

104153

**2. ve 3. NESİL CDMA TEMELLİ MOBİL
HABERLEŞME PROTOKOLLERİ**

**Y. T. ENSTİTÜSÜ KURULU
DOĞRULTULAN MERKEZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Barış YAVUZ

504981078

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10 Eylül 2001

Tezin Savunulduğu Tarih : 19 Ekim 2001

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Günsel DURUSOY

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Ercan TOPUZ

Y. Doç.Dr. Ünal KÜÇÜK (Y.T.Ü.)

[Handwritten signatures and dates]
23.10.2001
24/10/01
23.10.2001

EKİM 2001

104153

ÖNSÖZ

Bana kendisi ile çalışma imkanı veren, araştırmalarımda yol göstererek değerli katkılarını esirgemeyen sayın Hocam Prof. Dr. Günsel DURUSOY'a ve büyük destek, moral veren aileme teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Eylül 2001

Barış YAVUZ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xii
SEMBOL LİSTESİ	xiv
ÖZET	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. MOBİL HABERLEŞMESİNDE KULLANILAN ÇOKLU ERİŞİM TEKNİKLERİ	6
2.1 Çoklu Erişim Teknikleri	7
2.2 FDMA	8
2.3 TDMA	10
2.4 CDMA	12
2.5 OFDM	13
3. YAYILMIŞ SPEKTRUM HABERLEŞMESİ VE CDMA	15
3.1 Yayılmış Spektrum (SS)	15
3.2 CDMA Protokolleri	21
3.2.1 FH-CDMA	22
3.2.2 TH-CDMA	24
3.2.3 DS-CDMA	25
3.2.4 Karma CDMA Sistemleri	29
3.3 CDMA Sisteminin Kapasitesi	29
4. IS-95 CDMA SİSTEMİNİN İNCELENMESİ	35
4.1 IS-95 DL Kanal Yapısı	36
4.2 IS-95 UL Kanal Yapısı	41
4.3 IS-95'de Aktarma Prosedürleri	45

4.3.1	Kesintisiz Aktarma Kararı	47
4.3.2	Hata-Okumura Modeli ile Aktarma Analizi	48
5.	ÜÇÜNCÜ NESİL MOBİL SİSTEMLER	51
5.1	Üçüncü Nesil Mobil Sistemlerin Özellikleri ve Gelişimi	53
5.2	IMT-2000 Uygulamaları	56
5.3	3G Sistemler için Spektrum Tahsisi	59
6.	UMTS VE RADYO ARABİRİMİ (UTRA)	65
6.1	UMTS Teknolojisi	65
6.2	UMTS hava arabirimi	68
6.2.1	UMTS Şebeke Mimarisi ve Referans Modeli	69
6.2.2	UTRA Radyo Arabirimi Protokol Mimarisi	78
6.2.2.1	L1 Hizmetleri ve Fonksiyonları	79
6.2.2.2	L2 Hizmetleri ve Fonksiyonları	81
6.2.2.3	L3-RRC Hizmetleri ve Fonksiyonları	83
6.3	UTRA Fiziksel Katmanı	84
6.3.1	UTRA FDD Fiziksel Katmanı	85
6.3.1.1	Taşıma Kanalları	85
6.3.1.2	Fiziksel Kanallar	86
6.3.1.3	Taşıma Kanalı Kodlaması ve Çoğullaması	91
6.3.1.4	FDD modunda UL Yayma ve Modülasyon	94
6.3.1.5	Kod Üretimi ve Tahsisi	95
6.3.1.6	FDD modunda DL Yayma ve Modülasyon	98
7.	CDMA SİSTEMİ SİMÜLASYONU	100
7.1	IS-95 Sistemi Simülasyonu	100
7.2	IS-95 CDMA sistemi için Konvolüsyon Kodlama ile DS'in Karşılaştırılması	107
7.3	IS-95 CDMA Sisteminde Kullanıcı Girişimlerinin Performansa Etkisi	111
8.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	115
	KAYNAKLAR	120
	EK A	124
	EK B	130
	EK C	131
	EK D	135
	ÖZGEÇMİŞ	137

KISALTMALAR

AAL	: Application Adaptation Layer
ACCH	: Associated Control Channel
ACK	: Acknowledgement
ACTS	: Advanced Communications Technology and Services
AGC	: Automatic Gain Control
AMPS	: Advanced Mobile Phone Services
AND	: Access Network Domain
ANSI	: American National Standards Institute
ARIB	: Association of Radio Industries and Business
ARQ	: Automatic Repeat Request
ATDMA	: Advanced Time Division Multiple Access
ATM	: Asynchronous Transmission Mode
AUC	: Authentication Center
AWGN	: Additive White Gaussian Noise
BCCH	: Broadcast Control Channel
BDMA	: Band Division Multiple Access
BER	: Bit Error Rate
BF	: Beam Forming
B-O-QAM	: Binary Offset Quadrature Amplitude Modulation
BPSK	: Binary Phase Shift Keying
BS	: Base Station
BSC	: Base Station Controller
BSS	: Base Station System
BTMA	: Busy Tone Multiple Access
BTS	: Base Transceiver Station
CBP	: Catalytic Bit Processing
CC	: Call Control
CCCH	: Common Control Channels
CCH	: Control Channels
CCPCH	: Common Control Physical Channel
CCTrCH	: Coded Composite Transport Channel
CDF	: Cumulative Distribution Function
CDG	: CDMA Development Group
CDMA	: Code Division Multiple Access
CELP	: Code Excited Linear Predictor
CG	: Coordination Group
C/I	: Carrier to Interface Ratio
CN	: Core Network
CND	: Core Network Domain
CNET	: Center National d'Etudes des Telecommunications
CODIT	: Code Division Multiple Testbed
COFDM	: Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing

CPHCH	: Common Physical Channel
CRC	: Cyclic Redundancy Code
CS	: Circuit Switched
CSMA	: Carrier Sense Multiple Access
CSMA/CD	: CSMA/Collision Detection
CT2	: Cordless Telephone
CR	: Chip Rate
CTDMA	: Code Time Division Multiple Access
DAB	: Digital Audio Broadcasting
DAPMS	: Digital Advanced Mobile Phone Services
DCCH	: Dedicated Control Channel
DCH	: Dedicated Channel
DCM	: Digital Cellular Mobile
DECT	: Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DEMUX	: De-Multiplex
DL	: Downlink
DBPSK	: Differential Binary Phase Shift Keying
DPCCH	: Dedicated Physical Control Channel
DPCH	: Dedicated Physical Channel
DPDCH	: Dedicated Physical Data Channel
DPHCH	: Dedicated Physical Channel
DS	: Direct Sequence
DSMA	: Data Sense Multiple Access
DTCH	: Dedicated Traffic Channel
DTX	: Discontinuous Transmission Mode
EC	: European Commission
EDGE	: Enhanced GPRS Data Rate for GSM Evolution
EIR	: Equipment Identity Register
EIRP	: Effective Isotropic Radiated Power
ERP	: Effective Radiated Power
ERC	: European Radiocommunications Committee
ETRI	: Electronics and Telecommunications Research Institute
ETSI	: European Telecommunications Standards Institute
FACH	: Forward Access Channel
F-CAPICH	: Forward Common Auxiliary Pilot Channel
F-CCCH	: Forward Common Control Channel
F-CCHT	: Forward Common Channel Type
F-DAPICH	: Forward Dedicated Auxiliary Pilot Channel
F-DCCH	: Forward Dedicated Control Channel
FDD	: Frequency Division Duplex
FDMA	: Frequency Division Multiple Access
FEC	: Forward Error Correction
FER	: Frame Error Rate
F-FCH	: Forward Fundamental Channel
F-FH	: Fast Frequency Hopping
FFT	: Fast Fourier Transform
FH	: Frequency Hopping
FM	: Frequency Modulation
FMA	: FRAMES Multiple Access
FP	: Frame Protocol

F-PCH	: Forward Paging Channel
F-PICH	: Forward Pilot Channel
FPLMTS	: Future Public Land Mobile Telephone System
FQI	: Frame Quality Indicator
FR	: Frame Relay
FRAMES	: Future Radio Wideband Multiple Access System
F-SCHT	: Forward Supplemental Channel Type
FSF	: Frequency Selective Fading
F-SYNC	: Forward Sync Channel
FTP	: File Transfer Protocol
FWPC	: Future Wireless Personal Communication
GGSN	: Gateway GPRS Support Node
GMSC	: Gateway MSC
GPRS	: General Packet Radio Services
GPS	: Global Positioning System
GSM	: Global System of Mobile Communications
GTF	: Global TDMA Forum
HCS	: Hierarchical Cell Structure
HLR	: Home Location Register
HND	: Home Network Domain
HSCSD	: High-speed circuit-switched Data Services
HSD	: High Speed Data
IC	: Interference Cancellation
ICG	: International Coordination Group
IETF	: Internet Engineering Task Force
IFFT	: Inverse Fast Fourier Transform
IFTS	: Instructional TV Fixed Service
IM	: Internet Protocol Multimedia
IMEI	: International Mobile Equipment Identity
IMSI	: International Mobile Subscriber Identity
IMT-2000	: International Mobile Telecommunications-2000
IND	: Infrastructure Domain
IP	: Internet Protocol
IS	: Interim Standard
ISDN	: Integrated Services Digital Network
ISI	: Intersymbol Interference
ISMA	: Inhibit Sense Multiple Access
ISO	: International Organization for Standardization
ISR	: Interference Signal Power Ratio
ITU	: International Telecommunications Union
IWF	: Inter-Working Function
JDC	: Japanese Digital Cellular
LAC	: Link Access Control
LCD	: Long Constrained Delay
LEO	: Low Earth Orbit
LFSR	: Linear Feedback Shift Register
LOS	: Line of Sight
LPI	: Low Probability of Interception
LSB	: Less Significant Bit
MA	: Multiple Access

MAC	: Medium Access Control
MAI	: Multiple Access Interface
MAP	: Mobile Application Part
MBS	: Mobile Broadband Systems
MC	: Multicarrier
MCM	: Multicarrier Modulation
MDS	: Multipoint Distribution Service
ME	: Mobile Equipment
MED	: Mobile Equipment Domain
MIL	: Multi-stage Interleaving Method
MLSR	: Maximum Length Shift Register
MM	: Mobility Management
MMDS	: Multichannel Multipoint Distribution Service
MRC	: Maximal Ratio Combining
MS	: Mobile Station
MSB	: More Significant Bit
MSC	: Mobile Switching Center
MSK	: Minimum Shift Keying
MT	: Multitone
MT	: Mobile Termination
MTDMA	: Multimedia TDMA
MUD	: Multiuser Detection
NA	: Network Aspects
NACK	: Negative Acknowledgement
NAMPS	: Narrowband Advanced Mobile Phone Services
NBAP	: Node B Application Part
NBFM	: Narrowband Frequency Modulation
NLOS	: No Line of Sight
NMT	: Nordic Mobile Telephones
NNI	: Network-Network Interface
NTT	: Nippon Telephone and Telegraph
ODMA	: Opportunity Driven Multiple Access
OFDM	: Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSI	: Open System Interconnection
OTD	: Orthogonal Transmit Diversity
OVSF	: Orthogonal Variable Spreading Factor
QCELP	: Qualcomm Code Excited Linear Predictive Coder
Q-O-QAM	: Quaternary Offset Quadrature Amplitude Modulation
QoS	: Quality of Service
QPSK	: Quadrature Phase Shift Keying
PA	: Packet Protocol
PACS	: Personal Access Communication Services
p-ALOHA	: pure – ALOHA
PBI	: Partial-band Interface
PBR	: Peak Bit Rate
PCH	: Paging Channel
PCMU	: Physical Channel Mapping Unit
PCS	: Personal Communication Systems
PDC	: Personal Digital Cellular
PDC	: Pacific Digital Cellular

PDF	: Probability Density Function
PDN	: Public Data Network
PDU	: Packet Data Unit
PHS	: Personal Handy Phone System
PHY	: Physical Layer
PLMN	: Public Land Mobile Network
PM	: Phase Modulation
PN	: Pseudo Noise
PR	: Packet Radio
PRACH	: Physical Random Access Channel
PRMA	: Packet Reservation Multiple Access
PS	: Packet Switched
PSK	: Phase Shift Keying
PSTN	: Public Switched Telephone Network
r-ALOHA	: Reservation ALOHA
RACE	: Research and Development of Advanced Communication Technologies
RACH	: Random Access Channel
R-ACH	: Reverse Access Channel
RAN	: Radio Access Network
RANAP	: Radio Access Network Application Part
RAP	: Radio Protocol
RF	: Radio Frequency
R-FCH	: Reverse Fundamental Channel
RI	: Rate Information
RLC	: Radio Link Control
RLCP	: Radio Link Control Protocol
RMS	: Root-Mean-Square
RNC	: Radio Network Controller
RNS	: Radio Network Subsystem
RNSAP	: Radio Network Subsystem Application Part
R-PICH	: Reverse Pilot Channel
RRC	: Radio Resource Control
RRC	: Root-raised Cosine
RS	: Reed Solomon
RSSI	: Radio Signal Strength Indicator
RTT	: Radio Transmission Technology
s-ALOHA	: slotted – ALOHA
SAP	: Service Access Point
SCH	: Synchronisation Channel
SDCCH	: Stand-alone Dedicated Control Channel
SDH	: Synchronous Digital Hierarchy
SDMA	: Space Division Multiple Access
SDU	: Service Data Unit
SF	: Spreading Factor
S-FH	: Slow Frequency Hopping
SFN	: System Frame Number
SGSN	: Serving GPRS Support Node
SIG5	: Special Interest Group
SIP	: Session Initiation Protocol
SIR	: Signal-to-Interface Ratio

SMG	: Special Mobile Group
SND	: Serving Network Domain
SNR	: Signal-to-Noise Ratio
SRNS	: Serving Radio Network Subsystem
SS	: Spread Spectrum
SSMA	: Spread Spectrum Multiple Access
SS7	: Signalling System No. 7
SWG	: System Work Group
TA	: Terminal Adapter
TACS	: Total Access Communication System
TC	: Transport Channel
TCH	: Traffic Channel
TDD	: Time Division Duplex
TD-CDMA	: Time Division CDMA
TD-SCDMA	: Time Division Synchronous CDMA
TDMA	: Time Division Multiple Access
TE	: Terminal Equipment
TFI	: Transport Format Indicator
TG	: Task Group
TH	: Time Hopping
TIA	: Telecommunications Industry Association
TND	: Transit Network Domain
TP	: Turning Probability
TPC	: Transmitter Power Control
TTA	: Telecommunications Technology Association
TTC	: Telecommunication Technology Committee
UE	: User Equipment
UED	: User Equipment Domain
UL	: Uplink
UMTS	: Universal Mobile Telecommunication System
UPCH	: User Packet Traffic Channel
URAN	: UMTS Radio Access Network
USDC	: U.S. Digital Cellular
USIM	: UMTS Subscriber Identity Module
UTRA	: UMTS Terrestrial Radio Access
UWC	: Universal Wireless Communications
UWCC	: Universal Wireless Communications Consortium
VAO	: Vehicular A Outdoor
VLR	: Visitor Location Register
WARC	: World Administrative Radio Conference
WCDMA	: Wideband Code Division Multiple Access
WCPN	: Wireless Customer Premises Networks
WIMS	: Wireless Multimedia and Messaging Services
WLAN	: Wireless Local Area Networks
WLL	: Wireless Local Loop
WWW	: World Wide Web

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Hücresel mobil sistemlerde kullanılan çoklu erişim teknikleri	8
Tablo 3.1. Tek CDMA Hücre için kapasitenin E_b/N_0 ile değişimi	34
Tablo 3.2. Çoklu-hücresel ortamda bir CDMA hücresi kapasitesinin E_b/N_0 ile değişimi	34
Tablo 4.1. IS-95 Hava Arabirimi Parametreleri	36
Tablo 4.2. IS-95 CDMA DL Trafik kanalı veri hızları	40
Tablo 4.3. IS-95 CDMA UL Trafik kanalı veri hızları	44
Tablo 5.1. Kuzey Amerika'daki bazı Mobil Haberleşme Standartları	52
Tablo 5.2. Avrupa'daki bazı Mobil Haberleşme Standartları	52
Tablo 5.3. 3G veri hızı gereksinimleri	53
Tablo 5.4. IMT-2000 Taşıyıcı Hizmet Gereksinimleri	59
Tablo 5.5. UMTS için önerilen Frekans Spektrumu Tahsisi	60
Tablo 5.6. 3G spektrumu için ticari lisans durumu(Ocak 2001)	64
Tablo 6.1. UMTS hizmetleri ve bunların bazı iletim özellikleri	66
Tablo 6.2. Çeşitli ortamlarda UMTS için desteklenen maksimum veri hızları	66
Tablo 6.3. UMTS'de kullanılan hücre tipleri ve özellikleri	67
Tablo 6.4. ETSI UTRA hava arabirimi teknolojisi önerileri	68
Tablo 6.5. UTRA FDD ve TDD modları teknik parametreleri	68
Tablo 6.6. UTRA'da Konvolüsyon Kodlaması için Üretici Polinomlar	92
Tablo 7.1. IS-95 CDMA DL kanalında $SF=32$ ve $SF=64$ değerleri için BER'in E_b/N_0 ile değişimi	106
Tablo 7.2. DS modelinde 100 ve 10 km/saat mobil hızları için BER'in E_b/N_0 ile değişimi ($SF=64$)	108
Tablo 7.3. DS modelinde 100 km/saat mobil hızında farklı SF değerleri için BER'in E_b/N_0 ile değişimi	109
Tablo 7.4. IS-95 CDMA DL bağlantısında BER'in aynı hücredeki kullanıcı girişimleri sayısı ile değişimi	113

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1 : FDD ve TDD modlarında frekans ve zaman bölünmesi	7
Şekil 2.2 : FDMA'de kanalların farklı frekans bantlarına tahsisi	9
Şekil 2.3 : Darbant kanallarına ayrılmış bantgenişliğini gösteren FDMA Spektrumu	9
Şekil 2.4 : Herbir kanalın farklı zaman dilimini işgal ettiği TDMA spektrumu	11
Şekil 2.5 : TDMA/FDMA karma sistemi	12
Şekil 2.6 : CDMA spektrumu	13
Şekil 2.7 : OFDM verici ve alıcısı	14
Şekil 3.1 : Yaymadan önce ve sonraki kare darbe güç spektrumu	16
Şekil 3.2 : CDMA İletimi	18
Şekil 3.3 : SSMA gösterimi	19
Şekil 3.4 : SS iletimde girişim reddi	20
Şekil 3.5 : Spektrum Genişlemesi (a) DSSS modülasyonu (b) FHSS modülasyonu	21
Şekil 3.6 : CDMA'in sınıflandırılması	22
Şekil 3.7 : FH ve DS sistemlerinde zaman/frekans kullanımı	23
Şekil 3.8 : TH-CDMA'im zaman-frekans kullanımı	25
Şekil 3.9 : DS-SS vericisinin blok diyagramı	26
Şekil 3.10 : BPSK ile modüle edilmiş SS işaretinin üretimi	26
Şekil 3.11 : CDMA'in gürültü ve girişime direnci	27
Şekil 3.12 : DS-SS işareti alıcısı	28
Şekil 3.13 : Karma DS-FH vericisi	29
Şekil 3.14 : Frekans tekrar kullanım örneği; (a) 7 frekanslı Analog FDMA (b) 3 frekanslı Sayısal Sistemler, (c) CDMA	32
Şekil 4.1 : DL CDMA kanal yapısı (Hız kümesi 1 için)	37
Şekil 4.2a : Erişim kanalı için IS-95 UL CDMA kanalı yapısı	42
Şekil 4.2b : Trafik kanalı için UL CDMA kanalı yapısı (Hız kümesi 1) ..	43
Şekil 4.3 : CDMA'de aktarma fazları	46
Şekil 4.4 : Kesintisiz aktarma parametreleri	48
Şekil 4.5 : MS tarafından alınan işaretin değişimi ve aktarma noktasının tahmini	49
Şekil 4.6 : Gürültüsüz (a) ve Gürültülü(b) Ortamda MS'de alınan güç değişimleri	50
Şekil 5.1 : Mobil sistemlerde mobilite ve kapsama alanına karşılık kullanıcı bit hızları gösterimi	54
Şekil 5.2 : 3G Mobil Sistemlerin Gelişimi	55
Şekil 5.3 : Genişbant CDMA projeleri ve standartları	55
Şekil 5.4 : IMT-2000 kullanıcı terminalleri	58
Şekil 5.5 : WARC92/95'de tanımlanan IMT2000/UMTS çekirdek frekans bantları	61

Şekil 5.6	: UMTS için önerilen spektrum tahsisi	62
Şekil 5.7	: WRC2000'den sonra IMT2000 frekans tahsisi	63
Şekil 6.1	: UMTS alan ve referans noktaları	69
Şekil 6.2	: UTRAN sistem mimarisi	70
Şekil 6.3	: PLMN ve arabirimlerin konfigürasyonu	75
Şekil 6.4	: UTRAN ve UE arasındaki basitleştirilmiş protokol diyagramı	77
Şekil 6.5	: Radyo arabirimi protokol mimarisi	78
Şekil 6.6	: MS fiziksel katmanı modeli – UL	80
Şekil 6.7	: RLCP PDU'larının iletimi	82
Şekil 6.8	: Radyo kaynağı kontrol işaretleşmesi protokolleri	84
Şekil 6.9	: UL DPDCH/DPCH çerçeve yapısı	86
Şekil 6.10	: Rastgele Erişim Yığını yapısı	87
Şekil 6.11	: Rastgele erişim yığınının mesaj kısmı	87
Şekil 6.12	: Rastgele-erişim yığını veri kısmı yapısı	88
Şekil 6.13	: DL DPCH çerçeve yapısı	89
Şekil 6.14	: Birincil CCPCH çerçeve yapısı	90
Şekil 6.15	: İkincil CCPCH çerçeve yapısı	90
Şekil 6.16	: Taşıma-kanalının Fiziksel-kanala Eşlenmesi	91
Şekil 6.17	: Taşıma kanallarının Kodlanması ve Çoğullanması	92
Şekil 6.18	: Taşıma kanalı çoğullaması	93
Şekil 6.19	: UTRA FDD UL için Modülasyon ve Yayma İşlemleri	94
Şekil 6.20	: OVFSF kodları üretimi için kod-ağacı	95
Şekil 6.21	: UL karıştırma sırası üretici blok diyagramı	97
Şekil 6.22	: UL kısa karıştırma sıra üreticisi (255 chip sırası için)	98
Şekil 6.23	: DL DPCH'ler için yayma ve modülasyon	99
Şekil 7.1	: IS-95 CDMA DL kanalı simülasyonunda kullanılan bloklar ve kodları	101
Şekil 7.2	: Rayleigh Fading Simülatörü	102
Şekil 7.3	: Doppler güç yağunluk spektrumu	102
Şekil 7.4	: FSF model gösterimi	104
Şekil 7.5	: Rayleigh Fading Örnekleri (V=10 km/saat mobil hızı için) ...	104
Şekil 7.6	: Rayleigh Fading Örnekleri (V=100 km/saat mobil hızı için) ..	105
Şekil 7.7	: IS-95 CDMA DL kanalında SF=32 ve SF=64 değerleri için BER'in Eb/No ile değişimi	107
Şekil 7.8	: Konvolüsyonel kodlamada BER'in SNR ile değişimi	108
Şekil 7.9	: DS modelinde 100 ve 10 km/saat mobil hızları için BER'in Eb/No ile değişimi (SF=64)	109
Şekil 7.10	: DS modelinde 100 km/saat mobil hızında farklı SF değerleri için BER'in Eb/No ile değişimi	110
Şekil 7.11	: IS-95 ile DS modellerinde BER'in kıyaslanması	111
Şekil 7.12	: DL'de aynı hücre içinde girişimin etkisini göstermek için kullanılan simülatörün blok diyagramı	112
Şekil 7.13	: IS-95 DL kanalında BER'in Girişim yapan kullanıcı sayısı ile değişimi (Çoklu-yol Kanalı, V=100 km/saat, SF=64)	114
Şekil A.1	: (3,1,8) Konvolüsyon kodlayıcısı blok diyagramı	124
Şekil A.2	: Blok Dönüştürücü	126
Şekil A.3	: m-durumlu LFSR blok diyagramı	127
Şekil A.4	: (5,3) ve (5,4,3,2) ML üreticilerini kullanan Gold kod üreticisi	128

SEMBOL LİSTESİ

α_v	: Ses aktivitesi faktörü
B_c	: Kanal Bantgenişliği
B_{guard}	: Tahsis edilmiş spektrumun sınırlarındaki koruma bandı
β	: Zayıflama Faktörü
C_{ch}, C_c, C_d	: Kanallama Kodları
$C_{long,n}, C_{short,n}$	: Uzun ve Kısa karıştırma kodları
C_{sc}, C_{scramb}	: Karıştırma kodu
f	: frekans tekrar kullanım faktörü
f_c	: Çalışma frekansı
g_0, g_1, g_2	: Konvolüsyon kodlayıcısı için üretici polinomlar
G_0, G_1, G_2	: Konvolüsyon kodlayıcısı için üretici polinomlar
G_r	: Alıcı anten kazancı
G_s	: Kesimleme kazancı
γ	: Yol-kayı zayıflama faktörü
h_{re}	: Mobil istasyonu anteninin (alıcı) yüksekliği
h_{te}	: Baz istasyonu anteninin (verici) yüksekliği
I_{ub}	: Düğüm B ile RNC arasındaki arabağdaşım
I_{ur}	: RNC'ler arasındaki arabağdaşım
L	: Yol kaybı
N_0	: Gürültü gücü
PN_I, PN_Q	: I ve Q kanalları için PN kodları
P_s	: İşaret Gücü
R	: Veri hızı
r	: Konvolüsyon kodlayıcısının hızı
R_{x1}, R_{x2}	: 1. ve 2. mobil birimin ortalama giri
T_{add}	: Ekleme eşiği
T_b, T_c	: Modüle edilmemiş bir veri bitinin süresi ve Chip zamanı
T_{drop}	: Düşme eşiği
T_f, T_{super}	: Bir çerçeve ve süper çerçeve zamanı
τ	: Kanal gecikmesi
T_{x1}, T_{x2}	: 1. ve 2. mobil istasyonlarının iletim güçleri
U_u	: UE ile Düğüm B arasındaki arabağdaşım
W	: İşaret bantgenişliği

2. ve 3. Nesil CDMA Temelli Haberleşme Protokolleri

ÖZET

Çalışmanın temel amacı, IS-95 ve IMT-2000 gibi mevcut veya gelecekte uygulanması düşünülen CDMA temelli mobil sistemleri incelemektir. Burada, IS-95 CDMA ve genişbantlı CDMA hava arabirimi detaylı biçimde tanıtılmış; genişbantlı CDMA hava arabirimi için, Avrupa ve Japonya'da kabul edilen WCDMA ile A.B.D'de kabul edilen cdma2000 standartları ele alınmıştır. Düşük chip hızı ve cdma2000'e göre dar bantgenişliğine sahip IS-95 ile, IMT-2000'nin veya Üçüncü Nesil Mobil sistemlerin veri hızı gereksinimlerinin karşılanması imkansızdır. cdma2000 standardı, geniş bantgenişliklerinde CDMA desteği sağlayarak ve IS-95 ile geri uyumluluk göstererek A.B.D'de Üçüncü Nesil mobil sistemi olarak seçilmiştir. Çalışmada bu sistemlerden WCDMA (UMTS) tanıtılmıştır. CDMA sistemlerinde konvolüsyon kodlama ile doğrudan yaymanın karşılaştırılıp avantajlarının değerlendirilmesi, bir IS-95 ileri-yön(DL) bağlantısının simülasyonu, mobil hızının BER'de etkisi, CDMA sisteminde aynı hücre kullanıcılarının girişimlerinin ve Yayma Faktörü'nün sistem performansına etkisinin tespiti simülasyonlar yardımıyla yapılmıştır.

Bölüm 2'de, "Çoklu Erişim Teknikleri" adı altında günümüzde birçok alanda sıklıkla kullanılan FDMA, TDMA, CDMA ve OFDM hakkında bilgi sunulmuştur.

Çalışmamızda odaklandığımız konu CDMA protokolü olduğundan, bundan sonraki bölümlerde CDMA ve bu teknolojinin kullanıldığı mobil haberleşme sistemleriyle ilgilenilmiştir. Bölüm 3'de ilk olarak, CDMA'nın kullandığı yayılmış spektrum haberleşmesi anlatıldıktan sonra, CDMA protokolleri çeşitlerine geçilmiştir. FH-CDMA, TH-CDMA ve DS-CDMA, özellikle incelenen protokollerdir. Bunların içersinde, DS-CDMA hem ikinci hemde üçüncü nesil mobil haberleşme sistemlerinde kullanılmaktadır. CDMA sistemlerinde hücre kapasitesinin hesaplanmasına da bu bölümde yer verilmiştir.

Dördüncü bölümde, IS-95 olarak bilinen ve A.B.D'de kullanılmakta olan CDMA temelli ikinci nesil mobil sistemi incelenmiştir. IS-95'de UL ve DL bağlantıları için blok şemalar ve burada kullanılan herbir bloğun işlevleri verilip MATLAB kodu karşılıkları sunulmuştur. IS-95'in sağladığı bir diğer avantaj da kesintisiz aktarma (Soft Handover) olduğundan kesintisiz aktarma prosedürleri incelenmiştir. Hata-Okumura Modeli kullanılıp, mobil istasyonun bağlı olduğu iki baz istasyonun aldığı güçteki değişim simüle edilerek aktarma kararının ne zaman verilebileceği gösterilmiştir.

Beşinci bölümde, üçüncü nesil mobil haberleşme sistemlerinin neler olduğu, geçiş teknolojileri, getirdiği yenilikler, uygulamaları ve gereksinimleri ile spektrum tahsisi

Avrupa'da kullanılması düşünülen ve genişbandlı CDMA teknolojisine dayanan UMTS sistemi ve bunun kullandığı UTRA olarak adlandırılan hava arabirimi protokolü detaylı biçimde altıncı bölümde incelenmiştir. UTRA protokolünde kullanılması düşünülen kodlama (FEC-Forward Error Correction) türleri, spektrum yayma metodları, gizlilik için kullanılan karıştırma kodları, modülasyon, kanal çeşitleri ve fonksiyonları, UL ve DL için ayrı ayrı incelenmiştir.

Bölüm 7'de IS-95 CDMA sistemi DL bağlantısında alıcı ve vericide kullanılan fonksiyonel blokların MATLAB programı ile karşılıkları verilerek bir DL bağlantısı simülasyonu yapılmıştır. İkinci olarak, konvolüsyon kodlamasının AWGN ve Rayleigh kanallar için BER değişimi çıkartılmış, kodlamanın yapılmadığı sadece direkt yaymanın kullanıldığı bir sistemle de kıyaslanmıştır. Sonuç olarak düşük Eb/No değerleri için konvolüsyon kodlama kullanılmadığı durumda dahi kabul edilebilir BER değerleri elde edilebildiği gösterilmiştir. Mobil kullanıcı hızının kanal modeline nasıl bir etki yaptığı gösterilerek 10 ve 100 km/saat mobil kullanıcı hızları için BER'in değişimi çıkartılmıştır. Hız arttıkça Rayleigh kanalında zayıflama çukurlarının sayısı artacağından işaret bozulmaları daha fazla hissedilmiş buda BER'in kötüleşmesine neden olmuştur. Bir diğer performans değerlendirmesi de aynı hücre kullanıcılarından kaynaklanan girişimlerin DL için BER'deki etkisi ölçülmüş, girişim sayısı arttıkça sistemin kabul edilemez BER'lere sahip olabileceği tespit edilmiş ve böylece girişimlerin CDMA sistemlerinde en önemli sorun olduğu görülmüştür.

2. and 3. Generation Mobile Communication Protocols Based On CDMA

SUMMARY

The major objectives of this thesis is to review the CDMA based present and future mobile systems namely, IS-95 and IMT-2000. An overview of IS-95 CDMA and main wideband CDMA air interface are presented in detail. For wideband CDMA air interface WCDMA (UMTS) in Europe is described.

The personal mobile wireless systems currently in use around world are first and second generation (2G) systems. The first generation cellular systems generally use analog Frequency Modulation techniques, so they are called analog mobile systems. They offered only voice communications and employ FDMA (Frequency Division Multiple Access) with each channel assigned to a unique frequency band within a cluster of cells. AMPS (Advanced Mobile Phone Services), NAMPS (Narrowband AMPS), TACS (Total Access Communication System) ve NMT-900 (Nordic Mobile Telephone) are the most notable of first generation systems. 2G systems take the advantage of compression and coding techniques associated with digital technology. All the 2G systems use digital modulation schemes. TDMA and CDMA are used along with FDMA as a multiple access techniques. 2G cellular systems are: USDC (U.S. Digital Cellular) standards IS-54 and IS-136, GSM (Global System of Mobile Communications), PDC (Pacific Digital Cellular) and cdmaOne. TDMA systems commonly start with a slice of spectrum referred to as one "carrier". Each carrier is the divided into time slots. Only one subscriber at a time is assigned to each time slot or channel. With CDMA, unique digital codes, rather than separate RF frequencies or channels, are used to differentiate subscribers. The codes are shared by both mobile and base station, and are called "pseudo-random code sequences". All users share the same range of radio spectrum. In addition, since CDMA is wideband in nature, several undesirable qualities of narrowband systems are mitigated, such as particular types of interface.

Third Generation (3G) systems are currently in development, and will offer multimedia capabilities to 2G platforms like support for high bit rates (144 kbit/s to 2 Mbit/s) and extended capabilities over 2G systems. When 3G wireless systems begin launching worldwide, sometime after 2002, mobile subscribers will be able to notice a number of advantages over current wireless sytems. Data access rates will increase more than 20 times faster. 3G will also offer mulimedia capabilities and even location-enabled features such as 112. This means a user from New York will be able to use his/her phone in Istanbul to dial 112, and Istanbul emergency crews will pinpoint his/her location to send help. 3G technology will also allow subscribers to access several services at once. For instance, a user will be able to carry on voice conversation while surfing in Internet, or to participate in a video conference while sending a fax. In addition, 3G will offer a true global wireless system, permitting

subscribers to roam all over the world and make connections with anyone, anywhere, anytime.

International Telecommunications Union (ITU) is overseeing worldwide efforts to define 3G wireless standards. These standards, known as International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000), will provide universal coverage and enable seamless roaming across multiple networks. IMT-2000 until recently was known as the Future Public Land Mobile Telephone System (FPLMTS). The original goal of IMT-2000 was to create a single system, common to all global regions. However, most of the world's wireless service providers are heavily invested in their 2G cellular systems. Many of these carriers have demanded that 3G networks evolve gracefully from their existing digital systems, in order to protect their investments in 2G technology. As a result, IMT-2000 vision evolved into the idea of creating a "family of systems". The goal now is to upgrade all the world's 2G systems to comply with a common set of 3G requirements. The main technical objectives and requirements of IMT-2000 are:

- Voice quality comparable to Public Switched Telephone Network (PSTN).
- Support of high data rate.
 - Vehicular → 144 kbit/s
 - Outdoor to indoor and pedestrian → 384 kbit/s
 - Indoor Office → 2 Mbit/s
- High spectrum efficiency (more users) compared to existing systems.
- Support of both packet-switched and circuit-switched data services.
- Backward compatibility with pre-existing networks and high flexibility to introduce new services and technology.
- Support of wide variety of mobile equipment.
- An adaptive radio interface suited to the highly asymmetric nature of most Internet communications: a much greater bandwidth for the downlink than uplink.

At the March 25, 1999 meeting of the IMT-2000 committee of the ITU, they reached some decisions regarding the air interface for IMT-2000. They essentially allow a single flexible standard with a choice of multiple access methods which consist of CDMA, TDMA and hybrid TDMA/CDMA. This thesis will focus on CDMA proposals, since it seems that CDMA will be the predominant air interface. The 3G evolution is taking place on three fronts: Japan, Europe and North America.

Japanese telecommunications operators such as NTT DoCoMo and Japan Telecom are focusing on Wideband CDMA (W-CDMA) as their preferred technology for 3G services. ETSI is developing a European set of 3G standards, called the Universal Mobile Telecommunication System (UMTS). The current UMTS proposal, now called UMTS Terrestrial Radio Access (UTRA), focuses on ways that GSM technology can evolve into the 3G by taking advantage of wideband CDMA technology. In North America, major efforts are under way by the TTA to determine the evolution path of cdmaOne and TDMA (IS-136) technology into the 3G. On CDMA side, wideband cdmaOne (cdma2000) is the technology of choice. It offers higher capacity and more advanced multimedia services than current 2G CDMA systems. The current CDMA standard, cdmaOne (IS-95B), uses an RF bandwidth of 1.25 MHz, while the wideband CDMA system uses 5 MHz. This wider bandwidth allows better performance in the presence of multipath since the receiver can separate the multipaths easier, to increase diversity and improve performance. The

bandwidth also allows support of high rate services, up to 2 Mbit/s peak rate. Third, this 5 MHz is a good fit in the tight-fitting spectrum allocations available. This wide bandwidth has given rise to the name Wideband CDMA or WCDMA. There are two different modes namely Time Division Duplex (TDD) and Frequency Division Duplex (FDD). Both duplex schemes are supported by WCDMA air interface. Some of key technical features of the WCDMA radio interface are:

- Multiple Access Scheme → DS-SSMA
- Duplex Scheme → FDD/TDD
- Multirate/Variable rate scheme → Variable spreading factor and multi-code
- Chip rate → 3.84 Mchip/s
- Carrier Spacing → 4.4 – 5.2 MHz (200 kHz carrier raster)
- Frame Length → 10 ms
- Channel Coding Scheme → Convolutional Code, Turbo Code

The chip rate may be extended to two or three times the standard 3.84 Mchip/s to accommodate for data rates higher than 2 Mbit/s. The 200 kHz carrier raster has been chosen to facilitate coexistence and interoperability with GSM.

The TTA TR45.5 committee has a subcommittee, TR45.5.4, which is responsible for the selection of cdma2000 concepts. Like for all the other wideband CDMA schemes, the goal has been to provide data rates that meet the IMT-2000 performance requirements of at least 144 kbit/s in a vehicular environment, 384 kbit/s in a pedestrian environment and 2048 kbit/s in an indoor office environment. The main focus of standardization has been providing 144 kbit/s and 384 kbit/s with approximately 5 MHz bandwidth. There are two main alternatives for the downlink in cdma2000: multicarrier and direct spread. The multicarrier approach involves setting up three carrier frequencies with a spreading bandwidth of 1.25 MHz each, so that they span a total 4.75 MHz, non-overlapping, with a small guard band between them. Each carrier has a chip rate of 1.2288 Mchip/s, for a total of 3.6864 Mchip/s. This will allow easy evolution and co-existence with current IS-95B systems. The direct spread option involves a single carrier in the middle of the allocated spectrum, with a spreading bandwidth of 4.75 MHz. There is also the possibility of using 10, 15, 20 MHz channels, for very high bit rate applications. The main parameters of cdma2000 can be listed as follows:

- Channel Bandwidth → 1.25, 5, 10, 15, 20 MHz
- Downlink RF Channel structure → Direct spread or multicarrier
- Chip Rate → DS: 1.2288, 3.6864, 7.3728, 11.0593, 14.7456 Mchip/s
MC: $n \times 1.2288$ Mchip/s ($n=1,3,6,9,12$)
- Frame Length → 20 ms for data and control / 5 ms for control information on the fundamental and dedicated control channel
- Data Modulation → QPSK (Downlink), BPSK (Uplink)
- Spreading factors → 4 – 256
- Power control → Open loop and fast closed loop
- System Timing → Network synchronous
- Handover → Soft Handover, Interfrequency handover
- Multirate → Variable spreading factor and multi-code

In this thesis, I have studied the IS-95 standard that is one of the CDMA standards for wireless personal communication systems (PCS) as specified by TTA. It operates in the 800 MHz band and 1.9 GHz PCS band. One IS-95 channel occupies 1.25 MHz of spectrum on each link. Main parameters of the IS-95 air interface are:

- Bandwidth → 1.25 MHz
- Chip Rate → 1.2288 Mchip/s
- Frequency band uplink → 869 – 894 MHz, 1930 – 1980 MHz
- Frequency band downlink → 824 – 849 MHz, 1850 – 1910 MHz
- Frame Length → 20 ms
- Bit Rates → Rate Set 1: 9.6 kbit/s, Rate Set 2: 14.4 kbit/s, IS-95B : 115.2 kbit/s
- Spreading Codes → Walsh + Long M-sequence
- Handover → Soft Handover

This thesis is organized as follows: Chapter 2 presents some multiple access techniques use in mobile communication; such as FDMA, TDMA, CDMA and OFDM. In Chapter 3, I have focused on and provide some technical background about CDMA protocol and Spread Spectrum communication that is necessary to understand how new generation CDMA mobile systems are designed. 2G CDMA sytem called IS-95 is introduced in Chapter 4 and functional blocks (convolutional encoder, interleaver, PN code generator) are simulated using MATLAB. IMT-2000 services and applications, 3G standadization activities, IMT-2000 frequency allocations identified at WARC92/WRC95 and WRC2000, licensing situation for 3G spectrum are introduced in Chapter 5. Chapter 6 reviews the main wideband CDMA air interface WCDMA for UMTS.

In Chapter 7, CDMA system simulations are given. I have tried to to simulate a IS-95 forward link as accurately as possible. This thesis also gives knowledge about enhancements to be made to the present day IS-95B systems to meet the 3G standard. Coding is an integral part of communication since it greatly help us to decrease the BER. Convolutional codes are extensively used in the present IS-95B system which uses Viterbi decoding.

With the next generation of cellular systems, data transmission will be nearly as important as voice, but data does not require constant connections and can support more errors since data can be retransmitted, so new handsets can be made which take advantage of this fact. One method for reducing complexity is to direct spread the data in a CDMA system, thus removing the costly Viterbi decoder and memory intensive interleaver/deinterleaver. In this thesis, I have investigated the performance of a direct spread version of IS-95 with the original IS-95, and show that under some certain conditions the direct spread version performs better than IS-95. Another CDMA performance evaluation was done by calculating BER against interfering signals; for that purpose I have used MATLAB codes and observed that the performance of the system decreases linearly as the number of interfering signals increase. Even though I have not used error correction capabilities of convolution coding, still get a sufficiently small BER. I have also used the same code for showing the advantage of increasing Spread Factor (SF). Finally simulation results show that BER performance is improved by increasing SF. Another performance evaluation was doen by figuring out the effect of same cell user interferences. Simulation results showed that interferences cause to decrease BER performance. Using Gold or Kasami codes instead of PN codes or more small cells; for example pico- or micro-cells, can mitigate the effects of interference problem.

1. GİRİŞ

Son yıllarda telsiz haberleşmesinin kazandığı büyük popülarite ve mobil kullanıcı sayısındaki patlama, teknoloji araştırmacılarının ve kuruluşlarının dikkatini mobil sistemlerde yenilikler yapma noktasına yoğunlaştırmıştır. Kullanıcı sayısının artmasının yanında, kullanıcıların herhangi bir yerde ve istedikleri zaman iletişim hizmetlerine erişebilme, ses hizmetlerinin dışında yüksek hızda veri, çoklu-ortam trafiğini de iletebilme yeteneğine sahip olabilecek mobil sistemlere gereksinim duymaları, araştırmacıların mobil iletişim sistemlerinde yeni teknolojiler ve gelişmeler ortaya çıkarmalarını zorunlu kılmıştır. Bu istekler ve gelişmeler sonucunda ortaya çıkan ITU projesi, IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000) olarak adlandırılmakta ve üçüncü nesil mobil sistemlerinin temelini oluşturmaktadır.

Günümüzde dünya çapında kullanılmakta olan kişisel mobil sistemleri, birinci ve ikinci nesil (2G) sistemler olarak adlandırılmaktadır. Analog mobil sistemler olarak bilinen birinci nesil sistemler, sadece ses trafiğini taşıyabilecek şekilde tasarlanmıştır; AMPS (Advanced Mobile Phone Services) ve TACS (Total Access Communication System) bunlara örnek olarak verilebilir. Bu sistemin dijital karşılığı olan 2G sistemleri, sayısal ses, düşük ve orta hızda veri iletişimini (9.6 kbit/sn) kullanıcılarına sunabilmektedir. 2G sistemlerinin en bilinenleri, GSM (Global System of Mobile Communications), DAMPS/IS-136 (Digital Advanced Mobile Phone Services), PDC (Pacific Digital Cellular) ve cdmaOne/IS-95B'dir. Üzerinde çalışmaların devam ettiği üçüncü nesil (3G) sistemleri, 2G platformuna çoklu-ortam yeteneğini kazandırıp 144 kbit/sn'den 2 Mbit/sn'ye kadar yüksek veri hızı desteği sunabilecektir. 3G sistemlerine örnek olarak, cdma2000, UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) veya W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) verilebilir.

Birinci nesil hücresel sistemlerde, çoklu erişim tekniği olarak sadece Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (FDMA - Frequency Division Multiple Access) kullanılırken, 2G sistemlerde FDMA'ın yanısıra Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (TDMA- Time Division Multiple Access) ve Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA - Code Division Multiple Access) de kullanılmaktadır. FDMA veya TDMA ile yapılan kanal ayırımında, frekans kanalları arasında artık spektrum ve zaman kanalları arasında da artık zaman olduğundan, bu sistemler orta kalitede bir sistem kapasitesi sağlarlar. FDMA, kullanıcılara farklı frekans dilimleri tahsis ederek bunları ayırmaktadır. TDMA ise, kullanıcılara farklı zaman dilimleri tahsis eder. Diğer taraftan CDMA sistemi, tüm kullanıcılara bütün frekans bandını tahsis eder ve kullanıcıları, benzersiz PN (Pseudo Noise) dizileri kullanarak işaretlerini modüle etmek kaydıyla ayırır; kodlar arasında artık boşluklar bulunmadığından, kapasite diğerlerine göre daha fazla olmaktadır. Buna ilaveten CDMA, yayılmış spektrum tekniğini kullanan çoklu erişim teknolojisi olduğundan genişbantlıdır; bundan dolayı da darbantlı sistemlerin bazı istenmeyen özelliklerinden kurtulmuş olmaktadır, örneğin girişim çeşitleri, çoklu-yol zayıflaması gibi istenmeyen olayların etkisi en aza indirilmektedir. Bir 2G sistemi olan cdmaOne/IS-95, CDMA teknolojisini kullanmaktadır. 1.25 MHz kanal bantgenişliğine sahip olan ve 9.6 – 14.4 kbit/sn ile sınırlı veri hızlarındaki paket-modu ve devre-modu hizmetleri destekleyebilen IS-95 CDMA sistemi, video konferans, yüksek-kalitede görüntü iletimi, yüksek hızda internet erişimi gibi genişbantlı hizmetleri içeren 3G gereksinimlerini karşılayamamaktadır. A.B.D.'de kullanılan IS-95'e uyumlu olacak cdma2000 sistemi, daha geniş bantgenişlikleri üzerinden CDMA hizmeti sunarak yüksek veri hızları ve kapasite sağlamaktadır.

2G sistemlerinden 3G sistemlerine geçişte hedeflerin belirlendiği IMT-2000 projesinde altı çizilen gereksinimler şu şekilde özetlenebilir:

- i) tüm kaplama alanı ve araba mobilitesi için minimum 144 kbit/sn, yaya mobilitesi için ise 384 kbit/sn veri hızı;
- ii) sınırlı kapsama alanı ve bina-içi mobilite için 2 Mbit/sn veri hızı;
- iii) mevcut sistemlere kıyasla yüksek spektrum verimi (daha fazla kullanıcı);
- iv) yeni hizmetlerin tanıtılmasında esneklik;
- v) paket modu hizmet (İnternet) desteği.

Bu gereksinimleri gerçekleştirebilecek 3G sistemi için, hava arabirimi çözümü olarak genişbantlı CDMA (WCDMA) önerilmiştir. Japonya, Avrupa, Kore ve A.B.D.'de farklı standart grupları tarafından ITU'ye WCDMA'yi destekleyen çok sayıda öneri sunulmuştur. Bu önerileri sunan kuruluşlar, Avrupa'da ETSI, Japonya'da ARIB, A.B.D.'de TTA ve T1P1, Güney Kore'de de TTA'dır. Avrupa'da 3G sistemi olarak bilinen UMTS'in, IMT-2000 için önerdiği hava arabirimi çözümü UTRA'dır (UMTS Terrestrial Radio Access). UTRA için erişim modeli, DS-SS-CDMA'dır (Direct Sequence CDMA). Bilgi, yaklaşık 5 MHz'lik banda yayılır; WCDMA ismi de kullanılan bu geniş bant genişliğinden gelmektedir. 5 MHz'lik bant genişliği ile 384 kbit/sn veri hızına kadar destek verilmektedir. Ayrıca 10 ve 20 MHz bant genişlikleri de çok yüksek bit hızı gerektiren uygulamalar için kullanılabilir. cdma2000 önerisi, ARIB ve ETSI tarafından önerilen WCDMA'ye benzerlik göstermekle beraber, diğerlerinden farklı olarak DS-SS-CDMA'nın yanı sıra MC-SS-CDMA (Multicarrier CDMA) teknolojisinin de kullanılmasına imkan verecektir.

Bu tezde, yeni nesil mobil sistemlerde kullanılması kaçınılmaz olan CDMA teknolojisi ve bu teknolojinin kullanıldığı 2G ve 3G mobil sistemleri incelenmiştir. Herhangi bir hava arabirimi tasarımı için temel prensip, kullanıcılar arasında ortak iletişim ortamının nasıl paylaştırılacağıdır; bir başka deyişle çoklu erişim modelinin seçimidir. Bölüm 2'de çeşitli çoklu erişim teknolojileri tanıtılmıştır. İlk olarak, toplam bant genişliğini kullanıcılara tahsis edilen frekans kanallarına bölen FDMA'den bahsedilmiştir. Daha sonra, her bir frekans kanalını zaman dilimlerine bölüp, bu zaman dilimlerini her bir kullanıcıya tahsis eden TDMA teknolojisi tanıtılmıştır. Üçüncü olarak, her bir kullanıcıya benzersiz PN kodu tahsis edilen ve böylece de işaretin spektruma yayılmasını sağlayan CDMA çoklu erişim tekniği ele alınmıştır. Bunlara ilaveten dördüncü nesil mobil sistemlerde kullanılması düşünülen, OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) teknolojisinden de kısaca bahsedilmiştir.

CDMA protokolleri SSMA (Spread Spectrum Multiple Access) protokolleri olarak ifade edilmektedir. Bölüm 3'de SS ve CDMA teknolojilerinin detayları anlatılmaktadır. Mobil radyo ortamlarında SS modülasyonu kullanmanın getirdiği bazı avantajlar vardır; en önemli neden girişim reddi yeteneğidir. Her bir kullanıcıya benzersiz PN dizisi tayin edildiğinden ve bunların diğer kullanıcıların kodları ile

yaklaşık ortogonal olduklarından, hepsi aynı spektrumu paylaşıyorlar bile alıcı tarafından rahatlıkla ayrılabilirler. SS sistemleri, MAI (Multiple Access Interference) ortamlarında bantgenişliği kullanımını verimli hale getirmektedir. Bu bölümde SS sistemi özellikleri anlatılmış, bu sistemi kullanan CDMA teknolojisi protokolleri incelenmiştir. FH-(Frequency Hopping), TH-(Time Hopping), DS-(Direct Sequence) ve Karma CDMA protokollerinden bahsedilmiştir. Son olarak da CDMA hücre kapasitesinin nasıl hesaplandığı ve kullanıcı sayısını etkileyen faktörlerin neler olduğu sunulmuş ve faktörlerin farklı değerleri için kapasitenin nasıl değişim gösterdiği irdelenmiştir.

"IS-95 CDMA sisteminin incelenmesi" başlığı ile Bölüm 4'de, mobil sistemlerde CDMA'nın kullanıldığı ilk standart IS-95, ele alınmıştır. IS-95 hava arabirimi özellikleri verilip, UL (Uplink-Mobil'den Baz İstasyonuna doğru) ve DL (Downlink – Baz İstasyonundan Mobil birime doğru) kanal yapıları, bunların ihtiva ettiği çeşitli fonksiyonel blokların özellikleri açıklanmıştır. Daha sonra bu blokların MATLAB ile simülasyonu yapılmıştır. IS-95'de aktarma teknikleri (kesintili ve kesintisiz aktarma) ve Hata-Okumura Modeli ile aktarma analizi yapılmıştır.

Bölüm 5'de Üçüncü Nesil Mobil Haberleşme Sistemleri ele alınmış, 3G sistemlerinin bundan önceki mobil sistemlerle birlikte gelişim çizgisi çıkarılmış, hangi kuruluşların hangi isimle IMT-2000 projesini destekleyen standartlar sunduğu ve standartların kısa özeti verilmiştir. Daha sonra IMT-2000 uygulamaları (telsiz video, mobil internet) tanıtılmıştır. 3G sistemlerin, değişik ülkelerde hangi frekans bantlarını kullanacağı verilmiş ve WRC2000 konferansında açıklanan frekans tahsisi planı değerlendirilmiştir.

Bölüm 6'da, Avrupa'da kullanılacak 3G sistemi, UMTS incelenmiştir. UMTS hava arabirimi UTRA'nın protokol mimarisi, şebekede kullanılan birimleri, FDD (Frequency Division Duplex) için fiziksel katman özellikleri verilmiştir. UTRA protokolünde kullanılması düşünülen kodlama türleri, spektrum yayma metodları, gizlilik için kullanılan karıştırma kodları, modülasyon, kanal çeşitleri ve fonksiyonları UL ve DL için ayrı ayrı incelenmiştir.

Bölüm 7'de IS-95 CDMA sistemi DL bağlantısında alıcı ve vericide kullanılan fonksiyonel blokların MATLAB programı ile karşılıkları verilerek bir DL bağlantısı simülasyonu yapılmış, BER performansı çıkartılmıştır. İkinci olarak, konvolüsyon kodlamasının AWGN ve Rayleigh kanallar için BER değişimi gösterilmiş, kodlamanın yapılmadığı sadece direkt yaymanın kullanıldığı bir sistemle de kıyaslanması yapılmıştır. Tüm bu değerlendirmelerde mobil kanal simülasyonu için 3-çokluyol Rayleigh modeli kullanılmıştır; bunun sayesinde mobil hızının değişiminin BER'de nasıl bir değişime yol açabileceği de gösterilmiştir. Bir diğer performans değerlendirmesi de aynı hücrede diğer kullanıcılardan kaynaklanan girişimlerinin etkisi ölçülerek yapılmıştır.



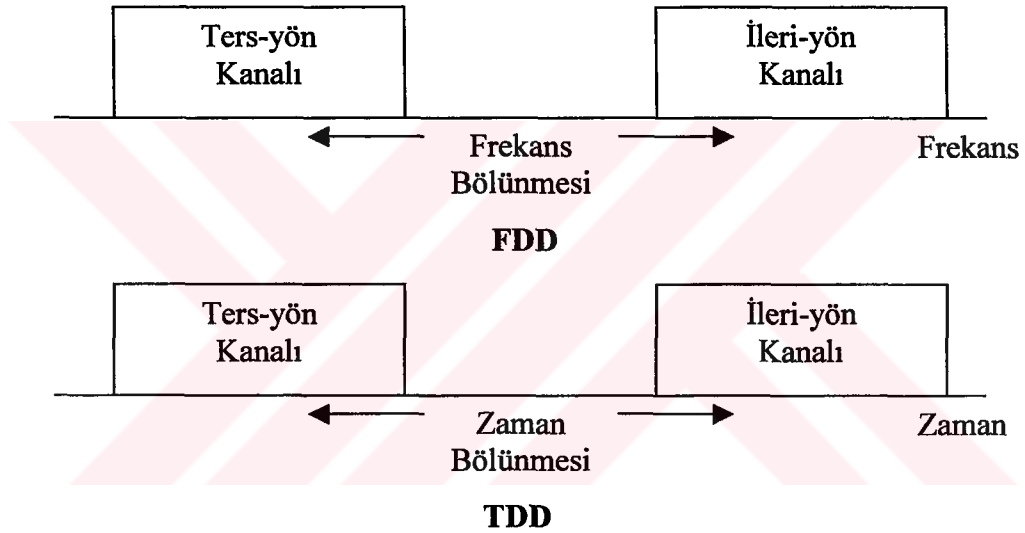
2. MOBİL HABERLEŞMESİNDE KULLANILAN ÇOKLU ERİŞİM TEKNİKLERİ

Telsiz Haberleşme sistemlerinde, telli sistemlerde olmayan bazı yeni problemlerle karşılaşmıştır. Bunlardan biri, birden fazla kullanıcının ortak haberleşme kanalını paylaşması nedeniyle oluşan problemdir. Şayet aynı anda birçok kullanıcı iletim yapmak isterse, bu bir kargaşaya neden olmaktadır; bunun önlenmesi için mevcut kanal kapasitesinin kullanıcılara nasıl tahsis edileceğini belirleyen bir düzenlemenin yapılması şart olmuştur. Bu düzenlemeler, her kullanıcının ortak kanala erişiminde izleyeceği çoklu erişim protokol kurallarını içermektedir. 1970 yılında Hawaii Üniversitesinde geliştirilen ilk çoklu erişim protokolünden (ALOHA) sonra birçok yeni protokoller oluşturulmuştur. Bunlardan birtanesi de büyük bir ilgi uyandıran CDMA (Code Division Multiple Access) protokolüdür. Bu ilginin başlıca nedeni, veri kaynağından iletilecek yere kadar işaretin izleyebileceği farklı birçok yoldan kaynaklanan zayıflama olayını azaltmak için CDMA protokolünün getirdiği çözümlerin avantajıdır. Bina içi telsiz sistemlerdeki kanal, çoklu-yol zayıflama kanalına güzel bir örnektir.

