται σαν επιχειρήσεις με το πολύ μέχρι 250 υπαλλήλους. Η πλειοψηφία των επιχειρήσεων στην Ευρωπαϊκή αγορά ανήκουν σε αυτήν την υποκατηγορία και αποτελούν ένα σημαντικό σύνολο πελατών. Λόγω του σημαντικού αριθμού υπαλλήλων οι συνδέσεις μεταφέρουν συνολική κίνηση χωρητικότητας μέχρι E1 (2Mb/s) και E2 (8Mb/s) κυρίως με μισθωμένες γραμμές. Οι πιο σημαντικές από αυτές τις επιχειρήσεις της κατηγορίας αυτής χρησιμοποιούν μέχρι και συμμετρικής χωρητικότητας E3 (34Mb/s) ή STM –1 (155Mb/s) συνδέσεις. [8]

3.1.3 Small office and home office users (SOHO) – Μικρά γραφεία

Αυτή η υποκατηγορία αποτελείται και από οικιακούς χρήστες και από επαγγελματίες απλά έχει περισσότερα κοινά με την υποκατηγορία των οικιακών χρηστών λόγω των χαρακτηριστικών της κίνησης. Λόγω του μικρού αριθμού ατόμων που εμπλέκονται, η ανομοιογένεια της κίνησης δεδομένων είναι υψηλή και οι συνδέσεις εκ μεταγωγής προτιμούνται αντί των μισθωμένων γραμμών. Για την κάλυψη αρκετών ταυτόχρονων υπηρεσιών συμπεριλαμβανομένης της τηλεδιάσκεψης και περιήγησης στο διαδίκτυο, η μέγιστη χωρητικότητα σύνδεσης θα έπρεπε να είναι τουλάχιστον 768kb/s άνω ζεύξης και 2Mb/s κάτω ζεύξης.

3.1.4 Private Households (HH) – Νοικοκυριά

Η χωρητικότητα της σύνδεσης που απαιτείται στα νοικοκυριά προορίζεται στο μεγαλύτερο μέρος της για ψυχαγωγικές υπηρεσίες. Η λήψη ψηφιακού σήματος τηλεόρασης απαιτεί κάτω ζεύξη των 6Mb/s για την εξασφάλιση ποιότητας συγκρίσιμο με την αναλογική μετάδοση PAL (Phase Alternating Line – Κυρίαρχο Πρότυπο Τηλεόρασης στην Ευρώπη).
Στην άνω ζεύξη, η αναμενόμενη απαίτηση της μέσης ποιότητας τηλεδιάσκεψης ή των διαφόρων τύπων συνδέσεων, απαιτούν μια μέγιστη χωρητικότητα σύνδεσης της τάξης των 384kb/s.

3.2 Γεωγραφικός καταμερισμός χρηστών

Ο σχεδιασμός ενός συστήματος απαιτεί την γνώση των τοπικών δημογραφικών στοιχείων. Λόγω των μεγάλων διακυμάνσεων ανάμεσα στις διαφορετικές χώρες, είναι αδύνατο να δημιουργηθεί ένα απλό μοντέλο που να καλύπτει ένα ΠανΕυρωπαϊκό σενάριο. Παρ' όλα αυτά για να μπορέσουμε να προτείνουμε μια αποτελεσματική κυτταρική δομή (συμπεριλαμβανομένου και του μεγέθους του κυττάρου) για ένα δεδομένο περιβάλλον, ένα απλό μοντέλο κρίνεται απαραίτητο να καθιερωθεί. Μια ευρέως χρησιμοποιημένη προσέγγιση είναι ο καταμερισμός των χρηστών σύμφωνα με την μέση πυκνότητα των κτιρίων και την έκταση μιας δεδομένης περιοχής σε km^2. Δεν υπάρχουν αυστηρά καθορισμένα σύνορα ανάμεσα στα προτεινόμενα δημογραφικά τμήματα, όπως για παράδειγμα η μετάβαση από την προαστιακή στην αστική περιοχή, που εξαρτάται πάρα πολύ από τις τοπικές συνθήκες.
Στην Ευρώπη το 99% των επιχειρήσεων ανήκει στην κατηγορία των μικρομεσαίων επιχειρήσεων και των μικρών γραφείων. Ανά χώρα ο αριθμός των επιχειρήσεων ανέρχεται στο 5 - 10% του συνολικού αριθμού των νοικοκυριών. Το συνολικό ποσοστό της κίνησης μέσα σ' ένα κύτταρο καθορίζεται και από τον αριθμό των χρηστών που είναι συνδεδεμένοι.

Ο αριθμός κάθε κατηγορίας χρηστών σχετίζεται με την πυκνότητά τους επί της έκτασης του κυττάρου σε τετραγωνικά χιλιόμετρα.

3.3 Καθορισμός και ταξινόμηση υπηρεσιών του L.M.D.S.

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του L.M.D.S. θα πρέπει να αποτελούν χαρακτηριστικά των υπηρεσιών μέσω των οποίων οι υπηρεσίες φτάνουν στο χρήστη. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι οι μέγιστες τιμές του ρυθμού δεδομένων στην άνω και κάτω ζεύξη, η κατηγορία κίνησης και η διαθεσιμότητα δικτύου/υπηρεσιών (πίνακας 1). Ο ρυθμός δεδομένων προσδιορίζεται από καθιερωμένα πρότυπα όπως το κλασματικό E1 (N*64kb/s), E1 (2Mb/s), E2 (8Mb/s) και E3 (34Mb/s). Αυτό γίνεται μόνο για λόγους συμβατότητας με τον υφιστάμενο εξοπλισμό και αποκλείει την χρήση άλλων ρυθμών δεδομένων. Η κίνηση στις κατηγορίες καθορίζεται σαν packet–oriented (Variable Bit Rate VBR – Μεταβλητός ρυθμός δυαδικών ψηφίων & Available Bit Rate ABR – Διαθέσιμος ρυθμός δυαδικών ψηφίων) και circuit–oriented (Constant Bit Rate CBR – Σταθερός ρυθμός δυαδικών ψηφίων) που αναφέρεται στην καθιερωμένη ορολογία για ATM πολυπλεξία.
Το τελευταίο χαρακτηριστικό αναφέρεται στο ποσοστό ενός έτους στο οποίο ένα δίκτυο θα έπρεπε να είναι διαθέσιμο για την διανομή υπηρεσιών με την καθορισμένη απόδοση. [3]

Κατηγορίες υπηρεσιών		**Άνω ζεύξη (kb/s)**		**Κάτω ζεύξη**		**Δίκτυο**	
		Μέση τιμή	**Μέγιστη τιμή**	**Μέση τιμή**	**Μέγιστη τιμή**	**Κίνηση**	**Διαθεσι-μότητα**
Τηλεδιάσκεψη	Χαμηλής ποιότητας	64	64	64	64	CBR	99,99%
	Μέσης ποιότητας	384	384	2.048	2.048	CBR	99,99%
	Υψηλής ποιότητας	2.048	2.048	8.448	8.448	CBR	99,99%
Video / TV	Κατ' απαίτηση	16	64	3.200	4.096	VBR	99,99%
	Εκπομπή	-	-	8.192	8.448	CBR	99,9%
	Διανομή	8.192	8.192	64	64	CBR	99,99%
Φωνή	IP-based	16	64	16	64	VBR	99,9%
	PSTN/ISDN	64	64	64	64	CBR	99,99%
	PABX Interconnect	2.048	2.048	2.048	2.048	CBR	99,99%
Περιήγηση ιστιοσελίδων	Χαμηλής ποιότητας	8	64	64	512	ABR	99%
	Μέσης ποιότητας	64	512	512	2.048	VBR	99,9%

	Υψηλής ποιότητας	512	2.048	2.048	8.192	CBR	99,99%
Μεταφορά	Δίκτυο κορμού κυττάρου	2.048	2.048	2.048	2.048	CBR	99,99%
	LAN Interconnect	8.448	8.448	8.448	8.448	CBR	99,99%
	ATM UNI 25.6	25.600	25.600	25.600	25.600	V-CBR	99,99%
	Διανομή πολυπλεγμέ-νου σήματος τηλεόρασης	-	-	34.368	34.368	CBR	99,9%

Πίνακας 1: Κατηγοριοποίηση υπηρεσιών σε σχέση με την χωρητικότητα της σύνδεσης και τα χαρακτηριστικά του δικτύου.

3.3.1 Υπηρεσία τηλεδιάσκεψης

Η υπηρεσία αυτή αναμένεται να γίνει πολύ σημαντική για τις μεταδόσεις της επόμενης γενιάς.
Τα συστήματα ευρυζωνικής μετάδοσης προβλέπεται να καταστήσουν ικανή την μετάβαση από την φωνή στην επικοινωνία με χρήση εικόνας ανάμεσα στους χρήστες. Οι περισσότερες υπηρεσίες κινούμενης εικόνας είναι circuit–oriented και απαιτούν υψηλή διαθεσιμότητα δικτύου εκτός από την μετάδοση τηλεοπτικού σήματος το οποίο συνήθως λειτουργεί με μέση διαθεσιμότητα 99,9%. Η τηλεδιάσκεψη είναι τυπική περίπτωση όπου αναμένεται διαφοροποίηση στην ποιότητα των υπηρεσιών.
Ως εκ τούτου, διάφορα επίπεδα ποιότητας υπηρεσιών προτείνονται για να καλύψουν τις διαφορετικές κατηγορίες χρηστών και περιπτώσεων. Για τις μεσαίες και υψηλές απαιτήσεις, η τηλεδιάσκεψη μεταξύ πολλών χρηστών προτείνεται στην οποία πρέπει να χρησιμοποιηθούν ασύμμετρες υπηρεσίες με ρυθμό δεδομένων αιχμής.

3.3.2 Υπηρεσία φωνής

Η υπηρεσία που έχει σχέση με την μετάδοση φωνής ήταν και θα είναι πολύ σημαντικό κομμάτι των υπηρεσιών L.M.D.S. επόμενης γενιάς. Σε αντίθεση με την παραδοσιακή PSTN (Public Switched Telephone Network – Δημόσιο επιλεγόμενο τηλεφωνικό δίκτυο) / ISDN (Integrated Services Digital Network – Ψηφιακό Δίκτυο Ολοκληρωμένων Υπηρεσιών) τηλεφωνία για επικοινωνία ανάμεσα σε άτομα, μια μέσης ποιότητας επιλογή είναι διαθέσιμη μέσω της τηλεφωνίας βασισμένης στο IP (Internet Protocol – Πρωτόκολλο Διασύνδεσης Δικτύων). Το

PSTN/ISDN απαιτεί υψηλή διαθεσιμότητα δικτύου (πάνω από 99,995%) το οποίο συνήθως δεν είναι πραγματοποιήσιμο για τα τρέχοντα συστήματα L.M.D.S.

3.3.3 Περιήγηση ιστοσελίδων και πρόσβαση στο διαδίκτυο.

Είναι οι πιο σημαντικές υπηρεσίες του συστήματος L.M.D.S. επόμενης γενιάς και συνήθως διαφοροποιούνται ως προς τον ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων, την κατηγορία κίνησης και την διαθεσιμότητα του δικτύου. Ο λόγος του μέγιστου ρυθμού μετάδοσης προς τον μέσο ρυθμό μετάδοσης (peak to average ratio – PAR) προτείνεται να είναι μεγαλύτερος για χαμηλές και κάποιες μέτριου βαθμού υπηρεσίες και αντανακλά την παρουσία των χρηστών με χαμηλή δραστηριότητα. Οι χρήστες με υψηλή δραστηριότητα ζητούν μεγάλο ρυθμό μετάδοσης και μεταφορές μεγάλων αρχείων και στην άνω και στην κάτω ζεύξη.

3.4 Είδος υπηρεσιών ανά κατηγορία χρηστών.

Προκειμένου να περιορίσουμε την σχεδίαση ενός συστήματος L.M.D.S. για ένα επαρκές σύνολο κατηγοριών χρηστών και γεωγραφικών περιοχών, θα πρέπει να καθοριστεί ένα προφίλ υπηρεσιών για κάθε κατηγορία χρηστών για τον σχεδιασμό ενός L.M.D.S. συστήματος. Μια προτεινόμενη διαμόρφωση υπηρεσιών για τις καθορισμένες κατηγορίες φαίνεται στον παρακάτω πίνακα 2. Οι αριθμοί που ενδείκνυνται βαθμολογούν τις υπηρεσίες σε πρωταρχικές (2), δευτερεύουσες (1) και επιλεγόμενες (0) υπηρεσίες. Αυτά βέβαια δεν αποκλείουν την χρήση άλλων υπηρεσιών αλλά απλά αποτελούν τον κορμό ενός L.M.D.S. συστήματος.

Κατηγορίες υπηρεσιών		**H.H.**		**SOHO**	**SME**	
		Χαμηλή	**Υψηλή**		**Χαμηλή**	**Υψηλή**
Τηλεδιάσκεψη	Χαμηλής ποιότητας	1	1	0	0	0
	Μέσης ποιότητας	0	2	2	1	0
	Υψηλής ποιότητας	0	0	1	2	2
Video / TV	Κατ' απαίτηση	0	1	2	2	1
	Εκπομπή	2	2	1	0	0
	Διανομή	0	0	0	1	2
Φωνή	IP-based	0	1	1	2	2
	PSTN/ISDN	2	2	2	1	0

	PABX Interconnect	0	0	0	1	2
Περιήγηση ιστο-σελίδων	Χαμηλής ποιότητας	2	1	0	0	0
	Μέσης ποιότητας	1	2	2	1	0
	Υψηλής ποιότητας	0	0	1	2	2
Μεταφορά	Δίκτυο κορμού κυττάρου	0	0	0	1	2
	LAN Interconnect	0	0	1	2	2
	ATM UNI 25.6	0	0	0	1	2
	Διανομή πολυπλεγμέ-νου σήματος τηλεόρασης	0	0	0	0	1

Πίνακας 2: Τυπικές υπηρεσίες ανά κατηγορία χρηστών.

3.4.1 Οι μικρο – μεσαίες επιχειρήσεις (SME)

Οι μικρο-μεσαίες επιχειρήσεις χαρακτηρίζονται από ένα σύνολο ανθρώπων που παράγουν δραστηριότητα η οποία συνήθως αποφέρει έσοδα. Η μεγαλύτερη χρήση των υπηρεσιών έχει σχέση με το επαγγελματικό τους περιβάλλον και για αυτόν το λόγο απαιτούν ευρυζωνικές υπηρεσίες υψηλού επιπέδου. Οι μικρο-μεσαίες επιχειρήσεις είναι οι κύριοι χρήστες του αλληλεπιδραστικού video και στις δυο διανομές, του video κατ' απαίτηση και της τηλεδιάσκεψης. Είναι οι κύριοι χρήστες της IP τηλεφωνίας λόγω της απαίτησης τους για υπεραστικά τηλεφωνήματα.

3.4.2 Μικρά γραφεία (SOHO)

Τα μικρά γραφεία έχουν περισσότερα κοινά με την κατηγορία των μικρομεσαίων επιχειρήσεων γιατί έχουν ένα επαγγελματικό στοιχείο είτε σαν επιχειρήσεις αυτόνομες είτε όταν συνδέονται με μικρομεσαίες ή μεγάλες επιχειρήσεις. Συνεπώς αναμένουμε υπηρεσίες μεσαίου βαθμού ποιότητας με σημαντικότερες αυτές της πρόσβασης στο διαδίκτυο, της τηλεδιάσκεψης και της IP τηλεφωνίας εφόσον απαιτείται.

3.4.3 Νοικοκυριά

Τρεις είναι οι κύριες υπηρεσίες που απαιτούν τα νοικοκυριά: η τηλεφωνία PSTN/ISDN, η πρόσβαση στο διαδίκτυο και οι τηλεοπτικές εκπομπές οι οποίες είναι και η κύρια πηγή εσόδων για αυτήν την κατηγορία μέχρι τώρα.

3.5 Διευκρινήσεις για την διαθεσιμότητα του δικτύου

Ο σκοπός του καθορισμού της διαθεσιμότητας ενός δικτύου είναι για να προσφέρει ένα σχεδιαστικό στόχο για τον καθορισμό του ρυθμού μετάδοσης και των δυο κατευθύνσεων (άνω και κάτω ζεύξη) του L.M.D.S. Αυτό έχει σχέση με το ποσοστό του χρόνου μέσα σε έναν μέσο (ημερολογιακό) χρόνο στον οποίο ο λόγος φέρουσας προς τον θόρυβο (C/N) ξεπερνά την σχεδιασμένη σταθερά. Αντίστροφα ο χρόνος χωρίς διαθεσιμότητα καθορίζεται σαν το 100% μείον την διαθεσιμότητα που φαίνεται σ' ένα μέσο έτος στο οποίο η σύνδεση δεν είναι εφικτή όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα 3, όπου για παράδειγμα ένα δίκτυο με εξαιρετικά υψηλή διαθεσιμότητα κατά 99,999% δεν έχει για μόνο πέντε λεπτά - μέσα σε έναν ολόκληρο ημερολογιακό χρόνο - διαθέσιμη σύνδεση.

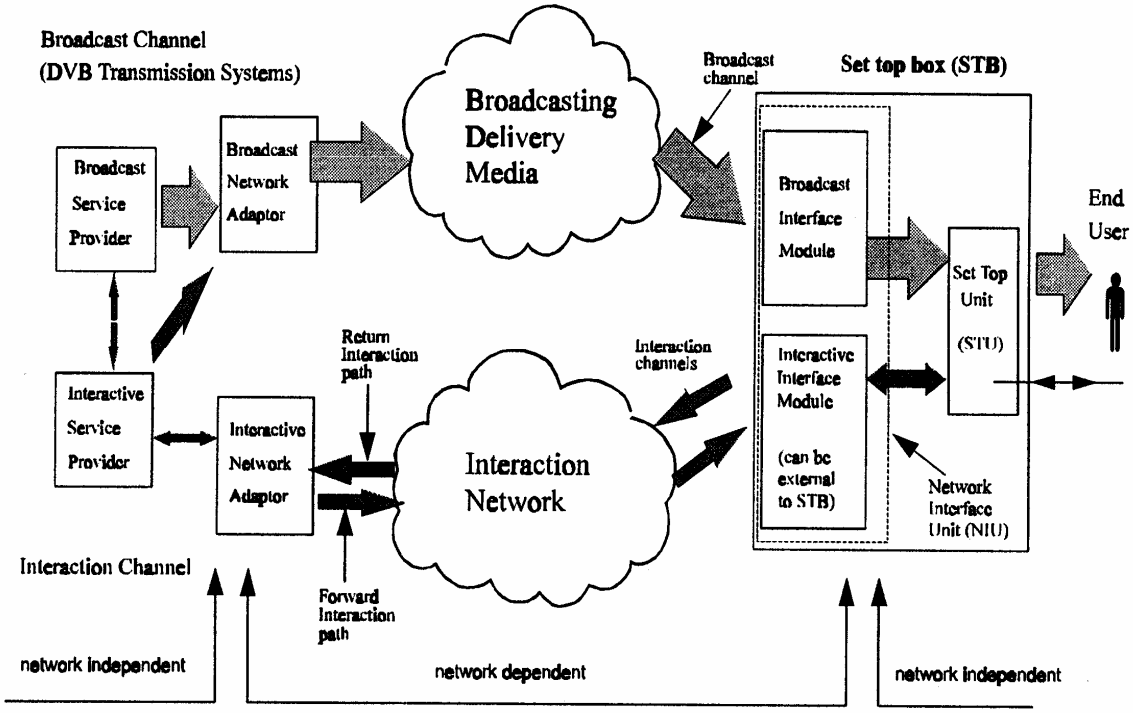
Βαθμός	**Διαθεσιμότητα**	**Χρόνος χωρίς σύνδεση**
Χαμηλός	99%	3μ 15ω 40λ
Μέσος	99,9%	8ω 46λ
Υψηλός	99,99%	52λ
Εξαιρετικά υψηλός	99,999%	5λ

Πίνακας 3: Διαθεσιμότητα και χρόνος ανταπόκρισης σε ποσοστό και χρόνος σε έναν μέσο ημερολογιακό χρόνο

3.6 Δομή τερματικού εξοπλισμού L.M.D.S.

Ο τερματικός εξοπλισμός του χρήστη σ' ένα L.M.D.S. σύστημα γενικά χωρίζεται σε δυο κατηγορίες: Την εξωτερική μονάδα (Outdoor Data Unit - ODU) και την εσωτερική μονάδα (Indoor Data Unit - IDU). Η εξωτερική μονάδα αποτελείται από μια κεραία τοποθετημένη σε υψηλό σημείο του κτιρίου (συνήθως ταράτσα) ολοκληρωμένη με τα μικροκυματικά συστατικά της, απαραίτητα για το φιλτράρισμα, την ενίσχυση και την μετατροπή της συχνότητας των σημάτων και για την άνω και για την κάτω ζεύξη, ενώ η εσωτερική μονάδα εκτελεί τις λειτουργίες χαμηλής ζώνης συχνοτήτων που έχουν σχέση με την μετάδοση της άνω και κάτω ζεύξης.
Η εξωτερική μονάδα θα έπρεπε να είναι ένα κομμάτι του εξοπλισμού που επιτρέπει την εύκολη εγκατάσταση του με τους εξοπλισμούς των χρηστών και την φυσική διασύνδεση που θα έπρεπε να είναι στην ενδιάμεση συχνότητα

L-band (IF). Αυτό καθιστά πιθανή την επαναχρησιμοποίηση του εσωτερικού εξοπλισμού που κατασκευάζεται για άλλες συχνότητες και τεχνολογίες πρόσβασης. Ο εσωτερικός εξοπλισμός θα έπρεπε να έχει κοινό σχεδιασμό για τις L.M.D.S. συχνότητες πάνω από τα 20GHz. Σύμφωνα με το μοντέλο του ETSI (European Telecommunications Standards Institute – Ευρωπαϊκό Τηλεπικοινωνιακό Ινστιτούτο Προτύπων) που απεικονίζεται στο σχήμα 2, θα έπρεπε λογικά να αποτελείται από την μονάδα διασύνδεσης δικτύου (Network Interface Unit - NIU) και της συσκευής λήψης διαφόρων τηλεοπτικών και ραδιοφωνικών σημάτων (Set Top Unit - STU). Οι δυο αυτές μονάδες εμπεριέχονται στο Set-Top Box (STB) του χρήστη. [2], [14]

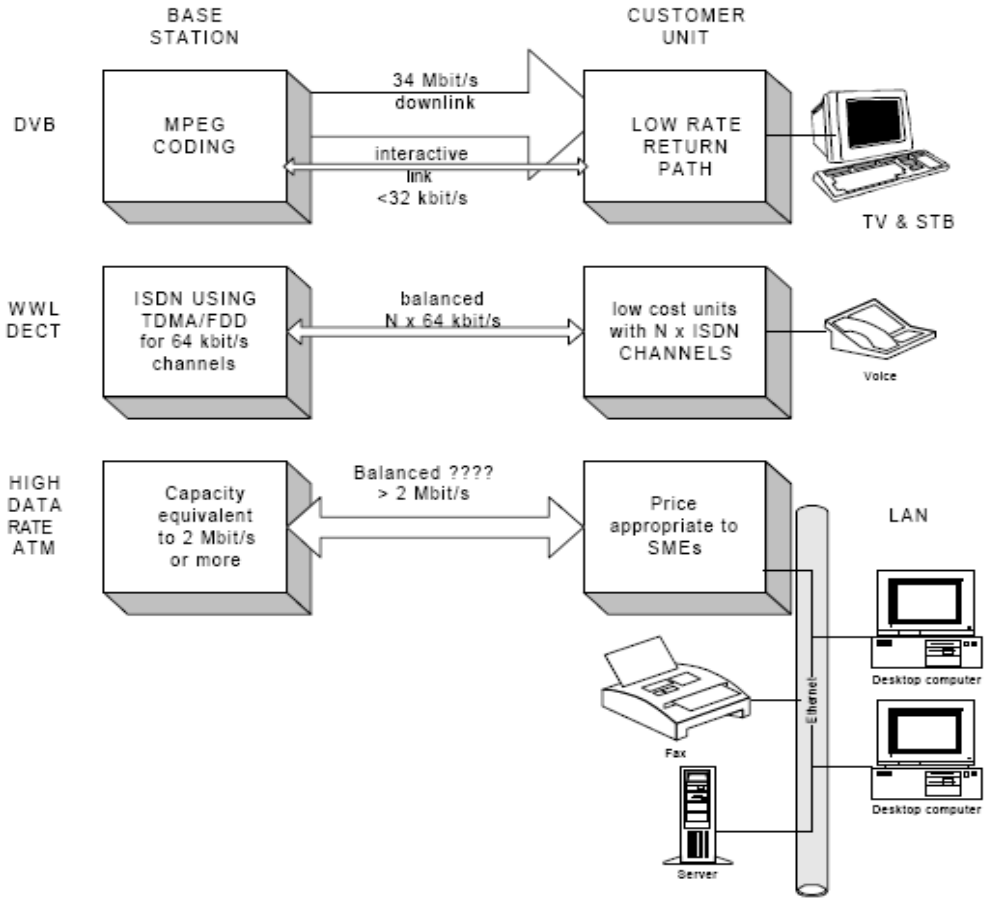


Σχήμα 2: Διάγραμμα αλληλεπιδραστικού συστήματος.

3.7 Χρήσεις τερματικού εξοπλισμού L.M.D.S. ανά κατηγορία χρηστών.

Η επινόηση ενός απλού/γενικού τερματικού εξοπλισμού χρήστη κατάλληλου για όλες τις κατηγορίες χρηστών και τις υπηρεσίες δεν είναι εφικτή λύση για το σχεδιασμό του L.M.D.S. Όταν αυτό σχεδιάζεται για παροχή συγκεκριμένων υπηρεσιών και χρησιμοποιείται τελικά για τελείως διαφορετικές υπηρεσίες τότε δεν είναι οικονομικά ορθός ο τρόπος χρήσης του. Θεωρώντας συγκεκριμένες παρεχόμενες υπηρεσίες ανά κατηγορία χρηστών που προτείνονται στον πίνακα 2, υπάρχουν τρεις προφανής επιλογές τερματικού εξοπλισμού χρήστη στο σχήμα 3.

Ο χαμηλής δραστηριότητας τερματικός εξοπλισμός καλύπτει συνήθως τα νοικοκυριά με παροχή ψηφιακής τηλεόρασης και διαδικτύου. Αυτή η προσέγγιση συμμορφώνεται με τα πρότυπα του ETSI και απαιτεί ότι η άνω ζεύξη θα' ναι μέσω PSTN ή ISDN. Ο μέσης δραστηριότητας τερματικός εξοπλισμός καλύπτει τα νοικοκυριά, τα μικρά γραφεία και τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις όπου άνω και κάτω ζεύξη γίνονται μέσω κλασματικών μέχρι πλήρως συμμετρικών E1 και ο υψηλής δραστηριότητας τερματικός εξοπλισμός θα καλύπτεται με συμμετρικό E2. Οι μέσης και υψηλής δραστηριότητας χρήστες έχουν πολλά κοινά σημεία μεταξύ τους όσον αφορά το είδος των υπηρεσιών και όσο η τεχνολογία εξελίσσεται και το κόστος τους μειώνεται, θα έχουν κοινούς τερματικούς εξοπλισμούς.
[1], [14]

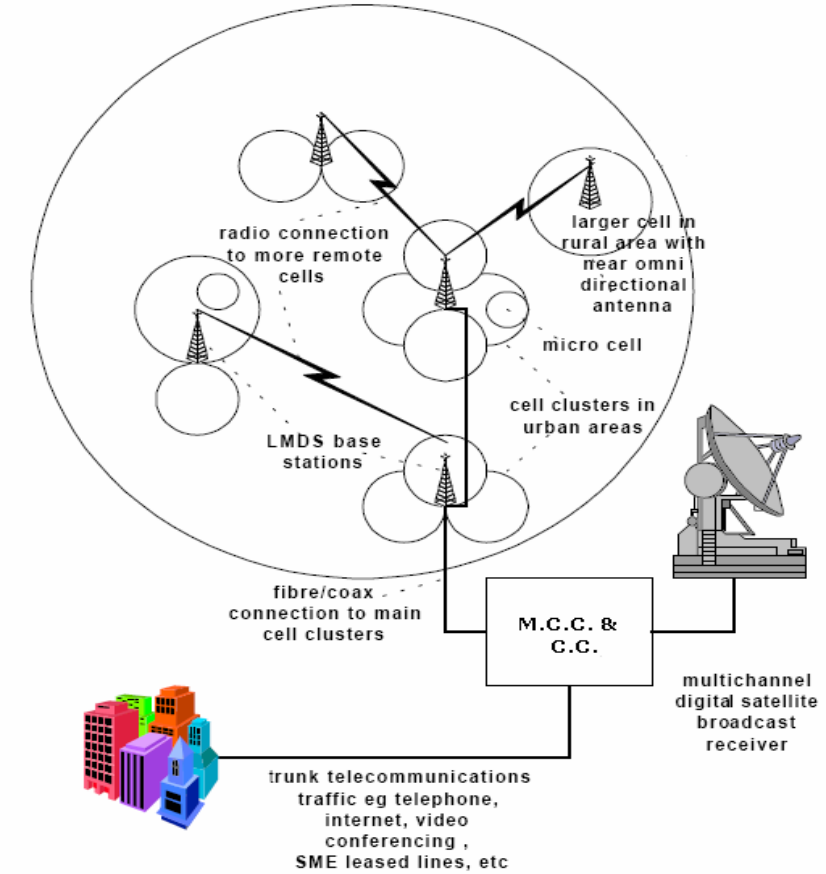


Σχήμα 3: Επιλογές χρήστη L.M.D.S. από πάνω προς τα κάτω απεικονίζεται η χαμηλή, μεσαία και υψηλή δραστηριότητα

4. Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ L.M.D.S.

4.1 Εξέταση της αρχιτεκτονικής του L.M.D.S.

Ένα σύστημα L.M.D.S. περιέχει όλα τα στοιχεία δικτύου που είναι απαραίτητα για την διανομή ευρυζωνικών υπηρεσιών προς τους χρήστες μέσα σ' ένα δίκτυο L.M.D.S. Γι' αυτό το λόγο το L.M.D.S. σύστημα δεν έχει άμεση σχέση με παροχή υπηρεσιών. Η εκλογή ενός κεντρικού δικτύου προέρχεται απευθείας από την ερμηνεία του ακρωνυμίου L.M.D.S. σαν ένας γενικός μηχανισμός διανομής υπηρεσιών τοπικού χαρακτήρα. Σαν τέτοιο σύστημα το L.M.D.S. θα πρέπει να βασίζεται σε μια ανεξάρτητη ως προς τις υπηρεσίες αρχιτεκτονική και να αποφεύγει συγκεκριμένα στοιχεία υπηρεσιών όσο γίνεται. Ένα τέτοιο παράδειγμα φαίνεται στο σχήμα 4.



Σχήμα 4: Γενικό διάγραμμα αρχιτεκτονικής του L.M.D.S.

Ένα L.M.D.S. σύστημα γενικά έχει δομή τεσσάρων επιπέδων:

1. Το κέντρο ελέγχου (Control Center – C.C.) συνδέει το L.M.D.S. με τα εξωτερικά δίκτυα.

2. Το κύριο κέντρο συντονισμού (Main Coordination Center – MCC) είναι το σημείο εισόδου του δικτύου στην γεωγραφική περιοχή στην οποία παρέχονται υπηρεσίες.

3. Τον σταθμό βάσης (Base Station – B.S.) που συνδέει και τροφοδοτεί τα κύτταρα.

4. Ο εξοπλισμός πρόσβασης του χρήστη (Consumer Premise Equipment – CPE).

Σημειώνεται εδώ ότι το L.M.D.S. περιγράφεται με τέσσερα επίπεδα, αλλά στην πράξη μπορεί να υπάρχουν περιπτώσεις όπου κάποια επίπεδα εξαλείφονται και η δομή γίνεται πιο απλή και φυσικά πιο οικονομική. [6]

4.1.1 Κέντρο ελέγχου και κύριο κέντρο συντονισμού.

