

**KABLOSUZ HABERLEŞMEDE KOD
BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM**

Nihal ÇETİNKAYA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NİSAN 2007
ANKARA**

Nihal ÇETİNKAYA tarafından hazırlanan KABLOSUZ HABERLEŞMEDE KOD BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd.Doç.Dr.Cem Nakiboğlu
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof.Dr.Yahya BAYKAL

Üye : Yrd.Doç.Dr.Cem NAKİBOĞLU

Üye : Öğr.Gör.Dr.Nursel AKÇAM

Tarih : 27/04/2007

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Nihal ÇETİNKAYA

**KABLOSUZ HABERLEŞMEDE KOD
BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM
(Yüksek Lisans Tezi)**

Nihal ÇETİNKAYA

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Nisan 2007**

ÖZET

FDMA (Frequency Division Multiple Access), kullanıcılara farklı frekans dilimleri tahsis ederek ayırmaktadır. TDMA (Time Division Multiple Access) ise, kullanıcılara farklı zaman dilimleri tahsis eder. Diğer taraftan CDMA (Code Division Multiple Access) 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 geniş bantlıdır; bundan dolayı da darbantlı sistemlerin bazı yetersizlikleri giderilmiştir.

Bu çalışmada mobil haberleşme sistemlerinin gelişimi incelenmiş ve bir CDMA tekniğinin performansları değerlendirilmiştir.

Bilim Kodu : 905.1.053
Anahtar Kelimeler : UMTS, CDMA
Sayfa Adedi : 97
Tez Yöneticisi : Yrd.Doç.Dr.Cem NAKİBOĞLU

**CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS
IN WIRELESS COMMUNICATION**

(M.Sc. Thesis)

Nihal ÇETİNKAYA

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

April 2007

ABSTRACT

FDMA (Frequency Division Multiple Access), separates the frequency intervals by allocating different frequency intervals to the users. But TDMA (Time Division Multiple Access), allocates different time-intervals to the users. On the other hand CDMA (Code Division Multiple Access) system allocates total frequency band to the all users. It also separates the users by using the PN (Pseudo Noise) series with the condition of modulating the signs of PN series. Since there is no space between codes, capacity becomes greater than the others. In addition to this, CDMA is a wide band system too, since it is a multi-access technology using spreaded-spectrum technic. Because of this some disadvantages of narrow band systems could be eliminated.

In this study, The development of mobile communication system researched and performances of a CDMA technic is evaluated.

**Science Code : 905.1.053
Key Words : UMTS, CDMA
Page Number : 97
Adviser : Asist.Prof.Dr. Cem NAKİBOĞLU**

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Yrd.Doç.Dr. Cem NAKİBOğLU'na, iőyerimdeki desteklerinden dolayı çalışma arkadaşlarıma, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan anneme ve babama bana her konuda destek olan eőim Ahmet'e teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. MOBİL HABERLEŞMESİNDE KULLANILAN ÇOKLU ERİŞİM TEKNİKLERİ	5
2.1. Çoklu Erişim Teknikleri	6
2.2. FDMA (Frequency Division Multiple Access	8
2.3. TDMA (Time Division Multiple Access	10
2.4. CDMA (Code Division Multiple Access).....	12
2.5. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).....	13
3. YAYILMIŞ SPEKTRUM HABERLEŞMESİ VE CDMA	16
3.1. Yayılmış Spektrum (SS).....	16
3.2. CDMA Protokolleri	23
3.2.1. FH-CDMA (Frequency Hopping-CDMA)	24
3.2.2. TH-CDMA (Time Hopping-CDMA).....	27
3.2.3. DS-CDMA (Direct Sequence-CDMA)	28

	Sayfa
3.2.4. Karma CDMA sistemleri	32
3.3. CDMA Sisteminin Kapasitesi	33
4. BİR CDMA SİSTEMİNİN İNCELENMESİ.....	40
4.1. IS-95 DL Kanal Yapısı	41
4.2. IS-95 UL Kanal Yapısı	45
4.3. IS-95'de Aktarma Prosedürleri.....	48
4.3.1. Kesintisiz aktarma kararı	50
5. 3G MOBİL ŞEBEKELER	51
5.1. 3G Standartları	52
5.2. CDMA MC Teknolojisi (Multi Carrier).....	55
5.3. UMTS Teknolojisi.....	56
5.3.1. UMTS'nin temelleri	57
5.3.2. Şebeke mimarisi.....	59
5.3.3. Çekirdek şebeke.....	61
5.3.4. Erişim şebekesi	62
5.3.5. İşaretleşme şebekesi.....	65
6. BİR CDMA SİSTEMİ SİMÜLASYONU (IS-95).....	67
6.1. IS-95 CDMA Sistemi İçin Konvolüsyon Kodlama ile DS'in Karşılaştırılması	73
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	78
KAYNAKLAR	83
EKLER	84
EK-1 Matlab Kodu (aktarma.h).....	85
EK-2 BER Performans değerlendirmesi.....	87
EK-3 Kullanıcı sayısı performans değerlendirmesi	94

Sayfa

ÖZGEÇMİŞ..... 97

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Hücresel mobil sistemlerde kullanılan çoklu erişim teknikleri	8
Çizelge 3.1. Tek CDMA hücre için kapasitenin E_b/N_0 ile değişimi	38
Çizelge 3.2. Çoklu-hücre ortamda bir CDMA hücresi kapasitesinin E_b/N_0 ile değişimi	39
Çizelge 4.1. IS-95 Hava Arabirimi Parametreleri.....	41
Çizelge 4.2. IS-95 CDMA DL Trafik kanalı veri hızları	44
Çizelge 4.3. IS-95 CDMA UL Trafik kanalı veri hızları	47
Çizelge 6.1. IS-95 CDMA DL kanalında SF=32 ve SF=64 değerleri için BER'in E_b/N_0 ile değişimi.....	73
Çizelge 6.2. DS modelinde 100 ve 10 km/saat mobil hızları için BER'in E_b/N_0 ile değişimi (SF=64)	75
Çizelge 6.3. DS modelinde 100 km/saat mobil hızında farklı SF değerleri için BER'in E_b/N_0 ile değişimi	77

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. FDD ve TDD modlarında frekans ve zaman bölünmesi	6
Şekil 2.2. FDMA'de kanalların farklı frekans bantlarına tahsisi	8
Şekil 2.3. Darbant kanallarına ayrılmış bant genişliğini 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 alıcı.....	14
Şekil 3.1. Yaymadan önce ve sonraki kare darbe güç spektrumu.....	16
Şekil 3.2. CDMA iletimi	18
Şekil 3.3. SSMA gösterimi	20
Şekil 3.4. SS iletimde girişim reddi.....	21
Şekil 3.5. Spektrum Genişlemesi	22
Şekil 3.6. CDMA'in sınıflandırılması.....	23
Şekil 3.7. FH veDS sistemlerinde zaman/frekans kullanımı.....	24
Şekil 3.8. TH-CDMA'in zaman-frekans kullanımı	26
Şekil 3.9. Modülasyon süreci	29
Şekil 3.10. CDMA'in gürültü ve girişime direnci.....	30
Şekil 3.11. DS-SS işareti alıcısı	31
Şekil 3.12. Karma DS-FH vericisi.....	33

Şekil	Sayfa
Şekil 3.13. Frekans tekrar kullanım örneği	37
Şekil 5.1. IMT2000 Standartları ve destekleyen kuruluşlar	51
Şekil 5.2. Standart uyumluluğu açısından 3G'ye geçiş yolları.....	55
Şekil 5.3. UMTS şebeke yapısı	60
Şekil 5.4. UMTS'de veri iletim protokollerinin sınıflandırılması.....	66
Şekil 6.1. IS-95 CDMA DL kanalı simülasyonunda kullanılan bloklar ve kodları	68
Şekil 6.2. Rayleigh Fading Simülatörü	69
Şekil 6.3. Doppler Güç Yoğunluk Spektrumu	70
Şekil 6.4. FSF Model Gösterimi	71
Şekil 6.5. IS-95 CDMA DL kanalında SF=32 ve SF=64 değerleri için BER'in Eb/No ile değişimi.....	74
Şekil 6.6. DS modelinde 100 ve 10 km/saat mobil hızları için BER'in Eb/No ile değişimi (SF=64)	76
Şekil 6.7. DS modelinde 100 km/saat mobil hızında farklı SF değerleri için BER'in Eb/No ile değişimi.....	77

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
GHz	Frekans birimi
MHz	Frekans birimi
KHz	Frekans birimi
dB	Desibel
Kbps	Data hız birimi
Mbps	Data hız birimi
Kısaltmalar	Açıklama
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

Kısaltmalar	Açıklama
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

Kısaltmalar	Açıklama
CODIT	Code Division Multiple Testbed
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multilexing
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 Transmision Mode

Kısaltmalar	Açıklama
EDGE	Enhanced Gprs Data Rate For Gsm Evolution
EIR	Equipment Identity Register
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power
ERP	Effective Radiated Power
ERC	European Radiocommunications Research Institute
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

Kısaltmalar	Açıklama
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 Daa 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

Kısaltmalar	Açıklama
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 Probabilty 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

Kısaltmalar	Açıklama
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

Kısaltmalar	Açıklama
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

Kısaltmalar	Açıklama
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 Trnsmission Technology
s-ALOHA	Slotted-Aloha
SAP	Service Access Point
SCH	Synchronisation Channel

Kısaltmalar**Açıklama**

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

Kısaltmalar	Açıklama
TG	Task Group
TH	Time Hopping
TLA	Telecommunications Industry Association
TND	Transit Network Domain
TP	Turning Probability
TPC	Transmitter Power Control
TTA	Telecommunications Technology Association
TTC	Telecommunications 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

Kısaltmalar**Açıklama****WLAN**

Wireless Local Area Networks

WLL

Wireless Local Loop

WWW

World Wide Web

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, ikinci ve üçüncü nesil 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 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. 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 hücreli sistemlerde, çoklu erişim tekniği olarak sadece Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (FDMA-Frequency Division Multiple Access) kullanılırken, 2G sistemlerde FDMA'in yanı sıra 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 geniş bantlıdır; bundan dolayı da darbantlı sistemlerin bazı istenmeyen özelliklerinden kurtulmaktadır. 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 bant genişliğine 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 bant genişlikleri üzerinden CDMA hizmeti sunarak yüksek veri hızları ve kapasite sağlamaktadır.

2G sistemlerinden 3G sistemlerine geçişte hedeflerin belirlendiği IMT-2000 için hava arabirimi çözümü olarak genişbantlı CDMA (WCDMA) önerilmiştir. 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. 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, DS-

CDMA'in yanı sıra MC-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 iletim ortamının nasıl paylaşılacağıdır; 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 bant genişliği 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.

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.

Bölüm 6’da IS-95 CDMA sistemi DL (Down Link) bağlantısında alıcı ve vericide kullanılan fonksiyonel blokların MATLAB programı ile karşılıkları verilerek bir DL Bağlantısı simülasyonu yapılmış, BER (Bit Error Rate) performansı çıkartılmıştır. İkinci olarak, konvolüsyon kodlamasının AWGN (Additive White Gaussian Noise) ve Rayleigh kanallar için BER değişimi gösterilmiş, 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

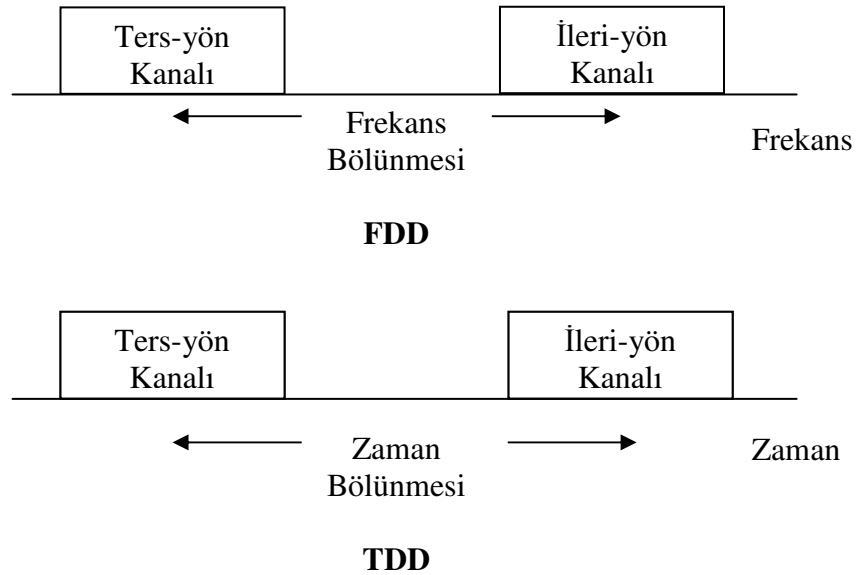
Telsiz Haberleşme sistemlerinde, telli sistemlerde olmayan bazı yeni problemlerle karşılaşmıştır. Bunlardan biri, birden fazla kullanıcının ortak haberleşme kanalını paylaşması nedeniyle oluşan problemdir. Şayet aynı anda birçok kullanıcı iletim yapmak isterse, bu bir kargaşaya neden olmaktadır; bunun 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 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 mümkündür:

- 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 çoğunlukla , kanal net çıkış verimi ve iletimde gecikmeyle ölçülür.

- Protokol farklı trafik tiplerine (örneğin ; ses veya veri) imkan verecek esneklikte olmalıdır.

Telsiz haberleşme sistemlerinde kullanıcının baz istasyonundan bilgi alırken aynı anda bilgi de göndermesine izin verilmesi sıklıkla arzu edilen bir şeydir. 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 dönemi 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

2.1. Çoklu Erişim Teknikleri

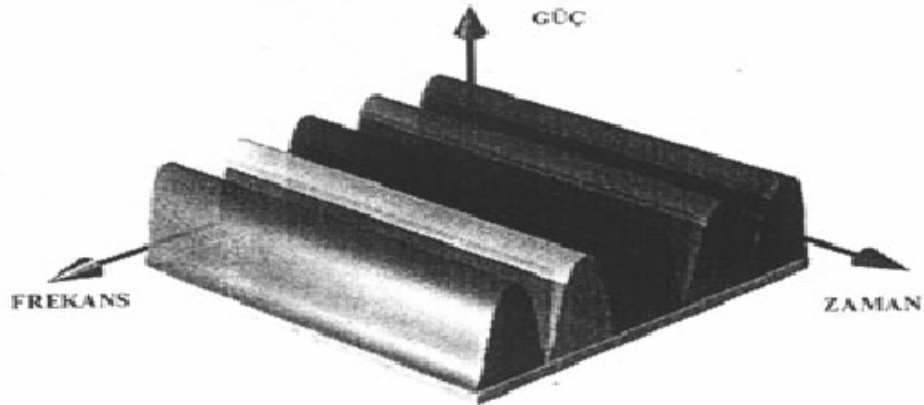
FDMA (Frequency Division Multiple Access), TDMA (Time Division Multiple Access) ve CDMA (Code Division Multiple Access) telsiz haberleşme sisteminde, mevcut bant genişliğini paylaşmak için kullanılan üç ana erişim teknikleridir. Bu teknikler, mevcut bant genişliğinin kullanıcılara nasıl tahsis edildiğine bağlı olarak darbant ve genişbant sistemler olarak gruplandırılabilir. Darbant MA (Multiple Access – Çoklu Erişim) sistemlerinde mevcut radyo spektrumu çok sayıda darbant kanallara bölünmektedir. Kanallar 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 her bir 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 kanalda TDMA kullanılarak paylaşılır. Bu tür 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 yapmasına da 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 düzeneği de telsiz haberleşme için kullanılmaktadır. Bunlar OFDM, PR (Packet Radio) ve SDMA (Space Division Multiple Access)'dir. Çizelge 2.1 değişik telsiz haberleşme sistemlerinde kullanılan MA teknikleri göstermektedir.

Çizelge 2.1. Hücresel mobil sistemlerde kullanılan çoklu erişim teknikleri

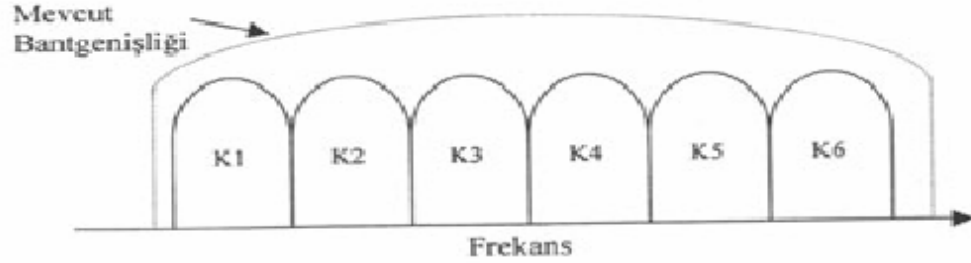
Hücresel Sistem	MA Tekniği
AMPS	FDMA/FDD
GSM	TDMA/FDD
USDC (U.S. Digital Cellular)	TDMA/FDD
JDC (Japanese Digital Cellular)	TDMA/FDD
CT2 (Cordless Telephone)	FDMA/TDD
DECT	FDMA/TDD
IS-95	CDMA/FDD

2.2. FDMA (Frequency Division Multiple Access)

FDMA'de mevcut bant genişliği çok sayıda daha dar bantlı kanallara bölünür. Her bir kullanıcıya, üzerinde hem iletim hem de alma yapacağı benzersiz bir frekans bandı tahsis edilir. Çağırma esnasında diğer kullanıcılar aynı frekans bandını kullanamaz. Şekil 2.2' de görüldüğü gibi, her bir kullanıcıya benzersiz bir frekans bandı veya kanalı tahsis edilmiştir. Şekil 2.3'de de mevcut bant genişliğinin darbant kanallara bölündüğü FDMA spektrumu gösterilmektedir.



Şekil 2.2. FDMA'de kanalların farklı frekans bantlarına tahsisi



Şekil 2.3. Darbant kanallarına ayrılmış bant genişliğini gösteren FDMA spektrumu

FDMA'in 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, bu da kaynak kaybıdır;
- FDMA kanallarının bant genişlikleri dardır, bu da FDMA'in darbant sistemlerde kullanılmasını gerektirir;
- FDMA mobil birimi duplexer kullanılır, çünkü hem verici hem de alıcı aynı zamanda çalışmaktadır. Bu da abone birimlerinin ve baz istasyonlarının maliyetini yükseltir.