Her hangi bir çoklu erişim protokolünün sahip olması gereken özellikleri şu şekilde sıralamak mümkün:

- Sistemdeki kullanıcılara, ortak iletim kanalının paylaşılmasını sağlamak. Protokol, kullanıcıların kanala erişimde kurallara itaat edip etmediklerinin kontrolünü yapmalıdır. Kanal kapasitesinin kullanıcılara tahsisinin kontrolü protokolün sorumluluğunda olmalıdır.
- Protokol, iletim olanaklarının verimli kullanılmasını sağlayarak bunları tahsis etme işlemini yapmalıdır. Verimlilik yoğunlukla, kanal net çıkış verimi ve iletimde gecikmeyle ölçülür.
- Protokol farklı trafik tiplerine (örneğin ; ses veya veri) imkan verecek esneklikte olmalı.

Telsiz haberleşme sistemlerinde kullanıcının baz istasyonundan bilgi alırken aynı anda bilgi de göndermesine izin verilmesi sıklıkla arzu edilen birşeydir. Standart telefon sistemlerinde aynı anda konuşmak ve dinlemek mümkündür, bu etkiye çift-yönlü haberleşme denmektedir, bu telsiz telefon sistemlerinde de istenilen bir özelliktir. Çift-yönlü haberleşme frekans veya zaman domeni kullanılarak yapılabilir. FDD (Frequency Division Duplex), her bir kullanıcı için iki ayrı frekans bandı sağlar. İleri-yön bandı baz istasyonundan mobil birime trafik sağlarken, geri-yön bandı mobil birimden baz istasyonuna trafik sağlamaktadır. TDD (Time Division Duplex), ileri- ve geri-yön bağlantılarını sağlamak için frekans yerine zamanı kullanır. Şekil 2.1'de FDD ve TDD teknikleri gösterilmiştir. TDD tek bir kanalda haberleşmeye izin verir ve kullanıcı cihazının daha basit olmasını sağlar (duplexer'a gerek duyulmaz).



Şekil 2.1 FDD ve TDD modlarında frekans ve zaman bölünmesi [16]

2.1 Çoklu Erişim Teknikleri

FDMA (Frequency Division Multiple Access), TDMA (Time Division Multiple Access) ve CDMA (Code Division Multiple Access) telsiz haberleşme sisteminde, mevcut bantgenişliğini paylaşmak için kullanılan üç ana erişim teknikleridir. Bu teknikler, mevcut bantgenişliğinin kullanıcılara nasıl tahsis edildiğine bağlı olarak darbant ve genişbant sistemler olarak gruplandırılabilir. Darbant MA (Multiple Access – Çoklu Erişim) sistemlerinde mevcut radyo spektrumu çok sayıda darbant kanallara bölünmektedir. Kananlar genellikle FDD kullanılarak çalıştırılmaktadır. Darbant FDMA'de kullanıcıya, çevresindeki diğer kullanıcılar tarafından paylaşılmayan belirli bir kanal tahsis edilir; şayet FDD (her bir kanalın ileri- ve ters-

yön bağlantısı var) kullanılırsa bu sisteme FDMA/FDD denilir. Darbant TDMA kullanıcıların aynı kanalı paylaşmasına izin verir; fakat herbir kullanıcıya kanalda çevrimsel yöntemle benzersiz bir zaman dilimi tahsis eder, böylece az sayıdaki kullanıcıları zamanda tek bir kanalda ayırır. Darbant TDMA için, genelde FDD veya TDD kullanılarak tahsis edilen çok sayıda kanal vardır ve her bir kanal da TDMA kullanılarak paylaşılır. Butür sistemlere TDMA/FDD veya TDMA/TDD denilir. Genişbant MA sistemlerinde, kullanıcının spektrumun geniş bir kısmında iletim yapmasına izin verilir. Ayrıca çok sayıda vericinin aynı kanalda iletim yapmasında izin verilir. TDMA aynı kanal üzerinde birçok vericiye zaman dilimleri tahsis eder ve herhangi bir zaman anında sadece bir vericinin kanala erişmesine izin verir, SS (Spread Spectrum) CDMA ise tüm kullanıcıların aynı anda kanala erişmesine imkan sağlamaktadır. TDMA ve CDMA sistemleri FDD veya TDD çoğullama tekniklerini kullanabilirler. FDMA, TDMA ve CDMA'e ilaveten üç MA düzeneğinde telsiz haberleşme için kullanılmaktadır. Bunlar OFDM, PR (Packet Radio) ve SDMA (Space Division Multiple Access)'dir. Tablo 2.1 değişik telsiz haberleşme sistemlerinde kullanılan MA tekniklerini göstermektedir.

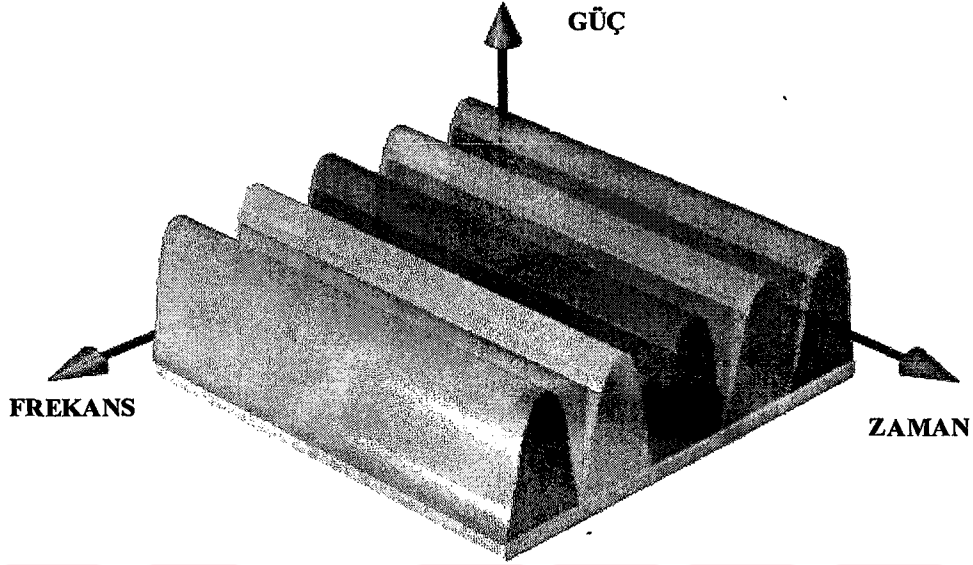
Tablo 2.1 Hücresel mobil sistemlerde kullanılan çoklu erişim teknikleri [16]

Hücresel Sistem	MA Tekniği
AMPS	FDMA/FDD
GSM	TDMA/FDD
USDC (U.S. Digital Cellular)	TDMA/FDD
JDC (Japanese Digital Cellular)	TDMA/FDD
CT2 (Cordless Telephone)	FDMA/TDD
DECT	FDMA/TDD
IS-95	CDMA/FDD

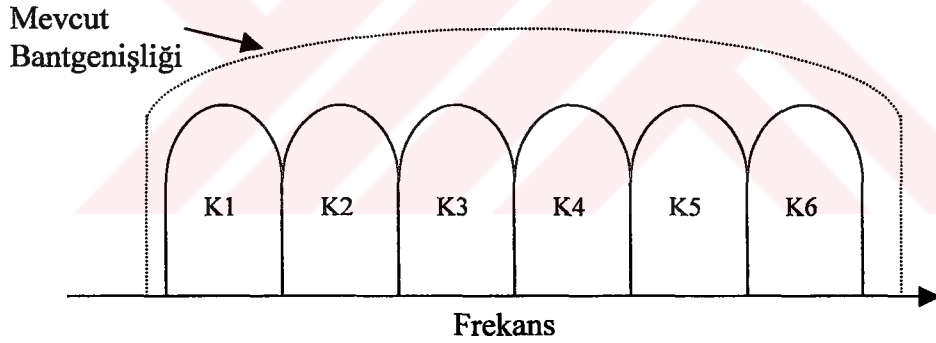
2.2 FDMA

FDMA'de mevcut bantgenişliği çok sayıda daha dar bandlı kanallara bölünür. Herbir kullanıcıya, üzerinde hem iletim hemde alma yapacağı benzersiz bir frekans bandı tahsis edilir. Çağırma esnasında diğer kullanıcılar aynı frekans bandını kullanamaz. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi, herbir kullanıcıya benzersiz bir frekans bandı veya

kanalı tahsis edilmiştir. Şeil 2.3'de de mevcut bantgenişliğinin darbant kanallara bölündüğü FDMA spektrumu gösterilmektedir.



Şekil 2.2 FDMA'de kanalların farklı frekans bantlarına tahsisi [31]



Şekil 2.3 Darbant kanallarına ayrılmış bantgenişliğini gösteren FDMA Spektrumu

FDMA'im bazı özelliklerini şöyle sıralayabiliriz:

- FDMA kanalı aynı anda bir tane telefon kanalı taşıyabilir;
- Bir FDMA kanalı kullanılmıyorsa, boş bekler ve başka bir kullanıcı tarafından kullanılamaz, buda kaynak kaybıdır;
- FDMA kanallarının bantgenişlikleri dardır, buda FDMA'in darbant sistemlerde kullanılmasını gerektirir;

- FDMA mobil birimi duplexer kullanır, çünkü hem verici hemde alıcı aynı zamanda çalışıyordur. Bu da abone birimlerinin ve baz istasyonlarının maliyetini yükseltir.

İlk U.S analog hücresel sistemi FDMA/FDD'ye dayanan AMPS'di. Tek bir kullanıcı, çağırma işlenirken tek bir kanalı işgal eder. AMPS'de taşıyıcıyı module etmek için NBFM (Narrowband Frequency Modulation) kullanılmaktadır. Bir FDMA sisteminde eşzamanlı olarak desteklenebilen kanalların sayısı (2.1) eşitliği ile hesaplanır [16].

$$N = \frac{B_t - 2B_{\text{guard}}}{B_c} \quad (2.1)$$

B_t : toplam spektrum

B_{guard} : tahsis edilmiş spektrumun sınırlarındaki koruma bandı

B_c : kanal bantgenişliği

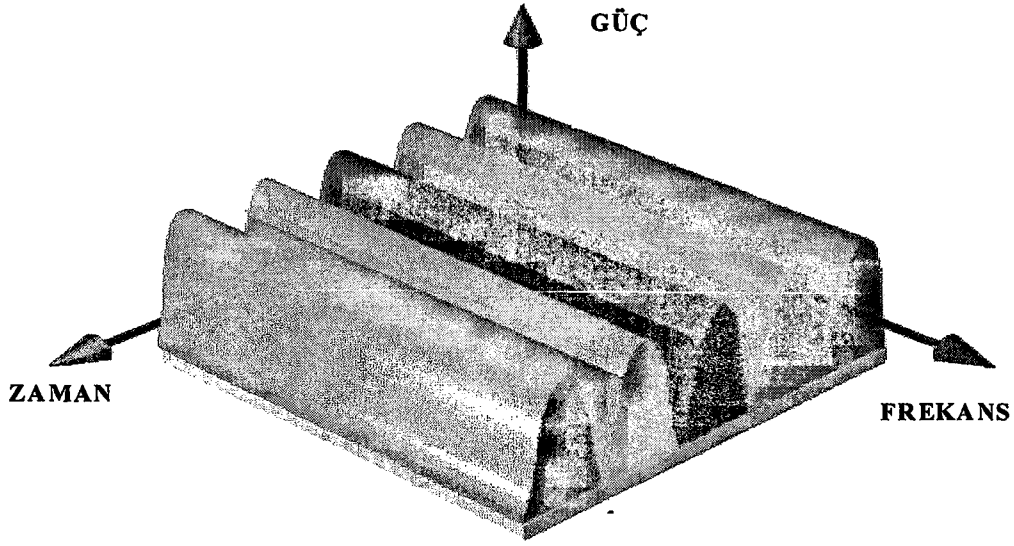
Örneğin; $B_t = 12.5$ MHz, $B_{\text{guard}} = 10$ kHz ve $B_c = 30$ kHz olduğu durumdaki bir FDMA sisteminde mevcut olabilecek kanal sayısı (2.1) eşitliği yardımıyla hesaplanırsa 416 çıkacaktır. A.B.D.'de her bir hücresel taşıyıcıya 416 kanal tahsis edilir.

2.3 TDMA

TDMA sistemleri, radyo spektrumunu zaman dilimlerine böler ve her bir zaman diliminde de sadece bir kullanıcının iletim veya alma yapmasına izin verir. Şekil 2.4'de görüldüğü gibi her kullanıcı çevrimsel tekrarlanan zaman dilimini işgal eder. TDMA sistemlerinde FDMA'den farklı olarak herhangi bir kullanıcının iletimi sürekli değildir.

TDMA'nın bazı özellikleri şöyle sıralanabilir:

- TDMA tek bir taşıyıcı frekansını birçok kullanıcı ile paylaşır, bu kullanıcıların herbiri de, birbiri ile çakışmayan zaman dilimlerini kullanırlar. Çerçeve başına zaman dilimi sayısı birçok faktöre bağlıdır; örneğin modülasyon tekniği, mevcut bantgenişliği v.s.
- TDMA'nın sürekli olmayan iletiminden dolayı, aktarma işlemi kullanıcı birimi için daha basittir, çünkü boş zaman dilimlerinde diğer baz istasyonlarını dinlemek mümkün olur.



Şekil 2.4 Herbir kanalın farklı zaman dilimini işgal ettiği TDMA spektrumu [31]

- TDMA'in sürekli olmayan iletiminden dolayı, aktarma işlemi kullanıcı birimi için daha basittir, çünkü boş zaman dilimlerinde diğer baz istasyonlarını dinlemek mümkün olur.
- TDMA alma ve verme için farklı zaman dilimlerini kullanır, böylece duplex'e ihtiyaç yoktur.

TDMA sisteminde sağlanabilen TDMA kanal dilimleri sayısı (2.2) eşitliği ile hesaplanabilir [16]:

$$N = \frac{m(B_t - 2B_{\text{guard}})}{B_c} \quad (2.2)$$

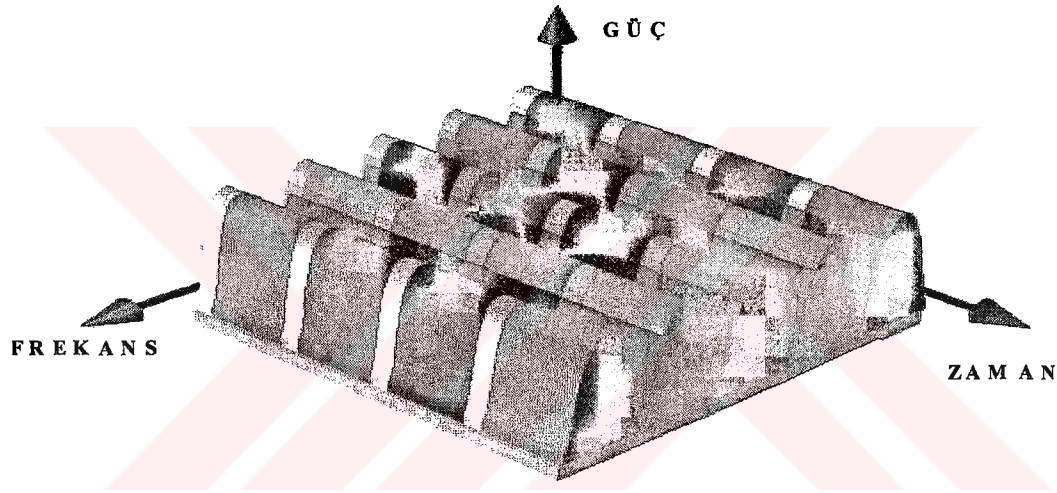
m : herbir radyo kanalında desteklenen maksimum TDMA kullanıcı sayısı

TDMA/FDD sisteminde ileri-yön bağlantı için 200 kHz'lik radyo kanallarına ayrılmış 25 MHz'i kullanan bir GSM sistemini düşünelim. Tekbir radyo kanalında 8 ses kanalı destekleniyorsa ve koruma bandı düşünülmemişse eşzamanlı kullanıcı sayısı (2.2) eşitliği kullanılarak;

$$N = \frac{25 \text{ MHz}}{(200 \text{ kHz}) / 8} = 1000$$

bulunur. Böylece, GSM 1000 eşzamanlı kullanıcıyı sağlayabilir.

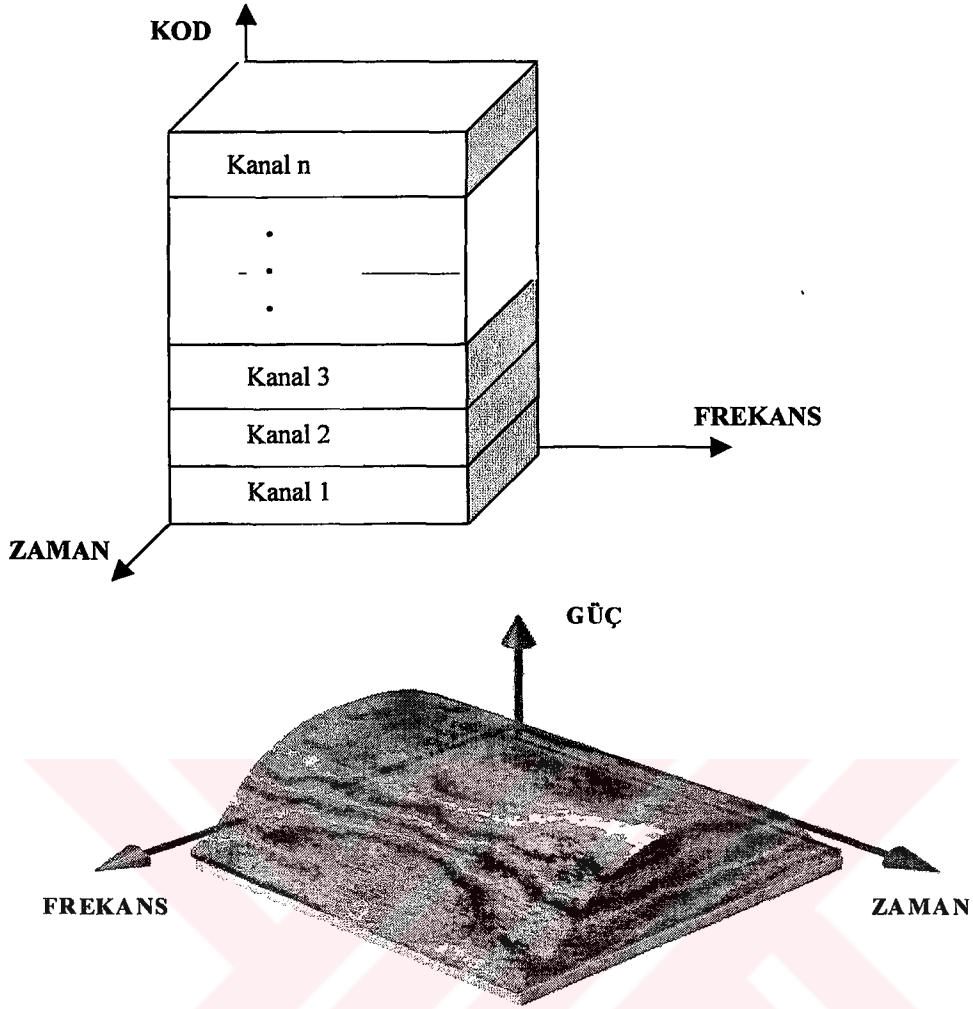
TDMA çoğunlukla FDMA ile birlikte kullanılarak mevcut bandgenişliğini kanallara böler. Bu, düşük veri hızının kullanılmasına izin vererek kanal başına kullanıcı sayısını azaltır. Böylece iletimde gecikmenin etkiside azaltılmış olur. FDMA'in kullanıldığı her bir kanal, TDMA kullanılarak tekrar bölünür, bir kanaldan böylece birçok kullanıcı iletim yapabilir. Bu tip iletim tekniği çoğu sayısal ikinci nesil mobil telefon sistemlerinde kullanılır. GSM için, FDMA kullanılarak 25 MHz'lik toplam bandgenişliği 125, 200 KHz'lik kanallara bölünür. Bu kanallar daha sonra TDMA kullanılarak birkez daha bölünürler ve böylece 200KHz'lik kanal 8-16 kullanıcıya izin verir. Şeki 2.5 ile FDMA ile TDMA tekniklerinin ortak kullanılmasıyla bantgenişliğinin frekans kanallarına ve zaman dilimlerine nasıl bölündüğü gösterilmektedir.



Şekil 2.5 TDMA/FDMA karma sistemi [31]

2.4 CDMA

CDMA bir SS (Spread Spectrum) tekniğidir. CDMA'de darbant mesajı (sayısallaştırılmış ses verisi), PN (Pseudo Noise) kodu olan büyük bantgenişliğine sahip bir işaretle çarpılır. CDMA sistemindeki bütün kullanıcılar Şekil 2.6'da da görüldüğü gibi aynı taşıyıcı frekansını kullanır ve eş zamanlı olarak iletilebilir. Her kullanıcının kendisine ait PN kod kelimesi vardır ve bu diğer kod kelimeleri ile ortogoneldir. Alıcı zaman korelasyon işlemini uygulayarak sadece istenilen kod kelimesinin sezilmesini gerçekleştirir. Diğer tüm kod kelimeleri de korelasyona bağlı olarak gürültü olarak oluşur. Mesaj işaretinin sezilmesi için alıcının verici tarafından kullanılan kod kelimesini bilmesi gerekmektedir.

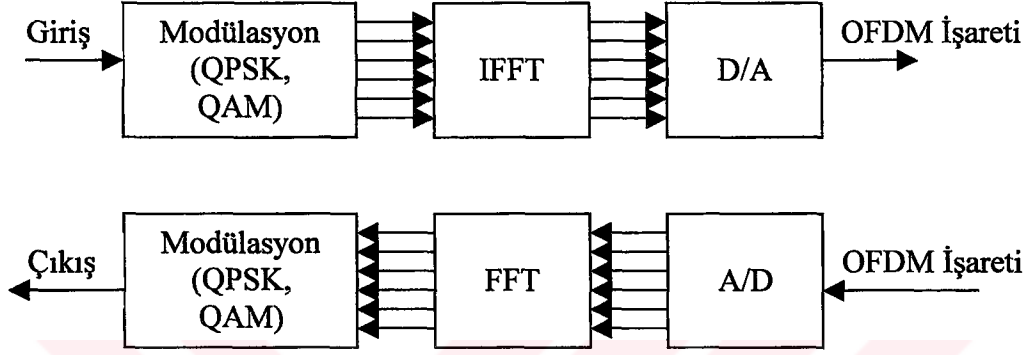


Şekil 2.6 CDMA spektrumu [13,31]

2.5 OFDM

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), bir çoklu-taşıyıcı iletim tekniğidir. Mevcut bantgenişliğini, herbiri düşük hızlı veri demeti ile modüle edilen çok sayıda taşıyıcıya böler. OFDM, FDMA'de olduğu gibi mevcut bantgenişliğini kanallara bölerek çok sayıda kullanıcı erişimini sağlayabilmektedir. OFDM, kanalları birbirlerine daha yakın yerleştirebildiğinden spektrumu verimli kullanmaktadır. Bu, tüm taşıyıcıların birbirlerine ortogonal yapılarak ve birbirlerine çok yakın yerleştirilmiş taşıyıcılar arasındaki girişim önlenerek gerçekleştirilmektedir. COFDM (Coded OFDM), OFDM'e benzerdir; sadece COFDM'de iletimden önce işarete FEC (Forward Error Correction) uygulanır. OFDM işaretini başarılı bir şekilde üretmek için, taşıyıcıların ortogonalliğini korumak amacıyla tüm taşıyıcılar arasındaki ilişki

kontrol edilmelidir. İlk olarak, modülasyon modeline ve giriş verisine bağlı olarak gereksinim duyulan spektrum seçilir. Herbir taşıyıcıya iletmek için veri tahsis edilir. Taşıyıcının genliği ve fazı modülasyon modeline (genellikle diferansiyel BPSK, QPSK veya QAM) göre hesaplanır. Daha sonra, spektrum zaman domeni işaretime geri çevrilir, bunun için IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) kullanılır. IFFT, taşıyıcı işaretlerinin ortogonal olmasını sağlar. Basit bir OFDM verici ve alıcı sistemi Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 OFDM verici ve alıcısı [31]

OFDM'in avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- 1) Kanal eşitleme gereksiniminin ortadan kalkması (verici tasarımında düşük karmaşıklık)
- 2) herbir alt kanallarda düşük veri hızı (vericide düşük karmaşıklık)
- 3) herbir alt kanaldaki işaretlerin sadece ortogonal olması gerekir (spektral verimin artışı)
- 4) Frekans seçmeli kanal için ideal bir yöntem

OFDM'in en önemli dezavantajı, yüksek tepe-ortalama güç oranına sahip olmasıdır. Bu da güç verimini düşürmektedir. OFDM işaretindeki herbir taşıyıcı, dar bandgenişliğine (1 kHz) sahip olduğundan, sembol hızı düşüktür. Bu da OFDM'in, zamanla-değişen fading'e çok duyarlı olmasına neden olmaktadır.

3. YAYILMIŞ SPEKTRUM HABERLEŞMESİ VE CDMA

CDMA protokolleri, çoklu erişim özelliğini kodlama yardımıyla gerçekleştiren protokol sınıflarını ihtiva etmektedir. Her kullanıcıya, taşınan bilgi işaretinin kodlanmasında kullanılan benzersiz bir kod dizisi verilir. Kullanıcının kod sırasını bilen alıcı, işaretin alınmasından sonra kodu çözer ve orijinal işareti tekrar oluşturur. Kod işaretinin bantgenişliği taşınan bilgi işaretinin bantgenişliğinden daha büyük seçildiğinden, kodlama işlemi işaretin spektrumunu yayar, bundan dolayı yayılmış-spektrum (SS - spread-spectrum) modülasyonu adı ile de bilinmektedir. Sonuçta oluşturulan kodlanmış işarete SS işareti de denilmekte ve CDMA protokolleri SSMA (Spread Spectrum Multiple Access) protokolleri olarak ifade edilmektedir. Bu bölümde SS ve CDMA teknolojilerinin detayları anlatılacaktır.

3.1 Yayılmış Spektrum (SS)

CDMA teknolojisini anlamak için spektrum ve spektrum yayılması kavramlarını açıklamamız gerekmektedir. Spektrum, temelbant işaretle ilişkili güç spektrumunu işaret etmekte; yayılmış spektrum ise temelbant işareti güç spektrumunun verilen bantgenişliği boyunca yayılması anlamına gelmektedir. Aşağıda sınır değerleri ile verilen basit bir kare dalgayı ele alalım:

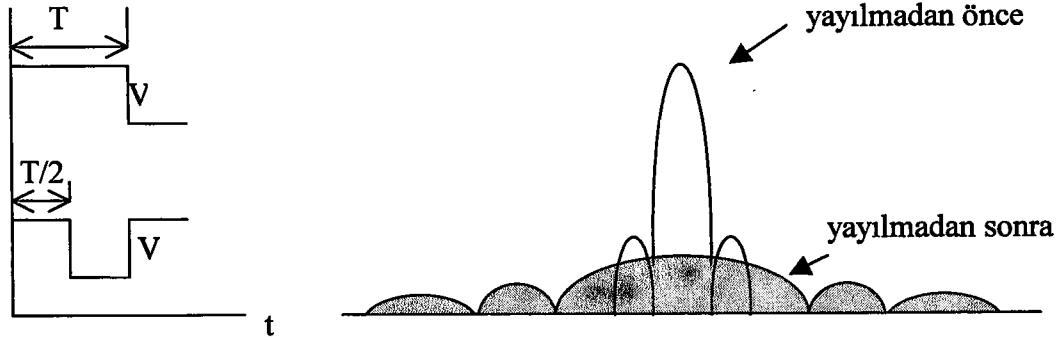
$$V(t) = V \quad -T/2 < t < T/2$$

$$V(t) = 0 \quad \text{dışında}$$

Bu işaretin frekans ve güç spektrumunu belirlemek için Fourier Dönüşümü uygulanır:

$$\begin{aligned} S(\omega) &= \int_{-T/2}^{T/2} (V e^{-j\omega t}) dt \\ &= (2V/\omega) \sin(\omega T/2) \\ &= VT \left[\frac{\sin(\omega T/2)}{\omega T/2} \right] \end{aligned}$$

Sonuç olarak kare darbe işareti sonsuz sayıda farklı genliklere sahip harmonik sinusoidal dalgardan oluştuğu gösterilir. Şekil 3.1'de bu işaret harmonik birleşenleri ile gösterilmektedir. Güçün büyük bir kısmı, bantgenişliği $1/T$ olan ana lobdadır (T bit süresidir).



Şekil 3.1 Yayılmadan önce ve sonraki kare darbe güç spektrumu [28]

Spektrum yayması, ayrık zaman işaretinin frekansını yükselterek başarılabilir. V genlikli ve f frekanslı bir darbe şeklini düşünelim, daha sonra aynı darbe şeklinin frekansını örneğin n faktörü ile yükseltelim. T şimdi n ile düşürülmüştür. Bu darbe şeklini tarif eden ifade :

$$\begin{aligned} V(t) &= V & -T/(2n) < t < T/(2n) \\ V(t) &= 0 & \text{dışında} \end{aligned}$$

Fourier Dönüşümü uygulanırsa, aşağıdaki spektral birleşenler elde edilir:

$$\begin{aligned} S(\omega) &= \int_{-T/2n}^{T/2n} (V e^{-j\omega t}) dt \\ &= VT \left[\frac{\sin(\omega T/2n)}{\omega T/2n} \right] \end{aligned}$$

Şekil 3.1'de $n=1$ ve $n=2$ için güç spektrumu gösterilmiştir. Yayılma sonucunda işaretin enerjisi değişmez. İşaretin enerjisi güç spektral yoğunluğu eğrisinin altında kalan alan olduğundan, yüksek bantgenişliğine sahip olmak eğrinin genliğinin azalması anlamına gelir. Bu işlem SS olarak bilinir ve işlem kazancı sonucunu doğurur:

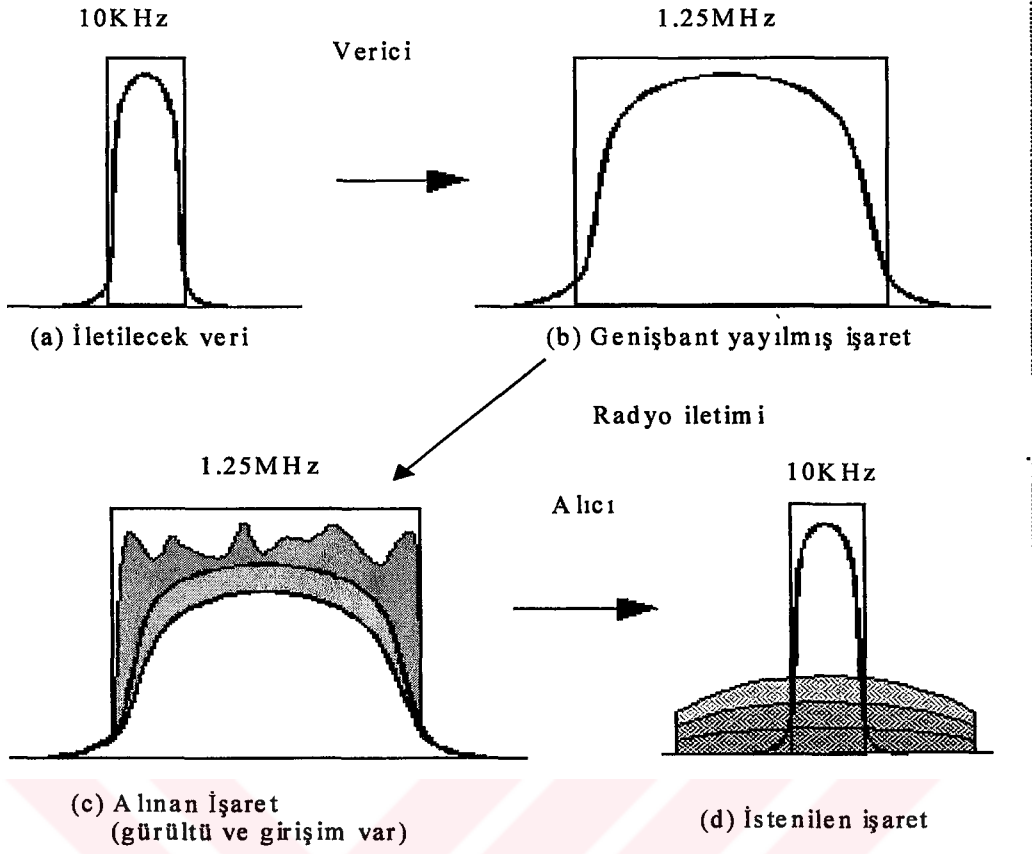
$$G_s = 10 \log\left(\frac{B_t}{B_i}\right) \quad (3.1)$$

G_s işlem kazancını, B_t iletim bantgenişliğini, B_i de taşınacak bilginin bantgenişliğini ifade etmektedir. Örneğin; $B_t = 30$ kHz, $B_i = 10$ kHz ise $G_s = 10\log(30/10) = 4.77$ dB bulunur. Şayet bantgenişliğini 1.25 MHz'e yükseltirsek, işlem kazancı $G_s = 10\log(1250000/10) = 20.97$ dB olacaktır. İşareti diğer kullanıcıların girişimlerine karşı daha kuvvetli yaparak, yaymadan dolayı SNR geliştirilmiştir. Bu CDMA için çok önemlidir; çünkü hücredeki diğer kullanıcılar bir kullanıcı için girişimdir. İletilen işaretin spektral yayılması CDMA'e çoklu erişim yeteneğini getirmektedir. Bu yüzden SS işaretlerinin üretilmesi için gerekli teknikleri ve bu işaretlerin özelliklerini bilmek önemlidir. Bir SS modülasyon tekniği şu iki kriteri yerine getirmek zorundadır:

- İletim bantgenişliği bilgi bantgenişliğinden çok daha büyük olmalıdır:
- Sonuçta elde edilen RF bantgenişliği, gönderilen bilgininkinden farklı bir fonksiyonla belirlenir (böylece bantgenişliği bilgi işaretinden istatistiksel bağımsız olur). Bu FM (Frequency Modulation) ve PM (Phase Modulation) gibi modülasyon tekniklerini dışarda bırakır.

Bu şekilde SS modülasyonu, taşınacak bilgi işaretini daha büyük bantgenişliğine sahip bir işarete dönüştürür. Bu dönüştürme, bilgi işaretini veri işaretinden daha geniş spektruma sahip ve veriden bağımsız kod işareti ile kodlayarak yapılmaktadır. Orijinal işaret gücü daha geniş bantgenişliğine yayılır, böylece daha düşük güç yoğunluğu elde edilir.

Şekil 3.2'de CDMA iletim süreci gösterilmiştir. İletilecek veri(a) iletimden önce PN(pseudo noise) kodu ile modüle edilerek spektruma yayılması sağlanır(b). Bu örnekte işlem kazancı 125 olmuştur. Şekil 3.2c'de alınan işaret gösterilmiştir. Bu işarete istenen işaret, artalan gürültü ve diğer CDMA kullanıcılarından veya radyo kaynaklarından kaynaklanan girişimler bulunmaktadır. Alınan işaret orijinal kod ile çarpılır, bu işlem alınan işaretin orijinal iletilen veriye dönüşmesine neden olur. Şekil 3.2d'de gösterildiği üzere istenen işaret filtrelenerek girişim ve gürültü işaretlerinden kurtatılır.

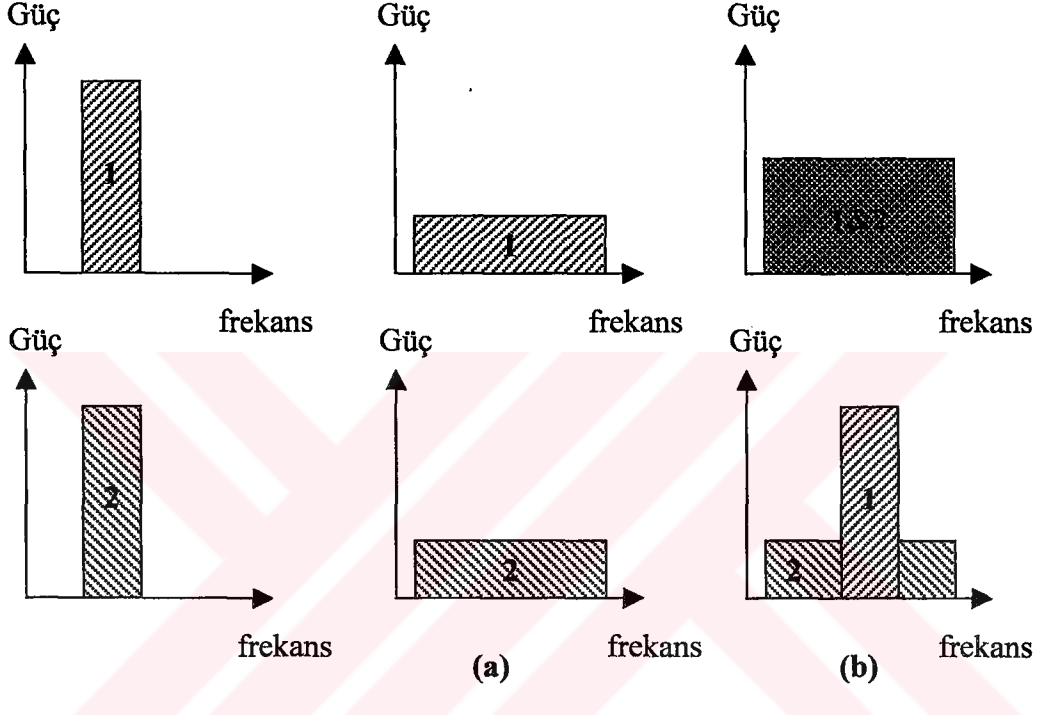


Şekil 3.2 CDMA İletimi [31]

Kodlama ve sonuçta genişletilmiş bantgenişliğinden dolayı, SS işaretleri, darbant işaretlerin özelliklerinden kendilerini ayıran çok sayıda özelliğe sahiptirler. Haberleşme sistemleri açısından en önemli olanları aşağıda açıklanmıştır.

1. **Çoklu Erişim Yeteneği:** Birçok kullanıcı aynı anda SS işareti iletirse, alıcı kullandıkları benzersiz kodlar vasıtasıyla kullanıcıları birbirinden ayırt edebilir. Belirli bir kullanıcının kod işareti ile alınan işaretin ilişkilendirilmesi sadece bu kullanıcının işaretinin yayılma durumundan kurtarılmasına neden olurken diğer SS işaretleri bu geniş bantgenişliği içinde yayılmış olarak kalmaya devam edeceklerdir. Böylece, bilgi bantgenişliği içinde istenilen işaretin gücü diğer girişimdeki işaretlerin gücünden daha büyük olacak ve istenilen işaret kolaylıkla belli olacaktır. Çoklu erişim yeteneği Şekil 3.3'de gösterilmeye çalışılmıştır. Şekil 3.3a'da iki kullanıcı kendi darbant veri işaretlerinden SS işaretlerini üretirler. Şekil 3.3b'de iki kullanıcı aynı anda SS işaretlerini iletirler. Alıcıda sadece birinci kullanıcının işareti çözülür ve veri tekrar elde edilir.

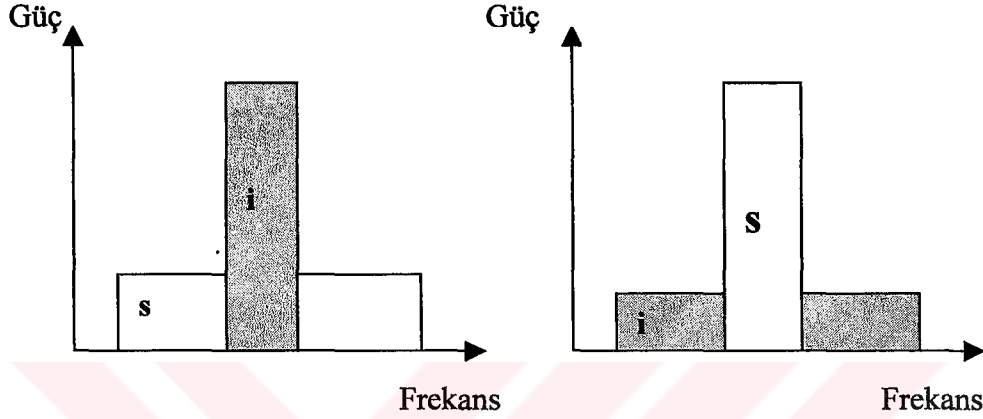
2. Çokluyol girişimlerine karşı koruma: Radyo kanalında verici ile alıcı arasında sadece birtane yol yoktur. Yansıma ve kırılmalar yüzünden işaret farklı birçok yoldan alınacaktır. Farklı yollardan alınan bu işaretler iletilen işaretin bir kopyası olmakla beraber farklı genlik ve faza sahip olmaktadır. Bu işaretleri alıcıda toplamak bazı frekanslarda olumlu olurken bazılarının da ise olumsuz olmaktadır. Bu da zaman domeninde yayılmış bir işarete neden olacaktır. SS modülasyonu bu çoklu girişimle mücadele edebilmektedir.



Şekil 3.3 SSMA gösterimi [1]

3. Gizlilik: İletilen işaret, sadece verici kodu biliyorsa düzeltilip orjinal veri tekrar elde edilebilir.
4. Girişimin reddi: Darbant işaret ile kod işaretinin çapraz-ilişkilendirilmesi, bilgi bantgenişliği içinde girişim gücünü azaltarak darbant işaretin gücünü yayacaktır. Bu şekil 3.4'de gösterilmiştir şöyle ki; alıcı darbant girişim(g) ile beraber bir SS işareti (s) alır, alıcıda SS işareti düzeltilirken girişim işareti yayılır (girişim işareti gürültü olur).

5. Antijamming yeteneği: Bu girişim reddi ile çok benzerdir tek farkla girişim bu sefer sisteme kasten verilmektedir. Bu özellik askeri uygulamalar için çok önemlidir.
6. LPI (Low Probabilty of Interception): Düşük güç yoğunluğundan dolayı SS işaretinin sezilmesi ve düşman dinleyiciler tarafından kesilmesi zordur.

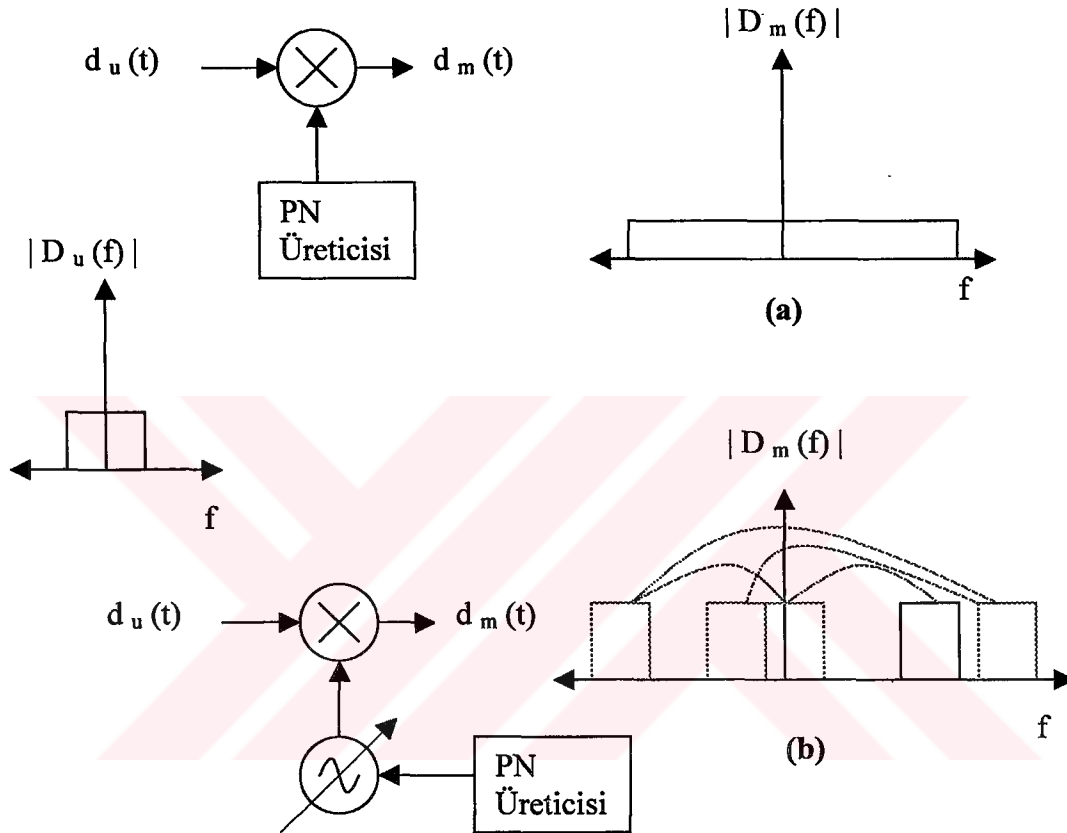


Şekil 3.4 SS iletimde girişim reddi

SS işaretlerini üreten birçok modülasyon tekniği vardır. En önemlileri DS (Direct Sequence) SS, FH (Frequency Hopping) SS, TH (Time Hopping) veya karma modülasyondur. Bu bahsedilen modülasyon teknikleri CDMA (SSMA) protokolleri için istenilen çoklu erişim yeteneğini sağlamak için kullanılacaktır. DSSS 'de, yüksek frekanslı PN dizisi, işareti doğrudan modüle etmek için kullanılır ve sonuçta büyük bantgenişlikli temelbant işaret oluşur (Şekil 3.5a). FHSS'de, PN sırasına bağlı olarak modüle edilen frekans değişmekte böylece işaret kısa bir süre için, diğer bir aralığa sekmeden önce, bir frekans aralığını işgal eder (Şekil 3.5b). PN sırasının tabiatından dolayı DSSS modüle olmuş spektrum, "beyaz" veya spektral olarak düz olur. FHSS olduğunda ise seken frekans bandı genişlemiş spektruma yayılır.

Bantgenişliğinin bu iki yöntemle genişletilmesi, işaretin RF kanlından geçerken şu faydaları sağlayacaktır; spektrum zayıflamalarına karşı direnç, dış girişimler ile çokluyol bozulmalarına karşı direnç, spektrumun tekrar kullanılması ve aynı spektruma eşzamanlı olarak çoklu-kullanıcı erişimi. Darbant zayıflamaları ve girişim işaretleri sadece SS işaretinin küçük bir kısmını bozar. DSSS için çoklu-yol işaretleri

direkt-yol işaretine göre gürültüye benzemektedir ve sadece SNR da önemsiz düşüşlere neden olur. FHSS için ortogonal sekme aynı banttaki diğer kullanıcılar ile girişimi engeller. her iki modülasyonda da benzersiz rastgele kodlara sahip birçok kullanıcı çifti, tekrardan kullanılmasına izin verilen aynı spektrumda eşzamanlı olarak iletişim kurabilirler. Bu nedenlerden dolayı SS modülasyonu veri ve ses haberleşmesinde günümüzde en popüler seçim olmaktadır.



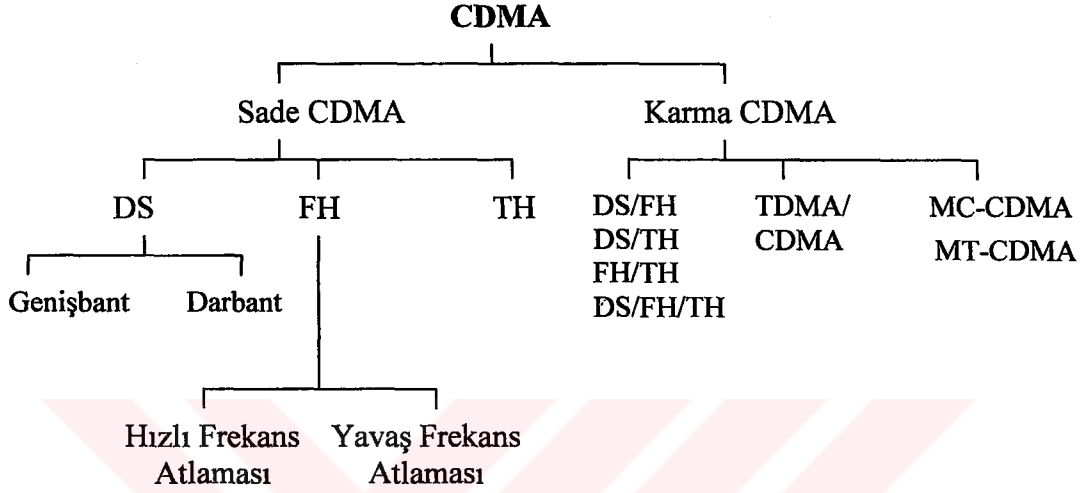
Şekil 3.5 Spektrum Genişlemesi (a) DSSS modülasyonu (b) FHSS modülasyonu

3.2 CDMA Protokolleri

CDMA veya SSMA protokolleri, modülasyon yöntemlerine göre şu şekilde sıralanabilir (Şekil 3.6):

- DS-CDMA : Bilgi, doğrudan yüksek chip hızlarında kod ile çarpılır.
- FH-CDMA : Bilgi işaretinin taşındığı taşıyıcı frekansı kod işaretine bağlı olarak hızla değiştirilir.
- TH-CDMA : Bilgi işareti sürekli olarak iletilmez. Bunun yerine işaret, kod işareti tarafından zamanı belirlenen kısa atımlarla iletilir.

- Karma Modülasyon : Yukarda bahsedilen modülasyon tekniklerinde iki veya üçünün beraber kullanılması ile oluşturulur, böylece bunların avantajları biraraya getirilir veya dezavantajları giderilir.
 - MC-CDMA : MC(Multicarrier)-CDMA'de yayma frekans eksenini boyunca yapılır.
 - MT-CDMA : MT(Multitone)-CDMA'de yayma zaman eksenini boyunca yapılır.
- MC-CDMA ve MT-CDMA, OFDM'e dayanmaktadır.



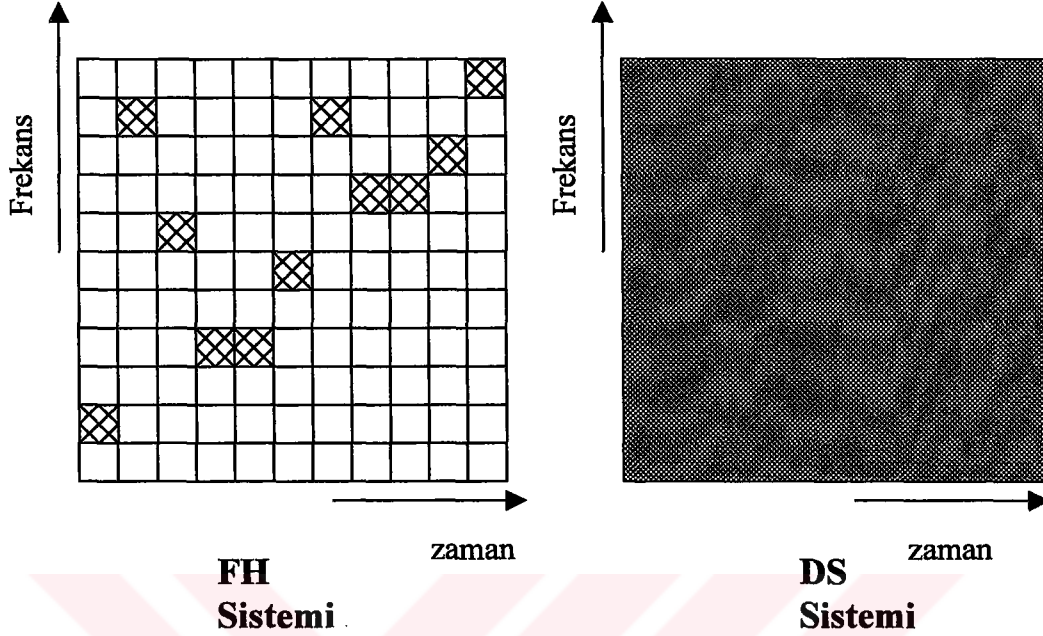
Şekil 3.6 CDMA'nın sınıflandırılması

3.2.1 FH-CDMA

FH CDMA protokollerinde modüle edilmiş bilgi işaretinin taşıyıcı frekansı sabit değildir, periyodik olarak değişmektedir. T zaman aralığı süresince taşıyıcı frekans sabit kalırken, her zaman aralığından sonra taşıyıcı diğer frekansa atlamaktadır, bazende aynı frekansta kalabilmektedir. Bu atlama modeli kod işareti tarafından belirlenir. Taşıyıcının atlayabileceği mevcut frekans kümesine atlama-kümesi adı verilmektedir. FH-SS sisteminin frekans işgali DS-SS sistemininkinden oldukça farklıdır. DS sistemi iletim yaptığında tüm frekans bandını işgal ederken, FH sistem iletim yaparken sadece bantgenişliğinin küçük bir kısmını kullanır, fakat bu kısmın yeri zamanla değişmektedir.

Şekil 3.7'de FH ve DS sistemlerinin frekans kullanımlarındaki fark gösterilmiştir. Birinci zaman periyodu süresince ikinci frekans bandında iletim yapan FH sistemine karşın DS sistemi aynı periyod boyunca işaretinin gücünü tüm frekans bandına yaymıştır böylece ikinci frekans bandında iletilen güç FH sistemindekine oranla çok

daha küçük olmakta. Bununla beraber DS sistemimi bu bandı tüm zaman periyodlarında kullanırken FH sistemi bu bandı sadece zamanın bir kısmında kullanmakta.



Şekil 3.7 FH ve DS sistemlerinde zaman/frekans kullanımı [1]

FH-CDMA protokollerinde taşıyıcının atlama hızına bağlı olarak farklı kavramlar geliştirilmiştir. Atlamaların sayısı veri hızından büyükse hızlı FH(F-FH) CDMA protokollerinden söz edilir. Bu durumda taşıyıcı frekansı bir bitin iletimi esnasında birçok kez değişir, böylece bir bit farklı frekanslarda iletilir. Atlamaların sayısı veri hızından küçükse yavaş FH(S-FH) CDMA protokollerinden söz edilir. Bu durumda birden çok bit aynı frekansta iletilir.

FH-CDMA'in avantaj ve dezavantaj oluşturan özelliklerini sırasıyla verelim. Avantaj sayılacak özellikleri ;

- DS-CDMA'e göre senkronizasyon daha kolaydır. FH-CDMA ile senkronizasyon atlama zamanı içerisinde yapılmalıdır. FH-CDMA daha büyük senkronizasyon hatalarına izin verebilmektedir.
- FH-CDMA bir sakıncalı SS sistemi olduğundan, aynı frekansta aynı andan birden fazla kullanıcının iletim yapması olasılığı düşüktür. Baz istasyonundan uzak olan bir kullanıcı iletim yapıyorsa, yakındaki bir kullanıcıda iletim yapıyor olsa bile baz istasyonu kolaylıkla işaretleri alabilecek. Çünkü bu kullanıcılar büyük bir olasılıkla

farklı frekanslarda iletim yapmaktadırlar. Bundan dolayı yakın-uzak etkisi DS'den daha iyidir.