Το κέντρο ελέγχου είναι το ευρυζωνικό σημείο πρόσβασης (Broadband Access Point – BAP) του L.M.D.S. με τα εξωτερικά δίκτυα. Αυτό το σημείο στον πυρήνα του δικτύου είναι συνήθως το σημείο εισόδου για την διασύνδεση παροχέα διαδικτύου (Internet Service Provider – ISP). Το κέντρο ελέγχου του L.M.D.S. συνδέεται μέσω ενός εσωτερικού δικτύου μεταφοράς που βασίζεται στο πρότυπο Synchronous Optical Network (S.O.NET – πρότυπο συστήματος σύνδεσης με οπτικές ίνες) με συνδέσεις OC-12 (Optical Carrier - ταχύτητα 622,08 Mbps), OC-3 (Optical Carrier - ταχύτητα 155,52 Mbps) και DS-3 (Digital Signal Level 3 – μετάδοση στα 44.736Mbps). Υποστηρίζει ATM και IP πρωτόκολλα επικοινωνίας και διασυνδέσεις με το Δημόσιο Τηλεφωνικό Δίκτυο (P.S.T.N.) στο κύριο κέντρο συντονισμού (Main Coordination Center – M.C.C) το οποίο είναι συνήθως τοποθετημένο στον ίδιο χώρο με το κέντρο ελέγχου. [4], [8], [11]
Τα εξωτερικά δίκτυα τροφοδοτούνται κατευθείαν από το δίκτυο τροφοδοσίας των σταθμών βάσης του L.M.D.S. Η κίνηση που συγκεντρώνεται στο κύριο κέντρο συντονισμού θα αναμεταδίδεται στο κέντρο ελέγχου χρησιμοποιώντας μια σύνδεση με μεγάλη χωρητικότητα. Μια εξαίρεση μπορεί να γίνει αν λάβουμε υπόψη ένα εξωτερικό δορυφορικό δίκτυο όπου η άμεση υποδοχή στο κύριο κέντρο συντονισμού θα μειώσει την απαίτηση χωρητικότητας στην διασύνδεση του κύριου κέντρου συντονισμού και του κέντρου ελέγχου.
Το υπερκείμενο δίκτυο μεταφοράς που προέρχεται από το κύριο κέντρο συντονισμού παρέχει διασύνδεση μεταξύ διαφορετικών κυττάρων μέσα σε ένα σύστημα L.M.D.S.
Η επιλογή του δικτύου μεταφοράς εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Πρώτα από όλα τα δημογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής επιβάλουν ένα ανώτερο όριο στην συνολικά απαιτούμενη χωρητικότητα μεταφοράς.

Στις περιοχές με υψηλή κίνηση το κέντρο ελέγχου συνήθως τοποθετείται σε μια λογική απόσταση και επομένως μια σύνδεση με οπτική ίνα συνήθως προτιμάται. Αν η απόσταση από το κέντρο ελέγχου είναι μεγάλη, η σύνδεση χρησιμοποιώντας ραδιοζεύξη σημείου-προς-σημείο, μπορεί να είναι ικανοποιητική όταν η ποσότητα της κίνησης δεν υπερβαίνει την ικανότητα μεταφοράς της ραδιοζεύξης. Αυτό αποτελεί μια τυπική περίπτωση για λίγους χρήστες άσχετα από τα πραγματικά δημογραφικά χαρακτηριστικά. Στην πράξη η ραδιοζεύξη αναμένεται να προσφέρει μια οικονομική λύση για χωρητικότητες από STM-1 (155Mb/s) μέχρι και STM-4 (622Mb/s). Στην περίπτωση των απομονωμένων κυττάρων μακριά από το κέντρο ελέγχου, μια δορυφορική σύνδεση μπορεί να είναι ικανοποιητική.

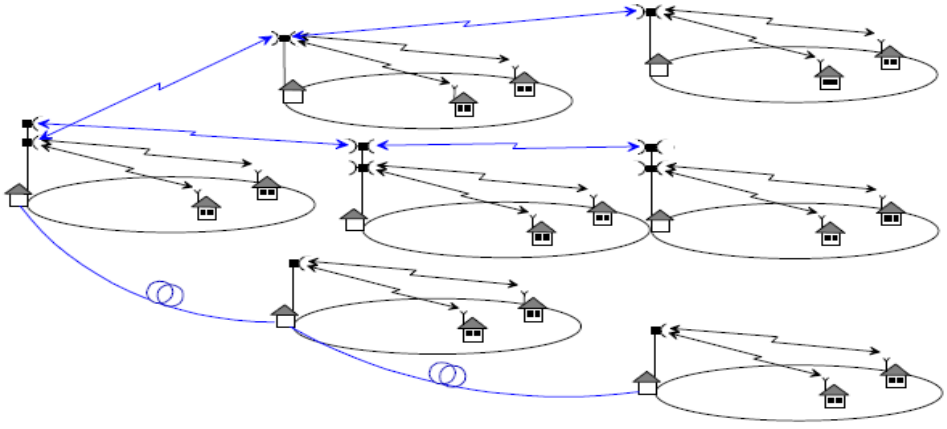
4.1.2 Σταθμός βάσης και εξοπλισμός πρόσβασης χρήστη.

Το κύριο κέντρο συντονισμού συνήθως τοποθετείται σε έναν από τους σταθμούς βάσης (Base Station – B.S.) και μεταξύ τους συνδέονται με ένα δίκτυο μεταφοράς που αποτελείται συνήθως από τον τερματισμό της ενσύρματης σύνδεσης, τις λειτουργίες διαμόρφωσης και αποδιαμόρφωσης, την μικροκυματική μετάδοση και τον εξοπλισμό λήψης και αποτελούν τμήμα του εξοπλισμού του σταθμού βάσης χαρακτηρίζοντας έτσι το κύτταρο σαν κεντρικό.
Κάθε κύτταρο τροφοδοτείται από τον σταθμό βάσης του L.M.D.S. ο οποίος καθορίζει και την μετάβαση στο τρίτο επίπεδο όπου συνδέεται με το κύριο κέντρο συντονισμού μέσω ενός υπερκείμενου δικτύου μεταφοράς.
Ένας μόνος σταθμός βάσης μπορεί να τροφοδοτήσει αρκετά κύτταρα και να προσφέρει σύνδεση σε έναν μεγάλο αριθμό από χρήστες του δικτύου χρησιμοποιώντας ραδιοεπικοινωνία στην ζώνη των 40GHz. Αυτή η διασύνδεση μπορεί να αποκτηθεί από άμεση ή έμμεση επικοινωνία με την χρήση αναμεταδοτών αν είναι απαραίτητο. Οι συνδέσεις τοπικού χαρακτήρα μπορούν να γίνουν επίσης στον σταθμό βάσης. Αν αυτές οι συνδέσεις είναι πραγματοποιήσιμες τότε η επικοινωνία των χρηστών στην ίδια βάση μπορεί να γίνει χωρίς την ενσύρματη επικοινωνία. Αυτό το τρίτο επίπεδο αναφέρεται και σαν δίκτυο πρόσβασης του L.M.D.S.
Στο φυσικό επίπεδο όπου όλοι οι χρήστες χρησιμοποιούν τον εξοπλισμό διασύνδεσης δικτύου (Network Interface Unit - NIU) ο οποίος και καθορίζει το τέταρτο επίπεδο. Ο εξοπλισμός του χρήστη ποικίλει από πάροχο σε πάροχο. Όλες οι εφαρμογές συμπεριλαμβάνουν τον εσωτερικό εξοπλισμό διαμόρφωσης και τον εξωτερικό εξοπλισμό μικροκυματικών συνδέσεων. Ο εξοπλισμός του χρήστη μπορεί να συνδεθεί στο δίκτυο χρησιμοποιώντας TDMA (Time Division Multiplexing Access – Πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χρόνου), FDMA (Frequency Division Multiplexing Access – Πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση συχνότητας) ή CDMA (Code Division Multiplexing Access – Πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα). Άλλοι εξοπλισμοί χρηστών απαιτούν διαφορετικές συνδέσεις όπου θα χρησιμοποιούνται DS-0 (Digital Signal Level 0 – Μετάδοση 64Kbps), POTS (Plain old telephone system – Συμβατικό τηλεφωνικό δίκτυο), 10BaseT (Twisted Pair Ethernet – τοπικό δίκτυο που χρησιμοποιεί συνεστραμμένο καλώδιο με μέγιστη

απόσταση τα 100 μέτρα), Unstructured DS1 (Digital Signal Level 1 – Μη δομημένη μετάδοση στα 1.544Mbps), Structured DS1 Frame Relay (Πρωτόκολλο Δομημένης καλωδίωσης Δευτέρου Επιπέδου του προτύπου OSI), ATM σε T1 (Ψηφιακή μετάδοση στα 1.544Mbps), DS-3, OC-3 και OC-1 και οι τοποθεσίες μπορούν να ποικίλουν από μερικά μίλια μέχρι γειτονικές τοποθεσίες. [8], [13]

4.2 Διακυτταρικά δίκτυα ως δίκτυα κορμού

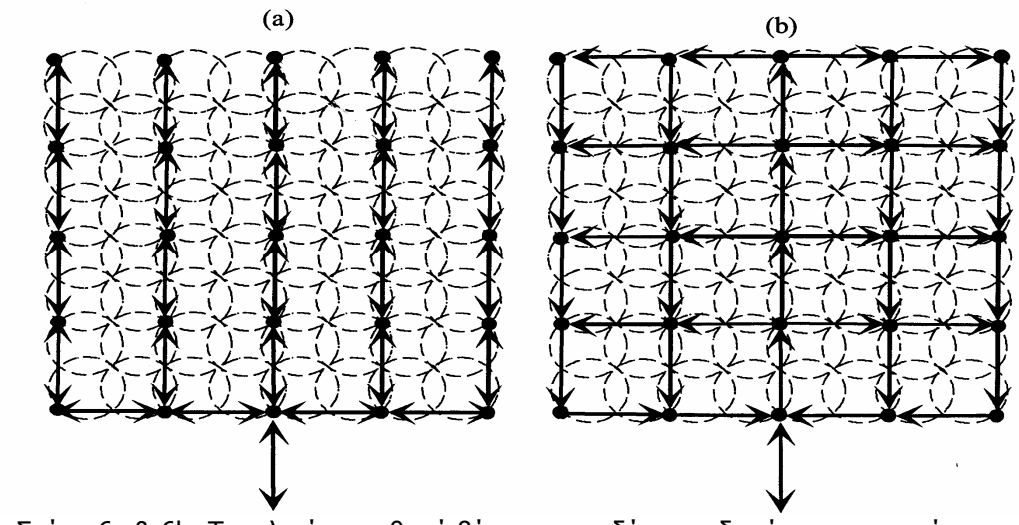
Η παροχή υπηρεσιών που παρέχεται από τα εξωτερικά δίκτυα γίνεται μέσω του δικτύου τροφοδότησης του σταθμού βάσης σε κάθε κύτταρο του L.M.D.S.
Θεωρώντας ένα πολυκυτταρικό δίκτυο L.M.D.S., μια προτεινόμενη προσέγγιση είναι να συνδεθούν τα κύτταρα του με το κύριο κέντρο συντονισμού χρησιμοποιώντας ένα υπερκείμενο διακυτταρικό δίκτυο μεταφοράς. Αυτό το δίκτυο εφαρμόζεται συνδέοντας τα κύτταρα ιεραρχικά. Ο σταθμός βάσης στο κύριο κέντρο συντονισμού είναι συνδεδεμένος με έναν ή περισσότερους σταθμούς βάσης σε επόμενο επίπεδο. Γενικά μια δομή "δέντρου" δημιουργείται όταν επαναλαμβάνεται αυτή η διαδικασία. Σε μερικές περιπτώσεις αυτή η δομή αναφέρεται σαν master-slave. Οι σταθμοί βάσης μπορούν να καθιερώσουν μια ανεξάρτητη και αποτελεσματική διακυτταρική και ενδοκυτταρική επικοινωνία με το κύριο κέντρο συντονισμού.
Λόγω της μικρής απόστασης ανάμεσα στο κύριο κέντρο συντονισμού και στον πιο κοντινό σταθμό βάσης αυτή η ενδοκυτταρική σύνδεση συνήθως γίνεται χρησιμοποιώντας είτε ομοαξονικό καλώδιο είτε οπτική ίνα. Όσο για το διακυτταρικό δίκτυο, μικροκύματα ή οπτικές ίνες συνήθως προτιμώνται.
Και οι δυο εναλλακτικές μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υλοποίηση ενός διακυτταρικού δικτύου στο οποίο η πρόσβαση του δικτύου L.M.D.S. και του δικτύου τροφοδότησης σταθμού βάσης διαφέρουν μόνο στα χαρακτηριστικά του μέσου μεταφοράς.



Σχήμα 5: Επιλογές ενδοκυτταρικού δικτύου σε ένα πολυκυτταρικό δίκτυο L.M.D.S.

Υπάρχουν τρεις επιλογές για την εφαρμογή του διακυτταρικού δικτύου όπως φαίνονται στο σχήμα 5, όπου οι εναλλακτικές μέθοδοι βασίζονται στα μικροκυματικά ραδιοκύματα και δείχνουν την διάφανη και μη διάφανη επιλογή. Στην περίπτωση της διάφανης το σήμα της κάτω ζεύξης στο αριστερό κύτταρο λαμβάνεται μικροκυματικά μέσω των γειτονικών κυττάρων. Συνεπώς, η ίδια πληροφορία μεταφέρεται σε κάθε κύτταρο. Στα κύτταρα του L.M.D.S. το σήμα άνω ζεύξης συγκεντρώνεται στο σταθμό βάσης και πηγαίνει στο ίδιο κύτταρο από το οποίο προέρχεται το σήμα κάτω ζεύξης. Το σήμα άνω ζεύξης παρέχεται και με την εναλλακτική της χρήσης καλωδίου αν η ποσότητα της πληροφορίας είναι μικρή. Η μη διαφανής εναλλακτική μέθοδος έχει ξεχωριστό μικροκυματικό διακυτταρικό δίκτυο κορμού όπου η ροή της μεταφοράς μπορεί να αναδιαμορφώνεται και να επαναπολυπλέκεται πριν την είσοδο της στο επόμενο επίπεδο του δικτύου. Μια άλλη εναλλακτική μέθοδος είναι η χρήση της οπτικής ίνας σε διαφανή και μη διαφανή περίπτωση. Μια τυπική διαφανής επιλογή είναι η χρήση της τεχνολογίας H.F.R. (Hybrid Fiber Radio) όπου όλες οι ψηφιακές λειτουργίες γίνονται στο κύριο κέντρο συντονισμού και οι σταθμοί βάσης δρουν σαν παθητικοί επαναλήπτες. Οι εφαρμογές της μη διαφανής μεθόδου είναι παρόμοιες με τις συνδέσεις μικροκυματικών ραδιοκυμάτων και των Synchronous Digital Hierarchy συνδέσεων που μεταφέρουν ATM κίνηση.

Για την παροχή ραδιοκάλυψης σε μια μεγάλη περιοχή μια συστηματική διαδικασία για τον σχεδιασμό ενός δικτύου τροφοδότησης σταθμού βάσης θα πρέπει να υιοθετηθεί. Η επιλογή της τοπολογίας δικτύου και η τεχνολογική λύση καθορίζονται από την διαμόρφωση της υπηρεσίας και την ποσότητα της κίνησης. Υποθέτοντας μια συστοιχία τεσσάρων κυττάρων γύρω από έναν μόνο σταθμό βάσης, δυο πιθανές συστηματικές τοπολογίες δικτύων προτείνονται στα σχήματα 6a & 6b, όπου δείχνουν μια αλυσίδα, όπου διαδοχικοί σταθμοί βάσης είναι τοποθετημένοι σε παράλληλα μονοπάτια διπλής κατευθύνσεως συνδέσεις.



Σχήμα 6a & 6b: Τοπολογίες σταθμού βάσης τροφοδότησης δικτύου για συνεχόμενη και συστηματική ραδιοκάλυψη.

4.3 Εξασθένηση λόγω βροχόπτωσης στα διακυτταρικά δίκτυα

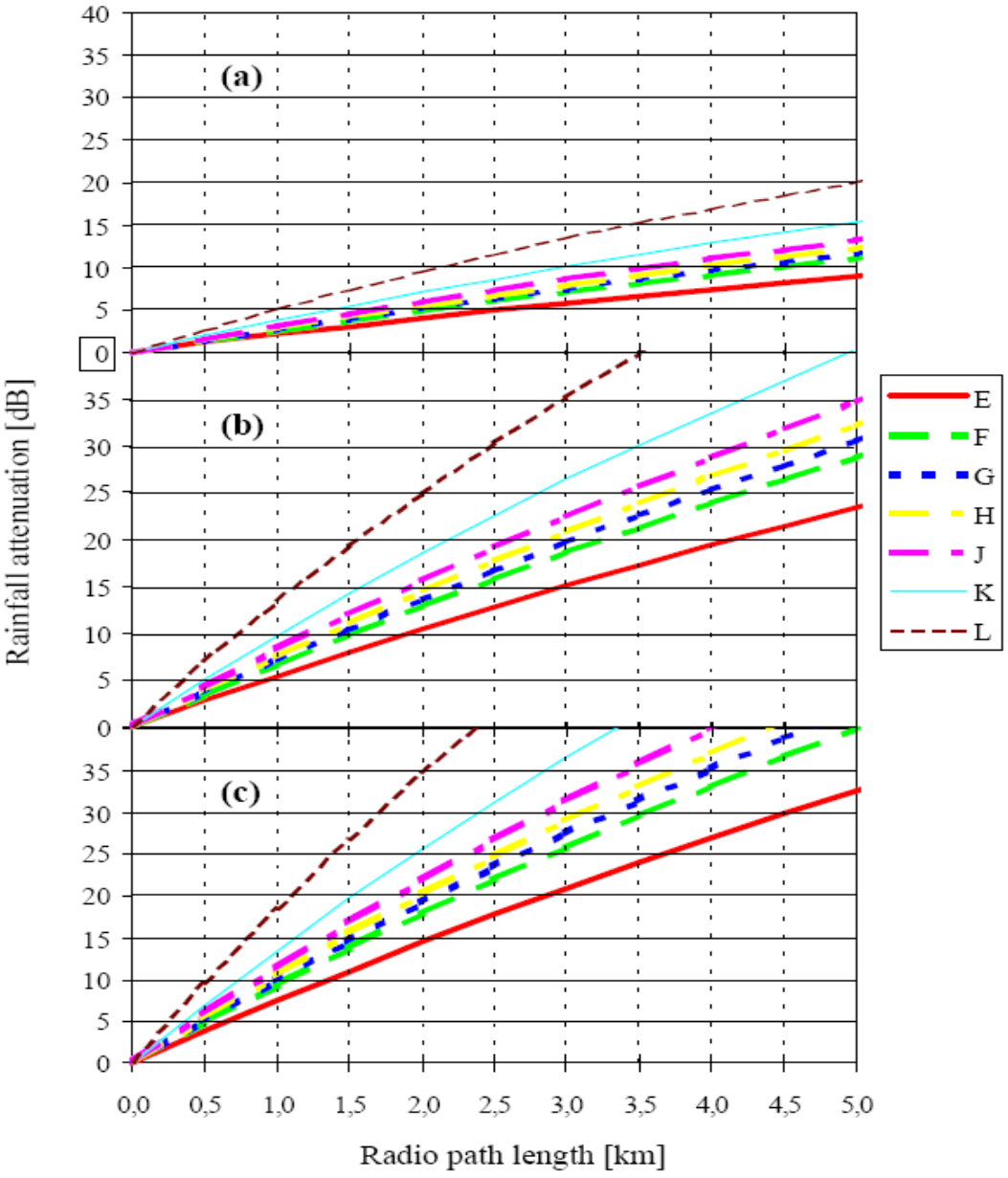
Η πρώτη συστοιχία κυττάρου τροφοδοτείται κανονικά μέσω οπτικής ίνας ή μέσω ομοαξονικού καλωδίου. Μπορεί να είναι επιθυμητό να τροφοδοτείται μια συστοιχία κυττάρου που ακολουθεί ή μια ανεξάρτητη, μικροκυματικών ευρυζωνικών καναλιών μέχρι να είναι οικονομικά ή χρονικά σωστή η σύνδεση με ομοαξονικό καλώδιο ή οπτική ίνα. Στη συστοιχία των τεσσάρων κυττάρων του σχήματος 6α, η απόσταση ανάμεσα σε δυο κοντινούς σταθμούς βάσης θα είναι η διπλάσια απόσταση ανάμεσα στα εσωτερικά κύτταρα. Διαλέγοντας μια μέγιστη ραδιοζεύξη μήκους 2 χιλιομέτρων, δυο γειτονικοί σταθμοί βάσης θα μπορούν να απέχουν τουλάχιστον 4 χιλιόμετρα. Θα πρέπει να έχουμε οπτική επαφή ανάμεσα τους όπως στο σχήμα 5 και ο χρόνος χωρίς διαθεσιμότητα είναι περίπου 99,9%. Η πρόσθετη απώλεια ελεύθερου χώρου από τον διπλασιασμό είναι 6dB και το αυξανόμενο περιθώριο λόγω βροχής στην ζώνη L είναι 7,5dB. Αν μια τυπική κεραία χρήστη με κέρδος 35dB χρησιμοποιηθεί για μικροκυματική λήψη, το συνολικό περιθώριο στην κάτω ζεύξη θα μειωθεί κατά 11,5dB στην περίπτωση της ζώνης βροχόπτωσης L (πίνακας 4).
Σύμφωνα με το σχήμα 7, το περιθώριο βροχόπτωσης στην ζώνη L είναι 25dB για 2 χιλιόμετρα μήκους ραδιοζεύξης, με διαθεσιμότητα 99,99% και 44dB στα 4 χιλιόμετρα όπου αυτή η απόσταση απαιτεί 17dB περιθώριο βροχόπτωσης. Αν το πρώτο κύτταρο παρέχει διαθεσιμότητα 99,99% το ευρυζωνικό κανάλι διαθεσιμότητας 99,9% μπορεί να επιτευχθεί κατευθείαν στην επόμενη συστοιχία γιατί το νέο περιθώριο είναι 25 – 6=19dB το οποίο είναι 2dB πάνω από τα απαιτούμενα 17dB. Για την επίτευξη 99,99% στα 4 χιλιόμετρα ένα επιπρόσθετο περιθώριο των 44 – 25 + 6 = 25dB θα πρέπει να παρέχεται, το οποίο μπορεί να επιτευχθεί με 35 + 25 = 60dB κέρδους κεραία. Πρακτικά για την κεραία η διαθεσιμότητα των 99,95% είναι πιο ακριβής. Είναι πιθανό οι αποστάσεις ανάμεσα στους σταθμούς βάσης να είναι πάνω από 4 χιλιόμετρα με μια μείωση διαθεσιμότητας που επιτυγχάνεται στη δεύτερη συστοιχία. Για παράδειγμα η απόσταση των 8 χιλιομέτρων θα αυξήσει το περιθώριο βροχής που απαιτείται για την προμήθεια υπηρεσίας 99,9% στα 32dB. Μια κεραία με κέρδος 54dB θα χρειαστεί μια μικροκυματική σύνδεση λήπτη με απόσβεση 22dB για να παρέχει περιθώριο 32 dB.

Γενικά, τα κανάλια εκπέμπονται κλιμακωτά σε συστοιχίες κυττάρων με συνδέσεις διαταγμένες στη σειρά. Βέβαια, η διαθεσιμότητα πέφτει σε κάθε σκέλος αυτής της κλίμακας. Η διαθεσιμότητα που επιτυγχάνεται στη ν-ιοστή μετάβαση (hop) είναι $a_1 * a_2 * \ldots * a_v$, όπου a_λ είναι η διαθεσιμότητα που επιτυγχάνεται στο κύτταρο με αύξοντα αριθμό [λ]. Αν η διαθεσιμότητα σε κάθε σκέλος είναι 99,95% (πίνακας 6) τότε στο τέταρτο κύτταρο της κλίμακας δεν θα είναι καλύτερη από 99,8%, αλλά και πάλι θα είναι κοντά στην απαιτούμενη εκπομπή ευρείας ζώνης. Είναι πιθανό η δεύτερη συστοιχία κυττάρων να αντιμετωπίζεται περίπου με τον ίδιο τρόπο όπως σε ένα μικροκύτταρο. Το εκπεμπόμενο σήμα θα ενισχύεται και

επαναμεταδίδεται με ορθογωνική πόλωση στην δεύτερη συστοιχία κυττάρων, το οποίο θα χρησιμοποιεί μια κοντινή παν-κατευθυντική κεραία για τις αρχικές υπηρεσίες των εκπεμπόμενων καναλιών. Αυτή η μέθοδος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ακόμα και για υλοποίηση εκπομπής κατ' απαίτηση, δεδομένου ότι όλες οι υπηρεσίες θα μεταδίδονται στην πρώτη συστοιχία κυττάρων.

Εξασθένηση λόγω βροχόπτωσης	**Διαθεσιμότητα πρόσβασης στο δίκτυο**		
Περιθώριο	99,9%	99,99%	99,996%
10dB	2.0 – 5,5 km	0,7 – 1,8 km	0,5 – 1,4 km
15dB	3,5 km	1,0 – 3,0 km	0,8 – 2,0 km
20dB	5,0 km	1,5 – 4,0 km	1,0 – 3,0 km
25dB	> 5,0 km	2,0 – 5,5 km	1,4 – 3,7 km

Πίνακας 4: Μέγιστο μήκος σύνδεσης σε σχέση με την διαθεσιμότητα του δικτύου και το περιθώριο λόγω βροχόπτωσης



Σχήμα 7: Εξασθένηση λόγω βροχόπτωσης στην σύνδεση και οι ζώνες βροχόπτωσης E έως L της ITU-R για a) 99,9%, b) 99,99% και c) 99,996% διαθεσιμότητα σε έναν μέσο ημερολογιακό χρόνο.

4.4 Τρόποι διακίνησης υπηρεσιών μέσω διακυτταρικών συνδέσεων

Σ' ένα ώριμο σύστημα η κίνηση ATM θα συνδέεται με το κύριο κέντρο συντονισμού μέσω οπτικής ίνας. Αρχικά, οι συνδέσεις ανάμεσα στους σταθμούς βάσης θα επιτυγχάνονται μέσω ευρυζωνικών ραδιοζεύξεων, χρησιμοποιώντας διάφανο επαναλήπτη κάθε δεύτερη συστοιχία κυττάρων. Το πρόβλημα είναι

εφάμιλλο αλλά όχι ταυτόσημο σε καταστάσεις εκπομπής κατ' απαίτηση. Η αρχική συστοιχία είναι συνδεδεμένη στο κύριο κέντρο συντονισμού είτε με ομοαξονικό καλώδιο είτε με οπτική ίνα με μια ραδιοζεύξη ανάμεσα στη πρώτη και δεύτερη συστοιχία.
Μια μέθοδος για μεταβίβαση υπηρεσιών γίνεται αν υποθέσουμε ότι όλοι οι χρήστες είναι στην ίδια συστοιχία κυττάρων και ότι και στις δυο συστοιχίες μεταβιβάζονται οι ίδιες υπηρεσίες με σύνδεση οπτικής επαφής ορθογωνικής πόλωσης. Κάποια μείωση στην διαθεσιμότητα (99,95%) θα υπάρξει αλλά αυτό δεν θα μειώσει τα οφέλη της υπηρεσίας μέσω της ραδιοζεύξης.
Μια πιο πολύπλοκη αλλά φασματικά αποτελεσματική διαδικασία, θα είναι ο διαχωρισμός των εργασιών ανάμεσα στη πρώτη και δεύτερη συστοιχία κυττάρων. Οι υπηρεσίες για τη δεύτερη συστοιχία κυττάρων μεταφέρονται στα επόμενα κύτταρα σε ξεχωριστή ζώνη συχνοτήτων, γεγονός που επιτρέπει στη πρώτη συστοιχία να έχει πρόσβαση σε όλα τα κατανεμημένα αλληλεπιδραστικά κανάλια. Οι υπηρεσίες τώρα θα είναι συνδεδεμένες μέσω συμβατικής διπλής κατευθύνσεως σύνδεσης οπτικής επαφής όπως στο σχήμα 5.
Υψηλότερου κέρδους κεραίες στη πρώτη συστοιχία κυττάρων θα εγκατασταθούν για την βελτίωση της διαθεσιμότητας. Στη δεύτερη συστοιχία κυττάρων, οι υπηρεσίες θα επαναεκπέμπονται μέσω επαναληπτών με ορθογωνική πόλωση.
Αρχικά αυτή η προσέγγιση θα' ναι επιτυχημένη μέχρι οι απαιτήσεις στο δεύτερο κύτταρο να φθάσουν σε κορεσμό, για εύρος ζώνης στο δίκτυο κορμού. Η διάταξη των τεσσάρων κυττάρων θα απαιτεί τέσσερις φορές την χωρητικότητα κίνησης στο δίκτυο κορμού από αυτή κάθε κυττάρου.
Όλες αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούν διάφανους επαναλήπτες στον δεύτερο σταθμό βάσης και στους επόμενους που ακολουθούν και αναμεταδίδουν τις ίδιες διαμορφώσεις που χρησιμοποιούνται σε ασύρματες συνδέσεις για τις διακυτταρικές λειτουργίες.
Μια περαιτέρω βελτίωση σε ραδιοζεύξη επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης υψηλότερου επιπέδου διαμόρφωσης στο δίκτυο κορμού. Αν η διαμόρφωση στο δίκτυο κορμού πετύχει 4bits/Hz σε όρους φάσματος τότε ίσο εύρος ζώνης θα κατανεμηθεί στο δίκτυο κορμού και στα τέσσερα κύτταρα. Αυτό χρειάζεται και επαναλήπτες ανασύστασης σήματος στον δεύτερο σταθμό βάσης και μεγαλύτερο περιθώριο εξασθένησης (πάνω από 12db) για να πετύχει την ίδια διαθεσιμότητα.
Αυτή η πολυπλοκότητα θα πρέπει να συγκριθεί με σύνδεση ομοαξονικού ή οπτικού καλωδίου όσον αφορά το κόστος, τον χρόνο τοποθέτησης και την απόδοση. Αν χρησιμοποιηθούν αναγεννητικοί επαναλήπτες για τις διακυτταρικές συνδέσεις, τότε μια πιθανότητα είναι να χρησιμοποιηθούν εκτός ζώνης συχνοτήτων για το δίκτυο κορμού. Αυτό είναι συνηθισμένο αλλά μπορεί να θεωρηθεί μη επιτρεπτό για υπηρεσία που της έχουν διατεθεί τουλάχιστον 2GHz, πιθανό και 3GHz εύρος συχνοτήτων. Οποιαδήποτε υπέρβαση σε κάποιες ζώνες του φάσματος θα απαγορευτεί μέχρι να μεγαλώσει η ζήτηση. Οι αναγεννητικοί επαναλήπτες χρησιμοποιούνται για συνδέσεις ανάμεσα στους σταθμούς βάσης χρησιμοποιώντας εξοπλισμό που αναπτύσσεται για σύνδεση κινητών σταθμών βάσης και είναι ελκυστικοί όσον αφορά το κόστος τους.

4.5 Ρυθμός δεδομένων και περιθώρια σύνδεσης για δίκτυο κορμού μικροκυματικών ζεύξεων.