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

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

B_t : toplam spektrum

B_{guard} : tahsis edilmiş spektrumun sınırlarındaki koruma bandı

B_c : kanal bant genişliği

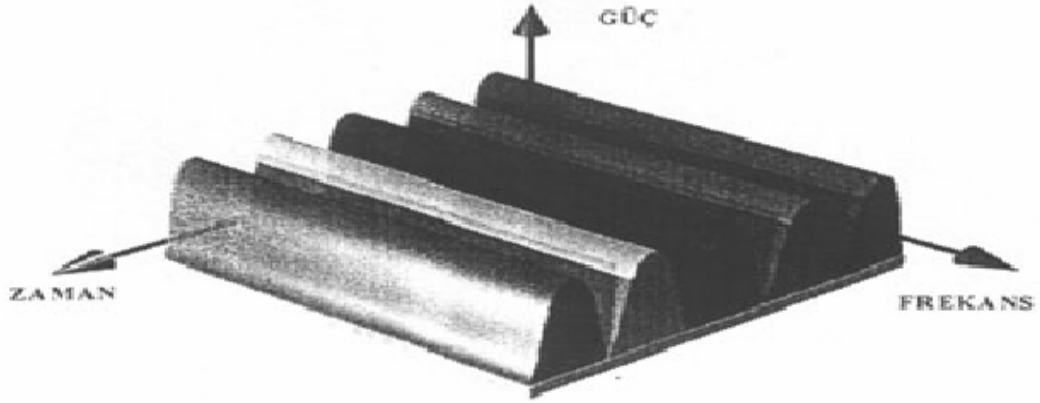
Örneğin; $B_t = 12.5$ MHz, $B_{\text{guard}} = 10$ kHz ve $B_c = 30$ kHz olduğu durumdaki bir FDMA sisteminde mevcut olabilecek kanal sayısı (2.1) eşitliği yardımıyla hesaplanırsa 416 çıkacaktır. A.B.D.'de herbir hücresele taşıyıcıya 416 kanal tahsis edilir.

2.3. TDMA (Time Division Multiple Access)

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 her biri 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

- 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 duplexer'a ihtiyaç yoktur.

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

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

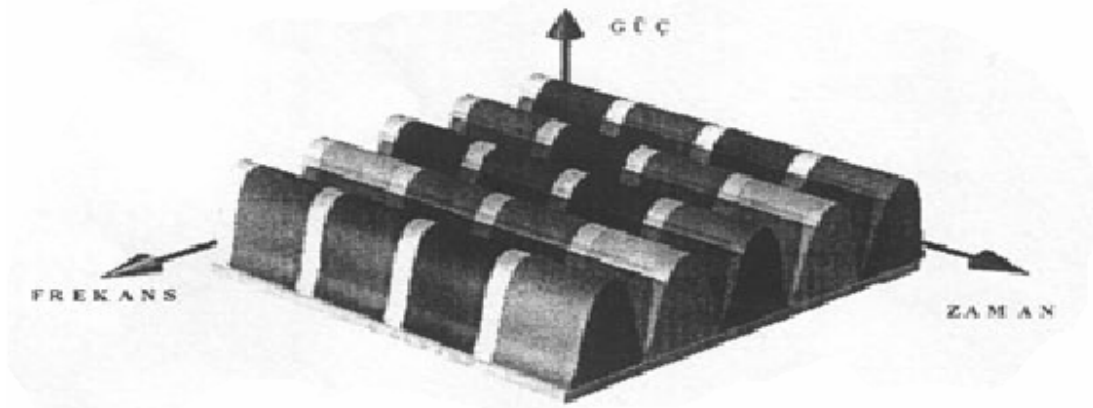
m: her bir radyo kanalında desteklenen maksimum TDMA kullanıcı sayısı

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 Eş.2.2 kullanılarak ;

$$N = \frac{25MHz}{(200kHz)/8} = 1000 \quad (2.3)$$

bulunur. Böylece, GSM 1000 eşzamanlı kullanıcıyı sağlayabilir.

TDMA çoğunlukla FDMA ile birlikte kullanılarak mevcut bant genişliğini kanallara böler. Bu, düşük veri hızının kullanılmasına izin vererek kanal başına kullanıcı sayısını azaltır. Böylece iletimde gecikmenin etkisi de 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 bant genişliği 125, 200 KHz'lik kanallara bölünür. Bu kanallar daha sonra TDMA kullanılarak bir kez daha bölünürler ve böylece 200 KHz'lik kanal 8-16 kullanıcıya izin verir. Şekil 2.5 ile FDMA ile TDMA tekniklerinin ortak kullanılmasıyla bant genişliğinin frekans kanallarına ve zaman dilimlerine nasıl bölündüğü gösterilmektedir.

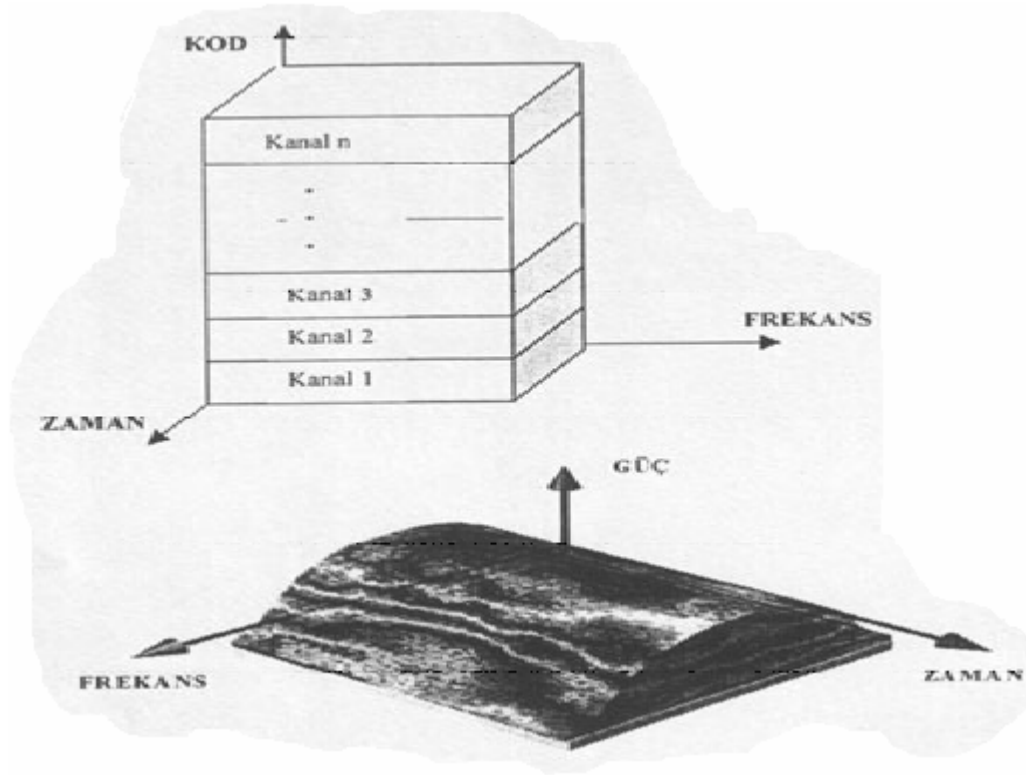


Şekil 2.5. TDMA/FDMA karma sistemi

2.4. CDMA (Code Division Multiple Access)

CDMA bir SS (Spread Spectrum) tekniğidir. CDMA'de darbant mesajı (sayısallaştırılmış ses verisi), PN (Pseudo Noise) kodu olan büyük bant genişliğine sahip bir işaretlerle 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 ortogondur. Alıcı zaman korelasyon işlemini uygulayarak sadece istenilen kod kelimesinin sezilmesini gerçekleştirir. Diğer tüm kod kelimeleri dekorelasyona bağılı olarak gürültülü olarak oluşur. Mesaj işaretinin sezilmesi için alıcının verici tarafından kullanılan kod kelimesini bilmesi gerekmektedir.

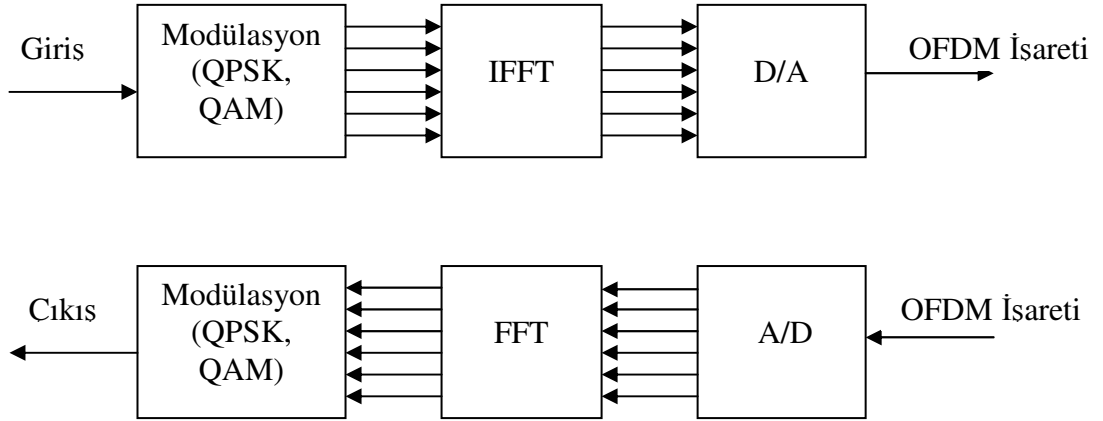


Şekil 2.6. CDMA spektrumu

2.5. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), bir çoklu-taşıyıcı iletim tekniğidir. Mevcut bantgenişliğini, her biri düşük hızlı veri demeti ile modüle edilen çok sayıda taşıyıcıya böler. OFDM, FDMA'de olduğu gibi mevcut bant genişliğini kanallara bölerek çok sayıda kullanıcı erişimini sağlayabilmektedir. OFDM, kanalları birbirlerine daha yakın yerleştirilebildiğinden 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. Her bir 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 işaretine 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 alıcı

OFDM'in avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- 1) Kanal eşitleme gereksiniminin ortadan kalkması (verici tasarımında düşük karmaşıklık)
- 2) Her bir alt kanallarda düşük veri hızı (vericide düşük karmaşıklık)

- 3) Her bir alt kanaldaki işaretlerin sadece ortogonal olması gerekir (spektral verimin artışı)
- 4) Frekans seçmeli kanal için ideal bir yöntemdir.

OFDM'in en önemli dezavantajı, yüksek tepe-ortalama güç oranına sahip olmasıdır. Bu da güç verimini düşürmektedir. OFDM işaretindeki her bir taşıyıcı , dar bant genişliğine (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 bant genişliği taşınan bilgi işaretinin bant genişliğinden 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, temel bant işaretle ilişkili güç spektrumunu işaret etmekte; yayılmış spektrum ise temel bant işareti güç spektrumunun verilen bant genişliği boyunca yayılması anlamına gelmektedir. Aşağıda sınır değerleri ile verilen basit bir kare dalgayı ele alalım:

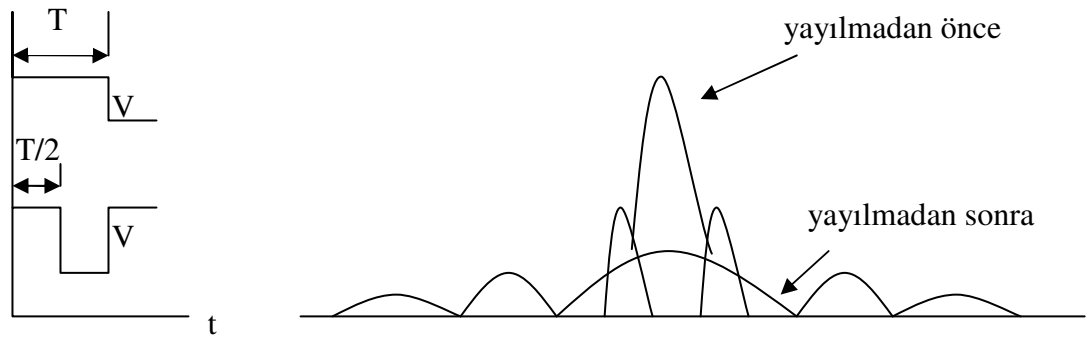
$$\begin{aligned} V(t) &= V & -T/2 < t < T/2 \\ V(t) &= 0 & \text{dışında} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} S(\omega) &= \int (V e^{-j\omega t}) dt \\ &= (2V/\omega) \sin(\omega T/2) \end{aligned}$$

$$= VT \left[\frac{\sin(\omega T/2)}{\omega T/2} \right]$$

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



Şekil 3.1. Yayılmadan önce ve sonraki kare darbe güç spektrumu

Spektrum yayması, ayrık zaman işaretinin frekansını yükseltilecek 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:

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

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 bant genişliğine sahip olmak eğrinin genliğinin azalması anlamına gelir. Bu işlem SS olarak bilinir ve işlem kazancı sonucunu doğurur:

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

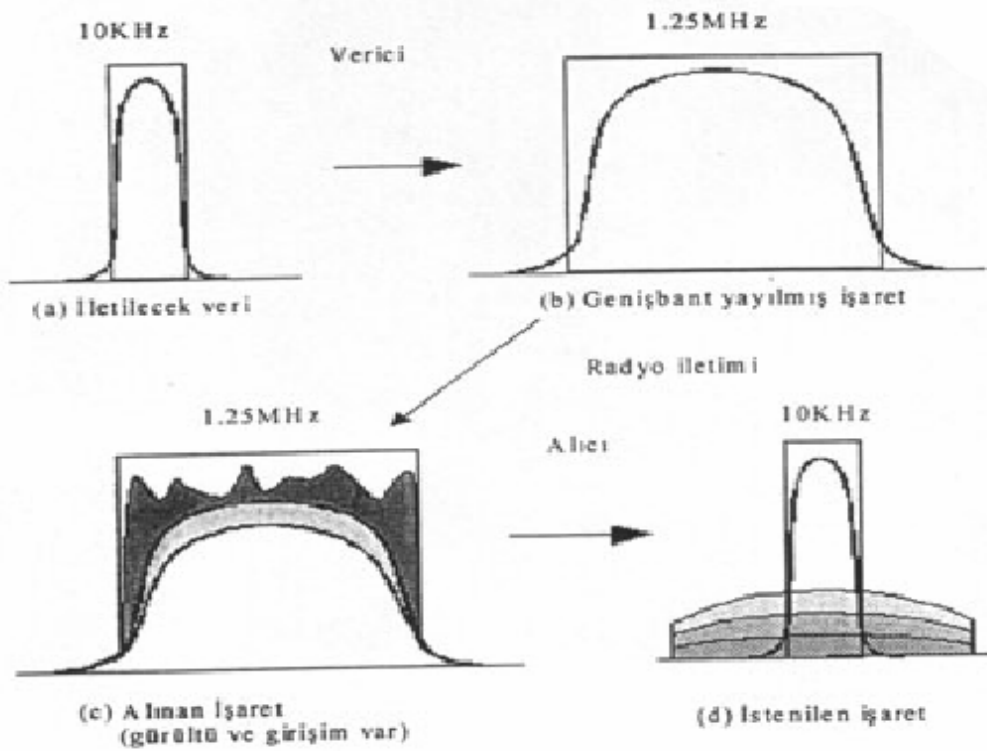
G_s işlem kazancını, B_t iletim bant genişliğini, B_i de taşınacak bilginin bant genişliğini ifade etmektedir. Örneğin; $B_t = 30$ kHz, $B_i = 10$ kHz ise $G_s = 10 \log(30/10) = 4,77$ dB bulunur. Şayet bant genişliğini 1.25 MHz'e yükseltirsek, işlem kazancı $G_s = 10 \log(1250000/10) = 20.97$ dB olacaktır. 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 bant genişliği bilgi bant genişliğinden çok daha büyük olmalıdır:
- Sonuçta elde edilen RF bant genişliği, gönderilen bilgininkinden farklı bir fonksiyonla belirlenir (böylece bant genişliği bilgi işaretinden istatistiksel bağımsız olur). Bu FM (Frequency Modulation) ve PM (Phase Modulation) gibi modülasyon tekniklerini dışarıda bırakır.

Bu şekilde SS modülasyonu, taşınacak bilgi işaretini daha büyük bant genişliğine 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 bant genişliğine 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 gürültülü işaretlerinden kurtarılır.



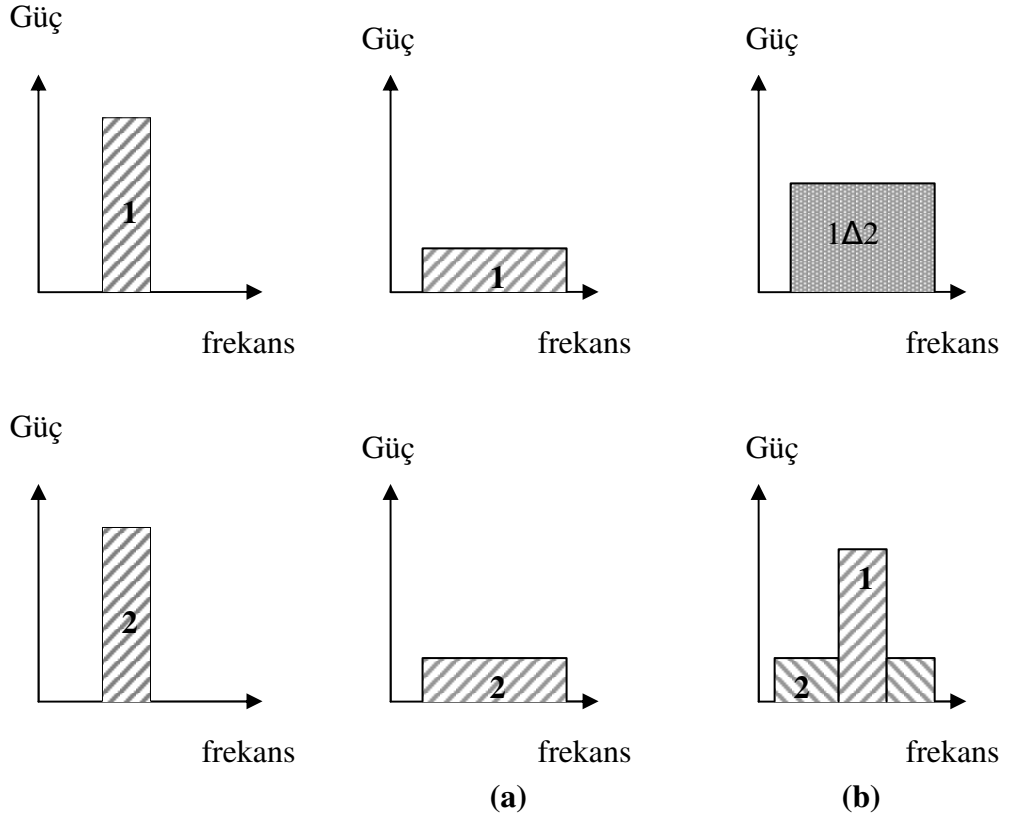
Şekil 3.2. CDMA iletimi

Kodlama ve sonuçta genişletilmiş bant genişliğinden dolayı, SS işaretleri, darbant işaretlerin özelliklerinden kendilerini ayıran çok sayıda özelliğe

sahiptirler. Haberleşme sistemleri açısından en önemli olanları aşağıda açıklanmıştır.