- Daha geniş bantgenişliği FH sistemleri tarafından kullanıldığından DS sisteminden daha iyi bir darbant girişimi indirgemesi sunmaktadır.

Dezavantaj sayılabilecek özellikleri ise şöyle sıralanabilir;

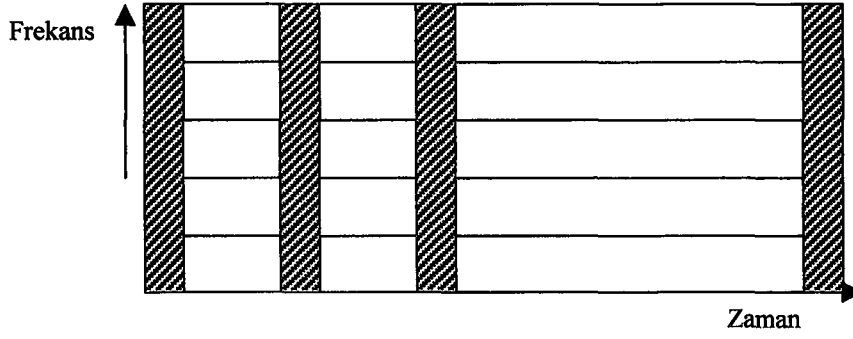
- Karmaşık frekans birleştiricisi gerekmektedir.
- Atlama esnasındaki faz ilişkilerinin korunmasındaki problemler yüzünden uygun demodülasyon zordur.
- Frekans bandının değişmesi esnasındaki işaretin ani değişimleri, kullanılan frekans bandının artmasına neden olmaktadır.

3.2.2 TH-CDMA

TH-CDMA protokollerinde veri işareti, kullanıcıya adanmış kodun belirlediği zaman aralıklarında hızlı atımlarla iletilir. Zaman eksenini çerçevelere, her çerçevede M tane zaman dilimine bölünmüştür. Herbir çerçevede kullanıcı M tane zaman diliminden birtanesinde iletim yapacak. M zaman diliminden hangisinin iletileceği kullanıcıya verilmiş kod işaretine bağlıdır. Kullanıcı tüm verisini M zaman dilimi yerine 1 zaman diliminde ilettiğinden, iletimi için gerekli frekans M faktörü kadar yükselecektir. Şekil 3.8'de ise TH-CDMA sisteminin zaman-frekans kullanımını gösterilmiştir. Şekil 3.7 ile Şekil 3.8'i kıyasladığımızda, TH-CDMA protokolünün tüm genişband spektrumunu, spektrumun bir kısmını zamanın hepsinde kullanmak yerine kısa zaman periyotlarıyla kullandığını görmekteyiz.

TH-CDMA protokolünün bazı avantaj ve dezavantajlarını şöyle sıralayabiliriz;

- FH-CDMA'ye göre gerçeleştirilmesi daha basit.
- TH-CDMA protokollerinde sakınmalı olduğundan yakın-uzak problemi daha azdır.
- Alıcının senkronizasyonu kısa zaman içinde uygulaması gerekmektedir.
- Birden fazla iletim meydana geldiyse birçok veri bitleri kaybolur, bu yüzden iyi bir hata-kontrol kodu gerekmektedir.



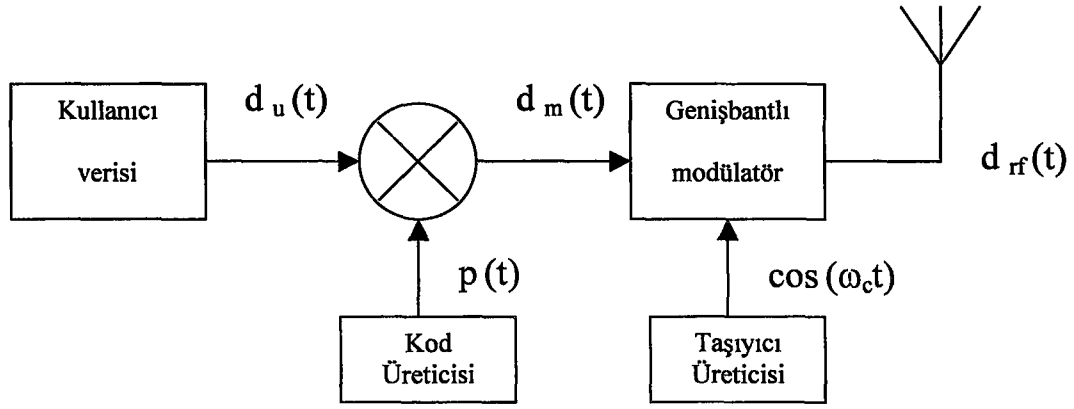
Şekil 3.8 TH-CDMA'im zaman-frekans kullanımı [1]

3.2.3 DS-CDMA

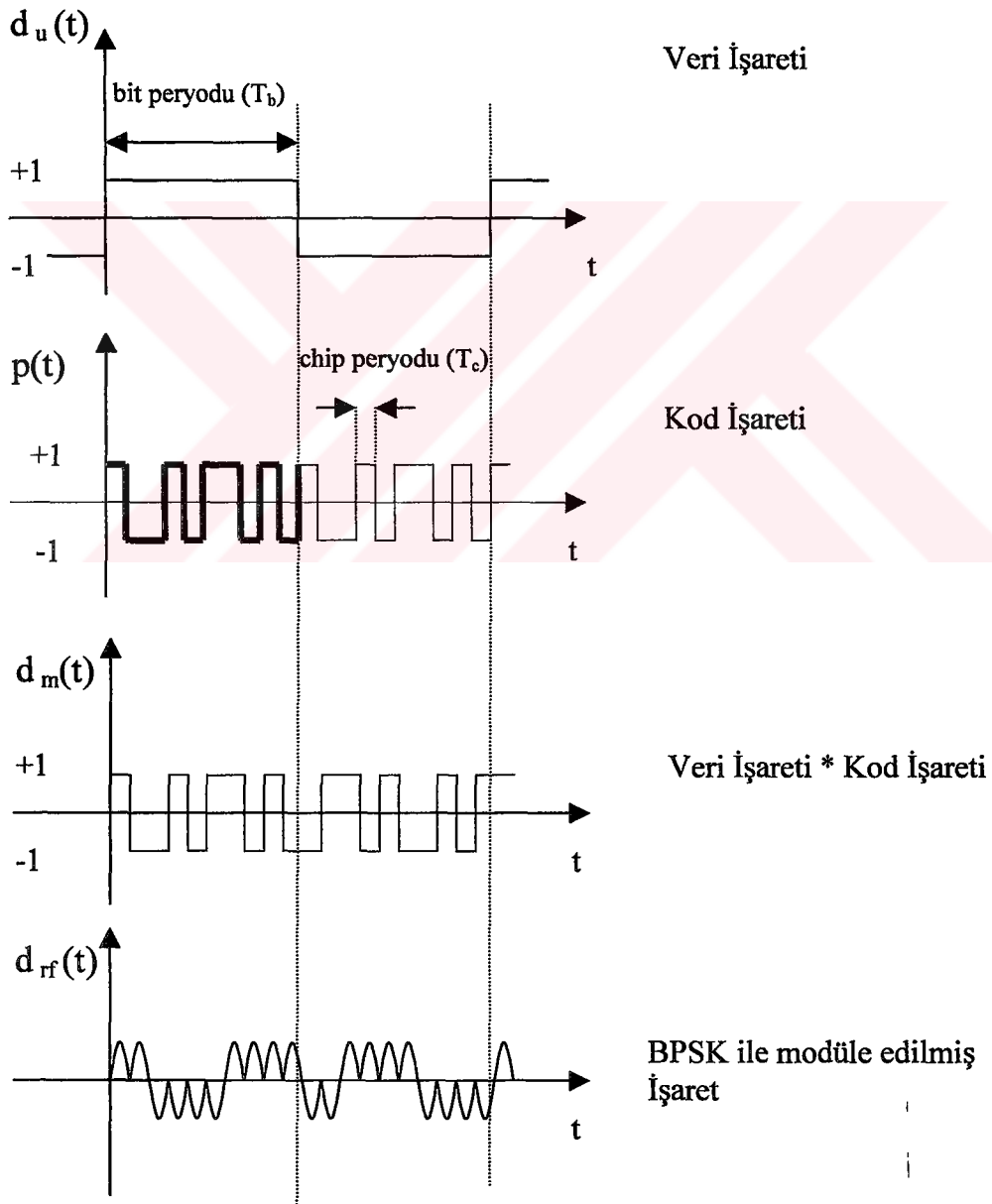
DS-CDMA protokollerinde bilgi(veri) işareti, doğrudan sayısal kod işareti ile modüle edilir. Veri işareti analog veya sayısal işaret olabilir. Çoğu durumda sayısal işarettir. Sayısal işaretin söz konusu olduğu durumlarda, veri modülasyonu yapılmaz, veri işareti doğrudan kod işareti ile çarpılır ve elde edilen işaret genişbant taşıyıcıyı modüle eder. DS-CDMA ismini, bu doğrudan çarpma işleminden almaktadır.

Şekil 3.9'da bir DS-CDMA vericisinin blok diyagramı verilmiştir. İkili veri işareti RF taşıyıcıyı modüle etmektedir. Bu modüle edilmiş taşıyıcı daha sonra kod işareti ile modüle edilir. Bu kod işareti +1 veya -1 olan birçok kod bitlerinden veya chiplerden oluşmaktadır. İstenilen yayılmış işareti elde edebilmek için kod işaretinin chip hızı bilgi işaretinin chip hızından daha yüksek olmalıdır. Yayma modülasyonu için farklı modülasyon teknikleri kullanılabilmekte; genellikle PSK (Phase Shift Keying) çeşitlerinden biri kullanılır. Bunlar, BPSK (Binary Phase Shift Keying), DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying), QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) veya MSK (Minimum Shift Keying) olabilir. Şekil 3.9'da PN kodunun ikili veri işaretini, $d_u(t)$, doğrudan module ettiğini görüyoruz. PN kodunun yüksek bit hızından dolayı bantgenişliği işaret spektrumuna yayılır. Genişleme veya yayılma faktörü (F_s), PN kodunun bit hızının veri işaretinin bit hızına oranına eşittir. Modülasyon süreci şekil 3.10'da gösterilmiştir. Modüle edilmiş çıkış işareti, $d_m(t)$, PN kodu ile aynı bit hızına sahiptir. Veri bitleri ($d_u(t)$) ile karışımı önlemek için PN kod bitleri ve modüle edilmiş veri bitlerine **chip** denilmektedir. Böylece bit zamanı (T_b) modüle edilmemiş bir veri bitinin süresini göstermekte, chip zamanı (T_c) ise bir PN kodu veya modüle edilmiş veri bitinin süresini göstermektedir.

$$F_s = T_b / T_c \quad (3.2)$$



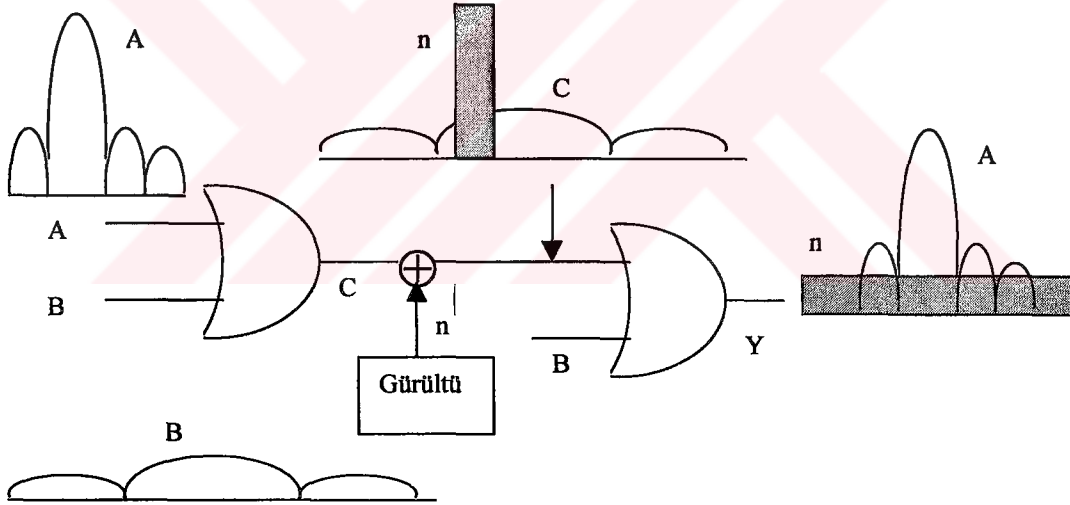
Şekil 3.9 DS-SS vericisinin blok diyagramı [1]



Şekil 3.10 BPSK ile modüle edilmiş SS işaretinin üretimi [1]

Şekil 3.10'daki örnekte her bir bilgi işareti için 10 kod işareti kullanılmıştır. Chip hızının, bit hızının 10 katı olduğu buradan anlaşılır. Böylece işlem kazancının bir başka tanımla yayılma faktörünün 10 olduğunda 3.1 veya 3.2 formülleri ile hesaplanıp bulunabilir. Gerçek hayattta bu kazanç daha büyük tutulmakta, 100 veya 1000 gibi. Yukarıdaki uygulamada görüldüğü gibi differansiyel tipte işaretler ($\pm A$, işaretin genliği) kullanılırsa, çarpma işlemi modülasyona eşit olur. (0,1) standart sayısal lojik ikili işaretli için XOR (exclusive OR) işlemi modülasyonu gerçekleştirebilir.

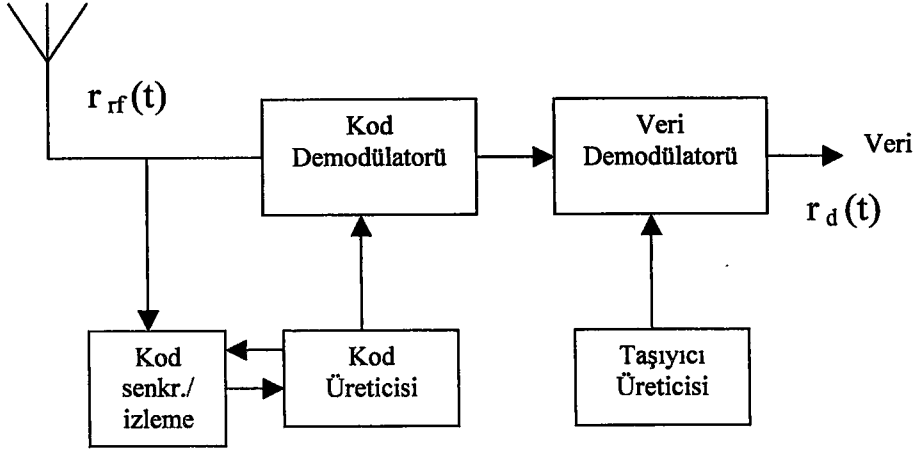
DS-CDMA işaretlerinin bir büyük avantajı da girişime karşı toleransıdır. Şekil 3.11'de gösterildiği gibi bir darbant işaret (A) ve PN dizisi (B) birleştirilip SS işareti C üretildiğini düşünelim. Gürültü (n) daha sonra bu işarete eklensin ve elde edilen işaret aynı PN dizisi ile XOR işlemi yardımıyla alıcıda ayrıştırılsın. Aşağıdaki işlemlerden de görüldüğü üzere alınan Y işareti, orijinal A ile SS işaretinin tüm bantgenişliğine yayılmış düşük genlikli gürültüden oluşmaktadır. Sonuç olarak A işareti, alınan işaretin bantgeçiren filtreden geçirilmesi ile tekrar elde edilebilir [28].



Şekil 3.11 CDMA'nın gürültü ve girişime direnci [27]

İşaretin iletiminden sonra Şekil 3.12'de blok diyagramı gösterilmiş alıcı, lokal olarak üretilen kod dizisini kullanan uygun bir demodülasyonla SS işaretini düzeltir. Bu işlemi yapabilmesi için alıcının sadece işaretin yayılması için kullanılan kod sırasını bilmesi yeterli değildir, alınan işaret ile lokal olarak üretilen kodun senkronize edilmesi de gerekmektedir. Bu senkronizasyon işaretin alınmasıyla başlamalı ve tüm

işaret alınana kadar da korunmalıdır. Kod senkronizasyonu ve izlemesi bloğu bu işlemi yapar.



Şekil 3.12 DS-SS işareti alıcısı [1]

SS işaretlerinin CDMA protokolleri açısından bakıldığında birçok avantajlı özelliklere sahip olduğu görülmektedir. Bunlardan en önemlileri çoklu erişim yeteneği, çoklu girişimin reddi, darbant girişimin reddi ve LPI. Bunların dışında DS-CDMA protokolleri birçok avantaj ve dezavantaj sayılabilecek özelliklere de sahiptirler.

- Kod işaretinin üretilmesi çok kolaydır, basit bir çarpma ile yapılabilir.
- Sadece birtane taşıyıcı frekansı üretilmesi gerektiğinden, frekans birleştiricisi (taşıyıcı üreticisi) basittir.
- DS işaretinin uygun demodülasyonu mümkündür.
- Kullanıcılar arasında senkronizasyon gerekli değildir.

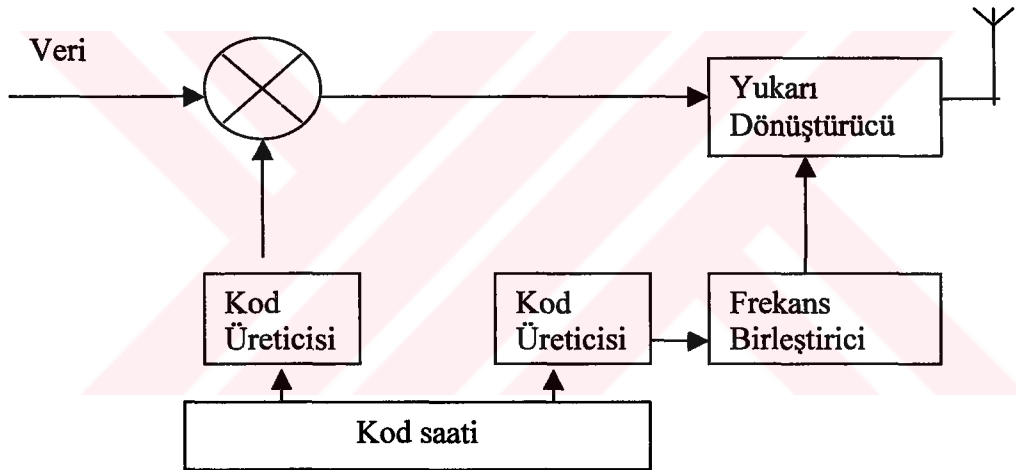
Bunlar avantajlı özellikleri olarak sunulabilir. Dezavantaj olarak sayılabilecek özellikleri ise şunlardır;

- Alınan işaret ile lokal olarak üretilen kod işaretinin senkronizasyonunu sağlamak ve korumak zordur. Chip zamanı içerisinde bu senkronizasyon gerçekleştirilmelidir.
- Baz istasyonuna yakın olan kullanıcılardan alınan güç uzaktakilerden alınan güç oranla çok daha yüksektir. Kullanıcı sürekli olarak tüm bantgenişliğinde iletim yaptığından, baz istasyonuna yakın olan kullanıcı istasyona uzak olan kullanıcı için veri alımını imkansız hale getirebilecek bir çok girişim meydana getirebilmektedir. Bu yakın-uzak etkisinin güç kontrol algoritmaları uygulanarak üstesinden gelinebilir.

Böylece tüm kullanıcıların işaretleri aynı ortalama güç ile baz istasyonu tarafından alınır. Bu kontrol oldukça zordur.

3.2.4 Karma CDMA Sistemleri

Karma CDMA sistemleri bundan önce bahsedilen SS modülasyon tekniklerinden iki veya daha fazlasının birleşiminden oluşmaktadır. Dört çeşit karma sistem olasılığı vardır; DS/FH, DS/TH, FH/TH ve DS/FH/TH. Karma sistemin oluşturulması fikri, her bir modülasyon tekniğinin kendine özgü sahip oldukları avantajlarını birleştirmekten kaynaklanmıştır. Örneğin; DS/FH sistemini ele alırsak, DS sisteminin çoklu yol özelliği ile FH sisteminin yakın-uzak etkisini birleştirerek daha mükemmel bir sistem oluşturulabilir. Bunun dezavantajı ise daha karmaşık alıcı ve vericinin gereksinimidir. Karma sistemin için DS/FH CDMA vericisinin blok diyagramı şekil 3.13'de verilmiştir.



Şekil 3.13 Karma DS-FH vericisi [1]

Veri işaretinin DS kod işareti kullanılarak önce yayılması sağlanır. Yayılmış işaret daha sonra, frekansı diğer kod sırasına bağlı olarak atlayan taşıyıcı ile modüle edilir. Kod saati iki kod arasında sabit bir ilişkiyi sağlar.

3.3 CDMA Sisteminin Kapasitesi

FDMA ve TDMA sistemlerinde kapasite, bantgenişliği ile sınırlıyken CDMA sistemlerinde kapasite girişimle sınırlıdır. Bundan dolayı girişimdeki herhangi bir azalma CDMA kapasitesinde doğrusal bir artış getirecektir. Her bir kullanıcı için bağlantı performansı kullanıcıların sayısı azaldıkça artacaktır. Girişimi düşürmenin

bir yöntemi çoklu-sektörleşmiş antenler kullanmaktır. Yönelici antenler, mevcut kullanıcıları sadece bir kısmından işaretleri alırlar, böylece girişim azaltılmış olunur. CDMA kapasitesini arttırmanın diğer bir yolu ise DTX'de (Discontinuous Transmission Mode) çalışmaktır. DTX'de verici, sessizlik periyotlarında kapatılır. Ses işaretlerinin kara hatlarında aktivite faktörünün 3/8, mobil sistemler için ise 1/2 olduğu gözlenmiştir. Böylece bir CDMA sistemi ortalama kapasitesi, bu ses aktivite faktörü ile ters orantılı olarak artacaktır. CDMA'nın bütün hücreler için tütü spektrumu tekrardan kullanabilmesi kapasitenin yüksek oranlarda artmasında sağlar. CDMA sisteminin kapasitesini değerlendirmek için ilkin tek hücreli sistemi dikkate alalım. Hücresel şebeke, bir baz istasyonu ile haberleşen çok sayıda mobil birimden oluşmaktadır (çoklu-hücre sisteminde tüm bas istasyonları birbirleriyle MSC ile bağlanmışlardır). Tek hücreli sistem (güç kontrolü de mevcut) için UL kanalındaki tüm işaretler baz istasyonu tarafından aynı güç seviyesi ile alınırlar.

N tane kullanıcının olduğunu düşünelim. Hücre tarafındaki herbir demodülatör, P_s gücünde istenilen işaret ve herbirinin gücü yine P_s olan (N-1) girişim yapan kullanıcının oluşturduğu karışık bir dalga şeklini alacaktır. Böylece SNR;

$$SNR = P_s / (N-1)P_s = 1/(N-1) \quad (3.4)$$

olur.

İletişim sistemlerinde bit enerjisinin gürültüye oranı önemli bir parametredir. Bunuda şu şekilde hesaplayabiliriz [27]:

$$E_b = \frac{\text{Bit başına enerji}}{\text{Gürültünün PSD'si + girişim}} \quad (3.5)$$

E_b , işaret gücünün (P_s) veri hızına (R) oranı ile bulunur;

$$E_b = P_s / R \quad (3.6)$$

gürültü de diğer kullanıcılardan gelen girişimin bantgenişliğine (W) bölünmesi ile hesaplanabilir;

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P_j / R}{W^{-1} \sum_i P_i} \quad (3.7)$$

P_j : ilgilenilen kullanıcıdan alınan işaret gücü

P_i : i. kullanıcıdan alınan güç

(3.4) ile (3.7) eşitliklerinden yararlanarak baz istasyonu alıcısındaki SNR, E_b / N_0 cinsinden ifadesi :

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P_s / R}{(N-1) (P_s / W)} = \frac{W / R}{N - 1} \quad (3.8)$$

(3.8) eşitliğinde ısıt girşim, gürültü (I) dikkate alınmamıştır. Bu gürültüde dikkate alınırsa E_b / N_0 şu şekli alır:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{W / R}{(N - 1) + (I / P_s)} \quad (3.9)$$

Sisteme erişebilen kullanıcı sayısı formülü (3.9)'dan N'in çekilmesi ile bulunabilir:

$$N = 1 + \frac{W / R}{E_b / N_0} - (I / P_s) \quad (3.10)$$

Kutup kapasitesini (maksimum mümkün olabilen kapasite) hesaplamak için P_s 'i sonsuza götürürüz, sonuç olarak kapasite eşitliği yaklaşık olarak :

$$N \approx \frac{W / R}{E_b / N_0} \quad (3.11)$$

olur.

IS-95A CDMA'de kullanılan 9600 bit/sn iletim hızı, $W = 1.25$ MHz bantgenişliği ve $E_b / N_0 = 6$ dB değerleri ile kullanıcı sayısını hesaplırsak :

$$N \approx \left[\frac{W}{R} \right]_{dB} - \left[\frac{E_b}{N_0} \right]_{dB} \approx 21.1 - 6 \text{ dB} = 15. \text{ dB}$$

buda yaklaşık olarak 32 kullanıcıya denk gelmektedir. Bu örnek göstermiştir ki güç kontrolü mevcut ise sistem tasarımcısı E_b / N_0 hedefini ayarlayarak kapasite için servis kalitesini değiştirmekte serbestliğe sahiptir.

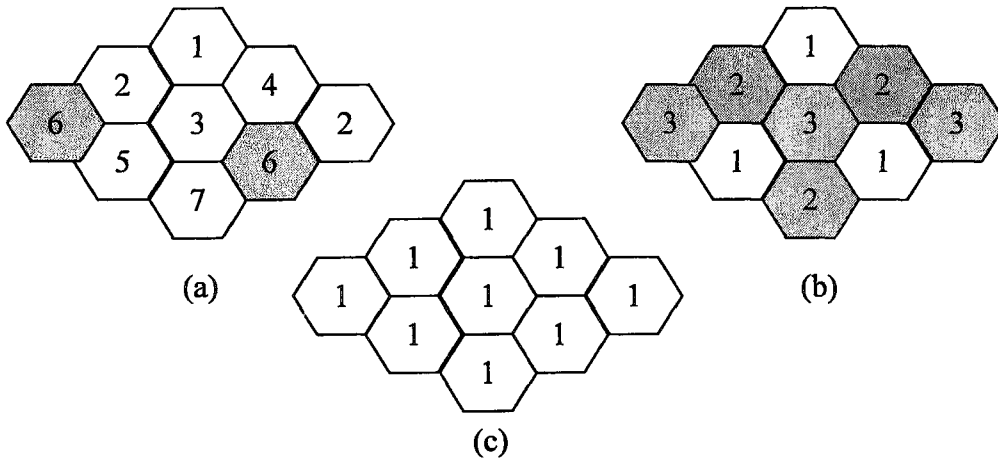
Kapasitede artışı sağlamak için, diğer kullanıcılardan kaynaklanan girişimi azaltmalıyız. Girişimi azaltmanın için bir teknik anten kesimlemedir. Örneğin bir hücre herbiri 120° genişliğinde ışına sahip üç antene bölünürse, herbir anten tarafından görülen girişim omni-antene kıyasla üçte bir azalacaktır. İkinci teknik ise ses aktivitesinin gözlenmesidir. Ses aktivitesinin olmadığı periyotlarda verici kapatılacak. Ses aktivitesi faktörünü α_v ile, kesimleme kazancını da G_s ile

gösterirsek ve sistemin gürültü yerine girişim sınırlı olduğunu düşünerek (3.10)'da verilen kullanıcı sayısı formülünü şu şekilde yazabiliriz:

$$N = \frac{G_s}{\alpha_v} \left(\frac{W / R}{E_b / N_0} \right) + 1 \quad (3.12)$$

Ses aktivitesi faktörünün 3/8 olduğu ve üç kesimli bir hücrenin kullanıldığını düşünersek, (3.12) eşitliği yardımıyla ses aktivite sezmesi olmayan omni-antenli bir sisteme kıyasla kullanıcı sayısının 8 kat fazla olacağı bulunabilir.

Herhangi bir hücresel sistemde komşu hücrelerden kaynaklanan girişim hücrelerin tümünün toplam kapasitesini düşürür. FDMA ve TDMA ticari sistemler için herbir hücre komşu hücrelerinden farklı frekansta çalışmak zorundadır. Bu, girişim miktarını kabul edilebilir seviyeye düşürür. Frekanslar, tekrar kullanım faktörü ile belirlenen hücreler arası bir sıra ile tekrardan kullanılır. Gereksinim duyulan frekans tekrar kullanma faktörü, iletim sisteminin girişim toleransına bağlıdır. Analog sistemler tipik olarak 18 dB'den daha büyük C/I (Carrier to Interference Ratio) değerine gereksinim duyarlar, bu da 1/7 tekrar kullanım faktörüne ihtiyaç duyulmasına sebep olur (Şekil 3.14-a). Çoğu sayısal sistemler sadece 12 dB'lik C/I'ye gereksinim duyar ki bu da 1/3 veya 1/4 tekrar kullanım faktörüne karşılık gelir (Şekil 3.14-b). CDMA tüm hücrelerde aynı frekansı kullanmaktadır; bu da ideal olarak tekrar kullanım faktörünün 1 olmasına izin verir (Şekil 3.14-c) [31].



Şekil 3.14 Frekans tekrar kullanım örneği; (a) 7 frekanslı Analog FDMA, (b) 3 frekanslı Sayısal Sistemler, (c) CDMA

Pratikte CDMA'in frekans tekrar kullanım faktörü (f) 1'den düşüktür, yaklaşık olarak 0.65 olmaktadır. Çoklu-hücre CDMA sisteminde hücre kapasitesi, tek hücre kapasitesinin frekans tekrar kullanma faktörü kadar azalmasına eşittir.

CDMA kapasitesini, tek hücre ve çoklu hücre ortamları için ses aktivite faktörü, kesimleme kazancı da dikkate alınarak değerlendirmesini, hazırladığım Excel programı(cdma_kapasite.xls) ile yaptım. Farklı değişkenler için hücre başına kullanıcı sayısı aşağıda verdiğim gibi elde edilmiştir. Karşılaştırması kolay olması açısından bu veriyi Tablo 3.1 ve 3.2'de özetledim.

CDMA Hücresi Kapasitesi

	A	B	C	D
Kodlayıcı veya Veri Hızı (R), kbit/sn	9,6	9,6	9,6	14,4
Bantgenişliği (W), MHz.	1,25	1,25	1,25	1,25
Eb/No [dB]	6	6	6	6
Ses Aktivite faktörü (α_v)	1,00	0,40	0,40	0,40
Frekans Tekrar Kullanım Faktörü (f)	1,00	1,00	0,60	0,60
Kesimleme Kazancı (G_s)	1,00	2,55	2,55	2,55
Kullanıcı Sayısı (N)	33,7	209,5	126,1	84,4

	A	B	C	D
Kodlayıcı veya Veri Hızı (R), kbit/sn	9,6	9,6	9,6	14,4
Bantgenişliği (W), MHz.	1,25	1,25	1,25	1,25
Eb/No [dB]	7	7	7	7
Ses Aktivite faktörü (α_v)	1,00	0,40	0,40	0,40
Frekans Tekrar Kullanım Faktörü (f)	1,00	1,00	0,60	0,60
Kesimleme Kazancı (G_s)	1,00	2,55	2,55	2,55
Kullanıcı Sayısı (N)	27,0	166,6	100,4	67,2

	A	B	C	D
Kodlayıcı veya Veri Hızı (R), kbit/sn	144,0	384,0	144,0	144,0
Bantgenişliği (W), MHz.	5,00	5,00	10,00	20,00
Eb/No [dB]	8	8	8	8
Ses Aktivite faktörü (α_v)	0,40	0,40	0,40	0,40
Frekans Tekrar Kullanım Faktörü (f)	0,60	0,60	0,60	0,60
Kesimleme Kazancı (G_s)	2,55	2,55	2,55	2,55
Kullanıcı Sayısı (N)	22,0	8,9	43,1	85,2

Tablo 3.1 Tek CDMA Hücre için kapasitenin Eb/No ile değişimi

Eb/No [dB]	Tek bir Hücre için Maksimum Kullanıcı sayısı ($G_s=1, \alpha_v=1, R=9,6 \text{ kbit/sn},$ $W= 1,25 \text{ MHz}, f=1$)	Tek bir Hücre için Maksimum Kullanıcı sayısı ($G_s=2,55, \alpha_v=0,40, R=9,6 \text{ kbit/sn},$ $W= 1,25 \text{ MHz}, f=1$)
6	33.7	209.5
7	27.0	166.6
8	21.6	132.6
10	14	84
12	9.2	54.4

Tablo 3.2 Çoklu-hücreli ortamda bir CDMA hücresi kapasitesinin Eb/No ile değişimi

Eb/No [dB]	Tek bir Hücre için Maksimum Kullanıcı sayısı ($G_s=1, \alpha_v=1, R=9,6 \text{ kbit/sn},$ $W= 1,25 \text{ MHz}, f=0,6$)	Tek bir Hücre için Maksimum Kullanıcı sayısı ($G_s=2,55, \alpha_v=0,40, R=9,6 \text{ kbit/sn},$ $W= 1,25 \text{ MHz}, f=0,6$)
6	20.6	126.1
7	16.6	100.4
8	14.4	79.9
10	8.8	50.8
12	5.9	32.4

Yukarıdaki sayısal değerlerden de anlaşılacağı üzere CDMA hücre kapasitesi, ses aktivite sezmesi ve hücre kesimleme olmadığı durumlarda çok düşük çıkmaktadır. Hücre kesimleme ve ses aktivitesi sezilmesi yapıldığında kapasite yaklaşık olarak 6.5 kat artmaktadır. Komşu hücrelerden kaynaklanan girişimlerin de hücre kapasitesini azaltacak yönde etki yaptığı Tablo 3.2'deki kullanıcı sayılarının Tablo 3.1'deki ile kıyaslandığında düşüş göstermesinden anlaşılabılır. Aynı işlemleri yapabilecek bir MATLAB programı örneğinde `cdma_capacity.m` adı ile tez disketinde verilmiştir.

4. IS-95 CDMA SİSTEMİNİN İNCELENMESİ

Mobil sistemler, WLL (Wireless Local Loop), uydu sistemleri ve WLAN'lar için çok sayıda CDMA hava arabirimi geliştirilmiştir. Bunlardan en tanınmış olanı CDMA teknolojisi, Kuzey ve Güney Amerika, Asya'da kullanılan hücrel ve PCS CDMA teknolojisine dayanan IS-95'dir (Interim Standard-95). IS-95 hava arabirimi standardı, 1995'deki ilk değişikliğinden sonra IS-95A adını almıştır ; bu sistem, 800 MHz frekans bandı hücrel hava arabirimini tanımlamaktadır. ANSI J-STD-008, PCS versiyonunu tanımlamıştır (1900 MHz hava arabirimi için). Bunun IS-95A ile bazı farkları vardır; örneğin frekans planı ve çağırma işlemede farklılık gösterir. TSB74, Hız Kümesi 2 (14.4 kbit/sn) standardını belirlemiştir. IS-95B standardı, IS-95, ANSI J-STD-008 [32] ve TSB74 standartlarını birleştirmiş ve maksimum 115.2 kbit/sn bit hızına kadar yüksek hızda veri operasyonunu belirlemiştir. IS-95, mevcut U.S. analog hücrel sistemi AMPS frekans bandı ile uyumlu olacak biçimde tasarlanmıştır. Bunun ikisini de destekleyen çift modlu telefon cihazlarında Qualcomm tarafından 1994 yılında üretilmiştir. IS-95, hücre içindeki her bir kullanıcının ve komşu hücrelerdeki kullanıcıların da aynı radyo kanalını kullanmasına imkan verir.

Tablo 4.1 IS-95 hava arabiriminin temel parametrelerini listelemektedir. Sistemin taşıyıcı aralığı 1.25 MHz'dir. Pratik uygulamalar göstermiştir ki, gerek duyulan koruma bandlarından dolayı 5 MHz bantgenişliğine 3 tane CDMA taşıyıcısı yerleştirilebilir. 45 MHz, UL ve DL kanal çiftlerini ayırmaktadır. Maksimum kullanıcı hızı da 1.2288 Mchip/sn'ye yaydırılan 9.6 kbit/sn'dir. Şebeke senkronudur. Bu, farklı faz ofsetli aynı uzun kod dizisinin pilot dizileri olarak kullanılmasını kolaylaştırır. Bununla beraber GPS (Global Positioning System) gibi bir dış referans işaretine de gereksinim vardır.

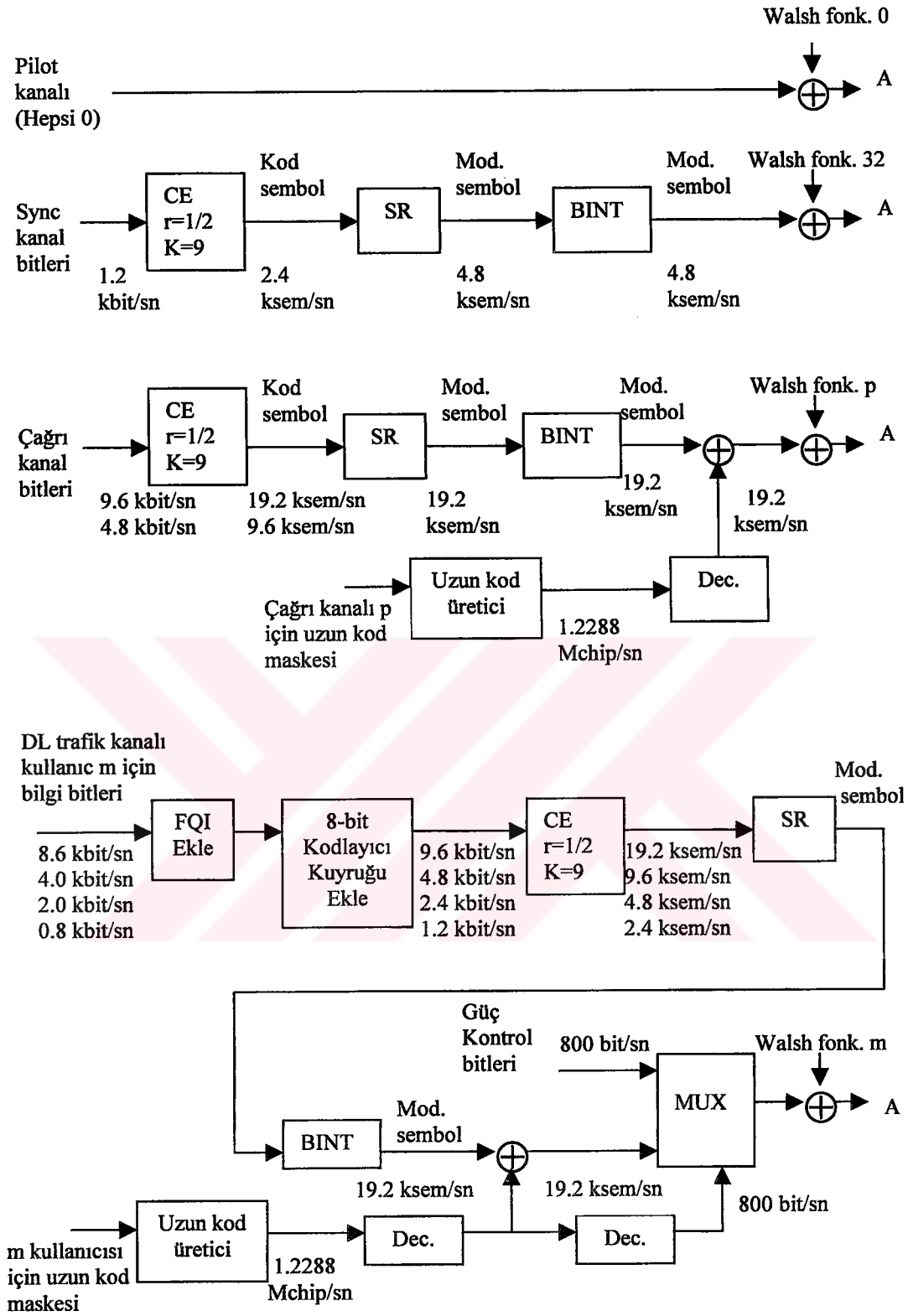
Tablo 4.1 IS-95 Hava Arabirimi Parametreleri [13,16]

Bantgenişliği	1.25 MHz
Chip Hızı	1.2288 Mchip/sn
Frekans Bandı (UL)	869 – 894 MHz
	1930 – 1980 MHz
Frekans Bandı (DL)	824 – 849 MHz
	1850 – 1910 MHz
Çerçeve Uzunluğu	20 msn
Bit Hızları	Hız Kumesi 1 : 9.6 kbit/sn
	Hız Kumesi 2 : 14.4 kbit/sn
	IS-95B : 115.2 kbit/sn
Ses Kodlayıcısı	QCELP 8 kbit/sn
	ACELP 13 kbit/sn
Kesintisiz Aktarma (Soft Handover)	Var
Güç Kontrolü	UL : Açık çevrim + hızlı kapalı çevrim
	DL : Yavaş kalite çevrimi
Yayma Kodları	Walsh + Uzun M-dizisi

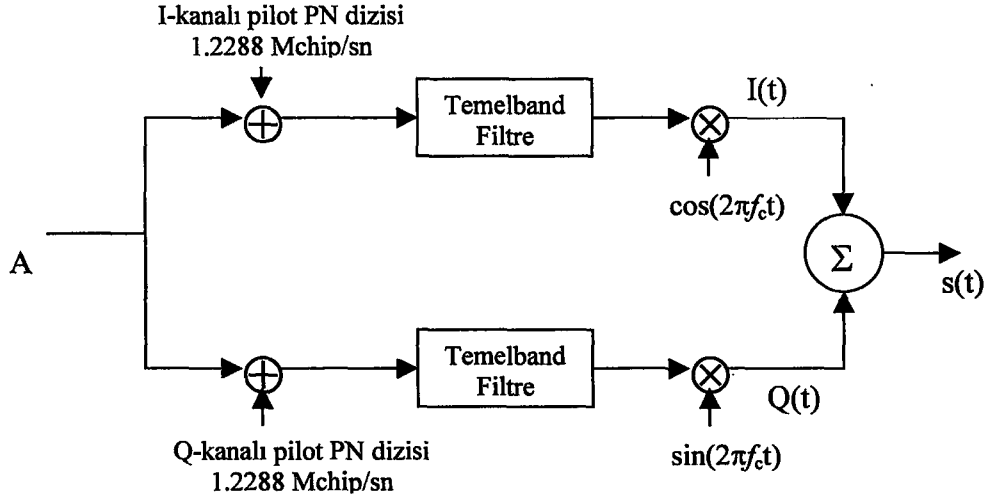
IS-95, konvolüsyon kodlama ve blok dönüştürücü kullanarak hata koruma için avantaj sağlar. Bu, zayıflama ve gölgelemeden kaynaklanan hatalara karşı veriyi korur. Standartta göre UL ve DL farklı özelliklere sahiptir, bunları aşağıda açıklanmaktadır.

4.1 IS-95 DL Kanal Yapısı

IS-95 Standardında pilot kanalı, çağrı kanalı ile senkronizasyon kanalı ortak kontrol kanalları, trafik kanalları da adanmış kanallar olarak tanımlanmaktadır. Ortak kanallar paylaşımlı kanallar olurken, adanmış kanal sadece tek bir kullanıcıya tahsis edilmektedir. Senkronizasyon, çağrı ve trafik kanallarında iletilecek veri ilk önce 20 msn'lik çerçevelere gruplandırılır, konvolüsyonel olarak kodlanır, veri hızını ayarlamak için tekrarlanır ve blok dönüştürme işlemine sokulur. Daha sonra işaret, 1.2288 Mchip/sn hızına ortogonal Walsh kodu ile yaydırılır, I ve Q kanallarına ayrılır, temelbant filtreden geçilirmeden önce uzun PN dizileri ile 1.2288 Mchip/sn hızına yayılır. Şekil 4.1'de bu DL IS-95 kanal yapısı gösterilmeye çalışılmıştır.



Şekil 4.1 DL CDMA kanal yapısı (Hız kümesi 1 için) [13]
 (CE :Convolution Encoder, SR:Symbol Repetition, BINT :Block Interleaver,
 Dec :Decimator)



Şekil 4.1 (devamı) DL CDMA kanal yapısı (Hız kümesi 1 için) [13]

Mobil İstasyonu, pilot kanalını ahenkli demodülasyon, zaman gecikmesi izleme, aktarma için yararlı olan güç kontrol ölçümlerinde kullanmaktadır. Ahenkli demodülasyon için güvenilir faz referansı elde etmek amacıyla, pilot kanalı trafik kanalından daha yüksek güçle iletilir. Umumiyetle DL'de ışıyan gücün %20'si pilot işaretine tahsis edilmiştir. Faz ve kod senkronizasyonundan sonra, mobil istasyonu, senkronizasyon kanalından senkronizasyon bilgisini (çağrı kanalının hızı, sistem zamanına göre baz istasyonunun pilot PN dizisi zamanı) elde eder. Senkronizasyon kanalı çerçevesi, pilot dizisi ile aynı uzunluğa sahip olduğundan senkronizasyon kanalının kazanılması kolayca gerçekleşmektedir. Senkronizasyon kanalı 1.2 kbit/sn sabit hızında çalışmaktadır. Çağrı kanalı, bir mobil istasyonu çağırma kullanılır ve 9.6 veya 4.8 kbit/sn sabit veri hızlarına sahip olabilir.

Herbir DL trafik kanalı, bir tane ana kod kanalı ve birden yediye kadar tamamalayıcı kanala sahip olabilir. Trafik kanalın iki farklı hız kümseine sahiptir. Hız kümesi 1, 9.6, 4.8, 2.4 ve 1.2 kbit/sn veri hızlarını desteklemekte, hız kümesi 2 ise 14.4, 7.2, 3.6 ve 1.8 kbit/sn hızlarını destekler. Mobil istasyonu hız kümesi 1'i her zaman desteklemektedir. Baz istasyonu alıcısında aynı güç seviyesini elde etmek için, baz istasyonu alınan işareti ölçer ve buna göre tüm mobil istasyonların güç seviyelerini ayarlar. 20 msn'lik çerçeve, herbiri 1.25 msn süreli 16 güç kontrol grubuna bölünür.

İletilen veri, sınır uzunluğu 9 olan konvolüsyon kodu ile kodlanır. Bu kod için üretici fonksiyonlar 753 (octal) ve 561(octal) seçilmiştir. Senkronizasyon kanalı, çağrı

kanalları ve trafik kanalındaki hız kümese 1 için 1/2 hızındaki konvolüsyon kodu kullanılır. Hız kümesi 2 için, sembol tekrarlamadan sonra her altı sembolün ikisini silerek 3/4 hızı sağlanmaktadır. Farklı kanallarda veri hızı değiştiğinden, blok dönüştürmeden önce sabit veri hızını sağlamak için sembol tekrarlama kullanılır. Senkronizasyon kanalı için herbir konvolüsyonel kodlanmış sembol birkere tekrarlanır. Çağrı kanalı için, 4.8 kbit/sn hızındaki herbir kod sembolü bir kere tekrarlanır. Kod sembolleri 9.6 ve 14.4 kbit/sn veri hızları için tekrarlanmaz. 7.2 ve 4.8 kbit/sn veri hızındaki herbir kod sembolü bir kez, 3.6 ve 2.4 kbit/sn hızındaki herbir kod sembolü üç kez, 1.8 ve 1.2 kbit/sn veri hızlarındaki herbir kod sembolüde yedi kez tekrarlanır.

DL'de üç tip yayma kodu kullanılmaktadır. 1.2288 Mchip/sn sabit chip hızında 64 uzunluklu Walsh kodları, fiziksel kanalları ayırır. Sıfırlardan oluşan Walsh fonksiyonu (W0, Walsh kod numara 0), pilot kanalı için kullanılırken, W1-W7 çağrı kanalları için (kullanılmayan çağrı kanalı kodları trafik kanalları için kullanılabilir) kullanılır. Senkronizasyon kanalı W32, trafik kanallarında W8-W31 ve W33-W63 olmaktadır. 16,767 ($2^{15}-1$) uzuluğundaki uzun M-dizisi çifti (biri I kanalı diğeri Q kanalı), quadrature yayma için kullanılır. Bu yayma, daha iyi girişim ortalaması elde etmek amacıyla kullanılır. Pilot kanalı Walsh fonksiyonu hep sıfır olduğundan, bu M-dizisi çifti pilot kodunu oluşturur. Farklı hücreler ve kesimler, bu kodun farklı faz ofsetleri ile ayırtedilebilir. $2^{42}-1$ periyotlu uzun PN dizisi, temel band veri karıştırma (çağrı ve trafik kanallarında işareti şifrelemek) için kullanılır.

DL kanalının özelliklerini açıklamaya, tek tek blokların incelenmesine geçelim. Kullanıcının bilgi bitleri, 172 bit olarak alınıp yukarıdaki blokların girişine verilir. Kullanıcı aktivitesine bağlı olarak farklı hızlara izin verilebilmektedir. Bununla beraber çıkışın hızı her zaman aynıdır ve 1.2288 Mchip/sn olur. Herbir bloktaki hızlar ve çerçeve uzunlukları Tablo 4.2'de sunulmuştur. Blokları ve bunları fonksiyonlarını şu şekilde sıralayabiliriz:

- **FQI (Frame Quality Indicator):** Bu blok 172-bitlik çerçeveye (9600 bit/sn veri için) 12-bit CRC kodunu eklemektedir. 4800 bit/sn için CRC kodu 8 bittir ve daha düşük hızlar için CRC kodu yoktur.
- **8-bit Kodlayıcı Kuyruğu:** Bu blok, herbir çerçevenin sonuna, konvolüsyon kodlayıcısının durumlarını sıfır yapmak için 8 tane sıfır eklemektedir.

Tablo 4.2 IS-95 CDMA DL Trafik kanalı veri hızları

BLOK	Veri Hızı(* kbit/sn, **ksem/sn, ***kchip/sn)			
Kullanıcı verisi (*)	8.6	4.0	2.0	0.8
FQI (*)	9.2	4.4	2.0	0.8
8-bit Kodlayıcı Kuyruğu ekleme (*)	9.6	4.8	2.4	1.2
Konv. Kodlayıcısı (**)	19.2	9.6	4.8	2.4
Sembol Tekrarlama (**)	19.2	19.2	19.2	19.2
Blok Dönüştürücü (**)	19.2	19.2	19.2	19.2
Walsh Fonksiyonu (***)	1228.8	1228.8	1228.8	1228.8
Quadrature Modülasyon (***)	1228.8	1228.8	1228.8	1228.8

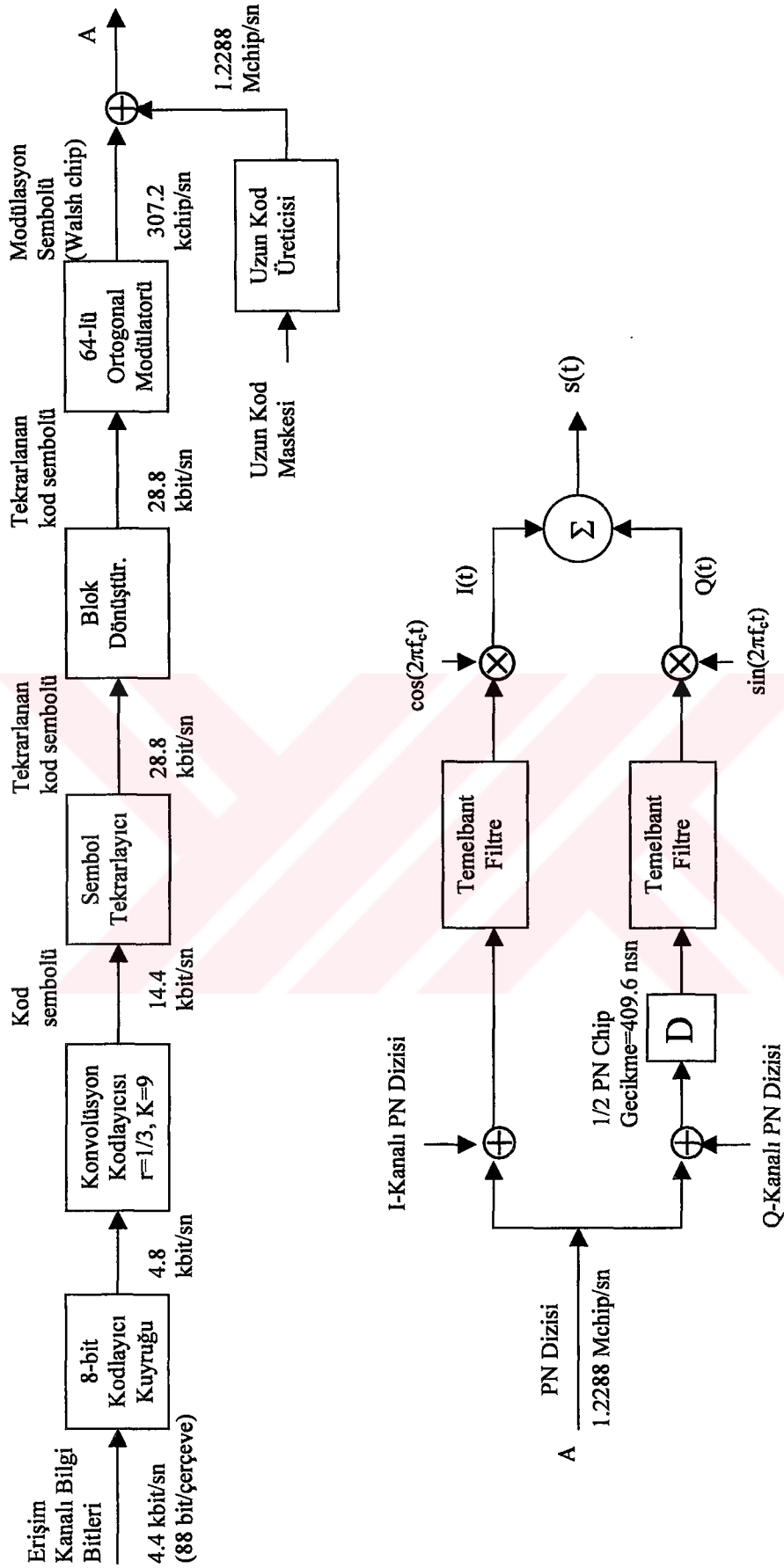
- **Konvolüsyon Kodlayıcısı:** Bu blok 1/2 hızındaki konvolüsyon kodlamayı kullanarak hata düzeltmeyi icra etmektedir. Üreten fonksiyonlar $g_0 = 753(\text{octal})$, $g_1 = 561(\text{octal})$ 'dir. Konvolüsyon kodlayıcısının başlangıçtaki durumu hep sıfırdır. Sınır uzunluğu 9'dur. Ek-A'da Konvolüsyon Kodlayıcısı çalışma prensibi anlatılmıştır.
- **Sembol Tekrarlayıcı:** Bu blok, çıkışında veri hızı 19.2 kbit/sn olması için veri bitlerini tekrarlar. 9.6 kbit/sn hız durumu için bu blok bir görev üstlenmeyecektir.
- **Blok Dönüştürücü (Interleaver):** Konvolüsyon kodlamasından ve tekrarlama işleminden sonra, semboller 20 ms'lik(24 satır, 16 sütun dizisi) blok dönüştürücüye gönderilir. Ek-A'da Blok Dönüştürücüsü çalışma prensibi anlatılmıştır.
- **Long Code Mask/MUX:** Bu bölüm kullanıcı verisini karıştırır (scramble) ve güç kontrol bitlerini ekler. Ek-A' da Uzun Kod (M-dizisi, Gold kod) üretimi anlatılmıştır.
- **Walsh Fonksiyonu:** Bu, veriyi Walsh Kodlarını kullanarak yayar. Böylece herbir veri sembolü 64 Walsh chipleri ile yayılır, veri hızını 64 kat arttırmış olur. Orthogonal Walsh Kodu, aynı hücredeki farklı kullanıcıların aynı frekans bandını eşzamanlı olarak birlikte kullanmalarına imkan vermektedir. Ek-A'da Walsh kodu üretimi anlatılmıştır.
- **Quadrature Modülasyonu:** Walsh Kodu modülatörünün çıkışındaki işaret I-faz ve Q-faz olarak adlandırılan iki farklı diziyle yaydırılır. Daha sonra QPSK'nın in-phase ve quadrature-phase birleşenleri olarak modüle edilirler.