Μερικά παραδείγματα των εφαρμογών συνδέσεων δικτύου κορμού φαίνονται στον πίνακα 5 σαν συνάρτηση του μήκους ραδιοζεύξης, του κέρδους κεραίας, των κλιματικών ζωνών και της διαμόρφωσης. Οι παράμετροι της ραδιο-συχνότητας που χρησιμοποιούνται είναι όμοιες με αυτές των συστημάτων στους σταθμούς βάσης. Ο ρυθμός των δεδομένων θεωρείται ότι είναι τυποποιημένος στα 34Mbit/s, η ισχύς της ραδιοσυχνότητας στα 17dBm και η εικόνα θορύβου στα 7db. Ο πίνακας 5 δείχνει το περιθώριο που επιτυγχάνεται μ' αυτές τις παραμέτρους για συνδέσεις μήκους 4 – 10km και συγκρίνουν αυτά τα νούμερα με αυτά που χρειάζονται για την επίτευξη διαθεσιμότητας 99,99% στις κλιματικές ζώνες E, H και L. Στην κλιματική ζώνη E μια διαθεσιμότητα 99,99% μιας υπηρεσίας επιτυγχάνεται μέχρι τα 10km για QPSK (Quadrature Phase Shift Keying – Διαμόρφωση μετατόπισης φάσης με τετραγωνισμό) σε αντίθεση με την L ζώνη όπου επιτυγχάνεται μόνο για 4km.
Η εκτίμηση των απαιτήσεων κίνησης δείχνει ότι ένα πλήρως λειτουργικό κύτταρο μπορεί να δημιουργήσει κίνηση μέχρι 100Mbit/s σε ώρα αιχμής. Σε μια συστοιχία τεσσάρων κυττάρων αυτό θα είναι το τετραπλάσιο. Αν το δίκτυο κορμού προς το κύτταρο είναι ένας διαφανής επαναλήπτης τότε 400MHz εύρους ζώνης θα χρειαστούν για να κρατήσουν την κίνηση του δικτύου κορμού με απόδοση 1 bit/Hz. Αυτό φαίνεται εφικτό καθώς μόνο 600MHz διατίθενται για ευρυζωνικές εκπεμπόμενες υπηρεσίες. Ένα πρακτικό όριο είναι ότι το δίκτυο κορμού ποτέ δεν μεταφέρει περισσότερα από 155Mbit/s. Σε αυτήν την διάταξη οι συνδέσεις δικτύου κορμού πάντα δεσμεύουν την ορθογωνική πόλωση προς αυτή που χρησιμοποιείται μέσα στο κύτταρο.

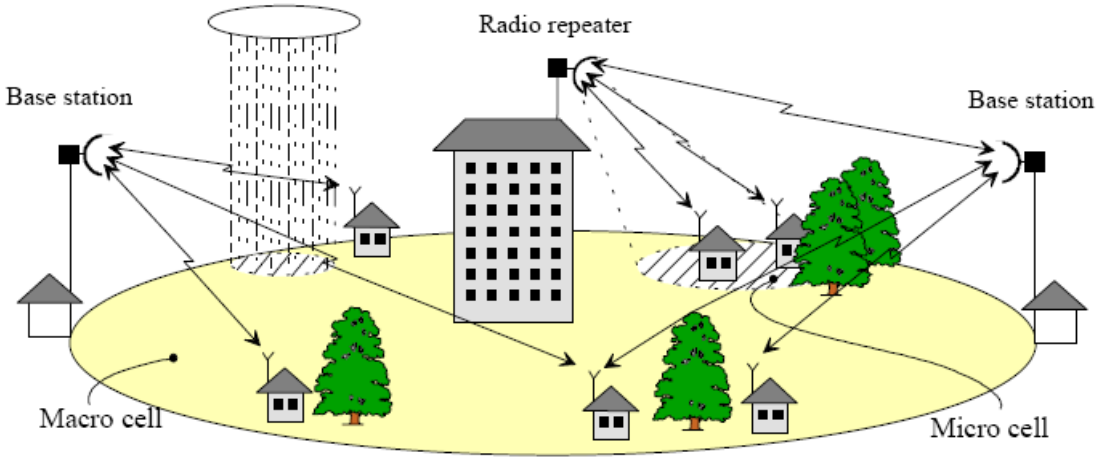
Διαμόρφωση	**Μήκος ραδιοζεύξης (χιλιομ.)**	**Κέρδος κεραίας (dB)**	**Εφικτό Περιθώριο (dB)**	**Απαιτούμενο περιθώριο (dB)**		
				Ζώνη E	**Ζώνη H**	**Ζώνη L**
QPSK	4	45	50	20	27	48
	6		46	28	37	65
	8		44	36	47	81
	10		42	43	55	94
16-QAM	8		38	36	47	81
64-QAM	8		32	36	47	81

Πίνακας 5: Πετυχημένα και απαιτούμενα περιθώρια για 99,99% διαθεσιμότητα μικροκυματικού δικτύου κορμού.

4.6 Κυτταροειδές δίκτυο πρόσβασης L.M.D.S.

Τα ραδιοσυστήματα στα 40GHz έχουν δυο κύρια χαρακτηριστικά, το μεγάλο εύρος ζώνης, το οποίο είναι διαθέσιμο και το μικρό μέγεθος των κεραιών υψηλού κέρδους. Το εύρος ζώνης που είναι διαθέσιμο της τάξης των 2 – 3 GHz μπορεί να προσφέρει 3 τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη χωρητικότητα όταν συγκριθεί με ήδη υπάρχοντα κυψελωτά συστήματα κινητής τηλεφωνίας. Αυτό το πλεονέκτημα αντισταθμίζεται από την περιορισμένη εμβέλεια πάνω στην οποία τέτοια συστήματα μπορούν να προσφέρουν ικανοποιητικές υπηρεσίες, λόγω διάδοσης και απόσβεσης σε φυσικά ή τεχνητά εμπόδια περιορίζοντας τον σχεδιασμό του συστήματος σε μια κυτταρική προσέγγιση όταν θέλουμε να καλύψουμε οτιδήποτε μεγαλύτερο από μια μικρή περιοχή.

Η βασική διάταξη του L.M.D.S. δικτύου φαίνεται στο σχήμα 8. Ένα κύτταρο καθορίζεται εδώ σαν μια συνεχόμενη γεωγραφική περιοχή μέσω της οποίας το L.M.D.S. προσφέρει ευρυζωνική πρόσβαση σύμφωνα με συγκεκριμένη ποιότητα και κριτήρια λειτουργίας που καλύπτουν ένα συγκεκριμένο ποσοστό χρηστών.



Σχήμα 8: Βασική διάταξη δικτύου L.M.D.S.

Για την παροχή κατάλληλου πλαισίου για τον σχεδιασμό των κυττάρων του L.M.D.S., μια γεωγραφική περιοχή θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από την τοπογραφία, δημογραφία και μετεωρολογία της. Συνδυάζοντας το γεωγραφικό μοντέλο με αρχές σχεδιασμού ραδιοδικτύου θα αποκομίσουμε μια δομή κυττάρου όπου κάθε κύτταρο περιγράφεται αρχικά από το μέγεθός του (km^2) και το σχήμα του.
Για την παροχή ευρυζωνικής πρόσβασης κυττάρου, τρία κύρια στοιχεία δικτύου είναι απαραίτητα για τον ευέλικτο σχεδιασμό ενός κυψελωτού ραδιοκυττάρου. Αυτά είναι οι σταθμοί βάσης του κυττάρου, οι επαναλήπτες ραδιοκύματος κυττάρου και ο εξοπλισμός των χρηστών όπως στο σχήμα 8. Οι σταθμοί βάσης συνδέουν το κύτταρο στο εσωτερικό δίκτυο μεταφοράς του L.M.D.S. και παρέχουν συνδέσεις στους εξοπλισμούς των χρηστών. Συνήθως οι σταθμοί

βάσης είναι τοποθετημένοι στο κέντρο του κυττάρου ή στο άκρο της ανάλογα με την περίπτωση. Υπάρχουν και περιπτώσεις όπου αρκετοί σταθμοί βάσης καλύπτουν ένα κύτταρο. Για την σύνδεση περιοχών χωρίς οπτική επαφή, οι επαναλήπτες είναι απαραίτητοι στους σταθμούς βάσης. Το μέγιστο εύρος των μικροκυττάρων είναι 0,1 – 1 χιλιόμετρο ενώ τα μακροκύτταρα που ακτινοβολούνται από τους σταθμούς βάσης καλύπτουν 1 – 10 χιλιόμετρα. [10]

4.7 Απαιτήσεις και περιορισμοί στον σχεδιασμό του κυττάρου.

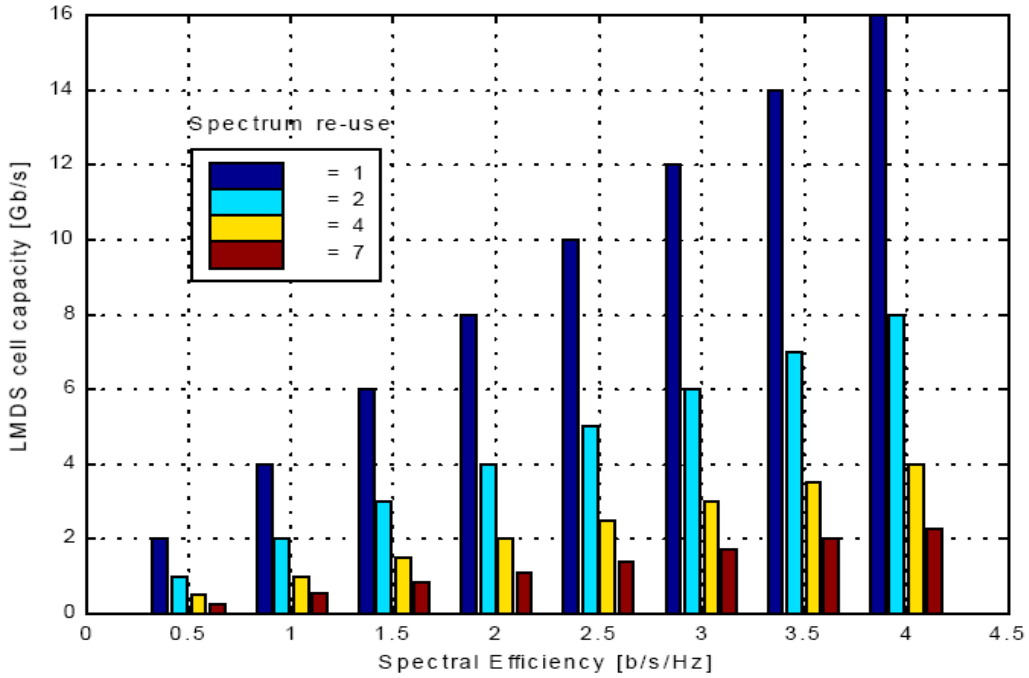
Στις αναπτυσσόμενες ανταγωνιστικές αγορές ευρυζωνικής πρόσβασης, διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης εν μέρει έχουν τις ίδιες υπηρεσίες και γεωγραφικές περιοχές. Η συνολική κάλυψη χρηστών ευρυζωνικής πρόσβασης πλησιάζει το 100%. Από θεσμικής πλευράς θα πρέπει να είναι κατάλληλη η υιοθέτηση μέτριων απαιτήσεων για μια ελάχιστη κάλυψη συνδρομητών ενός L.M.D.S. δικτύου. Αυτό επιτρέπει στους διαχειριστές να αναπτύξουν δίκτυο με μικρότερο κόστος και να διανέμουν υπηρεσίες χαμηλού κόστους στους χρήστες. Για την επίτευξη διείσδυσης στην αγορά με ανταγωνιστικό σενάριο, η κάλυψη των συνδρομητών ενός κυττάρου θα πρέπει να είναι υψηλή αλλά από τεχνική άποψη δεν είναι εφαρμόσιμη λύση λόγω του κόστους. Αυτό βέβαια δεν αποκλείει 100% κάλυψη σε συγκεκριμένες περιοχές με ευνοϊκές τοπικές συνθήκες. Μια ελάχιστη κάλυψη συνδρομητών πάνω από 50% είναι απαραίτητη ενώ για τον σχεδιασμό του κυττάρου του L.M.D.S. προτείνεται η κάλυψη των χρηστών κατά τουλάχιστον 70%.
Συγκεκριμένες συνθήκες οπτικής επαφής εξοπλισμού χρήστη εξαρτώνται από την γωνία ανύψωσης του ραδιοκύματος και του ύψους της κεραίας. Για δεδομένο ύψος κεραίας σταθμού βάσης, βλέπουμε ότι η γωνία ανύψωσης μειώνεται με την αύξηση του μήκους του ραδιοκύματος. Για σταθερά ύψη εξοπλισμού χρήστη, η κάλυψη των χρηστών είναι ανομοιόμορφη μέσα σ' ένα κύτταρο και μειώνεται καθώς απομακρυνόμαστε από τον σταθμό βάσης. Αυτό αντισταθμίζεται μερικώς με την μείωση του ύψους των κεραιών των χρηστών όσο απομακρύνονται από τον σταθμό βάσης.
Τα ύψη των κεραιών των σταθμών βάσης εκτιμάται ότι είναι από 20 έως 40 μέτρα και δέχονται περιβαντολογικούς περιορισμούς. Οι κεραίες των χρηστών είναι εύχρηστες και φθηνές και μπορούν να ανυψωθούν κατά 2 – 3 μέτρα πάνω από την οροφή του κτιρίου που βρίσκονται. Για επαγγελματίες χρήστες οι κεραίες τους ξεπερνούν τα 5 μέτρα πάνω στο κτίριο.
Όσον αφορά την υλοποίηση του σε διαφορετικές περιοχές, μια κεντρικοποιημένη προσέγγιση τροφοδότησης γενικά οδηγεί σε μια διάταξη επαναχρησιμοποίησης των συχνοτήτων επτά φορές (κ=7) η οποία στο συγκεκριμένο πλαίσιο χρήσης κάνει μη αποδοτική την χρήση του φάσματος. Αυτή η προσέγγιση είναι κατάλληλη για επαρχιακές περιοχές με χαμηλή κίνηση όπου επιτρέπεται η χρήση μεγαλύτερων κυττάρων και μικρότερου ραδιοφάσματος. Εναλλακτικά, αν

σχεδιαστεί ένα απομονωμένο κύτταρο, η πλήρης επαναχρησιμοποίηση συχνότητας είναι πιθανή και η ανάπτυξη σε αστικές και προαστιακές περιοχές είναι πραγματοποιήσιμη. Σε επαρχιακές περιοχές τα εμπόδια είναι συνήθως οι λόφοι και τα δέντρα οπότε η βελτίωση της κάλυψης επιτυγχάνεται με την πραγματοποίηση τροφοδότησης από τα άκρα του κυττάρου με αρκετούς σταθμούς βάσης. Στην περίπτωση των πολύ δύσκολων περιοχών οι επαναλήπτες των μικροκυττάρων μπορεί να είναι απαραίτητοι για την κάλυψη των συνδρομητών. Σε αστικές περιοχές και πόλεις, τα εμπόδια είναι συνήθως τα κτίρια, οπότε οι επαναλήπτες σε συνδυασμό με τους πολλαπλούς σταθμούς βάσης θα καλύψουν τους πολλούς συνδρομητές.

4.8 Χωρητικότητα δικτύου κυττάρων.

4.8.1 Περιορισμοί στο συνολικό ρυθμό δεδομένων των χρηστών.

Η μέγιστη διαθεσιμότητα χωρητικότητας ενός δικτύου L.M.D.S. καθορίζεται από τρεις παράγοντες: το εύρος φάσματος, την επαναχρησιμοποίηση του φάσματος και την φασματική απόδοση.
Το διαθέσιμο φάσμα ραδιοκύματος στα 40GHz ανέρχεται σε 2GHz με τρέχουσα κατανομή που κυμαίνεται από 40,5 – 42,5 GHz. Χρησιμοποιώντας και τις δυο πολώσεις, το διαθέσιμο φάσμα από το δίκτυο είναι 4GHz. Υπάρχει πιθανότητα ότι 1GHz επιπλέον θα μπορούσε να προστεθεί αργότερα και να επεκτείνει το άνω όριο του φάσματος μέχρι τα 43,5GHz. Πρακτικά, εάν προβλεφθεί η χρησιμοποίηση πολλών κυττάρων, κάποια επαναχρησιμοποίηση φάσματος θα γίνει για αποφυγή παρεμβολών μεταξύ τους. Ο βαθμός επαναχρησιμοποίησης καθορίζεται από την συχνότητα ή τον παράγοντα επαναχρησιμοποίησης φάσματος και για τα δίκτυα του L.M.D.S. κυμαίνεται από το 1 έως το 7 ο οποίος καλύπτει όλα τα σενάρια ανάπτυξης. Ο παράγοντας επαναχρησιμοποίησης ¨1¨ επιτυγχάνεται μόνο αν ένα κύτταρο απομονωμένο εγκατασταθεί ενώ ο παράγοντας επαναχρησιμοποίησης ¨7¨ ανταποκρίνεται στην περίπτωση των κυττάρων που τροφοδοτούνται από το κέντρο παρόμοια με την κινητή τηλεφωνία. Η φασματική απόδοση αναφέρεται στην πυκνότητα των πληροφοριών που μεταφέρονται πάνω στο ραδιοκανάλι. Μετριέται σε b/s/Hz και καθορίζεται από την κωδικοποίηση και διαμόρφωση που χρησιμοποιούνται. Η μέση φασματική απόδοση ενός δικτύου L.M.D.S. εκτιμάται στο εύρος του 1 – 4 b/s/Hz.



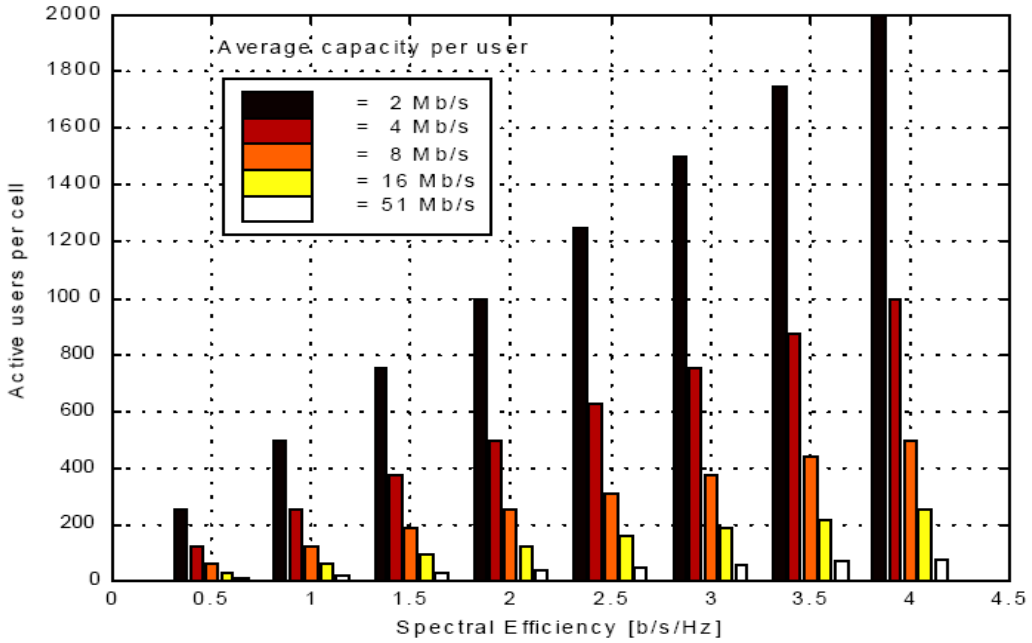
Σχήμα 9: Χωρητικότητα κυττάρου L.M.D.S. για ραδιοφάσμα 2GHz χρησιμοποιώντας και τις δυο πολώσεις

Από το σχήμα 9 βλέπουμε ότι η χωρητικότητα ανά κύτταρο είναι τόσο υψηλή όσο και τα 16Gb/s για απομονωμένα κύτταρα. Το διαθέσιμο ραδιοφάσμα είναι ικανό να υποστηρίξει για παράδειγμα δυο διπλές συνδέσεις δικτύου STM-16 των 2,5Gb/s για υψηλής πυκνότητας κίνηση.
Σε ένα σενάριο υιοθέτησης πολυκυτταρικών σχημάτων κάλυψης ο παράγοντας επαναχρησιμοποίησης συχνότητας είναι 2 μέχρι 4 για αστικές και προαστιακές περιοχές. Αν υποθέσουμε μια μέση απόδοση φάσματος από 1 έως 2b/s/Hz, η ανταπόκριση της χωρητικότητας κυττάρου κυμαίνεται από 1 έως 4Gb/s και μπορεί να υποστηρίξει για παράδειγμα δυο διπλές συνδέσεις STM-4 των 622Mb/s. Για επαρχιακές περιοχές η χωρητικότητα του κυττάρου θα είναι κάτω από 1Gb/s στο οποίο μια ή δυο διπλές συνδέσεις STM-1 των 155Mb/s μπορούν να υποστηριχτούν. [5]

4.8.2 Περιορισμοί στον αριθμό των ταυτόχρονα ενεργών χρηστών.

Ο αριθμός των ταυτόχρονα ενεργών χρηστών που διαχειρίζεται το δίκτυο L.M.D.S. είναι πολύ σημαντικός για τον σχεδιασμό του. Αναφερόμενοι στα χαρακτηριστικά προτεινόμενων κατηγοριών χρηστών του πίνακα 3, είναι προφανές ότι δεν υπάρχει μια απλή διαδικασία για τον προσδιορισμό των ταυτόχρονα ενεργών χρηστών που μπορεί να υποστηρίξει το δίκτυο L.M.D.S.
Γενικά, θα υπάρχει ένας μέγιστος αριθμός από πιθανούς τρόπους για την διαμόρφωση ενός κυττάρου ως προς τους χρήστες και τις υπηρεσίες.

Προκειμένου να γίνει κατανοητό πως σημαντικοί παράγοντες επηρεάζουν τον αριθμό των ταυτόχρονα ενεργών χρηστών, μια προσέγγιση που βασίζεται σε ένα πιθανό εύρος από έναν μέσο όρο ρυθμού δεδομένων των χρηστών μπορεί να υιοθετηθεί.
Αυτή η προσέγγιση δεν οδηγεί σε μια οριστική απάντηση, αλλά υποδηλώνει το εύρος πάνω στο οποίο ο αριθμός των ενεργών χρηστών συνήθως ποικίλει. Η σχέση μεταξύ της φασματικής απόδοσης και του αριθμού των ενεργών χρηστών με μέσο όρο ρυθμού δεδομένων σε εύρος από 2 έως 51Mb/s, φαίνεται στο σχήμα 10. Οι υποθέσεις είναι: παράγοντας επαναχρησιμοποίησης συχνότητας 2 και 4GHz διαθέσιμο φάσμα.

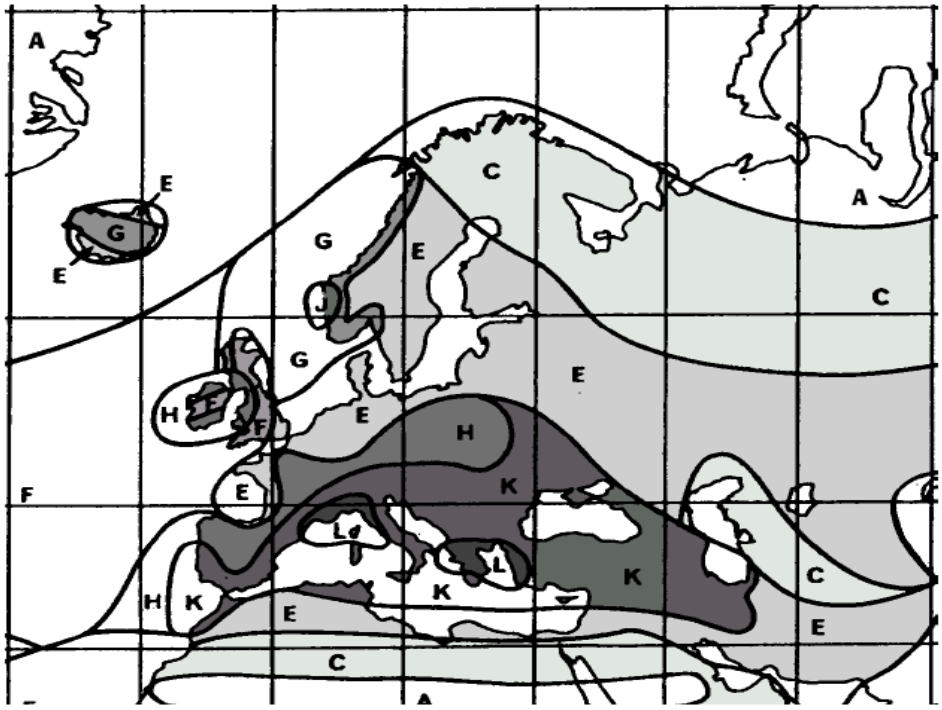


Σχήμα 10: Αριθμός ταυτόχρονα ενεργών χρηστών ανά κύτταρο με παράγοντα επαναχρησιμοποίησης συχνότητας των 2GHz και 4GHz διαθέσιμου φάσματος

Με αυτές τις υποθέσεις, το σχεδιάγραμμα δείχνει τον αριθμό των ταυτόχρονων χρηστών που μπορούν να φθάσουν και τους 2000. Στο εύρος από 1 μέχρι 2 b/s/Hz, ο αριθμός μειώνεται στους 1000. Σύμφωνα με τον πίνακα 3, ένας μέσος όρος χρηστών διπλής κατεύθυνσης με ρυθμό δεδομένων 2 Mb/s μπορεί να ερμηνευτεί σαν ένα όριο ανάμεσα στον επιχειρηματικό και οικιακό τομέα. Από πρακτική άποψη το δίκτυο L.M.D.S. μπορεί να υποστηρίξει μέχρι και 1000 νοικοκυριά ή μέχρι 1000 μικρομεσαίες επιχειρήσεις ανά κύτταρο. Ο τυπικός μέσος όρος ρυθμού δεδομένων είναι στην πράξη μικρότερος από 2Mb/s για νοικοκυριά και υψηλότερος από 2Mb/s για μικρομεσαίες επιχειρήσεις. Συνεπώς, προτείνεται ότι το L.M.D.S. τυπικά υποστηρίζει μέχρι και 100 μικρομεσαίες επιχειρήσεις ή 1000 νοικοκυριά ανά κύτταρο.

4.9 Διαθεσιμότητα δικτύου πρόσβασης.

Υπάρχουν διάφορα φαινόμενα διάδοσης ραδιοκύματος που μειώνουν τον ονομαστικό λόγο φέροντος προς θόρυβο (C/N). Το πιο σημαντικό από αυτά είναι η εξασθένιση λόγω βροχόπτωσης, η οποία χαρακτηρίζεται από μεγάλες και μικρές μεταβολές και η διαδικασία εξασθένησης γενικά θεωρείται να είναι επιλεκτική όσον αφορά την συχνότητα πάνω στο εύρος ζώνης της άνω και κάτω ζεύξης του L.M.D.S.
Ετήσια μοντέλα πρόβλεψης για την εξασθένηση λόγω βροχόπτωσης βασίζονται σε μελέτες της ITU (International Telecommunications Union) όπως φαίνεται στο σχήμα 11. Φαίνεται ότι υπάρχει μια σχέση ανάμεσα στα στατιστικά στοιχεία για την εξασθένηση λόγω βροχόπτωσης και το μέγιστο μήκος του ραδιοκύματος μέσα σ' ένα κύτταρο L.M.D.S. και φυσικά το αντίστοιχο μέγεθος του κυττάρου. Η κύρια μετεωρολογική παράμετρος στον υπολογισμό της εξασθένησης για να γίνουν σωστές προβλέψεις, είναι η γνώση των κατά τόπους στατιστικών των βροχοπτώσεων. Ωστόσο, λόγω έλλειψης τέτοιων δεδομένων στις περισσότερες περιοχές, γίνονται προβλέψεις που περιγράφουν έναν διαχωρισμό στις κλιματικές ζώνες της γης με παρόμοιες στατιστικές για τον ρυθμό των βροχοπτώσεων.



Σχήμα 11: Κλιματικές ζώνες στην Ευρώπη σύμφωνα με το ITU-R.

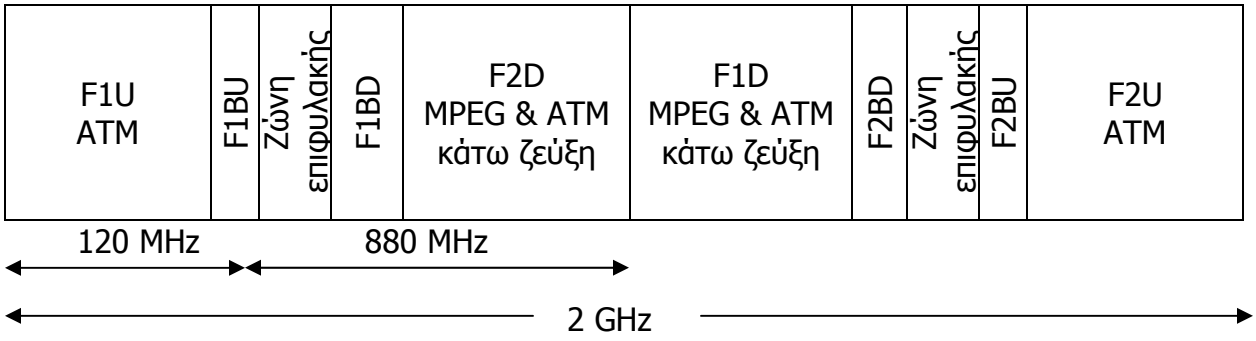
Οι προτεινόμενες κλιματικές ζώνες στην Ευρώπη απεικονίζονται στο σχήμα 11, το οποίο δείχνει ότι η Μεσόγειος μαζί με την Τουρκία, η ανατολική Ευρώπη και τα Βαλκάνια συνήθως έχουν υψηλές βροχοπτώσεις. Η ένταση της βροχής μειώνεται αλφαβητικά όσο μετακινούμαστε από το L στο A και οι ζώνες A, C και E είναι οι ξηρές περιοχές. Η εξουδετέρωση της εξασθένησης σήματος συνήθως γίνεται με

την πρόβλεψη της μέγιστης εξασθένησης λόγω της βροχόπτωσης και το περιθώριο ισχύος που ανταποκρίνεται σε αυτήν στο L.M.D.S. Συνεπώς, η διαθεσιμότητα του δικτύου καθορίζεται από το ποσοστό του χρόνου που ανταποκρίνεται στην μέγιστη εξασθένηση λόγω βροχόπτωσης όπως δίνεται από το προστιθέμενο περιθώριο. [1]

5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ

5.1 Σχεδιασμός συχνότητας

Η μέγιστη φασματική απόδοση μπορεί να αποκτηθεί με διπλή συχνότητα / διπλή πόλωση και δομή επαναχρησιμοποίησης, όπως φαίνεται στο σχήμα 12, όπου δυο ζώνες προσφέρονται για 1) εκπομπή ευρυζωνικών καναλιών MPEG στην κάτω ζεύξη, 2) ATM κανάλια δεδομένων και 3) συνδέσεις δικτύου κορμού ανάμεσα στα κύτταρα. Ο διαχωρισμός του εύρους ζώνης ανάμεσα στο κωδικοποιημένο MPEG και στα κανάλια ATM εξαρτάται σημαντικά από την ανάπτυξη και χρήση των υπηρεσιών L.M.D.S. Αν κυριαρχήσει η κίνηση τηλεοπτικών εκπομπών, τότε η ανάγκη για κατανομή μεγάλου εύρους ζώνης άνω ζεύξης δεν είναι σημαντική. Αν το ATM είναι η κυρίαρχη κίνηση, τότε χρειάζεται σημαντικό εύρος ζώνης για την άνω ζεύξη.



Όπου: D = κάτω ζεύξη U = άνω ζεύξη B = κορμός δικτύου

Σχήμα 12
Πλάνο διπλής συχνότητας/πόλωσης για εκπομπή ATM και επαναχρησιμοποίηση διπλής συχνότητας/πόλωσης.