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 bant genişliği içinde yayılmış olarak kalmaya devam edeceklerdir. Böylece, bilgi bant genişliği 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.

Çokluyol girişimlerine karşı koruma: Radyo kanalında verici ile alıcı arasında sadece bir tane 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 döneminde yayılmış bir işarete neden olacaktır. SS modülasyonu bu çoklu girişimle mücadele edebilmektedir.



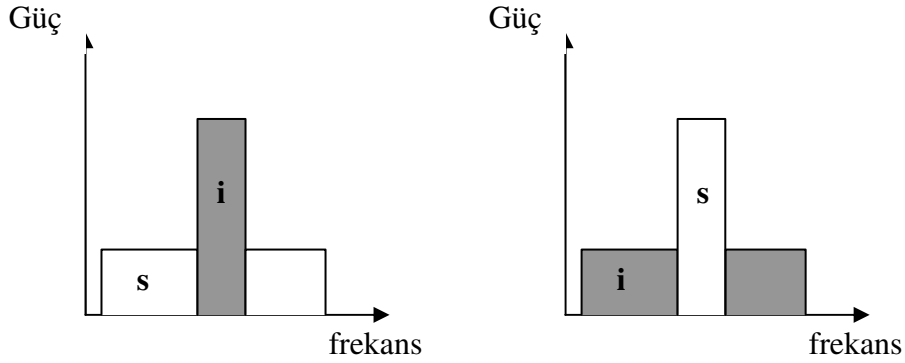
Şekil 3.3. SSMA gösterimi

Gizlilik: İletilen işaret, sadece verici kodu biliyorsa düzeltilip orijinal veri tekrar elde edilebilir.

Girişim reddi: Darbant işaret ile kod işaretinin çapraz-ilişkilendirilmesi, bilgi bant genişliği 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).

Antijamming yeteneği: Bu girişim reddi ile çok benzerdir tek farkla girişim bu sefer sisteme kasten verilmektedir. Bu özellik askeri uygulamalar için çok önemlidir.

LPI (Low Probability of Interception): Düşük güç yoğunluğundan dolayı SS işaretinin sezilmesi ve düşman dinleyiciler tarafından kesilmesi zordur.

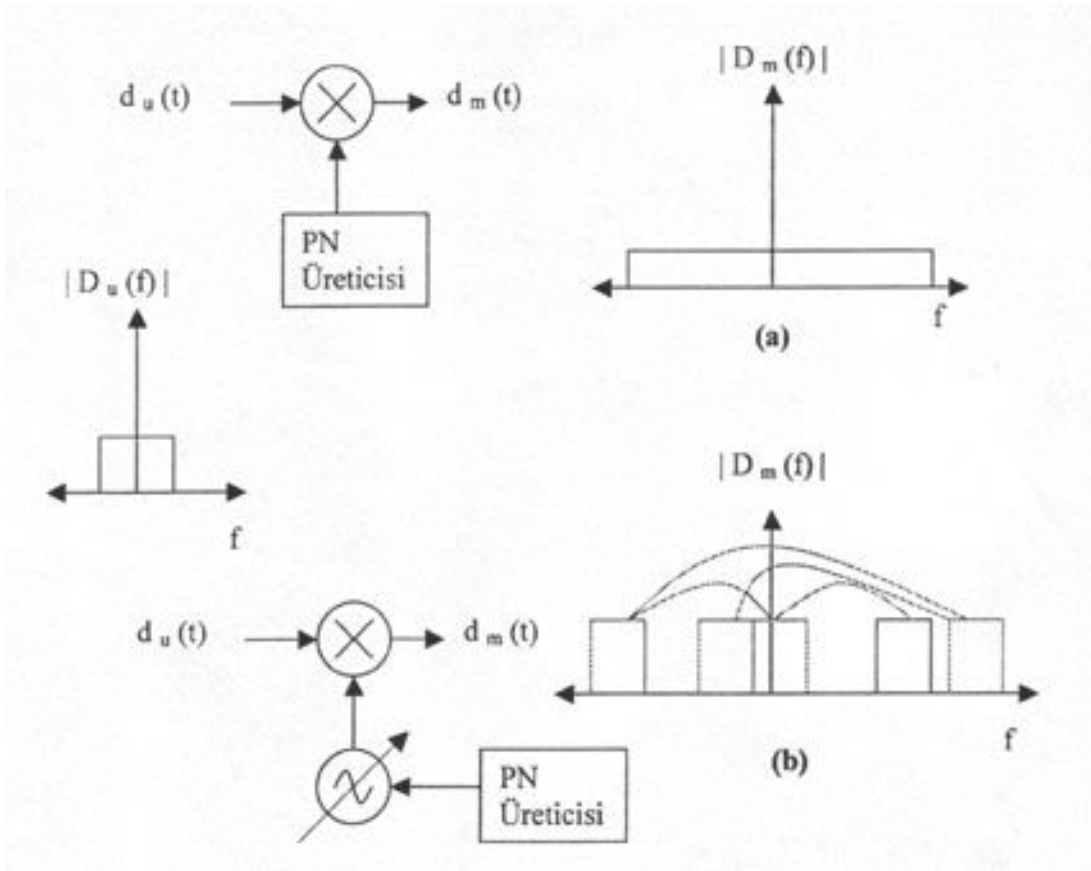


Şekil 3.4. SS iletimde girişim reddi

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 yeteneği sağlamak için kullanılacaktır. DSSS'de, yüksek frekanslı PN dizisi, işareti doğrudan modüle etmek için kullanılır ve sonuçta büyük bant genişlikli temel bant işaret oluşur (Şekil 3.5a). FHSS'de, PN sırasına bağlı olarak modüle edilen frekans değişmekte böylece işaret kısa bir süre için, diğer bir alığa 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.

Bant genişliğinin bu iki yöntemle genişletilmesi, işaretin RF kanalından geçerken şu faydaları sağlayacaktır; spektrum zayıflamalarına karşı direnç, dış girişimler ile çoklu yol 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 işarete 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 rasgele 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.



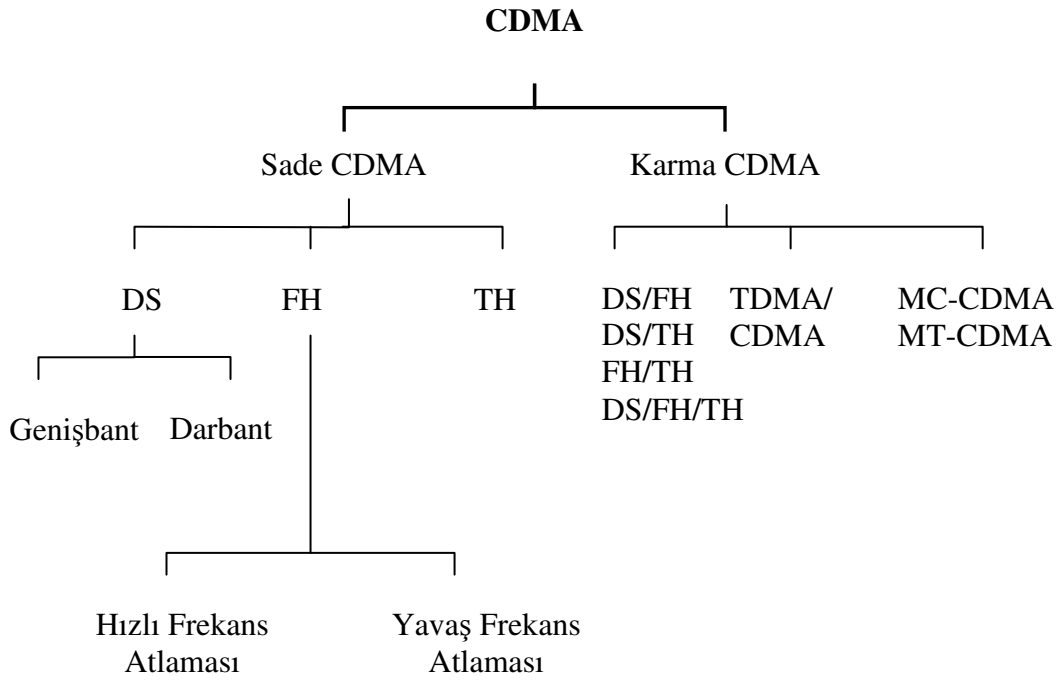
Şekil 3.5. Spektrum Genişlemesi (a) DSSS modülasyonu (b) FHSS modülasyonu

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 atımlara iletilir.
- Karma Modülasyon : Yukarıda bahsedilen modülasyon tekniklerinde iki veya üçünün beraber kullanılması ile oluşturulur, böylece bunların avantajları bir araya 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.



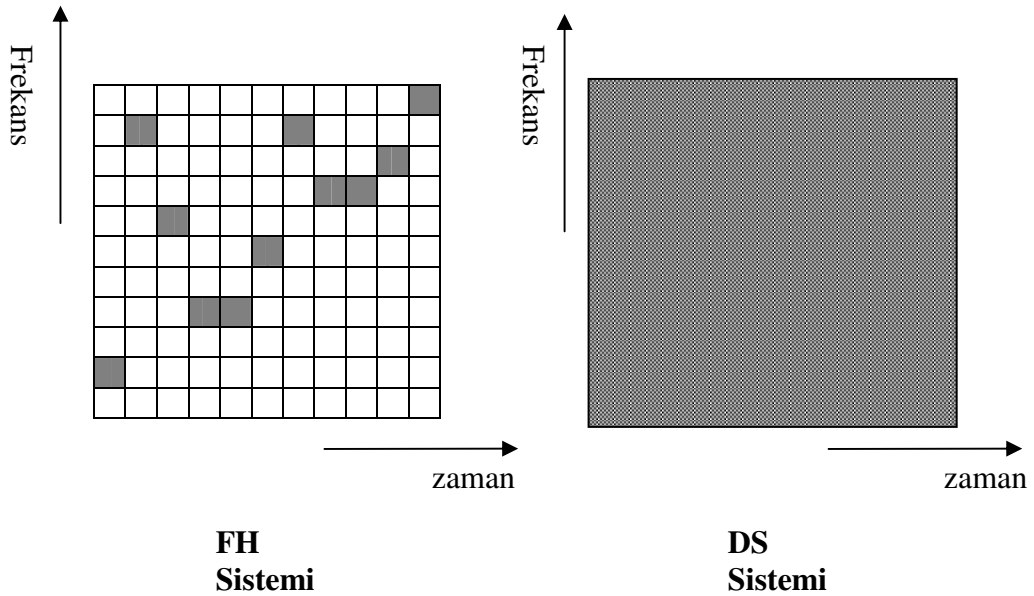
Şekil 3.6. CDMA'in sınıflandırılması

3.2.1. FH-CDMA (Frequency Hopping-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, bazen de 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 bant genişliğinin 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 periyot boyunca işaretinin gücünü tüm frekans bandına yaymıştır böylece ikinci frekans bandında iletilen güç FH sistemindekine oranla çok daha küçük olmaktadır. Bununla beraber DS sistemi bu bandı tüm zaman periyodlarında kullanırken FH sistemi bu bandı sadece zamanın bir kısmında kullanmaktadır.



Şekil 3.7. FH ve DS sistemlerinde zaman/frekans kullanımı

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 verildiğinde, 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 anda 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 bant genişliği FH sistemleri tarafından kullanıldığından DS sisteminden daha iyi bir darbant girişimi indirgemesi sunmaktadır.

Dezavantaj sayılabilecek özellikleri ise şöyle sıralanabilir;

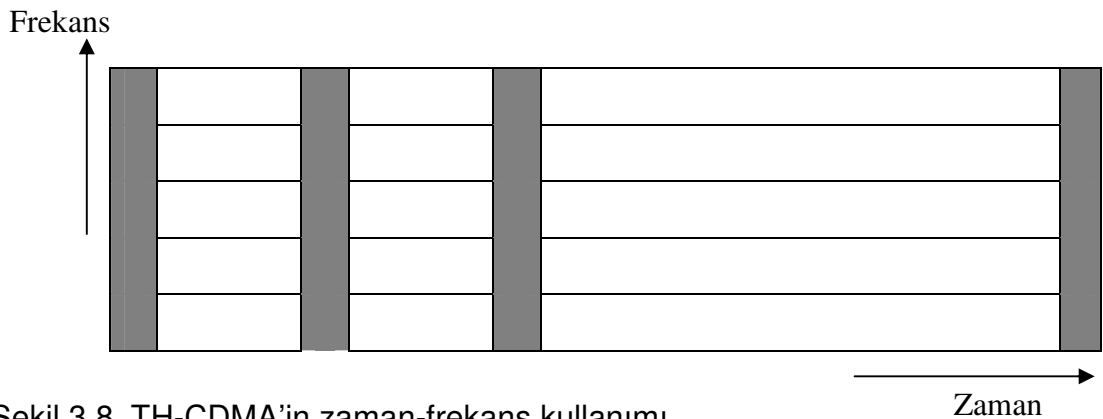
- Karmaşık frekans birleştiricisi gerekmektedir.
- Atlama esnasındaki faz ilişkilerinin korunmasındaki problemler yüzünden uygun demodülasyon zordur.
- Frekans bandının değişmesi esnasındaki işaretin ani değişimleri, kullanılan frekans bandının artmasına neden olacaktır.

3.2.2. TH-CDMA (Time Hopping-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 bir tanesinde 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 kullanımı gösterilmiştir. Şekil 3.7 ile Şekil 3.8'i kıyasladığımızda, TH-CDMA protokolünün tüm geniş band 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 gerçekleştirilmesi daha basittir.
- TH-CDMA protokolleri de sakınlmalı 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.



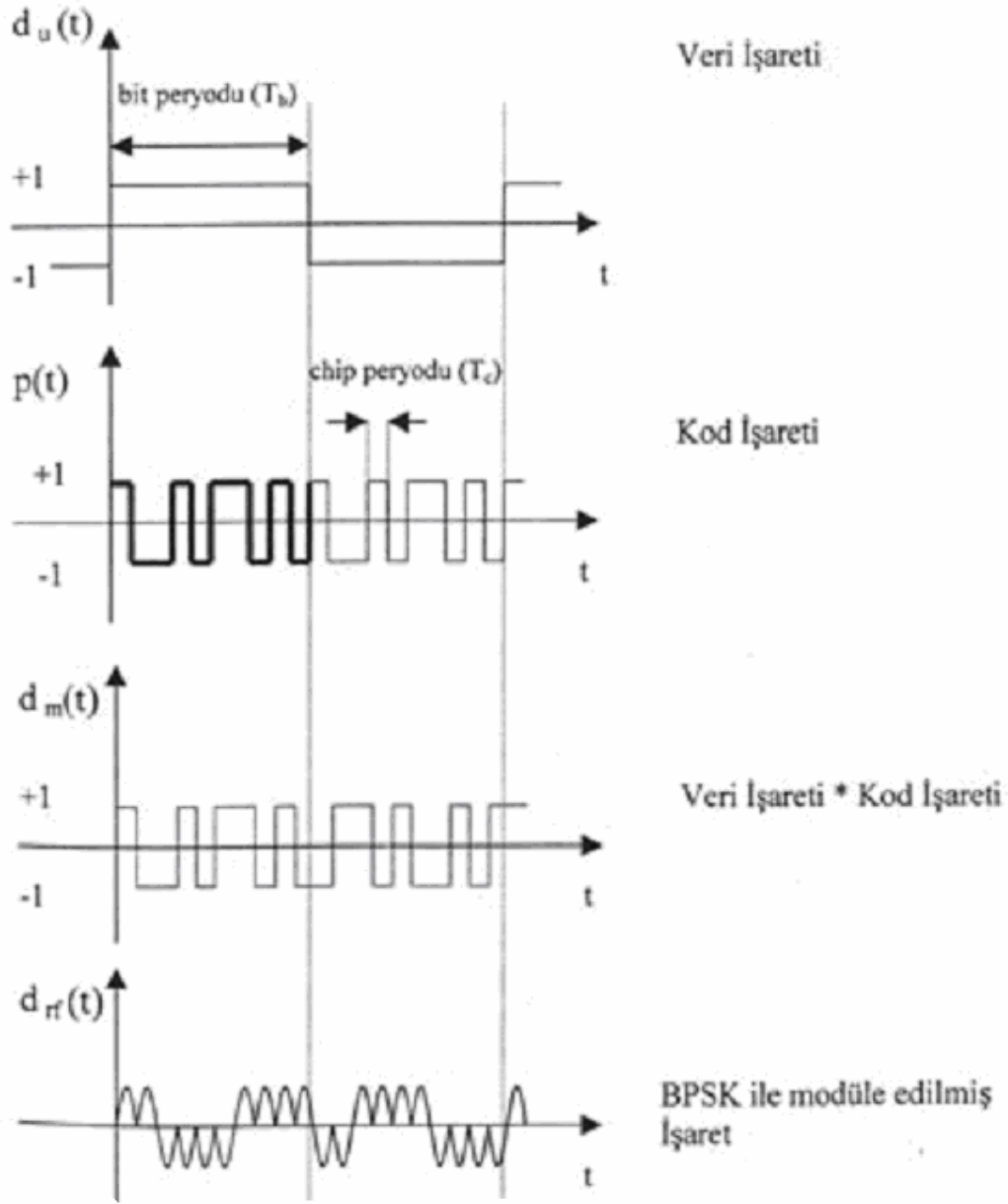
Şekil 3.8. TH-CDMA'in zaman-frekans kullanımı

3.2.3. DS-CDMA (Direct Sequence-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 geniş bant taşıyıcıyı modüle eder. DS-CDMA ismini, bu doğrudan çarpma işleminden almaktadır.