- **Temelbant Filtresi** : Bu blok, bantgenişliğini sınırlayan darbe biçimlendirmesi için kullanılmaktadır.
- **Frekans Modülasyonu**: I ve Q kanalları, kullanılan kanala bağlı olarak taşıyıcı frekansı f_c 'ye modüle edilir.

4.2 IS-95 UL Kanal Yapısı

UL'de iki fiziksel kanal vardır: adanmış trafik kanalı ve ortak erişim kanalı. Bir trafik kanlında, tek bir ana kod kanalı ve sıfırdan yediye kadar da tamamlayıcı kanal mevcuttur. DL'e benzer olarak UL de hız kümesi 1'i her zaman desteklerken hız kümesi 2 desteklenebilir de desteklenmeyebilirde. UL'de iletilen veri, 20 ms'nlik çerçeve gruplarına ayrılır, konvolüsyonel olarak kodlanır, blok dönüştürme yapılır ve 64-lü ortogonal modülasyonla modüle edilir. Temelbant filtreden geçirilmeden önce, I ve Q kanallarına bölünür, işaret 1.2288 Mchip/sn hızındaki uzun PN dizisi ile yaydırılır. Şekil 4.2(a) ve (b)'de erişim ile trafik kanalı için UL IS-95 kanal yapısı gösterilmeye çalışılmıştır. Erişim kanalı , çağırma başlatmak, baz istasyonundan gelen çağrı kanal mesajına cevap vermek ve yer güncelleme için mobil istasyonu tarafından kullanılır. Herbir erişim kanalı, bir DL çağrı kanalı ile ilgilidir. Erişim kanalı, 4.8 kbit/sn sabit veri hızını destekler.

İletilen bilgi, 9 sınır uzunluğundaki konvolüsyon kodlama kullanılarak kodlanır. Erişim kanalı ve trafik kanalıdaki hız kümesei 1 için, konvolüsyon kod hızı 1/3'dür. Trafik kanalıdaki hız kümesi 2 için, kod hızı 1/2'dir. DL'e benzer olarak veri hızının 9.6 ve 14.4 kbit/sn altındaki hızlar için konvolüsyon kodlayıcısı çıkışındaki kod sembolleri blok dönüştürme işleminden önce tekrarlanır. Kodlanmış semboller, 6-sembol grubuna ayrılır. Bu gruplar daha sonra 64 mümkün Walsh sembollerinden birini seçmek için kullanılır (64-lü ortogonal modülasyon ahenkli olmayan modülasyon için iyi bir performans elde etmek amacıyla gerçekleştirilir). Ortogonal modülasyondan sonra, iletim hızı 307.2 kbit/sn olur. Ahenkli olmayan modülasyonun kullanılmasının nedeni, UL'de ahenkli demodülasyon için iyi faz referansı elde etmedeki zorluktur. Walsh kodlarının UL ve DL'de farklı biçimde kullanıldıklarına dikkat etmek gerekiyor. DL'de Wlsh kodları kanallama için kullanılırken, UL'de ortogonal modülasyon için kullanılmaktadır.



Şekil 4.2 (a) Erişim kanalı için IS-95 UL CDMA kanalı yapısı

Trafik kanalındaki herbir kod kanalı ve herbir erişim kanalı, 2^{42} uzunluklu sözde rastgele M-dizisinin farklı fazları ile tanıtılır. In-phase ve quadrature yayma, DL'de olduğu gibi aynı M-dizisi (2^{15} uzunluğunda) çifti ile gerçekleştirilir.

UL kanalının özelliklerini açıklamaya, tek tek blokların incelenmesine geçelim. Girişte, kullanıcıdan gelen bilgi bitleri, 172 bitlik çerçevelere dönüştürülür. Girişi verisi için farklı hızlara izin verilebilmektedir fakat çıkış her zaman 1.2288 Mchip/sn'dir. Herbir bloktaki hızlar ve çerçeve uzunlukları Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.3 IS-95 CDMA UL Trafik kanalı veri hızları

BLOK	Veri Hızı(* kbit/sn, **ksem/sn, ***kchip/sn)			
Kullanıcı verisi(*)	8.6	4.0	2.0	0.8
FQI (*)	9.2	4.4	2.0	0.8
8-bit Kodlayıcı Kuyruğu ekleme (*)	9.6	4.8	2.4	1.2
Konv. Kodlayıcısı (**)	28.8	14.4	7.2	3.6
Sembol Tekrarlama (**)	28.8	28.8	28.8	28.8
Blok Interleaver (**)	28.8	28.8	28.8	28.8
Ortogonal Modülasyon (***)	307.2	307.2	307.2	307.2
Quadrature Modülasyon (***)	1228.8	1228.8	1228.8	1228.8

Blokları ve bunları fonksiyonlarını şu şekilde sıralayabiliriz:

- **FQI:** Bu blok DL bağlantısı için kullanılan FQI ile tamamen aynıdır.
- **8-bit Kodlayıcı Kuyruğu:** Bu blok, DL'de olduğu gibi herbir çerçevenin sonuna 8 tane sıfır eklemektedir
- **Konvolüsyon Kodlayıcısı:** Bu blok 1/3 hızındaki konvolüsyon kodlamayı kullanarak hata düzeltmeyi icra etmektedir. Üretici fonksiyonlar $g_0 = 557(\text{octal})$, $g_1 = 663(\text{octal})$ ve $g_3 = 711(\text{octal})$ 'dir. Konvolüsyon Kodlayıcısının başlangıç değerleri sıfırdır. Sınır uzunluğu 9'dur.
- **Sembol Tekrarlayıcı:** Bu blok, çıkışında veri hızı 28.8 kbit/sn olması için gerekiyorsa veri bitlerini tekrarlar.

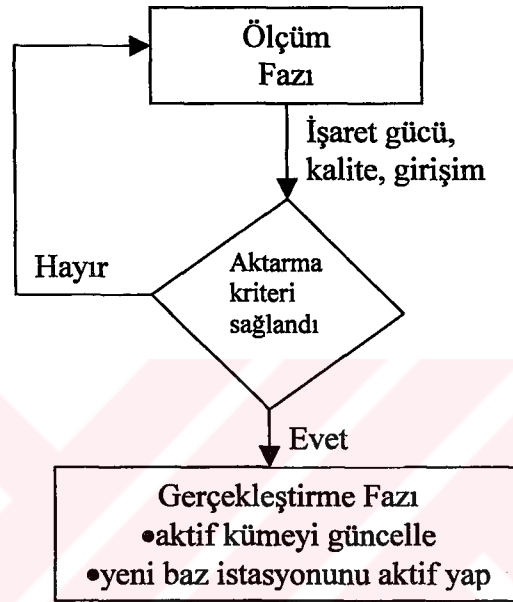
- **Blok Dönüştürücü:** Konvolüsyon kodlamasından ve tekrarlama işleminden sonra, semboller 20 ms'lik(32 satır, 18 sütun dizisi) blok dönüştürücüye gönderilir.
- **Ortogonal Modülasyon:** Bu blok, önceki durumlardan 6 bit alır ve bunların decimal değerlerine bağlı olarak ilgili Walsh fonksiyonları seçilip ortogonal modülasyonu gerçekleştirir. Veri hızı böylece 64/6 katı kadar artar.
- **Long Code Mask:** Bu blok veri karıştırma için kullanılır.
- **Quadrature Modülasyonu:** Walsh Kodu modülatorünün çıkışındaki işaret I-faz ve Q-faz olarak adlandırılan iki farklı diziyle yaydırılır. Daha sonra OQPSK'nın in-phase ve quadrature-phase birleşenleri olarak modüle edilirler.
- **Temelbant Filtresi :** Bu blok, bantgenişliğini sınırlayan darbe biçimlendirmesi için kullanılmaktadır. OQPSK modülasyonunu gerçekleştirmek için 1/2 chip gecikmesi quadrature kanalda tanıtılır.
- **Frekans Modülasyonu:** I ve Q kanalları, kullanılan kanala bağlı olarak taşıyıcı frekansı f_c 'ye modüle edilir.

4.3 IS-95'de Aktarma Prosedürleri

Aktarma, telsiz haberleşme sistemlerinin en önemli parçasıdır. Bir mobil istasyonun, bir baz istasyonundan diğerine geçmesine aktarma denilmektedir. Telsiz haberleşme sistemlerinde iki tür aktarma vardır: sadece CDMA sistemlerinde kullanılan kesintisiz aktarma (soft handover) ve TDMA veya FDMA gibi sistemlerde kullanılan kesintili aktarma(hard handover). Kesintisiz aktarmada, eski baz istasyonu ile bağlantı kesilmeden önce yeni bir baz istasyonu ile haberleşme bağlantısı kurulur. Bu, haberleşmenin aktarma yüzünden kesilmeyeceği anlamına gelmektedir. Mobil istasyonu her zaman için en az iki baz istasyonu ile radyo bağlantısını korur. Kesintisiz aktarma, sadece CDMA sisteminde kullanılır ve CDMA'nın kullanılmasının getirdiği en büyük avantajlardan biri sayılır. Kesintili aktarmada, eski baz istasyonu ile haberleşme bağlantısı, yeni baz istasyonu ile haberleşme kurulduğu anda kesilir. Bu, aktarma esnasında kısa süreli de olsa haberleşmenin kesileceği anlamına gelmektedir. Kesintisiz aktarmadaki gibi eşzamanlı olarak mobil istasyonun birden fazla baz istasyonu ile haberleşmesi mümkün değildir.

Aktarma prosedürü üç faza ayrılabilir: ölçüm, karar ve gerçekleştirme fazı (Şekil 4.3). Aktarma ölçüm fazında, mobil istasyonu tarafından tipik DL ölçümleri

gerçekleştirilir; işaret kalitesi, hücresinin veya komşu hücrelerin işaret güçleri. UL'de baz istasyonu işaret kalitesini ölçer. Ölçüm sonuçları ilgili şebeke elemanlarına, BSC'ye ve mobil istasyona iletilir. Aktarma kararı fazında, ölçüm sonuçları önceden tanımlanmış eşik değerleri ile kıyaslanır ve aktarmanın başlatılıp başlatılmayacağına karar verilir. Gerçekleştirme fazında da mobil istasyonu kesintisiz aktarma durumuna girer, yeni bir baz istasyonu eklenir veya çıkarılır, frekanslar arası aktarma da uygulanabilir.



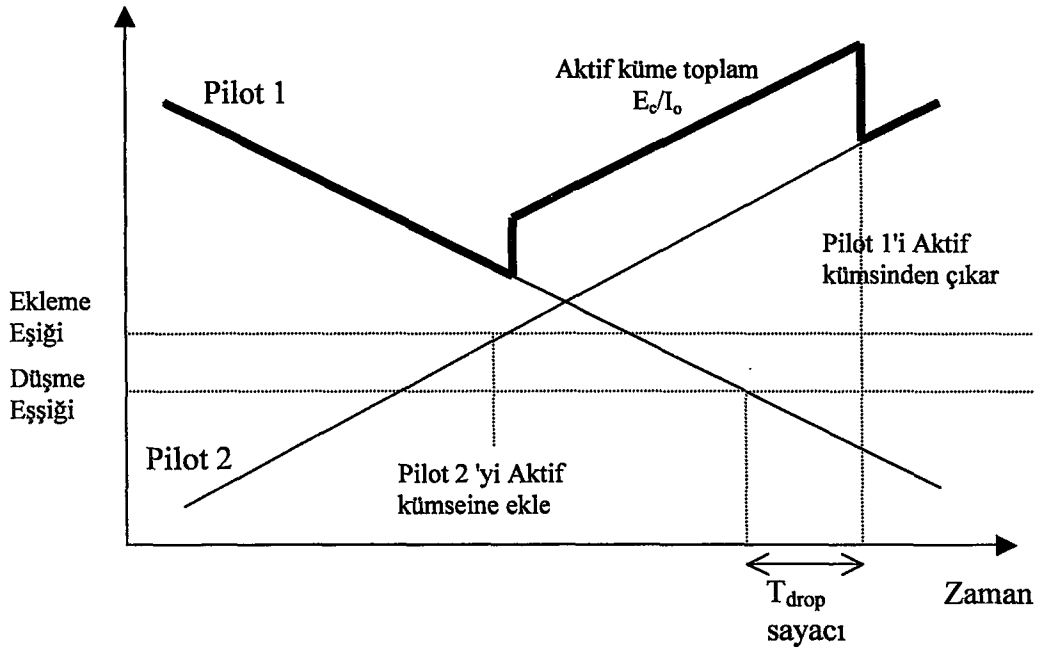
Şekil 4.3 CDMA'de aktarma fazları [13]

Kesintisiz aktarmanın, kesintili aktarmanın yerine kullanılmasını gerektirecek çok sayıda sebep vardır. Bunlardan en önemlileri zayıflama marjini iyileştirilmesi ve DL bağlantısı yüksek kapasitesi. CDMA sistemleri yakın-uzak problemi ile mücadele etmek için güç kontrolü kullanır. Güç kontrolünün düzgün çalışabilmesi için, mobil istasyonunun her zaman en güçlü işareti aldığı baz istasyonuna bağlanması gerekir. Kesintisiz aktarma, kullanıcının hangi baz istasyonundan daha güçlü işaret alıyorsa ona bağlanmasını garanti eder, fakat kesintili aktarma bunu garanti edemez.

4.3.1 Kesintisiz Aktarma Kararı

IS-95'de aktarma kararı, sadece DL'in pilot gücü ölçümlerine bağlıdır. Asimetrik trafiğe sahip 3G sistemler için genişbantlı CDMA'de daha fazla karar parametrelerine ihtiyaç vardır.

Kesintisiz aktarma algoritmasının en temel fonksiyonu ölçülen pilot gücüne bağlı olarak Aktif Küme'nin korunmasıdır. Aktif küme, verilen mobil istasyonu ile kesintisiz aktarmada bulunan baz istasyonlarını içermektedir. Aktif küme değişirse, aktif küme güncelleme meydana gelir. UL ve DL trafik kanalları vardır. Pilot işareti olarak düşünülen referans işareti DL CDMA trafik kanalına aittir. Çok sayıda böyle pilot işaretleri kanalda bulunmaktadır. Mobil istasyonun temel fonksiyonu pilot işareti güçlerini ölçüp baz istasyonuna raporlamaktır. Bu tekrarlamalı bir süreçtir. Ölçülen işaret önceden belirlenmiş bir eşik değerini geçer geçmez, aktif kümenin bir elemanı olur. Üç tane aktarma parametresi vardır; T_{add} veya Ekleme eşiği, T_{drop} veya Düşme eşiği ve T_{drop} sayacı. Şekil 4.4'de bu parametreler ve ilişkiler gösterilmiştir. Herhangi bir üye olmayan pilot işaret gücü, T_{add} 'i aşarsa pilot işareti kümeye eklenir. Pilot işareti sürekli olarak ölçülür ve herhangi bir anda T_{drop} eşiğinin altına düşerse mobil birim düşme sayacını başlatır. Bu sayaç öyle tasarlanmıştır ki düşme sayacı sona ermeden önce pilot gücü T_{drop} 'un üzerine çıktığı anda sayaç sıfırlanır ve geçersiz kılınır. Sayaçın sona ermesi üzerine ise pilot, aktif kümeden çıkartılır. Şekil 4.4'ü incelersek, baz istasyonu 2'nin işaret gücü ekleme eşiğini aştığı zaman, mobil istasyonu kesintisiz aktarma durumuna girer. Baz istasyonu 1'in işaret gücü düşme eşiğinin altına inerse ve orada düşme sayacı kadar kalırsa, baz istasyonu 1 aktif kümeden çıkartılır. Deneyler göstermiştir ki, yüksek eşikler ve uzun düşme sayacı ayarları aktif kümede daha fazla istasyonun korunmasına yönelik olmaktadır; benzer olarak düşük eşikler ve kısa düşme sayaç ayarları, aktif küme güncellemesi hızını arttırmaktadır [13,34].



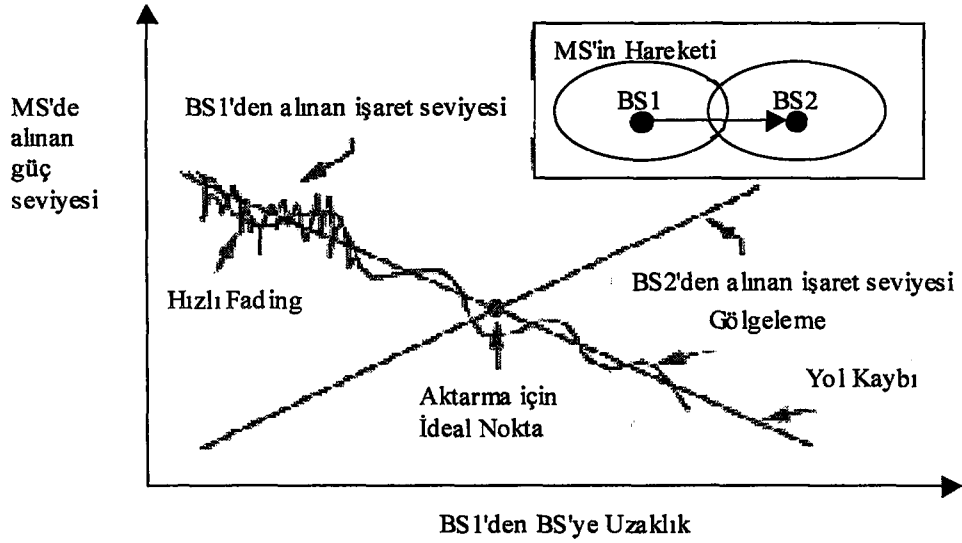
Şekil 4.4 Kesintisiz aktarma parametreleri [13]

4.3.2 Hata-Okumura Modeli ile Aktarma Analizi

Bu analiz birbirine d kadar uzaklıktaki iki baz istasyonu arasında düzgün bir yolda bir baz istasyonundan diğerine ilerleyen mobil birim için yapılmıştır. Aktarmayı başlatma kararı, değişik değerlerin ölçülmesi ile yapılabilir; örneğin iletişim yapılan ve komşu baz istasyonlarından alınan işaret güçleri, BER veya alınan işaretin girişime oranı. En kolay ve en çok kullanılan yöntem, alınan işaretlerin seviyelerinin ölçümleridir. Alınan işaretin üç çeşit değişimi vardır: yol kaybı, gölgeleme ve çokluyol zayıflaması (Rayleigh veya Rician). Şekil 4.5, MS'in BS1'den BS2'ye doğru hareket ettiğinde işaret seviyesindeki değişim görülmektedir. İşaret seviyesindeki değişim, yol kaybı, hızlı zayıflama ve gölgelemeden dolayı oluşmaktadır. Hızlı Fading genellikle Rice faktörü K olan (uzaklıkla değişmektedir) Rician dağılımı ile modellenmektedir. $K = 0$ olduğunda rayleigh dağılımına geçilir.

IS-95 ve 3G'de kullanılacak kesintisiz aktarma için yapıcağımız analizde sadece yol kaybını dikkate alacağız. Makro-hücre ortamda yol kaybı için Hata-Okumura modelini kullandık. Kentsel ortam için Hata-Okumura yol kaybı formülü şu şekildedir [16]:

$$L_{\text{kentsel}}(\text{dB}) = 69.55 + 26.16 * \log(f_c) - 13.82 * \log(h_{te}) - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55 * \log h_{te}) \log(d) \quad (4.1)$$



Şekil 4.5 MS tarafından alınan işaretin değişimi ve aktarma noktasının tahmini

f_c 150 MHz ile 1500 MHz arasında değer alabilen taşıyıcı frekansı, h_{te} 30 m ile 200 m arasında değişebilen baz istasyonu (verici) anten yüksekliği, h_{re} 1 m ile 10 m arasında değişebilen mobil istasyonu (alıcı) anten yüksekliği, d Alıcı-Verici arasındaki km cinsinden uzaklık, $a(h_{re})$ efektif mobil anten yüksekliğinin kapsama alanı boyutunun bir fonksiyonu olan doğrulama faktörü. Küçük veya orta boyuttaki şehirler için, mobil anten düzeltme faktörü (4.2) eşitliği ile verilmektedir.

$$a(h_{re}) = (1.1\log(f_c) - 0.7)h_{re} - (1.56\log(f_c) - 0.8) \quad [\text{dB}] \quad (4.2)$$

büyük şehirler için ise;

$$a(h_{re}) = 8.29(\log(1.54h_{re}))^2 - 1.1 \quad [\text{dB}] \quad ; f_c \leq 300 \text{ MHz} \quad (4.3a)$$

$$a(h_{re}) = 3.2(\log(11.75h_{re}))^2 - 4.97 \quad [\text{dB}] \quad ; f_c \geq 300 \text{ MHz} \quad (4.3b)$$

Banliyö alanlarda yol kaybı için Hata formülü ise (4.4) eşitliği kullanılarak şu şekilde yazılmaktadır:

$$L_{\text{banliyö}}(\text{dB}) = L_{\text{kentsel}}(\text{dB}) - 2[\log(f_c/28)]^2 - 5.4 \quad (4.4)$$

Açık kırsal alanlardaki yol kaybı da (4.5) eşitliği ile verilmektedir.

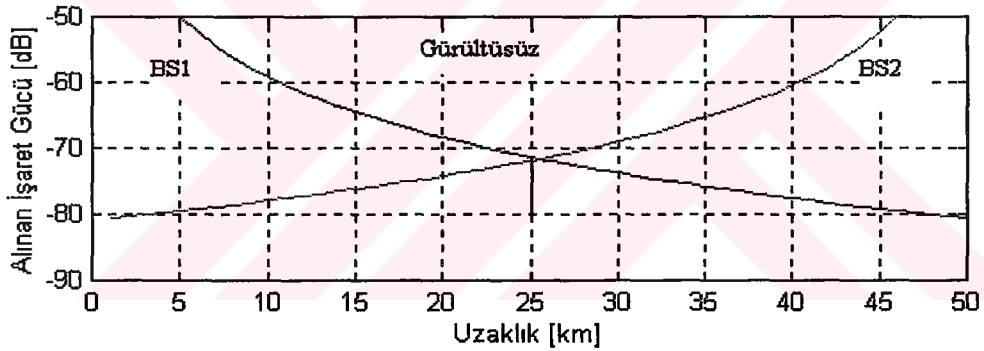
$$L_{\text{kırsal}}(\text{dB}) = L_{\text{kentsel}}(\text{dB}) - 4.78[\log(f_c)]^2 - 18.33\log(f_c) - 40.98 \quad (4.5)$$

Mobil istasyonunda alınan ortalama güç;

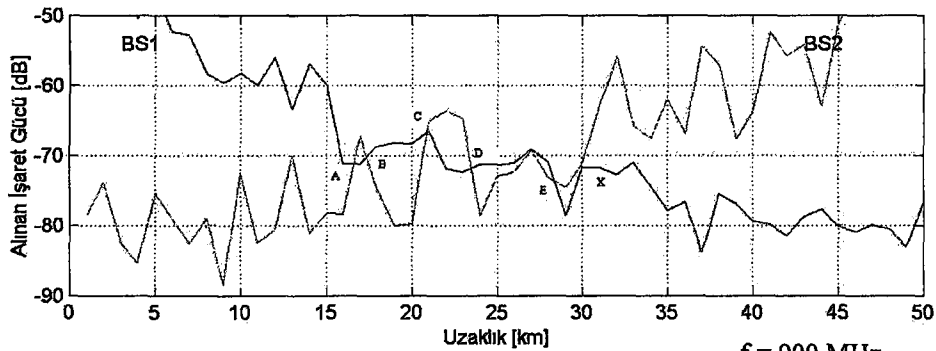
$$\bar{P}_r(d) = \text{EIRP}(\text{dBm}) - L_{\text{kentsel}}(\text{dB}) + G_r(\text{dB}) \quad (4.6)$$

EIRP (Effective Isotropic Radiated Power), 1 kW (60 dBm) olarak seçilmiştir. G_r , alıcı anten kazancıdır. Bu eşitlikler kullanılarak yazılan bir MATLAB programı (aktarma.m – EK-B) ile, UL, DL ve kentsel ortam için yol kaybı ve alınan güç

hesaplanmıştır. Şekil 4.6a'da sistemin gürültüsüz olduğu durumda, mobil birimin her iki baz istasyonundan aldığı güçlerin uzaklıkla nasıl değiştiği gösterilmiştir. Tam orta noktada BS1'den BS2'ye aktarma işlemi yapılacaktır. Bu sonuç, $f_c = 900$ MHz, $h_{te} = 150$ m, $h_{re} = 10$ m seçildiğinde elde edilmiştir. Daha gerçekçi bir hücresel ortam yaratabilmek için iki tane Gaussian gürültü dizisi sisteme tanıtılmıştır. Aynı parametreler kullıldığında ($f_c = 900$ MHz, $h_{te} = 150$ m, $h_{re} = 10$ m), mobil istasyonun her iki baz istasyonundan aldığı güç değişimleri de Şekil 4.6b'de verilmiştir. Grafikte A, B, C, D ve E ile gösterilen noktalarda aktarma yapılacaktır. Hysteresis Marjini'ni sisteme tanıtırsak, bazı gereksiz aktarma işlemlerinden kurtulabiliriz. Örneğin 10 dB'lik Hysteresis Marjini kullanırsak, aynı grafikte sadece X ile gösterilen noktada aktarma yapmak gerekecek. Aşırı yüksek Hysteresis Marjin'leri de aktarmaya başlama gecikmesine neden olmaktadır. Bu gecikmelerin uzun süreli olması halinde de çağırımların düşme olasılığı artar. Bu yüzden bunlar arasında bir optimizasyon yapılmalıdır [16,47].



(a)



(b)

$f_c = 900$ MHz
 $h_{te} = 150$ m
 $h_{re} = 10$ m

Şekil 4.6 Gürültüsüz(a) ve Gürültülü(b) Ortamda MS'de alınan güç değişimleri

5. ÜÇÜNCÜ NESİL MOBİL SİSTEMLER

Birinci nesil mobil sistemleri 1980 yılında, analog olarak yerel mobil ses servislerini sağlamak için uygulanmaya başlanmıştır. Tüm dünyada bu analog mobil sistemi için çok farklı standartlar geliştirilmiştir; Amerika'da AMPS (Advanced Mobile Phone Service), Japonya'da NTT (Nippon Telephone and Telegraph) , Birleşik Krallık'ta TACS (Total Access Communications System), Avrupa ülkelerinde NMT (Nordic Mobile telephones) gibi. Erişim tekniği olarak Frekans Bölmeli Çoğullama Erişim'i (FDMA) kullanılmaktaydı. Birinci nesil sistemlerde en temel problem kapasite ve kaliteydi. Bunlara ek olarak sistemler birbirleriyle uyumlu değildi.

Sayısal teknolojinin gelişmesi, sayısal hücreli mobil (DCM- digital cellular mobile) GSM (Groupe Special Mobile) sisteminin ortaya çıkmasına vesile olmuştur. Buna karşılık Japonya'da PDC(Personal Digital Cellular) sistemi, Kuzey Amerika'da IS-54/136 ve IS-95 ikinci nesil sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. IS-95 dışındaki sistemlerde Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (TDMA-Time Division Multiple Access) tekniği kullanılırken, IS-95 de Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA-Code Division Multiple Access) tekniği kullanılmaktadır. İkinci Nesil sistemlerin imkan sağladığı en önemli özellikler, sayısal ses ve kısa mesaj servsidir. Sayısal telsiz teknolojilerindeki yeni gelişmeler, ikinci ilave nesil sistemlerinin ortaya çıkmasını sağlamıştır; Japonya'da kullanılan ve ilk önceleri PHP olarak adlandırılan PHS (Personal Handyphone Systems), Avrupa'da kullanılan DECT (Digital European Cordless Telephone) ve Kuzey Amerika'da kullanılan PACS (Personal Access Communication Services) bunlara örnektir. Tamamen sayısal teknolojiyi kullanan bu sistemler birinci nesil mobil haberleşme sistemlerine nazaran üç kat daha fazla kapasite sağlamıştır [3].

2000 yılıyla birlikte ilk tanıtımlarının yapıldığı üçüncü nesil mobil haberleşme sistemi, ITU tarafından hazırlanan ve IMT-2000 (International Mobile Telecommunications) adıyla bilinen standartlara sahip olacaktır. Bu standartların asıl

amacı, tek ama tüm bölgelerde ortak kullanılabilecek bir sistemi oluşturmaktır. Sistem kapasitesinin ilk nesil sistemlere nazaran on kattan daha fazla olması beklenmektedir. Bu da karmaşık çoklu erişim teknikleri, örneğin CDMA veya CDMA ile TDMA/FDMA tekniklerinin birleşimi, ile sağlanacaktır. Üçüncü nesilin getireceği en önemli yenilik, birkerede bir çok servise erişebilme imkanı sağlayacak olmasıdır. Böylece, internet'te gezinirken aynı anda telefon konuşması yapılabilecek, faks yollarken video konferansa katılabilecek, küresel bir telsiz sistem sağlanacağından kullanıcılar tüm dünyada istedikleri anda istedikleri yerle bağlantı kurabileceklerdir. Tablo 5.1 ve 5.2'de şu ana kadar bahsedilen birinci, ikinci ve üçüncü mobil sistemlerinin, Kuzey Amerika ve Avrupa'da kullanılan birbirinden farklı sistemleri ve bunların iletim şekli, erişim tekniği gibi konulara göre birbirlerine olan farkları gösterilmeye çalışılmıştır.

Tablo 5.1 Kuzey Amerika'daki bazı Mobil Haberleşme Standartları [16]

Hücresel Sistem	Tanıtım Yılı	İletim Şekli	Çoğullamalı Erişim Tekniği	Kanal Bantgenişliği	Nesil
AMPS	1983	Analog	FDMA	30kHz	Birinci
Darbant AMPS (NAMPS)	1992	Analog	FDMA	10kHz	Birinci
USDC	1991	Sayısal	TDMA	30kHz	İkinci
IS-95	1993	Sayısal	CDMA	1.25MHz	İkinci
Wideband cdmaOne	> 2000	Sayısal	CDMA	1.25, 5, 10, 15, 20 MHz	Üçüncü

Tablo 5.2 Avrupa'daki bazı Mobil Haberleşme Standartları [16]

Hücresel Sistem	Tanıtım Yılı	İletim Şekli	Çoğullamalı Erişim Tekniği	Kanal Bantgenişliği	Nesil
TACS	1985	Analog	FDMA	25kHz	Birinci
NMT-900	1986	Analog	FDMA	12.5kHz	Birinci
GSM	1990	Sayısal	TDMA	200kHz	İkinci
UMTS	> 2000	Sayısal	CDMA/ TDMA	1.25, 5, 10, 20 MHz	Üçüncü

6.1 Üçüncü Nesil Mobil Sistemlerin Özellikleri ve Gelişimi

Üçüncü nesil mobil sistemler , yüksek hızda internet erişimini, video ve yüksek kalitede görüntü (sabit şebekelerdeki kalite ile aynı) iletimini desteklemek için tasarlanmıştır. ITU'da üçüncü nesil şebekelere IMT-2000 denilmektedir. 1985'den buyana ITU, önceleri FPLMTS denilen IMT-2000'i geliştirmektedir. ETSI'de UMTS standartının oluşturulması 1990'da teknik alt-komite SMG5 kurulduğu zaman başlamıştır. IMT-2000 hava arabirimi için temel hedefler şöyle özetlenebilir:

- PSTN (Public Switched Telephone Network) ile karşılaştırılabilir ses kalitesi;
- yüksek veri hızlarını desteklemek, Tablo 5.3 3G sistemlerinin veri hızı gereksinimlerini göstermektedir;

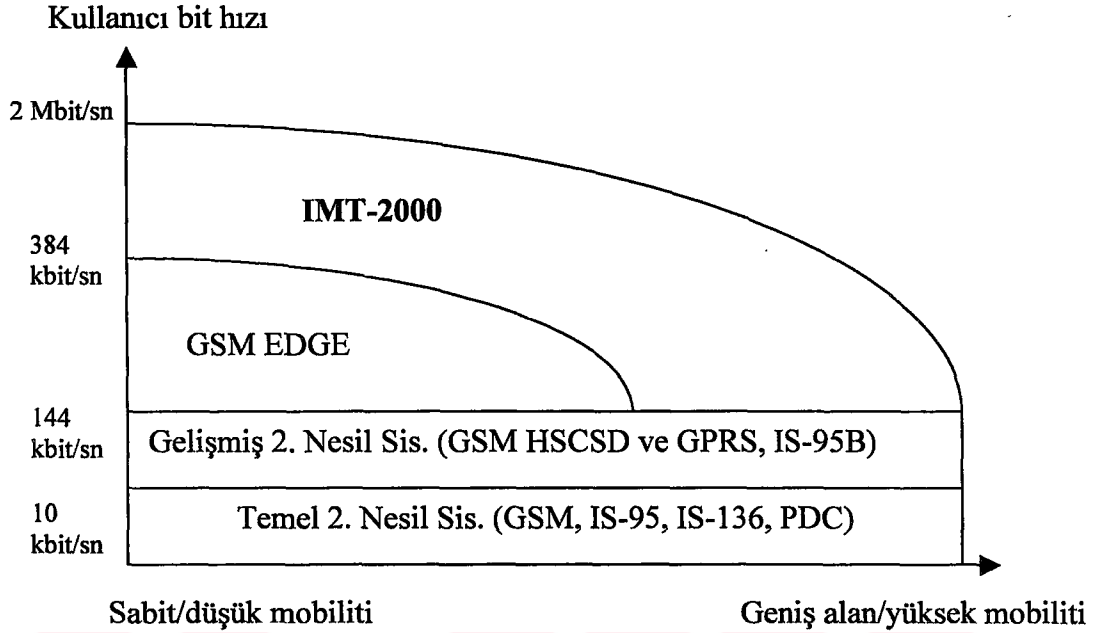
Tablo 5.3 3G veri hızı gereksinimleri

Mobilite Gereksinimi	Minimum Veri Hızı
Taşıta-ait	144 kbit/sn
Binadışı-binaici ve yayalara-ait	384 kbit/sn
Binaici ofis	2 Mbit/sn

- paket-bağlaşmalı ve devre-bağlaşmalı veri hizmetlerinin desteklenmesi;
- mevcut radyo spektrumunun daha verimli kullanımı;
- geniş çapta mobil cihazlarının desteklenmesi;
- mevcut şebekelerle geri yönde uyumluluk ve yeni hizmetlerin tanıtılmasında yüksek esneklik;
- internet iletişiminin asimetrik doğasına uyan radyo arabirimi (DL için UL'den daha fazla bantgenişliği) sağlanması;
- 144 Kbit/sn için, tercihen 384 Kbit/sn, tam kapsama ve mobilite;
- 2 Mbit/sn için sınırlı kapsama ve mobilite.

Bit hızı hedefleri, ISDN'e (Integrated Services Digital Network) göre belirlenmiştir. 144 kbit/sn veri hızı ISDN 2B+D kanalını sağlamakta, 384 kbit/sn ISDN H0 kanalını, ve 1920 kbit/sn ISDN H12 kanalını sağlamaktadır. Bununla beraber temel IMT-2000 hizmetleri ISDN-temelli hizmetler değildir. Sonuçta market talebi, ticari

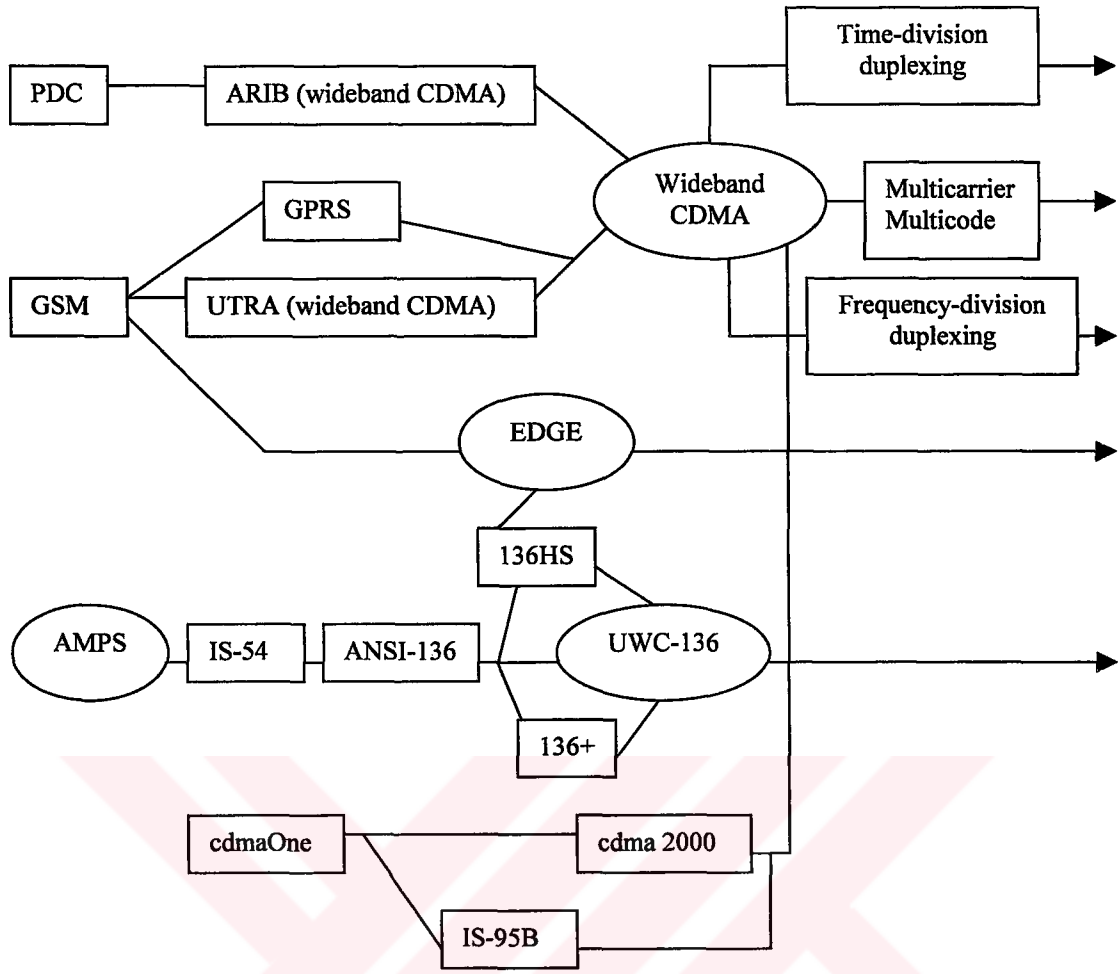
sistemlerde hangi hızların sunulacağını belirleyecektir. Şekil 5.1, ikinci ve üçüncü nesil sistemler için bit hızları ve mobilite arasındaki ilişkiyi gösterir.



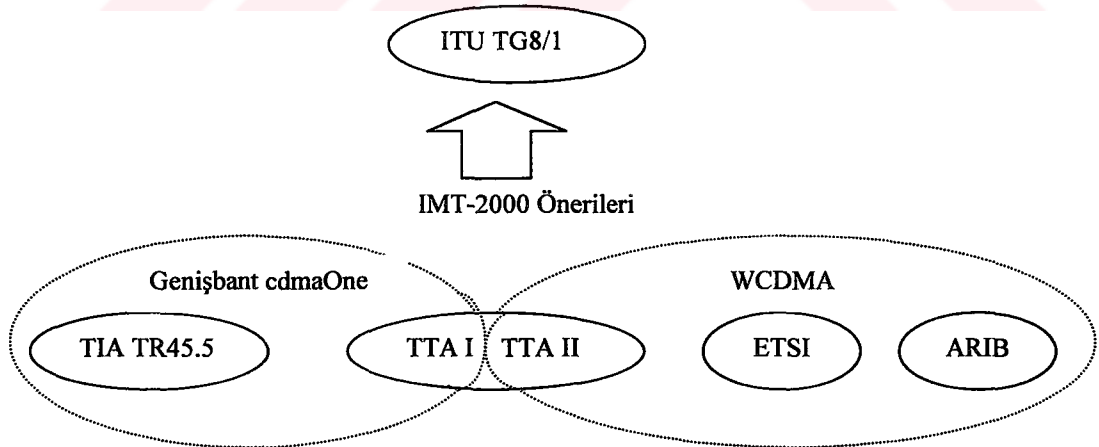
Şekil 5.1 Mobil sistemlerde mobilite ve kapsama alanına karşılık kullanıcı bit hızları gösterimi

Araştırmalar, on yıldan daha fazla bir süredir, mobil iletişimine çoklu-ortam kabiliyetini getirme yolunda yapılmaktadır. Farklı standart üreticileri, 3G hücresel sistemler için çok değişik öneriler hazırlamışlardır. Şekil 5.2, üçüncü nesil hücresel sistemlerin gelişimini göstermektedir [35]. 3G iletişim sistemleri için Avrupa, Japonya, US ve Kore'deki standart oluşturma ile ilgili organizasyonlar tarafından, radyo iletim teknolojisi olarak genişbantlı CDMA(WCDMA) geliştirilmiştir. Şekil 5.3'de de WCDMA'nın farklı projeler ve organizasyonlar tarafından hangi isimle sunulduğu gösterilmiştir.

CDMA temelli 3G hava arabirimi standartlaştırılması, iki temel tip genişbantlı CDMA üzerinde odaklanmıştır: asenkron şebeke ve senkron şebeke. Asenkron şebeke projesinde, baz istasyonları senkronize edilmezken, senkron şebeke projesinde baz istasyonları birkaç mikro saniye içinde birbirlerine senkronize olurlar. Üç tane asenkron şebeke CDMA önerisi vardır : ETSI ve ARIB'de WCDMA, Kore'de TTA II (ITU RTT sunuşu için TTA II yerine Global CDMA II kullanılır) genişbantlı CDMA aynı parametrelere sahiptirler. Bunlara ilaveten US'de T1P1, WCDMA'nın geliştirilmesine katılmıştır.



Şekil 5.2 3G Mobil Sistemlerin Gelişimi [35]



Şekil 5.3 Genişbant CDMA projeleri ve standartları [13]

Senkron şebeke genişbant CDMA projesi, TR45.5 (cdma2000) tarafından önerilmiştir ve Kore (TTA I – ITU RTT sunuşu için Global CDMA I) tarafından da

dikkate alınmıştır. Tüm projeler, ITU-R TG8/1'deki (Task Group 8/1) IMT-2000 radyo iletim teknolojisi gereksinimlerini karşılayabilecek şekilde tasarlanmıştır.

WCDMA ve cdma2000 arasındaki farklar TTA I ve TTA II 'nin tasarlanmasında belirleyici unsurlar olmuştur. WCDMA ile cdma2000 arasındaki temel farklar chip hızı, DL kanal yapısı ve şebeke senkronizasyonudur. cdma2000, DS (Direct Spread) DL 5 MHz band tahsisi için 3.6864 Mchip/sn chip hızı ve çoklu-taşıyıcı (MC-Multi Carrier) DL için 1.2288 Mchip/sn chip hızı kullanmaktadır. WCDMA, 4.096 Mchip/sn chip hızlı DS kullanmaktadır. IS-95'e benzer olarak, cdma2000 yayma kodları aynı M-sırası'nın farklı faz offsetlerini kullanarak üretilir, bu senkron şebeke ile mümkün olmaktadır. WCDMA asenkron şebekeye sahip olduğundan, hücre ve kullanıcı ayrımı için aynı kodun farklı faz kaymaları yerine farklı uzun kodları kullanılır.

İlk olarak Japonya'da ARIB tarafından WCDMA'nın detaylı biçiminde tasarlanması, Avrupa'da ve US'de 3G sisteminin standartlarının oluşturulması için araştırmaların ivme kazanmasına neden olmuştur. 1998 yılı içinde, genişbantlı CDMA'nın arkasındaki güçlü destek, WCDMA'nın ETSI'de FDD (Frequency Division Duplex) frekans bantları için UMTS hava arabirimi olarak seçilmesine neden olmuştur. Bu seçim Amerika ve Asya GSM işleticileri tarafından da destek görmüştür. TDD (Time Division Duplex) bantları için ise TD-CDMA (Time-division CDMA) fikri kabul edilmiştir.

5.2. IMT-2000 Uygulamaları

Üçüncü nesil (3G) mobil haberleşme uygulamaları sadece yeni hizmetler getirmemektedir; bunun yanında mevcut hizmetleri yeni yeteneklerle, örneğin eşzamanlı hizmetlerin sağlanması, dinamik değişken hızlı hizmetler ve daha düşük gecikmelerle, geliştirmektedir. IMT-2000 hizmet hedefleri, geniş alan kapsamında yüksek mobilite ile en az 144 kbit/sn (tercihen 384 kbit/sn) ve yerel kapsamda düşük mobilite ile 2 Mbit/sn hızlar sağlamaktır. 3G hizmetlere örnek vermek için, bir IMT-2000 kullanıcıyı binadışı ortamda düşünelim. Bu kullanıcı sinemaya gitmeyi düşünüyor ve şehirde hangi filmlerin gösterildiğini öğrenmek ihtiyacı duyuyor. Ses tanıma yazılımı ile bu sorgusu telsiz cihazının anlayabileceği formata dönüştürülür.

Akıllı arama ile WWW'de filmlerle ilgili uygun bilginin aranması yapılır. Bilgi bulunduğunda da kullanıcının terminaline indirilip terminal ekranında gösterilmesi sağlanır. Kullanıcı, film başlıklarına bakıldıktan sonra, terminale indirilen film tanıtım gösterimlerini görmeye karar verir. Daha sonra sinema salonuna nasıl gidilebileceğini öğrenmek isteyebilir ve sinemanın dijital haritasını ve resmini elde edebilir. Buradaki örnekte IMT-2000'nin birçok özelliği kullanılmıştır. Bağlantıyı kırmak için uygulama, taşıyıcı hizmet özelliklerini, örneğin taşıyıcı türü, bit hızı, gecikme, BER, UL/DL simetrisi, hata korumasını sorgular. Oturum esnasında, paralel taşıyıcı hizmetleri aktifdi. Gerçek-zaman olmayan iletişim modu kullanıldı. WWW'ye göz atmak ve video veya diğer bilgileri indirmek tipik bir asimetrik, gerçek-zaman olmayan uygulamalara örneklerdir. Video telefon uygulaması ise simetrik, gerçek-zaman uygulamaya örnektir.

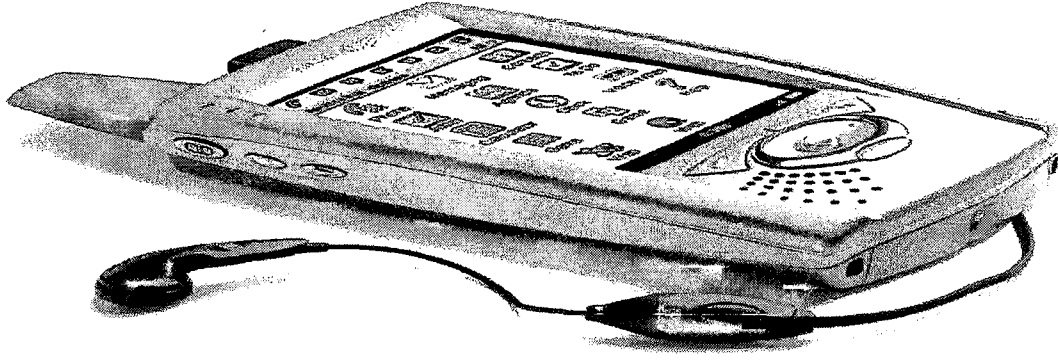
IMT-2000 mobil biriminde e-mail, WWW erişimi, faks ve dosya transfer hizmetleri desteklenmektedir. Bu hizmetler ikinci nesil şebekeler tarafındanda sağlanmaktadır, fakat IMT-2000'nin yüksek bit hızı bunları uç kullanıcı için daha cazip hale getirmektedir. Mühendislikle ilgili normal bir teknik döküman, şayet büyük miktarda resim içeriyorsa 1 Mbyte'ı aşabilir. Bu da IMT-2000 ile iletildiğinde yaklaşık 4 saniye alırken, 100 Kbit/sn GPRS bağlantısı ile 80 saniye alacaktır.

İnternet

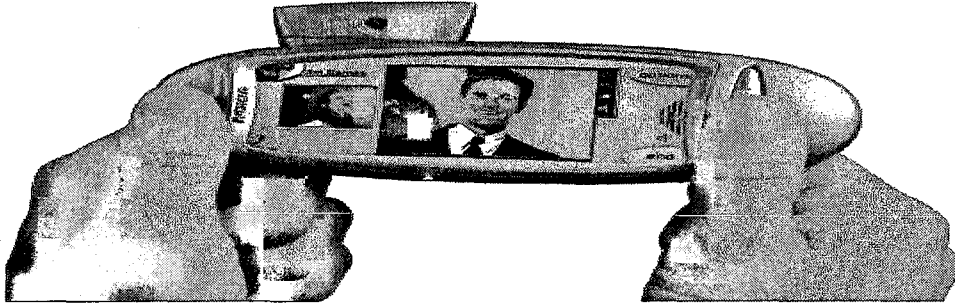
İnternet'i mobil radyo sistemleri ile birleştirmek, kullanıcının konumundan bağımsız olarak her yerde internet erişimine olanak sağlayacaktır. Örneğin; yolunu kaybeden bir kullanıcı, telsiz terminali sayesinde web'teki konum hizmetlerinden birine erişerek sürüş direktiflerini alabilecek. WWW trafiği asimetritir.

Telsiz video

Şekil 5.4, IMT-2000 uygulamalarından biri olarak düşünülen telsiz video görüşünün bir sonucu olan kullanıcı terminalini göstermektedir. Bu bölümün başında anlatılan, kullanıcının bir filmin reklamını izlediği hizmete alma-tipi(retrieval-type) hizmet denilmektedir. Bu tür hizmetlere örnek olarak; video mesajlaşması (fotoğraflar, çizimler) ve videodan haber dağıtımı da verilebilir. Etkileşimli-tip (Conversational-type) hizmetler, video konferans ve video telefon, iki veya daha fazla kullanıcı arasında etkileşim içermektedir. Bu iki tip hizmet çok farklı iletim gereksinimlerine sahiptir.



(a)



(b)

Şekil 5.4 IMT-2000 kullanıcı terminalleri

Çoklu-ortam hizmetleri

Çoklu-ortam, birçok farklı türde bilginin (ses, video ve veri) aynı anda iletilmesi anlamına gelmektedir. Bu birleşenlerin bit hızı ve kalitesi değişken olabilir: örneğin, ses için $BER\ 10^{-3}$, gecikme 40 ms ve veri için $BER\ 10^{-7}$. Birbirinden farklı hizmetlerin çoğullanması H.324 çoklu ortam iletişim standartının bir parçası olan H.223'ün veya paket temelli çoklu ortam haberleşmesi standardı H.323'ün bir parçası olan H.250'nin kullanılması ile mümkün olur. H.323 çoğullama düzeneği, farklı veri akımlarını şebeke üzerinden iletimi için tek bir akıma dönüştürür. Farklı hizmetlerin çoğullanması hava arabiriminde de mümkündür. 3G şebekeler farklı tipteki hizmetler için farklı iletim taşıyıcıları önerirler. Gelecek gereksinimleri ve mevcut hizmetlerin analizine dayanarak, daha genel radyo gereksinimleri çıkarılmıştır (veri hızı, BER, veri hızı değişimi, max gecikme). Bu uygulama gereksinimleri Tablo 5.4'de gösterildiği gibi genel radyo taşıyıcılarına eşleştirilebilir. Kesin değerler hala tartışma aşamasındadır.

Tablo 5.4 IMT-2000 Taşıyıcı Hizmet Gereksinimleri [13]

	Gerçek Zaman/ Sabit Gecikme		Gerçek-Zaman olmayan/ Değişken gecikme	
Çalışma Ortamı	PBR(Peak Bit Rate)	BER/Max. Transfer Gecikmesi	PBR(Peak Bit Rate)	BER/Max. Transfer Gecikmesi
Kırsal binadışı terminal hızı max 250 km/h	en az 144 Kb/sn (tercihen 384 Kb/sn)	gecikme 20-300 msn BER 10^{-3} - 10^{-7}	en az 144 Kb/sn (tercihen 384 Kb/sn)	BER 10^{-5} - 10^{-8} Max transfer gecikmesi 150 msn veya yukarısı
Kentsel/Banliyö binadışı, terminal hızı max 150 km/h	en az 384 Kb/sn (tercihen 512 Kb/sn)	gecikme 20-300 msn BER 10^{-3} - 10^{-7}	en az 384 Kb/sn (tercihen 512 Kb/sn)	BER 10^{-5} - 10^{-8} Max transfer gecikmesi 150 msn veya yukarısı
Bina içi/düşük çapta binadışı terminal hızı max 10 km/h	2 Mbit/sn	gecikme 20-300 msn BER 10^{-3} - 10^{-7}	2 Mbit/sn	BER 10^{-5} - 10^{-8} Max transfer gecikmesi 150 msn veya yukarısı

5.3 3G Sistemler için Spektrum Tahsisi

WARC (World Administrative Radio Conference) 1992'deki WARC92 ve WARC95'de, 1885 ile 2025 MHz ve 2110 ile 2200 MHz arasındaki 230 MHz spektrumu tüm dünya çapında 2000 yılından sonra kullanılacak 3G mobil sistemi için tahsis etmiştir. Bu tahsis işlemi, farklı ülke ve bölgelerde farklı şekilde yapılacaktır. Bununla beraber IMT2000'nin Avrupa uygulaması UMTS için asıl band 1900-2025 ve 2210-2200 MHz olarak seçilmiştir. Şekil 5.5, değişik ITU alanlarında WARC92/WARC95'de 3G için tahsis edilen bandları göstermektedir. Avrupa içinde, CEPT'in (European Conference of Postal and Telecommunication Administrations) ERC'si (European Radiocommunications Committee) radyo frekanslarının tahsisinden sorumludur. ERC/DEC/(97)07 CEPT kararı, spektrumun 155 MHz'ini 3G sistemini karasal bileşenleri için ayrılması gerektiğini söylemektedir. Haziran 1997'de, CEPT tarafından karar verilen 2002 için IMT2000/UMTS karasal çekirdek bandı :

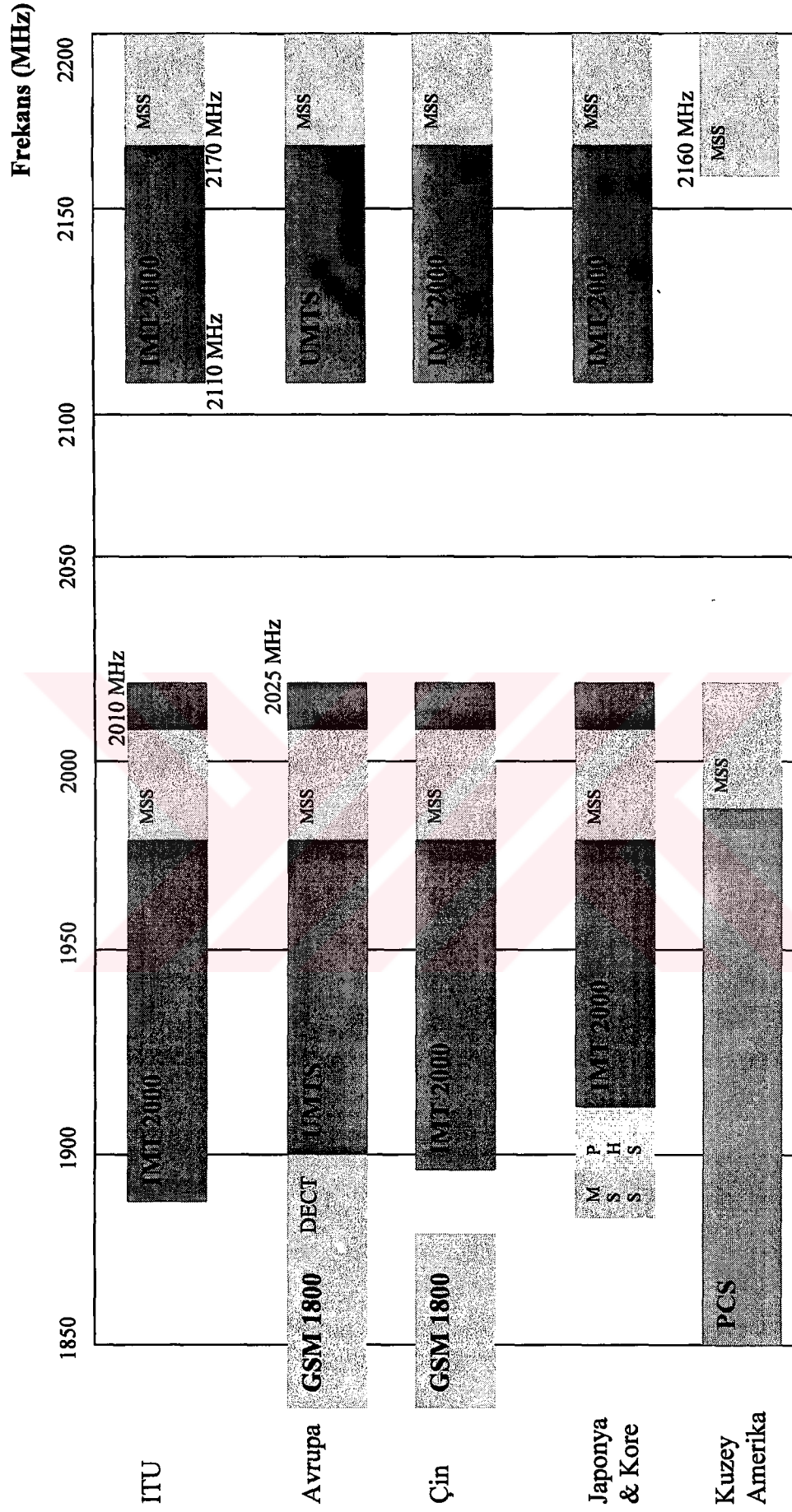
- 1900 – 1980 MHz
- 2010 – 2025 MHz
- 2110 – 2170 MHz

1980'den 2010 MHz'e ve 2170'den 2200 MHz'e kadar olan bandlar, uydu sistemleri için ayrılmıştır. Böylece WARC92, toplam 155 MHz'i dünya çapında IMT2000/UMTS karasal hizmetler için ayırmıştır. US'de IMT-2000 frekansının bir kısmı halen PCS sistemleri için kullanılmaktadır. Japonya ve Avrupa'da 3G için frekans tahsisatı birbirine oldukça benzer, sadece PHS spektrum tahsisi kısmen UMTS TDD spektrumu ile çakışmaktadır. Frekans tahsisinin teknoloji seçiminde ve hava arabirimi tasarımında etkisi vardır. Bu tahsis, 1885-2025 MHz ve 2110-2200 MHz frekans bantlarına ayrılmıştır, 1980-2010 MHz ve 2170-2200 altbantlar da uydu ve karasal bileşenlere ayrılmıştır. IMT-2000 spektrumu asimetrik olduğundan hem FDD hem de TDD temelli sistemleri desteklemektedir. 155 MHz spektrumda, FDD için 'çift bant' (2x60 MHz) TDD için ise 'tek bant' (1900-1920 ve 2010-2025 MHz) kullanılmaktadır. Şekil 5.6 ve Tablo 5.5'de UMTS için önerilen frekans tahsis ayrıntılı biçimde gösterilmektedir.