Στο σχήμα 12, η χωρητικότητα για ATM στις άνω ζεύξεις μπορεί να μεγαλώσει καταλαμβάνοντας τις ζώνες επικοινωνιών μεταξύ κυττάρων εφόσον αυτές θα έχουν αντικατασταθεί από συνδέσεις οπτικών ή ομοαξονικών καλωδίων. Αν υποθέσουμε ότι η άνω ζεύξη θα απαιτεί περίπου το 1/10 της χωρητικότητας της κάτω ζεύξης τότε η αρχική κατανομή του 88% του εύρους ζώνης στις κάτω ζεύξεις παράγει 240MHz για τις άνω ζεύξεις. Σε μια δομή τεσσάρων κυττάρων με QPSK διαμόρφωση, η συνολική χωρητικότητα είναι περίπου 386Mbit/s για τις ATM άνω ζεύξεις. Με έναν εκτιμούμενο αριθμό ενεργών χρηστών της τάξης των μερικών εκατοντάδων ανά κύτταρο, η χωρητικότητα φαίνεται ικανοποιητική για τα δίκτυα L.M.D.S. επόμενης γενιάς.

Σ’ αυτήν την διάταξη, οι κάτω ζεύξεις F1D για MPEG και ATM κίνηση, χρησιμοποιούν το κάτω – μισό του φάσματος και είναι δίπλα στις άνω ζεύξεις που χρησιμοποιούν το άνω φάσμα F2U. Επιπλέον, υπάρχει πάντα ένα κενό του 1 GHz ανάμεσα στα κανάλια άνω και κάτω ζεύξης. Το εναλλακτικό κύτταρο χρησιμοποιεί το F2 φάσμα κάτω ζεύξης και το F1 για την άνω ζεύξη. Η ορθογωνική πόλωση παρέχει ακόμα δυο ομάδες φάσματος.
Κάποιο εναλλακτικό εύρος ζώνης χρειάζεται να παρέχεται για μεταδόσεις του δικτύου κορμού το οποίο αλληλοσυνδέει τους ξεχωριστούς σταθμούς βάσης. Όσο αυτές οι συνδέσεις γενικά χρησιμοποιούνται κατά την διάρκεια αρχικών σταδίων του δικτύου, πολύ πριν η κίνηση μεγαλώσει αρκετά, κάποιες θυρίδες συχνοτήτων, προορίζονται για κίνηση άνω και κάτω ζεύξης και μπορούν να χρησιμοποιούνται προσωρινά. [3]

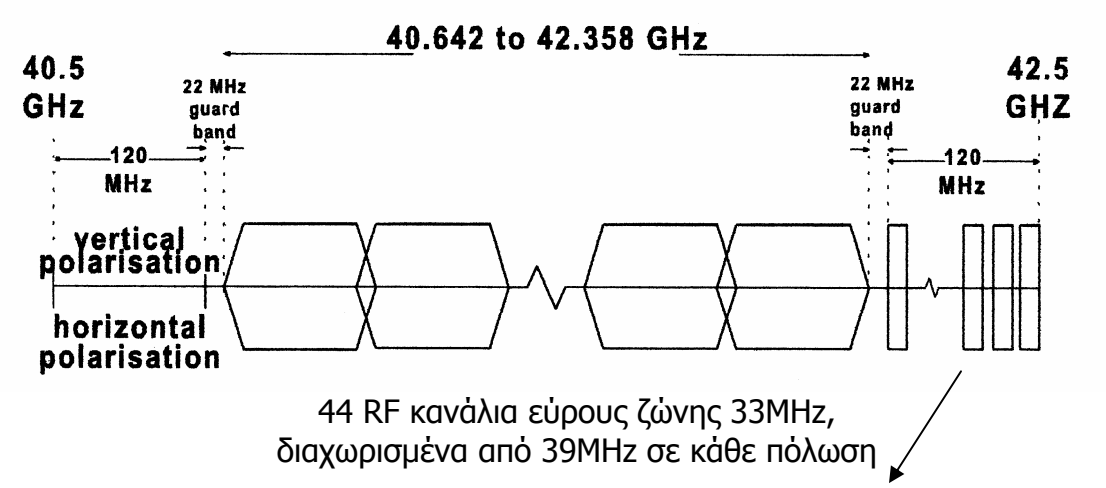
5.2 Δομή καναλιού για την κάτω και άνω ζεύξη

Τα κανάλια κάτω ζεύξης των 34Mbit/s μεταφέρουν ένα μίγμα από MPEG και ATM κίνηση που είναι κωδικοποιημένη μέσα σε MPEG κίνηση σε εύρος ζώνης συχνοτήτων των 33MHz. Το πλαίσιο που προτείνεται έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Στα κανάλια άνω ζεύξης έχουν διατεθεί δυο περιοχές των 120MHz.
- Η ορθογωνική πόλωση δεν έχει μετατόπιση.
- Ο συνολικός αριθμός των καναλιών κάτω ζεύξης είναι 88 (34Mbit/s).
- Ο συνολικός αριθμός των καναλιών άνω ζεύξης είναι 48 (8Mbit/s).
- Η κίνηση του δικτύου κορμού θα μπορεί να μεταφέρεται σε κανάλια της άνω και κάτω ζεύξης προσωρινά μέχρι να εγκατασταθούν συνδέσεις ομοαξονικού / οπτικού καλωδίου.
- Προτείνεται μια ζώνη ¨επιφυλακής¨ για τον περιορισμό των παρεμβολών ανάμεσα στα γειτονικά κανάλια στις συνδέσεις άνω και κάτω ζεύξης.

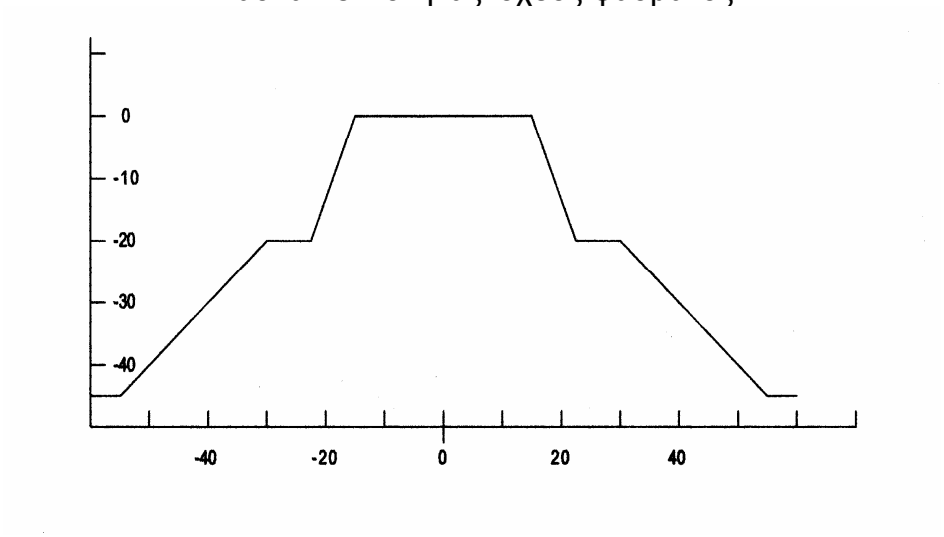
Το πλάνο του καναλιού που φαίνεται στο σχήμα 13 υποθέτει ότι η διαμόρφωση είναι QPSK στην κάτω ζεύξη και DQPSK στην άνω ζεύξη. Στην κάτω ζεύξη μέχρι 44 κανάλια των 33 MHz διατάσσονται σε διαστήματα των 39MHz σε κάθε πόλωση. Στην άνω ζεύξη 12 κανάλια σε κάθε πόλωση και ρυθμού μετάδοσης των 8Mbit/s, τοποθετούνται σε ζώνες συχνοτήτων των 10 MHz για να καταλάβουν πλήρως τα διαθέσιμα 120MHz.

Αλληλεπιδραστική άνω ζεύξη Κίνηση κάτω ζεύξης είτε με ATM δεδομένα ή MPEG2 ψηφιακή τηλεόραση *Αλληλεπιδραστική άνω ζεύξη*



Σχήμα 13: Πλάνο καναλιών για άνω και κάτω ζεύξη του L.M.D.S.

Μια εναλλακτική υλοποίηση άνω ζεύξης μπορεί να χρησιμοποιεί την εύκολα εφαρμόσιμη αλλά λιγότερο αποδοτική φασματικά, διαμόρφωση ελάχιστης μετατόπισης φάσης με φίλτρο Gauss (Gaussian Minimum Shift Keying - GMSK). Σε αυτή την περίπτωση μόνο 8 ζώνες συχνοτήτων μπορούν να τοποθετηθούν στην ζώνη των 120MHz. Η ζώνη ¨επιφυλακής¨ των 22MHz παρέχει επαρκή προστασία για τον περιορισμό των παρεμβολών ανάμεσα στα γειτονικά κανάλια στις συνδέσεις άνω και κάτω ζεύξης. Αν αποφευχθεί ένας μηχανισμός γωνιακής μετάθεσης πόλωσης τότε ένας διάφανος επαναλήπτης με έναν απλό κυματοδηγό στρεφόμενο κατά 90^o μπορεί να εξυπηρετήσει μικροκύτταρα ή γειτονικά κύτταρα χωρίς μετατόπιση συχνότητας. Η επιπρόσθετη απόρριψη παρεμβολών λόγω γωνιακών μεταθέσεων της πόλωσης δεν φαίνεται να είναι απαραίτητη σε αυτό το σχετικά χαμηλών παρεμβολών περιβάλλον. Η κατανομή συχνοτήτων του καναλιού φαίνεται στην περίπτωση όπου όλη η κίνηση του δικτύου κορμού κατανέμεται στις άνω ζεύξεις.
Ο καθορισμός του φάσματος για τα κανάλια κάτω ζεύξης φαίνεται στο σχήμα 14. Εντούτοις, το ποσοστό της εξασθένησης για τα κανάλια κάτω ζεύξης επιβάλει ένα κόστος στις απαιτήσεις γραμμικότητας του ενισχυτή μετάδοσης.



Σχήμα 14: Μάσκα συχνοτήτων για μεταδόσεις κάτω ζεύξης

Η κύρια πηγή παρεμβολών μέσα στο σύστημα είναι αυτή που προκαλείται από τις μεταδόσεις κάτω ζεύξης στην ορθογωνική πόλωση του γειτονικού κυττάρου άνω ζεύξης. Εκτός ζώνης παρασιτικά επίπεδα, μπορούν να παραχθούν με φαινόμενα ενδοδιαμόρφωσης.

5.3 Συνύπαρξη δυο ή περισσότερων παρόχων

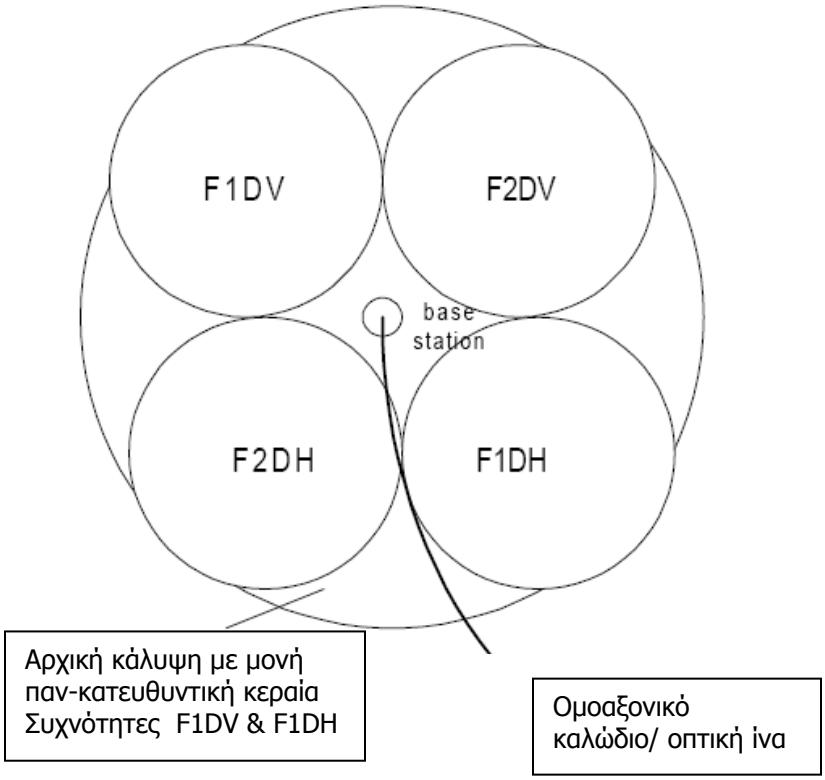
Η προηγούμενη διάταξη θα μπορεί να εφαρμοστεί αν ένας μόνο πάροχος έχει πρόσβαση σε ολόκληρη την περιοχή συχνοτήτων σε οποιαδήποτε γεωγραφική περιοχή. Εντούτοις είναι πιθανό πολλοί παρόχοι να έχουν άδεια λειτουργίας στην ίδια περιοχή όπως στην περίπτωση της κινητής τηλεφωνίας, όπου τέτοια συστήματα γίνονται ελκυστικές εμπορικές ευκαιρίες.
Χωρίζοντας τις ζώνες κατάλληλα, είναι πιθανός ο χειρισμός χωρίς παρεμβολές. Αν οι ανταγωνιστικές υπηρεσίες χρησιμοποιηθούν στις ίδιες τοποθεσίες των σταθμών βάσης και με παρόμοιες τεχνολογίες, τότε η παρεμβολή είναι παρόμοια με αυτή του μοναδικού παρόχου.
Ο συντονισμός των παρόχων δεν θα έπρεπε να είναι απαραίτητος αν χρησιμοποιούνται διαφορετικές τοποθεσίες σταθμών βάσης, δεδομένου ότι:

- Η ακτινοβολία εκτός ζώνης κρατείται μέσα σε συγκεκριμένα όρια.

- Όλα τα συστήματα χρησιμοποιούν τις συνεπείς στρατηγικές της άνω και κάτω ζεύξης.
- Όλα τα συστήματα χρησιμοποιούν παρόμοιες παραμέτρους συστήματος.
- Κάποια συμφωνημένα συστήματα αναφοράς συχνότητας χρησιμοποιούνται (pilot tone).

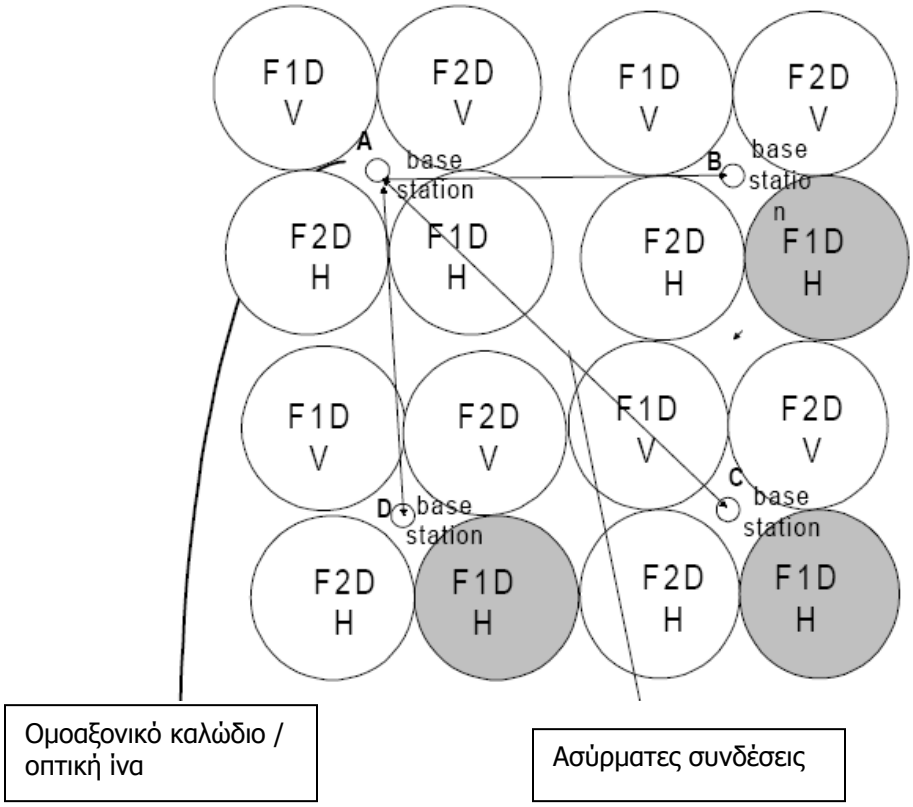
5.4 Ευρυζωνικές υπηρεσίες σε συστοιχίες τεσσάρων & δέκα έξι κυττάρων

Η αρχική ευρυζωνική υπηρεσία που θα εγκατασταθεί για να παρέχει κάλυψη τεσσάρων συστοιχιών κυττάρων όπως φαίνεται στο σχήμα 15, χρησιμοποιεί μια παν- κατευθυντική κεραία.
Όσο η κίνηση αυξάνεται, το αρχικό μονό κύτταρο θα πρέπει να διαχωριστεί σε τέσσερα κύτταρα όπως φαίνονται οι κατανεμημένες συχνότητες τους στο σχήμα 15. (Ο σταθμός βάσης τροφοδοτείται μέσω ομοαξονικού/οπτικού καλωδίου). Κάθε κύτταρο έχει μοναδική συχνότητα και πόλωση αποφεύγοντας έτσι παρεμβολές ανάμεσα σε γειτονικά κύτταρα. Για αποκλειστικά ευρυζωνικές υπηρεσίες, αυτό το επαναλαμβανόμενο υπόδειγμα των τεσσάρων κυττάρων μπορεί να μην φαίνεται απαραίτητο όσο όλα τα κύτταρα έχουν τα ίδια ευρυζωνικά κανάλια εκπομπής.



Σχήμα 15: Συστοιχία τεσσάρων κυττάρων για ευρυζωνικές υπηρεσίες

Γενικά, όλα τα κανάλια είναι διαθέσιμα, αλλά μόνο αυτά που ζητούνται, εκπέμπονται. Είναι απίθανο ένα σύνολο χρηστών με λιγότερο από 1000 άτομα ανά τέσσερις συστοιχίες κυττάρων να απαιτούν ταυτόχρονα για χρήση περισσότερα από 500 ευρυζωνικά κανάλια την ίδια στιγμή. Αυτή η αντίληψη της εκπομπής κατ' απαίτηση εξοικονομεί σημαντικό εύρος συχνοτήτων για ATM υπηρεσίες αλλά χρειάζεται περισσότερο εξοπλισμό μεταγωγής στους σταθμούς βάσης.
Αυτή η διάταξη των τεσσάρων συστοιχιών κυττάρων μπορεί να επεκτείνεται σε υπηρεσίες για 16 κύτταρα όπως φαίνεται στο σχήμα 16. Θα είναι ξανά απαραίτητο να ελέγξουμε εάν υπάρχει επαρκής απομόνωση μεταξύ των κυττάρων που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα.



Σχήμα 16: Κατανομή συχνότητας δέκα έξι κυττάρων εκπομπής μόνο

Το πρόβλημα γίνεται πιο πολύπλοκο όταν χρειάζονται τροφοδότες συνδέσεων μέσα στην ζώνη για τα κανάλια εκπομπής. Η υποδοχή των μεταδόσεων στο κύτταρο Α είναι μια αποδεκτή μέθοδος. Αν οι δευτερεύοντες σταθμοί βάσης στο Β, C και D έχουν μια οπτική επαφή με τον σταθμό βάσης του κυττάρου Α, τότε μια υψηλού κέρδους κεραία (50dB) σε αυτούς τους τρεις δευτερεύοντες σταθμούς βάσης θα μπορεί να προσφέρει ικανοποιητική ποιότητα σήματος για την εξυπηρέτηση των εναπομένοντα 12 κυττάρων.

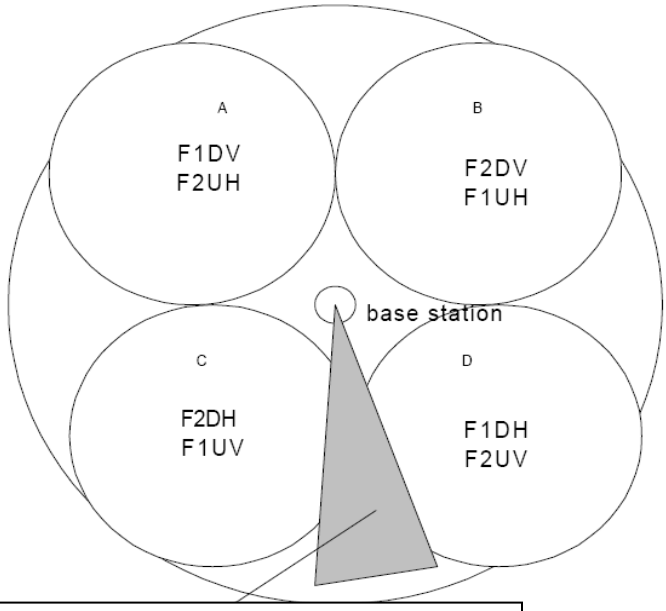
Μια αύξηση του περιθωρίου στα 9 dB μπορεί να καθιερωθεί όταν συγκρίνεται με την άκρη της κάλυψης του σταθμού βάσης στην σύνδεση με τον χρήστη (15dB για το αυξημένο κέρδος κεραίας και -6dB για επιπλέον απώλεια ελεύθερου χώρου). Σε αυτό το σχήμα δεν χρειάζεται επιπλέον εύρος ζώνης καναλιών αλλά το περιθώριο για τις διαδοχικές συστοιχίες κυττάρων μειώνουν την απόσταση από τον έναν σταθμό βάσης στον επόμενο. [5]

5.5 Εκπομπή ATM και MPEG καναλιών

Τα αλληλεπιδραστικά κανάλια ATM προκαλούν ένα πιο πολύπλοκο πρόβλημα στο ότι:

- Οι συνδέσεις μεταφέρουν τώρα δυο κατευθύνσεων κίνηση
- Η συγκεκριμένη κίνηση του κάθε χρήστη είναι μοναδική

Ξανά η αρχική υπηρεσία μπορεί να παρέχεται μέσω μιας κοντινής παν-κατευθυντικής κεραίας. Όταν η κίνηση αυξάνεται, η διάταξη όπως φαίνεται στο σχήμα 17 μπορεί να προσφέρει μοναδική κατανομή συχνότητας σε κάθε κύτταρο. Στο κύτταρο που εξυπηρετεί τον χρήστη, ο χρήστης και ο σταθμός βάσης θα πρέπει να έχουν ικανοποιητική προστασία για να αποφύγουν συγκαναλική και διακαναλική παρεμβολή.



Περιοχή παρεμβολής λόγω σκέδασης της κάτω ζεύξης από το κύτταρο C που ανακλάται στον δέκτη του σταθμού βάσης για την άνω ζεύξη του κυττάρου D.

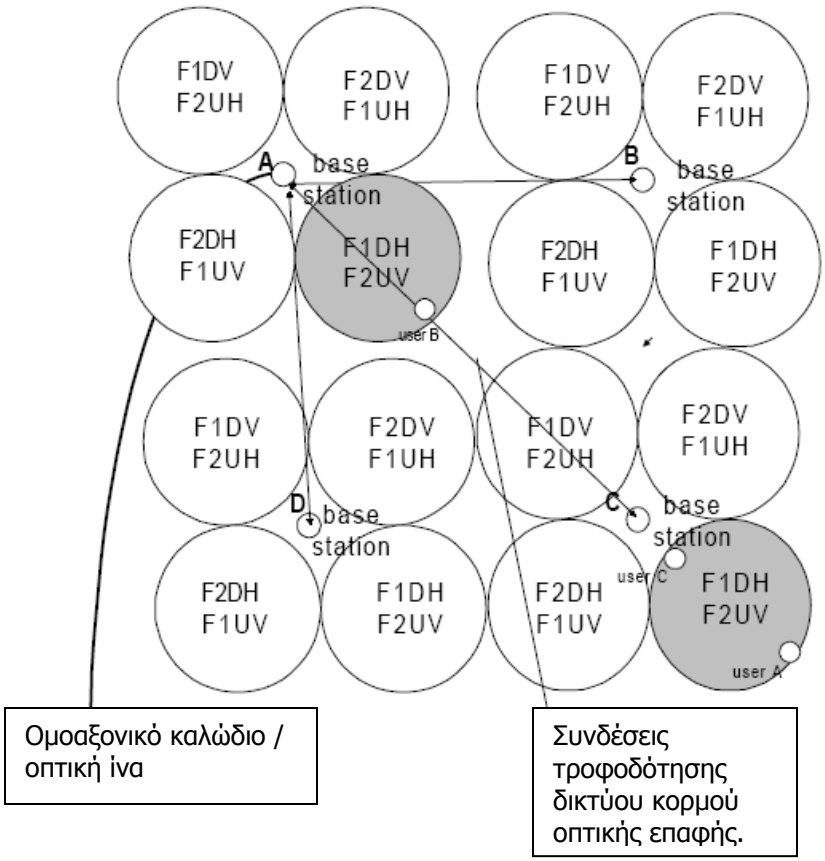
Σχήμα 17: Κατανομή συχνότητας συστοιχίας τεσσάρων κυττάρων για αλληλεπιδραστικές υπηρεσίες.

Ο σχεδιασμός της κεραίας, η πόλωση, ο διαχωρισμός συχνότητας ή ένας συνδυασμός αυτών μπορεί να προσφέρει την απαραίτητη απομόνωση εκτός των ορίων των γειτονικών κυττάρων.
Είναι δύσκολο να αναγνωριστούν πολλές παρεμβολές οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στις κάτω ζεύξεις του συστήματος όταν χρησιμοποιούνται πληροφορίες μορφολογίας εδάφους σε συνδυασμό με τα μοντέλα διάδοσης.
Στα όρια ανάμεσα στα κύτταρα, παρεμβολή στους δέκτες άνω ζεύξης στον σταθμό βάσης μπορεί να προκύψει από σκεδάσεις που γίνονται κοντά στον σταθμό βάσης. Η άνω ζεύξη στο κύτταρο D λειτουργεί σε γειτονική ζώνη με την κάτω ζεύξη του κυττάρου C. Στις άκρες του κυττάρου στην σκιασμένη περιοχή της παρεμβολής ο δέκτης των άνω ζεύξεων του κυττάρου D μπορεί να δεχθεί παρεμβολή από το γειτονικό κανάλι.

Ο βαθμός του προβλήματος εξαρτάται από τρεις παραμέτρους:

- Η απόρριψη από τα φίλτρα του δέκτη του σταθμού βάσης σε παρεμβολές γειτονικών καναλιών.
- Το μέγεθος του σκεδαζόμενου σήματος.
- Ο σχεδιασμός της κεραίας στον σταθμό βάσης.

Είναι δύσκολο να εκτιμηθεί αυτή η επίδραση γιατί το σήμα παρεμβολής μπορεί να προκαλείται είτε από ένα αντικείμενο κοντά στον δέκτη του σταθμού βάσης προκαλώντας σκέδαση είτε από κατοπτρική ανάκλαση από ένα σχετικά μακρινό κτίριο. Μια λύση μπορεί να είναι η χρήση μιας μικρής ζώνης ¨επιφυλακής¨ ανάμεσα στις άνω και κάτω ζεύξεις και ο καθορισμός συντελεστή ανακλάσεων για τα φίλτρα του δέκτη του σταθμού βάσης. Μια άλλη λύση θα μπορούσε να είναι η δοκιμή κάθε σταθμού βάσης για πηγές παρεμβολών των γειτονικών καναλιών. Αν αυτό γίνει, τότε αρκετά κανάλια είτε στην άνω ζεύξη είτε στην κάτω θα παραμένουν ανενεργά για να παράγουν την απαραίτητη απομόνωση.



Σχήμα 18: Κατανομή συχνότητας για συστοιχία 16 κυττάρων ATM καναλιών που περιέχουν δίκτυο κορμού

Το πρόβλημα της διασύνδεσης σταθμών βάσης με ραδιοσυχνότητες γίνεται πολύπλοκο όταν η κάλυψη εκτείνεται σε σχηματισμό 16 κυττάρων όπως φαίνεται στο σχήμα 18. Σε αντίθεση με την εκπομπή MPEG καναλιών, η κίνηση σε κάθε κύτταρο είναι μοναδική και η επιλογή τροφοδοσίας διαδοχικών κυττάρων μικροκυματικά, δεν είναι εφικτή.
Ένα σύνολο από ζεύξεις δικτύου κορμού πρέπει να δημιουργηθεί για την διασύνδεση των σταθμών βάσης A στον B, C ή D.
Αν η φασματική απόδοση γίνει θέμα για αυτές τις συνδέσεις δικτύου κορμού, τότε ξεχωριστή κίνηση από κάθε συστοιχία κυττάρου θα πρέπει να συγκεντρώνεται πριν μεταδοθεί ανάμεσα σε κινητούς σταθμούς βάσης (B, C ή D) προς το κύριο κέντρο συντονισμού στον A. Αυτή η διαδικασία υπονοεί την ύπαρξη αναγεννητικών επαναληπτών με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

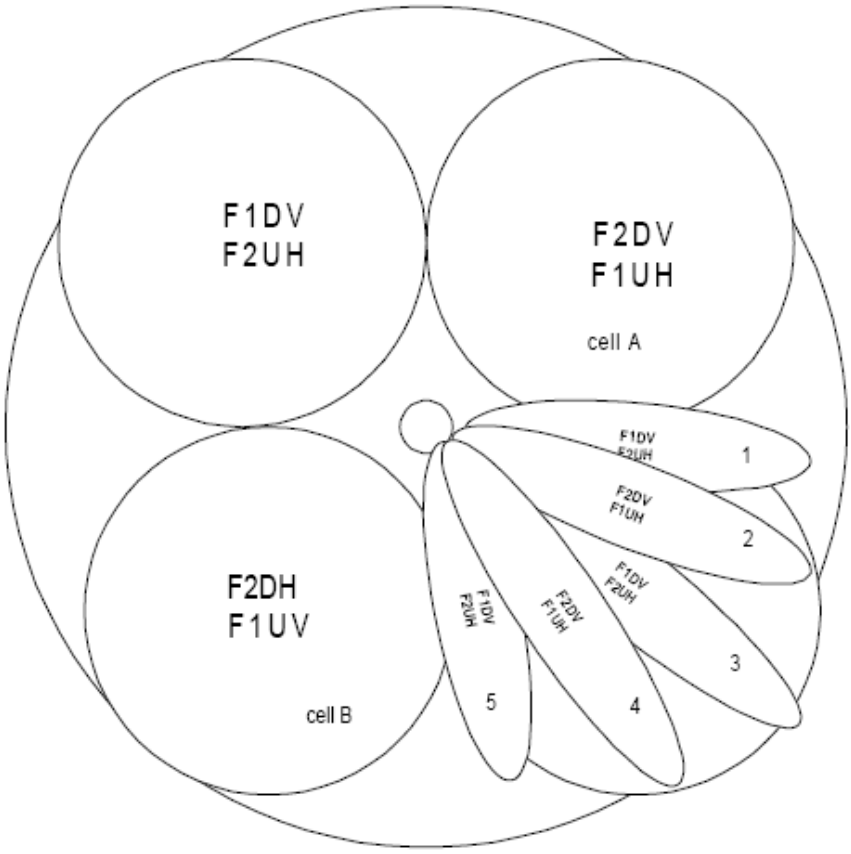
- Καλύτερη απόδοση σφάλματος.
- Αλλαγή συχνότητας ανάμεσα στο δίκτυο κορμού και το δίκτυο κατανομής του κυττάρου.
- Μετατροπή των διαμορφώσεων ανάμεσα στο δίκτυο κορμού και το δίκτυο κατανομής κυττάρου.

- Συγκέντρωση κίνησης από τέσσερις τομείς σε ένα κύτταρο, σε μια ζεύξη κορμού των 25 Mbit/s ATM καναλιού.