DS-CDMA vericisinin blok diyagramında ikili 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 kullanılabilir; genellikle PSK (Phase Shift Keying) veya MSK (Minimum Shift Keying) olabilir. PN kodunun ikili veri işaretini, $d_u(t)$, doğrudan modüle eder. PN kodunun yüksek bit hızından dolayı bant genişliği işaret spektrumuna yayılır. Genişleme veya yayılma faktörü (F_s), PN kodunun bit hızının veri işaretinin bit hızına oranına eşittir. Modülasyon süreci Şekil 3.9'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.

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

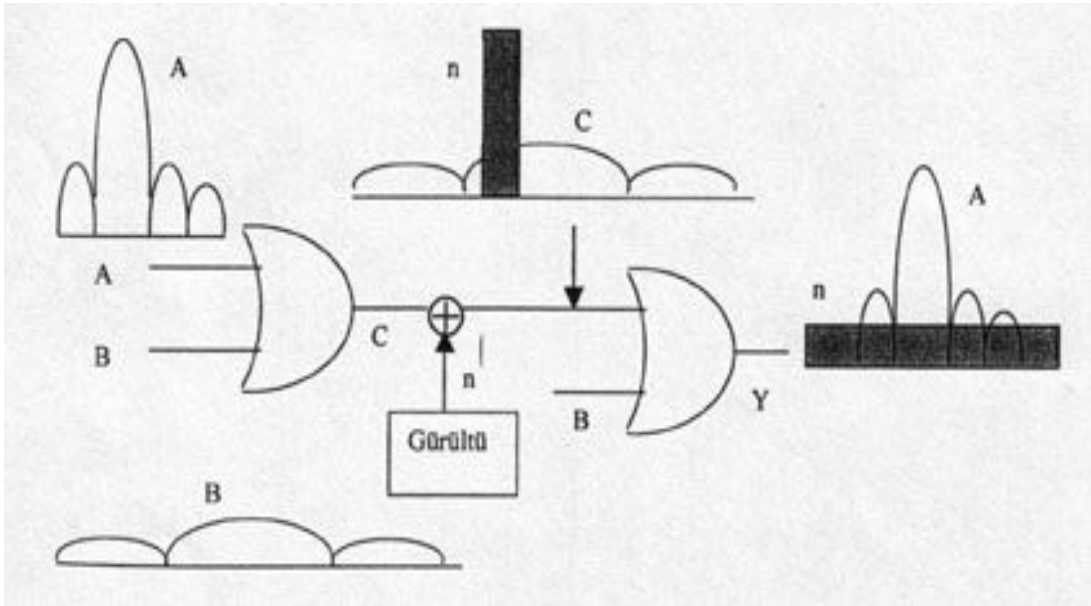


Şekil 3.9. Modülasyon süreci

Şekil 3.9'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 hayatta bu kazanç daha büyük tutulmakta, 100 veya 1000 gibi. Yukarıdaki uygulamada görüldüğü gibi diferansiyel tipte işaretler ($\pm A$, işaretin genliği) kullanılırsa, çarpma işlemi modülasyona eşit

olur. (0,1) standart sayısal lojik ikili işareti için XOR (exclusive OR) işlemi modülasyonu gerçekleştirebilir.

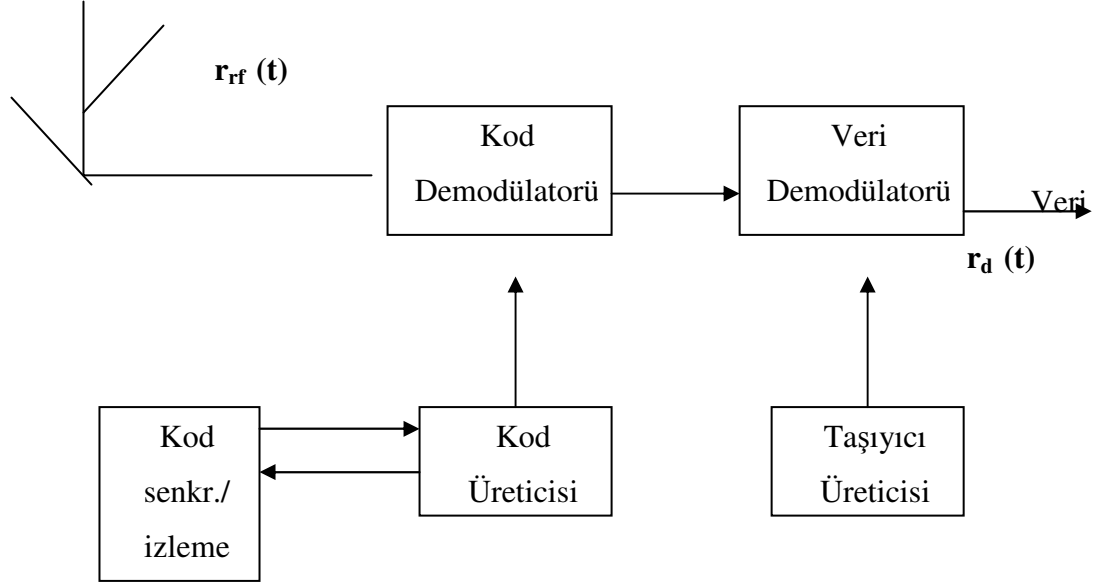
DS-CDMA işaretlerinin bir büyük avantajı da girişime karşı toleransıdır. Şekil 3.10'da gösterildiği gibi bir darbant işaret (A) ve PN dizisi (B) birleştirip SS işaret C üretildiğini düşünelim. Gürültü (n) daha sonra bu işarete eklensin ve elde edilen işaret aynı PN dizisi ile XOR işlemi yardımıyla alıcıda ayrıştırılsın. Aşağıdaki işlemlerden de görüldüğü üzere alınan Y işareti, orijinal A ile SS işaretinin tüm bant genişliğine yayılmış düşük genlikli gürültüden oluşmaktadır. Sonuç olarak A işareti, alınan işaretin bant geçiren filtreden geçirilmesi ile tekrar elde edilebilir.



Şekil 3.10. CDMA'in gürültü ve girişime direnci

İşaretin iletiminden sonra Şekil 3.11'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 kadarda korunmalıdır. Kod senkronizasyonu ve izlemesi bloğu bu işlemi yapar.



Şekil 3.11. DS-SS işareti alıcısı

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 DSCDMA protokolleri birçok avantaj ve dezavantaj sayılabilecek özelliklere de sahiptir.

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

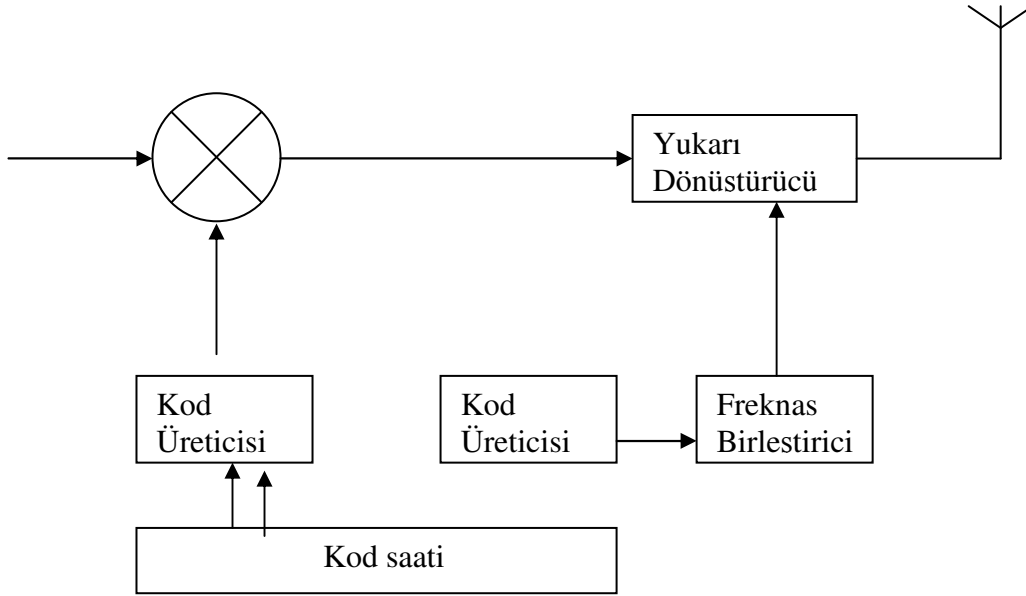
Bunlar avantajlı özellikleri olarak sunulabilir. Dezavantaj olarak sayılabilecek özellikler ise şunlardır;

- 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 güce oranla çok daha yüksektir. Kullanıcı sürekli olarak tüm bant genişliğinde iletim yaptığından, baz istasyonuna uzak 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 güçtür.

3.2.4. Karma CDMA sistemleri

Karma CDMA sistemleri bundan önce bahsedilen SS modülasyon tekniklerinden iki veya daha fazlasının birleşiminden oluşmaktadır. 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, herbir 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 sistem için DS/FH CDMA vericisinin blok diyagramı Şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.12. Karma DS-FH vericisi

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

3.3. CDMA Sisteminin Kapasitesi

FDMA ve TDMA sistemlerinde kapasite, bant genişliği 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 artırmanın 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 gözlemlenmiştir. Böylece bir

CDMA sistemi ortalama kapasitesi, bu ses aktivite faktörü ile ters orantılı olarak artacaktır. CDMA'in bütün hücreler için tüm spektrumu tekrardan kullanabilmesi kapasitenin yüksek oranlarda artmasını 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 baz 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. Bundan bu şekilde hesaplayabiliriz:

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

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 bant genişliğine (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

Eş.3.4 ile Eş.3.7 eşitliklerinden yararlanarak baz istasyonu alıcısındaki SNR'nın E_b/N_0 cinsinden ifadesi:

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

biçiminde olur ve (3.8) eşitliğinde ısı girişim, gürültü (I) dikkate alınmamıştır. Bu gürültüde dikkate alınırsa E_b/N_0 şu şekilde alır.

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

Sisteme erişebilen kullanıcı sayısı formülü Eş.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 bant genişliği ve $E_b/N_0 = 6$ dB değerleri ile kullanıcı sayısını hesaplarsak:

$$N \approx \left[\frac{W}{R} \right]_{dB} - \left[\frac{E_b}{N_0} \right]_{dB} \approx 21.1 - 6 \text{ dB} = 15.1 \text{ dB} \quad (3.12)$$

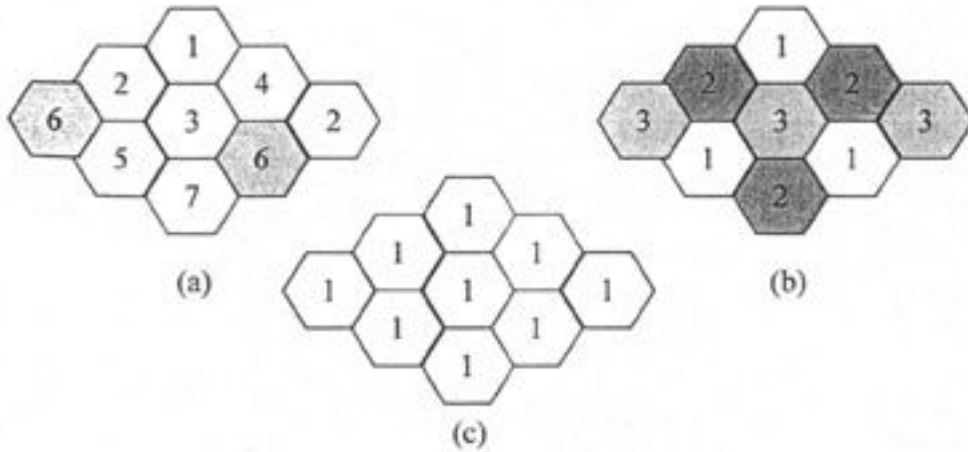
olarak elde edilir. Buda yaklaşık olarak 32 kullanıcıya denk gelmektedir. Bu örnek göstermiştir ki güç kontrolü mevcut ise sistem tasarımcısı E_b/N_0 hedefini ayarlayarak kapasite için servis kalitesini değiştirmekte serbestliğe sahiptir.

Kapasite artışı sağlamak için, diğer kullanıcılardan kaynaklanan girişimi azaltmalıyız. Girişimi azaltmak için bir teknik anten kesimlemedir. Örneğin bir hücre her biri 120° genişliğinde ışına sahip üç antene bölünürse, her bir anten tarafından görülen girişim omni-antene kıyasla üçte bir azalacaktır. İkinci teknik ise ses aktivitesinin gözlemlenmesidir. Ses aktivitesinin olmadığı periyotlarda verici kapatılacaktır. 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:

$$N = \frac{G_s}{\alpha_v} \left[\frac{W/R}{E_b/N_0} \right] + 1 \quad (3.13)$$

Ses aktivitesi faktörünün $3/8$ olduğu ve üç kesimli bir hücrenin kullanıldığını düşünürsek, Eş.3.13 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 her bir hücre komşu hücrelerden 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 Interface Ratio) değerine gereksinim duyarlar, bu da $1/7$ tekrar kullanım faktörüne ihtiyaç duyulmasına sebep olur (Şekil 3.13-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 3.13-b). CDMA tüm hücrelerde aynı frekansı kullanmaktadır; bu da ideal olarak tekrar kullanım faktörünün 1 olmasına izin verir (Şekil 3.13-c).



Şekil 3.13. 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 değerlendirilmesini, karşılaştırması kolay olması açısından bu veriyi Çizelge 3.1 ve 3.2'de özetledim.

Çizelge 3.1. Tek CDMA hücre için kapasitenin E_b/N_0 ile değişimi

E_b/N₀ [dB]	Tek bir Hücre için Maksimum Kullanıcı Sayısı ($G_S=1$, $\alpha_V=1$, $R=9,6$ kbit/sn, $W=1,25$ MHz, $f=1$)	Tek bir Hücre için Maksimum Kullanıcı Sayısı ($G_S=2,55$, $\alpha_V=0,40$, $R=9,6$ kbit/sn, $W=1,25$ 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

Çizelge 3.2. Çoklu-hücreli ortamda bir CDMA hücresi kapasitesinin E_b/N_0 ile değişimi

E_b/N_0 [dB]	Tek bir Hücre için Maksimum Kullanıcı Sayısı ($G_S=1$, $\alpha_V=1$, $R=9,6$ kbit/sn, $W=1,25$ MHz, $f=0,6$)	Tek bir Hücre için Maksimum Kullanıcı Sayısı ($G_S=2,55$, $\alpha_V=0,40$, $R=9,6$ kbit/sn, $W=1,25$ 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 Çizelge 3.2'deki kullanıcı sayılarının Çizelge 3.1'deki ile kıyaslandığında düşüş göstermesinden anlaşılabilir.

4. BİR CDMA SİSTEMİNİN İNCELENMESİ (IS-95)

Mobil sistemler, WLL (Wireless Local Loop), uydu sistemleri ve WLAN (Wireless Local Area Networks) için çok sayıda CDMA hava arabirimi geliştirilmiştir. Bunlardan en tanınmış olan CDMA teknolojisi, Kuzey ve Güney Amerika, Asya'da kullanılan hücresel 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 hücresel 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 ve TSB74 standartlarını birleştirmiş ve maksimum 115.2 kbit/sn bit hızına kadar yüksek hızda veri operasyonunu belirlemiştir. IS-95, mevcut U.S. analog hücresel sistemi AMPS frekans bandı ile uyumlu olacak biçimde tasarlanmıştır. Bunun ikisini de destekleyen çift modlu telefon cihazları da Qualcomm tarafından 1994 yılında üretilmiştir. IS-95, hücre içindeki her bir kullanıcının ve komşu hücrelerdeki kullanıcıların da aynı radyo kanalını kullanmasına imkan verir.

Çizelge 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 bant genişliğine 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 ofsetli aynı uzun kod dizisinin pilot dizileri olarak kullanılmasını kolaylaştırır. Bununla beraber GPS (Global Positioning System) gibi bir referans işaretine de gereksinim vardır.

Çizelge 4.1. IS-95 Hava arabirimi parametreleri

Bant genişliği	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 Kümesi 1 : 9.6 kbit/sn
	Hız Kümesi 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. Standarda göre UL ve DL farklı özelliklere sahiptir, bunlar 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 geçirilmeden önce uzun PN dizileri ile 1,2288 Mchip/sn hızına yaydırılır.

Mobil istasyonu, 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. Genellikle DL'de ışınan gücün %20'si pilot işarete 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.

Her bir DL trafik kanalı, bir tane ana kod kanalı ve birden yediye kadar tamamlayıcı kanala sahip olabilir. Trafik kanalı iki farklı hız kümesine 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, her biri 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 kümesi 1 için 1/2 hızındaki konvolüsyon kodu kullanılır. Hız kümesi 2 için, sembol tekrarlardan sonra her altı sembolün ikisini silerek 3/4 hızı sağlanmaktadır. Farklı kanallarda veri

hızı değiştiğinden, blok dđnüştürmeden önce sabit veri hızını sağlamak için sembol tekrarlamaya kullanılır. Senkronizasyon kanalı için her bir konvolüsyonel kodlanmış sembol bir kere tekrarlanır. Çağrı kanalı için, 4,8 kbit/sn hızındaki her bir 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 her bir kod sembolü üç kez, 1,8 ve 1,2 kbit/sn veri hızlarındaki her bir kod sembolü de 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 kanalları da W8-W31 ve W33-W63 olmaktadır. $16,767 (2^{15}-1)$ uzunluğundaki uzun M-dizisi çifti (biri I kanalı diğer de 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 ayırt edilebilir. $2^{42}-1$ periyotlu uzun PN dizisi, temel band veri karışırma (çağrı ve trafik kanallarında işareti şifrelemek) için kullanılır.