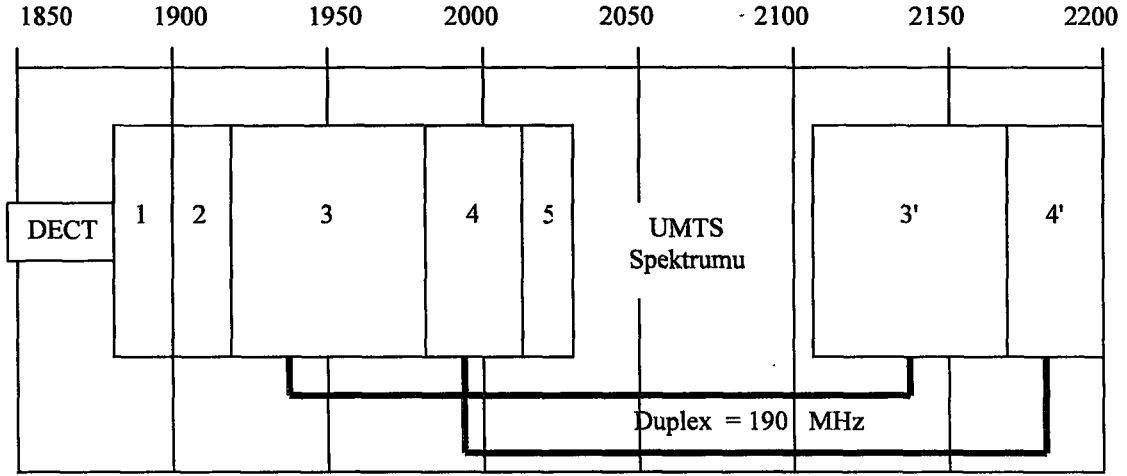
Tablo 5.5 UMTS için önerilen Frekans Spektrumu Tahsisi [13]

Band	Frekans (MHz)	Bantgenişliği (MHz)	Tahsisat
2	1900 – 1920	20	UMTS Karasal Uygulamalar (TDD)
3	1920 – 1980	60	UMTS Karasal Uygulamalar (FDD)
4	1980- 2010	30	UMTS Uydu Birleşeni (FDD)
5	2010 – 2025	15	UMTS Karasal Uygulamalar (TDD)
3'	2110 – 2170	60	UMTS Karasal Uygulamalar (FDD)
4'	2170 – 2200	30	UMTS Uydu Birleşeni (FDD)

Gelecek yıllardaki çok büyük trafik miktarı tahmini, yukarıdaki bandların yeterli olamayacağını göstermektedir. UMTS Forum 2010 yılı itibariyle, ikinci ve üçüncü nesil sistemleri içeren tüm karasal mobil iletişim için spektrum talebinin 582 MHz olacağını tahmin etmektedir. Spektrumun 155 MHz'i IMT2000/UMTS çekirdek bandı için tasarlanmışken, 240 MHz'lik kısımda ikinci nesil karasal mobil sistemler için tahsis edilmişti (Avrupa için). Bu iki bandın toplamı 395 MHz yapmakta, diğе bir deyişle UMTS Forum 2010 yılında 187 MHz'lik bir ek frekans gereksinimin olacağını hesaplamıştır. Diğer taraftan CEPT ERC/TG1, 2010 yılında gereksinim duyulacak ek frekansın 160 MHz olacağını tahmin etmektedir.



Şekil 5.5 WARC92/95'de tanıtılan IMT2000/UMTS çekirdek frekans bandları [36]



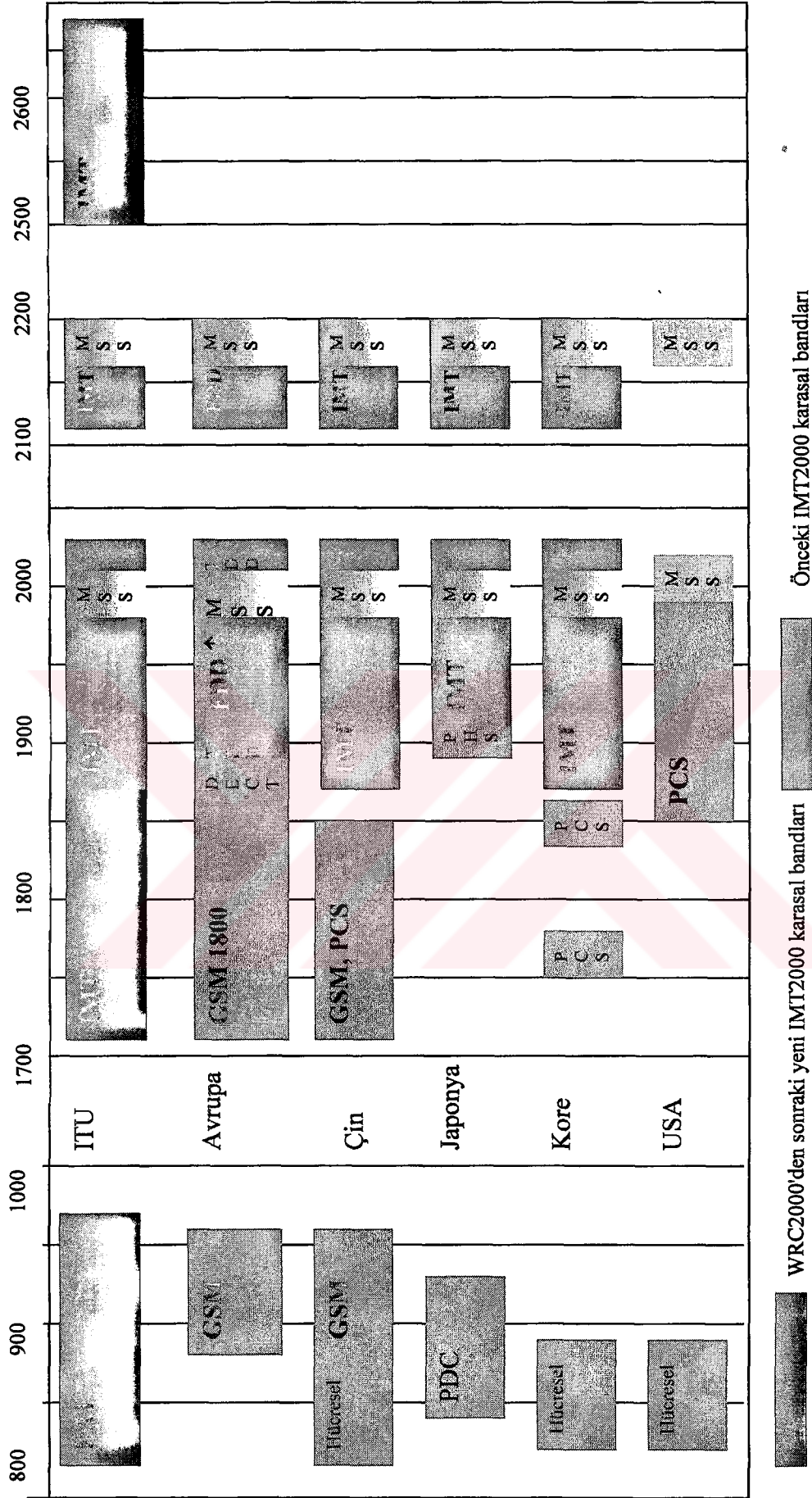
Şekil 5.6 UMTS için önerilen spektrum tahsisi
(Band 1 DECT tarafından kullanılıyor)

Mayıs 2000 İstanbul'da yapılan WRC2000, IMT2000/UMTS için ilave frekans bandı konusunda karar verilmiştir. Çekirdek spektrumu (1885-2025 MHz ve 2110-2200 MHz) tamamlamak için konferans ortak bir karara varabilmiştir. IMT2000/UMTS karasal birleşenleri için ek bandları şu şekilde tanımlamışlardır:

- 806 – 960 MHz (USA tarafından önerilmiştir);
- 1710 – 1885 MHz (USA ve CITELE tarafından önerilmiştir);
- 2500 – 2690 MHz (USA ve CEPT tarafından önerilmiştir);

Bu bandlar, mobil çoklu-ortam hizmetleri için geleceğin yoğun marketini (on yılın sonunda iki milyar kullanıcının olacağı tahmin edilmekte) desteklemek amacıyla ilave kapasite sağlayacaktır. Mobil kullanıcılar, bu genişletilmiş spektrum ile daha ucuz cihazlarla nerede olurlarsa olsunlar bilgi hizmetlerine erişebileceklerdir. Bu bandlar, yoğun trafiğide desteklemek için gerek duyulan ilave 160 MHz'i sağlayacaktır. Şekil 5.7'de WRC2000'den sonraki IMT2000 frekans ayarlaması gösterilmiştir. WARC92'deki spektruma ilave üç frekans bandı vardır [36]. Çoğu ülkede, 3G sistemler için belirlenen bandlar, ekonomik ve stratejik açıdan vazgeçilemeyecek hizmetler için yoğun biçimde günümüzde kullanılmaktadır. Örneğin; USA'de 25000-2690 MHz bandı IFTS (Instructional TV Fixed Service), MDS (Multipoint Distribution Service) ve MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service) için kullanılmaktadır.

Frekans (MHz)



Şekil 5.7 WRC2000'den sonra IMT2000 frekans tahsisi [36]

Tek çözüm, mevcut sistemlerle 3G için ayrılan bandı paylaşmaktır. Benzer olarak 1775-1850 MHz bandı, sabit mikrodalga iletişim sistemleri, askeri radyo aktarma, hava savaşı eğitim sistemleri, yüksek çözünürlüklü video veri bağlantısı gibi uygulamalar için kullanılmaktadır. Avrupa'da da durum benzerdir; tahsis edilen 2500-2690 MHz bandı yoğun biçimde diğer önemli hizmetler için kullanılmaktadır.

Lisans alma süreci de çoğu ülkede başlatılmıştır. Bu süreci başlatan ülkelere ilk Finlandiya, dört tane ulusal lisansı Mart 1999'da vermiştir. Tablo 5.6, Avrupa ve dünyada şu anki lisans durumlarını göstermektedir [36].

Tablo 5.6 3G spektrumu için ticari lisans durumu(Ocak 2001) [36]

Ülke	Yıl	Tamamlanma	Verilen Lisans sayısı	Geçerlilik Süresi (yıl)
Finlandiya	03/1999	EVET	4	20
İspanya	03/2000	EVET	4	20
UK	04/2000	EVET	5	25
Japonya	06/2000	EVET	3	
Hollanda	07/2000	EVET	5	16
Yeni Zelanda	07/2000	HAYIR	4	20
Almanya	08/2000	EVET	6	20
Fransa	06/2001	HAYIR	4	15
Avusturya	11/2000	EVET	6	20
Norveç	11/2000	EVET	4	12
İsviçre	12/2000	EVET	4	15
İsveç	12/2000	EVET	4	15
İtalya	11/2000	EVET	4	15
Portekiz	12/2000	HAYIR	4	15
Belçika	04/2001	HAYIR	4	20
Yunanistan	04/2001	HAYIR	4	
İrlanda	05/2001	HAYIR	4	15
Güney Kore	12/2000	HAYIR		
Avustralya	01/2001	HAYIR		15
Danimarka	10/2001	HAYIR	4	15-20
USA	09/2002	HAYIR		

6. UMTS VE RADYO ARABİRİMİ (UTRA)

6.1 UMTS Teknolojisi

UMTS, IMT-2000 olarak bilinen ITU tarafından tanımlanmış bir çalışma çatısı içinde geliştirilen yeni Üçüncü Nesil mobil sistemlerden biridir. Teknik çalışmalar 1991'den bu yana ETSI içinde yapılmış ve 1998'in başlarında ETSI, UMTS için yeni bir radyo arabirimi (UTRA - UMTS Terrestrial Radio Access) seçmiştir. UMTS için büyük bir destek de telekomünikasyon endüstrisi tarafından verilmiştir; RACE I, II ve ACTS gibi araştırma programları gerçekleştirilmiştir.

UMTS'in ana amacı, telli ve telsiz ortamlarda birleştirilmiş daha yüksek kapasiteli şebekeler sağlamaktır. UMTS, sabit ve telsiz hizmetlerin birbirlerine yaklaşımlarına imkan sağlayacaktır. UMTS'i ikinci nesil mobil sistemlerden yukarıda tutan bir faktör de kullanıcılara 2 Mbit/sn veri hızı desteği sunabilecek olmasıdır. Bu yetenek, UMTS tarafından desteklenen IP (Internet Protocol) ile beraber, video telefon, video konferans gibi genişbant uygulamaların da olduğu etkileşimli çoklu-ortam hizmetleri dağıtılması için güçlü bir birleşim olacaktır. UMTS gelişmelerinin ilerki safhalarında, bina içi ortamlarda 155 Mbit/sn veri hızı sağlayan WLAN teknolojileri kullanarak daha yüksek veri hızlarına sahip sistemlere geçiş olabilecektir. Şu an için üç temel kanal kapasite bağlantısı düşünülmüştür: mobil hız olarak 144 kbit/sn; portatif olarak 384 kbit/sn ve bina içi hız olarak da 2 Mbit/sn'dir.

UMTS hizmetlerini, ihtiyaç duyduğu veri hızı, servis kalitesi, gerçek zaman iletim hızı gibi parametreleri dikkate alarak çeşitlendirebiliriz; her bir hizmet, izin verilebilir bit hata oranı(BER) ve geçikme toleransı bakımından farklı özelliklere sahip olurlar. Tablo 6.1'de bazı UMTS hizmetlerinin özellikleri sunulmuştur. Veri özellikleri en uygun iletim metodunu belirleyecektir. Herbir hizmet ile ilgili olan veri tipi, hizmetin desteklenebileceği ortam tipini de belirler.

Tablo 6.1 UMTS hizmetleri ve bunların bazı iletim özellikleri [31]

Uygulamalar veya Hizmetler	Gerekli Veri Hızı	İstenilen hizmet Kalitesi	Zamana Duyarlılık
İleti Yollama (e-mail, v.s)	Düşük (1-10 Kbit/sn)	Yüksek	Yok
Ses	Düşük (4-20Kbit/sn)	Düşük (BER < 10 ⁻³)	Var
Web'e göz atmak	Mümkün olacağı kadar yüksek (>10-100Kbit/sn)	Yüksek (BER<10 ⁻⁹)	Genelde zamana duyarlı değil
Video Konferans	Yüksek (>100Kbit/sn -1Mbit/sn)	Orta	Var
Yüksek kalitede Müzik	Yüksek (100-300Kbit/sn)	Orta	Var
Veri Tabanı Erişimi	Yüksek (>30Kbit/sn)	Çok yüksek	Yok

UMTS ile beraber mobil uygulamaları için tüm ortamlarda, bunlar şehir içi, şehir dışı gibi ortamlar olabilir, en az 144 Kbit/sn'lik bir iletim hızı kullanıcılara sağlanırken, makro ve mikro hücreli ortamlarında örneğin; bina içi iş ortamlar, bu hız 384 Kbit/sn, mikro ve piko hücreli ortamlarda ise bu hız 2.048 Mbit/sn'ye ulaşmaktadır [4]. UMTS'de desteklenen bu maksimum veri hızlarını Tablo 6.2'de çeşitli ortamlar için görebiliriz.

Tablo 6.2 Çeşitli ortamlarda UMTS için desteklenen maksimum veri hızları

Ortam	Desteklenen maksimum veri hızı
İş(Bina içi)	384 Kbit/sn
Şehirdışı (Bina içi/dışı)	144 Kbit/sn
Şehir içi (vasıtada-bina dışı)	144 Kbit/sn
Şehir içi(yaya-bina dışı)	144 Kbit/sn
Sabit (Bina dışı)	144 Kbit/sn – 384 Kbit/sn
Yerel yüksek bit hızı(bina içi)	2 Mbit/sn

Tüm hücresel sistemlerde olduğu gibi toplam şebeke kapasitesi, kullanılan hücrelerin boyutuna bağlıdır. Hücre boyutu ayrıca herbir hücre için maksimum kanal kapasitesini de belirler, propagasyon etkileri örneğin ; çoklu-yol ve zayıflama gibi, geniş hücrelerin daha düşük veri hızlarına sahip olmalarına neden olurlar. Geniş hücreler, çok daha fazla kullanıcıya hizmet etmek zorunda olduğundan ve hücre kapasitesinin yaklaşık olarak hep sabit olacağından, daha küçük hücrelere nazaran kullanıcılar düşük veri hızlarını kullanmak zorunda kalırlar. Hücresel şebekeleri iyileştirebilmek için üç tür hücre tipi kullanılmakta. Bunlar piko-hücre, mikro-hücre ve makro-hücrelerdir. Tablo 6.3 UMTS'de kullanılan bu üç hücre tipini ve bazı özelliklerini göstermektedir.

Tablo 6.3 UMTS'de kullanılan hücre tipleri ve özellikleri

	Piko-hücre	Mikro-hücre	Makro-hücre
Hücre yarıçapı	< 100 m	< 1000 m	< 20 km
Uygulamalar ve Ortam	Bina içi/dışı Şehir merkezi yerel yüksek bit hızı	Yüksek yoğunluk binadışı İş(Bina içi) sabit(Bina dışı)	Az yoğun bölgeler Şehir dışı Şehir içi bölgeler Sabit(bina dışı)
Hizmetler ve desteklenen veri hızı	Tüm hizmetler (2 Mbit/sn'ye kadar)	384 Kbit/sn'ye kadar	Sınırlı alt hizmetler (144 Kbit/sn'ye kadar)

UMTS'in hedeflerinden biri, "her an, her yerde" erişim sağlamaktır. Fakat hücresel şebekeler, yüksek altyapı maliyetinden dolayı sadece sınırlı bir alanı kapsayabilmektedir. Bundan dolayı, uydu sistemleri, UMTS şebekesinin bir parçası olmuştur. Uydular, uzak alanlara, hava veya denizdeki mobil birimlere kapsama alanı sunar. LEO (Low Earth Orbit) uyduları, dünya çapında kapsama sağlamak için en büyük aday olarak gözükmektedir [4,31].

URAN (UMTS Radio Access Network) için standard oluşturma süreci içinde çok değişik çözümler sunulmuştur ve bunların hepsi WCDMA (Wideband CDMA) çözümünde birleşmiştir. Benzer olarak UMTS çekirdek şebekesi için ATM (Asynchronous Transmission Mode) ve IP teknolojilerinde birleşme sağlanmıştır.

6.2 UMTS hava arabirimi

Avrupa'da telekomunikasyon standartları ETSI tarafından geliştirilir. UMTS gelişmeleri de ETSI tarafından gerçekleştirilmektedir. UMTS açısından en ilgili ETSI teknik komitesi, TC SMG'dir (Technical Committee Special Mobile Group). TC SMG, GSM ve UMTS gelişmeleri ile sorumludur. Asıl standartlaştırma işleri alt teknik gruplar tarafından gerçekleştirilmektedir. SMG2, UMTS hava arabirimi geliştirilmesinden sorumludur ve UMTS radyo erişim şebekesi standardını hazırlamaktadır. SMG3, GSM/UMTS çekirdek şebekesi (CN-Core Network) standardından sorumlu, SMG12 tüm UMTS mimarisinden sorumludur. SMG5, UMTS'den sorumlu olan asıl alt teknik komiteydi ve 1997'de bundan vazgeçilmiştir.

GSM ve UMTS'in teknik gelişmesinden sorumlu ETSI'nin SMG2 komitesi, hava arabirimi için uygulanacak çoklu erişim tekniği için beş alternatif öneriyi karşılaştırdı (Tablo 6.4). Alpha, Gamma ve Delta grupları, FRAMES projesinden sağlanan bilgilere dayanarak çalışmışlardır. Sonuç olarak 1998 Haziran'da, Tablo 6.5'de temel parametreleri gösterilen UTRA bildirisi ITU'ye sunulmuştur [26].

Tablo 6.4 ETSI UTRA hava arabirimi teknolojisi önerileri [26]

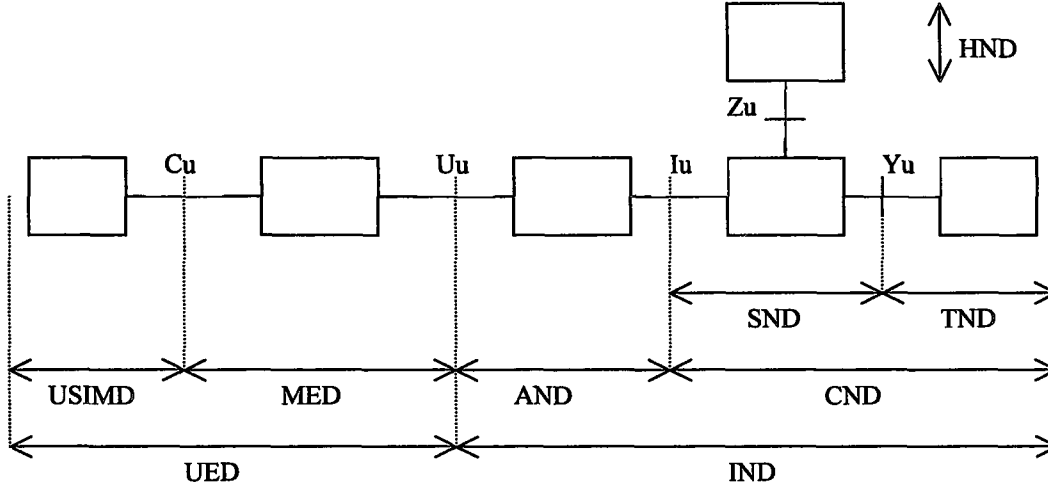
Grup	Çoklu-erişim tekniği
Alpha	W-CDMA
Beta	OFDM
Gamma	Wideband TDMA
Delta	TD-CDMA
Epsilon	ODMA

Tablo 6.5 UTRA FDD ve TDD modları teknik parametreleri [26]

	FDD	TDD
Çoklu-erişim tekniği	W-CDMA	TD-CDMA
Taşıyıcı aralığı	4.4 – 5.2 MHz	5 MHz
Chip hızı	4.096 Mchip/sn	
Modülasyon	QPSK	
Darbe Şekillendirme	RRC, roll-off = 0.22	
Çerçeve uzunluğu	10 msn	

6.2.1 UMTS Şebeke Mimarisi ve Referans Modeli

UMTS standartları, şebeke mimarisini yüksek seviyelerde (domains) tarif etmek için seçilmiştir. UMTS'deki temel alanları ve referans noktaları Şekil 6.1'de verilmiştir.



Şekil 6.1 UMTS alan ve referans noktaları

Şekildeki kısaltmalar şu anlama gelmektedir : HND (Home Network Domain), TND (Transit Network Domain), SND (Serving Network Domain), CND (Core Network Domain), AND (Access Network Domain), MED (Mobile Equipment Domain), UED (User Equipment Domain), USIMD (USIM Domain), USIM (UMTS Subscriber Identity Module), IND (Infrastructure Domain).

SND, çağrıları yönlendirme ve kaynaktan hedefe kullanıcı veri/bilgisini taşımaktan sorumludur. HND, kullanıcıya özgü veriyi içerir ve kayıt bilgilerinin yönetiminden sorumludur. TND, uzak taraf ile SND arasındaki iletişim yolundadır. CND, üç kısma ayrılmaktadır : CS (Circuit Switched) alanı, PS (Packet Switched) ve IM(Internet Protocol Multimedia) alanı. CS alanı, devre bağlaşmalı türde bağlantıyı (adanmış şebeke kaynakları bağlantı kurulması esnasında ayrılır ve bağlantı kesildiğinde serbest bırakılır) ifade etmektedir. CS alanına özgü birimler : MSC, GMSC (Gateway MSC), VLR(Visitor Location Register). PS alanı, 2G GPRS yaklaşımını devamıdır, paket bağlaşmalı trafiği ilgilendirir. PS alanına özgü birimler, GPRS'e özgü SGSN (Serving GPRS Support Node) ve GGSN'dir (Gateway GPRS Support Node). IP çoklu-ortam alanı, ITU H.323 standardı ve IETF'nin (Internet Engineering Task Force) SIP'si (Session Initiation Protocol) tarafından sabit

şebekeler için geliştirilen IP çoklu-ortam uygulamalarını desteklemek için tanımlanmıştır [37].

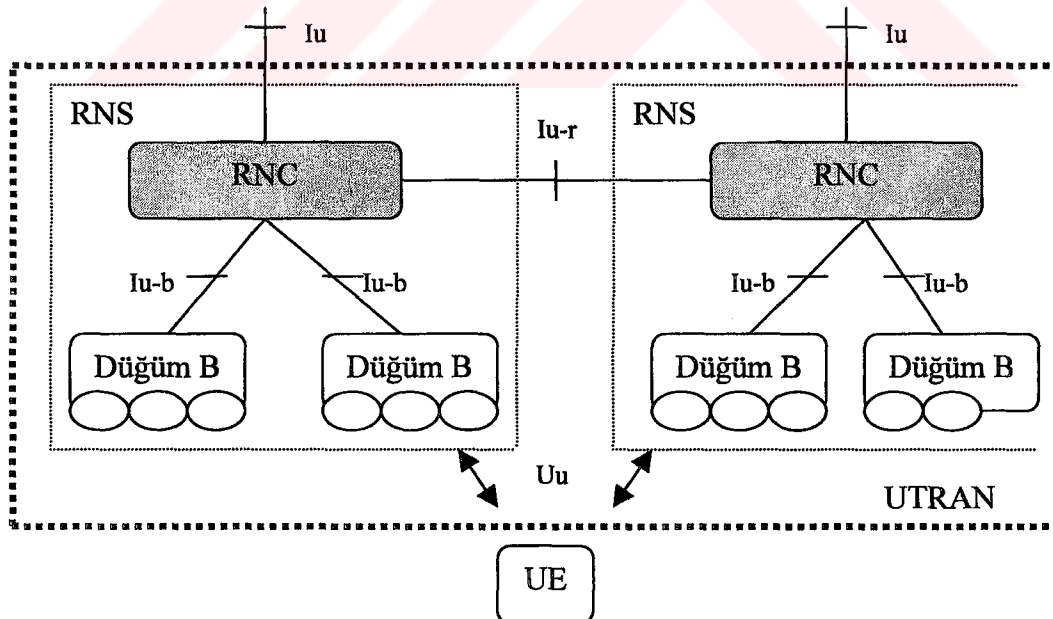
UTRA, erişim şebekesi için tanımlanmıştır. UTRA mimarisi tanımını oluşturan bazı unsurları şöyle sıralayabiliriz:

- İşaretleşme ve veri taşıma şebekelerini lojik olarak birbirlerinden ayırır;
- UTRAN ve çekirdek şebeke (CN) fonksiyonları, taşıma fonksiyonlarından tamamen farklıdır;
- Makro-diversity (sadece FDD için) bütünüyle UTRAN'da gerçekleştirilir;
- RRC (Radio Resource Control) bağlantısı için mobilite bütünüyle UTRAN'da gerçekleştirilir;

Bu genel prensiplerle, GSM'in sınırlamalarının hafifletileceği düşünülmüştür.

UTRAN referans mimarisi Şekil 6.2'de verilmiştir. Kullanıcı cihazı (UE-User Equipment) iki kısımdan oluşur:

- ME (Mobile Equipment) : hava arabirimi üzerinden radyo iletişimi için kullanılan terminal.
- USIM (UMTS Subscriber Identity Module) : abonenin kimlik bilgilerini saklayan ve bazı güvenlik fonksiyonlarını icra eden akıllı kart.



Şekil 6.2 UTRAN sistem mimarisi [38]

UTRAN ayrıca iki farklı elemana da sahiptir:

- Düğüm B (Node B): Iu-b ve Uu arabatdaşımları arasındaki veri akımına imkan sağlar ve radyo kaynağı yönetiminde bulunur. BTS'ler Düğüm B olarak adlandırılır ve son kullanıcı terminalinin doğrudan haberleşebildiği herhangi bir şebeke düğümünü gösterir.
- RNC (Radio Network Controller) : kendisine bağlı olan Düğüm B'lerin radyo kaynaklarına sahiptir ve onları kontrol eder.

Düğüm B, RNC'ye Iub arabirimi ile bağlanır. RNC, radyo kaynaklarını yönetir, UE ile işaretleşmeyi gerektiren aktarma kararından da sorumludur. RNC'ler kendi aralarında doğrudan Iur arabirimi ile haberleşirler. UTRAN'da ve UE'de icra edilen fonksiyonları şu şekilde sıralayabiliriz:

1) Tüm sistemin erişim kontrolü ile ilgili fonksiyonlar

- Sistem bilgisi yayımı

Sistem erişimi, UMTS hizmetlerini ve/veya imkanlarını kullanmak amacıyla UMTS'e bir UMTS kullanıcısının bağlanması anlamına gelmektedir. Kullanıcı sistem erişimi, ya mobil tarafından ( rneğin; mobil tarafından kurulmuş çağırma) veya şebeke tarafından ( rneğin; mobil sonlandırılmış çağırma) başlatılabilir. Sistem bilgisi yayımı fonksiyonu, serbest modda bir bağlantı kurulması, aktarma uygulanması veya haberleşme modunda paketlerin yönlendirilmesinden sorumludur. Bazı hizmetlerini sıralarsak:

- erişim hakları
- kullanılan frekans bandları
- taşıma kanallarının konfigürasyonu
- şebeke ve hücre kimlikleri
- yer kaydı bilgisi
- UE iletim güç kontrol bilgisi
- UE erişim ve kabul kontrol bilgisi

2) Radyo kanalı şifrelemesi ile ilgili fonksiyonlar

- Radyo kanalı şifrelemesi
- Radyo kanalı şifre   z m 

Radyo kanalı şifrelemesi fonksiyonu, UE'de ve UTRAN'da bulunur. İletilen radyo verisinin, izinsiz üçüncü şahıslara karşı korunması ile ilgili fonksiyondur. Radyo kanalı şifre çözümü fonksiyonu ise, şifrelenmiş bilgidan orijinal bilginin tekrar elde edilmesidir. Bu fonksiyon da UE ve UTRAN'da icra edilir.

3) Aktarma ile ilgili fonksiyonlar

- Radyo ortamı araştırılması
- Aktarma kararı
- Aktarma kontrolü
- Aktarma yürütmesi
- Aktarma tamamlaması
- SRNS (Serving Radio Network Subsystem) yerdeğiştirmesi
- Sistemler arası aktarma

Radyo ortamı araştırılması fonksiyonu, radyo kanalları üzerindeki ölçümleri uygular ve bu ölçümleri radyo kanalı kalite tahminlerine çevirir. Ölçümler şunları içerebilir:

- a) alınan işaretin gücü
- b) tahmin edilen bit hata oranı
- c) propogasyon ortamlarının tahmini (yüksek-hız, düşük-hız, uydu v.s.)
- d) Doppler kayması
- e) Senkronizasyon durumu
- f) Alınan girişim düzeyi

Bu fonksiyon UE ve UTRAN'da bulunmaktadır.

Aktarma Kararı fonksiyonu, radyo kanalı kalitesinin tahminlerini toplamak ve çağırma hizmetinin kalitesini tayin etmekle ilgilidir. Bu hizmet kalitesi istenilen sınırlarla karşılaştırılır, bu karşılaştırmanın sonucuna bağılı olarak aktarma kontrol fonksiyonu etkinleştirilir. Bu fonksiyon ayrıca radyo hücreleri üzerinde trafik yükü dağılımının tayini ile ilgilenir. Şayet sadece şebeke aktarmayı başlatırsa bu fonksiyon UTRAN'da uygulanırken, sadece mobil istasyon aktarmayı başlatırsa bu fonksiyon UE'de, hem mobil hemde şebekede aktarma başlatırsa bu fonksiyon UTRAN ve UE'de uygulanacak.

Aktarma kontrol fonksiyonu, aktarma yürütmesi işleminin kontrolünden sorumludur. Aktarma yürütmesi işlemini başlatır ve sonuçlarla ilgili bildirimleri alır. Bu fonksiyon UTRAN'da gerçekleştirilmektedir.

Aktarma yürütme fonksiyonu iki alt işlemden oluşur; *aktarma kaynağı ayırması* işlemi, aktarmanın gereksinim duyduğu yeni radyo ve fiziksel kaynakları ayırır ve etkinleştirir. Yeni kaynaklar ayrıldıktan ve etkinleştirildikten sonra, *aktarma yol bağlaştırması* işlemi, başlatılır, buda eski ile yeni kaynakların bağlaştırılmasını sağlar. Bu fonksiyon, UTRAN ve CN'de bulunur.

Aktarma tamamlanması fonksiyonu, artık gerek duyulmayan kaynakların serbest bırakılması ile ilgilidir. Hem UTRAN'da hemde CN'de bulunur.

SRNS(Serving RNS) yerdeğiştirmesi fonksiyonu, SRNS'in rolünü diğer bir RNS'in aldığı zaman faaliyetleri ortama göre ayarlar. SRNS yerdeğiştirmesi, Iu arabirim noktasının yeni RNS'e taşındığını belirtir. UTRAN ve CN'de bulunmaktadır.

4) Radyo kaynağı yönetimi ve kontrolü ile ilgili fonksiyonlar

- Radyo Taşıyıcısı kontrolü
- Fiziksel radyo kanallarının ayrılması veya serbest bırakılması
- Fiziksel radyo kanallarının tahsisi ve serbest bırakılması
- Radyo fonksiyonu üzerinden paket veri transferi
- RF güç kontrolü
- RF güç ayarlanması
- Radyo kanalı kodlaması
- Radyo kanalı kod çözülmesi
- Kanal kodlama kontrolü
- Rastgele erişimin sezilmesi ve gerçekleştirilmesi

Radyo kaynağı yönetimi, radyo haberleşme kaynaklarının bakımı ve tahsisi ile ilgilidir. UMTS radyo kaynakları, devre modu(ses ve veri) hizmetleri ve diğer hizmet modları (paket veri transfer modu ve bağlantısız hizmetler) arasında paylaşılmalıdır.

Radyo Taşıyıcısı kontrolü fonksiyonu, radyo erişim alt şebekesinde, bağlantı elemanının kurulması ve serbest bırakılmasının kontrolünden sorumludur. UE ve UTRAN'da bulunmaktadır.

Fiziksel radyo kanallarının ayrılması veya serbest bırakılması fonksiyonu, bağlantı elemanı kurulması veya çözülmesi isteğini fiziksel radyo kanalı isteğine çevirir, ilgili fiziksel kanalları ayırır veya serbest bırakır ve bu ayırma/serbest bırakma işlemleri hakkında istekte bulunan tarafı bilgilendirir. Bu fonksiyon UTRAN'da bulunur.

Radyo fonksiyonu üzerinden paket veri transferi, UMTS radyo arabiriminden paket veri transferi yeteneği sağlar. Bu fonksiyon şu işlemleri içerir:

- a) radyo kanalları üzerinden paket erişim kontrolü sağlar
- b) ortak fiziksel radyo kanalları üzerinden paket çoğullamasını sağlar
- c) mobil terminal içinde paket ayırmasını sağlar
- d) hata sezme ve düzeltme sağlar
- e) akış kontrol işlemlerini sağlar

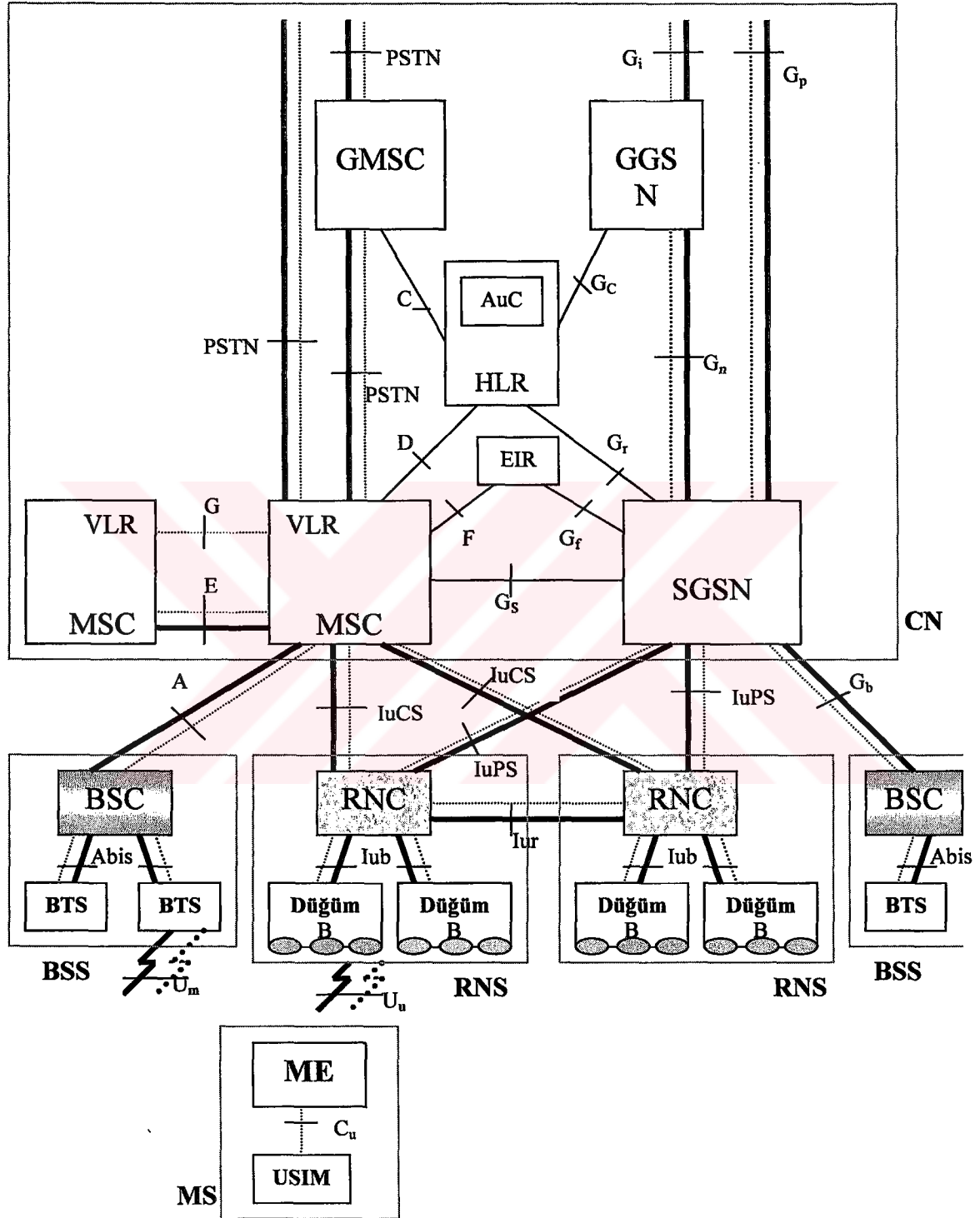
Bu fonksiyon UE ve UTRAN'da bulunur.

Girişim seviyesinin düşürülmesi için, radyo iletim gücünün istenilen hizmet kalitesinin gerek duyduğundan daha fazla olmaması gerekmektedir. RF güç kontrol fonksiyonu, mobil veya baz istasyonundan iletilen gücün seviyesini kontrol eder. UE ve UTRAN'da bulunur.

RF güç ayarlaması fonksiyonu, RF güç kontrol fonksiyonundan alınan bilginin kontrolüne bağlı olarak radyo vericisinin çıkış gücünü ayarlar. Kapalı veya açık çevrim güç kontrolü yönetminden biri kullanılabilir. Buda UE ve UTRAN'da bulunur. Kanal kodlama kontrol fonksiyonu, kanal kodlama/kod çözme fonksiyonlarının gereksinim duyduğu kontrol bilgisini üretir. Buda UE ve UTRAN'da bulunur [39].

Bir PLMN'nin (Public Land Mobile Network) şebeke elemanları sade biçimde Şekil 6.3'de gösterilmiştir. A ve Abis arabirimleri GSM 08 serilerinde tarif edilmiştir. Iu ve Iub arabirimleri UMTS 28 teknik bildirilerinde tarif edilmiştir. B, C, D, E, F ve G arabirimleri, mobil hizmeti sağlamak için gerekli veriyi alıp vermek için SS7'nin

MAP (Mobile Application Part) desteğine gerek duymaktadır. Tüm GPRS'e özgü arabirimler (G-serileri), UMTS 23 ve 24 serielrinde tanımlanmıştır.



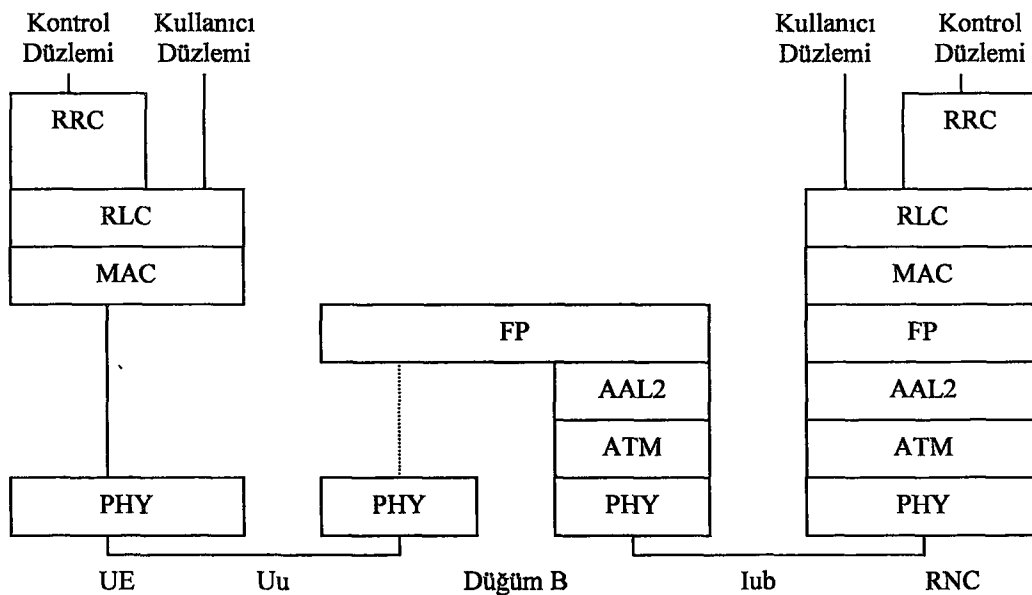
Şekil 6.3 PLMN ve arabirimlerin konfigürasyonu

Kalın çizgiler, kullanıcı trafiğini destekleyen arabirimleri, noktalı çizgiler ise işaretleşmeyi destekleyen arabirimleri göstermektedir. Yukarıdaki şekilde görülen düğümlerin listesi ve kısa açıklamaları aşağıda sunulmuştur.

- HLR (Home Location Register) : Mobil abonelerin yönetimi ile ilgili bir veri tabanıdır. Abone bilgileri ve bazı yerleşim bilgilerini saklar; ücretlendirme ve çağırımların MSC'ye yönlendirilmesini mümkün kılar, benzer olarak aynı şeyi SGSN için de yapar.
- AuC (Authentication Center) : HLR'a ilave bir kısımdır; HLR'a kayıtlı mobil aboneler için kimlik anahtarını saklar. Bu anahtar ayrıca, bir IMSI'yi (International Mobile Subscriber Identity) doğrulamak için kullanılan veriyi üretmek için de kullanılır.
- EIR (Equipment Identity Register) : bir GSM veya UMTS şebekesi içinde kullanılan IMEI'lerin (International Mobile Equipment Identity) depolandığı veri tabanıdır. IMEI'nin durumunu da saklar. Bir MSC, mobil istasyondan elde edilen IMEI'ye bağlı olarak mobil istasyonun durumunu belirlemek için EIR'ye danışır.
- VLR (Visitor Location Register) : HLR'dan elde edilen daimi abone verisi için yerel bir bellek tutar ve mobil istasyonu hakkında (yer bilgisi) dinamik veri de saklar (genelde MSC içindedir). Ayrıca ilave hizmetler hakkında da bilgiyi tutar.
- MSC (Mobile Switching Center): belirli bir coğrafi alanda yerleşmiş mobil istasyonlar için tüm bağlaşma ve işaretleşme fonksiyonlarını yerine getiren bir bağlaşma organıdır.
- GMSC (Gateway MSC): Sabit telefon şebekesi (PSTN) ile sadece mobil birimde sonlanacak çağırımlar için bağlantı guran MSC'dir. Mobil birimden çıkan çağırımlar için sabit telefon şebekesine erişimde GMSC'ye gerek duyulmaz. GMSC, HLR'ı sorgulayarak mobilde sonlanan çağırımı ilgili MSC'ye yönlendirir.
- IWF (InterWorking Function): Mobile özgü protokollerden, ISDN, PSTN ve PDN'lerde çokça kullanılan protokollere devre bağlaşmalı veriyi aktaran MSC'nin fonksiyonel birimidir.
- BSS (Base Station System) : MSC'nin A arabirimi ile bağlı olduğu BSS, baz istasyonu cihazlarından oluşmaktadır; bir BSC ve birden fazla BTS bulunur. BSS, GSM için TDMA radyo arabirimini kullanmaktadır. SGSN, BSS'le Gb arabirimi vasıtasıyla haberleşir.

- RNS (Radio Network System) : MSC'nin İu arabirimi ile bağılı olduğu RNS, baz istasyonu cihazlarından oluşmaktadır; bir RNC ve birden fazla Düşüm B bulunur. RNS, UMTS için W-CDMA radyo arabirimini kullanmaktadır. SGSN, RNS ile İu arabirimi vasıtasıyla haberleşir.
- MS (Mobile Station) : PLMN abonesi tarafından kullanılan fiziksel cihazdır; ME (Mobile Equipment), SIM ve USIM'den meydana gelmektedir. ME, TE (Terminal Equipment) ve TA (Terminal Adapter) fonksiyon gruplarını destekleyen MT'den (Mobile Termination) meydana gelmektedir.
- SGSN (Serving GPRS Support Node): Erişim şebekesi (BSS veya RNS) ile omurga (veya çekirdek) şebeke arasında geçit sağlayan fonksiyonel birimdir. MSC'ye benzer olarak, abone yerini ve durumunu izler, şebekeye yönlendirme hizmetleri sağlar.
- GGSN (Gateway GPRS Support Node): GPRS için paket veri oturumlarını saptar ve telli paket veri şebekeleri (internet) ile sabit nokta arabağdaşımını sağlar.

UE ve UTRAN arasında koşan protokoller, basitleştirilmiş biçimde Şekil 6.4'de verilmiştir. Taşıma kanalları, UE ve RNC arasında kontrol düzlemi veya kullanıcı düzlemi verisini, hava arabirimi (Uu) fiziksel kanalları (RRC tarafından tahsis edilir) ve Iub üzerinden ATM AAL2 bağlantısı ile eşleyerek taşır. FP (Frame Protocol), Düşüm B vasıtasıyla UE ve RNC arasında taşıma kanallarını aktarma görevinden sorumludur [26].



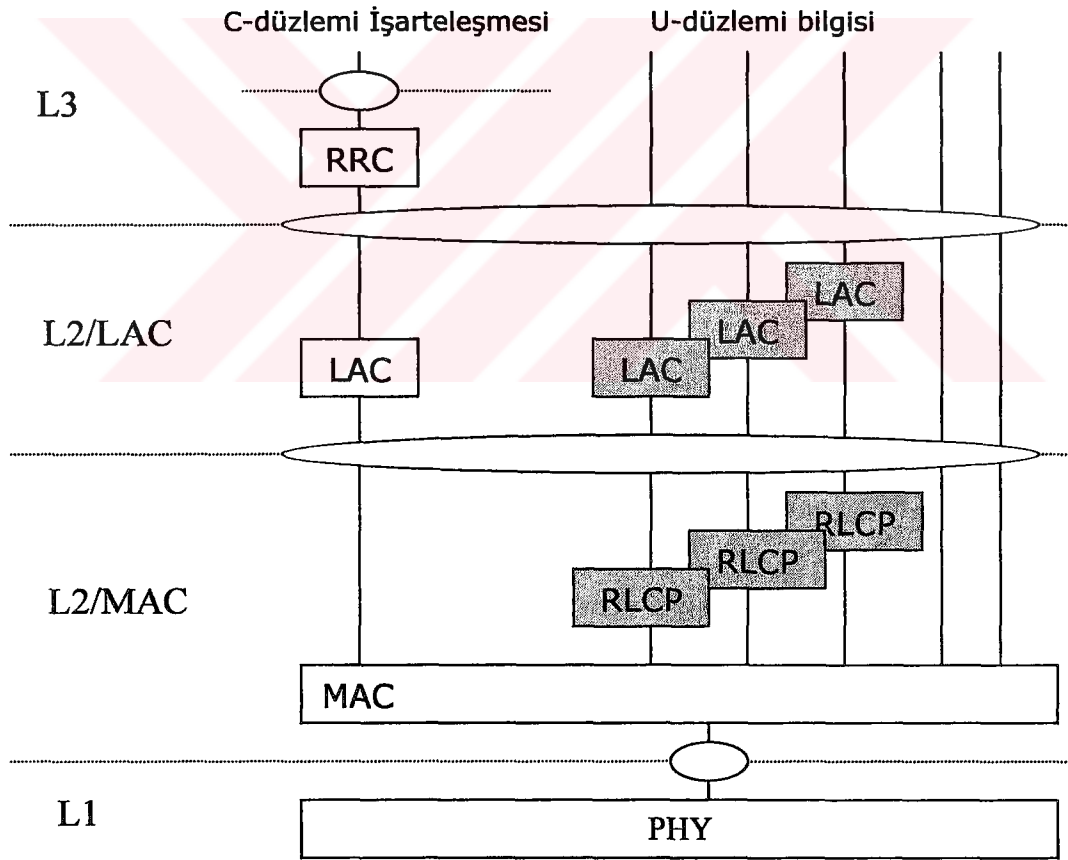
Şekil 6.4 UTRAN ve UE arasındaki basitleştirilmiş protokol diyagramı [26]

6.2.2 UTRA Radyo Arabirimi Protokol Mimarisi

Radyo arabirimi üç protokol katmanına ayrılmıştır:

- Fiziksel Katman (L1)
- Veri Bağlantı Katmanı (L2)
- Şebeke Katmanı (L3)

L2, iki alt katmana bölünür; LAC (Link Access Control) ve MAC (Medium Access Control). L3 ve LAC, C (Control) ve U (User) düzlemine ayrılır. C-düzleminde L3 alt katmanlara bölünmüştür. En aşağıdaki alt katman, L2 ile arabirimi olan RRC (Radio Resource Control) ile gösterilir. Şekil 6.5, radyo arabirimin protokol mimarisini gösterir. Şekildeki herbir blok, ayrı ayrı protokol örneklerini ifade eder. SAP (Service Access Point), alt katmanlar arasındaki arabirimde daire şeklinde çizilmiştir. Fiziksel katmandaki SAP, taşıma kanallarını sağlamaktadır.



Şekil 6.5 Radyo arabirimi protokol mimarisini [39]

6.2.2.1 L1 Hizmetleri ve Fonksiyonları

Fiziksel katman, MAC ve diğer yüksek katmanlara bilgi transferi hizmetlerini gerçekleştirmektedir. Fiziksel katman taşıma hizmetleri, radyo arabirimi üzerinden hangi özellikler ile ve verinin nasıl taşındığı ile tarif edilir. Bunun için en uygun terim "Taşıma Kanalı"dır. Taşıma kanallarını iki grupta sınıflandırabiliriz:

- Ortak kanallar
- Adanmış kanallar

Ortak taşıma kanal tipleri şunlardır:

1. RACH (Random Access Channel):

- sadece UL'de vardır,
- açık çevrim güç kontrol,
- sınırlı veri alanı,

2. FACH (Forward Access Channel)

- sadece DL'de vardır,
- yavaş güç kontrolü kullanma imkanı,

3. BCCH (Broadcast Control Channel)

- sadece DL'de vardır,
- düşük sabit bit hızı,
- hücrenin tüm kapsama alanı içerisinde yayımlanma gereksinimi.

4. PCH (Paging Channel)

- sadece DL'de vardır,
- hücrenin tüm kapsama alanı içinde yayımlanma gereksinimi.

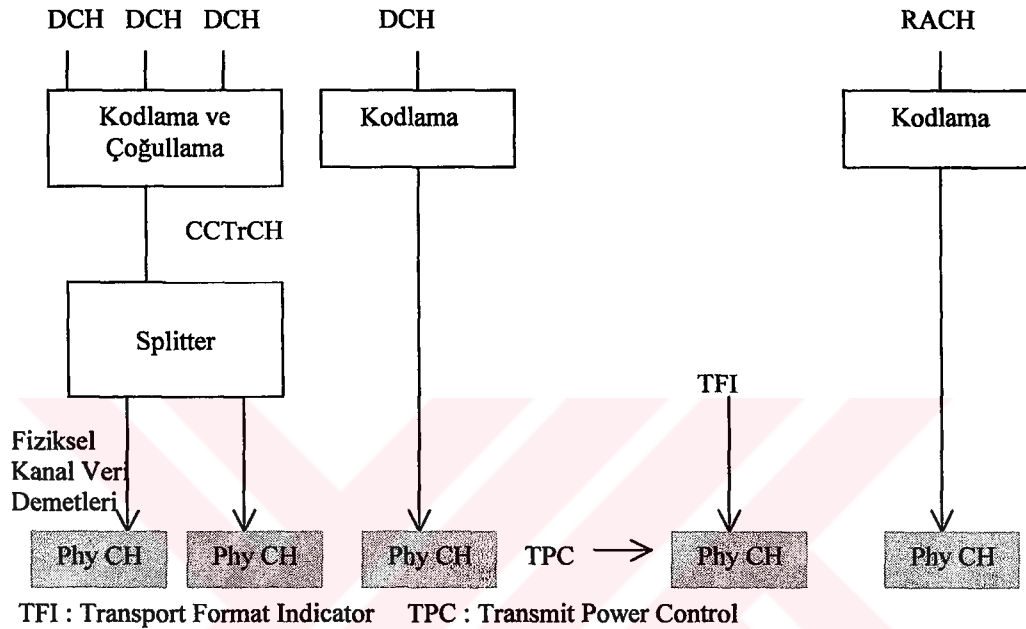
Adanmış taşıma kanalı için tek bir tip vardır:

1. DCH (Dedicated Channel)

- hızlı biçimde hız değiştirme imkanı (herbir 10 msn'de)
- hızlı güç kontrol

Herbir taşıma kanalı için, ortak taşıma formatı (sabit veya yavaş değişen hıza sahip taşıma kanalları için) veya ortak taşıma format kümesi (hızlı değişen hıza sahip taşıma kanalları için) vardır. Taşıma formatı, kodlama, interleaving, bit hızı ve fiziksel kanala eşleme işlemlerinin bir birleşimi olarak tanımlanabilir. Değişken hızdaki DCH bir taşıma format kümesine (herbir hız için bir taşıma formatı) sahipken, sabit hızlı DCH sadece bir tane taşıma formatına sahiptir.