Τα κανάλια κορμού μπορεί να χρησιμοποιήσουν υψηλότερου επιπέδου διαμόρφωση στους συνδέσμους τροφοδότησης για παράδειγμα 16-QAM ή 64-QAM για την βελτίωση της φασματικής απόδοσης.
Αν οι κεραίες μετάδοσης και λήψης έχουν μεγαλύτερο κέρδος για πχ. 45dB, τότε ένα επαρκές περιθώριο συνδέσμου των 22dB μπορεί να επιτευχθεί (για π.χ. 40dB λόγω αυξημένου κέρδους κεραιών μέσω MPEG σύνδεσης μείον 12dB αν 64-QAM χρησιμοποιείται και μείον 6dB για επιπλέον απώλεια ελεύθερου χώρου). Όμως αυτή η πολύ υψηλότερη ισχύς των μεταδόσεων του δικτύου κορμού μπορεί να παράγει παρεμβολές στα γειτονικά κανάλια και για το MPEG και για αλληλεπιδραστικές μεταδόσεις στις γειτονικές ζώνες.
Κατά την προσέγγιση αυτή, η συστοιχία του επόμενου κυττάρου αντιμετωπίζεται σαν να είναι μέρος του τοπικού κυττάρου με το δίκτυο κορμού να μεταφέρει την κίνηση στην επόμενη συστοιχία κυττάρου χωρίς μετατόπιση συχνότητας.

5.6 Κεραίες πολλών λοβών για την επίτευξη μεγαλύτερης χωρητικότητας σε κάθε κύτταρο.

Μια περαιτέρω αύξηση της χωρητικότητας μπορεί να επιτευχθεί χωρίζοντας κάθε κύτταρο σε αρκετούς λοβούς για παράδειγμα πέντε λοβοί κεραίας σε μια περιοχή 90^{o} μπορεί να γίνει με μια πρακτική κεραία στον σταθμό βάσης όπως φαίνεται στο σχήμα 19.

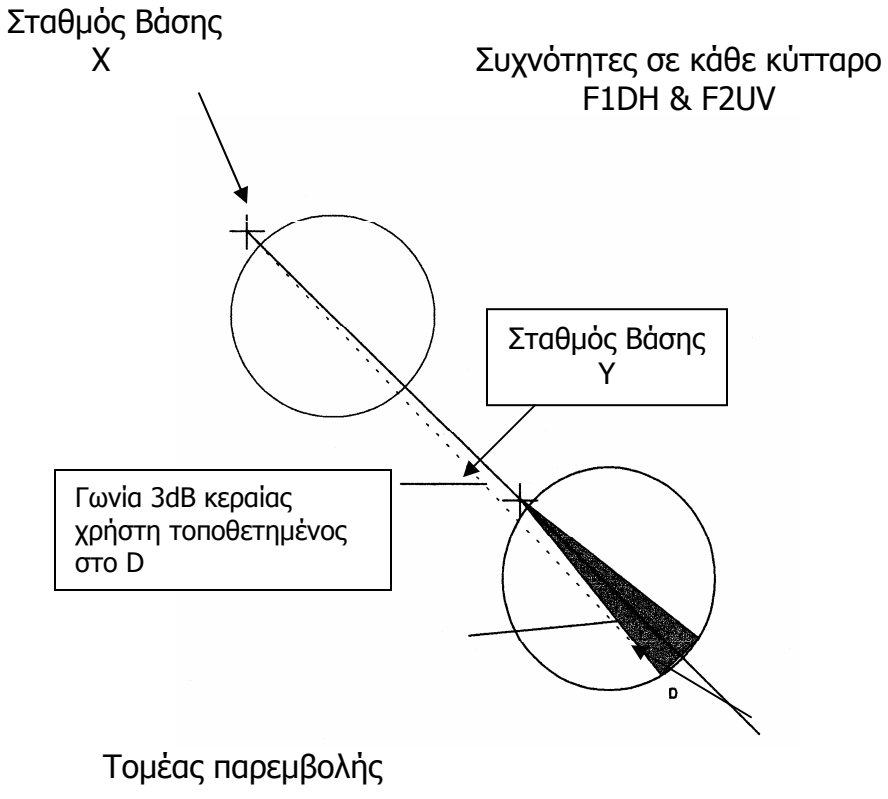


Σχήμα 19: Διαχωρισμός κυττάρου σε πέντε λοβούς

Σε αυτή την διάταξη οι δυο εξωτερικοί και ο ένας κεντρικός λοβός χρησιμοποιούν την αρχική συχνότητα του κυττάρου και οι άλλοι δυο χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα αλλά με ορθογωνική πόλωση στα δυο κύτταρα με τις σωστές γωνίες (κύτταρο Α και Β). Εφόσον το κέρδος της κεραίας στον σταθμό βάσης αυξήθηκε κατά πέντε φορές είναι απαραίτητο να μειωθούν τα επίπεδα ισχύος κατά το ίδιο ποσοστό για την αποφυγή παρεμβολών γειτονικών κυττάρων. Το κόστος αυτού του σεναρίου παραμένει παρόμοιο με αυτό του κανονικού κυκλικού κυττάρου.
Η πραγματική βελτίωση στην επαναχρησιμοποίηση συχνότητας θα είναι λιγότερη από την θεωρητική αύξηση κατά πέντε φορές. Μερική παρεμβολή γειτονικών καναλιών θα είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα προκύψει μέσω είτε διαρροής είτε σκέδασης κατά την άνω ζεύξη στην κεραία του σταθμού βάσης στην διάταξη των τεσσάρων συστοιχιών κυττάρου που αναφέρθηκε παραπάνω. Επιπλέον, οι ζώνες συχνοτήτων θα πρέπει να μειωθούν για την παροχή ικανοποιητικής απόρριψης σε παρεμβολές γειτονικών καναλιών και κάποιες συχνότητες δεν θα είναι διαθέσιμες.

5.7 Παρεμβολές μεταξύ γειτονικών κυττάρων.

Στο σχήμα 18 όπου τα δυο σκιασμένα κύτταρα έχουν παρόμοιες συχνότητες άνω και κάτω ζεύξης, έχουν διακυτταρική παρεμβολή; Αυτή η κατάσταση προκύπτει σε έναν αριθμό από ζευγάρια άλλων κυττάρων. Στις κάτω ζεύξεις, την μέγιστη παρεμβολή μπορεί να την βιώσει ο χρήστης Α που είναι τοποθετημένος στο άκρο του κυττάρου και κοντά στο μονοπάτι των δυο σταθμών βάσης. Το σχήμα 20 δείχνει την παρεμβολή του τομέα που καθορίζεται από το πλάτος της δέσμης της κεραίας του χρήστη.
Η λόγος φέροντος προς παρεμβολή (Carrier to interference, C/I) θα είναι $10\log(3^2)=9.5$dB, αν υπάρχει οπτική επαφή στον σταθμό βάσης Χ που παρεμβάλλεται. Αυτό είναι ικανοποιητικό περιθώριο για κανονική λειτουργία για την απόκτηση ενός ρυθμού σφάλματος BER$<10^{-3}$. Το ίδιο ισχύει και για εκπομπές MPEG. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η οπτική επαφή στον παρεμβάλλοντα μεταδότη είναι περίπου 6χλμ. με μερικό μπλοκάρισμα της είτε από λόφους, είτε από κτίρια, είτε από δέντρα αυξάνοντας έτσι το C/I. Επίσης η βροχή αυξάνει το C/I.



Σχήμα 20: Τομέας παρεμβολής

Το σχήμα 20 δείχνει την κατάσταση με περισσότερες λεπτομέρειες. Ο χρήστης έχει μια κεραία με στενή δέσμη και στην άνω και στην κάτω ζεύξη.
Επιπλέον, η παρεμβολή μπορεί να γίνει μόνο όταν η πηγή παρεμβολής μπορεί να λάβει από ή να μεταδώσει και στους δύο σταθμούς βάσης Χ και Υ ταυτόχρονα.
Στην άνω ζεύξη κάθε χρήστη που είναι τοποθετημένος σε τομέα παρεμβολών, όταν μεταδίδει στον σταθμό βάσης Υ θα προκαλέσει παρεμβολή για όποιον χρήστη εξυπηρετείται από τον σταθμό βάσης Χ. Δυστυχώς, στο TDMA μόνο ένας χρήστης μεταδίδει οποιαδήποτε χρονική στιγμή σε οποιαδήποτε συχνότητα. Επιπλέον, την παρεμβολή την βιώνει ένας μόνο χρήστης. Η χειρότερη περίπτωση είναι όταν ένας χρήστης εξυπηρετείται από τον σταθμό βάσης Χ και είναι τοποθετημένος στο άκρο του κυττάρου και η πηγή παρεμβολών είναι κοντά στον σταθμό βάσης Υ.

Στο σχήμα 18, ο χρήστης Β θα δέχεται παρεμβολή από τον χρήστη C, όπου το C/I είναι μόνο $10\log(2^2)=6$dB αν αυτοί οι δυο χρήστες έχουν την ίδια ισχύ μεταδοτών. Ένας μόνο τρόπος για την αύξηση του C/I του χρήστη Β θα είναι να περιοριστούν τα επίπεδα ισχύος των μεταδοτών των χρηστών που δεν είναι τοποθετημένοι στις άκρες του κυττάρου με την προϋπόθεση ότι έχουν τα ίδια περιθώρια με αυτούς που βρίσκονται στα άκρα του κυττάρου. Ως εκ τούτου, οι χρήστες με απόσταση μέχρι 1 χλμ. από τον σταθμό βάσης θα έχουν μειωμένη ισχύ στους μεταδότες τους κατά 6dB, στα 500μ. κατά 12dB και ούτω καθεξής. Αυτή η στρατηγική παράγει C/I παρόμοιο με αυτό της άνω ζεύξης. [5]

5.8 Εκχώρηση συχνοτήτων για τον περιορισμό των παρεμβολών σε γειτονικά κύτταρα.

Αν υπάρχει παρεμβολή ανάμεσα στα κύτταρα που χρησιμοποιούν την ίδια ζώνη συχνοτήτων, τότε αυτή μπορεί να μειωθεί ρυθμίζοντας την πόλωση των κυττάρων ώστε να κάνουν μέγιστη χρήση της προστασίας λόγω κτιρίων ή της μορφολογίας του εδάφους.
Επιπλέον, αυτά τα κύτταρα που έχουν φυσική προστασία μπορούν να χρησιμοποιούν πάντα την ίδια πόλωση ενώ τα κύτταρα που είναι εκτεθειμένα σε παρεμβολή προτιμώνται για ορθογωνική πόλωση.

Όσο οι κεραίες των τερματικών χρηστών έχουν στενό πλάτος δέσμης, μόνο περιορισμένα μέρη κάθε κυττάρου υπόκεινται σε παρεμβολή. Τυπικά αυτή η περιοχή πιθανής παρεμβολής μπορεί να καλύψει μόνο το 10% της συνολικής περιοχής του κυττάρου. Οι υπηρεσίες ATM χρησιμοποιούν ένα μικρό μέρος του εύρους ζώνης σε οποιαδήποτε στιγμή σε ξεχωριστούς χρήστες. Σ' ένα TDMA σύστημα κάθε συχνότητα είναι διαιρεμένη σε χρονοθυρίδες. Επιπλέον θα έπρεπε να είναι πάντα πιθανός ο καθορισμός εκείνων των περιοχών στα γειτονικά

κύτταρα όπου η παρεμβολή είναι πιθανόν να υπάρχει ώστε να μην τοποθετούμε ποτέ την ίδια συχνότητα ή χρονοθυρίδα.
Αυτή η έννοια θα μπορούσε να εφαρμοστεί με ένα πρωτόκολλο που εξετάζει την παρεμβολή πριν την διάθεση συχνότητας/χρονοθυρίδας σε έναν συγκεκριμένο χρήστη. Εναλλακτικά, μια βέλτιστη διάταξη θα μπορούσε να εφαρμοστεί περιορίζοντας κάποιους χρήστες σε μη παρεμβαλλόμενη συχνότητα/χρονοθυρίδα καθώς το σύστημα μεγαλώνει σε χωρητικότητα.
Αντί να κατανεμηθούν ξεχωριστές ζώνες συχνοτήτων σε κάθε κύτταρο, κάθε σταθμός βάσης θα μπορούσε να έχει την ικανότητα να μεταδίδει πάνω από ολόκληρη την ζώνη. Τότε το σύστημα θα μάθει καθώς αναπτύσσεται, ποιοι συγκεκριμένοι χρήστες είναι πιθανό να αντιμετωπίσουν προβλήματα παρεμβολής. Αυτοί οι χρήστες τότε θα περιορίζονται χρησιμοποιώντας ένα υποσύνολο συχνότητας/χρονοθυρίδων που είναι διαφορετικές σε κάθε γειτονικό παρεμβαλλόμενο κύτταρο. Μόνο το 10% των χρηστών θα μπορούσε να εμπίπτει σε αυτήν την κατηγορία, τότε το 90% των συχνοτήτων/χρονοθυρίδων θα μπορούσε να επαναχρησιμοποιηθεί στα γειτονικά κύτταρα χωρίς τον φόβο της παρεμβολής. Αυτή η μέθοδος μπορεί να είναι πολύπλοκη στην εφαρμογή της αλλά προσφέρει βελτιωμένη φασματική απόδοση.

5.9 Βελτίωση κάλυψης χρηστών που δέχονται παρεμβολή.

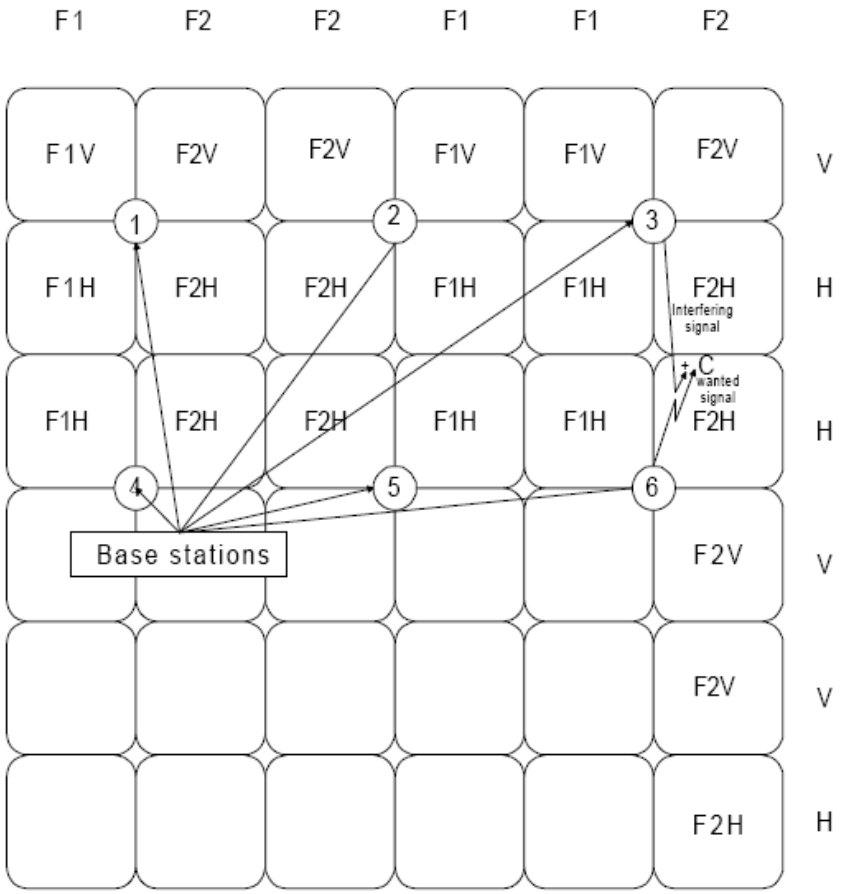
Η κάλυψη συγκεκριμένων χρηστών μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά διαφοροποιώντας την χρήση των σταθμών βάσης.
Σε αυτήν την περίπτωση, χρήστες που δεν έχουν οπτική επαφή με τον σταθμό βάσης στο δικό τους κύτταρο, θα μπορούσαν πιθανά να αποκτήσουν κάλυψη από έναν σταθμό βάσης γειτονικού κυττάρου. Παρ' ότι η εμβέλεια της σύνδεσης αυτής θα είναι μεγαλύτερη και συνεπώς η συνολική διαθεσιμότητα λόγω βροχόπτωσης θα είναι μικρότερη, επαρκείς υπηρεσίες θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν. Αλλάζει το σενάριο της παρεμβολής περιστρέφοντας την κεραία και εστιάζοντας την σε έναν άλλο εναλλακτικό σταθμό βάσης.
Στατιστικά, θα κάνει μικρή διαφορά καθώς οι κύριες πηγές παρεμβολών προκύπτουν από χρήστες κοντά στους σταθμούς βάσης. Ο χρήστης που καταφεύγει στην διαφοροποίηση για να λάβει υπηρεσία, είναι έξω από την κάλυψη του κανονικού κυττάρου. Παρ' ότι αυτός ο χρήστης δεν θα παράγει παρεμβολή στους άλλους χρήστες, αυτοί όμως μπορεί να υποστούν παρεμβολή στην άνω ζεύξη λόγω της μεγαλύτερης απόστασης της σύνδεσης.

5.10 Εύρος ζώνης κατανεμημένο σε δίκτυο κορμού.

Η εμπορική ανάπτυξη μιας νέας υπηρεσίας μπορεί να χρησιμοποιήσει ραδιοζεύξη για το δίκτυο κορμού αρχικά για το κόστος και τις αυξημένες απαιτήσεις χωρητικότητας, αλλά μετά να προχωρήσει σε σύνδεση οπτικής ίνας/ομοαξονικού καλωδίου όσο οι απαιτήσεις των υπηρεσιών και η χωρητικότητα αυξάνεται. Κάποιο εύρος ζώνης σε αυτή την διάταξη έχει τοποθετηθεί στο δίκτυο κορμού. Καθώς αναπτύσσεται το σύστημα, ο χρόνος θα δείξει πότε είναι οικονομικό να αντικατασταθεί η ραδιοζεύξη κορμού δικτύου με οπτική ίνα/ομοαξονικό καλώδιο για την σύνδεση με τους γειτονικούς σταθμούς βάσης.
Παρ' ότι η τοποθέτηση αρκετού εύρους ζώνης στις υπηρεσίες κορμού δικτύου μπορεί να μην φανεί, η πιο αποτελεσματική χρήση του φάσματος, γίνεται μόνο στην αρχική ανάπτυξη της υπηρεσίας και τότε τα όρια της χωρητικότητας είναι σπάνιο να επιβάλουν την πραγματική ανάγκη. Το εύρος ζώνης που είναι κατανεμημένο αρχικά στο δίκτυο κορμού θα μπορούσε να ανακατανεμηθεί στην άνω ζεύξη, όταν οι σταθμοί βάσης είναι συνδεδεμένοι με οπτική ίνα/ομοαξονικό καλώδιο.
Το κρίσιμο θέμα είναι ο καθορισμός εύρους ζώνης που χρειάζεται να τοποθετηθεί στο δίκτυο κορμού καθώς αυτό θέτει ένα όριο στην διαμεταγωγική ικανότητα και στο εύρος των υπηρεσιών που διατίθενται σε όλες τις σημαντικές φάσεις ανάπτυξης της υπηρεσίας.

5.11 Εναλλακτικός σχεδιασμός κυττάρου που παράγει καλύτερες τιμές C/I.

Μια μέθοδος κατανομής συχνότητας και πόλωσης σε κάθε κύτταρο φαίνεται στο σχήμα 21.
Η επανάληψη συχνότητας (πόλωσης) όταν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με κεραίες χρήστη δέσμης στενού πλάτους που απορρίπτει τους κοντινούς παρεμβάλλοντες σταθμούς βάσης, παράγει μια επανάληψη της ίδιας κατανομής σε κάθε πέμπτο κύτταρο μόνο.
Στην κάτω ζεύξη οι μεταδόσεις στο F2H από τον BS1 μπορούν να παρεμβάλουν μόνο με αυτές τις ίδιας κατανομής του F2H σε σχέση με τον BS3.



Προτεινόμενη διαμόρφωση συχνότητας για τα κύτταρα
C/I κάτω ζεύξης: 14dB
C/I άνω ζεύξης: 12dB

Σχήμα 21: Εναλλακτικό πλάνο κυττάρου

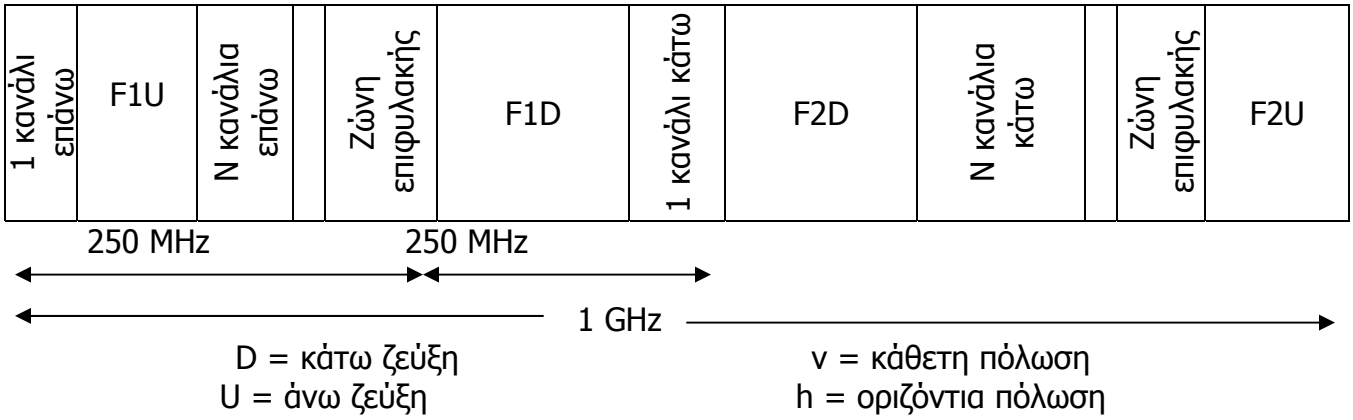
Τα τρία γειτονικά κύτταρα που χρησιμοποιούν το F2H, έχουν όλα τις κεραίες των χρηστών να σημαδεύουν τουλάχιστον 90^O μακριά από τις μεταδόσεις από αυτόν τον συγκεκριμένο σταθμό βάσης που θα μπορούσε να παρέχει επαρκή απομόνωση, όταν μια κεραία χρήστη δέσμης στενού πλάτους ($<3^o$) χρησιμοποιείται. Επιπλέον ο ελάχιστος ονομαστικός λόγος φέροντος προς παρεμβολή (C/I) που βιώνει ένας χρήστης στο άκρο του κυττάρου που εξυπηρετείται από τον BS3, είναι 20log(5z/z) = 14dB όπου z είναι το μέγιστο μήκος (σύνδεσης) ραδιοζεύξης. Αυτή η υψηλή C/I τιμή υποθέτει ότι η σκέδαση από τα γειτονικά κύτταρα στις 90^o στο μονοπάτι της μετάδοσης είναι αμελητέα.

Εν τούτοις ο χρήστης στο σημείο C, που θα εξυπηρετείται από τον BS6, μπορεί να βιώσει παρεμβολή από τον BS3 λόγω σκέδασης. Η σκέδαση από τα κτίρια θα είναι σημαντική ακόμα και σε μεγάλες γωνίες στο επικείμενο μονοπάτι.

Οι τιμές για αυτόν τον τύπο σκέδασης μπορούν να ποικίλουν από –10 έως –20dB κάτω από το ενδεχόμενο επίπεδο της μη κατοπτρικής αντανάκλασης.
Τα σήματα σκέδασης αυτού του επιπέδου δεν είναι αρκετά μεγάλα για να μειώσουν τον ονομαστικό λόγο C/I στην κάτω ζεύξη σε μη επιτρεπτά επίπεδα ακόμα και όταν η απόσταση ανάμεσα στην παρεμβολή και το επιθυμητό σήμα είναι μικρή.
Η κατοπτρική αντανάκλαση γενικά μπορεί να μειώσει τις τιμές του C/I κοντά στο μηδέν αλλά κάτι τέτοιο είναι αρκετά σπάνιο γεγονός. Εν τούτοις, κτίρια που προκαλούν σκέδαση μπορεί επίσης να ανακλάσουν ακτινοβολία από άλλα γειτονικά κύτταρα που χρησιμοποιούν παρόμοιες συχνότητες και να μειώσουν περαιτέρω τα C/I επίπεδα.
Εναλλακτικά ένας χρήστης που βιώνει παρεμβολή τέτοιου τύπου θα πρέπει να γυρίσει την κεραία του για να λάβει υπηρεσίες από τον παρεμβάλλοντα σταθμό βάσης αποφεύγοντας το πρόβλημα εφόσον καθαρή οπτική επαφή υπάρχει τουλάχιστον ανάμεσα σε αυτόν τον σταθμό βάσης και τα κτίρια που προκαλούν σκέδαση.
Στην άνω ζεύξη ο χρήστης κοντά στον BS3 θα μπορούσε να παρεμβάλλεται με παρόμοια κατανομή στο κύτταρο που εξυπηρετείται από τον BS 1. Αυτή τη φορά το ελάχιστο C/I είναι 20log(4z/z) = 12dB.
Παρόμοια σκέδαση με αυτή στην κάτω ζεύξη μπορεί επίσης να προκαλέσει παρεμβολή στα γειτονικά κύτταρα. Εν τούτοις αυτό το πρόβλημα είναι πιο σοβαρό όσο η παρεμβολή στην άνω ζεύξη γίνεται στον σταθμό βάσης και έχει προοπτική να παρεμβάλλεται με όλους τους χρήστες στο συγκεκριμένο κύτταρο.

5.12 Σχεδιασμός ζώνης συχνοτήτων για επιπλέον 1 GHz για εύρος από 42,5 έως 43,5 GHz.

Υπάρχει γενικότερα σκεπτικισμός στην Ευρώπη σχετικά με την χρήση επιπλέον 1 GHz εύρους ζώνης από 42,5 έως 43,5 για ευρυζωνικές υπηρεσίες πρόσβασης που περιλαμβάνουν L.M.D.S. και HIPERLAN συστήματα.
Ένα προτεινόμενο σχέδιο ζώνης συχνοτήτων φαίνεται στο σχήμα 22, όπου ίσο εύρος ζώνης κατανέμεται ανάμεσα στις άνω και κάτω ζεύξεις. Αυτό το σχέδιο χρησιμοποιεί ξανά την έννοια της διπλής συχνότητας/πόλωσης όπου ο ελάχιστος διαχωρισμός ανάμεσα στις άνω και κάτω ζεύξεις του χρήστη είναι περίπου ~ 500MHz αλλά μειώνεται στα 250MHz για τον σταθμό βάσης όπου μπορεί να χρειαστούν καλύτερης απόδοσης διπλέκτες.

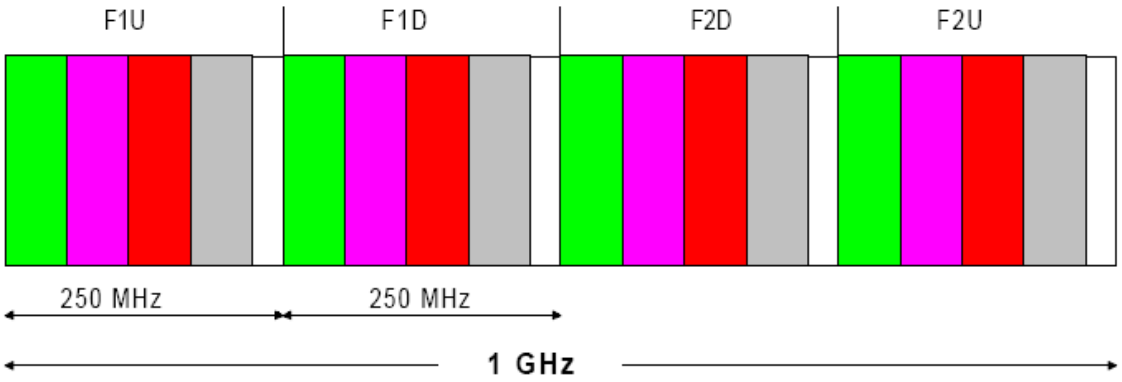


Σχήμα 22: Πλάνο καναλιού & ζώνης για εύρος συχνότητας από 42,5 έως 43,5GHz

Όπως και στην χαμηλότερη ζώνη των 2GHz μια ζώνη επιφυλακής χρειάζεται και το δίκτυο κορμού μπορεί να υποστηριχθεί προσωρινά μέσα στην κατανομή. Αυτό το σχέδιο έχει μια επίπτωση για τα ήδη υπάρχοντα συστήματα L.M.D.S. κάτω των 42GHz, ειδικά αν η διαχείριση είναι τοποθετημένη στον ίδιο σταθμό βάσης. Οι σταθμοί βάσης των ήδη υπαρχουσών υπηρεσιών θα πρέπει να απορρίψουν οποιαδήποτε παρεμβολή από την γειτονική ζώνη άνω ζεύξης κοντά στην σύνδεση των 42,5MHz και το τερματικό του χρήστη θα πρέπει να απορρίψει τις μεταδόσεις κάτω ζεύξης περίπου 250MHz μακριά. Εκτός και αν καθοριστούν θεμελιώδη RF επίπεδα ισχύος που κάτι τέτοιο δεν είναι και τόσο δύσκολο να επιτευχθεί.

Κάθε χρήστης θα χρειάζεται μόνο ένα τμήμα από την άνω και κάτω ζεύξη σε οποιαδήποτε στιγμή. Το πλήρες 1GHz θα διαχωριστεί σε P κανάλια (κανάλια από 1 έως P). Ο συνδυασμός σε ζεύγη των τυπικών καναλιών φαίνεται στο σχήμα 22 κρατώντας έναν διαχωρισμό 500MHz στο τερματικό του χρήστη. Στον σταθμό βάσης, πολλά κανάλια θα λειτουργούν ταυτόχρονα. Ωστόσο αυτό το σχέδιο κατανομής διατηρεί 250MHz ανάμεσα στις άνω και κάτω ζεύξεις στον σταθμό βάσης. Ένα τυπικό εύρος καναλιού θα μπορούσε να είναι 25MHz γεγονός που θα υποχρέωνε τους παρόχους υπηρεσιών να υιοθετήσουν διαμορφώσεις με φασματική απόδοση καλύτερη από 1bit/s/Hz για την μετάδοση 25Mbit/s ATM.
Είναι πιθανό αρκετοί πάροχοι υπηρεσιών (στην ίδια γεωγραφική περιοχή) να μπορούσαν να πάρουν άδεια να χρησιμοποιούν αυτή την ζώνη του 1GHz. Σε τέτοιες περιπτώσεις, ίσως να είναι αρκετό να κατανέμεται σε ολόκληρη τη βάση σταθερών θυρίδων συχνοτήτων και να επιτρέπουν στους παρόχους των υπηρεσιών να καθορίζουν το δικό τους πλάνο καναλιών. Μόνο οι ζώνες άνω και κάτω ζεύξης θα πρέπει να καθοριστούν μαζί με μια μάσκα για την εκτός ζώνης ακτινοβολία. [1]

Το σχήμα 23 δείχνει πως μπορεί να μοιρασθεί μια ζώνη ανάμεσα σε πολλούς παρόχους υπηρεσιών.



D = κάτω ζεύξη
U = άνω ζεύξη

v = κάθετη πόλωση
h = οριζόντια πόλωση

Σχήμα 23: Διαχωρισμός ζώνης για αρκετούς παρόχους υπηρεσιών στην ίδια γεωγραφική περιοχή

6. L.M.D.S. RADIO SUB-SYSTEMS

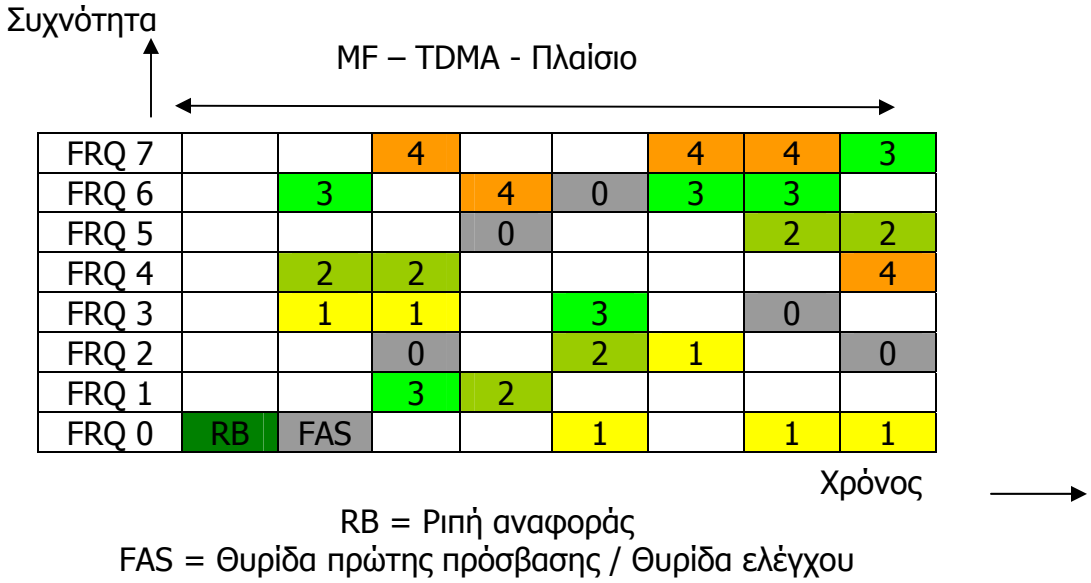
6.1 Τρόποι πολλαπλής πρόσβασης και δομής.