DL kanalının özelliklerini açıklamaya, tek tek blokların incelenmesine geçelim. Kullanıcının bilgi bitleri, 172 bit olarak alınıp blokların girişine verilir. Kullanıcı aktivitesine bağlı olarak farklı hızlara izin verilebilmektedir. Bununla beraber çıkışın hızı her zaman aynıdır ve 1,2288 Mchip/sn olur. Her bir bloktaki hızlar ve çerçeve uzunlukları Çizelge 4.2'de sunulmuştur. Blokları ve bunların 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, her bir çerçevenin sonuna, konvolüsyon kodlayıcısının durumlarını sıfır yapmak için 8 tane sıfır eklemektedir.

Çizelge 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 $g_0=763$ (octal), $g_1=561$ (octal)'dir. Konvolüsyon kodlayıcısının başlangıçtaki durumu hep sıfırdır. Sınır uzunluğu 9'dur.

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.

Long Code Mask/MUX: Bu bölüm kullanıcı verisini karıştırır (scramble) ve güç kontrol bitlerini ekler.

Walsh Fonksiyonu: Bu, veriyi Walsh kodlarını kullanarak yayar. Böylece her bir veri sembolü 64 Walsh chipleri ile yayılır, veri hızını 64 kat arttırmış olur. Orthogonal Walsh Kodu, aynı hücredeki farklı kullanıcıların aynı frekans bandını eş zamanlı olarak birlikte kullanmalarına imkan sağlamaktadır.

Quadrature Modülasyonu: Walsh kodu modülatörünün çıkışındaki işarte 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, bant genişliğini 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 kanalında, 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 desteklenmeyebilir de. 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. Erişim kanalı,çağırma başlatmak, baz istasyonundan gelen çağrı kanal mesajına cevap vermek ve yer güncelleme için mobil istasyonu tarafından kullanılır. Her bir 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 kanalındaki hız kümesi 1 için, konvolüsyon kod hızı 1/3'dür. Trafik kanalındaki 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 etmekteki zorluktur. Walsh kodlarının UL ve DL'de farklı biçimde kullanıldıklarına dikkat etmek gerekiyor. DL'de Walsh kodları kanallama için kullanılırken, UL'de ortogonal modülasyon için kullanılmaktadır.

Trafik kanalındaki her bir kod kanalı ve her bir erişim kanalı, 2^{42} uzunluktaki sözde rasgele 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 çıkışher zaman 1,2288 Mchip/sn'dir. Her bir bloktaki hızlar ve çerçeve uzunlukları Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Blokları ve bunların 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 her bir çerçevenin sonuna 8 tane sıfır eklemektir.

Çizelge 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

Konvolüsyon Kodlayıcısı: Bu blok 1/3 hızındaki konvolüsyon kodlamayı kullanarak hata düzeltmeyi icra etmektedir. Üretici fonksiyonlar $g_0=557$ (octal), $g_1=663$ (octal) ve $g_3=771$ (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 msn'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 hızları böylece 64/6 katı kadar artar.

Long Code Mask: Bu blok veri karıştırma için kullanılır.

Quadrature Modülasyonu: Walsh kodu modülatörünün 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, bant genişliğini 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'in 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 eş zamanlı olarak mobil istasyonun birden fazla baz istasyonu ile haberleşmesi mümkün değildir.

Aktarma prosedürü üç faza ayrılabilir: ölçüm, karar verme ve gerçekleştirme fazı. Aktarma ölçüm fazında, mobil istasyonu tarafından tipik DL ölçümleri gerçekleştirilir; işaret kalitesi, hücrenin 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 istasyon eklenir veya çıkarılır, frekanslar arası aktarma da uygulanabilir.

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 geniş bantlı 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, 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. 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. Sayacın sona ermesi üzerine ise pilot, aktif kümeden çıkartılır. Baz istasyonu 1'in işaret gücü düşme eşiğinin altına inerse ve orada düşme sayacı kadar kalırsa, baz istasyonu 1 aktif kümeden çıkartılır. Buna göre 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.

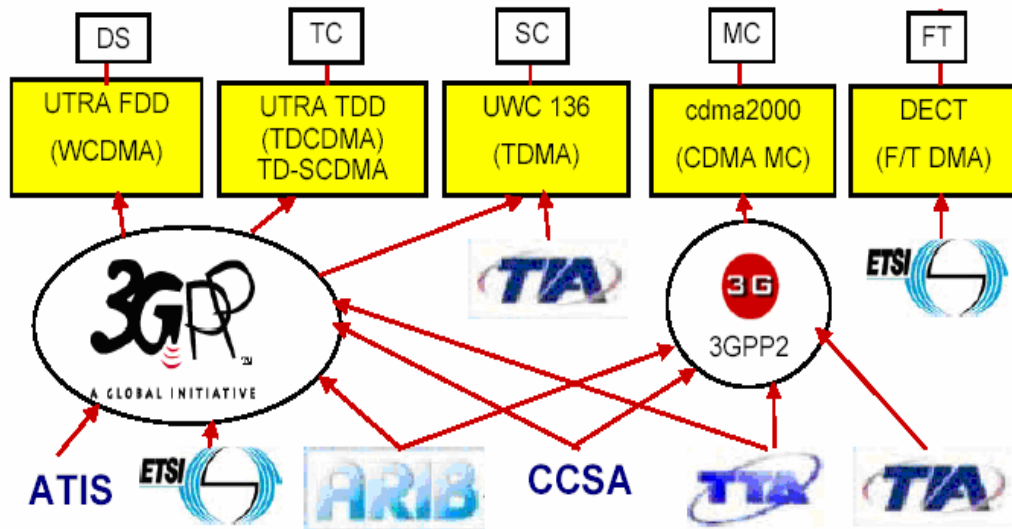
5. 3G MOBİL ŞEBEKELER

Her alanda kullanıcılar için vazgeçilmez bir bilgi ve iletişim kaynağı olan internetin gelişimi dikkate alındığında, mobil şebekeler üzerinden veri hizmetlerine olan talepteki artış eğiliminin sürmesi beklenmektedir. Ancak, gerek mevcut mobil şebekelere tahsis edilen spektrum, gerekse veri sıkıştırma teknikleri mobil veriye olan talebi tatmin edici şekilde karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Özellikle görüntülü haberleşmenin geleceğin haberleşme şebekelerinde önemli bir trafik kaynağı haline geleceği beklenmektedir. 3G şebekeleri yüksek hızda çoklu ortam ve ses iletimi amacıyla tasarlanmıştır. 3G'nin ana hedefleri, yüksek kalitede ses ve görüntü ile ileri düzeyde küresel dolaşımdır. Böylece kullanıcılar dünya üzerinde her yerde otomatik olarak bir telsiz sistem tarafından algılanarak kaliteli haberleşme imkanı bulabileceklerdir. 3G'nin diğer hedefleri aşağıda sıralanmaktadır:

- Mesajlaşma, internet erişimi ve yüksek hızda çoklu ortam haberleşme desteği, TD M PSTN IP İnternet t18
- Gelişmiş hizmet kalitesi,
- Gelişmiş pil ömrü,
- Sabit uygulamalar ve çeşitli mobil senaryoların desteklenmesi (Örn. Ev içi, kentsel, kırsal ve küresel alanlarda hizmet alabilme desteği)
- Konumlandırma hizmetlerinin sağlanması,
- Bütün katma değerli ses hizmetlerinin sağlanabilmesi,
- İşletim ve bakım kolaylığı,
- Mevcut şebekelerle birlikte çalışabilirlik, 2G'ye dolaşım sağlayabilme
- Mevcut şebekelere geriye doğru uyum sağlayabilme, düşük kurulum maliyeti,
- Gelişmiş güvenlik yöntemleri sayesinde mobil ticarete ortam sağlayabilme,

5.1. 3G Standartları

3G, ITU tarafından Uluslararası Mobil Haberleşme (International Mobile Telecommunications, IMT2000) adı verilen küresel çerçeve altında tanımlanmıştır. 1986'da ITU'nun Telsiz Haberleşme Bölümünde, Gelecek Kamu Karasal Mobil Haberleşme Sistemi (Future Public Land Mobile Telecommunication System, FPLMTS)'nin standartlaştırma çalışmalarının başlaması ile IMT2000'in ilk adımları atılmıştır. Bir telsiz ara yüzünün ITU tarafından IMT2000 kapsamına alınabilmesi için bazı gereklilikler belirlenmiştir. Buna göre; bir 3G telsiz ara yüzü araç içerisinde 144 Kb/s, kentsel alanda 384 Kb/s, ev içinde 2048 Kb/s veri hızlarını sağlamak zorundadır. Şekil 5.1'de IMT2000 standartları ve destekleyen kuruluşlar gösterilmektedir.

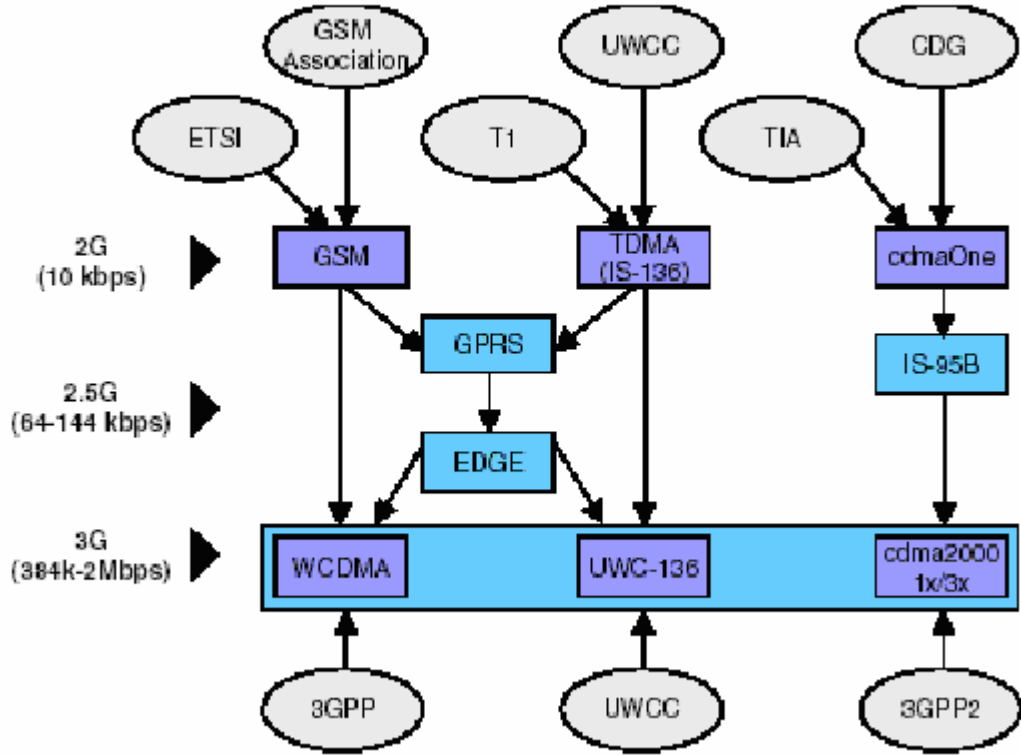


Şekil 5.1. IMT2000 Standartları ve destekleyen kuruluşlar

ETSI tarafından, çiftli frekans bantlarında Çift Yönlü Frekans Bölmesi (Frequency Division Duplex, FDD) kipinde çalışma için Geniş Bant Kod Bölmeli Çoklu Erişim (Wideband Code Division Multiple Access, WCDMA) telsiz erişim tekniğini, tekli frekans bantlarında Çift Yönlü Zaman Bölmesi

(Time Division Duplex, TDD) kipinde çalışma için Zaman Bölmeli CDMA (Time Division CDMA, TDCDMA) telsiz erişim tekniğini kullanan Evrensel Karasal Telsiz Erişim şebekesi (Universal Mobile Telecommunication System Terrestrial Radio Access Network, UTRAN) geliştirilmiştir. 1998 yılında, ETSI'nin teklifi UTRAN'ın geliştirilmesi amacıyla Japonya adına TTC/ARIB, Avrupa adına ETSI, Kore adına TTA, ABD adına ATIS ve Çin adına CCSA'nın katılımıyla 3G Ortaklık Projesi (3rd Generation Partnership Project, 3GPP) kurulmuş ve IMT2000'e katkıda bulunmuştur]. 3GPP tarafından IMT2000 için teklif edilen standartlardan ilki olan UTRA FDD, WCDMA ya da Doğrudan Sıralı (Direct Sequence, DS) CDMA olarak da tanımlanmaktadır. FDD kipi çalışma, aboneye doğru ve baz istasyonuna doğru olmak üzere iki ayrı frekans bandı gerektirir. Telsiz erişim tekniği 3,84 Mc/s yonga hızında ve 5 MHz bant genişliğinde veri iletimine sahip doğrudan sıralı CDMA niteliğindedir. Modülasyon tekniği, iki kanallı Faz Kaydırmalı (Quadrature Phase Shift Keying, QPSK)'dir. cdma2000 (CDMA MC) DECT (F/T DMA) 3GPP'nin ikinci teklifi olan UTRA TDD, Zaman Kodlu IMT (International Mobile Telecommunications Time Code, IMT TC) olarak adlandırılmakta ve doğrudan sıralı CDMA telsiz erişimi tekniğini kullanan iki sürümü bulunmaktadır. Bunların ilki 5 MHz bant genişliğinde ve 3,84 Mc/s yonga hızındaki UTRA TDD, ikincisi ise 1,6 MHz bant genişliği ve 1,28 Mc/s yonga hızı kullanan Zaman Bölmeli Eşzamanlı CDMA (Time Division Synchronous CDMA, TDSCDMA)'dır. TDD sistemleri tekli spektrum bölümleri üzerinden çalışabilmektedir. Evrensel Telsiz Haberleşme Konsorsiyumu (Universal Wireless Communications Consortium, UWCC)'nin tek taşıyıcılı (Single Carrier, SC) UWC-136 ara yüzü, TIA/EIA-136 ve GSM GPRS teknolojilerinin birbirlerine yaklaştırılması ve TIA/EIA-136 teknolojisinin 3G yeteneklerine yükseltilebilmesi amacıyla TIA'nın öncülüğünde geliştirilmiştir. Bu amaçla 30 kHz kanallarının ses ve veri kapasiteleri artırılmış, yüksek gezginlik uygulamalarında 384 Kb/s için 200 kHz taşıyıcı, düşük gezginlik uygulamalarında ise 2 Mb/s için 1,6 MHz taşıyıcı eklenmiştir [11]. 3G'ye ilişkin diğer bir standartlaştırma akımı ise; çok taşıyıcılı CDMA teknolojisi

üzerinde çalışmak üzere ABD adına TIA'nın öncülüğünde, Japonya adına TTC/ARIB, Kore adına TTA ve Çin adına CCSA'nın katılımıyla 3GGP2 grubunu oluşturmuş ve IMT2000'e teklifte bulunmuştur. CDMA2000; çok taşıyıcılı (Multi Carrier, MC) CDMA olarak da adlandırılmaktadır. FDD kipinde çalışan CDMA MC TIA/EIA-95-B standardındaki şebekeler için 3G'ye geçiş imkanı sağlamaktadır. ETSI standartlarıyla oluşturulan Sayısal Geliştirilmiş Kablosuz Telekomünikasyon (Digital Enhanced Cordless Telecommunications, DECT), bileşik FDMA/TDMA tekniği kullanmaktadır. 2G şebekesi bulunmayan yeni 3G işletmecileri, idari ve ticari gereklilikleri göz önünde bulundurarak Şekil 2.5'teki 3G standartlarından herhangi birini seçebileceklerdir. Ancak 3G'ye geçiş yapmak isteyen 2G işletmecilerinin kullanacakları 3G standardını seçerken dikkate almaları gereken en önemli ölçüt mevcut şebekelerinin güvenliğini tehlikeye atmaksızın ve en düşük maliyetle 3G'ye geçiş yapabilmektir. Şekil 5.2'de standart uyumluluğu açısından 3G'ye güvenli ve uyumlu geçişin yolları gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Standart uyumluluğu açısından 3G'ye geçiş yolları

5.2. CDMA MC (Multi Carrier) Teknolojisi

Bu bölümde 3G hizmetlerin sunulması amacıyla kullanılacak mobil haberleşme teknolojilerinden biri olan CDMA MC tanıtılmaktadır. CDMA MC; haberleşme sektöründen temsilciler ve dünya çapında çeşitli ülkelerin standartlaştırma kuruluşları ile birlikte bir çalışma yürüten ITU'nun, 1999 yılında yayımladığı ITU-R M.1457 Tavsiye Kararı ile IMT2000 kapsamına aldığı beş telsiz ara yüzünden biridir.

ITU, IMT2000 şebekelerinin diğer gerekliliklerin yanı sıra 2G şebekelere göre gelişmiş sistem kapasitesi ve etkin frekans kullanımı ile hareket halinde 144 Kb/s, durağan halde ise 2 Mb/s veri hızlarının sağlanmasını istemektedir.

ITU'nun IMT2000 ile 3G şebekelere ilişkin olarak tanımladığı ve onayladığı teknik gereklilikleri, standartları ve frekans kullanım esaslarını karşılayan bir telsiz ara yüzü olması nedeniyle IMT2000 kapsamına alınan CDMA MC, CDMA2000 olarak da bilinmektedir. CDMA2000, hem CDMA MC telsiz ara yüzünü hem de bu ara yüzü kullanan 3G şebekeyi tanımlamak için kullanılan bir terimdir.

CDMA2000'in dayandığı teknoloji olan CDMA ilk olarak 2. Dünya Savaşı sırasında ABD tarafından askeri amaçlarla kullanılmaya başlamıştır. 1990'lı yılların ortasında, ABD menşeli Qualcomm şirketi CDMA teknolojisini 2G bir haberleşme şebekesi olan ve cdmaOne olarak da bilinen IS-95 standardıyla ticari olarak kullanıma sunmuştur.