Şekil 6.6, UL için MS'in fiziksel katman modelini gösterir. Model, bir veya daha fazla DCH'nin aynı kodlama ve çoğullama birimi tarafından beraberce işlem görebileceğini ve çoğullanabileceğini göstermektedir. Kodlama ve çoğullama biriminin tek bir çıkışı vardır ve CCTrCH (Coded Composite Transport Channel) olarak gösterilir. CCTrCH'nin veri demeti, bu veri demetini bir veya daha fazla fiziksel kanal veri demetlerine bölen veri dağıtıcıyı (splitter) besler.



Şekil 6.6 MS fiziksel katmanı modeli – UL [39]

Kodlama ve çoğullama biriminin konfigürasyonu (taşıma formatı), her bir 10 ms'nlik çerçeveler ile, şebekeye bildirilir yada seçime bağlı olarak şebeke tarafından sezilir. Şayet konfigürasyon bildirilirse, TFI bitleri bunu simgeler. UL'de, o anki tüm DCH'lerdeki taşıma formatlarını simgeleyen sadece bir tane TFI vardır. TFI'yi taşıyan fiziksel kanal veri demeti, güç kontrol bitleri ve pilotu taşıyan fiziksel kanala eşlenir. RACH, UL'deki tek ortak tipteki taşıma kanalıdır. RACH'lar her zaman fiziksel kanallara tek tek eşlenir. RACH'ın fiziksel katman çoğullaması yoktur. MAC katmanı hizmet çoğullamasını gerçekleştirir.

Fiziksel katman şu temel fonksiyonları icra etmektedir:

- FEC kodlama/ kod çözme (taşıma kanallarında),
- Ölçümler,
- yavaş aktarma uygulaması,

- taşıma kanallarının ve CCTrCH'lerin çoğullanması /yalınlanması,
- CCTrCH'lerin fiziksel kanallara eşlenmesi,
- fiziksel kanalların modülasyonu ve yayılması/demodülasyonu
- frekans ve zaman(chip, bit, zaman dilimi, çerçeve) senkronizasyonu
- kapalı çevrim güç kontrolü
- RF işlemi

6.2.2.2 L2 Hizmetleri ve Fonksiyonları

MAC alt katmanı:

MAC'in temel sorumluluğu fiziksel kanala erişimi sağlamaktır; kullanıcı bilgisinin ve kontrol işaretleşmesinin taşıma kanallarına eşlenmesi ve/veya çoğullanması. MAC katmanı, LAC [RLCP-Radio Link Control Protocol] alt katmanına şu hizmetleri sağlar:

- MAC bağlantılarının kurulması ve sona erdirilmesi;
- LAC[RLCP] PDU'larının (Packet Data Unit) taşınması.

MAC fonksiyonlarını şu şekilde sıralayabiliriz:

- Yüksek katman PDU'larının, taşıma kanalları üzerindeki fiziksel katmana yollanan taşıma bloklarına çoğullanması veya bu fiziksel katmandan yollanan taşıma bloklarından yalınlanması.
- Taşıma format kümesi içinde taşıma formatının seçimi.
- Öncelik uygulaması; verinin taşıma kanallarına eşlenmesinde ve taşıma formatlarının seçiminde, MAC veriyi farklı biçimlerde önceliklendirebilir.
- RACH üzerinde çatışma kararı; çarpışma temelli RACH kanalı kullanan farklı MS'lerin ayırımı da MAC tarafından yapılır.

RLCP :

RLCP katmanı, garantilenmiş/garantilenmemiş modlu hizmet veya şeffah hizmetli LAC sağlar.

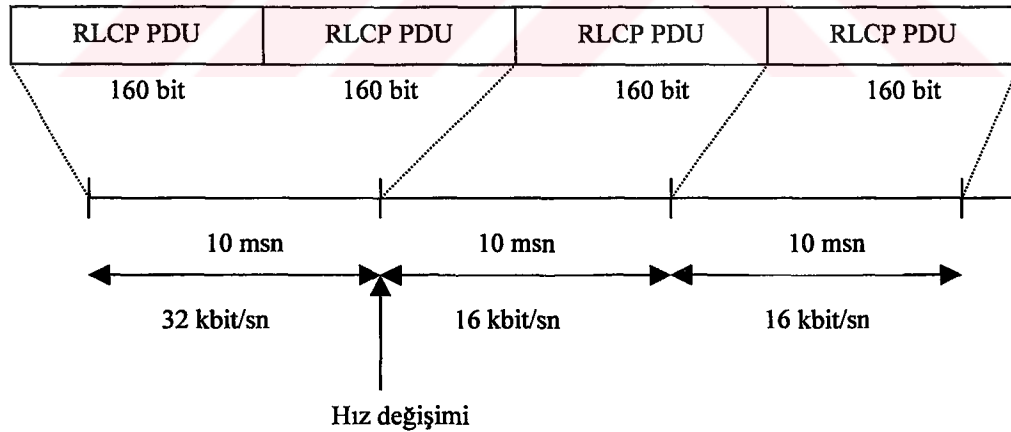
- Garantilenmiş modlu işlem; ARQ (Automatic Repeat Request) kullanılarak güvenli bir bağlantı, RLCP kullanan taraflar arasında sağlanır. Değişken bit hızları desteklenmektedir.

- Garantilenmemiş modlu işlem; RLCP hizmetleri kullanılarak kurulan bağlantıda ARQ uygulanmaz. Değişken bit hızları desteklenir.
- Şeffah modlu işlem; veri demeti RLCP'den, RLCP ek bir yük eklemeyen geçektir.

RLCP'nin fonksiyonlarını da şu şekilde sıralayabiliriz:

- LAC PDU'larının parçalanması(segmentation) ve çevrimi(assembly)
- ARQ (Automatic Repeat Request)

Parçalama fonksiyonu ile ilgili olarak, LAC PDU'ları küçük uzunlukta RLCP PDU'larına dönüştürülmesi önerilmiştir. bir MS'in şu hızlarla iletim yapabildiğini varsayalım; { 16 kbit/sn, 32 kbit/sn, 64 kbit/sn}. Bu hızlar RLCP seviyesindeki iletim hızlarına karşılık gelmektedir. Hızın değişmesine izin verilmeyen periyot 10 msn'dir. Böylece yukarıda belirtilen kuralı izleyerek RLCP PDU'sunun 160 bit'den oluştuğunu tespit edebiliriz. Şekil 6.7'de RLCP'ların nasıl iletildiğinin gösterimi sunulmuştur. İlk olarak iki RLCP PDU'su 10 msn'lik çerçevede iletilir. Kanalın hızı 32 kbit/sn'dir. 10 msn sonra hız 16 kbit/sn'ye değiştirilir. Şimdi sadece bir RLCP PDU'su 10 msn'lik çerçevede iletilmektedir.



Şekil 6.7 RLCP PDU'larının iletimi [39]

LAC alt katmanı:

LAC altkatmanı, 3. katmana şu hizmetleri sunar:

- LAC bağlantılarının kurulması ve çözülmesi
- L3 PDU'larının eşdüzeyde garantilenmiş/garantilenmemiş taşınması,

- L3 PDU'larının şeffah taşınması.

LAC, yüksek katmanlara veri bağlantı katmanı fonksiyonlarını sağlamaktadır. LAC fonksiyonları şunları içerir:

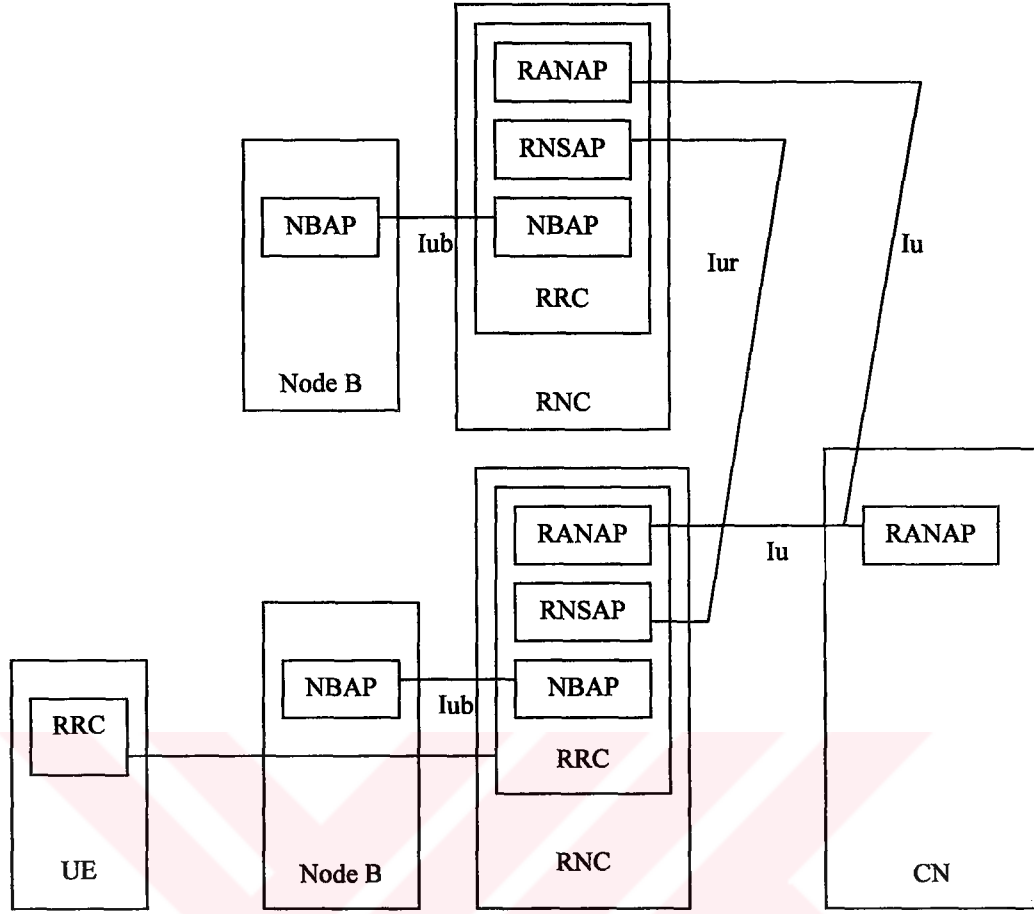
- ARQ,
- Akış kontrolü,
- yüksek katman PDU'larının parçalanması ve çevrimi,
- LAC SDU'larının (Service Data Unit) yüksek katmanlara dağıtımı.

6.2.2.3 L3-RRC Hizmetleri ve Fonksiyonları

RRC (Radio Resource Control), MS'ler ile UTRAN arasındaki 3. katmanın kontrol düzlemi işaretlemesini icra etmektedir. RRC fonksiyonları şunlardır:

- MS ve UTRAN arasında RRC bağlantısının kurulması, yeniden düzenlenmesi ve çözülmesi,
- radyo erişim taşıyıcılarının kurulması, yeniden düzenlenmesi ve çözülmesi,
- RRC bağlantısı için terminal mobilite fonksiyonları; aktarma ve paket veri için gerekli diğer mobilite fonksiyonları(hücre/çağrı alanı güncelleme yöntemi),
- MS ölçümü raporlaması ve raporlamanın kontrolü,
- Dış çevrim güç kontrolü,
- Sistem bilgisinin yayımlanması,
- Çağrı/bildirim.

Şekil 6.8'de UTRA içinde radyo kaynakları kontrol protokolleri gösterilmiştir. Bunlar ; Iub arabiriminde koşan NBAP (Node B Application Part), Iur arabirimi üzerinde koşan RNSAP (Radio Network Subsystem Application Part) ve Iu üzerinde koşan RANAP (Radio Access Network Application Part). Bu protokoller RRC'nin uzantısıdır ve UTRAN içinde radyo kanallarının yönetimi ve kontrolünden sorumludurlar.



Şekil 6.8 Radyo kaynağı kontrol işaretleşmesi protokolleri [26]

6.3 UTRA Fiziksel Katmanı

UTRA, W-CDMA teknolojisine dayanmaktadır. UTRA fiziksel katmanı için iki uygulama önerilmiştir. Biri FDD'yi (Frequency Division Duplexing) kullanırken diğeri TDD'yi (Time Division Duplexing) kullanmaktadır. Her iki metod da farklı gereksinim ve ihtiyaçları gidermektedir.

FDD, biri UL diğeri de DL için olmak üzere iki frekans bandı tahsisine gereksinim duyar. Bu aynı anda veri iletim ve alımı işlemlerinin yapılabilmesi avantajını getirir. Ayrıca hücre boyutu TDD'de olduğu gibi propogasyon gecikmeleri ile sınırlandırılmaz, bunun nedeni zaman dilimleri ve koruma periyotları olmaması; bu, baz istasyonu ile mobil istasyonu arasındaki zaman senkronizasyonunu TDD'ye göre daha az önemli yapar. Aynı anda veri iletim ve alımı yapılabildiğinden FDD radyo birimleri antene gelen ve antenden giden işaretleri ayırabilmek için duplexer'lara

ihtiyaç duyarlar. TDD modu, aynı frekans bandını DL ve UL için iki kanala da farklı zaman dilimleri tahsis ederek kullanabilir. Herbir zaman dilimi UL veya DL'den birine tahsis edilebilir. TDD böylece yüksek net çıkış verimine ihtiyaç duyan bağlantılara daha fazla zaman dilimleri tahsis eder ve sürekli kendini ayarlar; buda TDD'yi FDD'ye göre bantgenişliğini daha verimli kullanmasını sağlar. TDD terminalleri duplexer'a ihtiyaç duymadığından FDD terminallerine göre daha az donanım karmaşıklığına sahiptir. Bununla birlikte TDD, FDD'ye göre zaman bölmesi tabiatından dolayı kullanıcılar arasında daha iyi zaman senkronizasyonuna gereksinim duyar; baz istasyonunun mobil istasyonları gibi aynı anda iletim yapmasına izin verilmemektedir. İşaret için baz istasyonundan mobil birime veya mobil birimden baz istasyonuna gitmesi zaman aldığından ve bu zaman ihmal edilebilir olmadığından, aynı anda sadece bir bağlantının aktif olduğunu kesinleştirmek için protokole "koruma periyodu" da eklemek gerekmektedir.

6.3.1 UTRA FDD Fiziksel Katmanı

FDD Fiziksel Katmanı, kanalları kullanarak protokoldeki diğer katmanlara bilgi iletim hizmetlerini sağlar. Burada iki tip kanal düşünülmüştür; Taşıma Kanalları ve Fiziksel Kanallar.

6.3.1.1 Taşıma Kanalları

Taşıma kanalları, 1. Katman tarafından yüksek katmanlara sunulan hizmetlerdir. Adanmış ve ortak taşıma kanalı olarak iki gruba ayrılmaktadır.

Adanmış Taşıma Kanalı:

- **DCH** (Dedicated Channel): DCH, şebeke ve mobil istasyonu arasındaki kontrol ve kullanıcı bilgisini taşımak için kullanılan UL ve DL taşıma kanalıdır. DCH ITU-R M.1035 içinde tanımlanan üç kanala karşılık gelmektedir; DTCH (Dedicated Traffic Channel), SDCCH (Stand-alone Dedicated Control Channel) ve ACCH (Associated Control Channel).

Ortak Taşıma Kanalları:

- **BCCH** : Sisteme ve hücreye özgü bilgi yayımlanmasında kullanılan DL taşıma kanalıdır. BCCH, her zaman tüm hücrede iletilir.
- **FACH** : Şebekenin, mobil istasyonun hangi hücrede olduğunu bildiği zaman mobil istasyona kontrol bilgilerinin taşınması için kullanılan DL taşıma kanalıdır. FACH kısa kullanıcı paketlerini de taşıyabilir.

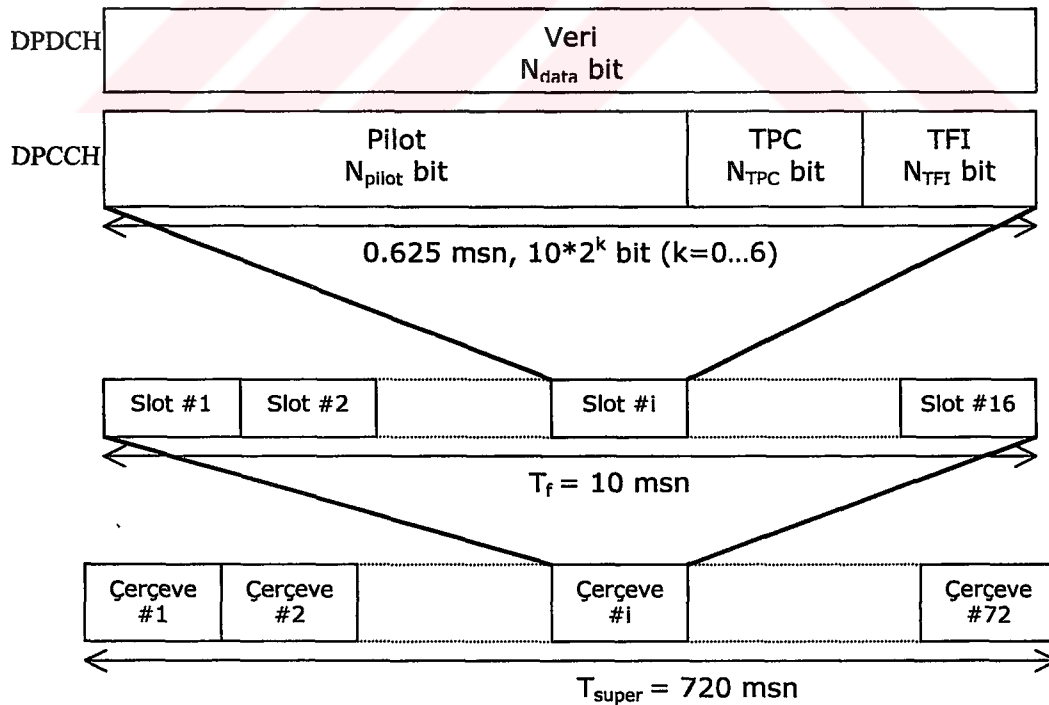
- **PCH** : Sistemin, mobil istasyonun hangi hücrede olduğunu bilmediği zamanlarda mobil istasyona kontrol bilgisini taşımak için kullanılan DL taşıma kanalıdır. PCH, her zaman tüm hücrede iletilir.
- **RACH** : Mobil istasyonundan kontrol bilgisini taşımak için kullanılan UL taşıma kanalıdır. RACH, kısa kullanıcı paketlerini de taşıyabilir.

6.3.1.2 Fiziksel Kanallar

UL fiziksel kanalları iki tanedir; Adanmış ve Ortak UL fiziksel kanallar.

Adanmış UL Fiziksel Kanallar:

İki tür UL adanmış fiziksel kanal vardır; UL DPDCH (Dedicated Physical Data Channel) ve UL DPCCH (Dedicated Physical Control Channel). UL DPDCH, 2. katman ve daha yukarısı tarafından üretilen adanmış veriyi taşımada kullanılır; örneğin adanmış taşıma kanalı (DCH). Herbir 1. Katman bağlantısında bir veya daha fazla DPDCH bulunabilir veya hiç olmayabilir. DPCCH, 1. Katman'da üretilen kontrol bilgisini taşımada kullanılır. 1. Katman kontrol bilgisi, uygun sezme için kanal tahminini destekleyen pilot bitlerden, TPC komutlarından ve seçime bağlı olarak TFI'den oluşmaktadır. Şekil 6.9'da UL adanmış fiziksel kanallarının çerçeve yapısı gösterilmektedir.

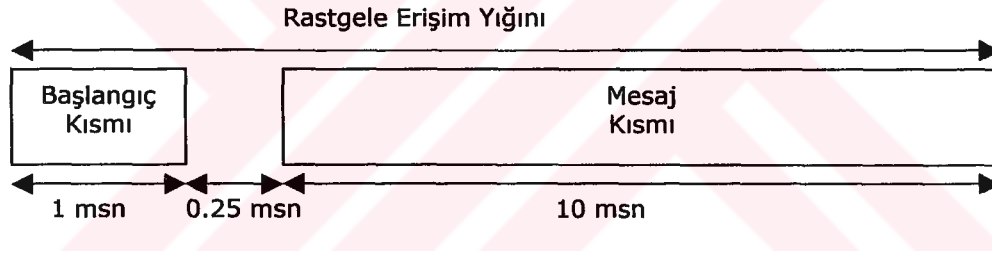


Şekil 6.9 UL DPDCH/DPCCH çerçeve yapısı [39,52]

10 msn'lik herbir çerçeve 16 zaman dilimine ayrılmıştır; zaman dilimleri $T_{slot}=0.625$ msn'likdir, buda bir güç-kontrol periyoduna karşılık gelir. Süper çerçeve 72 adet çerçeveden oluşur; uzunluğu da 720 msn'dir. Şekil 6.9'daki k parametresi, herbir UL DPDCH/DPCCH zaman dilimi başına bit sayısını belirler. Bu, fiziksel kanalın SF'i (Spreading Factor) ile bağlantılıdır; $SF = 256/2^k$. SF, 256'dan 4'e kadar alabileceği değer menzili vardır. Aynı 1. Katman bağlantısı üzerindeki UL DPDCH ve UL DPCCH genellikle farklı hızlardadır (farklı SF değerleri ve k değerleri).

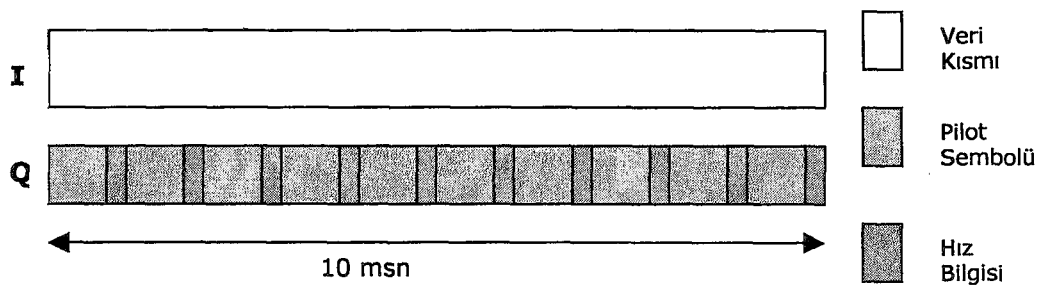
Ortak UL Fiziksel Kanallar:

PRACH(Physical Random Access Channel), RACH'ı taşımada kullanılır. s-ALOHA yaklaşımına dayanmaktadır. Şekil 6.10'da rastgele erişim yığını(burst) yapısı gösterilmiştir. Rastgele erişim yığını iki kısımdan oluşmaktadır; 1 ms uzunluğundaki başlangıç kısmı ve 10 msn uzunluğundaki mesaj kısmı. Başlangıç kısmı ile mesaj kısmı arasında 0.25 msn periyot uzunluğunda bir boş zaman vardır. Boş zaman periyodu, başlangıç kısmı ve onu izleyen mesaj kısmının sezilmesine imkan sağlar.



Şekil 6.10 Rastgele Erişim Yığını yapısı [39]

Rastgele-erişim yığınının mesaj kısmı, UL adanmış fiziksel kanal ile aynı yapıya sahiptir. UL DPDCH'ye karşılık gelen veri kısmından ve UL DPCCH'ye karşılık gelen 1. Katman kontrol kısmından oluşmaktadır (Şekil 6.11).



Şekil 6.11 Rastgele erişim yığınının mesaj kısmı [39]

Veri ve kontrol kısımları paralel olarak iletilmektedir. Veri kısmı, rastgele erişim isteği veya küçük kullanıcı paketlerini taşır. Veri kısmının SF'i 16, 32, 64 ve 128 kbit/sn kanal bit hızlarına karşılık gelen sırasıyla 256, 128,64 ve 32 değerlerini alabilmektedir. Hız bilgisi, veri kısmında hangi kanallama kodu (veya kanallama kodu SF) kullanıldığını işaret etmektedir.

Şekil 6.12, Rastgele erişim yığını veri kısmı yapısını göstermektedir. Veri kısmı şu alanlardan oluşmaktadır:

- MS ID (Mobile Station Identification) [16 bit]. MS ID herbir Rastgele-erişim denemesinde mobil istasyonu tarafından rastgele seçilir.
- Talep edilen Hizmetler (Req. Ser.) [3 bit]. Bu alan, baz istasyonunu hangi tip hizmetin (kısa paket iletimi, adanmış-kanal kurulumu, v.s.) talep edildiği hakkında bilgilendirir.
- Seçime bağlı kullanıcı paketi.
- Rastgele erişim yığını veri kısmındaki hataları sezmek için CRC [8 bit].

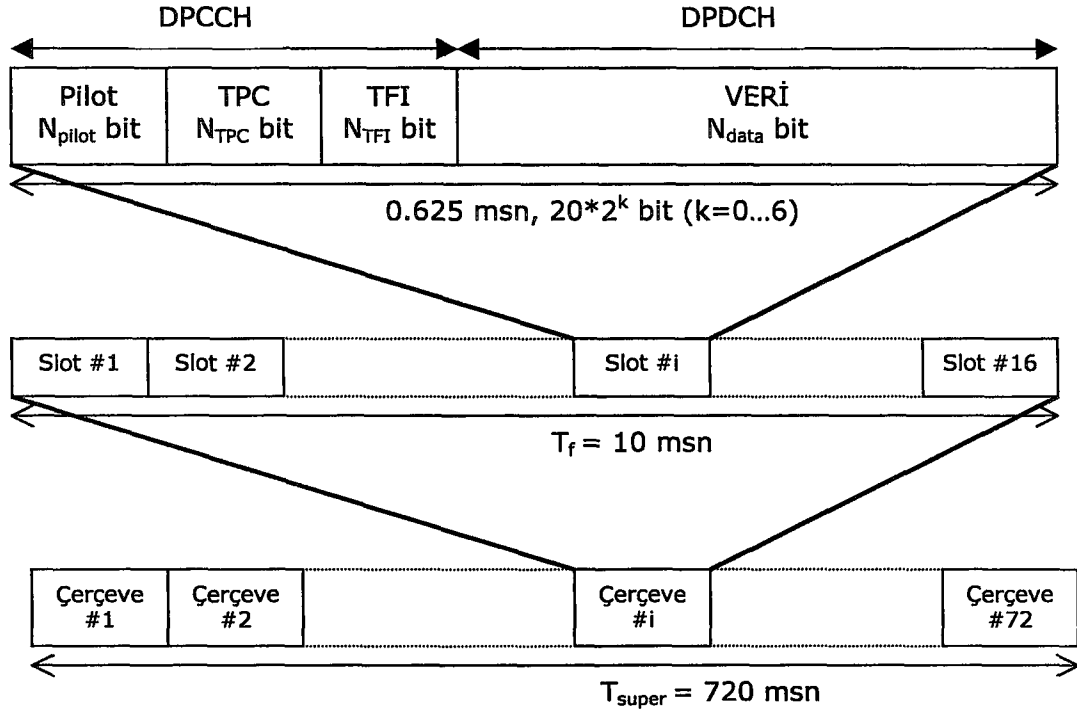


Şekil 6.12 Rastgele-erişim yığını veri kısmı yapısı [39]

Adanmış DL Fiziksel Kanallar:

Sadece bir tip DL adanmış fiziksel kanal mevcuttur, o da DL DPCH (Dedicated Physical Channel) olarak adlandırılır. DL DPCH 'de, 2. katman ve daha yukarı katmanlarda üretilen adanmış veri, 1. katmanda üretilen kontrol bilgisi (pilot bitleri, TPC komutları ve TFI) ile zaman çoğullanarak iletilir. DL DPCH, DL DPDCH ve DL DPCCH'nin zaman çoğullanmış olarak görülebilir.

Şekil 6.13, DL DPCH'nin çerçeve yapısını göstermektedir. 10 msn uzunluklu herbir çerçeve, herbiri $T_{slot}=0.625$ msn uzunluklu 16 dilime bölünür; bu zaman dilimi de bir güç kontrol periyoduna karşılık gelir. Süper çerçeve 72 tane çerçeveden oluşur ve 720 msn uzunluğundadır.



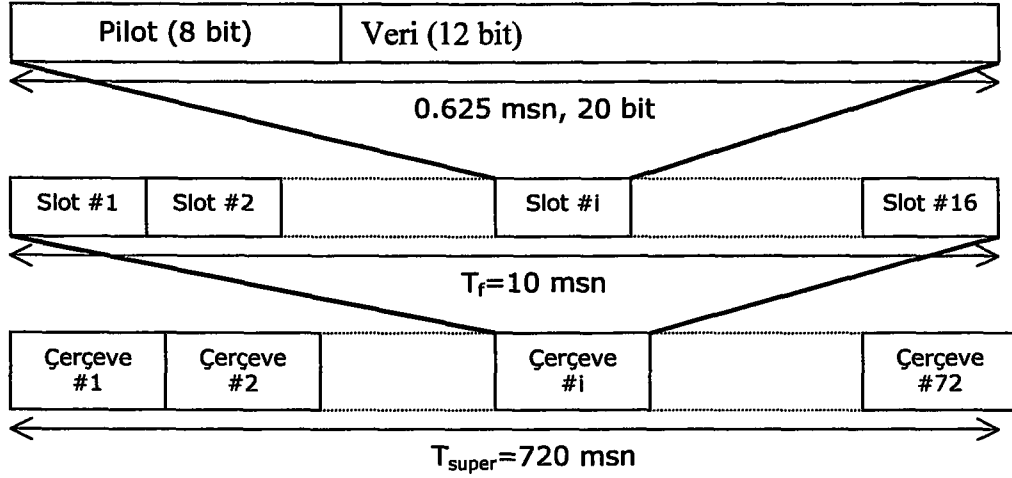
Şekil 6.13 DL DPCH çerçeve yapısı [39,52]

Şekil 6.13'deki k parametresi, DL DPCH dilimi başına düşen toplam bit sayısını gösterir. Bu sayı, fiziksel kanalın yayma faktörüne (SF) $SF = 256/2^k$ şeklinde bağlıdır. Yayma faktörü 256'dan 4'e kadar değer alabilir.

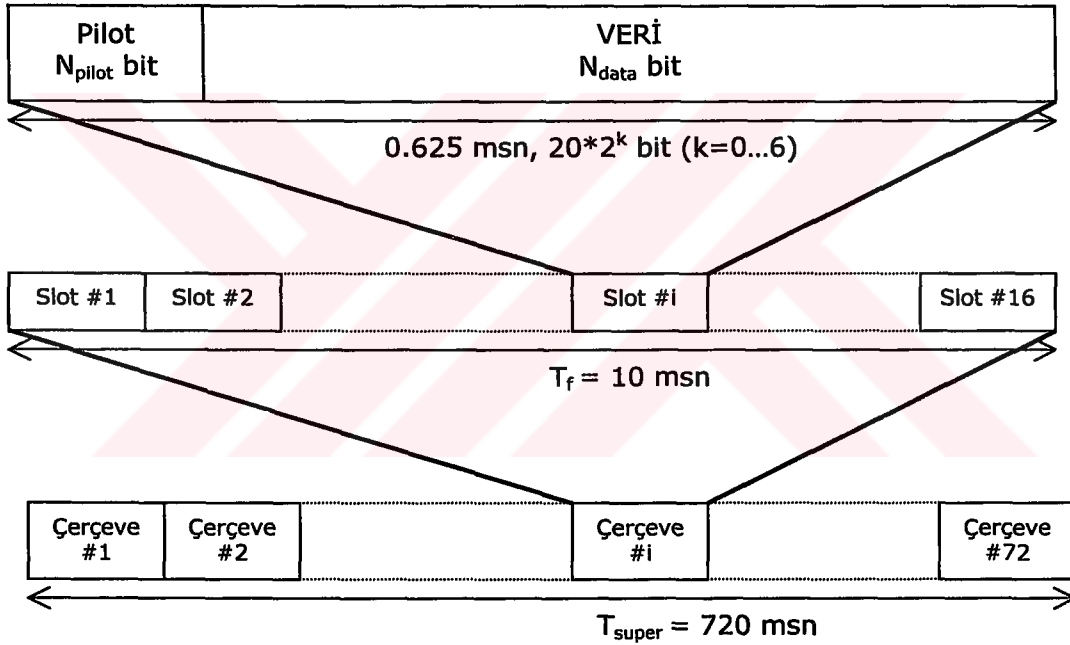
Ortak DL Fiziksel Kanallar:

Birincil CCPCH (Common Control Physical Channel), BCH taşımakta kullanılan sabit hızlı (32 kbit/sn , $SF=256$) DL fiziksel kanalıdır. Şekil 6.14, birincil CCPCH'nin çerçeve yapısını vermektedir. Çerçeve yapısı, DL DPCH'den TPC komutları ve TFI taşımaması açısından farklılık gösterir. Tek 1. Katman kontrol bilgisi, uygun sezme için gerekli olan ortak pilottur.

İkincil CCPCH, FACH ve PCH taşımaktadır. Sabit hızlıdır. Bununla beraber, birincil CCPCH'den farklı olarak bir hücre içinde ve hücreler arasında farklı ikincil CCPCH'ler için hız farklı olabilmektedir. Herbir ikincil CCPCH'nin hız ve yayma faktörü BCCH üzerinde yayımlanır. Mümkün olabilecek hızlar DL DPCH ile aynıdır. İkincil CCPCH'nin çerçeve yapısı da Şekil 6.15'de verilmiştir.



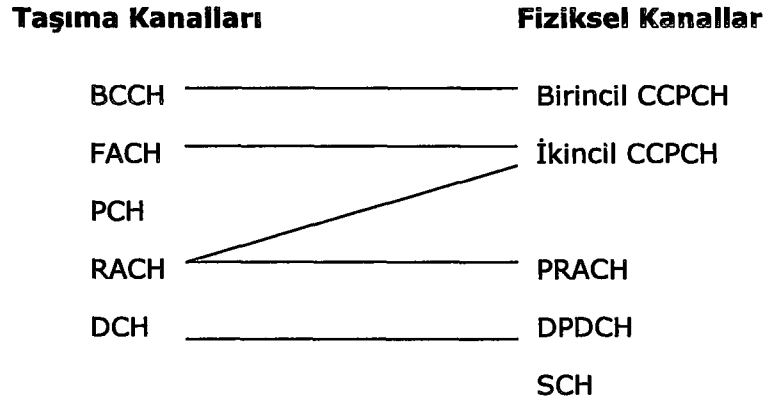
Şekil 6.14 Birincil CCPCH çerçeve yapısı [39]



Şekil 6.15 İkincil CCPCH çerçeve yapısı [39]

FACH ve PCH, farklı ikincil CCPCH'lere eşlenirler. Bir CCPCH ile DL adanmış fiziksel kanal arasındaki temel fark, CCPCH'nin güç kontrollü olmamasıdır. Birincil ve ikincil CCPCH'ler arasındaki fark ise, birincil CCPCH önceden tanımlanmış değişmez bir hıza sahip iken ikincil CCPCH, FACH ve PCH'nin gerek duyduğu kapasiteye bağlı olarak, farklı hücreler için farklı olabilecek değişmez hızlara sahip olmasıdır.

Şekil 6.16, taşıma kanallarının fiziksel kanallara eşlenmesini göstermektedir.



Şekil 6.16 Taşıma-kanalının Fiziksel-kanala Eşlenmesi

6.3.1.3 Taşıma Kanalı Kodlaması ve Çoğullaması

Şekil 6.17, taşıma kanalı kodlaması ve çoğullaması kavramını ayrıntılı biçimde göstermektedir. Bu sürecin adımlarını şöyle sıralayabiliriz:

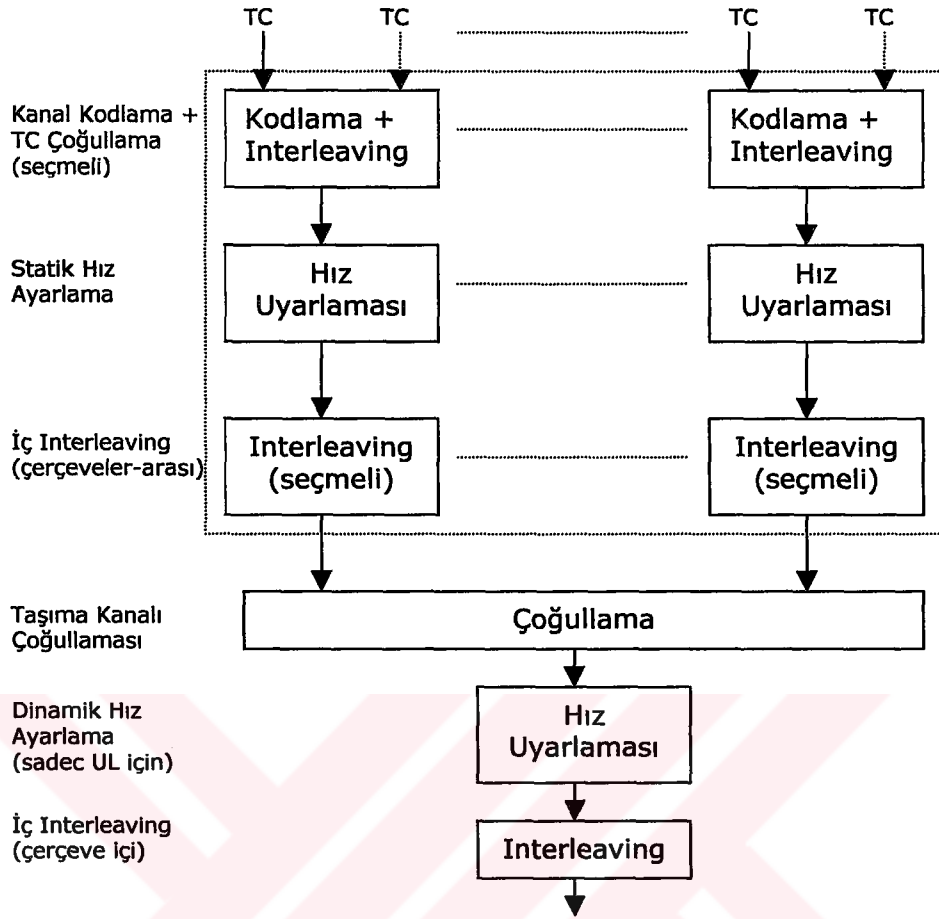
- Kanal Kodlama, seçime bağlı olarak taşıma kanalı çoğullamasını içerir,
- Statik Hız ayarlama,
- Çerçeveler arası Dönüştürme(Interleaving),
- Taşıma kanalı çoğullanması,
- Dinamik Hız ayarlaması,
- Çerçeve içi Dönüştürme.

Dönüştürücü çıkışı genellikle bir DPDCH'ye eşlenir. Sadece çok yüksek bit hızları için çıkış birden fazla DPDCH'ye bölünmektedir. Taşıma kanalları yukarıda anlatıldığı gibi kodlanır ve bir veri demetine çoğullanırlar ki buda bir veya daha fazla fiziksel kanala eşlenmekte.

Kanal Kodlaması:

Kanal Kodlaması, taşıma kanallarında, taşıma kanalı çoğullamasından önce yapılmaktadır. Taşıma kanalı özgü kodlama için aşağıdaki seçenekler bulunmaktadır,

- Konvolüsyon Kodlama,
- Dış Reed-Solomon Kodlama + Dış Interleaving + Konvolüsyon Kodlama,
- Turbo Kodlama,



Şekil 6.17 Taşıma kanallarının Kodlanması ve Çoğullanması [39]

Konvolüsyon Kodlaması:

Konvolüsyon Kodlama, çoğunlukla 10^{-3} oranında BER'e gereksinim duyan hizmetler için uygulanmaktadır. Konvolüsyon kodlama ayrıca 10^{-6} oranında BER gerektiren hizmetler içinde RS (Reed-Solomon) kodlaması ve Dış Interleaving ile beraber uygulanmaktadır. Tablo 6.6, konvolüsyon kodlam için muhtemel parametreleri listelemektedir.

Tablo 6.6 UTRA'da Konvolüsyon Kodlaması için Üretici Polinomlar [39,40]

Hız	Sınır Uzunluğu	Üretici Polinom 1	Üretici Polinom 2	Üretici Polinom 3
1/3	9	557	663	711
1/2	9	561	753	N/A

Dış Reed-Solomon Kodlama ve dış Interleaving:

Reed-Solomon kodlama ve dış Interleaving, iç konvolüsyon kodlama ile birlikte, 10^{-6} oranında BER gerektiren taşıma kanallarına uygulanmaktadır.

Turbo Kodlama:

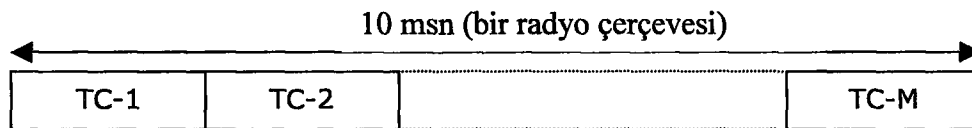
32 kbit/sn ve üzeri yüksek veri hızları ve yüksek kaliteli hizmetler için Turbo kodlamasının kullanılması düşünülmektedir. 1/3 ve 1/2 hızlarındaki Turbo kodları, konvolüsyon ve Reed-Solomon kodlarının birlikte kullanıldığı durumun yerini alması için önerilmiştir.

Hız Uyarlaması:

Statik hız uyarlaması, kodlanmış taşıma kanalı bit hızını ayarlamak için kullanılır. Böylece taşıma kanalı çoğullamasından sonraki maksimum toplam bit hızı UL ve DL adanmış fiziksel kanal bit hızına uydurulur. Statik hız uyarlaması, 'code puncturing' ve eşit olmayan tekrarlama esasına dayanmaktadır. Dinamik hız uyarlaması, paralel kodlanmış taşıma kanallarının çoğullanmasından sonra gerçekleştirilir ve çoğullanmış taşıma kanallarının toplam hızını UL DPDCH'nin kanal bit hızına uyarlamak için kullanılır. Dinamik hız uyarlaması eşit olmayan tekrarlama kullanır ve sadece UL'e uygulanır. DL'de, çoğullanmış taşıma kanallarının toplam ani hızı kanal bit hızına uyuşmuyorsa, DTX (discontinuous transmission) kullanılır.

Taşıma kanalı Çoğullaması:

Kodlanmış taşıma kanalları bir radyo çerçevesi içinde seri olarak çoğullanırlar. Çoğullayıcıdan sonraki çıkış (iç interleaving'den önce), Şekil 6.18'deki gibi olacaktır. Bir seçenek olarak, taşıma kanalları kanal kodlama birimi içinde çoğullanabilir; dış RS kodlamadan sonra, dış interleaving'den önce.

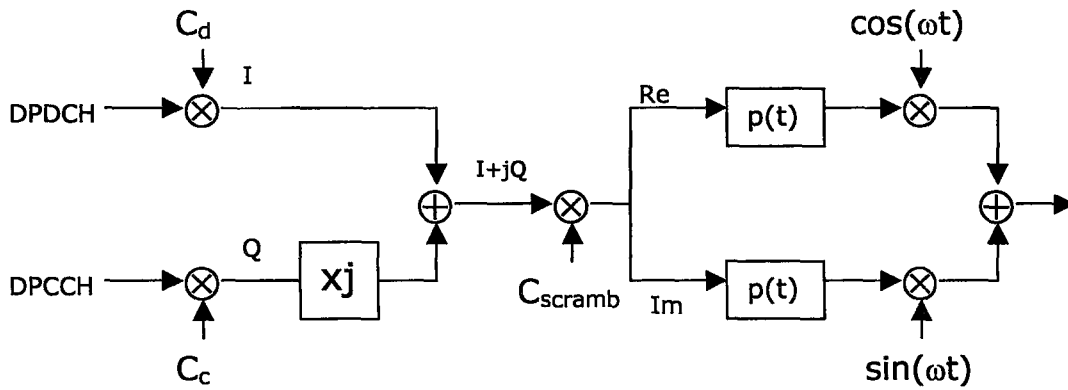


Şekil 6.18 Taşıma kanalı çoğullaması [39]

6.3.1.4 FDD modunda UL Yayma ve Modülasyon

Yayma işlemi, fiziksel kanallara uygulanır. İki işlemden oluşmaktadır; ilki kanallama işlemi, ikincisi karıştırma işlemidir. Kanallama, herbir veri sembolünü çok sayıda chiplere dönüştürür, böylece işaretin bantgeniği yükselir. Veri sembolü başına düşen chiplerin sayısı SF (Spreading Factor) olarak adlandırılır. Karıştırma işlemi, yayılan işarete karıştırma kodlarının uygulanmasıdır. Kanallama ile, I ve Q dallarındaki veri sembolleri birbirinden bağımsız olarak OVFS kodu ile çarpılır. Karıştırma işlemi ile, I ve Q dallarında elde edilen işaretler bir kere daha karmaşık değerli karıştırma kodu ile çarpılır.

Şekil 6.19, DPCCH ve DPDCH'ler için UL Yayma ve modülasyon işleminin nasıl yapıldığı gösterilmektedir. C_c ve C_d farklı kollara tahsis edilmiş kanallama kodlarını simgelemektedir. Bunlar chip hızında koşan OVFS kodlarıdır ve sadece bir mobil istasyonu için geçerlidir. C_{scramb} da chip hızında koşan karmaşık karıştırma kodudur. Herbir mobil birim farklı UL karıştırma kodu kullanır. Bu, mobil birimler arasında bağımsız olacak kanallama kodlarının seçimine imkan verir. Aynı düzenek PRACH'ın iletimi için de tekrarlanır. Veri ve kontrol kısmı ayrılır ve sırasıyla DPDCH ile DPCCH'nin yerini alır [39,40]. Kontrol kanalının yayma faktörü her zaman en yüksek değer olan 256 seçilir. Bu da kontrol kanalının gürültüye karşı daha az duyarlı olmasını sağlar. UL'de veri modülasyonunda BPSK kullanılmaktadır.

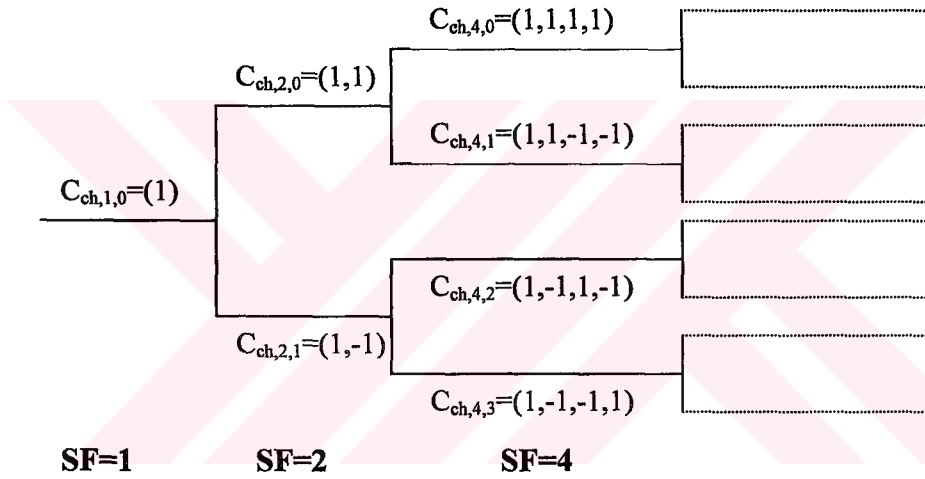


Şekil 6.19 UTRA FDD UL için Modülasyon ve Yayma İşlemleri [39,40,52]

6.3.1.5 Kod Üretimi ve Tahsisi

Kanallama Kodları:

Şekil 6.19'un kanal kodları, kullanıcıların farklı fiziksel kanalları arasındaki ortogonaliteyi koruyan OVVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor) kodlardır. Bu kodlar, DL için olan OVVSF kodları tipi ile aynıdır. Herbir bağlantıya, UL DPCCH'de kullanılmak için en az bir UL kanallama kodu tahsis edilir. Çoğu durumda en az bir UL kanallama kodu da UL DPDCH için tahsis edilir. Birden fazla UL DPDCH'ye gereksinim duyulursa, bundan başka ilave UL kanallama kodları tahsis yapılabilir. UL kanallama kodları her zaman önceden belirlenmiş sıraya göre tahsis edilir. OVVSF kodları Şekil 6.20'deki kod ağacını kullanılarak tanımlanabilmektedir.



Şekil 6.20 OVVSF kodları üretimi için kod-ağacı [39,40,52]

Şekil 6.20'deki kanal kodları benzersiz $C_{ch,SF,k}$ olarak tanımlanmıştır, burada SF kodun yayılma faktörünü ve k kod numarasını ($0 \leq k \leq SF-1$) göstermektedir. Kod ağacındaki her seviye SF uzunluğundaki kanal kodlarını tanımlamaktadır. Kanal kodu için üretim metodu şu şekildedir:

$$C_{ch,1,0} = 1,$$

$$\begin{bmatrix} C_{ch,2,0} \\ C_{ch,2,1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{ch,1,0} & C_{ch,1,0} \\ C_{ch,1,0} & -C_{ch,1,0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} C_{ch,2^{(n+1)},0} \\ C_{ch,2^{(n+1)},1} \\ C_{ch,2^{(n+1)},2} \\ C_{ch,2^{(n+1)},3} \\ \vdots \\ C_{ch,2^{(n+1)},2^{(n+1)}-2} \\ C_{ch,2^{(n+1)},2^{(n+1)}-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{ch,2^n,0} & C_{ch,2^n,0} \\ C_{ch,2^n,0} & -C_{ch,2^n,0} \\ C_{ch,2^n,1} & C_{ch,2^n,1} \\ C_{ch,2^n,1} & -C_{ch,2^n,1} \\ \vdots & \vdots \\ C_{ch,2^n,2^n-1} & C_{ch,2^n,2^n-1} \\ C_{ch,2^n,2^n-1} & -C_{ch,2^n,2^n-1} \end{bmatrix}$$

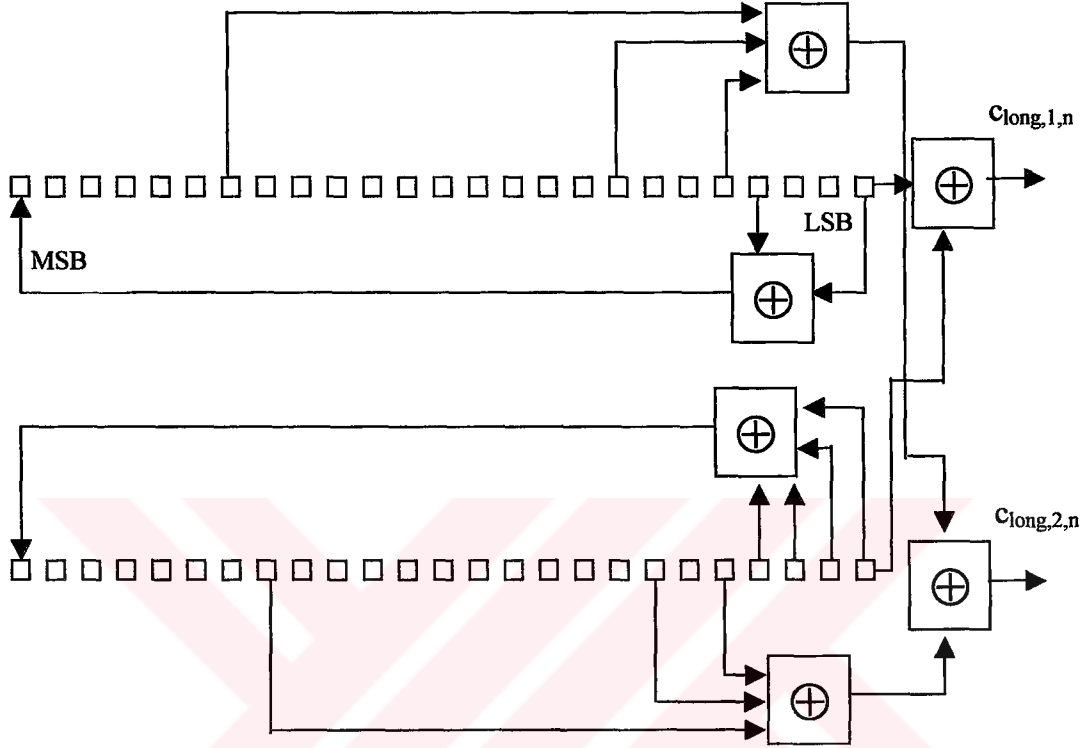
DPCCH ve DPDCH için kod tahsisinde şunlar uygulanmaktadır:

- DPCCH her zaman $C_c = C_{ch,256,0}$ kodu ile yaydırılır.
- Sadece bir DPDCH iletilecekse, DPDCH₁ için $C_{d,1} = C_{ch,SF,k}$ kodu kullanılır, burada SF DPDCH₁'nin yayma faktörüdür ve $k=SF/4$ 'dür.
- Birden fazla DPDCH iletilecekse, tüm DPDCH'ler için yayılma faktörü 4 olmaktadır. DPDCH_n $C_{d,n} = C_{ch,4,k}$ kodunu kullanırken, $n \in \{1,2\}$ ise $k=1$, $n \in \{3,4\}$ ise $k=2$, $n \in \{5,6\}$ ise $k=3$ 'dür.

Karıştırma Kodları:

Tüm UL fiziksel kanalları, kompleks-değerli karıştırma kodları ile karıştırılırlar. DPCCH/DPDCH uzun veya kısa karıştırma kodları ile karıştırılabilir. Uzun karıştırma sıraları $c_{long,1,n}$ ve $c_{long,2,n}$, derecesi 25 olan iki polinomun yardımıyla üretilen iki M-sırasının modüle 2 olarak toplanmasıyla oluşturulmaktadır. Sırasıyla x ve y'yi iki M-sırası olarak kabul edelim. x sırası $X^{25} + X^3 + 1$ polinomu kullanılarak

oluşturulmakta, y sırası ise $X^{25} + X^3 + X^2 + X + 1$ polinomu ile oluşturulmaktadır. Sonuçta elde edilen sıralar bir Gold sırası kümesinin parçalarını içermektedir. $c_{long,1,n}$ sırası $c_{long,2,n}$ sırasının 16777232 chip kaydırılmış uyarlamasıdır. Şekil 6.21, UL karıştırma sıra üreticisi konfigürasyonunu göstermektedir.