Υπάρχουν πολλά πρότυπα διαθέσιμα για πολυπλεξία και δομή πλαισίου:
Η ροή μεταφοράς MPEG 2 – TS (Transport Stream) χρησιμοποιεί δομή πακέτου των 188 byte και σχεδιάστηκε αρχικά για εκπομπή κινούμενης εικόνας από τον σύνδεσμο DVB. Μια άλλη επιλογή βασίζεται στο πρότυπο του ATM το οποίο καθιερώνει δομή κυττάρου 53 byte και μεταφέρεται πάνω από το MPEG 2 – TS ή χρησιμοποιείται μόνο του. Μια τρίτη προσέγγιση βασίζεται στα πρότυπα DECT (Digital Enhanced Cordless Telephone) τα οποία προσφέρουν κατάλληλη δομή πλαισίου στην οποία το ATM μπορεί να ενσωματωθεί.

6.2 Μετάδοση και πρόσβαση στα κανάλια άνω ζεύξης.

Για τα κανάλια άνω ζεύξης δεν υπάρχει κυρίαρχο πρότυπο διαθέσιμο αλλά προτιμάται για την παροχή ATM μια δομή βασικού κυττάρου των 53 byte. Έπειτα παραμένει το ζήτημα του πότε τα ATM κύτταρα θα χρησιμοποιούν κάποιο πρότυπο ή όχι.
Η προσέγγιση του DECT απορρίπτεται διότι δεν είναι ικανό να υποστηρίξει τον απαιτούμενο ρυθμό δεδομένων άνω ζεύξης του χρήστη χωρίς σημαντική επανασχεδίαση. Για την εξασφάλιση μικρών καθυστερήσεων στα κανάλια άνω ζεύξης, προτιμάται ένα μικρού μεγέθους κύτταρο. Εν τούτοις, ο λόγος μεγέθους του πακέτου ATM και το MPEG 2 – TS είναι μόνο 3,5 που δεν φαίνεται αρκετά μεγάλο για να προτιμηθεί το ένα ή το άλλο. Τα ATM πακέτα μπορούν να ενσωματωθούν στα πακέτα MPEG 2 – TS με 7 ATM κύτταρα που θα μεταφέρονται από δυο συνεχή MPEG 2 – TS πακέτα. Υποθέτοντας μια σύνδεση 64 kb/s, η καθυστέρηση που εισάγεται από το πακέτο των 188 byte είναι 23ms καθώς περίπου τα 8ms επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας πακέτο των 53 byte. Εάν θα είναι κρίσιμο ή όχι το χρονικό διάστημα των 15ms θα εξαρτηθεί από τον ιδιαίτερο σχεδιασμό των MAC πρωτοκόλλων.
Όσον αφορά τις τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης, η TDMA σε συνδυασμό με FDM (Frequency Division Multiplex – Πολυπλεξία με διαίρεση συχνότητας) έχουν υιοθετηθεί για την άνω ζεύξη. Αυτή η επιλογή είναι κατάλληλη για κίνηση με ριπές. Η συνολική κίνηση μικρής μεταβλητότητας FDMA είναι πολύ ευκολότερη και οικονομικότερη λύση. Ωστόσο θεωρώντας το ευρύ πεδίο διαφορετικών απαιτήσεων υπηρεσιών που απαιτεί το σύστημα, μια προσέγγιση TDMA χρειάζεται οριστικά διότι αυτό κάνει την διαχείριση των πόρων ευκολότερη προκειμένου να αυξηθεί η ευελιξία της TDMA μεθόδου έχει προταθεί (multi-frequency – MF) MF-TDMA για το L.M.D.S., η δομή της οποίας φαίνεται στο

σχήμα 24, η οποία αυξάνει την ικανότητα να εκμεταλλεύεται τις διαφορετικές πηγές πληροφοριών. [8]



Σχήμα 24: Σχήμα πρόσβασης πολλαπλών συχνοτήτων MF-TDMA

6.3 Μετάδοση και πρόσβαση στα κανάλια κάτω ζεύξης.

Τόσο για τα κανάλια άνω ζεύξης, όσο και για της κάτω ζεύξης η λύση του ATM πρέπει να παρέχεται. Τα κανάλια κάτω ζεύξης θα πρέπει να σχεδιάζονται για να μεταφέρουν υπηρεσίες μαζί με αυτές που βασίζονται στο ATM. Αν οι υπηρεσίες μεταφέρονται μέσω του ATM, το L.M.D.S. θα έχει μετατόπιση του κόστους του αν έχει ως στόχο μόνο την εκπομπή υπηρεσιών. Για το L.M.D.S. επόμενης γενιάς, η παροχή υπηρεσιών σε χρήστες είναι ο κύριος στόχος του και γι' αυτό η λύση που προτείνεται είναι η εκπομπή τηλεοπτικού σήματος και υπηρεσίες βασισμένες στο ATM παράλληλα μεταφερόμενες μέσω της δομής MPEG 2 – TS. Αυτό εξασφαλίζει κλιμακώμενο κόστος υποθέτοντας ότι η εκπομπή τηλεοπτικού σήματος είναι η κύρια υπηρεσία για το σύστημα L.M.D.S. επόμενης γενιάς. Η ενσωμάτωση του ATM στο MPEG 2 – TS γίνεται σύμφωνα με το πρότυπο DAVIC (Digital Audio Video Council).

6.4 Τεχνικές διαμόρφωσης και κωδικοποίησης στα κανάλια άνω ζεύξης

Όσον αφορά την κωδικοποίηση στο αλληλεπιδραστικό κανάλι για την άνω ζεύξη επιβάλλονται κάποιοι περιορισμοί και εμπόδια στις τεχνικές λύσεις.
Αρκετές διαμορφώσεις έχουν αναφερθεί και λόγω της αυθεντικότητας τους και του χαμηλού κόστους τους, η GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying – Διαμόρφωση ελάχιστης μετατόπισης φάσης με φίλτρο Γκάους) και η DQPSK (Differential Quaternary Phase Shift Keying - Διαφορική διαμόρφωση μετατόπισης φάσης με ορθογωνισμό) έχουν επιλεγεί για τα κανάλια άνω ζεύξης του L.M.D.S. [8]
Λόγω της συνεχής κάλυψης τους, η GMSK και η DQPSK είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για χρήση σε ένα περιβάλλον ραδιοκαναλιών όπου η παραμόρφωση πλάτους είναι έντονη και υπάρχει αβεβαιότητα στην διαδικασία λήψης όσον αφορά το πλάτος αναφοράς λαμβανόμενου σήματος. Και για τις δυο διαμορφώσεις, η εσωτερική ευαισθησία σε θόρυβο φάσης και η επίδραση μη-γραμμικών ενισχυτών, έχουν παρόμοιες επιδράσεις, ωστόσο η GMSK χαρακτηρίζεται από λιγότερες εκπομπές εκτός ζώνης όταν λειτουργεί κοντά στον κορεσμό. Όσον αφορά την πολυπλοκότητα του δέκτη, σίγουρα η GMSK είναι πιο απλή και φθηνή απ' ότι η DQPSK όταν συγκρίνεται με την τρέχουσα τεχνολογία. Γενικά, η GMSK είναι λιγότερο φασματικά αποδοτική απ' ότι η DQPSK. Για το L.M.D.S. επόμενης γενιάς, η DQPSK προτείνεται σαν μορφή διαμόρφωσης για τα κανάλια άνω ζεύξης.
Το κανάλι κωδικοποίησης για την άνω ζεύξη θα πρέπει να είναι ικανό να χειριστεί ριπές κίνησης αλλά και να συγκρατεί την καθυστέρηση στο ελάχιστο. Αυτές οι απαιτήσεις προτείνουν την χρησιμοποίηση κωδικών διόρθωσης σφαλμάτων για την μετάδοση άνω ζεύξης. Οι υπάρχουσες τεχνικές καθιστούν τους συνελικτικούς κώδικες κατάλληλους για κίνηση με ριπές. Όμως χαρακτηρίζονται από αυξημένη πολυπλοκότητα και δεν χρησιμοποιούνται ευρέως στις εμπορικές εφαρμογές. Οι μπλοκ κώδικες της οικογένειας Reed – Solomon (RS) έχουν επιλεχθεί για την άνω ζεύξη.
Ένας προφανής υποψήφιος κώδικας είναι ο RS (188,204,8) ο οποίος συνεργάζεται με τους DVB (Digital Video Broadcasting) κώδικες για τα κανάλια εκπομπής της κάτω ζεύξης. Αυτός ο δυνατός κωδικός είναι μια συμπυκνωμένη έκδοση του RS (255,239) και μας αφήνει μια δομή πακέτου των 188 byte. Για το προτεινόμενο πλάνο συχνότητας με 3dB εύρος ζώνης των 8,5 MHz, η φασματική απόδοση R_b/B_{3dB} (R_b είναι ο ρυθμός δεδομένων του χρήστη) είναι 1,84bit/s/Hz. Αυτό μας αφήνει με μια ελάχιστη διαθέσιμη ενέργεια σήματος ανά bit/Hz του θερμικού θορύβου E_b/N_o των 8,5dB και ένα μέγιστο χρήσιμο ρυθμό δεδομένων των 15,6Mb/s. Ένας άλλος υποψήφιος είναι ο κώδικας RS (63, 53, 5) ο οποίος προτείνεται από το DAVIC για τα κανάλια άνω ζεύξης. Αυτός ο κώδικας είναι μια συμπυκνωμένη έκδοση του RS (255, 245, 5) ο οποίος υποστηρίζει δομή πακέτου των 53 byte. Με το προτεινόμενο πλάνο συχνότητας, η φασματική απόδοση

είναι 1,68bit/s/Hz και μας δίνει ένα ελάχιστο διαθέσιμο E_b/N_o των 8,9dB. Ο ανταποκρινόμενος μέγιστος ρυθμός δεδομένων είναι 14,3Mb/s (πίνακας 6).
Για το διαφορικά κωδικοποιημένο QPSK με σύμφωνη αποδιαμόρφωση, το άνω όριο πιθανότητας σφάλματος bit για το E_b/N_o των 8,5dB και των 8,9dB είναι περίπου $1,7*10^{-4}$ και $0,8*10^{-4}$ αντίστοιχα. Η μη σύμφωνη αποδιαμόρφωση περιλαμβάνει και ένα μειονέκτημα των 2,3dB που σχετίζεται περισσότερο με τον περιορισμό που επιβάλλεται από το CIR σε ένα πολυκυτταρικό σενάριο. Συμπεριλαμβάνεται ότι ο μπλοκ κώδικας RS (188,204) αποφέρει ένα κανάλι σχεδόν χωρίς σφάλματα (Quasi Error Free – QEF) με πιθανότητα σφάλματος bit καλύτερο από 10^{-10}. Για τους DVB κώδικες, η είσοδος BER των $2*10^{-4}$ απαιτείται για την διασφάλιση της λειτουργίας QEF για τον κώδικα RS(188,204). Όσο για τον κώδικα DAVIC, μπορεί να διορθώσει 5 λάθη στα 53bytes σε σύγκριση με τα 8 λάθη στα 188bytes και είναι πιο δυνατός από τον κώδικα RS(188,204). Επιπλέον προσφέρει κανάλι σχεδόν χωρίς σφάλματα για δεδομένο E_b/N_o αλλά είναι λιγότερο φασματικά ικανοποιητικό σε σχέση με το άλλο. Και οι δυο κώδικες είναι ικανοί να υποστηρίξουν όλες τις προτεινόμενες υπηρεσίες από την άποψη λειτουργίας και είναι ικανά να αντιμετωπίσουν κίνηση χρήστη πάνω από 8Mb/s αν το κατώφλι του πλαισίου και το πρωτόκολλο είναι σε λογικά επίπεδα.
Βασιζόμενοι στην προηγούμενη παράγραφο, η χρήση του κωδικού RS(188,204) προτείνεται για την άνω ζεύξη και είναι μια συμβιβαστική λύση ανάμεσα στο κόστος εφαρμογής και λειτουργίας για τις παραμέτρους του επιλεγμένου συστήματος. Για να περιληφθούν 25,6Mb/s ATM στον εξοπλισμό του χρήστη, προτείνεται να χρησιμοποιηθεί αρχιτεκτονική δυο παράλληλων καναλιών των 12,8Mb/s για την άνω ζεύξη. [1]

Άνω ζεύξη

Λόγος φέρουσας προς θόρυβο	C/N	+	11.2		dB
Διαμόρφωση			D(E) QPSK		
Αποδιαμόρφωση			Συμβατή		
Εξωτερικός κωδικός καναλιού			RS(53,63)	RS(188,204)	
Εσωτερικός κωδικός καναλιού			-		
Απόδοση φάσματος	R_b/B		1.68	1.84	b/s/Hz
	R_b/B, dB	-	2.3	2.7	
Ενέργεια σήματος ανά bit/Hz του θερμικού θορύβου	E_b/N_o	=	8.9	8.5	dB

Πίνακας 6

6.5 Τεχνικές διαμόρφωσης και κωδικοποίησης στα κανάλια κάτω ζεύξης

Για να είναι συμβατά τα κανάλια κάτω ζεύξης με την ψηφιακή εκπομπή σύμφωνα με το πρότυπο του DVB, το επίπεδο μεταφοράς βασίζεται στον MPEG–2 τύπο μεταφοράς πακέτων. Όσον αφορά την κωδικοποίηση καναλιού, μια σύγκριση απόδοσης ανάμεσα σε διαμορφώσεις μονού φέροντος QPSK και πολλών φερουσών COFDM βασισμένες στις αντίστοιχες DVB-MS και DVB-T (Terrestrial) προδιαγραφές που εφαρμόζονται στο L.M.D.S. έχουν διεξαχθεί και δείχνουν ότι η διαμόρφωση QPSK είναι η σωστή. Στηριζόμενοι σε αυτές τις ενδείξεις, η εκπομπή και λήψη δεδομένων στην κάτω ζεύξη, μεταδίδονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές του DVB-MS για κωδικοποίηση καναλιού και διαμορφώσεις για συχνότητες άνω των 10GHz και προτείνουν την ίδια κωδικοποίηση καναλιού για δορυφορική εκπομπή.
Ο κωδικός καναλιού του μεταδότη αποτελείται από τον μπλοκ κώδικα RS(204,188,8) ακολουθούμενος από τους συνελικτικούς κώδικες τύπου Forney, ποικίλων ρυθμών συνελικτικούς κώδικες (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8) και QPSK διαμορφωτή με παράγοντα εξασθένησης 0,35.
Για το δεδομένο πλάνο συχνότητας, υποθέτουμε 3dB, εύρος ζώνης 33MHz και δίνεται το ελάχιστα διαθέσιμο E_b/N_o των 5,8dB και 6,7 dB για 2/3 και 1/2 ρυθμό αντίστοιχα, όταν συνδυάζονται 5 κανάλια κάτω ζεύξης σε έναν μονό ενισχυτή εξόδου όπως στον παρακάτω πίνακα. Με την εξασφαλισμένη φασματική απόδοση, ένας χρήσιμος ρυθμός δεδομένων των 40,6 και 30,4 Mb/s μπορεί να υποστηριχθεί. Σύμφωνα με το DVB-MS απαιτείται E_b/N_o των 5,0dB για ρυθμό 2/3 και γι' αυτό μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο ρυθμός 2/3 μπορεί να υποστηρίξει τον συνδυασμό των 5 καναλιών κάτω ζεύξης. Υψηλότερος ρυθμός δεδομένων μπορεί να αποκτηθεί μειώνοντας τον αριθμό των συνδυαζόμενων καναλιών σε 3 που μας επιτρέπει να χειριστούμε μεγαλύτερη φασματική απόδοση μέσα στο εύρος ζώνης των 33MHz.
Υιοθετώντας τον προτεινόμενο παράγοντα εξασθένησης των 2/3 για την αύξηση της προστασίας από τις καναλικές εξασθενήσεις και από τις γειτονικές παρεμβολές C/I τα 34 Mbit/s χρήσιμα δεδομένα ανά κανάλι είναι διαθέσιμα.
Εκτιμάται ότι κάθε διαμορφωμένο φέρον μπορεί να υποστηρίξει ταυτόχρονα μέχρι και 10 ψηφιακά προγράμματα κινούμενης εικόνας, ικανοποιώντας τις απαιτήσεις ποιότητας της υπηρεσίας. Στην περίπτωση της πρόσβασης του διαδικτύου, αυτοί οι υπολογισμοί έγιναν πολύ προσεκτικά λόγω των συνθηκών φόρτωσης της κίνησης, όμως σαν αναφορά ο μέγιστος αριθμός των συνδέσεων στο διαδίκτυο που να ικανοποιεί τις απαιτήσεις ποιότητας της υπηρεσίας να είναι 60.

Κάτω ζεύξη

Λόγος φέρουσας προς θόρυβο	C/N	+	9,8		6,7		dB
Διαμόρφωση			QPSK				
Αποδιαμόρφωση			Συμβατή				
Εξωτερικός κωδικός καναλιού			RS (188.204)				
Εσωτερικός κωδικός καναλιού			3/4	7/8	1/2	2/3	
			Συνελικτικός				
Απόδοση φάσματος	R_b/B		1,38	1,61	0,92	1,23	b/s/Hz
	R_b/B, dB	-	1,4	2,1	0,0	0,9	
Ενέργεια σήματος ανά bit/Hz του θερμικού θορύβου	E_b/N_o	=	8,4	7,7	6,7	5,8	dB

Πίνακας 7

6.6 Χαρακτηριστικά κεραιών

Γενικά θεωρούμε ότι ένας σταθμός βάσης καλύπτει ένα κύτταρο μερικών χιλιομέτρων σε μέγεθος και εκπέμπει με γραμμικά πολωμένο σήμα (οριζόντια ή κάθετα) σε ένα μεγάλο αριθμό χρηστών. Ο σταθμός βάσης πρέπει να έχει ευρεία κάλυψη καθώς ο χρήστης έχει κατευθυντική κεραία για την αύξηση του σήματος και την αποφυγή παρεμβολών από άλλους σταθμούς βάσης.
Θεωρούμε ότι όλες οι κεραίες χρησιμοποιούνται και για λήψη και για μετάδοση και σε περίπτωση ανάγκης απομόνωσης ανάμεσα στα Tx/Rx κανάλια τότε μόνο χρησιμοποιούμε δυο ξεχωριστές κεραίες.

6.6.1 Κατευθυντικές κεραίες σταθμών βάσης

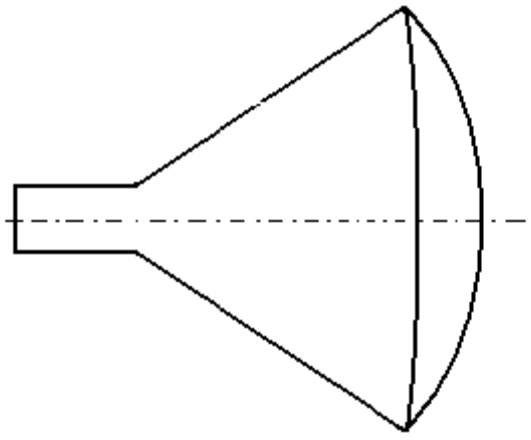
Χρησιμοποιείται σχισμοκεραία με μέγεθος περίπου 1x8cm^2 (πλάτος x ύψος). Το κέρδος της είναι περίπου 15dB και παρέχει ευρεία δέσμη στην οριζόντια πόλωση περίπου 64^o και στενή δέσμη στο κάθετο επίπεδο. Αυτό το μικρό μέγεθος επιτρέπει την χρήση αρκετών κεραιών, μια ανά κανάλι, αποφεύγοντας έτσι προβλήματα ενδοδιαμόρφωσης και υπερβολικής ισχύος.
Αν χρησιμοποιούνται αρκετά κανάλια στην ίδια κεραία, ο μεταδότης δίνει μέχρι 24dBm ανά κανάλι προς το παρόν. Αυτό απαιτεί έναν σχετικά υψηλής ισχύος συνδυαστή ή υψηλής ισχύος ενισχυτή.

6.6.2 Παν-κατευθυντικές κεραίες σταθμών βάσης

Η χρήση των παν-κατευθυντικών κεραιών των σταθμών βάσης έχει κάποια πλεονεκτήματα. Έχει παρατηρηθεί ότι για την κάλυψη περιοχής διαμέτρου D με κεραία 90^o, η μέγιστη απόσταση ανάμεσα στις κεραίες μετάδοσης και λήψης είναι D ενώ με μια παν-κατευθυντική κεραία είναι D/2 η οποία προφανώς έχει κέρδος κατά 6dB χαμηλότερο από ότι μια κεραία με κάλυψη 90^o με το ίδιο κατακόρυφο εύρος δέσμης. Επομένως, για δεδομένη εκπεμπόμενη ισχύ δεν υπάρχει διαφορά στην περιοχή κάλυψης, υποθέτοντας μοντέλο διάδοσης ελεύθερου χώρου, γεγονός που υποδηλώνει μια αύξηση κατά 6dB σε εξασθένηση ελεύθερης διπλάσιας απόστασης.
Μια παν-κατευθυντική κεραία έχει σημαντικά πλεονεκτήματα συμπεριλαμβανομένου του γεγονότος ότι το ποσοστό των κτιρίων με οπτική επαφή μεταξύ τους, μειώνεται με την απόσταση από την κεραία.
Κάποια μειονεκτήματα προέρχονται από τεχνικής άποψης όπου μόνο μια παν-κατευθυντική κεραία μπορεί να τοποθετηθεί σε κάθε σταθμό βάσης ενώ θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν πολλές τμηματικές κεραίες στον ίδιο σταθμό βάσης. Επιπλέον μια τμηματική κεραία μπορεί να τοποθετηθεί πάνω σε ένα κτίριο, ενώ μια παν-κατευθυντική κεραία είναι βιώσιμη επιλογή για αρκετές περιπτώσεις κάλυψης και στην πράξη θα πρέπει να είναι υπερυψωμένη με 360^o ορατότητα.

6.6.3 Κεραίες χρήστη

Για ένα σύστημα στα 40GHz, η χοανοειδής κεραία χρησιμοποιείται από τους χρήστες, με διάμετρο ανοίγματος από 15 μέχρι 20cm. Για την μείωση του μήκους της χοάνης χωρίς μεγάλο σφάλμα φάσης, χρησιμοποιούνται διηλεκτρικοί φακοί στο άνοιγμα της χοάνης όπως φαίνεται στο σχήμα 25.

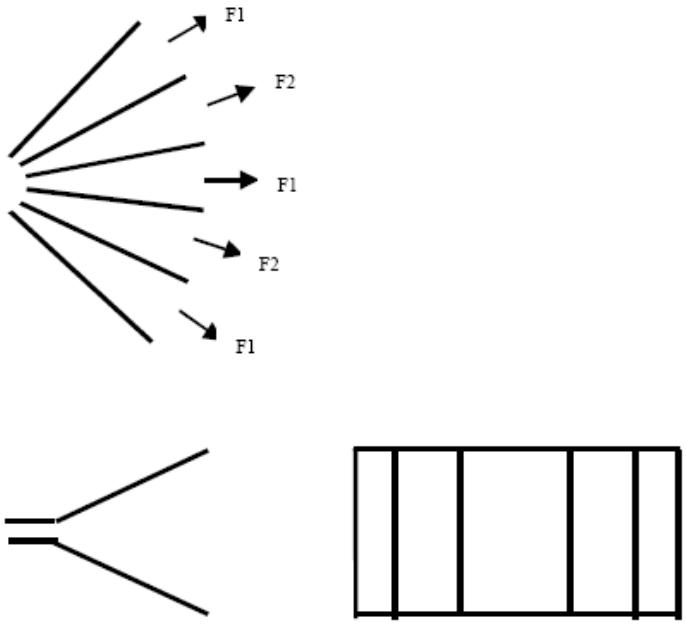


Σχήμα 25: Τομέας διαμήκους της χοάνης με διηλεκτρικούς φακούς.

Αυτή η κεραία έχει το μειονέκτημα του υπερβολικού μεγέθους του άξονα με μήκος μεγαλύτερο απ' ότι το πλάτος. Επιπλέον, έχει σχετικά μικρή αποδοτικότητα όταν γίνεται σύγκριση με το θεωρητικό κέρδος του ανοίγματος με το πραγματικό κέρδος. Αυτό είναι πιθανό λόγω του κωνικού ανοίγματος, του σφάλματος φάσης και απωλειών του διηλεκτρικού απωλειών.
Λόγω των προαναφερθέντων μειονεκτημάτων της χοάνης προτείνονται άλλες λύσεις όπως η επίπεδη κεραία (flat antenna), η διάταξη κεραιών κυμάτων διαρροής (leaky wave) και οι κεραίες ανακλαστήρα.

6.6.4 Κεραίες σταθμών βάσης με πιο πολύπλοκο σύστημα εστίασης

Για την περαιτέρω αύξηση του κέρδους της κεραίας του σταθμού βάσης, διαγράμματα ακτινοβολίας με στενότερες οριζόντιες δέσμες θα πρέπει να χρησιμοποιούνται γιατί η μείωση του πλάτους δέσμης στο κάθετο επίπεδο θα οδηγήσει σε πολύ μεγάλη κατακόρυφη διάσταση της κεραίας του σταθμού βάσης. Επομένως, switched δέσμη θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί για να καλύψει έναν ολόκληρο τομέα όπου ένα σύνολο από 5 δέσμες σε έναν τομέα 90^o με επαναχρησιμοποίηση συχνότητας θα μπορούσε να είναι ένα λογικό σχήμα. Κάθε κεραία θα μπορούσε να είχε κέρδος 7dB μεγαλύτερο από την κεραία με κάλυψη 90^o. Ένα πιθανό σύστημα κεραιών είναι ένα σύνολο από 5 χοανοειδής κεραίες με ανεξάρτητες κυματοδηγούμενες εισόδους. Οι κατόψεις της διάταξης φαίνονται στο σχήμα 26. Από την ανάλυση των εκπομπών των χοανών, μια διάκριση των 20dB του C/I αναμένεται ανάμεσα στις συχνότητες F1 και F2. [11]



Σχήμα 26: Διάταξη δέσμης χοανοκεραίας

6.6.5 Εύρος ζώνης

Το ελάχιστο εύρος ζώνης που απαιτείται θεωρείται το 1GHz μέχρι την πλήρη ζώνη των 2GHz. Αυτό αποκλείει την χρήση κάποιων τύπων κεραιών όπως η διάταξη κεραιών κυμάτων διαρροής και οι επίπεδες κεραίες. Ενώ οι χοανοειδής και ανακλαστικές κεραίες έχουν μεγαλύτερο εύρος ζώνης από 5% οπότε δεν θα έχουν προβλήματα εύρους ζώνης.

6.6.6 Γραμμικές κεραίες διπλής πόλωσης

Γενικά, η πόλωση εξαρτάται από τον προσανατολισμό των κεραιών σταθμών βάσης και χρησιμοποιείται μονή πόλωση. Εν τούτοις, οι προαναφερθείσες κεραίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν με διπλή πόλωση αντιμετωπίζοντας ελαφρά διαφορετικού βαθμού δυσκολίες υλοποίησης.
Για τις κατευθυντικές ανακλαστικές κεραίες, η πιθανότητα διπλής πόλωσης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά τροφοδότησης. Πιο συγκεκριμένα οι χοάνες με καλά χαρακτηριστικά όπως οι πτυχωτές ή οι διπλές χοάνες μπορούν να διεγερθούν και με τις δυο γραμμικές ορθογωνικές πολώσεις χωρίς πρόβλημα.

6.7 Αρχιτεκτονική μικροκυματικού εξοπλισμού σταθμού βάσης στα 40GHz

6.7.1 Πομπός

Τουλάχιστον δυο αρχιτεκτονικές προσεγγίσεις υπάρχουν για τον εξοπλισμό του πομπού και οι δυο εκ των οποίων έχουν εφαρμοστεί στα διαθέσιμα εμπορικά προϊόντα για τα 40GHz. Η μια από αυτές είναι μια δομή με μετάθεση προς τα πάνω του καναλιού και εκπομπή με σχετικά μικρό εύρος καναλιού και ενίσχυση χαμηλής ισχύος. Η άλλη δομή είναι ευρυζωνική μετάθεση συχνότητας και ενίσχυση υποστηρίζοντας μετάδοση πολλαπλών φέροντων και μια σχετικά μεγάλη ισχύ μέχρι 5W ισχύς εξόδου.
Τα αρχικά πλεονεκτήματα της προσέγγισης του μονού καναλιού είναι ότι ο διαχωρισμός του κυττάρου γίνεται μέσω τμηματοποίησης, οδηγώντας σε αυξανόμενη φασματική απόδοση. Πιο ικανοποιητική χρήση γίνεται για τους ενισχυτές ισχύος λόγω των μειωμένων απαιτήσεων back-off. Υπάρχουν επίσης δευτερεύοντα θέματα που αφορούν τον πλεονασμό και την συναρμολογησιμότητα των στοιχείων του μεταδότη. Η ευρυζωνική προσέγγιση έχει το πλεονέκτημα ότι το περισσότερο μέρος της διαδικασίας γίνεται στην κεραία. Αυτή αποδίδει μεγαλύτερο κέρδος μέσω παν-κατευθυντικής κεραίας.

6.7.2 Δέκτης

Ο δέκτης του σταθμού βάσης συλλέγει όλα τα σήματα άνω ζεύξης από ξεχωριστούς χρήστες. Ελαχιστοποιώντας την εικόνα θορύβου του εξοπλισμού μπορεί να είναι αποδοτικός ο προϋπολογισμός άνω ζεύξης. Με την τρέχουσα τεχνολογία M.M.I.C. (Monolithic Microwave Intergrated Circuit – Μονολιθικό Μικροκυματικό Ολοκληρωμένο Κύκλωμα) L.N.A. (Low Noise Amplifier – Ενισχυτής Χαμηλού Θορύβου), η συνολική εικόνα θορύβου των 5dB είναι πιθανή. Σε κάποιες περιπτώσεις είναι πλεονέκτημα η χρήση τμηματοποιημένων δεκτών σταθμού βάσης οι οποίοι βελτιώνουν τον προϋπολογισμό της σύνδεσης και επιτρέπουν την επαναχρησιμοποίηση συχνότητας στην άνω ζεύξη.