CDMA2000; ABD'den TTA, Japonya'dan ARIB ve TTC, Çin'den CCSA ve Kore'den TTA adlı düzenleme kurumlarının katılımıyla oluşturulan 3GPP Ortaklık Projesi 2 (Third Generation Partnership Project 2, 3GPP2) tarafından ITU'ya teklif edilen CDMA MC telsiz ara yüzünün ve bu telsiz kullanan 3G şebekenin ticari adıdır. CDMA2000, yeni frekans tahsisi gerektirmeksizin 2G cdmaOne şebekelerinin üzerine kurulabilmesi nedeniyle anılan 2G şebeke işletmecilerinin 3G'ye geçişi için en uygun seçenek olarak ortaya çıkmaktadır.

5.3. UMTS Teknolojisi

Bu bölümde; Avrupa çapında 3G hizmet ve şebekelerinin eşgüdüm içerisinde ve uyumlu bir biçimde yaygınlaşması amacıyla ETSI tarafından geliştirilerek ITU bünyesindeki IMT2000 kapsamına alınan bir standart ve bu standarda dayalı bir altyapı ve teknoloji olan UMTS tanıtılmaktadır.

GSM'nin 3G boyutundaki devamı olarak görülen UMTS, temel olarak GSM tabanlı mobil şebekelerin üçüncü nesile evrimini simgelemektedir. UMTS, yoğun şekilde kullanılan haberleşme ortamında mobil ve internet

uygulamalarına olan yönelimi karşılayacak kapasiteyi sağlama iddiasıyla ortaya çıkmıştır. WCDMA telsiz erişim tekniğine dayalı bir şebeke olan UMTS, iletim hızını kullanıcı başına 2 Mb/s seviyelerine çıkarmakta ve küresel bir dolaşım standardı oluşturmaktadır.

5.3.1. UMTS'nin temelleri

1986'da ITU-R'nin 8 no.lu Çalışma Grubunda başlatılan FPLMTS'nin standartlaştırma çalışmalarını takiben Avrupa'da 1988'de RACE I programı ile bu konudaki temel araştırmalar başlamıştır. 1992-1995 yılları arasında sürdürülen RACE II programı, CDMA ve Eşzamansız Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (Asynchronous Time Division Multiple Access, ATDMA) deney ortamlarının geliştirilmesini sağlarken Mobil Şebeke (Mobile Network, MONET) projesi ile şebekeye ilişkin konular geliştirilmeye başlanmıştır. 1998'de ETSI tarafından Evrensel Karasal Telsiz Erişim Şebekesi (Universal Terrestrial Radio Access Network, UTRAN) için çiftli frekans bantlarında gerçekleştirilen Çift Yönlü Frekans Bölmesi (Frequency Division Duplex, FDD) kipindeki çalışma için WCDMA hava arayüzünün, tekli frekans bantlarında gerçekleştirilen Çift Yönlü Zaman Bölmesi (Time Division Duplex, TDD) kipindeki çalışma için ise TDCDMA hava arayüzünün kullanılmasına karar verilmiştir. Bu karar, ETSI tarafından ITU'ya IMT2000 telsiz iletim teknolojisi adayı olarak UTRAN'ın teklif edilmesinin de temelini teşkil etmiştir. Küresel teçhizat uyumluluğunun sağlanabilmesi için tek tip bir standardın sağlanamayacağı ortaya çıktığında, ortak bir UTRAN standardının geliştirilmesi için Japonya adına TTC/ARIB, Avrupa adına ETSI, Kore adına TTA, ABD adına ATIS ve Çin adına CCSA'nın katılımıyla 3G Ortaklık Projesi (3G Partnership Project, 3GPP) oluşturulmuştur. 3GPP, GSM çekirdek şebekesi ve telsiz erişim teknolojisini temel alan ve WCDMA'ya dayanan üçüncü nesil mobil haberleşme sisteminin teknik özelliklerini oluşturarak IMT2000'e katkıda bulunmuştur. 3GPP'nin dört ana standartlaştırma alanı bulunmaktadır. Bu alanlar:

- Telsiz Erişim Şebekesi,
- Çekirdek Şebeke ve Terminal Cihazları,
- Hizmetler ve Sistem Bakış Açıları,
- GSM/EDGE Telsiz Erişim Şebekesi (GSM/EDGE Radio Access Network, GERAN)'dir.

3GPP bünyesinde her bir alan ile ilgili olarak kurulan çalışma gruplarının sorumlu olduğu alanlar ise aşağıda sıralanmaktadır.

3GPP Telsiz Erişim Grubunun sorumlu olduğu konular:

- Telsiz katmanı tanımlamaları,
- UMTS şebekesi elemanları arasında bulunan Iub, Iur ve Iu Arayüzleri,
- UTRAN işletim ve bakım gereklilikleri,
- Baz istasyonu telsiz başarımları tanımlamaları,
- Baz istasyonlarının telsiz uygunluk testi tanımlamaları,
- Genel sistem açısından telsiz başarımları tanımlamaları,

3GPP Çekirdek Şebeke ve Terminal Cihazları Grubunun sorumlu olduğu konular:

- Gezginlik (mobility) yönetimi, çekirdek şebeke ile kullanıcı teçhizatı arasındaki çağrı bağlantı kontrol işaretleşmesi,
- Çekirdek şebeke birimleri arasındaki işaretleşme tanımlamaları,
- Çekirdek şebekenin diğer şebekelerle bağlantısına ilişkin tanımlamalar,
- Iu arayüzünün çekirdek şebeke açısından özellikleri, işletim ve bakım gereklilikleri
- Hizmetlere erişim için cihazlarda bulunması gereken özellikler,
- Mesajlaşma
- UMTS Abone Kimlik Modülü (Subscriber Identity Module, USIM) ve mobil cihaz arayüzü

- Terminal cihazlarının kullanıcı arayüzleri, hizmet ve uygulamalara erişim konusunda bir model oluşturulması,
- Telsiz konuları da dahil olmak üzere terminal cihazlarının uygunluk testi tanımlamaları.

3GPP Hizmetler ve Sistem Bakış Açıları Grubunun sorumlu olduğu konular:

- Hizmet tanımları ve gereken özellikler,
- Hücresel, sabit ve kablosuz uygulamalar için hizmet kabiliyetlerinin ve yapılarının geliştirilmesi,
- Ücretlendirme ve hesaplaşma
- Şebeke yönetimi ve güvenlik uygulamaları,
- Genel mimarinin tanımı, geliştirilmesi ve bakımı.

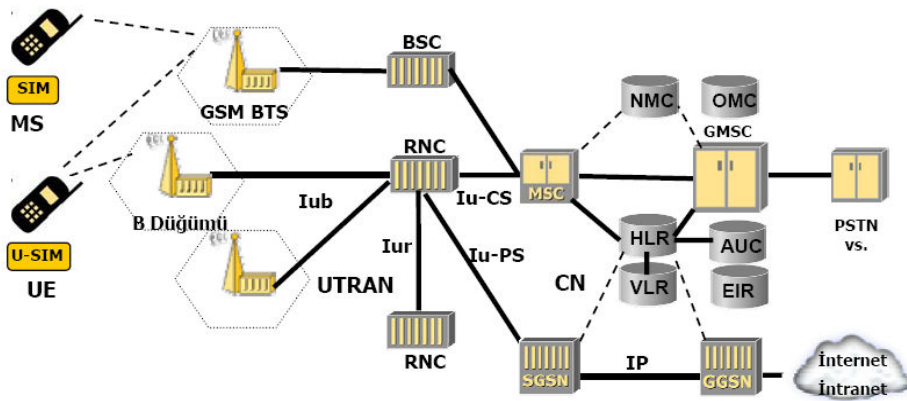
Dördüncü çalışma grubu ise; GERAN adı verilen, GSM ve EDGE telsiz erişim şebekelerinin birlikte kullanıldığı GPRS şebekesinin geliştirilmesi konusunda standartlaştırma çalışmaları yürütmektedir.

Bugün itibariyle dünya çapında 29 ülkede 39 işletmeci tarafından kurulan 64 UMTS şebekesi ticari olarak hizmet vermekte olup 24 milyon UMTS abonesi bulunmaktadır. Veri kartları ve telefonlar dahil olmak üzere halen 166 adet UMTS terminal cihazı pazarda bulunmaktadır. Söz konusu terminal cihazları GSM-UMTS çift modlu çalışabilme özelliğine sahip bulunmakta ve Ülkemiz de dahil tüm dünya terminal cihazı pazarında yer almaktadır. UMTS şebekeleri daha çok 2004 yılında ticari olarak faaliyete başlamıştır. Bu nedenle CDMA2000'e göre daha düşük bir abone sayısına sahiptir.

5.3.2. Şebeke mimarisi

Şekil 5.3'de blok çizimi gösterilen UMTS şebekesi, Çekirdek Şebeke (Core Network, CN) ve Evrensel Karasal Telsiz Erişim Şebekesi (Universal

Terrestrial Radio Access Network, UTRAN) bölümlerinden oluşmaktadır. CN, GSM'deki NSS'ye, UTRAN ise BSS'ye eşdeğerdir ve aynı işlevleri yerine getirirler. UMTS'nin çekirdek şebekesi, şebekenin sürümüne bağlı olarak farklılaşmaktadır. UMTS şebekesine erişim için GSM/GPRS/EDGE terminal cihazlarından farklı bir kullanıcı cihazı (User Equipment, UE) gerekmektedir. UE; GSM'deki SIM'e benzeyen ve U-SIM olarak adlandırılan bir kart ile bir terminal cihazının birleşiminden oluşmaktadır. Terminal cihazı yalnızca mobil telefon değil, aynı zamanda erişim kartı takılmış olan bir bilgisayar da olabilmektedir. UMTS şebekeleri, öncelikle kurumsal kullanıcılara yönelik olarak üretilen ve diz üstü bilgisayarlara takılabilen erişim kartları ile hizmet vermeye başlamaktadırlar.



Şekil 5.3. UMTS şebeke yapısı

Bir GSM/GPRS şebekesinin UMTS'ye yükseltilmesi için yapılması gereken ekleme ve güncellemeler aşağıda verilmektedir:

- Telsiz erişim şebekesine UMTS BTS (B Düşümü)'si eklenmelidir,
- Telsiz erişim şebekesine UMTS BSC (RNC)'si eklenmelidir,
- Çekirdek şebekede MSC yükseltilmelidir,
- Çekirdek şebekede GGSN ve SGSN yükseltilmelidir.

GSM şebekelerinin UMTS'ye yükseltilmesinin getireceği maliyete ilişkin olarak yapılan bir çalışmada, Almanya'da bir GSM işletmecisinin %80 UMTS

kapsaması oluşturulması için toplam 9 milyar Avro'luk bir yatırım yapması gerektiği tahmin edilmektedir. Söz konusu maliyetler, Fransa için 11 milyar Avro, İngiltere için ise 7 milyar Avro olarak tahmin edilmektedir. UMTS yatırım maliyetleri ile ilgili diğer bir çalışmada ise Almanya'da %90 kapsama sahip bir UMTS şebekesinin kurulması için 8 milyar Avro tutarında yatırım yapılması gerektiği ifade edilmektedir.

5.3.3. Çekirdek şebeke

GSM ve UMTS temelde aynı çekirdek şebeke mimarisini tanımlamaktadır. GPRS, hem GSM hem de UMTS çekirdek şebekesinin bir parçasını oluşturmaktadır. UMTS hizmetlerinin verilebilmesi için mevcut bir GSM şebekesinin yükseltilmesi gerekmektedir. İşletmeciler geniş alan kapsamasını GSM/GPRS ile sağlayabilir ve UMTS telsiz erişim altyapısını aşamalı olarak kurabilirler. Aynı zamanda, GPRS teçhizatı ve GSM MSC'leri UMTS hizmetlerini destekleyecek şekilde yükseltilerek UMTS telsiz şebekesine lu arayüzleri üzerinden bağlanabilirler. Bütün bunlar başlangıç yatırımını azaltarak UMTS hizmetlerinin verilmeye başlanmasını kolaylaştırmaktadır. Sürüm 99'da, bir GSM/GPRS şebekesi üzerine kolaylıkla kurulabilmesi amacıyla paket ve devre anahtarlama çekirdek şebeke bölümleri birbirinden ayrı olarak yapılandırılmıştır. Sürüm 99'da 2G çekirdek şebeke parçaları yerlerini korumaktadır. MSC ve SGSN birimleri, telsiz erişim şebekesine bağlantılarını sağlayan luCS ve luPS arayüzlerini destekleyecek şekilde yükseltilerek yüksek hızda veri hizmetleri sunulabilir hale gelmektedir. Sürüm 4 ile ise MSC, iletimi gerçekleştiren Ortam Arageçidi (Media Gateway) ve işaretleşme için kullanılan MSC Sunucusu olarak ikiye ayrılmıştır. Sürüm 5 ile çekirdek şebekeye eklenen, Sürüm 6 ile ise geliştirilen IMS sayesinde; uçtan uca IP tabanlı hizmetlerin sunulması mümkün hale gelmiştir. Böylece, görüntülü ve sesli çoklu ortam bileşenlerini içeren uygulamaların etkin şekilde desteklenmesi için gereken asgari hizmet kalitesi her bir uygulamaya özel olarak sağlanmaktadır.

5.3.4. Erişim şebekesi

UMTS'nin telsiz erişim şebekesi UTRAN olarak adlandırılmaktadır. Şekil 5.4'de görüldüğü üzere UTRAN; bir Telsiz Şebeke Denetleyici (Radio Network ontroller, RNC) ile kendisine bağlı bir veya daha fazla B Düğümü(Node B)'nün oluşturduğu Telsiz Şebeke Altsistem (Radio Network Subsystem, RNS)'lerinden meydana gelmektedir. RNC'ler birbirlerine Iur arayüzleri ile bağlanmaktadır. RNC ile B düğümleri ise Iub arayüzleri üzerinden gerçekleşmektedir.

GSM'deki BTS gibi abonenin RNC ile bağlantısını sağlayan B Düğümünün işlevleri arasında;

- Hava arayüzü üzerinden iletim ve alım,
 - Modülasyon / Demodülasyon,
 - CDMA fiziksel kanal kodlaması,
 - Hata işleme,
 - Kapalı döngü güç denetimi,
- yer almaktadır.

GSM'deki BSC'nin yerini alan RNC'nin işlevleri ise;

- Telsiz kaynak denetimi,
- Şebekeye kabul denetimi,
- Kanal tahsisi,
- Güç kontrol ayarları,
- Şifreleme,
- Bölümleme, toplama,
- Yayın işaretleşmesi,
- Açık döngü güç kontrolü,
- Kullanıcı cihazının bir baz istasyonundan diğerine aktarılması anlamına gelen aktarım (handover, handoff) işlemi olarak verilebilir.

UMTS'de üç çeşit aktarım işlemi bulunmaktadır. Bunlardan ilki olan sert aktarımda kullanıcı cihazının ilk baz istasyonu ile olan bağlantısı kesildikten sonra ikinci baz istasyonu ile bağlantısı kurulur. Kullanıcı tarafından farkedilmeyen sert aktarım, pürüzsüz olarak nitelendirilir. Uygulamada, taşıyıcı frekansların değiştirilmesi gereken aktarımlar sert aktarım şeklinde gerçekleştirilir. İkinci aktarım şekli olan yumuşak aktarım esnasında, kullanıcı cihazının UTRAN ile bağlantısını sağlayan en az bir baz istasyonu bulunmaktadır. Normal şartlarda yumuşak aktarım, kullanıcının aynı frekansta çalışan hücreler arası geçişlerinde uygulanan bir yöntemdir. Yumuşak aktarımın aynı B düğümü kapsamı içinde gerçekleşen tipine Daha Yumuşak Aktarım adı verilmektedir.

UMTS'de tanımlanan aktarım çeşitleri aşağıda sıralanmaktadır:

- 3G -3G: Abonenin diğer 3G şebekelerine geçişinde kullanılır,
- FDD yumuşak/daha yumuşak aktarım: Abonenin FDD kipinde hizmet alırken diğer bir hücreye veya baz istasyonu kapsamına geçişinde kullanılır,
- FDD frekanslar arası sert aktarım: Abonenin FDD kipinde hizmet alırken diğer bir hücreye geçişinde kullanılır,
- FDD/TDD hücrelerarası aktarım: Abonenin FDD kipinde hizmet alırken diğer bir hücreye TDD kipinden hizmet almak üzere geçişinde kullanılır,
- TDD/FDD hücrelerarası aktarım: Abonenin TDD kipinde hizmet alırken diğer bir hücreye FDD kipinden hizmet almak üzere geçişinde kullanılır,
- TDD/TDD aktarım: Abonenin TDD kipinde hizmet alırken diğer bir hücreye veya baz istasyonu kapsamına geçişinde kullanılır,
- 3G'den 2G'ye aktarım: Abonenin 3G şebekeden hizmet alırken 2G şebekeye kapsamına geçişinde kullanılır,
- 2G'den 3G'ye aktarım: Abonenin 2G şebekeden hizmet alırken 3G şebeke kapsamına geçişinde kullanılır.

ETSI tarafından UTRAN'ın hava arayüzü olarak Genişbant Kod Bölmeli Çoklu Erişim (Wideband Code Division Multiple Access, WCDMA) seçilmiştir. WCDMA, CDMA2000'de de kullanılan CDMA çoklu erişim tekniğinin daha büyük bant genişliklerinde kullanılan biçimidir. WCDMA'nın gerçekleştirilmesi, kullanılan teknik nedeniyle oldukça karmaşıktır. WCDMA arayüzü sayesinde eşzamanlı olarak farklı kullanıcılar değişken hızda veri iletimi yapabilmektedir. Yüksek kapasiteli veri trafiği, bağlantı için gerekli bilgisayar tabanlı işlemlerin GSM'dekine göre 10 kat daha fazla olmasına yol açmaktadır. Bu sayede UMTS şebekesi 2G hizmetlerin tümünü desteklemekte, ilave olarak da sayısız hizmet ve uygulamaların sunulması için bir platform oluşturmaktadır. WCDMA'da kullanıcı ya da B düğümü tarafından gönderilen veriler, WCDMA yayılım kodlarından türetilen rastlantısal bitlerle çarpılarak iletilmektedir. UMTS'de kodlar, kanal oluşturmanın yanı sıra senkronizasyon için de kullanılır. WCDMA'da, CDMA'dan farklı olarak FDD ve TDD olmak üzere iki temel çalışma kipi bulunmaktadır.