Şekil 6.21 UL karıştırma sırası üretici blok diyagramı [40,52]

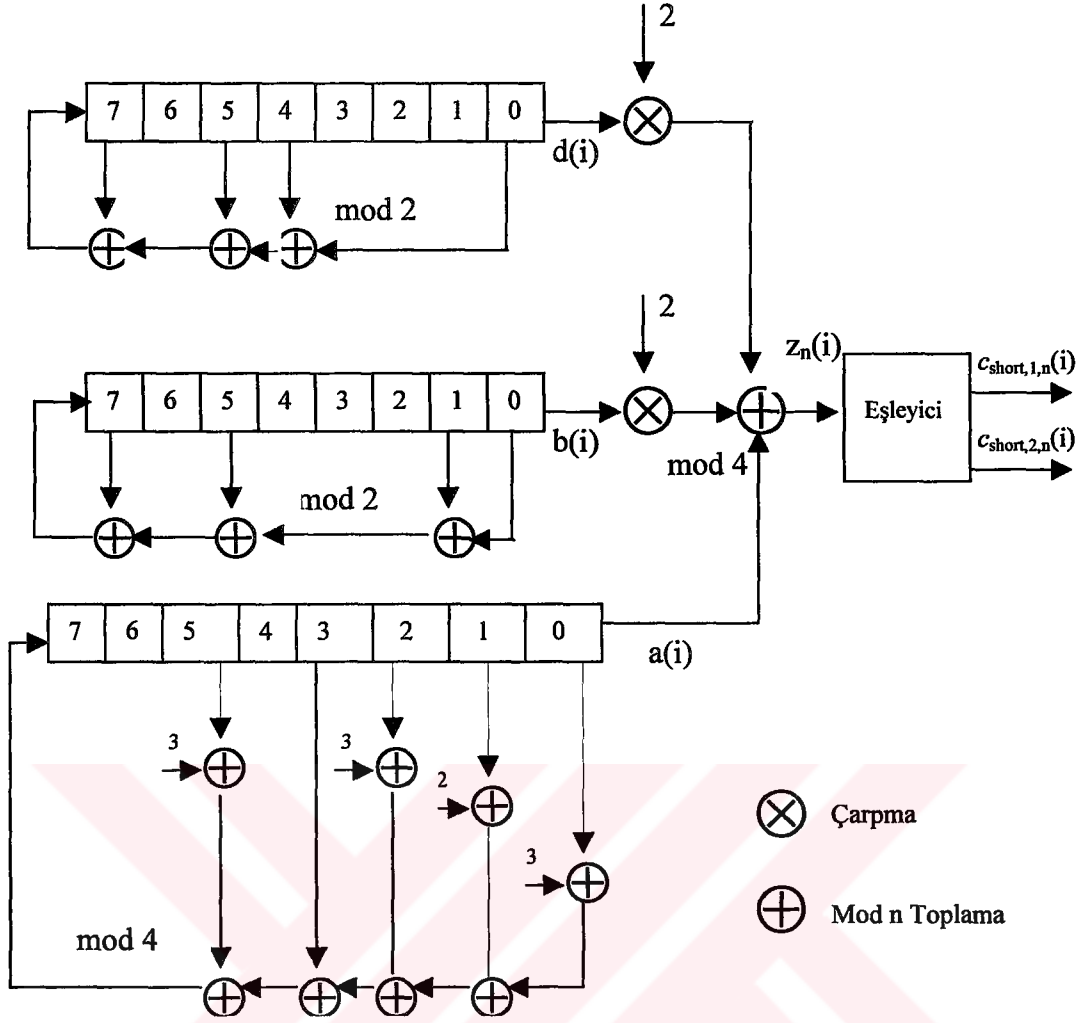
Sonuç olarak, kompleks değerli uzun karıştırma sırası $C_{long,n}$, şu şekilde tanımlanabilir:

$$C_{long,n}(i) = c_{long,1,n}(i) [1 + j(-1)^i c_{long,2,n}(2\lfloor i/2 \rfloor)]$$

$i = 0, 1, \dots, 2^{25}-2$ ve $\lfloor \cdot \rfloor$ en yakın küçük tam sayıya yuvarlamayı göstermektedir.

Kısa Karıştırma sıraları $c_{short,1,n}(i)$ ve $c_{short,2,n}(i)$, üretmek için ise blok diyagramı Şekil 6.22'de sunulan düzenek kullanılmaktadır. Sonuç olarak, kompleks değerli kısa karıştırma sırası $C_{short,n}$ şu şekilde tanımlanmaktadır:

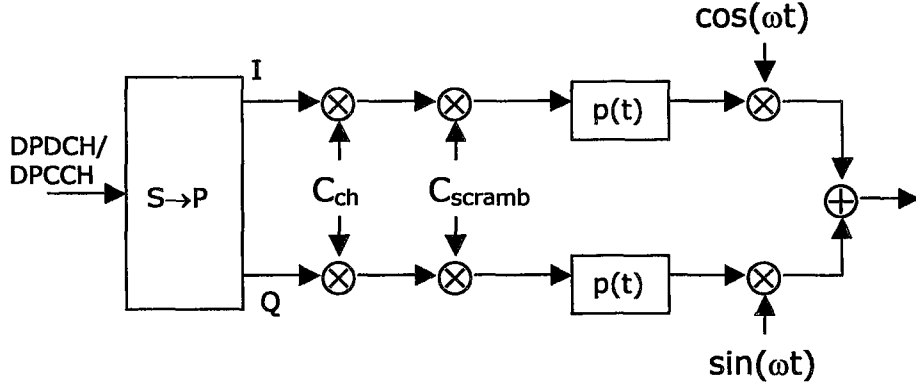
$$C_{short,n} = c_{short,1,n}(i \bmod 256) [1 + j(-1)^i c_{short,2,n}(2\lfloor (i \bmod 256)/2 \rfloor)]$$



Şekil 6.22 UL kısa karıştırma sıra üreticisi (255 chip sırası için) [40,52]

6.3.1.6 FDD modunda DL Yayma ve Modülasyon

Şekil 6.23, DL DPCH için yayma ve modülasyonun nasıl yapıldığını göstermektedir. DL modülasyonu ve yayması UL'e göre biraz farklılık gösterir. Seri bit çiftleri paralel şekle dönüştürülür ve In-Phase(I) ile Quadrature(Q) kollara eşleştirilir. Daha sonra bu I ve Q dalları aynı kanallama (c_{ch}) kodu ile chip hızına yaydırılır. Karıştırma kodu (c_{scramb}) gerçel ve hücreye özgüdür. Veri modülasyonu QPSK olmaktadır. Çoklu-kod iletimi için, her bir ilave DL DPCH de Şekil 6.23'de gösterildiği şekilde yaydırılıp modülasyona tabi tutulmalıdır. Her bir DL DPCH'ye kendi özel kanallama kodu tahsis edilmelidir.



Şekil 6.23 DL DPCH'ler için yayma ve modülasyon [39,40]

Kanallama Kodları : Şekil 6.23'deki kanallama kodları, farklı yayma faktörlerine ve hızlarına sahip DL kanalları arasında ortogonaliteyi koruyan OVSF kodlarıdır. BCCH'nin kanallama kodu önceden tanımlanmış bir koddur ve sistemdeki tüm hücrelerde aynıdır. İkincil CCPCH için kullanılan kanallama kodu veya kodları BCCH'de yayımlanır. DL adanmış fiziksel kanalları için kanallama kodları da şebeke tarafından kararlaştırılır.

Karıştırma Kodları : DL karıştırma kodları, hücre veya sektör ayırımları için kullanılır. Toplam karıştırma kodları sayısı 512'dir, herbir grupta 16 kod bulunacak şekilde 32 gruba bölünmüştür. DL kodlarını gruplandırma hızlı hücre aramayı kolaylaştırmak amacıyla yapılmaktadır. Karıştırma kodları UL ile aynı şekilde üretilir sadece üretici polinomları farklıdır ($X^{18} + X^{10} + X^7 + X^5 + 1$ ve $X^{18} + X^7 + 1$).

7. CDMA SİSTEMİ SİMÜLASYONU

7.1 IS-95 Sistemi Simülasyonu

IS-95 sisteminde kullanılan fonksiyonel blokların simülasyonu için Şekil 7.1'den yararlanılmıştır. Simülasyonda bazı varsayımlar yapılmış, sistem temelbantda simüle edilmiştir. Dolayısı ile darbe şekillendirmeye ve modülasyonla işaretin RF frekanslarına taşınmasına gerek kalmamıştır. Bununla beraber, mükemmel bir güç kontrolün var olduğu kabul edilmiş; böylece de iletim dizisine güç bitleri eklenmemiştir. Simülasyonlarda orijinal verinin, 8.2 kbit/sn hızında olduğu düşünülmüş, böylece 20 ms'nlik IS-95 çerçevesine 192 bit yerleştirilmiştir. Bir IS-95 DL kanalında kullanılan fonksiyonel blokların özellikleri şu şekilde sırlanabilir:

gen_rand_data : 20 ms'nlik herbir IS-95 CDMA çerçevesi için 192 bit üretir.

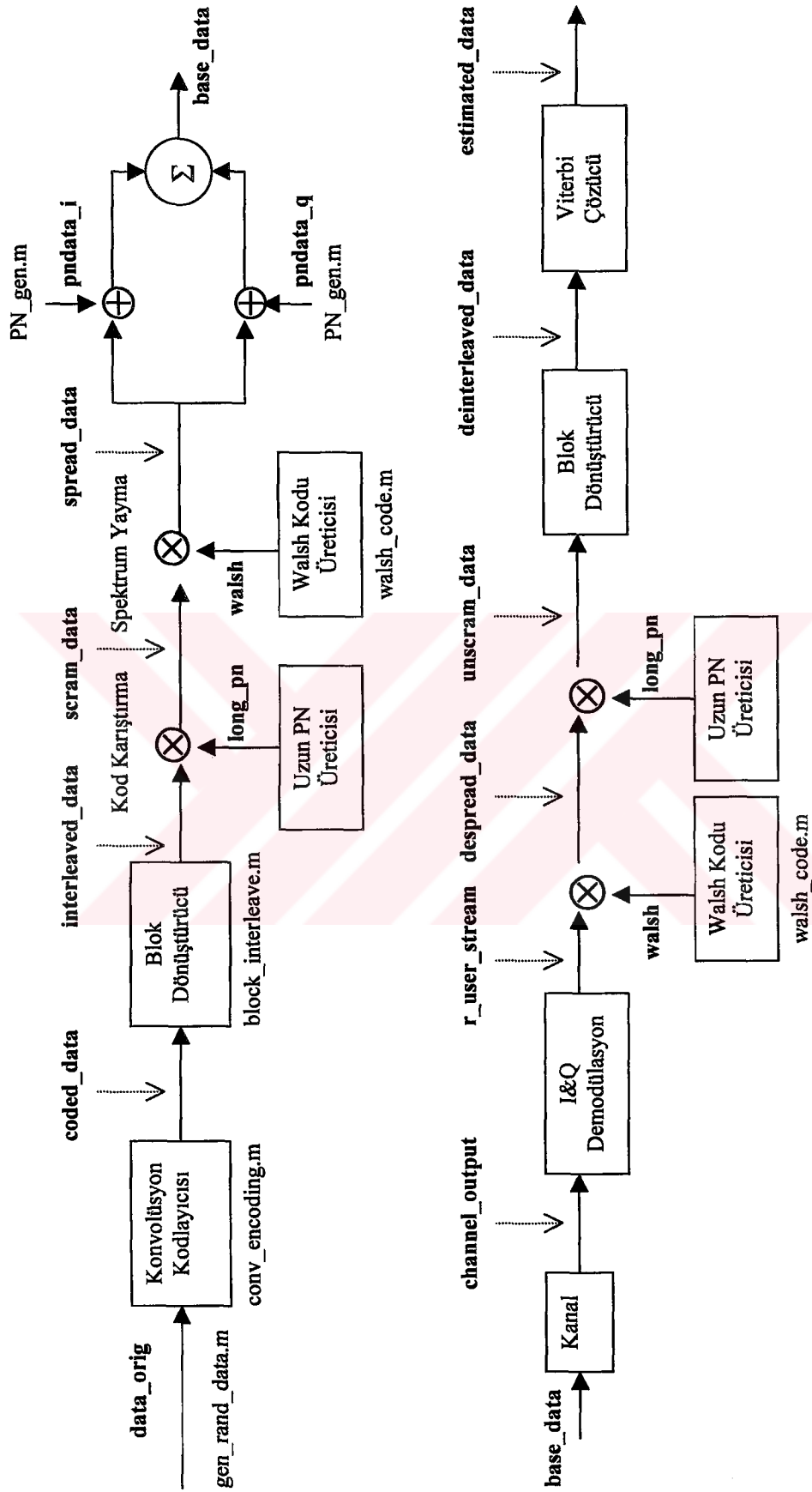
conv_encoding : Konvolüsyonel kodlamayı gerçekleştirir, hız 1/2 seçildiğinden 192 bit, kodlanarak blok çıkışında 384 bit olur. Üretici polinomlar da bu modülün içinde belirtilmektedir ($r=1/2$, $K=9$, $G1 = (753)$, $G2=(561)$).

block_interleave : Konvolüsyonel olarak kodlanan veri, hatalardan daha az etkilenmesi için blok dönüştürücüden geçirilir. Bu modül, belirli bir sıra ile giriş bitlerini alıp bir matrise yerleştirir, daha sonra alıcıda bunun tam tersi icra edilerek orijinal işaret oluşturulur.

walsh_code : Bir önceki modülde Gold kodu ile karıştırılan veriyi, spektrumda yaydırmak için Walsh (Hadamard) kodlarına ihtiyaç vardır. Bu modül, istenilen boyutta Hadamard kodunu üretir. Daha sonra burada üretilen Walsh matrisinin herhangi bir satırı seçilerek bu kullanıcıya tahsis edilir, kullanıcı verisi bu satır matrisi ile çarpılarak, spektrum yaydırılmış olunur.

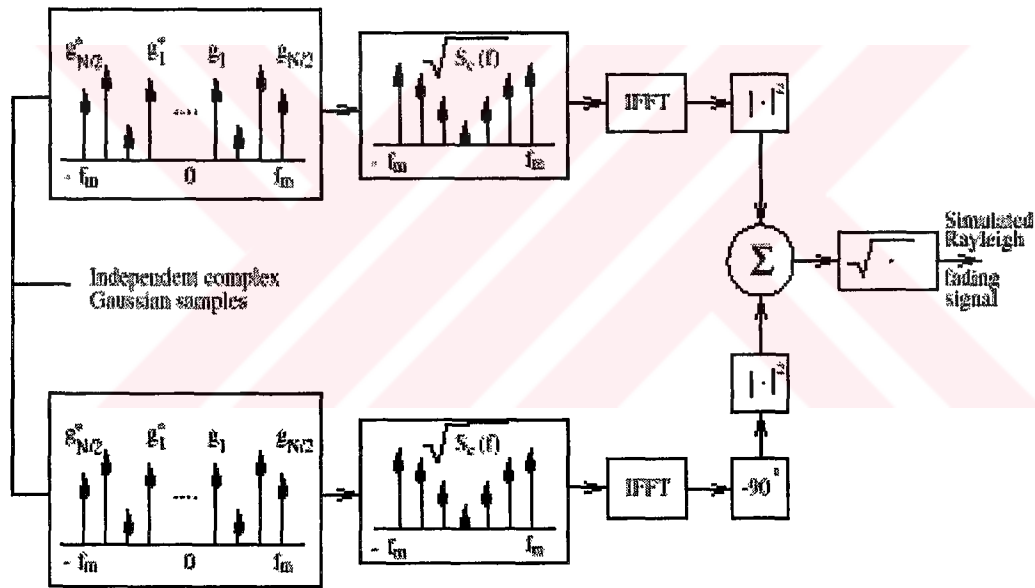
PN_gen : İstenilen uzunlukta PN dizisi üretir. I ve Q dalları için ayrı ayrı üretilen bu PN dizileri ile yaydırılmış veri çarpılır. Daha sonra bu I ve Q dalları toplanıp kanala verilir.

Simülasyon ortamı için kanal modeli olarak frekans seçmeli zayıflama (FSF-Frequency Selective Fading) modeli düşünülmüştür. Bu tür zayıflama, işaretin

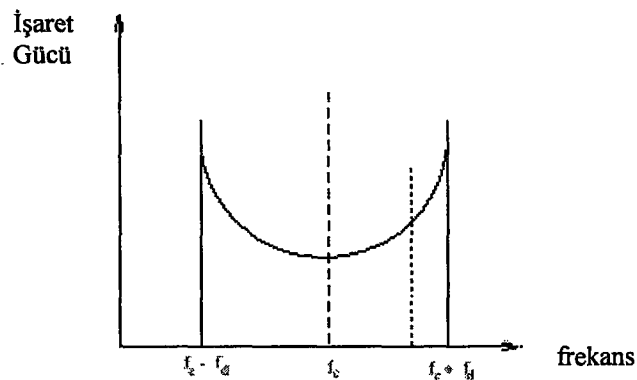


Şekil 7.1 IS-95 CDMA DL kanalı simülasyonunda kullanılan bloklar ve kodları

ISI'den (Intersymbol Interference) şiddetli biçimde etkilenmesine, bozulmasına neden olur. Frekans seçmeli kanalı simüle etmek için ilk olarak Rayleigh zayıflama simülatörünü oluşturmak gerekmektedir. Bunun için de Clarke ve Gans modeli kullanılmıştır [16]. Temelbandta Rayleigh zayıflama simülatörünün frekans domeninde uygulaması Şekil 7.2'de gösterilmiştir. İlk önce birbirinden bağımsız iki karmaşık Gaussian örnekleri kümesi oluşturulup, daha sonra bunların kompleks karşılığı alınarak pozitif ve negatif frekans değerleri gösterilmiştir. Rastgele değerli bu spektrum, gürültü kaynağı ile aynı sayıda noktaya sahip $\sqrt{S_c(f)}$ 'nin ayrık frekans gösterimi ile çarpılır. $S_c(f)$, Doppler işaretinin güç spektrumunu ifade etmektedir. (7.1) eşitliği ile verilen $S_c(f)$ 'nin spektrumu da Şekil 7.3'de görülebilir. Daha düzgün rastgele işaretler elde etmek için IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) kullanılır, sonuçta elde edilen örneklerin karesi alınır. Son olarak ta kareleri alınmış işaretlerin toplanması ile elde edilen değerlerin karekökü alınarak, Rayleigh Fading örnekleri



Şekil 7.2 Rayleigh Fading Simülatörü



Şekil 7.3 Doppler güç yoğunluk spektrumu

$$S_c(f) = \frac{1}{\pi f_d \sqrt{1 - \frac{(f-f_c)^2}{f_d^2}}} \quad (7.1)$$

f_c : taşıyıcı frekansı

f_d : Doppler frekansı

$f_d = V / (f_c / c)$

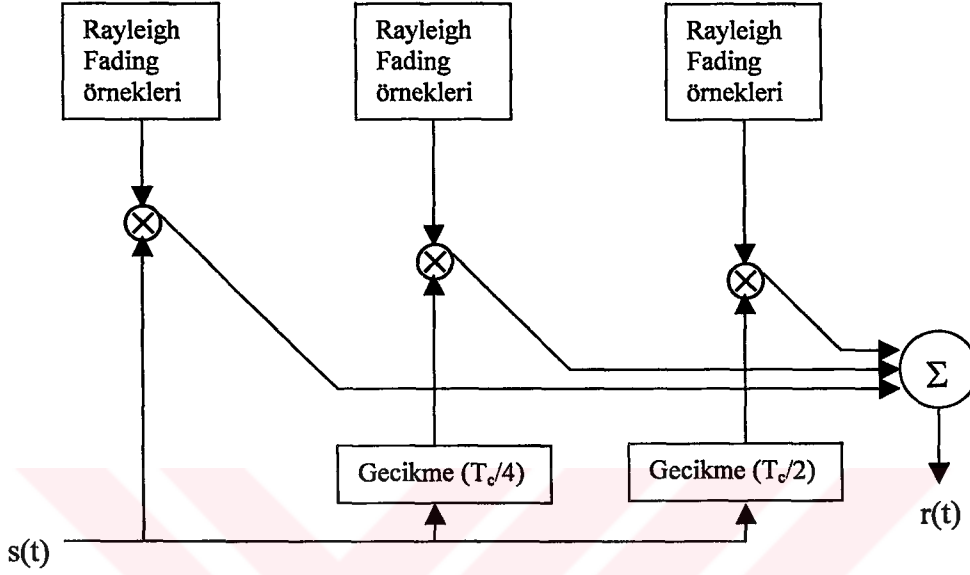
V : Mobil kullanıcı hızı

c : ışık hızı

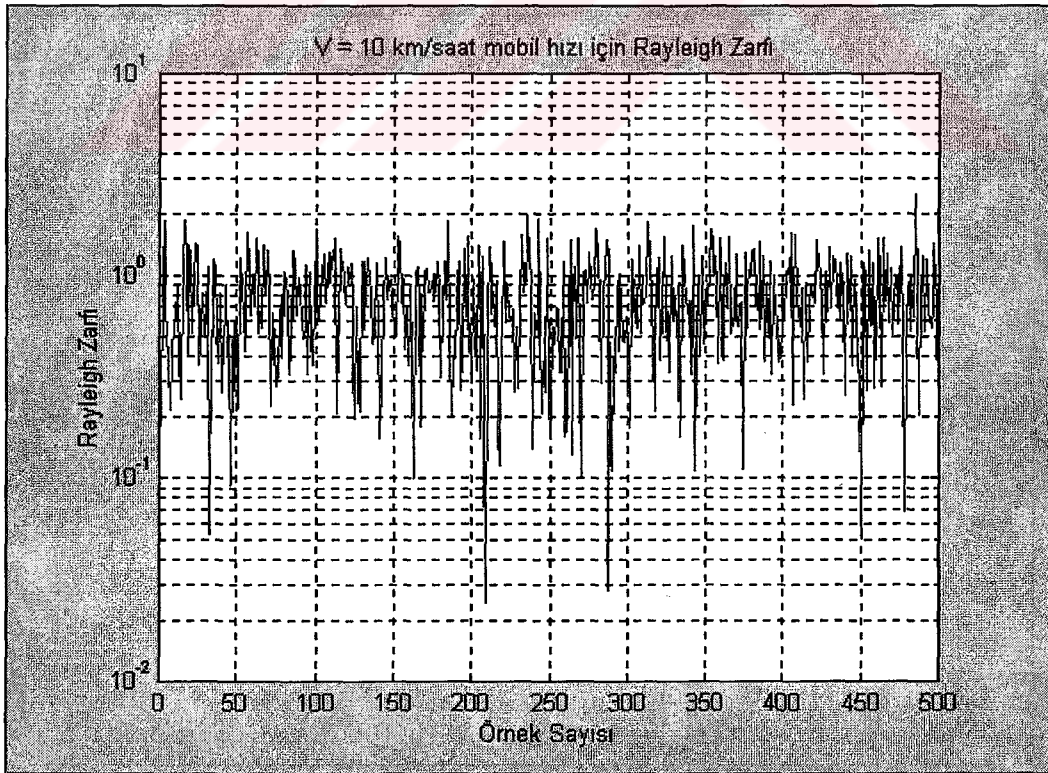
Mobil kullanıcının farklı hızları için, haberleşme kanalının Rayleigh dağılımı da (7.1) eşitliğine bağlı olarak değişecektir. Böylece mobil kullanıcının değişik hızlarında DL kanalının BER performansını çıkartabilmek mümkün olmaktadır.

Rayleigh fading değerleri elde edildikten sonra, birden fazla fading simülatörü kullanılarak FSF kanalı oluşturulur. Bunu elde etmek için Şekil 7.4'de gösterilen düzenek kullanılabilir. Şekilde gösterilen gecikmelerin sayısı, işaretin vericiden alıcıya giderken kaç farklı yoldan gideceğini belirlemektedir. Giriş işaretinin gecikmelerle elde edilen değeri Rayleigh zayıflama birleşeni ile çarpılarak istenilen gecikme değeri elde edilir. Daha sonra çıkışlar toplanarak, frekans seçmeli kanalın etkisi oluşturulur. Tüm simülasyonlarda 3-çokluyol Rayleigh kanalı kullanılmıştır. İlk yol, işaretin hiç gecikmesiz alındığı varsayılarak oluşturulmuş; ikinci yol, $T_c/4$ gecikme ile yani chip süresinin dörtte biri kadar işaretin geciktirilmesi ile sağlanmış; üçüncü yol ise $T_c/2$ gecikme ile elde edilmiştir. Şekil 7.2'deki Rayleigh Fading simülatörü, ilişkide verilen rayleigh_generator.m MATLAB programı ile sağlanabilir. Rayleigh Fading simülatörü ile elde edilen katsayıların dağılımı (Rayleigh Fading Zarfı), 2 GHz çalışma frekansında $V=10$ km/saat ve 100 km/saat mobil kullanıcı hızları için sırası ile Şekil 7.5 ve 7.6'da gösterilmiştir. Çokluyol işaretleri, alıcıya geldiği zaman, fazlarına bağlı olarak yapıcı veya yıkıcı bir girişim oluşturarak toplanırlar. Sonuç olarak, her bir çokluyol sekmesinin gücü zamanla değişkendir ve Şekil 7.5 ve 7.6'da gösterilen zayıflama çukurlarına sebebiyet verirler. Bu girişimlere, çok kısa zaman aralıklarında maruz kalınır (umumiyetle yarım dalga uzunluğu aralığında), bundan dolayı buna *hızlı zayıflama* denilmektedir. Bu değişimler kısa zaman aralıklarında 10-30 dB civarında değişmektedir. Zayıflama

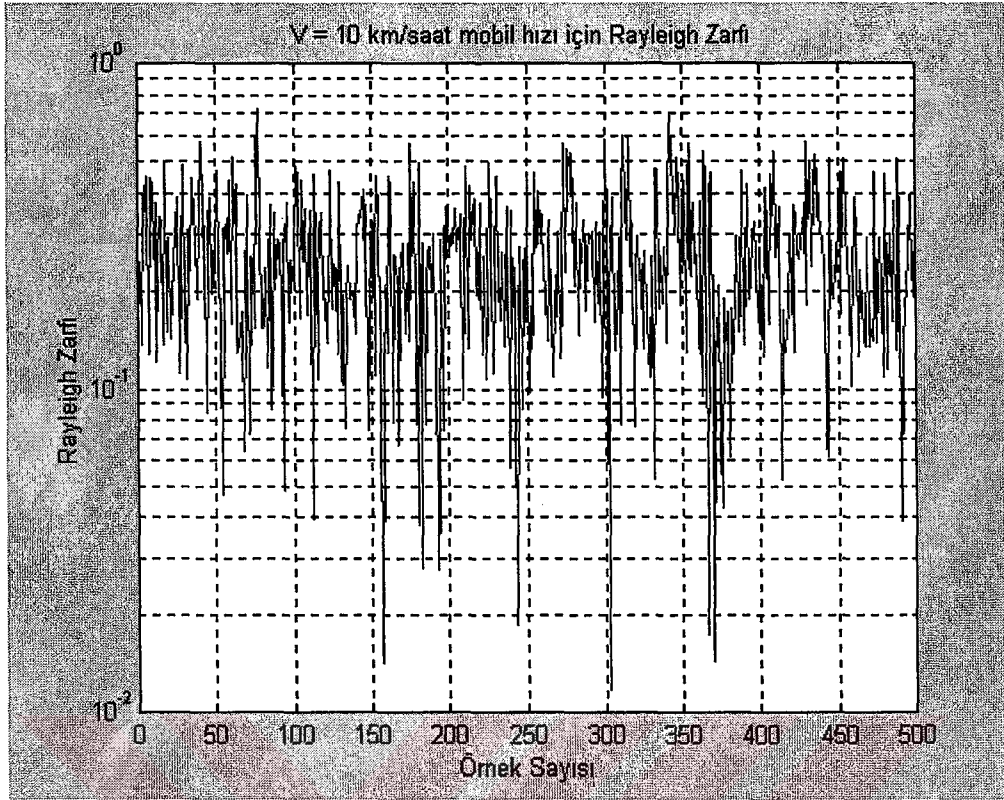
çukurlarının derinlikleri kanal tipine bağlıdır. Şekillerden de görüleceği üzere hız arttıkça bu sekmelerin derinliği ve sıklığı artmakta, bu da veri bitlerinin daha fazla bozulmasına neden olabilmektedir. En son elde edilen veri dizisine, istenilen E_b/N_0 değerine göre Gauss gürültüsü eklenir (E_b : Bit enerjisi, N_0 : gürültü güç spektral yoğunluğu).



Şekil 7.4 FSF model gösterimi



Şekil 7.5 Rayleigh Fading Örnekleri ($V=10$ km/saat mobil hızı için)



Şekil 7.6 Rayleigh Fading Örnekleri (V=100 km/saat mobil hızı için)

V=100 km/saat mobil hızında Rayleigh örneklerinin nasıl dağılacığını görmek için aşağıda verilen kod parçası kullanılarak Şekil 7.5 ve 7.6 elde edilmiştir.

```
lambda = 0.15; %for 2 GHz
v = 100 ; %km/h
fd = v/lambda/3.6;
std = 10^(-1);
Fade = rayleigh_generator(500, fd,std);
semilogy(Fade)
grid
xlabel('Örnek Sayısı'), ylabel('Rayleigh Zarfı')
title ('V = 10 km/saat mobil hızı için Rayleigh Zarfı ');
```

Alıcıda, ilk olarak I&Q demodülasyonu yapılır. Daha sonra vericide yapılanlar bu sefer tersten uygulanır. Vericide seçilen Walsh dizisi kullanılarak veri spektrumu daraltılır, aynı uzun PN kod dizisi kullanılarak da karıştırılmış dizi düzeltilir. Son olarak ta blok dönüştürücü uygulanıp elde edilen veri dizisi Viterbi çözücüsüne gönderilir. Bunun sonucunda elde edilen 'estimated_data', ilk üretilen 'data_orig' ile karşılaştırılmak suretiyle BER performansı çıkartılır. Bu sistemin simülasyonunu gerçekleştiren temel MATLAB kodu Ek-C'de **main_is95** olarak verilmiştir. Bu simülasyonla ilgili tüm kodlar ilişikteki diskette, '7_1_cdma' dizini altında bulunmaktadır.

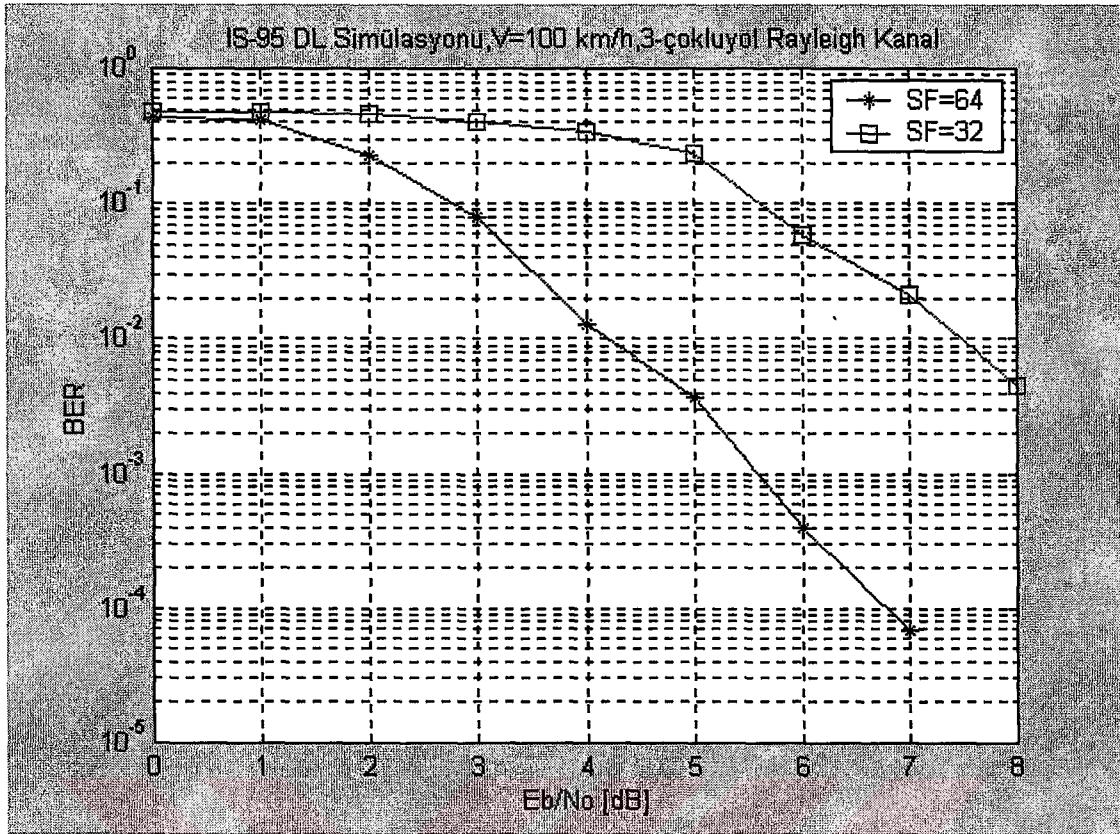
main_is95 kodu kullanılarak, $V=100$ km/saat mobil kullanıcı hızı ve iki farklı SF(yayma Faktörü) değeri için BER'in E_b/N_0 ile değişimi çıkartılmıştır. SF= 64 ve SF=32 için elde edilen sonuçlar Tablo 7.1'de ve Şekil 7.7'de görülebilir. Konvolüsyon kodlamanın kullanılmasından dolayı, düşük E_b/N_0 değerleri için BER yüksek elde edilmiştir. Bu, kodlamanın getirdiği olağan bir sonuçtur. $E_b/N_0 > 4$ dB için ise bizim için kabul edilebilir çok düşük BER değerleri görülmüştür. Özellikle 6÷7 dB değerlerinde ses iletimi için kabul edilebilir bir performans sağlanmıştır. SF değerinin yükselmesi ile sistem gürültüye karşı daha iyi korunduğundan BER'de iyileşme olmuştur. IS-95 CDMA standardında SF sabit ve 64'dür. Kıyaslama olması açısından SF=32 seçilerek denenmiş ve BER'in oldukça kötüleştiği görülmüştür. Programın çalıştırılmasına ve sonuçların gösterilmesine bir örnek aşağıda verilmiştir:

```
» main_is95
Mobil Kullanıcı Hızını giriniz: default 100 km/saat
SF(Spread Factor, Yayma Faktörü): default 64
İterasyon sayısını giriniz: default 5      80
Eb/No Başlangıç Degerini giriniz: default 0
Eb/No Bitiş Degerini giriniz: default 8    5
```

```
iterasyon sayısı = 80
Spread Factor (SF) = 64
Doppler Frekansı = 185.19, Hz
Mobil Hızı = 100.0 km/saat
Eb/No(dB) BER
-----
0.0 0.4344917
1.0 0.4147245
2.0 0.2302896
3.0 0.0796124
4.0 0.0128021
5.0 0.0037218
```

Tablo 7.1 IS-95 CDMA DL kanalında SF=32 ve SF=64 değerleri için BER'in E_b/N_0 ile değişimi

E_b/N_0	BER (SF=32)	BER (SF=64)
0	0.4833	0.4344
1	0.4688	0.4147
2	0.4539	0.2302
3	0.4069	0.0796
4	0.3451	0.0128
5	0.2326	0.00372
6	0.0586	0.000396
7	0.0211	0.0000694
8	0.0045	~0



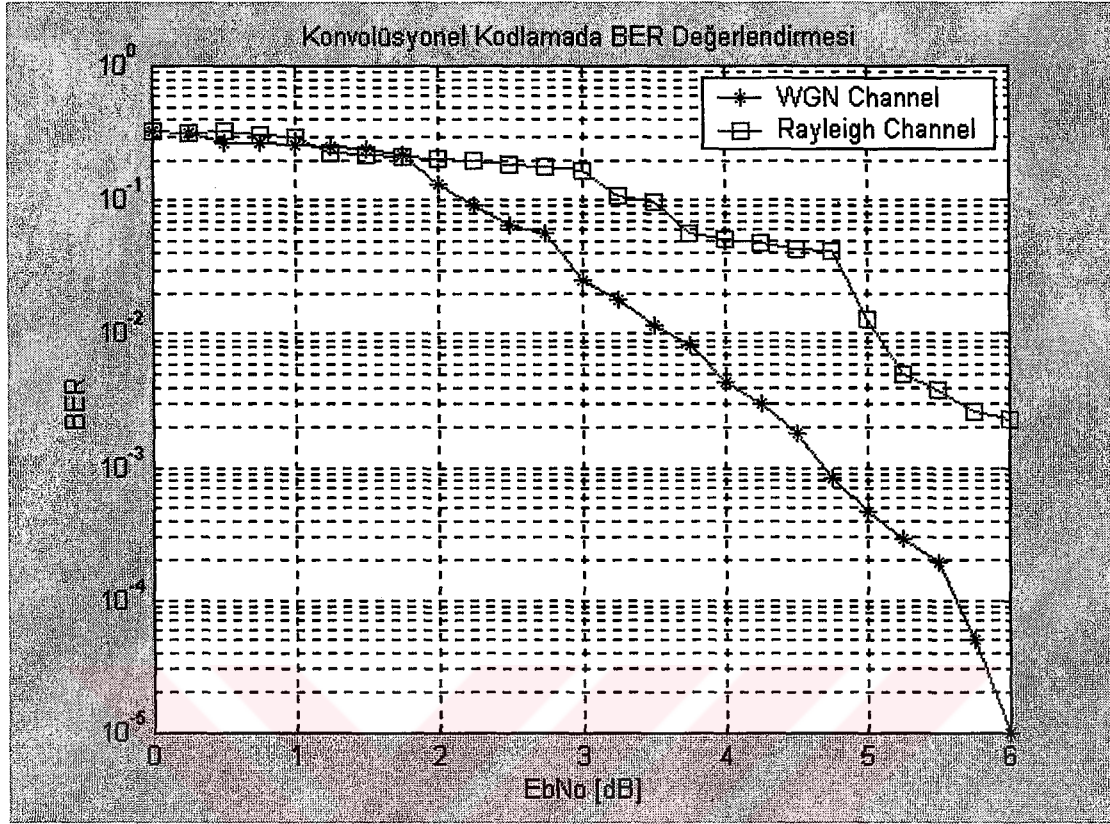
Şekil 7.7 IS-95 CDMA DL kanalında SF=32 ve SF=64 değerleri için BER'in E_b/N_0 ile değişimi

7.2 IS-95 CDMA sistemi için Konvolüsyon Kodlama ile DS'in Karşılaştırılması

Konvolüsyon kodlamanın kullanıldığı bir sistemde, BER'in E_b/N_0 ile değişimi, kanalın AWGN veya Rayleigh dağılımı ile karakterize edilmesi durumları için sırasıyla `con_wgn.c` ve `con_rayleigh.c` kodları (ilişikteki diskette 7_2_cdma dizini altında) kullanılarak Şekil 7.8'de gösterildiği biçimde elde edilir. E_b/N_0 'ın 4 dB'den küçük olan değerleri için hata oranı biraz yüksek olsada, bu değerden sonraki BER'in sert bir düşüş göstermesinden dolayı konvolüsyon kodlamasının CDMA sistemlerinde kullanılması büyük avantaj getirmektedir.

Kanal kodlamasının kullanılmadığı duruma DS (Doğrudan Yayma) modeli dersek, DS ile IS-95 modeli karşılaştırılıp hangi durumlar için DS'in IS-95'e yaklaşabildiğini tespit edebiliriz. IS-95 modeli için yine aynı kod (`main_is95.m`) kullanılırken, DS için `main_ds.m` kodu kullanılmıştır. DS'de konvolüsyon kodlama kullanılmadığından dolayı vericide konvolüsyon kodlama ve blok dönüştürücü fonksiyonel bloklarına ve alıcıda da yine blok dönüştürücü ile viterbi kod çözücüsüne gerek kalmamıştır.

Sadece uzun kod ile karıştırma, Walsh ve kısa PN kodları ile yayma gerçekleştirilmektedir.

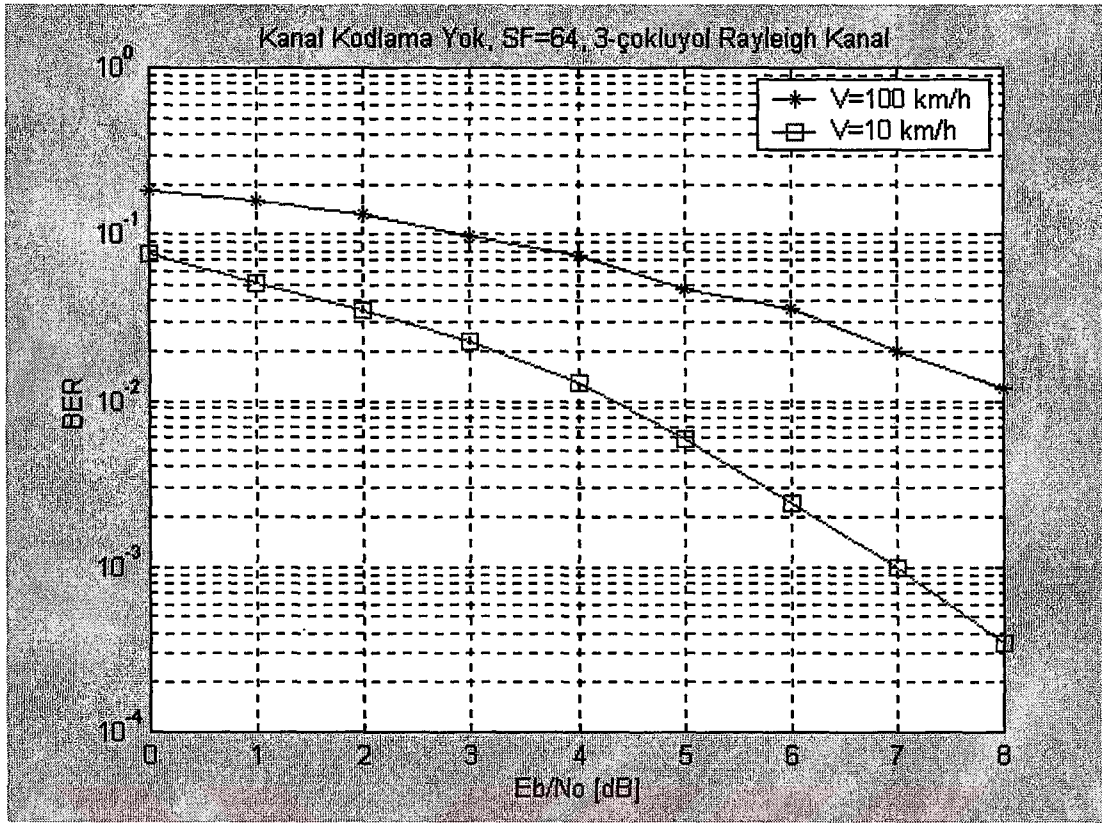


Şekil 7.8 Konvolüsyonel kodlamada BER'in SNR ile değişimi

İlk olarak, DS modelini kullanarak mobil kullanıcı hızındaki değişim ile BER performansının nasıl etkilendiğini görelim. Bunun için SF=64 seçilerek V=100 km/saat ve 10 km/saat durumlarında main_ds kodu çalıştırılmıştır. BER'in Eb/No ile değişimi Tablo 7.2'de ve Şekil 7.9'da verilmiştir.

Tablo 7.2 DS modelinde 100 ve 10 km/saat mobil hızları için BER'in Eb/No ile değişimi (SF=64)

Eb/No	BER (V=100 km/h mobil hızı için)	BER (V=10 km/h mobil hızı için)
0	0.1809	0.0773
1	0.1581	0.0519
2	0.1318	0.0349
3	0.0991	0.0228
4	0.0750	0.0131
5	0.0471	0.0058
6	0.0361	0.0024
7	0.0200	0.00099
8	0.0119	0.000347

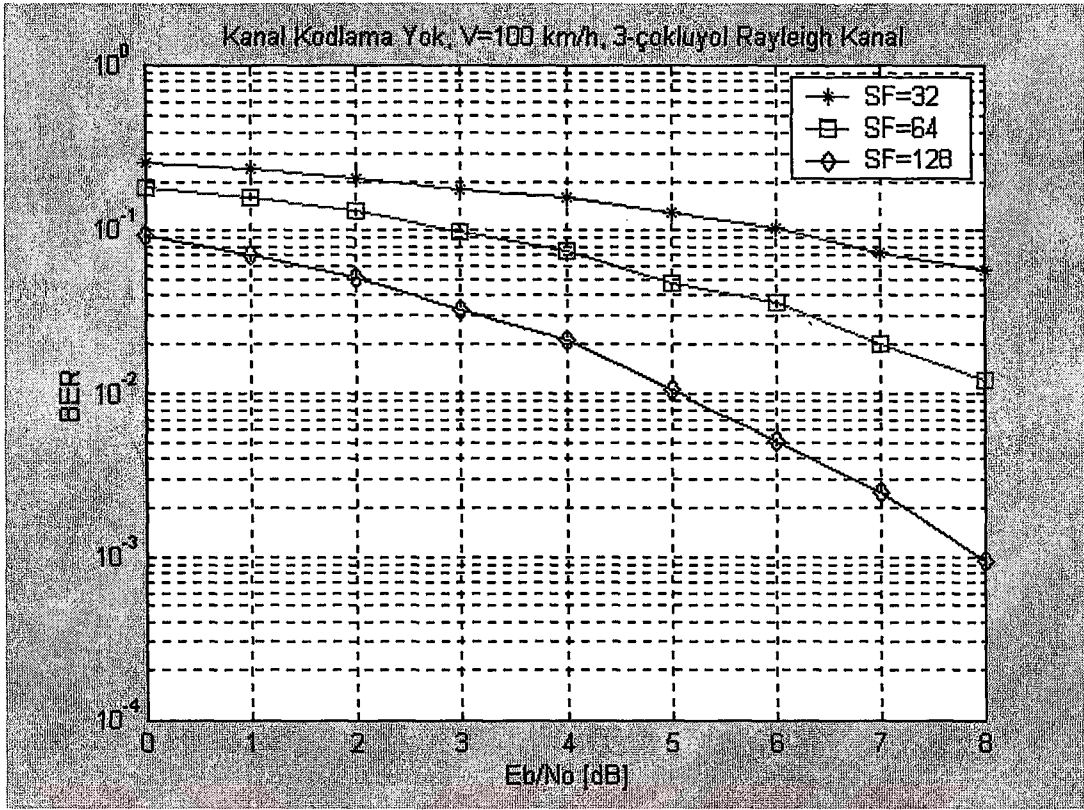


Şekil 7.9 DS modelinde 100 ve 10 km/saat mobil hızları için BER'in E_b/N_0 ile değişimi (SF=64)

Sonuçlardan görüldüğü üzere sistem performansı hız arttıkça daha da kötüleşmektedir. Zira, kanalda kullanılan Rayleigh modeli, hız arttıkça daha sık zayıflama çukurlarına neden olmaktadır. DS modeli için SF'in değiştirilmesi ile sistem performansındaki iyileşmeyi göstermek için main_ds kodu mobil kullanıcı hızı 100 km/saat için SF'in 32, 64 ve 128 değerleri için ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Buradan elde edilen sonuçlar ve grafik Tablo 7.3 ile Şekil 7.10'da verilmiştir.

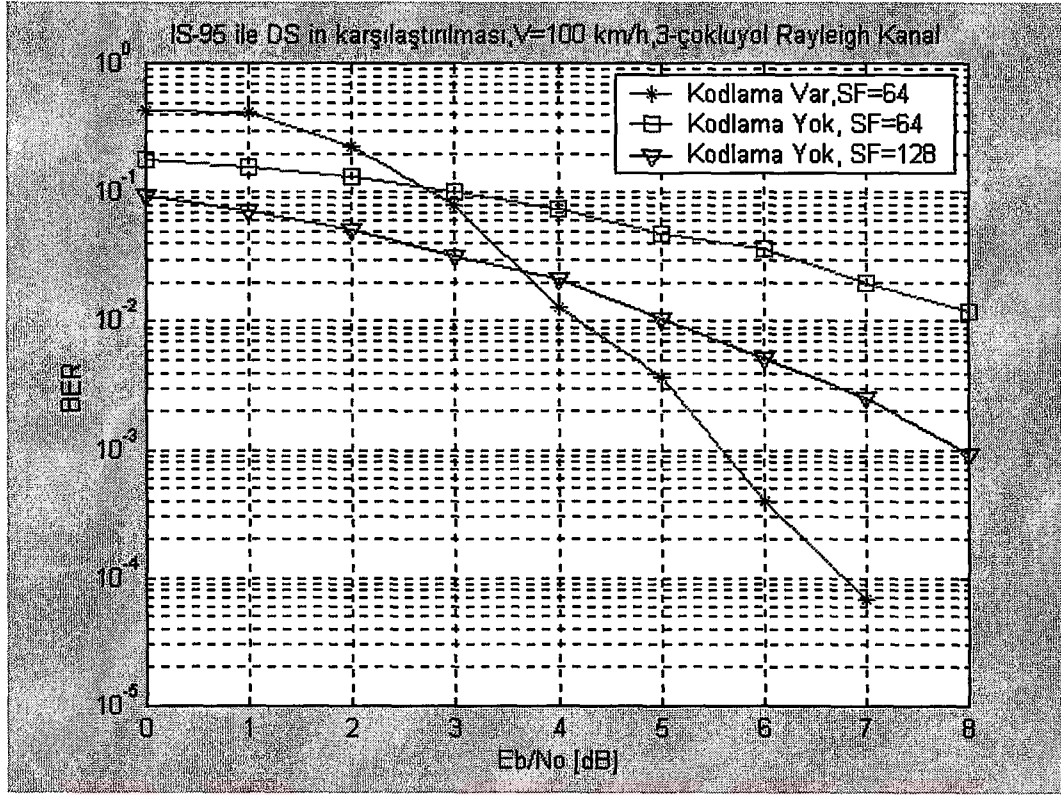
Tablo 7.3 DS modelinde 100 km/saat mobil hızında farklı SF değerleri için BER'in E_b/N_0 ile değişimi

E_b/N_0	BER (SF=32)	BER (SF=64)	BER (SF=128)
0	0.2582	0.1809	0.0938
1	0.2415	0.1581	0.0710
2	0.20729	0.1318	0.05156
3	0.17695	0.0991	0.03229
4	0.15872	0.0750	0.02114
5	0.12667	0.0471	0.01052
6	0.10447	0.0361	0.005208
7	0.07354	0.0200	0.002500
8	0.05656	0.0119	0.000937



Şekil 7.10 DS modelinde 100 km/saat mobil hızında farklı SF değerleri için BER'in E_b/N_0 ile değişimi

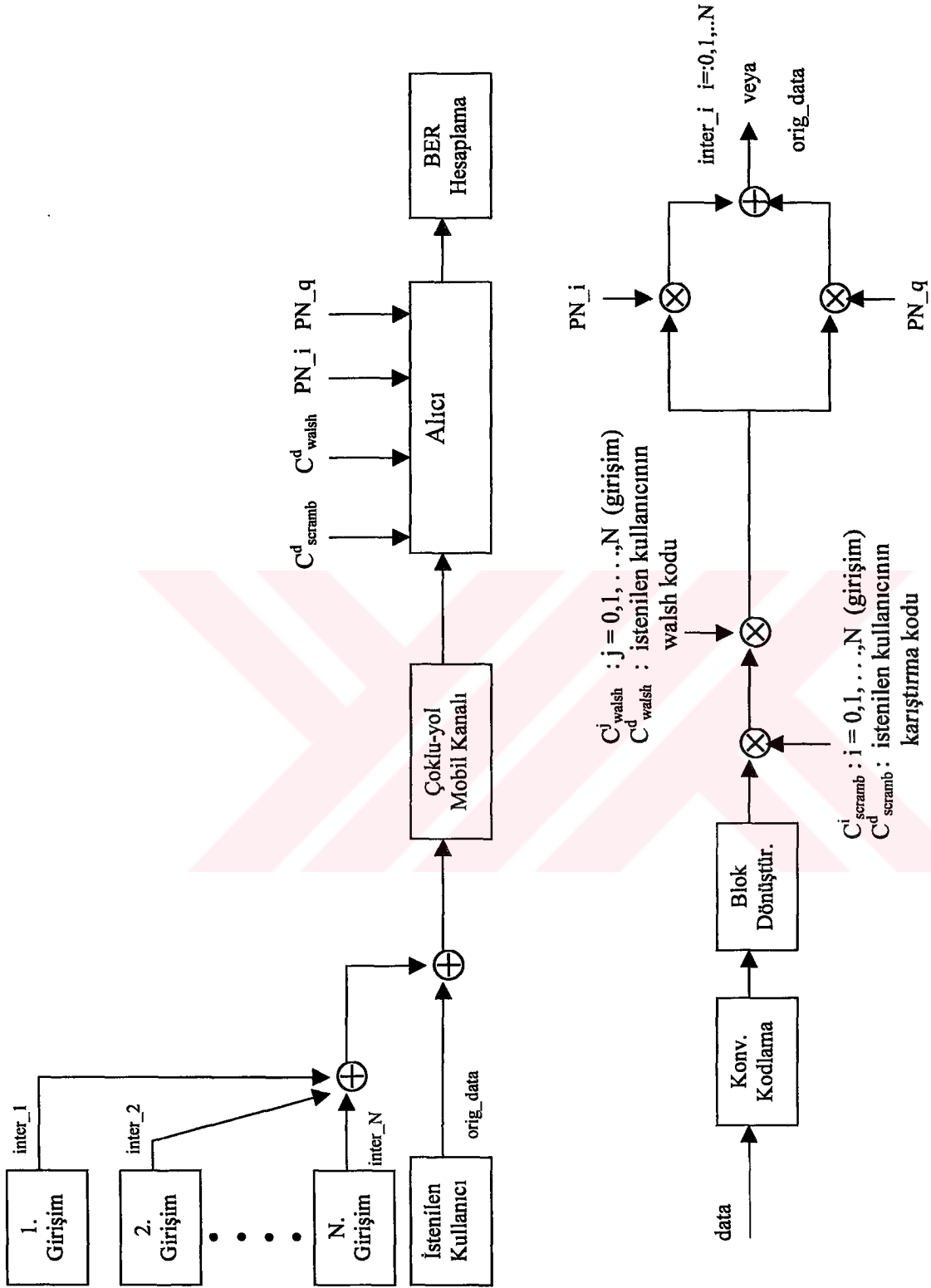
Yayma Faktörü'nü (SF), bir başka deyişle işlem kazancını, arttırdıkça sistemin performansı da büyük oranda iyileşmektedir. SF = 128 için BER'nin, SF = 64'e göre yaklaşık 10 kat daha iyi sonuç verebildiği Şekil 7.10'dan görülebilir. Şimdi IS-95 yani kanal kodlama kullanılan durum ile DS modelini karşılaştıralım. Aynı koşullar altında ($V=100$ km/saat, 3-çokluyol Rayleigh kanalı) kanal kodlama kullanılması ve kullanılmaması durumlarında elde edilen BER değerleri Şekil 7.11'de verilmiştir. SF=128 yapılarak kodlama kullanılmayan durum için BER'de iyileştirme yapılabileceği ve $E_b/N_0 < 5$ dB için kodlama kullanılan duruma yaklaşılabileceği de bu şekilden görülebilmektedir. Düşük E_b/N_0 değerleri için DS modeli, hata düzeltme metodlarının kullanıldığı IS-95 modeline göre daha iyi sonuç verebildiğinden, Viterbi çözücüsünün telefon cihazlarına getirebileceği büyük maliyet de DS modeli kullanılması sayesinde daha düşük seviyelere indirilebilir. DS modeli kullanıldığında, blok dönüştürücülerine de gereksinim kalmayacaktır.



Şekil 7.11 IS-95 ile DS modellerinde BER'in kıyaslanması

7.3 IS-95 CDMA Sisteminde Kullanıcı Girişimlerinin Performansa Etkisi

IS-95 CDMA sistemi için bir diğer değerlendirme kriteri de, aynı hücredeki diğer kullanıcılardan kaynaklanan girişimlerin BER'e etkisidir. Bunun için de Ek-D'de verilen `main_intra_ray.m` kodu kullanılmıştır. Bu temel kod, 'downlink_intra' ve 'downlink_receiver_intra' gibi iki tamamlayıcı modülü çağırır. 'downlink_intra' modülü ile, DL kanalı gerçekleştirilmeye çalışılmış; 'downlink_receiver_intra' ile ise alıcıda kod çözmeye kadar olan kısım gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyonla ilgili tüm kodlar ilişikteki diskette, '7_3_cdma' dizini altında bulunmaktadır. Şekil 7.12'de bir DL kanalında aynı hücredeki diğer kullanıcı girişimlerini göstermek için kullandığım simülatörün blok diyagramları gösterilmiştir. Burada bir kullanıcı için sırasıyla 5, 10, 15, 20, 25, 30 ve 35 adet girişimin olduğu düşünülerek denemeler yapılmıştır. Girişime neden olan kullanıcıların ürettiği veri demeti orijinal kullanıcının verisine eklenir; kullanılan walsh dizilerinin ve uzun PN kodlarının özelliğinden dolayı kullanıcıların verisi birbirleriyle ilişkili değildir. Böylece alıcıda, doğru walsh ve uzun PN dizisi kullanılarak orijinal veri kolaylıkla tekrar elde edilmektedir. Walsh kodunun ortogonelliği sayesinde girişimin etkisi azaltılmaya çalışılmaktadır.