6.8 Αρχιτεκτονική μικροκυματικού εξοπλισμού χρήστη στα 40GHz

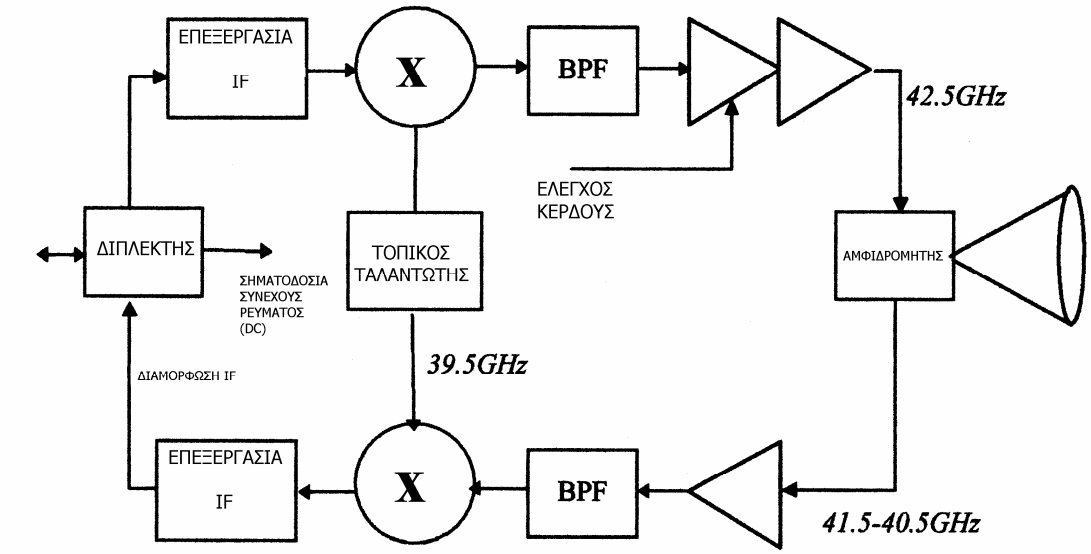
6.8.1 Υποβιβαστής συχνότητας δέκτη

Τα εκπεμπόμενα σήματα κάτω ζεύξης μεταφέρονται με συμβατικά δορυφορικά κανάλια. Ο εξοπλισμός του χρήστη υποβιβάζει τα σήματα των 40GHz της κάτω ζεύξης στην L ζώνη όπου η επαφή είναι παρόμοια με αυτή ενός δορυφορικού προενισχυτή L.N.B. (Low Noise Block Converter). Αυτό έχει σημαντικά πλεονεκτήματα όσον αφορά την ελαχιστοποίηση του κόστους του.
Ο υποβιβαστής συχνότητας δέκτη μπορεί να χρησιμοποιήσει χαμηλού κόστους ελεύθερης λειτουργίας διηλεκτρικό ταλαντωτή σαν τοπικό ταλαντωτή και χωρίς να καταφεύγει στην χρήση RF πιλοτικών τόνων, ικανοποιεί τις απαιτήσεις θορύβου φάσης και ολίσθησης συχνότητας. Χρησιμοποιώντας τεχνολογία LNA MMIC στον δέκτη επιτυγχάνεται εικόνα θορύβου των 6dB.

6.8.2 Πομποί στα 40GHz

Η εισαγωγή του σήματος άνω ζεύξης στα 40GHz προσθέτει ουσιαστικά πολυπλοκότητα στον εξοπλισμό του χρήστη. Τα σήματα άνω και κάτω ζεύξης θα πρέπει να διαχωριστούν και το σήμα άνω ζεύξης θα πρέπει να μην παρεμβάλλεται σε αυτό της κάτω ζεύξης.
Επίσης, το σήμα άνω ζεύξης θα πρέπει να έχει ακριβής συχνότητα για να αποτρέπει την παρεμβολή γειτονικών καναλιών και να μειώνει την απόδοση της ζεύξης.
Οι απαιτήσεις θορύβου φάσης για την προτεινόμενη διαμόρφωση άνω ζεύξης χρειάζεται να μην είναι πιο αυστηρές από αυτές της κάτω ζεύξης και αυτό επιτυγχάνεται με χαμηλού κόστους ελεύθερης λειτουργίας ταλαντωτές.
Ένα μπλοκ διάγραμμα με απλοποιημένη αρχιτεκτονική πομποδέκτη φαίνεται στο σχήμα 27.

Ένας κοινός τοπικός ταλαντωτής φαίνεται που έχει το πλεονέκτημα να μπορεί να εισάγει στον εσωτερικό εξοπλισμό του χρήστη, βρόχο ιχνηλάτησης συχνότητας. Αν ξεχωριστοί τοπικοί ταλαντωτές χρησιμοποιηθούν, τότε ο τοπικός ταλαντωτής άνω ζεύξης, θα πρέπει να κλειδώνει την φάση για να ικανοποιεί τις απαιτήσεις ευστάθειας της συχνότητας. Ο κοινός τοπικός ταλαντωτής είναι επίσης συμβατός με συστήματα που χρησιμοποιούν σήμα αναφοράς με RF πιλοτικό τόνο.



Σχήμα 27: Μπλοκ διάγραμμα πομποδέκτη χρήστη

<u>Διπλεξία</u>

Αν μια εξωτερική μονάδα χρησιμοποιείται στον εξοπλισμό του χρήστη, με τις μεταδόσεις άνω και κάτω ζεύξης να μοιράζονται μια κοινή κεραία, ο διπλέκτης γίνεται κρίσιμο στοιχείο του συστήματος ειδικά αν θέλουμε να πετύχουμε χαμηλό κόστος. Ο διπλέκτης θα πρέπει να επιτρέπει την μετάδοση σήματος άνω ζεύξης χωρίς να προκαλεί παρεμβολή με το συνεχώς λαμβανόμενο σήμα κάτω ζεύξης.

Υπάρχουν κάποιες πιθανές λύσεις για αυτήν την λειτουργία στα 40GHz:
Χωροταξικά, χρησιμοποιώντας ξεχωριστές κεραίες.
Ως προς την συχνότητα, χρησιμοποιώντας φίλτρα.
Πόλωση, χρησιμοποιώντας μετατροπέα ορθογώνιας πόλωσης.
Χρόνου, χρησιμοποιώντας διακόπτη.

Η χρήση ενός πρωτοκόλλου πολύπλεξης στη συχνότητα, δεν επιτρέπει την τελευταία επιλογή, χρησιμοποιώντας όμως ξεχωριστές κεραίες είναι μια σωστή λύση αλλά για πολλούς χρήστες με υψηλού κέρδους κεραίες (150mm διαμέτρου), αυτό θα είχε μεγάλο αντίκτυπο στο συνολικό μέγεθος και στο κόστος του εξοπλισμού.
Η χρησιμοποίηση ενός χαμηλού κόστους διπλέκτη συχνότητας συμβατό με μαζική παραγωγή παράλληλα με την επίτευξη επαρκούς απομόνωσης, πιο εύκολα επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας μεγάλο διαχωρισμό συχνοτήτων άνω και κάτω

ζεύξης. Για συστήματα που λειτουργούν στα 40GHz προτείνεται ο διαχωρισμός συχνότητας να' ναι της τάξης 0,5 – 1 GHz.

Θόρυβος φάσης

Αναλυτικές μελέτες δείχνουν ότι ο θόρυβος φάσης επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας χαμηλού κόστους ελεύθερης λειτουργίας δυναμικό ταλαντωτή δακτυλίου που είναι συμβατός με διαμόρφωση κάτω ζεύξης QPSK/16-QAM και άνω ζεύξης DQPSK και δεν επιφέρει σημαντική μείωση στην απόδοση. Κάποια χαλάρωση στον θόρυβο φάσης είναι αποδεκτή σε βάρος της συνολικά μειωμένης απόδοσης της ζεύξης αλλά αυτό τυπικά θα είναι <0,5dB ακόμα και για χαμηλού κόστους τοπικούς ταλαντωτές.

Ευστάθεια συχνότητας

Ο τοπικός ταλαντωτής υψηλής συχνότητας στον μικροκυματικό πομποδέκτη κάνει την απόλυτη ευστάθεια της συχνότητας δύσκολη παράμετρο να ικανοποιηθεί, ειδικά όταν τα κανάλια στενής ζώνης χρησιμοποιούνται στο κανάλι επιστροφής.

Για παράδειγμα, μια αβεβαιότητα για την συχνότητα των 10kHz άνω ζεύξης RF ισοδυναμεί σε <0,25ppm (periods per minute) στα 40GHz. Τέτοια ευστάθεια απαιτεί ο τοπικός ταλαντωτής να είναι κλειδωμένος στη φάση σε σταθερή αναφορά, κάνοντας απαραίτητη την χρήση ακριβού θερμοελεγχόμενου κρυστάλλου, αν εξυπηρετείται ανεξάρτητα από τον εξωτερικό εξοπλισμό του χρήστη. Στην εναλλακτική στρατηγική αναφοράς αν δεν εφαρμοστεί ιχνηλάτηση συχνότητας, ο τοπικός ταλαντωτής θα πρέπει να έχει κλειδωμένη φάση σε τοπικό σήμα αναφοράς.

Η τεχνολογία του διηλεκτρικού συντονιστή είναι περιορισμένη στα περίπου 1,5ppm/C^o. Για την χρήση αυτής της τεχνολογίας χαμηλού κόστους, η σταθεροποίηση της συχνότητας άνω ζεύξης είναι απαραίτητη. Οι στρατηγικές που μπορούν να υιοθετηθούν έχουν επίδραση και στις δυο διαμορφώσεις RF και IF και γι' αυτό είναι πολύ σημαντικές στον σχεδιασμό του συστήματος. Υπάρχουν σημαντικά κόστη και κατασκευαστικά οφέλη, υιοθετώντας έναν ελεύθερης λειτουργίας δυναμικό ταλαντωτή δακτυλίου όπως ο τοπικός ταλαντωτής ο οποίος καταλήγει σε μεγάλη ολίσθηση IF. Ο κοινός τοπικός ταλαντωτής επιτρέπει στον εσωτερικό εξοπλισμό του χρήστη να αντισταθμίζει την ολίσθηση LO στο σήμα IF της άνω ζεύξης για να ικανοποιήσει την απαιτούμενη ανοχή στην RF. Αυτή η λύση θα μπορούσε να είναι πολύ αποτελεσματική.

Η χρήση ενός RF πιλοτικού τόνου έχει υποστηριχθεί για σκοπούς ευστάθειας και έχει πλεονεκτήματα σε άλλους τύπους σημάτων όπως τα DVB-Terrestrial και DVB-Cable.

Εν τούτοις η χρήση του σήματος κάτω ζεύξης σαν συχνότητα αναφοράς αποφεύγει την ανάγκη για πιλοτικό τόνο που σχετίζεται με μείωση της απόδοσης ισχύος και φασματικής απόδοσης. Επιπλέον, έχει ένα πρόσθετο όφελος ότι είναι ανεξάρτητο από συγκεκριμένο πλάνο συχνότητας. Τα L.M.D.S. συστήματα στα

40GHz μπορεί να υιοθετήσουν μια προσέγγιση με πιλοτικά σήματος καθώς αυτό ελαχιστοποιεί τις αλλαγές που είναι απαραίτητες στο hardware του εσωτερικού εξοπλισμού χρήστη.

Εικόνα θορύβου

Η τεχνολογία MMIC μπορεί να παράγει χαμηλού θορύβου ενισχυτές με 4dB εικόνα θορύβου στα 40GHz. Οι απώλειες που εισάγονται μέσα από την χρήση του χαμηλού κόστους κατασκευαστικών τεχνικών μπορεί να σημαίνει ότι η εικόνα θορύβου μπορεί να είναι κοντά στα 6-7dB για τον δέκτη μαζικής παραγωγής. Για τον πομποδέκτη, οι απώλειες του διπλέκτη είναι 1 – 1,5dB και προσθέτονται στη συνολική εικόνα θορύβου καταλήγοντας στις αναμενόμενες τιμές των 8dB. Αυτή η εικόνα θορύβου είναι δυνατόν να μειωθεί στα 4-5dB καθώς η τεχνολογία ωριμάζει σε αυτή την ζώνη συχνοτήτων.

Ισχύς εξόδου

Ο ενισχυτής ισχύος του πομποδέκτη του χρήστη, μπορεί να χρησιμοποιήσει την ήδη τρέχουσα MMIC τεχνολογία που είναι σχεδιασμένη για LNA (Low Noise Amplifier - Ενισχυτής Χαμηλού Θορύβου) ή για εφαρμογές μέσης ισχύος. Η ισχύς ποικίλει από 10dBm μέχρι το πολύ τα 20dBm.

IF διεπαφή

Η διεπαφή IF ανάμεσα στις εσωτερικές και εξωτερικές συσκευές των χρηστών που χρησιμοποιούνται, βασίζεται στην L ζώνη κάτω ζεύξης (1 – 2 GHz), συμβατή με D.T.H. (Direct to Home) δορυφορικό εξοπλισμό για οικιακή χρήση. Η άνω ζεύξη IF ζώνης δεν έχει προφανή επιλογή. Υπάρχουν πλεονεκτήματα σε μια ανοιχτή IF διαμόρφωση η οποία θα επιτρέπει την ανάμιξη και το ταίριασμα εσωτερικών και εξωτερικών μονάδων του εξοπλισμού του χρήστη από διαφορετικούς κατασκευαστές οπότε και η τιμή τους να μειώνεται.
Μια ανασκόπηση των υποψήφιων συχνοτήτων IF διεπαφής, υποθέτοντας ένα πρωτόκολλο αμφίδρομης συχνότητας μέσω μονού ομοαξονικού καλωδίου IF, δεν αποκαλύπτει συγκεκριμένα τεχνικά θέματα για την προτίμηση ή μη συγκεκριμένης ζώνης IF. Οι αρχές ελαχιστοποίησης του υλικού των εξωτερικών συσκευών διατηρώντας την συμβατότητα με τον δορυφορικό εξοπλισμό μόνο για λήψη και με μικρού κόστους δίκτυο εσωτερικής διανομής, μπορεί να προτιμήσουν την ζώνη κάτω ζεύξης στα 1- 2 GHz και την ζώνη άνω ζεύξης στα 400 – 700MHz. Αυτό θα ήταν επίσης συμβατό με τα πρότυπα DAVIC και DVB για L.M.D.S. [4]

7. ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ (Medium Access Control – M.A.C.)

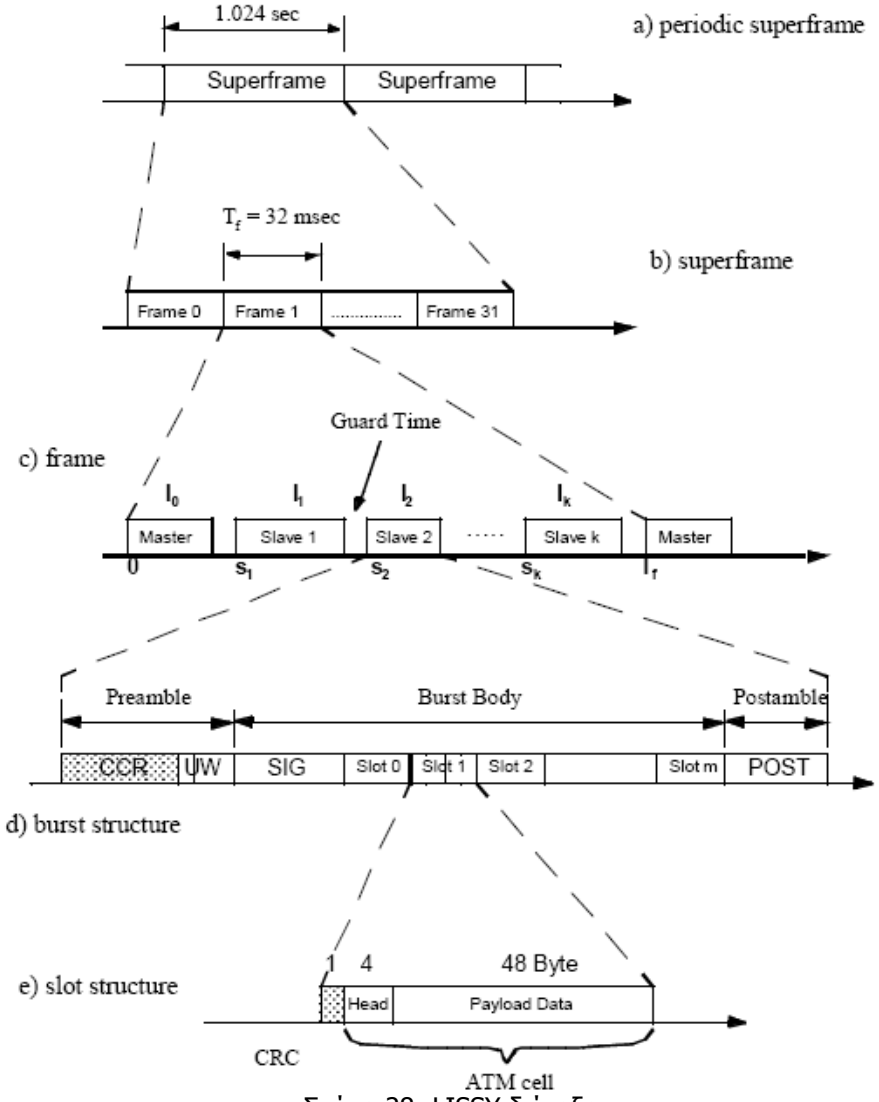
7.1 LISSY (LAN Interconnection Satellite Systems – Δορυφορικά συστήματα διασύνδεσης δικτύων LAN)

Αρχικά το πρωτόκολλο LISSY είχε σχεδιαστεί για σύστημα T.D.D. (Time Division Duplex). Το πρωτόκολλο θεωρεί ένα σταθερό μήκος πλαισίου των 8ms για συστήματα L.M.D.S. Το πλαίσιο είναι διαχωρισμένο ανάμεσα στην εκπομπή του σταθμού βάσης και σε αυτήν ενός σταθμού χρήστη (slave station). Κάθε εκπομπή διαχωρίζεται από έναν χρόνο επιφυλακής των 10μs. Κάθε εκπομπή χρήστη απαρτίζεται από την εισαγωγή, το κύριο μέρος και την κατάληξη. Το κύριο μέρος αποτελείται από το μέρος της σήμανσης (10bytes για τον χρήστη και (8bytes + αριθμός των ενεργών χρηστών) για τον σταθμό βάσης) και τις θυρίδες δεδομένων. Οι θυρίδες δεδομένων ονομάζονται S-ATM κύτταρα επειδή είναι μια τροποποίηση του προτύπου των κυττάρων ATM (κύτταρα των 51bytes). Το σχήμα 28 δείχνει τη δομή του πλαισίου του πρωτοκόλλου LISSY. Λόγω των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων, προτείνουμε να υπάρχει μια περίοδος ανταγωνισμού στη δομή του πλαισίου που να επιτρέπει στους χρήστες που ήταν σε αχρησιμοποίητη περίοδο να ζητήσουν εύρος ζώνης.
Το πρωτόκολλο LISSY μπορεί να χρησιμοποιηθεί εύκολα σε μορφή F.D.D. (Frequency Division Duplex) με συχνότητα κάτω ζεύξης για τον σταθμό βάσης και συχνότητα άνω ζεύξης για τους χρήστες.

7.1.1 Είσοδος στο δίκτυο

Όταν ένα τερματικό χρήστη ενεργοποιηθεί, πρέπει να διαλέξει αμέσως μια από τις διαθέσιμες μικρές θυρίδες της περιόδου ανταγωνισμού. Τις ονομάζουμε μικρές γιατί στην πρώτη πρόσβαση οι σταθμοί των χρηστών μπορούν να στείλουν το μέρος σηματοδοσίας του πλαισίου (SIG part - τον αριθμό των θυρίδων που απαιτούνται και την κατηγορία των υπηρεσιών). Ένα πλεονέκτημα της χρήσης των μικρών θυρίδων για δέσμευση εύρους ζώνης, είναι αν ένα πακέτο συγκρουστεί, να μην υπάρχει απώλεια εύρους ζώνης. Η μέθοδος ανταγωνισμού θεωρείται σαν το σύστημα εγκοπών ALOHA. Η διάρκεια της πρώτης πρόσβασης είναι 0,6ms στο αυθεντικό πρωτόκολλο LISSY. Αν θεωρήσουμε τον ρυθμό δεδομένων στην άνω ζεύξη (20Mb/s) και το μήκος του υπερπλαισίου για τα συστήματα L.M.D.S., θα μπορούσαμε να έχουμε μικρότερο χρόνο πρώτης πρόσβασης (0,2ms). Με περίοδο ανταγωνισμού 0,2ms και ρυθμό δεδομένων 20Mb/s, μπορούμε να έχουμε μέχρι 50 χρήστες που μπορούν να έχουν πρόσβαση στο δίκτυο κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου. Μια άλλη πρόταση είναι να καθοριστεί η περίοδος ανταγωνισμού σε κάθε πλαίσιο και όχι μόνο σε αυτό του

τέλους του υπερπλαισίου. Πράγματι με αυτόν τον καθορισμό, ο χρήστης δεν πρέπει να περιμένει το τέλος κάθε υπερπλαισίου.



Σχήμα 28: LISSY διάταξη

Αμέσως μετά από αυτήν την περίοδο ανταγωνισμού, ο σταθμός βάσης θα στείλει στο επόμενο πλαίσιο το σχέδιο της κατανομής για τους χρήστες. Οι επιτυχημένοι χρήστες της περιόδου ανταγωνισμού, θα μεταδίδουν μέχρι το τέλος της εκπομπής, S-ATM πακέτα, χωρίς καμία σύγκρουση στον αριθμό των θυρίδων που έχουν εκχωρηθεί δυναμικά από τον σταθμό βάσης. Τα πακέτα που θα μεταδοθούν στην περίοδο ανταγωνισμού είναι πακέτα σηματοδοσίας του πλαισίου που ζητούν περισσότερο εύρος ζώνης (μικρές θυρίδες). Οι χρήστες που δεν ήταν επιτυχημένοι στην περίοδο ανταγωνισμού δεν θα λάβουν τον προσδιορισμό τους και θα ξαναμεταδόσουν την επόμενη περίοδο ανταγωνισμού τυχαία. Για υπηρεσίες πραγματικού χρόνου, μπορούμε να καθορίσουμε μέγιστες επαναμεταδόσεις για καλή ποιότητα υπηρεσιών.

7.1.2 Δυναμική κατανομή θυρίδων

Στην αρχή κάθε πλαισίου, ο σταθμός βάσης στέλνει το σχέδιο κατανομής για τους χρήστες. Οι χρήστες στέλνουν επίσης τον αριθμό των ζητούμενων θυρίδων στην αρχή κάθε εκπομπής τους στο τμήμα σηματοδοσίας του πλαισίου.
Για κίνηση με σταθερό ρυθμό δεδομένων (Constant Bit Rate - C.B.R.) ή ευμετάβλητης κίνησης δεδομένων με χρονική σχέση (Variable Bit Rate Real Time - VBR-rt), ο χρήστης κάνει το αίτημα μόνο στην πρώτη του πρόσβαση στο δίκτυο. Αν υπάρχει αρκετό εύρος ζώνης, ο σταθμός βάσης δέχεται την σύνδεση αλλιώς την απορρίπτει. Για αυτές τις υπηρεσίες, ο χρήστης έχει πάντα τον ίδιο αριθμό θυρίδων στη ριπή του.
Για κινήσεις ευμετάβλητης κίνησης δεδομένων χωρίς χρονική σχέση (Variable Bit Rate Non Real Time VBR-nrt) ή διαθέσιμης κίνησης δεδομένων (Available Bit Rate – ABR), ο σταθμός βάσης θα προσδιορίσει δυναμικά τον αριθμό των θυρίδων για κάθε χρήστη. Στην αρχή κάθε εκπομπής οι χρήστες υπηρεσιών VBR-nrt ή ABR στέλνουν μια αίτηση για να κάνουν εκτίμηση της κίνησης. Η αίτηση είναι R = B + h*t, όπου B είναι ο αριθμός των κυττάρων που περιμένει να μεταδοθεί, t είναι ο αριθμός των πακέτων που φθάνει κατά την διάρκεια του τελευταίου πλαισίου και h είναι η προσωρινή σταθερά η οποία θα μπορούσε να είναι 1 για τα συστήματα L.M.D.S. ακολούθως κάθε χρήστης στέλνει αίτηση στον σταθμό βάσης. Όλα τα αιτήματα τοποθετούνται σε κυκλική ουρά. Όταν ο σταθμός βάσης φτιάξει το σχέδιο κατανομής (στην αρχή κάθε πλαισίου), εξετάζει κυκλικά την ουρά για τον προσδιορισμό του εύρους ζώνης, πακέτο ανά πακέτο μέχρι τα αιτήματα να ικανοποιηθούν ή το διαθέσιμο εύρος ζώνης να κατανεμηθεί.
Όταν ένας χρήστης δεν έχει άλλα δεδομένα να μεταδώσει αλλά είναι συνδεδεμένος, το αίτημα του είναι 0. Όταν ο χρήστης στέλνει το αίτημά του, ο σταθμός βάσης αφαιρεί τις θυρίδες από τον χρήστη (έχει φανεί σε προσομοιώσεις όπου ο χρήστης δεν μπορεί να κρατήσει μια θυρίδα όταν δεν έχει τίποτα να μεταδώσει). Στο πρωτόκολλο LISSY, αυτό γίνεται από τις θυρίδες ελέγχου που τυχαία στέλνονται στους χρήστες που δεν έχουν κάτι να μεταδώσουν. Θεωρούμε ότι θα μπορούσε να είναι μεγάλο αν είχαμε 50 ή περισσότερους χρήστες, οι οποίοι δεν είναι σε κατάσταση εκπομπής. Γι’ αυτό προτείνουμε να έχουμε μια μικρή περίοδο ανταγωνισμού στο πλαίσιο για να σταλθεί το αίτημα μετά από μια αχρησιμοποίητη περίοδο. Οπότε για να στείλουν μια νέα αίτηση μετά από μια αχρησιμοποίητη περίοδο, ο χρήστης θα πρέπει να στείλει ένα αίτημα κατά την περίοδο ανταγωνισμού.
Η διαδικασία είναι η ίδια όπως η πρώτη πρόσβαση στο δίκτυο. Οπότε, με το LISSY δεν έχουμε περίοδο ανταγωνισμού που να αφορά τις θυρίδες S-ATM. Έχουμε μόνο μια περίοδο ανταγωνισμού για χρήστες που είναι ανενεργοί. Αν οι χρήστες δεν είναι σε κατάσταση εκπομπής αλλά έχουν μια ελάχιστη κίνηση (τουλάχιστον ένα πακέτο S-ATM), θα ζητήσουν το εύρος ζώνης τους κατά την διάρκεια της σύντομης εκπομπής αλλά όχι την περίοδο ανταγωνισμού. [1]

7.2 C-TDMA (Contention – TDMA)

Το φυσικό επίπεδο του πρωτοκόλλου C-TDMA βασίζεται σε δομή DECT. Έχουμε 22 RF φέρουσες. Σε κάθε φέρον, το μήκος του πλαισίου είναι 10ms με ωφέλιμο ρυθμό δεδομένων 921kb/s. Κάθε πλαίσιο περιέχει 12 DECT διπλές θυρίδες (2 ATM πακέτα). Οπότε ο σταθμός βάσης θα πρέπει να φροντίζει 22 * 12 = 264 διπλές θυρίδες. Για κάθε θυρίδα, ο σταθμός βάσης μετρά τον δείκτη επιπέδου λαμβανόμενης ισχύος (Received Signal Strength Indicator – RSSI) σύμφωνα με την διαδικασία DECT και καθορίζει αν η διπλή θυρίδα είναι αχρησιμοποίητη ή απασχολημένη.
Ο σταθμός βάσης μπορεί επίσης να κατασκευάσει μια λίστα καναλιών, η οποία θα υποδεικνύει τις αχρησιμοποίητες θυρίδες στο τελευταίο πλαίσιο. Ο σταθμός βάσης θα μεταδίδει την λίστα των καναλιών στους χρήστες στην αρχή κάθε πλαισίου.

7.2.1 Είσοδος στο δίκτυο

Τα πακέτα αρχικά μεταδίδονται στις πρώτες αχρησιμοποίητες θυρίδες προσπαθώντας να φθάσουν τον καταλληλότερο αριθμό των θυρίδων ανά πλαίσιο που να ανταποκρίνεται στην κίνηση. Τα πακέτα που μεταδίδονται χωρίς συγκρούσεις σε αυτές τις θυρίδες, επιτρέπουν στον χρήστη να τις διατηρήσει. Αυτές οι θυρίδες γίνονται απασχολημένες και μετά αφαιρούνται από την λίστα των καναλιών.
Τα πακέτα που έχουν συγκρούσεις επαναμεταδίδονται στις αχρησιμοποίητες θυρίδες με την πιθανότητα να τους επιτραπεί η μετάδοση p σε αυτό το πλαίσιο. Η επιλογή των καινούργιων αχρησιμοποίητων θυρίδων μπορεί να γίνει με την επιλογή FSE (οι πρώτες αχρησιμοποίητες θυρίδες της λίστας καναλιών), την CSE (τυχαίος αριθμός που χρησιμοποιείται για κάθε θυρίδα. Αν ο αριθμός είναι μεγαλύτερος από 0.5 μπορούμε να μεταδώσουμε σε αυτήν την θυρίδα) και η USE (ομοιόμορφη επιλογή των αχρησιμοποίητων θυρίδων στην λίστα των καναλιών).

7.2.2 Κατανομή θυρίδων

Αν κατά την διάρκεια της εισόδου στο δίκτυο, ο χρήστης φθάνει στον βέλτιστο αριθμό των δεσμευμένων θυρίδων για τις υπηρεσίες του, θα συνεχίσει να μεταδίδει σε αυτές τις θυρίδες μέχρι το τέλος του μηνύματος. Όταν ο χρήστης δεν έχει άλλα πακέτα να μεταδώσει, αυτές οι δεσμευμένες θυρίδες θα γίνουν αχρησιμοποίητες θυρίδες και θα προστεθούν στην λίστα των καναλιών. Η αλλαγή ανάμεσα στις δεσμευμένες και αχρησιμοποίητες θυρίδες θα επιτρέπει την δυναμική κατανομή θυρίδων ανάμεσα στους χρήστες με εκρηκτική κίνηση. Οι αχρησιμοποίητες θυρίδες αντιστοιχίζονται σε 2 ATM πακέτα.
Αν κατά την διάρκεια της εισόδου στο δίκτυο, ο χρήστης δεν έχει φθάσει στον βέλτιστο αριθμό δεσμευμένων θυρίδων, μεταδίδει στις δεσμευμένες θυρίδες και

στις αχρησιμοποίητες θυρίδες. Οι αχρησιμοποίητες θυρίδες επιλέγονται χάρη στα κριτήρια που περιγράφονται κατά την είσοδο στο δίκτυο (FSE, CSE, USE). Αν γίνει σύγκρουση σε αχρησιμοποίητη θυρίδα, ο χρήστης επαναμεταδίδει στις επιλεγμένες αχρησιμοποίητες θυρίδες με πιθανότητα να τους επιτραπεί η μετάδοση p. [1]

7.3 DAVIC (Digital Audio Video Council)

Το πρωτόκολλο DAVIC είναι σχεδιασμένο για συστήματα FDD. Το πλαίσιο είναι σταθερό για 5,819ms για κάτω και άνω ζεύξη. Για την άνω ζεύξη, το πλαίσιο περιέχει 24 θυρίδες για ρυθμό ATM 1,749Mb/s για κάθε φέρον. Η δομή πλαισίου είναι διαφορετική για ATM και MPEG-2 πακέτα στην κάτω ζεύξη. Στην περίπτωση της ροής μεταφοράς MPEG-2, η χρονοθυρίδα της ροής προς τα κάτω περιέχει ένα πακέτο MPEG-2 και στην περίπτωση της ροής μεταφοράς ATM, η χρονοθυρίδα κάτω ζεύξης είναι ένα ATM πακέτο. Η χρονοθυρίδα άνω ζεύξης περιέχει πάντα ένα ATM πακέτο. Παρακάτω φαίνεται η δομή χρονοθυρίδας άνω ζεύξης.

4 bytes εισαγωγή	1 πακέτο ATM	10 bytes RS ψηφίου ισότητας	Επιφυλακή=1byte

Η κάτω ζεύξη είναι σε διαμόρφωση TDM και μεταδίδει θυρίδες έναρξης πλαισίου και τυχαίες θυρίδες. Η θυρίδα έναρξης πλαισίου χρησιμοποιείται για τον συγχρονισμό της άνω ζεύξης. Η άνω ζεύξη είναι TDMA. Μπορεί να μεταδώσει θυρίδες σταθμοσκόπησης, θυρίδες ανταγωνισμού και δεσμευμένες θυρίδες.