FDD kipi, biri şebekeye biri de kullanıcıya doğru olmak üzere bir frekans çiftine ihtiyaç duyar. FDD kipi, kentsel ve kırsal alanlarda geniş alan kapsama amacıyla tanımlanmıştır. Bu kip eşzamanlı gerçekleşmesi gereken ses, video konferans gibi bakışimli uygulamalar için uygun olup tam hareketliliğe imkan tanımaktadır.

TDD kipi, tek frekans bandının çift yönlü veri aktarımı için kullanılması anlamına gelmektedir. Bu amaçla veri, belirli bir zaman aralığı süresince ya kullanıcıya doğru ya da şebekeye doğru iletilebilir. TDD'nin yüksek ve düşük yonga hızında olmak üzere iki şekli bulunmaktadır. İlki, 5 MHz bant genişliğinde ve 3,84 Mc/s yonga hızında çalışırken, ikincisi 1,6 MHz bant genişliği ve 1.28 Mc/s yonga hızında çalışmaktadır. Düşük yonga hızındaki TDD çalışma kipi TDSCDMA olarak da adlandırılmaktadır. TDSCDMA; FDMA, TDMA ve CDMA'nın esnek bir birleşiminden oluşmaktadır ve hem

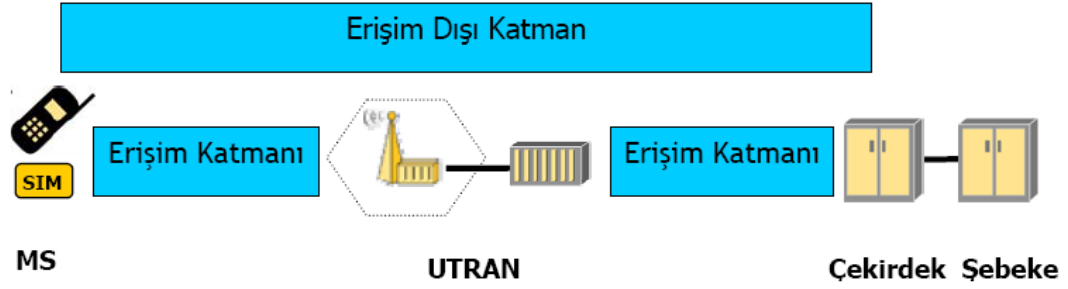
kullanıcıya doğru hem de şebekeye doğru eşzamanlı veri aktarımına imkan vermektedir. Çin kaynaklı bir çoklu erişim tekniği olan TDSCDMA Avrupa menşeli teçhizat üreticilerden Siemens'in Çinli kuruluşlarla birlikte yürüttüğü ortak çalışma sonucu Sürüm 4 ile birlikte UMTS'ye dahil edilmiştir.

GSM'nin sahip olduğu 200 KHz'lik, CDMA MC'nin ise 1,25 MHz'lik taşıyıcı bantlarına karşılık, UMTS'de 5 MHz'lik taşıyıcılar kullanılmaktadır. Daha geniş taşıyıcı frekans bandı sayesinde; bir vericiden çıkan bir telsiz dalgası, coğrafi veya kentsel yapılardan dolayı oluşan yansımalar sayesinde birden fazla yolu kullanarak alıcıya ulaşır. Bu dalga bileşenleri alıcıda birleştirilerek daha hızlı veri iletimi sağlanmış olur.

UMTS'de uyumlu (coherent) demodülasyonun kullanılması nedeniyle, B düğümleri ile UE'lerin senkronizasyon için, CDMA MC'de kullanılan GPS (Global Positioning System) yerine kendi iç saatlerini kullanmaktadır.

5.3.5. İşaretleşme şebekesi

İşaretleşme terimi şebekenin denetlenmesi için özel denetim mesajlarının iletilmesi amacıyla kullanılan verileri tanımlamak için kullanılmaktadır. Bu yönüyle işaretleşme verileri, bir aboneden diğerine gönderilen abone verilerinden farklılık arz etmektedir. Şekil 5.4'te gösterildiği üzere yapısal olarak; abone terminali, erişim şebekesi ve çekirdek şebeke olarak üçe ayrılan UMTS sisteminde verilerin bu üç şebeke parçası arasında iletilmesi için kullanılan protokoller Erişim Katmanı Protokolleri (EKP) ve Erişim Dışı Katman Protokolleri (EDKP) olmak üzere iki sınıf altında toplanmaktadır. EKP, erişim teknolojisi ile ilgili verilerin abone terminali ile UTRAN ya da UTRAN ile çekirdek şebeke arasında iletilmesi için kullanılan düşük seviyeli protokollerdir. EDKP ise erişim şebekesinden bağımsız verilerin iletilmesinde kullanılır. EDKP ile iletilen veriler erişim şebekesinde değişime uğramadan doğrudan çekirdek şebekeye iletilir.



Şekil 5.4. UMTS'de veri iletim protokollerinin sınıflandırılması

EKP ile iletilen işaretleşme verilerine; sistemin güç kontrol döngülerine ilişkin veriler, abonelerin baz istasyonları arası aktarım işlemlerinin denetimine ilişkin veriler ve abonelere kanal tahsisi işlemlerine ilişkin veriler ile çağrı kurulmasına ilişkin veriler örnek olarak verilebilir. EDKP ile iletilen işaretleşme verilerine ise çağrı kurma işlemlerine ilişkin veriler örnek olarak verilebilir. Çağrı kurulması işlemleri erişim şebekesinden bağımsız bir işlemdir ve çekirdek şebekeden gelen örneğin çağrı kurulması mesajı erişim şebekesinde değişime uğramadan doğrudan abone terminaline iletilir.

6. BİR CDMA SİSTEMİ SİMÜLASYONU (IS-95)

IS-95 sisteminde kullanılan fonksiyonel blokların simülasyonu için Şekil 6.1'den yararlanılmıştır. Simülasyonda bazı varsayımlar yapılmış, sistem temel bantda 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 msn'lik IS-95 çerçevesine 192 bit yerleştirilmiştir. Bir IS-95 DL kanalında kullanılan fonksiyonel blokların özellikleri şu şekilde sıralanabilir.

gen_rand_data : 20 msn'lik her bir IS-95 CDMA çerçevesi için 192 bit üretir.

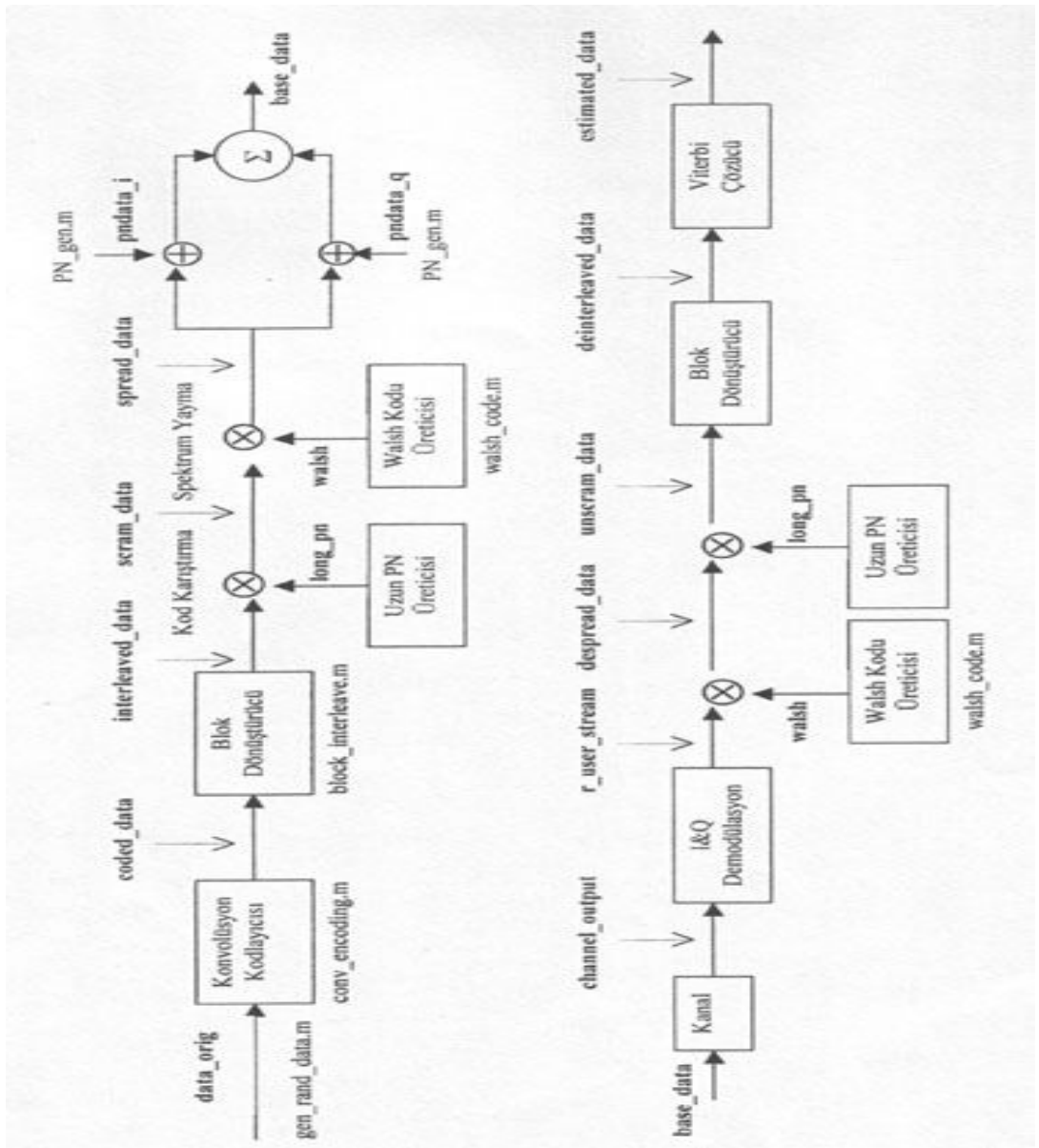
conv_encoding : Konvolüsyonel kodlamayı gerçekleştirir, hız $\frac{1}{2}$ seçildiğinden 192 bit, kodlanarak blok çıkışında 384 bit olur. Üretici polinomlar da bu modülün içinde belirtilmektedir. ($r=1/2$, $K=9$, $G1=(753)$, $G2=(561)$).

block_interleave : Konvolüsyonel olarak kodlanan veri, hatalardan daha az etkilenmesi için blok dönüştürücüden geçirilir. Bu modül, belirli bir sıra ile giriş bitlerini alıp 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.

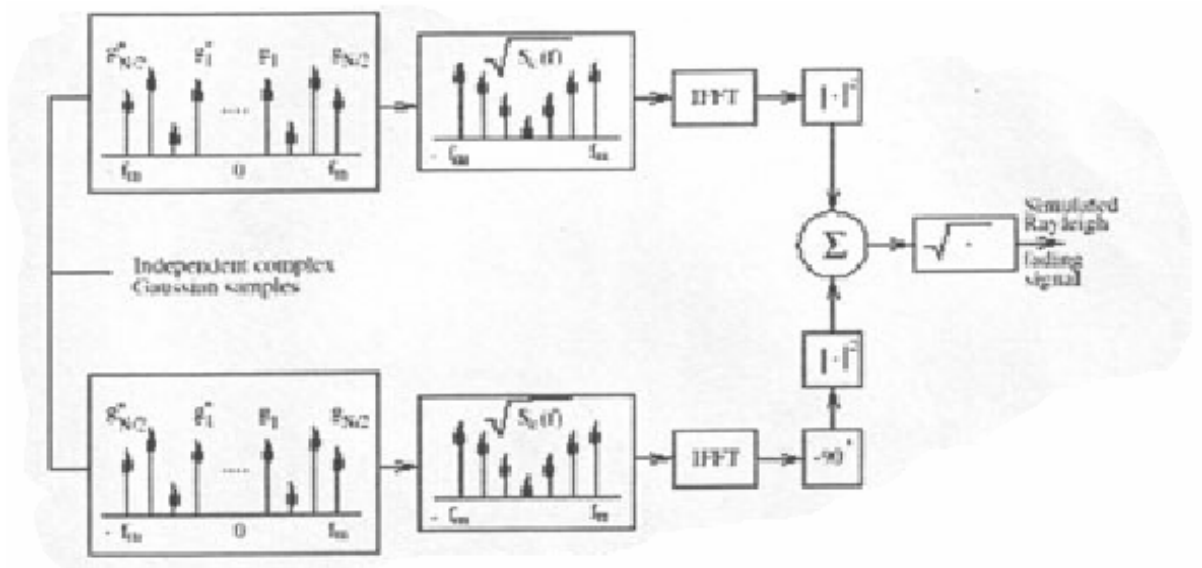
PN_gen : İstenilen uzunlukta PN dizisi üretir. I ve Q dalları için ayrı ayrı üretilen bu PN dizileri ile yaydırılmış veri çarpılır. Daha sonra bu I ve Q dalları toplanıp kanala verilir.

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

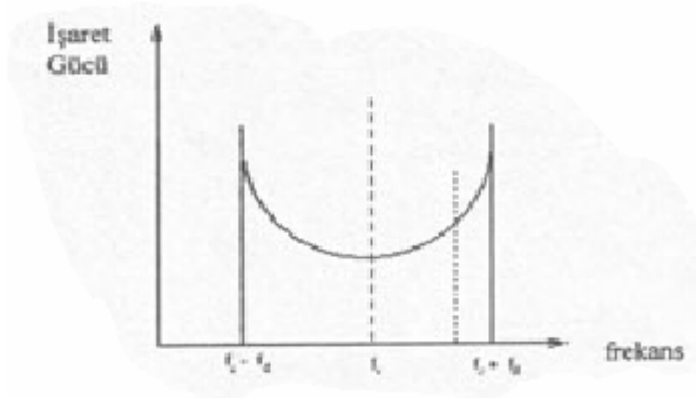


Şekil 6.1. IS-95 CDMA DL kanalı simülasyonunda kullanılan bloklar ve kodları

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. Eş.6.1 ile verilen $S_c(f)$ 'nin spektrumu da Şekil 6.3'de görülebilir. Daha düzgün rastgele işaretler elde etmek için IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) kullanılır, sonuçta elde edilen örneklerin karesi alınır. Son olarak da kareleri alınmış işaretlerin toplanması ile elde edilen değerlerin karekökü alınarak, Rayleigh Fading örnekleri Mobil kullanıcının farklı hızları için, haberleşme kanalının Rayleigh dağılımı da Eş.6.1'e bağlı olarak değişecektir. Böylece mobil kullanıcının değişik hızlarında DL kanalının BER performansını çıkartabilmek mümkün olmaktadır.



Şekil 6.2. Rayleigh Fading simülatörü



Şekil 6.3. Doppler güç yoğunluk spektrumu

$$S_c(f) = \frac{1}{\pi f_d \sqrt{1 - \frac{(f - f_c)^2}{f_d^2}}} \quad (6.1)$$

f_c : taşıyıcı frekans

f_d : Doppler frekansı

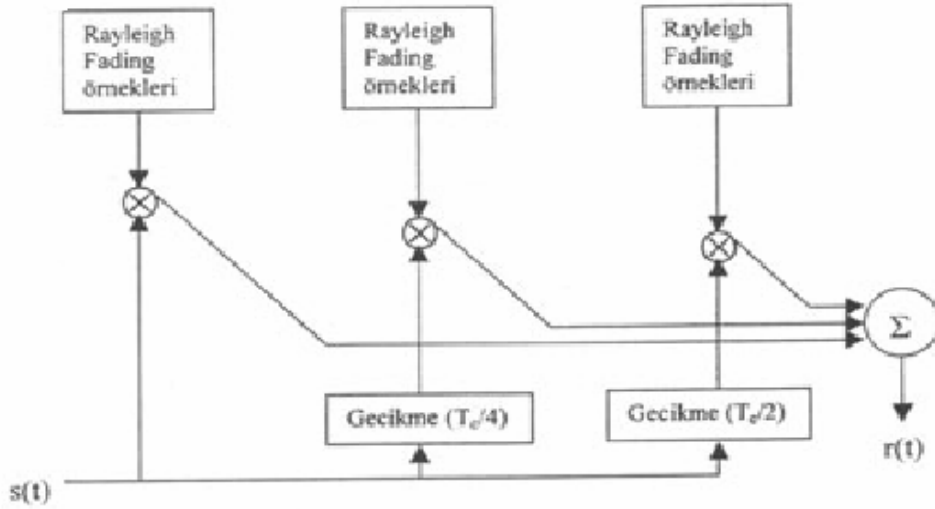
$f_d = V / (f_c/c)$

V : Mobil kullanıcı hızı

c : ışık hızı

Rayleigh fading değerleri elde edildikten sonra, birden fazla fading simülatörü kullanılarak FSF kanalı oluşturulur. Bunu elde etmek için Şekil 6.4'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 sağlanmış; üçüncü yol ise $T_c/2$ gecikme ile elde edilmiştir. Şekil 6.2'deki Rayleigh Fading simülatörü,

ilişkide verilen `rayleigh_generator.m` MATLAB programı ile sağlanabilir. Çokluyol işaretleri, alıcıya geldiği zaman, fazlarına bağlı olarak yapıcı veya yıkıcı bir girişim oluşturarak toplanırlar. Sonuç olarak, herbir çokluyol sekmesinin gücü zamanla değişkendir. 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 6.4. FSF model gösterimi

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.