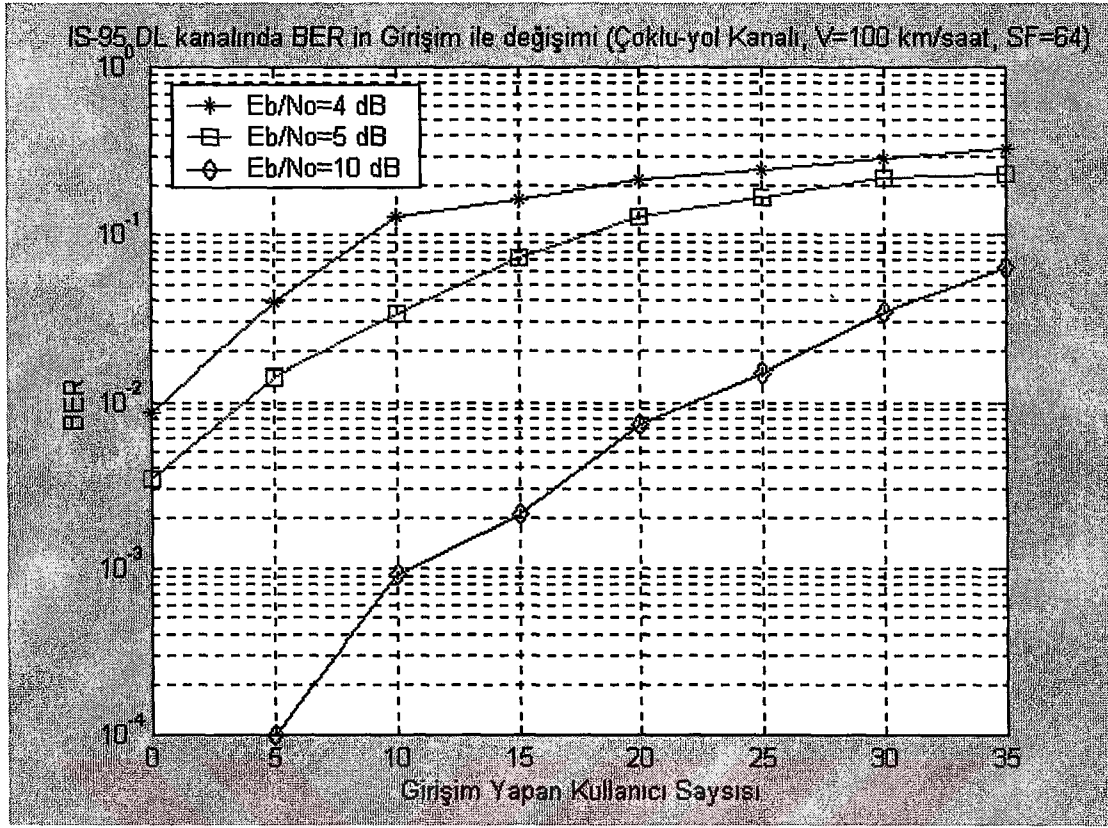


Şekil 7.12 DL'de aynı hücre içinde girişimin etkisini göstermek için kullanılan simülâtörün blok diyagramı

Sonuç olarak sistem performansının, girişim yapan işaret sayısı arttıkça yaklaşık doğrusal biçimde düştüğü görülmüştür. Tablo 7.4'de, simülasyonda elde edilen sonuçlar verilmiştir. Farklı Eb/No değerleri ve farklı girişim sayıları için BER değişimi Şekil 7.13'den de görülebilir. Bu sonuçlar, CDMA sisteminde karşılaşılan en önemli sorunun girişimler olduğunu bize kanıtlamaktadır. Aynı hücredeki kullanıcıların kısa PN kodları aynıdır. Kullanıcılara özgü olan, birbirleriyle farkı olan kodlar sadece karıştırma için kullanılan uzun PN kodları ve yayma için kullanılan Walsh kodlarıdır. Girişim yapan kullanıcı sayısı yükseldikçe BER performansı kabul edilemeyecek seviyelere gelmektedir; bunu önlemek için CDMA hücresel sistemlerinde hücrelerin çok küçük tutulması (piko-, mikro-hücreler) veya Ses Aktivitesi Sezilmesi (VAD), MUD (Multiuser Detection) gibi teknikler kullanılacaktır. Ayrıca 3G sistemlerde, IS-95'de kullanılan PN kodları yerine daha düşük auto-korelasyona sahip Gold veya Kasami kodları kullanılarak girişimin neden olduğu bu yüksek BER değerleri kabul edilebilir seviyelere çekilebilir.

Tablo 7.4 IS-95 CDMA DL bağlantısında BER'in aynı hücredeki kullanıcı girişimleri sayısı ile değişimi (V=100 km/saat, SF=64)

Girişim Yapan Kullanıcı Sayısı	BER		
	Eb/No = 4 dB	Eb/No = 5 dB	Eb/No = 10 dB
0	0,0086	0,003471	$< 10^{-5}$
5	0,0388	0,014129	0,0003
10	0,1292	0,033481	0,000917
15	0,1659	0,073171	0,0021
20	0,2141	0,127733	0,0073
25	0,2427	0,167414	0,0146
30	0,2865	0,219621	0,0344
35	0,3281	0,232697	0,0628



Şekil 7.13 IS-95 DL kanalında BER'in Girişim yapan kullanıcı sayısı ile değişimi
(Çoklu-yol Kanalı, V=100 km/saat, SF=64)

8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

1990'lü yıllarda büyük ilgi gören ve mevcut analog mobil sistemlerin sayısal sistemlere geliştirilmesinde kullanılması düşünülen en önemli alternatif teknoloji olan CDMA teknolojisinin üçüncü nesil mobil sistemlere geçişte de büyük rol oynayacağına kesin gözüyle bakılmaktadır. CDMA, hücresel sistem operatörlerine ve kullanıcılarına; örneğin AMPS analog sistemine göre 5-6 kat daha fazla kapasite, ses kalitesinde iyileştirme, gizlilik gibi avantajlar getirmektedir. Bundan dolayı CDMA, hücresel sistemler için en cazip seçim olmaktadır. Başlıca CDMA temelli mobil haberleşme protokolleri IS-95 ve IMT-2000'dir.

Bu çalışmada IS-95 CDMA standardı incelenmiş, DL bağlantısı simüle edilmiş, ayrıca bir demodülatör de tasarlanarak alıcı çıkışında elde edilen veri ile verici girişindeki orijinal kullanıcı verisi kıyaslanarak değişik kanal karakteristikleri için BER performansı çıkartılmıştır. IS-95 CDMA sisteminde standart olan $SF = 64$ için BER performansı çıkartıldığında E_b/N_0 'ın 5 dB ve üzeri değerleri için kabul edilebilir sonuçlar elde edilmiştir. SF değeri 32 seçilerek aynı simülasyon koşuturulduğunda ise ancak $E_b/N_0 > 8\text{dB}$ için aynı performansa yaklaşılabildiği gösterilmiştir.

Kanal kodlamasının kullanılmadığı DS (Doğrudan Yayma) modeli ile FEC (Forward Error Correction) kodlamasının kullanıldığı IS-95 modeli karşılaştırılıp BER performansı açısından hangi durumlar için DS'in IS-95'e yaklaşabileceği gösterilmiştir. DS'de konvolüsyon kodlama kullanılmadığından dolayı vericide konvolüsyon kodlama ve blok dönüştürücü fonksiyonel bloklarına ve alıcıda da yine blok dönüştürücü ile viterbi kod çözücüsüne gerek kalmamıştır. Sadece uzun kod ile karıştırma ve Walsh ile kısa PN kodları ile yayma gerçekleştirilmektedir. İlk olarak, DS modelini kullanarak mobil kullanıcı hızındaki değişim ile BER performansının nasıl etkilendiği gösterilmiş; bunun için 100 km/saat ve 10 km/saat mobil kullanıcı hızları seçilerek Rayleigh katsayıları üreticisinden farklı zayıflama çukurlarına neden olacak değerler üretilip kanala tanıtılmıştır. Sonuç olarak hız arttıkça zayıflama

çukurlarının sıklaşması ve derinleşmesinden dolayı BER değişiminde kötüleşmeler tespit edilmiştir. Daha sonra DS modeli kullanıldığında SF'in değiştirilmesi ile sistem performansındaki iyileşmeyi göstermek için SF'in 32, 64 ve 128 değerleri seçilerek 100 km/saat mobil kullanıcı hızında simülasyon kodu ayrı ayrı koşturularak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yayma Faktörü SF'i, bir başka deyişle işlem kazancını, arttırdıkça sistemin performansında büyük oranda düzelmeler görülmüştür. SF = 128 için BER'de, SF = 64'e göre yaklaşık 10 kat daha iyi sonuç elde edilmiştir. SF'in arttırılması da sistem karmaşıklığına ve gecikmelere neden olacaktır. Bu yüzden SF için 64 değeri en ideal çözüm olarak görülmektedir. Aynı simülasyon kodu kullanılarak kanal kodlamanın kullanıldığı IS-95 ile DS modelinin karşılaştırılması yapılmış; aynı koşullar altında (V=100 km/saat, 3-çokluyol Rayleigh kanalı) kanal kodlama kullanılması ve kullanılmaması durumlarında elde edilen BER değerleri çıkartılmıştır. Sonuç olarak IS-95 modelinin, Eb/No > 4 dB değerleri için DS modeline kıyasla çok daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bunun nedeni de konvolüsyon kodlaması ve Viterbi kod çözücüsünün düşük Eb/No değerlerinde iyi sonuçlar vermemesidir. Viterbi kod çözücüsü ve konvolüsyon kodlayıcısının kullanılması, uç birimlerinin karmaşıklığını ve maliyetini arttırmaktadır. Düşük Eb/No değerleri için FEC'nin kullanılmadığı durumda da kabul edilebilir BER değerleri sağlanmıştır. Buna ilaveten, 3G sistemlerde veri iletimi en az ses iletimi kadar önemli olacağından, veri iletiminde ise hata sezme ve yeniden iletim imkanı bulunabileceğinden, yeni terminallerin FEC kullanmayacak biçimde tasarlanması ve böylece maliyetlerin düşürülmesi sağlanabilir.

Performans değerlendirmesi için, aynı hücrede bulunan kullanıcılardan kaynaklanan girişimin etkisi tespit edilmeye çalışılmış; bunun için hazırlanan simülasyon programından elde edilen sonuçlar bize CDMA sisteminde en önemli problemin girişimler olduğunu göstermiştir. IS-95 DL kanalında her kullanıcının sahip olduğu Walsh kodunun diğer kullanıcılarıinkiyle ortogonelliği sayesinde girişimin etkisi azaltılmasına rağmen yüksek girişim sayıları (>25 gibi) için BER performansı kabul edilemeyecek seviyelere gelmektedir; bunu önlemek için CDMA hücresel sistemlerinde hücrelerin çok küçük tutulması (piko-, mikro-hücreler) veya Ses Aktivitesi Sezilmesi (VAD), MUD (Multiuser Detection) gibi teknikler kullanılması önerilmektedir. Ayrıca 3G sistemlerde, IS-95'de kullanılan PN kodları yerine daha

düşük auto-korelasyona sahip Gold veya Kasami kodları kullanılarak girişimin neden olduğu bu yüksek BER değerleri kabul edilebilir seviyelere çekilebilir.

IMT-2000 projesi, gelecek nesil kişisel mobil iletişim için uluslararası bir standart oluşturmayı hedeflemiştir. Tekbir evrensel 3G standardı oluşturma hedefi, maalesef bugüne kadar gerçekleştirilememiştir. Bunun nedeni, değişik ülkelerin ve şirketlerin 2G şebekelere ve teknolojilere büyük çapta yatırım yapmış olmasıdır. İncelemeler sonucunda, politik nedenlerin de ülkeler arasında ortak bir fikrin oluşmasına imkan vermediği kanaatine varılmıştır. Sonuç olarak bu proje için A.B.D., Avrupa, Japonya ve G. Kore'de değişik öneriler hazırlanmıştır. Bunlardan ikisi, A.B.D.'de cdma2000 ve Avrupa ile Japonya'da UTRA, IMT-2000 için en uygun seçimler olarak gözükmektedir. Bu çalışmada sadece UTRA incelenmiştir. İki öneri arasındaki en büyük fark, cdma2000'nin senkron şebekeye, UTRA'nın ise asenkron şebekeye sahip olmasıdır. cdma2000, baz istasyonu senkronizasyonu için GPS'lerden faydalanacaktır, bu da cdma2000'e daha hızlı senkronize olabilme avantajını getirmektedir; dezavantajı ise, GPS işaretinin alınmasının yeraltında veya büyük binaların olduğu kalabalık şehirlerde zor olmasıdır. cdma2000'nin IS-95B'nin özelliklerini kullanacak olması ve CDMA uygulaması konusunda daha deneyimli bir ortamda gerçekleştiriliyor olması, bu standardın test sonuçlarında, özellikle ses iletiminde UTRA'ya göre daha iyi sonuçlar vermesini sağlamaktadır. Tarafımdan, mevcut bir CDMA sistemi üzerinde geliştirmeler yapan cdma2000 standardının UTRA'ya göre daha avantajlı olacağı sonucuna varılmıştır. 3G standardını oluşturan kuruluşların bir araya gelmeleri, standartlarının birbirlerine göre avantajlarını değerlendirip aralarından en iyisini seçerek ortak bir çözüm oluşturmaları ise kanaatimce en elverişli çözüm olacaktır. Bu, 3G hizmetlerini kısa sürede kullanmaya başlayabilmek demektir.

3G terminalleri, birçok standardı destekleyebilecek biçimde tasarlanmalıdır. Böylece operatörler, bir 3G standardı ile 2G veya diğer 3G standartlarının birlikte kullanılmasına imkan vererek kullanıcılarına maksimum kapasite ve kapsama alanı sunabileceklerdir. Bundan dolayı operatörler, GSM/DCS1800, DECT veya US AMPS standartları ile birlikte çalışabilir özelliği olan terminallere ihtiyaç duyacaklardır. 3G terminallerinin bu farklı standartlarla birlikte çalışabilmesi için, terminallerin çok-modlu ve çok-bandlı olması gerekmektedir. Bu tür terminallerin, günümüzde

kullanılan tek-modlu 2G terminallerin fiyatlarına kıyasla çok pahalı olmayacak şekilde üretilmesinin, yarı-iletken teknolojisi, radyo mimarisi ve radyo yazılımındaki gelişmeler ile mümkün olabileceği kanısındayım.

Uydu teknolojisinin, evrensel kapsama alanı ve hizmetler sunabilmesinden dolayı 3G sistemleri kapsamının tüm dünyaya genişletilmesinde büyük rol oynaması beklenmektedir. IMT-2000 için tanıtılan S-bandı MSS frekansları, bu amaç için kullanılacaktır. Gelecekte bazı genişbantlı uydu sistemleri de kullanılarak 2 Mbit/sn'nin üzerinde Gigabit seviyelerinde veri hızları desteklenebilir. Bunun için de 20-30 GHz mertebelerinde uydu frekansları kullanılabilir. Tabi ki bu sistem, yüksek güç tüketiminden dolayı, büyük boyutlarda terminallerin kullanılmasını zorunlu kılacaktır.

UMTS'in gelişim ve uygulama aşamaları boyunca, buna paralel olarak, GSM ile ortaya çıkan SIM veya akıllı kart teknolojisinde de büyük ilerlemeler olmuştur ve olmaya da devam etmektedir. 2002 yılı itibariyle akıllı kart üreticileri, daha fazla bellek kapasitesi, hızlı CPU performansı, daha etkili şifreleme yeteneğine sahip kartlar sunabileceklerdir. Bu gelişmeler kullanılabilirirse, USIM'in UMTS hizmetlerini daha güvenilir biçimde sunması sağlanabilir.

IMT-2000 için frekans spektrumu, WRC2000'de şu an için en son şeklini almıştır. Radyo spektrumu, çok sayıda farklı hizmet tarafından paylaşılan bir kaynaktır ve sadece sınırlı sayıda eşzamanlı kullanıcılara imkan verir. Bu kısıtlama, tüm hizmetlerde kullanıcı sayısını olabildiğince artırmak için dikkatli bir spektrum planlamasını ve yönetimini gerekli kılmaktadır. Bu nedenle dünya çapında geçerli olması beklenen gelecek 3G uygulamalarının gereksinimlerine hızlı biçimde uyabilecek optimum radyo spektrumu ve esnek spektrum yönetimi sağlanmalı, 3G mobil sistemlerinin spektrum planlamasında büyük titizlik gösterilmelidir. Esnek spektrum yönetimi için sunulan bir öneri, yeniden-şekillendirilebilir terminallerin kullanılmasıdır. Bu terminallere, spesifik bir sistemin gerek duyduğu yazılım yüklendiğinde sanki bu sistemin herhangi bir terminaliymiş gibi davranacak, böylece esneklik ve farklı standartlara kolaylıkla uyum sağlanmış olacaktır.

UMTS çekirdek şebekesi için, ATM ve IP protokollerinin uygulanması düşünülmektedir. Bunlara ilaveten X.25, Çerçeve Aktarma (FR) ve ISDN taşıma

protokolleri de kullanılabilir kanısındayım. Sabit ve çekirdek şebekelerde ATM'in kullanılmasının başlıca avantajları, sunduğu esneklik, verimlilik ve güvenilirliktir. QoS gereksinimleri ATM'de garanti edilebilirken, FR veya IP şebekelerinde bu sağlanamaz. ATM'yi tercih etmenin bir dezavantajı, günümüzde yoğun biçimde kullanılan ISDN, FR ve IP cihazlarına kıyaslandığında ATM altyapısının daha yüksek bir yatırım maliyeti gerektirmesidir. Popülaritesi günümüzde artmakta olan SDH hiyerarşisi tarafından da desteklenen ATM'nin ve IP'nin, ileride UMTS taşıma şebekesi için en iyi çözümler olduğunu düşünüyorum.

Gelecekte oluşturulacak 4. Nesil (4G) mobil sistemlerde, muhtemelen bantgenişliği ve kapasite gereksinimi artacak, ayrıca fading etkisi daha fazla hissedilmeye başlanacaktır. Bu gereksinimleri karşılayabilmek için CDMA'in yerine veya yanında bir başka teknolojinin de kullanılması zorunlu olacaktır. Bu teknoloji de OFDM olabilir. Zira, OFDM'in sağladığı kapasite, CDMA sisteminin en azından iki katı olmaktadır. Bunun yanında, OFDM'in frekans seçmeli kanallarda büyük bir başarı sağladığı ispatlanmıştır. Bu da gelecek nesil mobil sistemlerde OFDM kullanılmasını kaçınılmaz kılacaktır.

Bu konuda daha ileri çalışmalar olarak; C/C++ yazılım dillerini kullanarak bir WCDMA sisteminin simülasyonunun yapılmasını, mobil kanalı tam anlamıyla simule etmek için fading etkileri dikkate alınıp, bina-içi, bina-dışı, araba-ortamı gibi farklı çoklu-yol zayıflaması karakteristiğine sahip kanallar kullanılmasını, tam bir WCDMA sistemi tasarlamak için RAKE alıcısı simülasyonuna da yönelinmesini, düşünmekteyim. Bunlara ilaveten, MUD ve IC (Interference Cancellation) kullanarak CDMA sistem performansının geliştiğini göstermek enterasan olabilir kanısındayım.

KAYNAKLAR

- [1] **Ramjee Prasad**, 1996, "CDMA FOR WIRELESS PERSONAL COMMUNICATIONS", Artech House.
- [2] **R. Prasad**, 1995, "Research challenges in future wireless personal communications: microwave perspective," PROC. 25TH European Microwave Conference, pp. 4-11, 4-7 September 1995.
- [3] **T.Bell, J.Adam, S.Lowe**, 1996, "Communications", IEEE Spectrum, pp. 30-41, January 1996.
- [4] **Vinod Kumar**, 2001, "Wireless Communications 'Beyond 3G'", Alcatel Telecommunications Review, pp 28-32, April 2001.
- [5] **Habib Fathallah**, 1997, "Narrowband Interference Suppression in Spread Spectrum CDMA Communications Via Blind Equalization", Msc Thesis, April 1997.
- [6] **D.M. Balston**, 1993, "Cellular Radio Systems", R.C.V. Macario- Artech House.
- [7] **William Stallings**, 1994, "Data and Computer Communications", Macmillan.
- [8] **D. Lister, S. Dehghan, R. Owen, P. Jones**, 2000, "UMTS Capacity and Planning Issues", 3G Mobile Comm. Technologies, Conference Publication No. 471, IEE.
- [9] **R.J.C. Bultitude**, 1987, "Measurement, Characterization and modeling of indoor 800/900 MHz radio channels for digital communications", IEEE Comm. Mag., Vol.25, pp. 5-12, June 1987.
- [10] **Simon Haykin**, 1994, "Communication Sytems", John Wiley&Sons, INC.
- [11] **C.Trabeisi, A.Yongaçoğlu**, 1995, "Bit-error-rate performance for asynchronous DS-CDMA over multipath fading channels" IEE Proc.-Commun., Vol.142,No.5, October 1995.
- [12] **A.M Saleh, R.A. Valenzuela**, 1987, "A statistical model for indoor multipath propagation" IEEE J.Selected Areas in Comm., Vol. SAC-5, pp. 128-137, Feb. 1987.
- [13] **Tero Ojanpera, Ramjee Prasad**, 1998, "Wideband CDMA for Third Mobile Communications", Artech House.

- [14] **Andrew J. Viterbi**, 1995, "CDMA- Principles of Spread Spectrum Communication", Addison-Wesley Wireless Communications Series.
- [15] **J.G. Proakis**, 1989, "Digital Communications", McGraw-Hill, 2nd edition.
- [16] **Theodore S. Rappaport**, 1996, "Wireless Communications: Principles and Practice", Prentice Hall.
- [17] **T. Ojanpera, R. Prasad**, 1998, "An Overview of Air Interface Multiple Access for IMT-2000/UMTS", IEEE Communications Magazine, Sept. 1998.
- [18] **TIA TR45.5**, June 1998, "The cdma2000 ITU-R RTT Candidate Submission".
- [19] **E. Dahlman, B. Gumundson, M. Nilsson, J. Sköd**, 1998, "UMTS/IMT-2000 Based on Wideband CDMA", IEEE Communications Magazine, Sept. 1998.
- [20] **R.Prasad, T. Ojanpera**, "An Overview of CDMA Evolution Toward Wideband CDMA", IEEE Communication Surveys, <http://www.comsoc.org/pubs/surveys>.
- [21] **L. H. Charles Lee**, 1997, "Convolutional Coding, Fundamentals and Applications", Norwood, MA: Artech House.
- [22] **ETSI UMTS 30.03**, 1997, "Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS," ETSI Technical Report.
- [23] **Cunha, C.R., A. Bestavros, ve M.E. Crovella**, 1995, "Characteristics of WWW Client-based Traces," Technical Report TR-95-010, Boston University Computer Science Department, June 1995.
- [24] **A. Klein, P.W. Baier**, 1993, "Linear unbiased data estimation in mobile radio systems applying CDMA," IEEE JSAC, vol. 11, pp. 1058-66.
- [25] **T. Ojanpera et al.**, 1996, "Design of a 3rd Generation Multirate CDMA system with Multiuser Detection, MUD-CDMA," Proc. ISSSTA'96, Mainz, Germany, vol. 1, pp. 334-38.
- [26] **K. W. Richardson**, 2000, "UMTS overview", IEE Electronics & Communication Engineering Journal, pp. 93-100, June 2000.
- [27] **Faruque, Saleh.**, 1996, "Cellular Mobile Systems Engineering". Norwood, MA: Artech House.
- [28] **Amol Shah**, 1999, "Code Division multiple Access : A Tutorial", Wireless Communications Fall, 1999 Rowan University, Nov. 24, 1999.
- [29] **Gustafsson, M., K. Jamal, E. Dahlman**, 1997, "Compressed Mode Techniques for Interfrequency Measurements in a Wide-band DS-CDMA

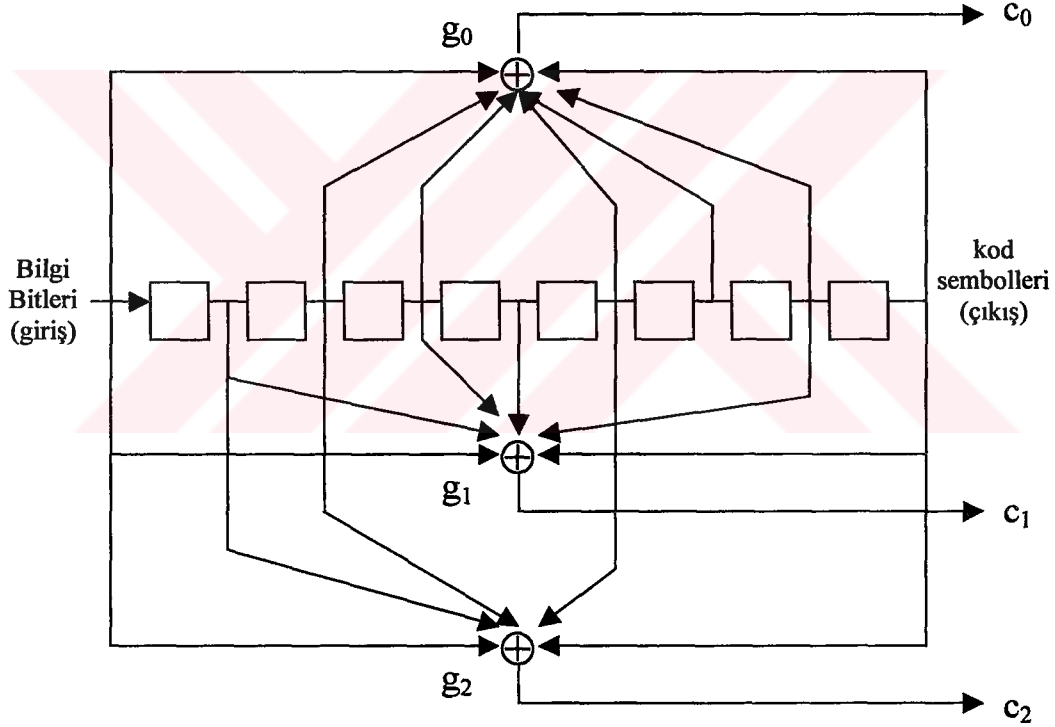
- System," Proceedings of PIMRS'97, Helsinki, Finland, pp. 23-35, September 1997.
- [30] **UMTS Forum**, 1999, "The future Mobile Market", Report #8, March 1999.
- [31] **Eric Lawrey**, 1997, "The suitability of OFDM as a modulation technique for wireless telecommunications, with a CDMA comparison", Msc. Thesis, James Cook University, Oct. 1997.
- [32] **ANSI J-STD-008**, 1995, "Personal Station-Base Station Compatibility Requirements for 1.8 to 2.0 GHz Code Division Multiple Access (CDMA) Personal Communication Systems,".
- [33] **Sari Khatalin**, 1999, "Advantages of Using Soft Handoff over Hard Handoff", The University of Texas at Dallas, 12.06.1999.
- [34] **Krishna B Rao, Lakshmi Narayan Mishra**, 1999, "Soft Handoff in CDMA Systems", The University of Texas at Dallas.
- [35] **Dr. Monira A. Abu El-Ata**, 2000, "Evolution of Mobile Cellular Communication Systems, The Journey to UMTS", 17th National Radio Science Conference, NRSC'2000, Feb. 22-25.
- [36] **Cengiz Evci**, 2001, "Optimizing and licensing the radio frequency spectrum for terrestrial 3G users," Alcatel Telecommunications Review, April 2001, pp 19-27.
- [37] **P. Frene, D. Rasseneur, P. Tournassoud**, 2001, "Mobile evolution towards full IP multimedia," Alcatel Telecommunications Review, April 2001, pp 33-39.
- [38] **P. Sehier, J-M. Gabriagues, A. Urie**, 2001, "Standardization of 3G mobile systems", Alcatel Telecommunications Review, April 2001, pp 11-18.
- [39] **ETSI SMG2**, 1998, "The ETSI UMTS Terrestrial Radio Access (UTRA) ITU-R RTT Candidate Submission", May/June 1998.
- [40] **3GPP**, 2000, "3rd Generation Partnership Project: Technical Specification Group Radio Access Network; Spreading and Modulation (FDD) (Release 1999)", 3G TS 25.213 V3.3.0, 06.2000.
- [41] **UMTS Product Marketing, Nortel Networks**, 2000, "UMTS Solution: UMTS Product Overview".
- [42] **Anne-Gaele Acx, Philippe Mendribil**, 1999, "Capacity Evaluation of the UTRA FDD and TDD Modes", CNET, 1999 IEEE.
- [43] **Gabriel Sacripanti**, 1999, "Analysis of the cdma2000 and UTRA Wireless 3G Proposals", Final Report EE6390, 12.07.1999.

- [44] **David G. Martin**, 1999, "An Overview of the air interface for Third Generation CDMA Systems", University of British Columbia, April 9, 1999.
- [45] **Klein, A., R. Pirhonen, J. Sköld, R. Suoranta**, 1997, "FRAMES Multiple Access Mode 1-Wideband TDMA with and without Spreading," Proceedings of PIMRC97, Helsinki, pp. 37-41, September 1997.
- [46] **Urie, A., M. Streeton, C. Mourot**, 1995, "An Advanced TDMA Mobile Access System for UMTS," IEEE Personal Communications, Vol.2, No. 1, pp.38-47.
- [47] **Gandhar Dighe**, "Initiation and Performance Analysis of Handoff in CDMA Cellular Systems", The University of Texas at Dallas, Dec 6, 1999.
- [48] **George J. Kent**, 1998, "W-CDMA performance evaluation of DS and MC – CDMA in the presence of multipath fading and partial-band interference", MSc Thesis, Texas A&M University.
- [49] **Scott L. Miller**, 2000, "Wireless Communication Systems", Introduction to Wireless Digital Communications Course Notes, Texas A&M University.
- [50] **Esmael H. Dinan, Bijan Jabbari**, 1998, "Spreading Codes for Direct Sequence CDMA and Wideband CDMA Cellular Networks", IEEE Communication Magazine, pp. 48-54, September 1998.
- [51] **Byoung Jo Choi**, 2000, "Spreading Sequences", <http://www-mobile.ecs.soton.ac.uk/bjc97r/pnseq-1.1/index.html>, 3 May 2000.
- [52] **Fakhrul Alam**, 1999, "Simulation of Third Generation CDMA Systems", MSc. Thesis, Virginia Polytechnic Institute & State University, December 15, 1999.
- [53] **ARIB IMT-2000 Study Committee**, "Japan's proposal for Candidate Radio Transmission Technology on IMT-2000: W-CDMA", June, 1998.
- [54] **Tero Ojanpera, Ramjee Prasad**, 1998, "An Overview of the Air Interface Multiple Access for IMT-2000/UMTS," IEEE Communications Magazine, pp. 82-95, September 1998.
- [55] **P. Friel, R. Vijayaraghavan, R. Annapillai**, 1999, "Comparison of Convolutional Coding with Direct Spreading for IS-95 CDMA System", Final Report, University of Texas at Dallas.
- [56] **Senthil raj, Dhandapani**, 1999, "Enhancements of IS-95 B systems to CDMA 2000 system using Turbo Codes", Final Report Course EE 6390, University of Texas.
- [57] **Atsushi Fukasawa, Takuro Sato, Yumi Takizawa**, 1996, "Wideband CDMA System for Personal Radio Communications", IEEE Communications Magazine, pp. 116-123, October 1996.

EK-A

Konvolüsyon Kodlama

FEC(Forward Error Correction) kodlaması olarak bilinir. Genellikle (n,k,m) konvolüsyon kodlayıcısı olarak kullanılır. n , çıkış sayısını; k , giriş sayısını; m ise kullanılan bellek sayısını gösterir. Şekil A.1'de, $(3,1,8)$ konvolüsyon kodlayıcısı gösterilmiştir. $(m-1)$ sınır uzunluğu olarak adlandırılır ve K ile gösterilir. Hangi belleklerden çıkışların alınacağı üretici polinomlarla belirlenir. Örneğimizde kullanılan üretici polinomlar, $g_0=557(\text{octal})$, $g_1=663(\text{octal})$, $g_2=711(\text{octal})$. Başlangıçta tüm durumlar sıfırdır, her bir bilgi biti kodlayıcıya gönderildikçe üç kod sembolü, seçilen noktaların modülo 2 toplanması ile üretilir. Her yeni bilgi biti yazmaçtaki mevcut bitleri birer defa kaymasına neden olur.



Şekil A.1 $(3,1,8)$ Konvolüsyon kodlayıcısı blok diyagramı

Konvolüsyon Kodlayıcısı, convo_coding ve encode_bit MATLAB modülleri ile gerçekleştirilebilir. convo_coding modülünde, 'g' girişi üretici polinom matrisini göstermektedir. 'x' girişide kodlanacak bit dizisidir. Örneğin; $(2,1,2)$ kodlayıcısında, $g_0=(7)$, $g_1=(5)$ olsun. Bu taktirde g matrisi $[1 \ 1 \ 1 ; 1 \ 0 \ 1]$ olacaktır.

```

function y = convo_coding (g, x)
[n,K] = size(g);
m = K - 1;
[temp,L_info] = size(x);
state = zeros(1,m);
for i = 1:L_info
    input_bit = x(1,i);
    [output_bits, state] = encode_bit(g, input_bit, state);
    y(n*(i-1)+1:n*i) = output_bits;
end

```

```

function [output, state] = encode_bit(g, input, state)
[n,K] = size(g);
m = K-1;
for i=1:n
    output(i) = g(i,1)*input;
    for j = 2:k
        output(i) = xor(output(i),g(i,j)*state(j-1));
    end;
end
state = [input, state(1:m-1)];

```

Blok dönüştürücü (Block Interleaver)

Modern haberleşme sistemlerinde, kodlama kullanarak hata düzeltme çok önemlidir. Bununla beraber kodlama, üretilen hataların istatistiksel ilişkili olmadığı zaman iyi sonuç vermektedir, AWGN kanalında olduğu gibi. AWGN'de ard arda gelen semboller arasındaki hatalar birbirinden bağımsızdır. Telsiz sistemlerde kanal genellikle çoklu-yol zayıflamalı olduğundan semboller arası hatalar artık birbirinden bağımsız değildir ve büyük bir zayıflama olduğunda verileri tekrar elde etmek çok zor olacaktır. Bunun için blok dönüştürücüsü kullanılmaktadır, böylece de fading kanalına karşı bir korunma sağlanır.

Dönüştürme, hataların istatistiksel bağımsız olmasını sağlamak amacıyla veriyi rastgele veya yöntemli bir şekilde tekrardan düzenleme işlemidir. Blok Dönüştürücü, i satırdan ve j sütündan ($i*j$ çerçeve başına bit sayısı) oluşan bir matristir. Bitler dönüştürücüye girdiği gibi, satır-tarzı yerleştirilir ve dönüştürücüyü sütun-tarzı terkederler (Şekil A.2). $n*m$ blok dönüştürücü için `block_interleave` MATLAB programı kullanılabilir (n satır, m sütun sayısı). Örneğin; `block_interleave(x,32,18)` ile x giriş verisi 32 satır, 18 sütünlük bir matrise satır düzeninde yazılır, daha sonrada sütun düzeninde okunarak çıkış dizisi elde edilebilir.

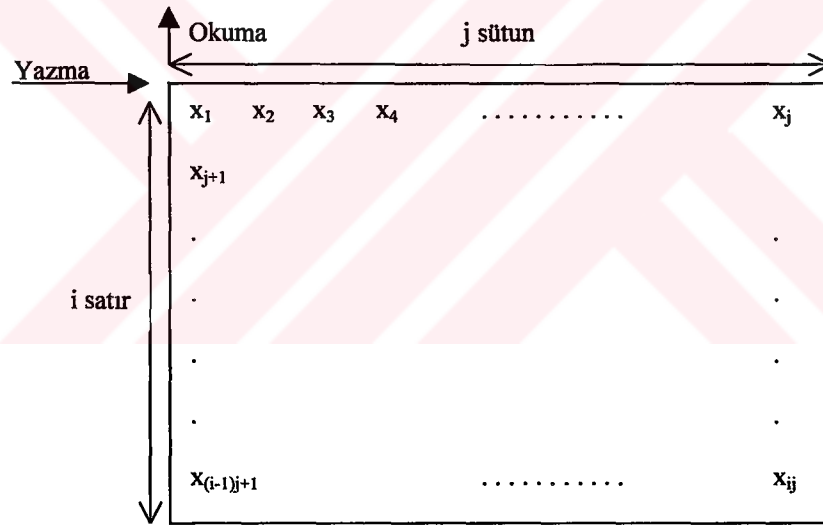
Küçük bir örnek; $x = [1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 7\ 8\ 9\ 10\ 11\ 12]$ ve $n=4, m=3$ olsun.


```

y = block_inter(x,n,m); → y = [ 1  4  7 10  2  5  8 11  3  6  9 12]
x = block_inter(y,m,n); → x = [ 1  2  3  4  5  6  7  8  9 10 11 12]

function y = block_interleave(int_data, row_num, column_num)
% write into the matrix
counter = 1;
for i=1:row_num
    for j=1:column_num
        M(i,j) = int_data(counter);
        counter = counter + 1;
    end
end
% read out of matrix
counter = 1;
for j=1:column_num
    for i=1:row_num
        y(counter) = M(i,j);
        counter = counter + 1;
    end
end
end

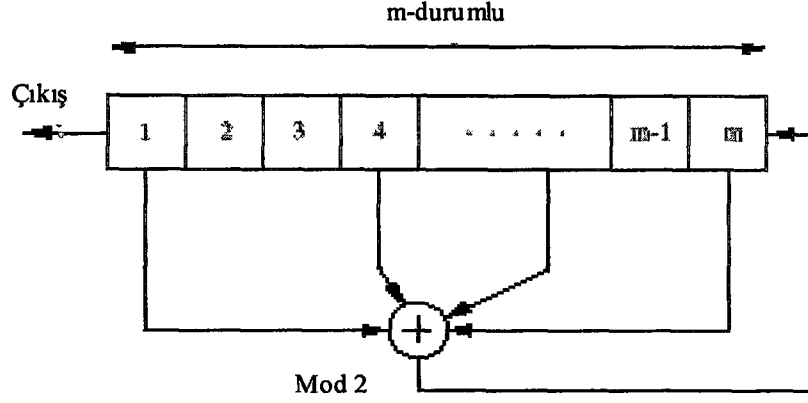
```



Şekil A.2 Blok Dönüştürücü

PN Kodu Üretimi

PN (Pseudo-Noise) dizisi üretmek için MLSR (Maximum Length Shift Register) modeli kullanılır. Şekil A.3'de m-durumlu genel bir doğrusal geribeslemeli kaydırma yazmacına (LFSR - Linear Feedback Shift Register) örnek verilmiştir.



Şekil A.3 m-durumlu LFSR blok diyagramı

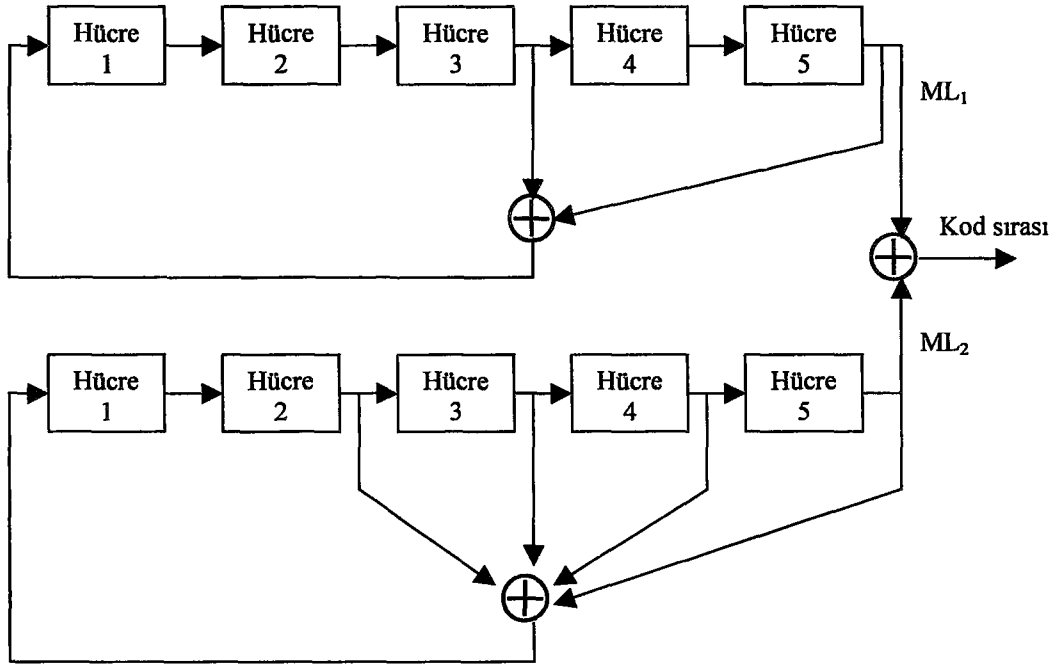
Bunun çıkışında üretilecek PN dizisi 2^m periyotlu olacaktır. m flip-flop'un hangisinin çıkışının mod-2 toplayıcısına gideceği karakteristik polinom ile belirlenir. PN Dizisi üretmek için PN_gen.m MATLAB kodu kullanılabilir. Örneğin $m = 3$ ve $P_n(x) = x^3 + x + 1$, yazmaçların başlangıç koşulu da (100) seçildiğini farz edersek, periyodik olarak şu çıkış bitlerini elde ederiz:

0 0 1 1 1 0 1 0 0

Aynı sonucu PN_gen(CharPoly,ShiftRegState, NumChips), CharPoly = [1 0 1], ShiftRegState = [1 0 0] ve NumChips = 7 ile de elde edebiliriz.

```
function PnSeqOut = PN_gen(CharPoly,ShiftRegState, NumChips)
if length(ShiftRegState) ~= length(CharPoly)
    error('Characteristic Polynomial size mismatch');
end
if sum(ShiftRegState)==0
    error('All zeros state is Not allowed')
end
PnSeqOut = zeros(1,NumChips);
OutputBit = length(ShiftRegState);
for chip = 1:NumChips
    Feedback = rem(sum(CharPoly.*ShiftRegState),2);
    PnSeqOut(chip) = ShiftRegState(OutputBit);
    ShiftRegState = [Feedback, ShiftRegState(1:(OutputBit-1))];
end
```

CDMA sistemlerinde, PN dizileri yerine bazen Gold kodları da kullanılmaktadır. Bunlar da iki ML üretici kullanılarak Şekil A.4'de gösterildiği şekilde üretilir. Çapraz korelasyon bakımından Gold kodları PN kodlarına göre daha iyidir.



Şekil A.4 (5,3) ve (5,4,3,2) ML üreticilerini kullanan Gold kod üreticisi

Gold kodu üretimi de GoldPN_gen modülü ile gerçekleştirilebilir.

Walsh Kodu Üretimi

Ortogonal olan Walsh kodları şu şekilde üretilir:

$$W_{2n} = \begin{pmatrix} W_n & W_n \\ W_n & \bar{W}_n \end{pmatrix} \quad W_1 = 0$$

Walsh kodları, Ek-D'de verilen MATLAB kodu kullanılarak, istenilen n değerleri için üretilebilir; walsh_code(2), walsh_code(16), walsh_code(256) gibi. 'hadamard' seçeneği, '+' yapılsa bu sefer hadamard kodu üretilir ki bu wals kodunda 0 yerine 1, 1 yerine de -1 yapılarak elde edilebilir.

```
function Wn=walsh_code(N,hadamard);
M = round(log(N)/log(2));
if (nargin < 2),
    hadamard = '++';
end
if (hadamard=='+-'),
    if M == 0,
        Wn = [1];
```

```

elseif M == 1,
    Wn = [1 1; 1 -1];
else
    Wn = [1 1 1 1; 1 -1 1 -1; 1 1 -1 -1; 1 -1 -1 1];
    for k = 1:M-2,
        Wn = [Wn Wn; Wn (-Wn)];
    end
end
else
    if M == 0,
        Wn = [0];
    elseif M == 1,
        Wn = [0 0; 0 1];
    else
        Wn = [0 0 0 0; 0 1 0 1; 0 0 1 1; 0 1 1 0];
        for k = 1:M-2,
            Wn = [Wn Wn; Wn ~Wn];
        end
    end
end
end
end

```



EK-B

MATLAB Kodu (aktarma.h)

```
function aktarma()
% Hata-Okumura yöntemi kullanılarak yol kaybı hesaplanması ve Serbest Uzay yol
% kaybı ile karşılaştırması yapılmıştır. Hız Sabit kabul edilmiştir. Programda UL, DL
% ve kentsel ortam frekansları için yol kayıpları ve alınan güç seviyeleri ölçülerek,
% aktarma noktası tespit edilmeye çalışılmıştır.
hte=150; %Verici (Baz İstasyonu) anten yüksekliği [metre]
hre=10; %Alıcı (Mobil İstasyon) anten yüksekliği [metre]
sdA=3; % Baz İstasyonu A için gürültü standard sapması
sdB=5; % Baz İstasyonu B için gürültü standard sapması
noiseA=sdA*randn(1,50); noiseB=sdB*randn(1,50);
disp('UL frekansı=835 Mhz')
disp('DL frekansı=880 Mhz')
disp('Kentsel Ortam =900 Mhz')
fc=input('UL, DL veya Kentsel ortam için frekans değerini giriniz:')
for d=1:50
% MS ile BS A arasındaki yol kaybı hesabı
LA(d)=(69.55+26.6*log10(fc))-(13.82*log10(hte))-((1.11*log10(fc)-
0.7)*(10)+(1.56*log10(fc)-0.8))+((44.9-6.55*log10(hte))*log10(d));
% MS ile BS B arasındaki yol kaybı hesabı
LB(d)=(69.55+26.6*log10(fc))-(13.82*log10(hte))-((1.11*log10(fc)-
0.7)*(10)+(1.56*log10(fc)-0.8))+((44.9-6.55*log10(hte))*log10(51-(d)));
% Serbest Uzay Yol kaybı Hesaplanması
LF(d)=32.4+20*log10(fc)+20*log10(d);
% A'da alınan güç (gürültüsüz ortam)
SrA(d)=60-LA(d);
% B'de alınan güç (gürültüsüz ortam)
SrB(d)=60-LB(d);
% A'da alınan güç ( Gaussian gürültü sd=3)
PrA(d)=60-LA(d)+noiseA(d) ;
% A'da alınan güç ( Gaussian gürültü sd=5)
PrB(d)=60-LB(d)+noiseB(d);
end
figure(1)
subplot(2,1,1);plot(PrA); hold on
plot(PrB,'m');
axis([0 50 -90 -50]);
grid on
xlabel('Uzaklık [km]');ylabel('Alınan İşaret Gücü [dB]');
text(3,-54,['BS1'])grid on
xlabel('Uzaklık [km]');ylabel('Alınan İşaret Gücü [dB]');
figure(2)
plot(LA,'r'); hold on
plot(LF,'b'); grid on
title(['Yol Kaybı & Uzaklık'])
legend('Hata-Okumura','Serbest Uzay')
xlabel('Uzaklık [km]');ylabel('Yol Kaybı [dB]');
```

EK-C

```
function AvBER = main_is95
clear all
% Choose Mobile vehicle speed
mobile_speed = input(' Mobil Kullanıcı Hızını giriniz: default 100
km/saat ');
if isempty(mobile_speed)
    mobile_speed = 100;
end
% Spread Factor
Spread_factor = input(' SF(Spread Factor, Yayma Faktörü): default 64
');
if isempty(Spread_factor)
    Spread_factor = 64;
end
% Number of iterations
nIters = input(' İterasyon sayısını giriniz: default 5 ');
if isempty(nIters)
    nIters = 5;
end
% Start Eb/No
EbNo_start = input(' Eb/No Başlangıç Degerini giriniz: default 0
');
if isempty(EbNo_start)
    EbNo_start = 0;
end
% End Eb/No
EbNo_end = input(' Eb/No Bitiş Degerini giriniz: default 8 ');
if isempty(EbNo_end)
    EbNo_end = 8;
end

DATA_LEN=184;
initial_shift = 1;
lambda = 0.15; %for 2 GHz
fd = mobile_speed/lambda/3.6;
std = 10^(-2);
awgn = 1;
Anz_SimPunkte = EbNo_end-EbNo_start+1;
n_frame = 1;
LogFadeEbNo = EbNo_start:1.0:EbNo_end;
lenSim = length(LogFadeEbNo);
%EbNoIndex = 8;
for EbNoIndex = 1:lenSim
    for iters = 1:nIters
        % TRANSMITTER
        % Frame Data generation
        data_orig = gen_rand_data(n_frame, DATA_LEN, 1);
        % Convolutional Coding
        % rate:1/2, K:9, G0=561, G1=753
        coded_data = conv_encoding(data_orig);
```



```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Interleaver %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% First interleave coded data and then convert +1,0 ->-1,1
interleaved_data = converter(block_interleave(coded_data,24,16));
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Long PN codes generation %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
lpn = sign(randn([1,length(interleaved_data)]));
long_pn = lpn;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Scramble data with Long codes %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
scram_data = interleaved_data .* long_pn(1:length(interleaved_data));
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Walsh code generation and selection of one user %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Walsh_matrix = walsh_code(Spread_factor,'+-');
walsh = Walsh_matrix(1,:);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Spread data by WALSH codes %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
spread_data = (scram_data'*walsh)';
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Short PN codes generation %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% I channel generating polynomial
% Pn(I) = x15 + x13 + x9 + x8 + x7 + x5 + 1
i_p=[0,1,0,0,0,1,1,1,0,1,0,0,0,0,1];
% Q channel generating polynomial
% Pn(Q) = x15 + x12 + x11 + x10 + x6 + x5 + x4 + x3 + 1
q_p=[0,0,1,1,1,0,0,0,1,1,1,1,0,0,1];
initial_shift=mod(initial_shift,15);
initial_state=[zeros(1,14-initial_shift),1,zeros(1,initial_shift)];
pndata_i=PN_gen(i_p,initial_state,Spread_factor*length(data_orig)*2);
pndata_q=PN_gen(q_p,initial_state,Spread_factor*length(data_orig)*2);
pni2 = reshape(pndata_i,Spread_factor,length(data_orig)*2);
pni3 = pni2(:,1:length(spread_data));
pnq2 = reshape(pndata_q,Spread_factor,length(data_orig)*2);
pnq3 = pnq2(:,1:length(spread_data));
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% baseband modulation/spreading %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
outi = spread_data.*pni3;
outq = spread_data.*pnq3;
output = outi+outq;
base_data = output(1:Spread_factor*length(data_orig)*2);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Rayleigh Multipath Channel Simulation %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
EbNo = 10^(LogFadeEbNo(EbNoIndex)/10);
Eb_b = sum(base_data.*base_data)/(length(data_orig));
No = Eb_b/EbNo;
noiseStdDeviation = sqrt(No/2);

```

```

Y=zerohold(base_data,4);
Fade_1 = rayleigh_generator(length(Y), fd,std);
WaveformRay1 = Y.*Fade_1;
RxWaveform1 = WaveformRay1 +
noiseStdDeviation*randn(1,length(WaveformRay1));

delay = 1;
Fade_2 = rayleigh_generator(length(Y), fd,std);
Y2 = [Y((1+delay):end) zeros(1:delay)];
WaveformRay2 = Y2.*Fade_2;
RxWaveform2 = WaveformRay2 +
noiseStdDeviation*randn(1,length(WaveformRay2));

delay = 2;
Fade_3 = rayleigh_generator(length(Y), fd,std);
Y3 = [Y((1+delay):end) zeros(1:delay)];
WaveformRay3 = Y3.*Fade_3;
RxWaveform3 = WaveformRay3 +
noiseStdDeviation*randn(1,length(WaveformRay3));

WaveformRx = RxWaveform1 + RxWaveform2 + RxWaveform3;
Y_rx = subsamp(WaveformRx,4);
fin = Y_rx;
channel_output = reshape(fin,Spread_factor,length(data_orig)*2);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% RECEIVER %
% I&Q Demodulation %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
ini= channel_output.*pni3;
inq = channel_output.*pnq3;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Despread Data with the same walsh code used in transmitter %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
W_out = walsh*ini + walsh*inq;
despread_data = sign(W_out);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Descramble despread data with same Long code generated in
transmitter%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
unscram_data = despread_data.*long_pn(1:length(despread_data));
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Denterleaver %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
deinterleaved_data = deconverter(block_interleave(unscram_data,16,24));
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Viterbi Decoding %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
estimated_data = V_control(deinterleaved_data);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Calculation BER %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Errors = find (estimated_data - data_orig);
BER(iters) = length(Errors)/length(data_orig);
end
AvBER(EbNoIndex) = sum(BER)/nIters;
end

```

```

fprintf(' iterasyon sayısı = %6d\n', nIters);
fprintf(' Spread Factor (SF) = %6d\n', Spread_factor);
fprintf(' Doppler Frekansı = %10.2f, Hz\n', fd);
fprintf(' Mobil Hızı = %10.1f km/saat\n\n', mobile_speed);
fprintf('      Eb/No(dB)  BER \n');
fprintf('      -----  -----\n');
for i = 1:length(AvBER)
    fprintf('%10.1f %10.7f\n', LogFadeEbNo(i), AvBER(i));
end
gam_dB = linspace(EbNo_start, EbNo_end, Anz_SimPunkte);
figure(1)
semilogy(gam_dB, AvBER, 'r*-');
hold;
grid
legend('3-çokluyol Fading Kanalı')
xlabel('EbNo [dB]'), ylabel('BER')
title ('IS-95 CDMA DL kanalı için BER Değerlendirmesi');

```

EK-D

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% main_intra_ray %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function [AvBER_Viterbi,AvBER_DS] = main_intra_ray
DATA_LEN=184;
lambda = 0.15; %for 2 GHz
v = 100; %km/h
fd = v/lambda/3.6;
std = 0.01;
n_interferer = 10;
EbNo_dB = 1;
nIters = 2;

for iters = 1:nIters
P=[ones(1,n_interferer)];
total_interfering_data=zeros(1,24576);

% summing up all the interfering users' signals
for users=1:n_interferer
    data_inter=gen_rand_data(1,DATA_LEN,1);

[long_pn_intra,f_seq,f_stream]=downlink_intra(n_interferer,20,data_in
ter);
    total_interfering_data=total_interfering_data+f_seq*P(users);
end

% generate original user data
data_orig=gen_rand_data(1,DATA_LEN,1);
[long_pn_orig,f_seq,f_stream]=downlink_intra(55,20,data_orig);

% combine with the Interference
channel_output = f_seq + total_interfering_data;

EbNo = 10^(EbNo_dB/10);
Eb_b = sum(f_seq.*f_seq)/(length(data_orig));
No = Eb_b/EbNo;
noiseStdDeviation = sqrt(No/2);

Y=zerohold(channel_output,4);
Fade_1 = rayleigh_generator(length(Y), fd,std);
WaveformRay1 = Y.*Fade_1;
RxWaveform1 = WaveformRay1+
noiseStdDeviation*randn(1,length(WaveformRay1));

delay = 1;
Fade_2 = rayleigh_generator(length(Y), fd,std);
Y2 = [Y((1+delay):end) zeros(1:delay)];
WaveformRay2 = Y2.*Fade_2;
RxWaveform2 = WaveformRay2 +
noiseStdDeviation*randn(1,length(WaveformRay2));

delay = 2;
Fade_3 = rayleigh_generator(length(Y), fd,std);
Y3 = [Y((1+delay):end) zeros(1:delay)];
WaveformRay3 = Y3.*Fade_3;
RxWaveform3 = WaveformRay3 +
noiseStdDeviation*randn(1,length(WaveformRay3));
```

```

WaveformRx = RxWaveform1 + RxWaveform2 + RxWaveform3;
Y_rx = subsamp(WaveformRx,4);

% demodulate the signal
despread_data=downlink_receiver_intra(55,20,Y_rx);
for (x=1:length(despread_data))
    if (despread_data(x)>=0)
        despread_data(x)=1;
    else
        despread_data(x)=-1;
    end
end
r_unscram = despread_data.*long_pn_orig(1:length(despread_data));
interleaved = deconverter(r_unscram);
y = fdeinterleaver(interleaved);
data_estimated = V_control(y);
Errors_Viterbi = find(data_orig - data_estimated);
% BER if Viterbi decoding is used
BER_Viterbi(iters) = length(Errors_Viterbi)/length(data_orig);

% BER if coding/decoding is not used
Errors_DS = find (r_unscram-f_stream);
BER_DS(iters) = length(Errors_DS)/length(f_stream);
end
AvBER_Viterbi = sum(BER_Viterbi)/nIters;
AvBER_DS = sum(BER_DS)/nIters;

```

ÖZGEÇMİŞ

Barış YAVUZ, 1974 yılında İstanbul'da doğdu. 1992 yılında İstanbul Şehremini Lisesi'nden mezun oldu. 1993 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Bölümü'ne girdi. 1998 yılında Elektronik ve Haberleşme Mühendisi ünvanını aldı ve aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Yüksek Lisans Programı'na başladı. 1998 Temmuz – Mart 2001 yılları arasında Nortel Networks Netaş'da Taşıyıcı Şebekeler bölümünde Yazılım Test ve Doğrulama Mühendisi olarak görev yaptı.