7.3.1 Είσοδος στο δίκτυο και σταθμοσκόπηση (polling)

Για την είσοδο στο δίκτυο, ο χρήστης θα πρέπει να σταθμοσκοπείται από τον σταθμό βάσης. Οπότε ο χρήστης αποκτά μια συχνότητα κάτω ζεύξης και ακούει στην σταθμοσκόπηση που απευθύνεται σε αυτήν. Ο χρήστης απαντά στην θυρίδα σταθμοσκόπησης που δηλώνεται από τον σταθμό βάσης και δίνει περισσότερες πληροφορίες που αφορούν την ισχύ πομπού και την απόκλιση του τοπικού ταλαντωτή. Μετά από αυτές τις ανταλλαγές βαθμονόμησης, ο χρήστης στέλνει αίτημα έναρξης MAC πρωτοκόλλου (mac_session_request) για να επιτραπεί μια σύνδεση ATM. Η πληροφορία βαθμονόμησης που δίνει ο χρήστης κατά την διαδικασία εισόδου στο δίκτυο θα πρέπει να ενημερώνεται κατά την διάρκεια της σύνδεσης. Ο χρήστης σταθμοσκοπείται με μια παύση μικρότερη ή ίση των 2s. Η σταθμοσκόπηση πραγματοποιείται πάντα από τον σταθμό βάσης σε καθορισμένη χρονοθυρίδα (FS P). Η απάντηση του χρήστη πάντα περιέχει την δήλωση της κατάστασης σε μια χρονοθυρίδα σταθμοσκόπησης (P). Ο σταθμός βάσης μεταδίδει ενημερωμένη βαθμονόμηση στην αρχή του επόμενου πλαισίου.

7.3.2 Κατανομή θυρίδων.

Η κατανομή χρονοθυρίδων άνω ζεύξης περιγράφει πως οι δεσμευμένες, ανταγωνισμού & σταθμοσκόπησης χρονοθυρίδες κατανέμονται και αποδιανέμονται.
Οι χρονοθυρίδες σταθμοσκόπησης και ανταγωνισμού ποτέ δεν απαιτούνται από τον χρήστη. Αυτές οι χρονοθυρίδες μπορούν να μοιράζονται από πολλούς χρήστες. Ο σταθμός βάσης δηλώνει στον χρήστη ποιες χρονοθυρίδες ανταγωνισμού μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Αυτές οι χρονοθυρίδες μπορεί να αλλάξουν κατά την διάρκεια την σύνδεσης και ένα μήνυμα ενημέρωσης στέλνεται στον χρήστη. Η διαδικασία επαναμετάδοσης είναι μια διαδικασία με εισαγωγή καθυστέρησης μεταξύ διαδοχικών εκπομπών. Οι χρονοθυρίδες σταθμοσκόπησης μπορούν να μοιράζονται από πολλούς χρήστες αλλά μπορούν να χρησιμοποιούνται μόνο για απάντηση σταθμοσκόπησης μετά από την λήψη αιτήματος σταθμοσκόπησης από τον σταθμό βάσης. Οπότε δεν υπάρχει ανταγωνισμός. Οι θυρίδες ανταγωνισμού μπορούν να μεταφέρουν αιτήσεις εύρους ζώνης όπως και πακέτα ATM. Αυτές οι χρονοθυρίδες δεν αφιερώνονται σε νέο αίτημα εύρους ζώνης μετά από μια ανενεργή περίοδο όπως στο πρωτόκολλο LISSY.
Οι δεσμευμένες χρονοθυρίδες μπορούν να απαιτηθούν από τον χρήστη. Πράγματι, αν ο χρήστης ανιχνεύσει εκρηκτική κίνηση, μπορεί να απαιτήσει περισσότερο εύρος ζώνης. Ο χρήστης στέλνει μια αίτηση δέσμευσης σε μια χρονοθυρίδα ανταγωνισμού. Ο σταθμός βάσης δίνει έναν νέο αριθμό από δεσμευμένες θυρίδες που είναι κατανεμημένες στον χρήστη με το μήνυμα κατανομής δεσμευμένης θυρίδας.
Το πρωτόκολλο DAVIC περιγράφει όλες τις ανταλλαγές ανάμεσα στον χρήστη και τον σταθμό βάσης και προτείνει να υπάρχει μια διαδικασία δυναμικής κατανομής θυρίδας. [1]

7.4 Σύγκριση παραμέτρων των πρωτοκόλλων

Ο παρακάτω πίνακας 8 αποτελεί μια περίληψη των χαρακτηριστικών διαφορετικών πρωτοκόλλων με μερικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η σχετική πολυπλοκότητα του αλγορίθμου και η επιβάρυνση για έλεγχο είναι υποκειμενικές αιτίες. Όλα τα άλλα χαρακτηριστικά απορρέουν από τους ορισμούς των πρωτοκόλλων.

	LISSY	**C-TDMA**	**DAVIC**
Τύπος φυσικού επιπέδου	Πρώτα TDD, FDD προτείνονται	FDD προτείνεται	FDD
Τύπος πλαισίου	Σταθερό	Σταθερό	Σταθερό
Μέγεθος πλαισίου άνω ζεύξης	8 ms	10 ms	5,819 ms
Πρώτη πρόσβαση δικτύου	Σύστημα εγκοπών Aloha	Καθορισμένη επιλογή θυρίδων	Σταθμοσκόπηση
Μέγεθος θυρίδας για την πρώτη πρόσβαση	Κλάσμα ATM πακέτου	2 ATM πακέτα	1 ATM πακέτο
Τύπος χρησιμοποιημένων θυρίδων	Δεσμευμένες θυρίδες ανταγωνισμού για πακέτα S-ATM	Αχρησιμοποίητων, δεσμευμένων	Σταθμοσκόπησης, ανταγωνισμού, δεσμευμένες
Μέγεθος θυρίδων (εκτός από την περίοδο ανταγωνισμού)	S-ATM πακέτο (51 bytes)	2 ATM πακέτα	1 ATM πακέτο
Σχετική πολυπλοκότητα αλγορίθμου	Χαμηλή	Μέτρια	Μέτρια
Ανάλυση εξασθένησης καναλιού	Όχι	Όχι	Όχι
Έλεγχος	Μέτριος	Μέτριος	Υψηλός (MAC μηνύματα)
Διαφορά ανάμεσα στις υπηρεσίες CBR και ABR	Ναι	Όχι για C-TDMA, Ναι για CC-TDMA	Όχι

Πίνακας 8

Η κύρια και σημαντική συμβολή του πρωτοκόλλου LISSY είναι η δυναμική κατανομή θυρίδων για VBR-nrt και ABR υπηρεσίες και η διάκριση ανάμεσα στις υπηρεσίες CBR και VBR. Ο αλγόριθμος για την δυναμική κατανομή είναι απλός. Στο LISSY τα πακέτα S-ATM δεν είναι ποτέ σε περίοδο ανταγωνισμού. Δεν υπάρχει ρίσκο σύγκρουσης για αυτά τα πακέτα. Όσον αφορά την πρώτη πρόσβαση στο δίκτυο, χρησιμοποιούμε την περίοδο ανταγωνισμού. Ένα πλεονέκτημα είναι η πιθανότητα χρήσης μικρών θυρίδων σε αυτή την περίοδο ανταγωνισμού. Μετά από μια αχρησιμοποίητη περίοδο, οι χρήστες θα ζητήσουν ένα νέο εύρος ζώνης στην περίοδο ανταγωνισμού. Εντούτοις, όταν οι χρήστες είναι ενεργοί, το αίτημα στέλνεται σε ριπή και λόγω διαταραχών του καναλιού, μπορεί να χάσουμε μερικά αιτήματα. Κάποιες διαδικασίες αυτόματης αίτησης επανάληψης (Automatic Repeat Request – ARQ) ίσως χρειάζονται.
Η κύρια σημαντική συμβολή του πρωτοκόλλου C-TDMA είναι η χρήση των θυρίδων ανταγωνισμού και των δεσμευμένων, κατά την διάρκεια όλων των μεταδόσεων για καλή αποδοτικότητα εύρους ζώνης. Η αλλαγή ανάμεσα στις αχρησιμοποίητες και δεσμευμένες θυρίδες μπορεί να θεωρείται σαν δυναμική κατανομή. Εντούτοις, ο αλγόριθμος είναι λίγο πιο πολύπλοκος και ο ανταγωνισμός τώρα επηρεάζει 2 ATM πακέτα όπως και τα αιτήματα. Το πρωτόκολλο δεν χρησιμοποιεί μικρές θυρίδες και το μέγεθος των θυρίδων ανταποκρίνεται σε 2 ATM πακέτα. Το πρωτόκολλο δεν κάνει διακρίσεις ανάμεσα στις υπηρεσίες CBR και VBR στην πρώτη έκδοση αλλά αυτό περιλαμβάνεται στις επόμενες εκδόσεις.
Η κύρια συμβολή του πρωτοκόλλου DAVIC είναι η πλήρης περιγραφή όλων των μηνυμάτων MAC που ανταλλάσσονται ανάμεσα στους χρήστες και τον σταθμό βάσης. Αυτό το πρωτόκολλο περιγράφει τις διαδικασίες βαθμονόμησης όπως επίσης και την είσοδο στο δίκτυο με τις θυρίδες ανταγωνισμού. Η χρήση των θυρίδων ανταγωνισμού κάνει όλες τις αιτήσεις να επιτρέπουν κάποιες διαδικασίες επαναμετάδοσης και οι αιτήσεις δεν μπορούν ποτέ να χαθούν λόγω των διαταραχών των καναλιών. Το μέγεθος της θυρίδας για την πρώτη πρόσβαση είναι ένα πακέτο ATM. Το πρωτόκολλο δεν χρησιμοποιεί μικρές θυρίδες.

7.5 Αποτελέσματα προσομοίωσης

7.5.1 Χαρακτηριστικά κίνησης και καναλιού

Για την δίκαιη σύγκριση των πρωτοκόλλων, χρησιμοποιούνται τα ίδια χαρακτηριστικά κίνησης όπως στον παρακάτω πίνακα 9 :

Εφαρμογή (ενεργοί χρήστες)	Μέσος ρυθμός δεδομένων (kbit/s)	Υψηλός ρυθμός δεδομένων (kbit/s)	Περίοδος αδράνειας (s)	Περίοδος κίνησης (s)
Αλληλεπιδραστική κινούμενη εικόνα (2%)	2000	2000	0	άπειρο
Δεδομένα (5%)	32	1000	100	3,31
Αλληλεπιδραστικά παιχνίδια (3%)	32	1000	0,5	0,017
Δεδομένα πολυμέσων (30%)	32	384	120	10,91
Περιήγηση διαδικτύου (60%)	64	1000	30	2,05

Πίνακας 9

Ο χρήσιμος ρυθμός δεδομένων για όλες τις προσομοιώσεις είναι 20,3Mb/s. Σε αυτήν την περίπτωση δεν προσομοιώνουμε σε όλα τα κανάλια. Οπότε για το πρωτόκολλο C-TDMA, τα 22 φέροντα προσομοιώθηκαν μόνο σε ένα φέρον. Σε αυτό το φέρον θεωρούμε ότι ο συνολικός αριθμός των διαθέσιμων θυρίδων είναι 22*12 διπλές θυρίδες (264 διπλές θυρίδες). Για τα πρωτόκολλα LISSY και DAVIC χρησιμοποιείται η ίδια διαδικασία. Θεωρούμε ότι στο ίδιο φέρον όλες οι διαθέσιμες θυρίδες ανταποκρίνονται στα 20,3Mb/s.
Για όλες τις προσομοιώσεις δεν λαμβάνουμε υπόψη μας τις διαταραχές των καναλιών.

7.5.2 Υπόθεση προσομοίωσης

Όσον αφορά το πρωτόκολλο LISSY, ο καθορισμός των κατηγοριών, ο μηχανισμός αίτησης εύρους ζώνης για τις διαφορετικές κατηγορίες, η κατανομή του εύρους ζώνης, το υπερπλαίσιο, το πλαίσιο, το κύριο τμήμα της εκπομπής και η δομή του πακέτου S-ATM προσομοιώνονται.
Εντούτοις, στο τμήμα της εκπομπής, τα πεδία CCR, UW και POST δεν λαμβάνονται υπόψη. Όσον αφορά την πρώτη πρόσβαση στο δίκτυο, το πρωτόκολλο LISSY μαζί με την περίοδο ανταγωνισμού προσομοιώνονται. Εντούτοις, για προσομοιώσεις που χρησιμοποιούν την περίοδο ανταγωνισμού, οι χρήστες δεν ανταγωνίζονται. Έχουν διαφορετικό χρόνο ξεκινήματος και δεν ανταγωνίζονται σε αυτή την περίοδο. Στις προσομοιώσεις, όταν ο χρήστης δεν έχει κάτι για να μεταδώσει έχει μόνο μια θυρίδα για να διατηρήσει την σύνδεση και να στείλει το νέο αίτημα όταν θα θελήσει να μεταδώσει ξανά.

7.5.3 Χρόνος προσομοίωσης

Όσον αφορά τις C-TDMA προσομοιώσεις, η προσομοίωση διαρκεί 3600 s. για τα πρωτόκολλα LISSY και DAVIC, η διάρκεια της προσομοίωσης είναι 1000s. για 50 και 100 χρήστες στο δίκτυο και 600s. για 150 χρήστες. Αυτό συμβαίνει λόγω της διάρκειας της προσομοίωσης που είναι πολύ μεγάλη για φορτωμένο δίκτυο.

7.5.4 Σύγκριση καθυστέρησης από άκρη σε άκρη

Όσον αφορά το πρωτόκολλο LISSY, διαφορετικές προσομοιώσεις έχουν γίνει με διαφορετικά μήκη πλαισίου και διαφορετική διάρκεια ανταγωνισμού.
Δίνονται εδώ αποτελέσματα με 8ms που έχουν τις καλύτερες τιμές. Στα παρακάτω αποτελέσματα, ο αριθμός των πλαισίων στο υπερπλαίσιο είναι 32, η περίοδος ανταγωνισμού είναι 0,2ms και η καθυστέρηση ανάμεσα στην υποδοχή του κατανεμημένου πλάνου εύρους ζώνης και της επίδρασης αυτής της κατανομής είναι ένα πλαίσιο (8ms). Διαφορετικές προσομοιώσεις έχουν γίνει με μεταδόσεις διαφορετικών χρόνων έναρξης για τους χρήστες. Κάποιες προσομοιώσεις έχουν γίνει με χρήστες που ξεκινούν να μεταδίδουν κάθε 1,01s και κάποιες προσομοιώσεις έχουν γίνει με χρήστες που ξεκινούν την μετάδοση κάθε 250ms (4 κλήσεις / sec). Παρακάτω δίνουμε τα αποτελέσματα για την δεύτερη περίπτωση που είναι και η χειρότερη. Για να αποφύγουμε το πρόβλημα στην είσοδο του δικτύου, δίνουμε και τα αποτελέσματα μετά από T. Όσον αφορά το πρωτόκολλο C-TDMA δίνουμε τα αποτελέσματα για επιλογή διαφορετικών θυρίδων που έχουμε αναφέρει (FSE, CSE, USE).
Όσο για το πρωτόκολλο DAVIC, κάνουμε κάποιες προσομοιώσεις για στατική κατανομή θυρίδων. Τα αποτελέσματα είναι πολύ φτωχά. Όσο για την κίνηση L.M.D.S. φαίνεται υποχρεωτικό να έχουμε δυναμική κατανομή και δίνουμε εδώ τα αποτελέσματα.

7.5.5 Αποτελέσματα με 50 χρήστες

Όλοι οι χρήστες έχουν μπει στο δίκτυο μετά από 12,5s, οπότε για τον παρακάτω πίνακα επιλέγουμε T=25,6s. Σημειώνουμε ότι για δίκτυο με 50 χρήστες, τα αποτελέσματα είναι τα ίδια με χρήστες που ξεκινούν να μεταδίδουν κάθε δευτερόλεπτο. Με 50 χρήστες ο πρώτος συνωστισμός δεν είναι πρόβλημα.

	C-TDMA (FSE)	**C-TDMA (CSE)**	**C-TDMA (USE)**	**LISSY (8ms) διάρκεια προσομοίωσης**	**LISSY (8ms) t>T**	**DAVIC διάρκεια προσομοίωσης**
DC (5s)	0,00917	0,006246	0,00634	0,006243	0,005740	0,006450
MDC (0,1s)	0,017244	0,014386	0,011084	0,006715	0,006435	0,007553
IGP (0,05s)	0,009725	0,008833	0,007768	0,012404	0,012362	0,015111
IB (5s)	0,008374	0,007874	0,006924	0,006345	0,005791	0,006248

Πίνακας 10

Από αυτά τα αποτελέσματα του πίνακα 10, μπορούμε να βγάλουμε το συμπέρασμα ότι η καθυστέρηση είναι πολύ καλή για όλα τα πρωτόκολλα (Το απαραίτητο κατώφλι για καλή ποιότητα υπηρεσιών είναι υψηλότερο από την μέση καθυστέρηση των παραπάνω). Παρ' όλα αυτά κάποιες διαφορές εμφανίζονται. Το πρωτόκολλο LISSY είναι καλύτερο για συμβουλευτικές υπηρεσίες με χρήση πολυμέσων (Multimedia Data Consulting) απ΄ ότι το πρωτόκολλο C-TDMA. Το C-TDMA πρωτόκολλο είναι καλύτερο για αλληλεπιδραστικά παιχνίδια (Interactive Game Playing) απ' ότι το LISSY. Οπότε η διαφορετική συμπεριφορά των πρωτοκόλλων δεν είναι ίδια για τις διαφορετικές υπηρεσίες.

7.5.6 Αποτελέσματα με 100 χρήστες

Ο παρακάτω πίνακας 11 δείχνει τα αποτελέσματα με 100 χρήστες. Όπως και με τους 50 χρήστες, βλέπουμε διαφορές με τις διαφορετικές υπηρεσίες.

	C-TDMA (FSE)	**C-TDMA (CSE)**	**C-TDMA (USE)**	**LISSY (8ms) διάρκεια προσομοίωσης**	**LISSY (8ms) t>T**
DC (5s)	0,008561	0,007502	0,007502	0,020282	0,011967
MDC (0,1s)	0,025929	0,020999	0,012367	0,015195	0,006479
IGP (0,05s)	0,013232	0,011359	0,009174	0,013000	0,013210
IB (5s)	0,010381	0,009469	0,007841	0,051295	0,025837

Πίνακας 11

Το πρωτόκολλο LISSY είναι πολύ καλύτερο για συμβουλευτικές υπηρεσίες με χρήση πολυμέσων απ' ότι το C-TDMA αλλά χειρότερο για υπηρεσία περιήγησης διαδικτύου. Εντούτοις, όλα τα πρωτόκολλα δίνουν καλά αποτελέσματα όσον αφορά το απαιτούμενο κατώφλι για καλή ποιότητα υπηρεσιών.

7.5.7 Αποτελέσματα με 150 χρήστες

Ο παρακάτω πίνακας 12 δείχνει τα αποτελέσματα με 150 χρήστες για το πρωτόκολλο C-TDMA.

	C-TDMA (FSE)	**C-TDMA (CSE)**	**C-TDMA (USE)**
DC (5s)	0,016114	0,009396	0,00848
MDC (0,1s)	0,038371	0,028411	0,017464
IGP (0,05s)	0,02293	0,0177713	0,015409
IB (5s)	0,01653	0,013959	0,012519

Πίνακας 12

Όσον αφορά το πρωτόκολλο LISSY, έχουν γίνει προσομοιώσεις με 150 χρήστες, που ξεκινούν να μεταδίδουν κάθε 1 δευτερόλεπτο και κάθε 250ms και χρησιμοποιούν το πλαίσιο των 8ms. Χρησιμοποιήθηκε διαφορετική κατανομή χρηστών για την είσοδο τους στο δίκτυο αλλά τα αποτελέσματα ήταν φτωχά με μέση καθυστέρηση δικτύου αρκετά δευτερόλεπτα. Στο πρωτόκολλα C-TDMA όταν οι χρήστες δεν έχουν κάτι να μεταδώσουν οι θυρίδες τους είναι διαθέσιμες για άλλους χρήστες. Στο πρωτόκολλο LISSY, δεν κάναμε την προσομοίωση των θυρίδων ελέγχου για τους χρήστες που δεν έχουν τίποτα να μεταδώσουν. Στις προσομοιώσεις, όταν ο χρήστης δεν έχει κάτι να μεταδώσει διατηρεί μια θυρίδα! Βλέπουμε από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων ότι αυτά δεν είναι καλά ακόμα και με δυναμική κατανομή. Οπότε προτείνεται να υπάρξει μια μικρή περίοδος ανταγωνισμού στο πλαίσιο για να επιτρέπει στους χρήστες να στέλνουν ένα νέο αίτημα μετά από μια ανενεργή περίοδο. [1]

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ:

Σε αυτή την εργασία παρουσιάστηκε ένα πλήρες σύστημα L.M.D.S. τελευταίας γενιάς. Τα ποικίλα στοιχεία του δικτύου που απαρτίζουν το συνολικό σύστημα, έχουν αναγνωριστεί και οι περιορισμοί τους καθώς και οι σχέσεις τους με τα άλλα στοιχεία του δικτύου έχουν αναφερθεί. Από την άποψη του δικτύου, έχει προταθεί ένα μοντέλο που βασίζεται σε μια ιεραρχική δομή τεσσάρων επιπέδων και παρέχει ένα κατάλληλο πλαίσιο για συστηματικό σχεδιασμό συστήματος.
Η εργασία επικεντρώθηκε στα επίπεδα που αποτελούνται από το δίκτυο τροφοδότησης του σταθμού βάσης, το δίκτυο πρόσβασης του L.M.D.S. και τον εξοπλισμό πρόσβασης του χρήστη. Για το δίκτυο τροφοδότησης του σταθμού βάσης, οι προτεινόμενες τεχνολογίες υλοποίησης είναι είτε μικροκυματικές ζεύξεις σημείου προς σημείο είτε οπτική ίνα. Δυο κατάλληλες τοπολογίες δικτύου κορμού προτείνονται για υλοποίηση, μικροκυματικές ζεύξεις ή οπτική ίνα. Το δίκτυο πρόσβασης L.M.D.S. υλοποιείται χρησιμοποιώντας 40GHz ραδιοζεύξεις με κυτταρική προσέγγιση συνδυασμένη με μικροκυματικούς επαναλήπτες. Για τα μελλοντικά συστήματα L.M.D.S. η λύση της πλαστικής οπτικής ίνας προτείνεται γιατί μειώνει τα προβλήματα εγκατάστασης.
Σχεδιάζοντας ένα σύστημα πρόσβασης δικτύου L.M.D.S. η βασική μονάδα είναι το κύτταρο L.M.D.S. Μέσα στην εργασία καθορίστηκε η περιορισμένη γεωγραφική περιοχή σε σχήμα και μέγεθος (km^2) μέσα στην οποία οι ευρυζωνικές υπηρεσίες παρέχονται στους χρήστες. Η χωρητικότητα του κυττάρου τυπικά ποικίλει από 1000 – 4000 νοικοκυριά και αρκετές εκατοντάδες μικρομεσαίες επιχειρήσεις και το άθροισμα του ρυθμού μετάδοσης στην ζώνη των 40GHz είναι μεταξύ 1-10Gb/s. [1]
Όσο το σχήμα και το μέγεθος του κυττάρου L.M.D.S. είναι εξαρτώμενα από το συγκεκριμένο σενάριο υλοποίησης, οι σχετικές παράμετροι που περιγράφουν το δίκτυο πρόσβασης L.M.D.S. είναι η πυκνότητα των σταθμών βάσης και η μέγιστη εμβέλεια σύνδεσης στο κύτταρο. Η μέγιστη εμβέλεια σύνδεσης που προτείνεται είναι στις περισσότερες περιπτώσεις τα 2km στην ζώνη των 40GHz. Αυτό επιτρέπει στα κύτταρα με μέγιστη εσωτερική απόσταση τα 2 – 4km, η κάλυψη των χρηστών να κυμαίνεται στο 60 – 75% για τα περισσότερα σενάρια υλοποίησης. Για την μεγάλη ποικιλία των διαφορετικών περιπτώσεων υλοποίησης, θεωρούμε την μέγιστη εσωτερική απόσταση το πολύ 5km. Από την άποψη της χωρητικότητας, οι αγροτικές περιοχές με χαμηλή πυκνότητα χρηστών και χαμηλή κίνηση θα πρέπει να καλύπτονται χρησιμοποιώντας μεγάλα κύτταρα.
Για την παροχή συνεχούς ραδιοκάλυψης σε μια μεγάλη περιοχή, η συστηματική επαναχρησιμοποίηση συχνότητας θα πρέπει να παρέχεται. Αυτό είναι σημαντικό για τον έλεγχο των πιθανών ενδοκυτταρικών παρεμβολών ανάμεσα στις άνω και κάτω ζεύξεις σε διαφορετικά κύτταρα. Το υπόδειγμα της επαναχρησιμοποίησης συχνότητας χρησιμοποιώντας δυο συχνότητες και δυο πολώσεις παρέχει το ελάχιστο επίπεδο ισχύος φέροντος προς ισχύ παρεμβολής (CIR) των 12dB και 14dB στην άνω και κάτω ζεύξη αντιστοίχως. Συμπεριλαμβάνοντας τον έλεγχο

ισχύος στην άνω ζεύξη το ελάχιστο CIR άνω ζεύξης μπορεί να αυξηθεί στα 14dB. Ένα κατάλληλο πλάνο συχνότητας για την προτεινόμενη επαναχρησιμοποίηση, προτείνει κανάλι που να εκτείνεται στα 10MHz και στα 39MHz για τα κανάλια άνω και κάτω ζεύξης και μπορεί να υποστηρίξει μέχρι 48 κανάλια άνω ζεύξης και 88 κάτω ζεύξης. Για το πλάνο επαναχρησιμοποίησης συχνότητας ο αριθμός των καναλιών μειώνεται με παράγοντα 4 δίνοντας 12 κανάλια άνω ζεύξης και 22 κάτω ζεύξης ανά κύτταρο.
Τα κύρια στοιχεία που απαρτίζουν το δίκτυο πρόσβασης L.M.D.S. είναι ο σταθμός βάσης, οι μικροκυματικοί επαναλήπτες και ο εξοπλισμός των χρηστών. Ένα σημαντικό μέρος του εξοπλισμού είναι οι κεραίες. Στον σταθμό βάσης, η κεραία βάσης τοποθετείται 20-40m πάνω από το έδαφος ενώ η κεραία του χρήστη 2-3m πάνω από την ταράτσα. Προτείνονται καινούργιες κεραίες, σχεδιασμένες και για σταθμό βάσης και για τον χρήστη. Βασίζονται σε ανακλαστήρα δέσμης και παράγουν μεγαλύτερο κέρδος στα άκρα του κυττάρου και πιο ομοιόμορφη κάλυψη σε δεδομένο τομέα. Μια παν-κατευθυντική κάλυψη για τετραγωνικά κύτταρα είναι επίσης εφικτή.

Ο σχεδιασμός του τερματικού εξοπλισμού του χρήστη υποστηρίζει πλήρεις υπηρεσίες, όπως voice over IP, υψηλής ταχύτητας διαδίκτυο, τηλεδιάσκεψη, video και αλληλεπιδραστικά παιχνίδια και όλες τις σχετικές υπηρεσίες για ελεύθερους επαγγελματίες και μικρομεσαίες επιχειρήσεις. Για αυτές τις απαιτήσεις θα πρέπει να υποστηρίζεται ρυθμός δεδομένων 25,6Mb/s για την άνω ζεύξη και 34Mb/s για την κάτω ζεύξη. Λόγω των απαιτήσεων της μετάδοσης κινούμενης εικόνας, απαιτείται κώδικας διόρθωσης σφαλμάτων που να επιτυγχάνει διαθεσιμότητα 99,99%. Για να μπορεί να προσφέρεται τερματικός εξοπλισμός χρήστη με χαμηλό κόστος σε μια ανταγωνιστική αγορά για ευρυζωνικές υπηρεσίες, προτείνεται ένα σχέδιο βασισμένο στην επαναχρησιμοποίηση των προτύπων Ψηφιακής Εκπομπής Κινούμενης Εικόνας (DVB-T, DVB-C, DVB-S). Χρησιμοποιώντας το προτεινόμενο πλάνο συχνοτήτων, για το κανάλι κάτω ζεύξης προτείνεται ένα πλήρες συμμορφούμενο DVB-S με λόγο κώδικα 2/3. Τότε πετυχαίνουμε φασματική απόδοση 1,23b/s/Hz το οποίο μεταφράζεται στον μέγιστο ρυθμό κάτω ζεύξης των 40,6Mb/s.
Τα πακέτα MPEG-2 υποστηρίζουν επίσης ATM κίνηση δεδομένων ρυθμού τουλάχιστον 25,6Mb/s. Η συνολική χωρητικότητα κάτω ζεύξης είναι περίπου 893Mb/s. Για το κανάλι άνω ζεύξης προτείνεται η διαμόρφωση DQPSK με DVB συμβατό με RS (188,204) κώδικα όπου η αντίστοιχη φασματική απόδοση είναι 1,84 b/s/Hz. Με δεδομένο ότι ο μέγιστος ρυθμός άνω ζεύξης είναι 15,6Mb/s. Εν τούτοις, με την τεχνολογία υλοποίησης που είναι διαθέσιμη για το σύστημα επόμενης γενιάς, ένα μονό κανάλι άνω ζεύξης, βασισμένο σε ATM με 25,6Mb/s δεν είναι εφικτό. Για την παροχή μιας πλήρως υπηρεσίας των 25,6Mb/s προτείνεται η πολυπλεξία δυο καναλιών άνω ζεύξης των 12,8Mb/s. Για την άνω ζεύξη, η συνολική χωρητικότητα του κυττάρου είναι περίπου 187Mb/s. Η συνολική χωρητικότητα του κυττάρου είναι 1,08Gb/s συμπεριλαμβανομένων των ζωνών επιφυλακής (22MHz) και η φασματική απόδοση είναι 1,08b/s/Hz.

Για την πρόσβαση προτείνεται η τεχνική TDMA για την άνω ζεύξη λόγω του μεγάλου εύρους διαφορετικών απαιτήσεων υπηρεσιών που πρέπει να καλύψει.
Τρία διαφορετικά MAC πρωτόκολλα έχουν μελετηθεί και η απόδοσή τους έχει δοκιμαστεί με προσομοιώσεις 50, 100 και 150 χρηστών για 5 διαφορετικούς τύπους κίνησης. [1] Οι προσομοιώσεις έδειξαν ότι η δυναμική κατανομή είναι απαραίτητη για ικανοποιητική χρήση του συστήματος όσον αφορά την χωρητικότητα της κίνησης. Όταν η κίνηση είναι εκρηκτικής φύσεως, κάθε ξεχωριστή έκρηξη θα πρέπει να αντιμετωπίζεται σαν καινούργια μετάδοση.

Α Ν Α Φ Ο Ρ Ε Σ :

[1] ACTS Project 215 – Cellular Radio Access for Broadband Services (CRABS)

[2] Theodore S. Rappaport, "Wireless Communications – Principles and Practice" ISBN: 0130422320

[3] William Stallings, (2003) "Επικοινωνίες Υπολογιστών & Δεδομένων" Εκδόσεις Τζιολα, ISBN: 9608050545

[4] Α. Αλεξόπουλος & Γ. Λαγογιάννης, (1992) "Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών", ISBN: 9602200863

[5] Σ. Κωτσόπουλος & Γ. Καραγιαννίδης, (1997) "Κινητή τηλεφωνία", ISBN: 9607510437

[6] www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis188-99/lmds/index.html

[7] www.iec.org/online/tutorials/lmds/topic01.html

[8] www.webopedia.com

[9] www.ieee.org

[10 www.ity.gr

[11] www.telecom.ntua.gr

[12] www.broad-band.gr

[13] www.javvin.com/dictionary.html

[14] www.etsi.org