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 6.1'de ve Şekil 6.5'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. Programa 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 Değerini giriniz: default 0
```

```
Eb/No Bitiş Değerini giriniz: default 8 5
```

```
İterasyon sayısı = 80
```

```
Spread Factor(SF) = 64
```

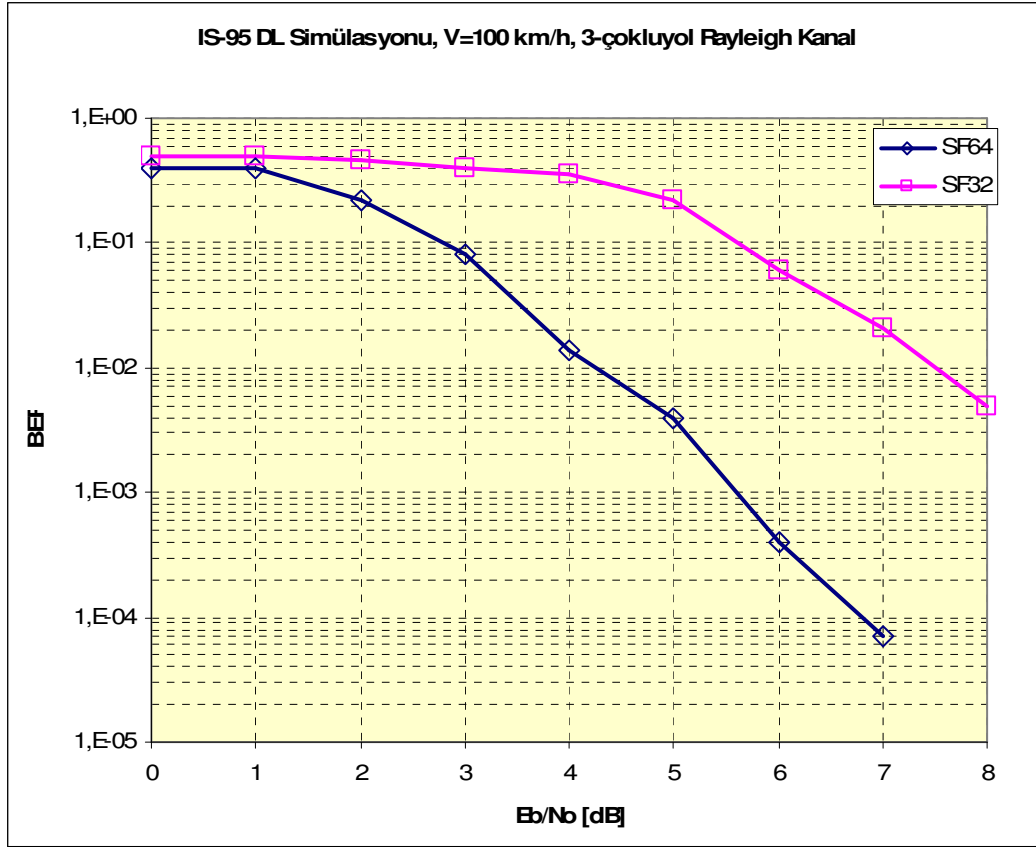
```
Doppler Frekansı = 185.19, Hz
```

```
Mobil Hızı = 100.0 km/saat
```

<u>E_b/N₀ (dB)</u>	<u>BER</u>
0.0	0.4344917
1.0	0.4147245
2.0	0.2302896
3.0	0.0796124
4.0	0.0128021
5.0	0.0037218

Çizelge 6.1. IS-95 CDMA DL kanalında SF=32 ve SF=64 değerleri için BER'in E_b/N₀ ile değişimi

E_b/N₀	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 6.5. IS-95 CDMA-DL kanalında SF=32 ve SF=64 değerleri için BER'in Eb/No ile değişimi

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

Konvolüsyon kodlamanın kullanıldığı bir sistemde, BER'in Eb/No ile değişimi, kanalın AWGN veya Rayleigh dağılımı ile karakterize edilmesi durumları için Eb/No'nun 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.

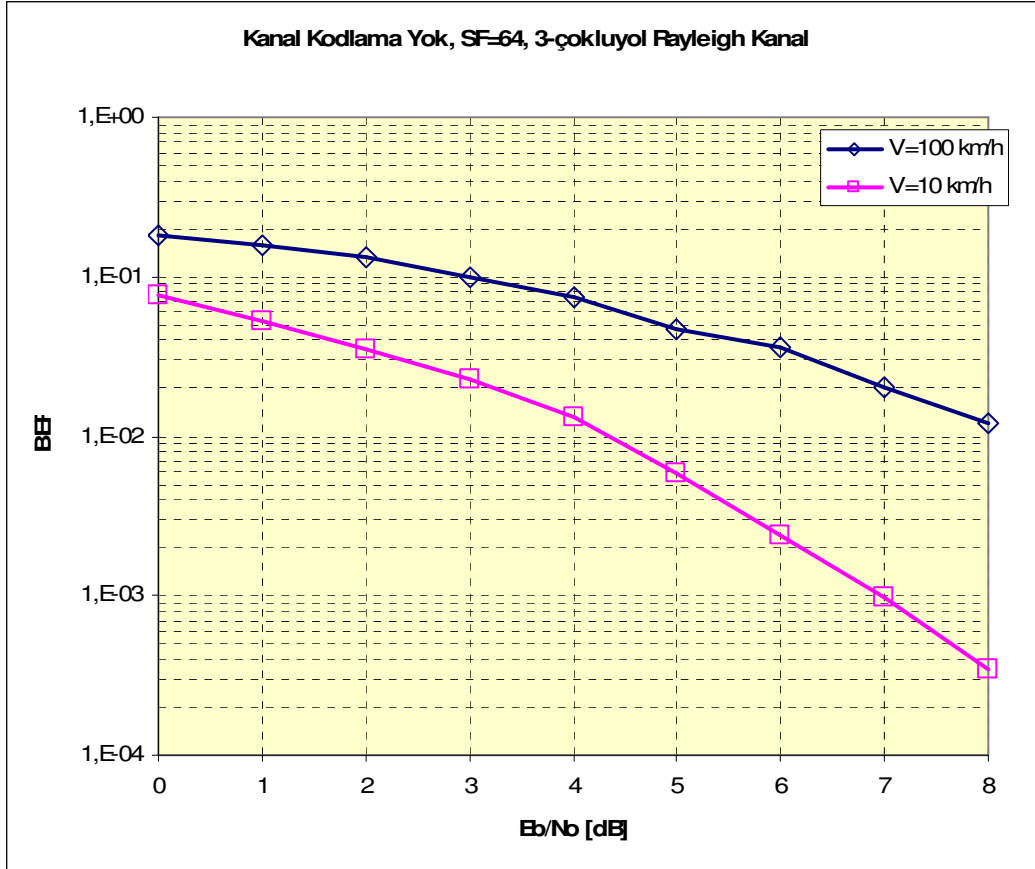
Kanal kodlamasının kullanılmadığı duruma DS (Doğrudan Yayma) modeli dersek, DS ile IS-95 modeli karşılaştırılıp hangi durumlar için DS'in IS-95'e yaklaşabildiğini tespit edebiliriz. IS-95 modeli için yine aynı kod (main_is95.m) kullanılırken, DS için main_ds.m kodu kullanılmıştır. DS'de

konvolüsyon kodlama kullanılmadığından dolayı vericide konvolüsyon kodlama ve blok dönüştürücü fonksiyonel bloklarına gerek kalmamıştır.

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 Çizelge 6.2'de ve Şekil 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.2. DS modelinde 100 ve 10 km/saat mobil hızları için BER'in Eb/No ile değişimi (SF=64)

E_b/N_0	BER (V=100 km/h hız için)	BER (V=10 km/h hız 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

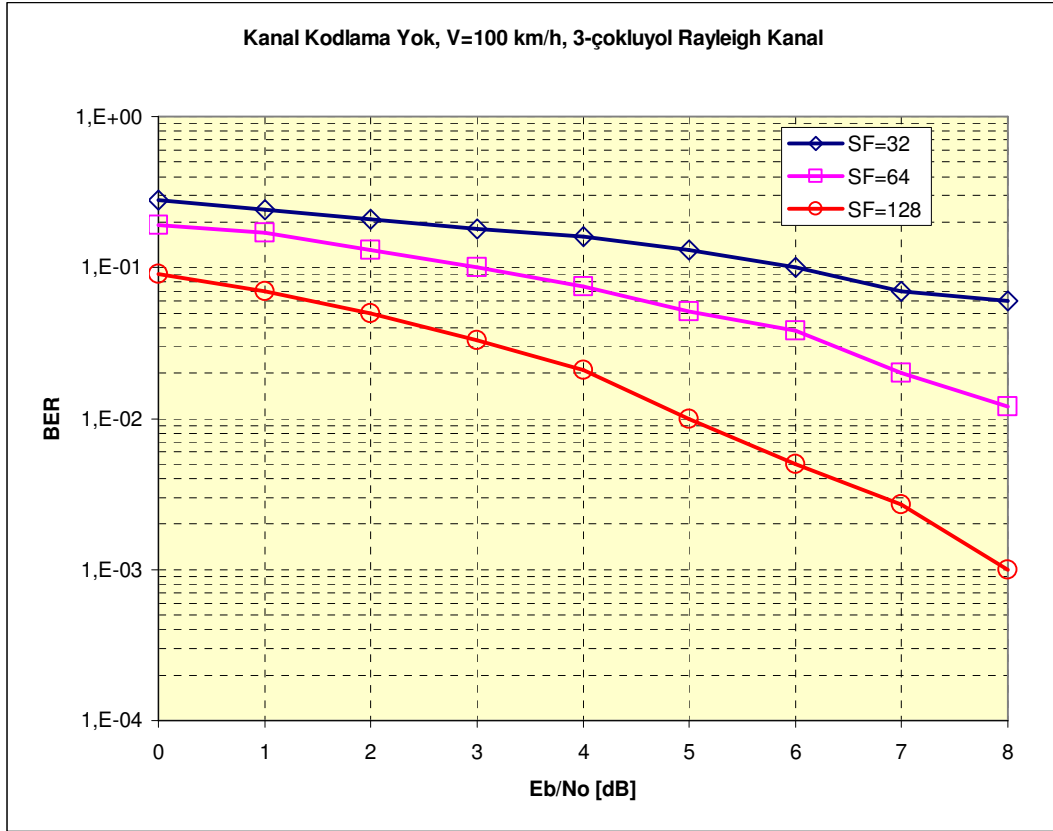


Şekil 6.6. DS modelinde 100 ve 10 km/saat mobil hızları için BER'in E_b/N_0 ile değişimi (SF=64)

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 Çizelge 6.3 ile Şekil 6.7'da verilmiştir.

Çizelge 6.3. DS modelinde 100 km/saat mobil hızında farklı SF değerleri için BER'in Eb/No ile değişimi

Eb/No	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 6.7. DS modelinde 100 km/saat mobil hızında farklı SF değerleri için BER'in Eb/No ile değişimi

Yayma Faktörü'nü (SF), bir başka deyişle işlem kazancını, arttırdıkça sistemin performansı da büyük oranda iyileşmektedir. SF=128 için BER'in, SF=64'e göre yaklaşık 10 kat daha iyi sonuç verebildiği Şekil 6.7'den görülebilir. Şimdi IS-95 yani kanal kodlama kullanılan durum ile DS modelini karşılaştıralım. Aynı koşullar altında kanal kodlama kullanılması ve kullanılmaması durumlarında elde edilen BER değerleri Şekil 6.7'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.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

1990'lı 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, hücrel 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, hücrel 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 Eb/No'nun 5 dB ve üzeri değerleri için kabul edilebilir sonuçlar elde edilmiştir. SF değeri 32 seçilerek aynı simülasyon koşuturulduğunda ise ancak Eb/No>8 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. 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 kanala tanıtılmıştır. Sonuç olarak hız arttıkça zayıflama çukurlarının sıklaşması ve derinleşmesinden dolayı BER değişiminde kötüşmeler tespit edilmiştir. Daha sonra DS modeli kullanıldığında SF'in değıştirilmesi 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 artırılması 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; kanal kodlama kullanılması ve kullanılmaması durumlarında elde edilen BER değerleri çıkartılmıştır. 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.

IMT-2000 projesi, gelecek nesil kişisel mobil iletişim için uluslar arası 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 nedenlerinde 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'in senkron şebekeye, UTRA'nın ise asenkron şebekeye sahip olmasıdır. cdma2000, baz istasyonu senkronizasyonu için GPS'lerden faydalanacaktır, bu da cdma2000'e daha hızlı senkronize olabilmeye avantajını getirmektedir; dezavantajı ise, GPS işaretinin alınmasının yeraltında veya büyük binaların olduğu kalabalık şehirlerde zor olmasıdır. cdma2000'in 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 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 standartlarda birlikte çalışabilmesi için, terminallerin çok-modlu ve çok-bandlı olması gerekmektedir.

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 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 kanısındaım. Sabit 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 çözümlerdir.

Gelecekte oluşturulacak 4. Nesil (4G) mobil sistemlerde, muhtemelen bant genişliği 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.

KAYNAKLAR

1. Walsh, P. Downey, R., Boland, S., "Communications Technology Guide for Business", **Artech House**, London, 207-212 (1998).
2. Web, W., "Understanding Cellular Radio", **Artech House**, London, 50-55 (1998).
3. Hanzo, L., "The Pan-European Cellular System, The Mobile Communications Handbook 2nd ed.", Gibson, J.D., **IEEE Press, CRC Press**, Dallas-Texas, 80-86 (1999).
4. Noll, A.M., "Introduction to Telephones and Telephone Systems 3rd ed.", **Artech House**, London, 16-33 (1999).
5. Bates, R.J., Gregory, W., "Voice and Data Communications Handbook", **McGraw-Hill**, New York, 41-56 (1998).
6. Kumar, V., Delprat, M., "Enhancements in Second Generation Systems, The Mobile Communications Handbook, 2nd ed.", Gibson, J.D., **IEEE Press, CRC Press**, Dallas-Texas, 11-15 (1999).
7. Karim, M.R., Sarraf, M., "W-CDMA and CDMA2000 for 3G Mobile Networks", **McGraw-Hill**, New York, 20-48 (2002).
8. Holma, H., Toskala, A., "WCDMA for UMTS Radio Access For Third Generation Mobile Communications", **Wiley**, West Sussex, 15-51 (2001).
9. Korhonen, J., "Introduction to 3G Mobile Communications 2nd ed.", **Artech House**, London, 1-5, 49-70 (2003).
10. Holma, H., Toskala, A., "WCDMA for UMTS, Radio Access for Third Generation Mobile Communication Revised ed.", **John Wiley&Sons Ltd.**, England, 70-83 (2001).
11. Schwartz, M., "Mobile Wireless Communications", **Cambridge University Press**, UK, 9-22 (2005).
12. Stallings, W., "Wireless Communications and Networking", **Prentice Hall**, New Jersey, 26-45 (2002).
13. Darıcı A., "3. Nesil Mobil Haberleşme Sistemleri" Uzmanlık Tezi, **Telekomünikasyon Kurumu**, Ankara, 33-35 (2002).

E K L E R

EK-1. 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 ve 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
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(51-(d)));
% Serbest Uzay Yol Kaybı Hesaplaması
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)

```

EK-1. (Devam) MATLAB Kodu (aktarma.h)

```
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-2. BER Performans değerlendirmesi

```

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(Sprad Factor, Yayma Faktörü): default 64');
If isempty (Spread_factor)
    Spread_factor = 64;
end
%Number of iterations
nltrs = input('iterasyon sayısını giriniz: default 5');
if isempty (nltrs),
    nltrs = 5;
end
%Start Eb/No
Eb/No_start = input('Eb/No Başlangıç Değerini giriniz: default 0');
If isempty (EbNo_start)
    EbNo_start = 0;
end
End Eb/No
EbNo_end = input ('Eb/No Bitiş Değerini giriniz: default 8');
If isempty(EbNo_end)
    EbNo_end = 8;
end
end

```

EK-2 (Devam) BER Performans değerlendirmesi

```

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));

```

EK-2 (Devam) BER Performans değerlendirmesi

```

%%%%%%%%%%
% 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 row    %
%%%%%%%%%%
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);

```

EK-2 (Devam) BER Performans değerlendirmesi

```

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)];

```

EK-2 (Devam) BER Performans değerlendirmesi

```

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;
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 despreaded data with the same Long code generated in
transmitter %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
unscram_data = despread_data.*long_pn(1:length(despread_data));

```

EK-2 (Devam) BER Performans değerlendirilmesi

```

%%%%%%%%%%
% Denterleaver                                %
%%%%%%%%%%
deinterleaved_data = deconverter(blok_interleave(unsram_data,16,24));
%%%%%%%%%%
% Viterbi Decoding                            %
%%%%%%%%%%
estimated_data = V_control(deinterleaved_data);
%%%%%%%%%%
% Calculation BER                             %
%%%%%%%%%%
Errors = find (estimated_data – data_orig);
BER(itters) = length(Errors)/length(data_orig);
end
AvBER(EbNoIndex) = sum(BER)/nlters;
end
fprintf(' itersyon sayısı = %6d\n', nlters);
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');
fori = 1:length(AvBER)
    fprintf('%10.1f %10.7\n', LogFadeEbNo(i),AvBER(i));
end
gam_dB = linspace(EbNo_start,EbNo_end,Anz_SimPunkte);
figure(1)
semilogy(gam_dB,AvBER,'r*-');
hold;

```

EK-2 (Devam) BER Performans değerlendirmesi

grid

legend ('3-okluyol Fading Kanalı')

xlabel ('EbNo [dB]'), ylabel('BER')

title ('IS-95 CDMA DL kanalı için BER Değerlendirmesi');

EK-3. Kullanıcı sayısı performans değerlendirmesi

```

%%%%%%%%%%
% 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;
nltrs = 2;
for iters = 1:nltrs
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_inter);
    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;

```

EK-3 (Devam) Kullanıcı sayısı performans değerlendirmesi

```

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
end

```

EK-3 (Devam) Kullanıcı sayısı performans değerlendirmesi

```
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)/nltrs;
AvBER_DS = sum(BER_DS)/nltrs
```

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇETİNKAYA, Nihal
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 23.01.1980 Isparta
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (312) 414 33 81
Faks : -
e-mail : nihalcetinkaya@yahoo.com.

Eğitim Derece

Lisans

Eğitim Birimi

Süleyman Demirel Üniversitesi

Elektronik ve Haberleşme

Mühendisliği

Mezuniyet tarihi

2002

Lise

Gazi Lisesi

1998

İş Deneyimi

Yıl

2003-2006

2006-

Yer

Milli Savunma Bakanlığı

Hava Kuvvetleri Komutanlığı

Görev

Uzman Yrdc.

Teğmen

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Müzik, masa tenisi, sinema