

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÜÇÜNCÜ NESİL
MOBİL TELEKOMÜNİKASYON
SİSTEMLERİNİN GELİŞİMİ ve RADYO YÜKLEME
STRATEJİLERİ**

BANU ŞAHİN TÜMER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**MALATYA
Ocak 2010**

Tezin Başlığı: Üçüncü Nesil Mobil Telekomünikasyon Sistemlerinin Gelişimi ve Radyo Yükleme Stratejileri

Tezi Hazırlayan: Banu Şahin Tümer

Sınav Tarihi: 05/05/2010

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jürisi Üyeleri

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. Asım KÜNKÜL
Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Üçüncü Nesil Mobil Telekomünikasyon Sistemlerinin Gelişimi ve Radyo Yükleme Stratejileri” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Banu Şahin Tümer

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÜÇÜNCÜ NESİL MOBİL TELEKOMÜNİKASYON SİSTEMLERİNİN GELİŞİMİ ve RADYO YÜKLEME STRATEJİLERİ

Banu Şahin Tümer

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği

121 + xiii sayfa

2010

Danışman: Yrd. Doç. Dr. M. Emin TAĞLUK

Mobil Haberleşme sistemleri; birinci nesil olarak adlandırılan analog mobil haberleşme sistemleri ile başlamıştır. Birinci nesil mobil haberleşme sistemlerinin sadece ses temelli hizmetler sunabilmesi, hizmet kalitesinde sıkıntılar yaşanması neden olmuş, ikinci nesil mobil haberleşme sistemlerine (2G) ihtiyaç duyulmuştur. İkinci nesil haberleşme sistemleri sesin yanında düşük hızlı veri iletimine de imkan tanıyan sayısal bir mobil haberleşme teknolojisidir. İkinci nesil haberleşme sistemlerinde düşük hızlarda oluşan veri iletimindeki yetersizlik 2,5 Nesil (2,5 G) sistemine geçişi gerçekleştirmiştir.

2,5 Nesil, 2G ye göre daha hızlı veri iletimini sağlayan bir teknolojidir. 2,5 Nesilde GPRS ve EDGE teknolojisi maksimum 59,2Kbps hızına ulaşabilmiştir. 2,5G sisteminden sonra yeni bir kuşak olan hem ses hem de hızlı veri iletimine imkan sağlayan; zaman ve frekansı aynı anda kullanabilen üçüncü nesil (3G) genişband teknolojisi geliştirilmiştir. Üçüncü Nesil (3G) genişband haberleşme sistemlerinin en büyük avantajı ses ve görüntü datalarının belirlenmiş kodlar yardımıyla güvenli ve hızlı bir şekilde iletilmesine olanak sağlamasıdır. Genişband haberleşme sistemlerinde 5 Mhz bant genişliğinde data hızı 384 kbps/2 Mbps'na ulaşmaktadır.

Bu çalışmada, mobil haberleşme sistemlerinin tarihçesi, çoklu erişim teknikleri, üçüncü nesil genişband haberleşme sistemlerinden W-CDMA tekniğinin hava arayüzü, fiziksel katman performansı, UMTS yayma ve derleme hesaplamaları, Rayo Kaynak Yönetimi, hava arabirim yukarı ve aşağı bağlantı yük faktörü hesaplamaları, 3GPP performans gereksinimleri ve iyileştirmeleri, uplink-downlink performans analizi ve hesapları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: GSM, UMTS, 3G, WCDMA, Fiziksel Katman

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE THIRD GENERATION MOBILE COMMUNICATION SYSTEMS'S DEVELOPMENT AND RADIO LOAD STRATEGIES

Banu Şahin Tümer

İnönü University
Natural and Applied Sciences Institute
Electrical and Electronics Engineering

121 + xiii page

2010

Advisor: Assis. Prof. Dr. M. Emin TAĞLUK

Mobile Communication systems began with analog communication technology as first generation. Since the first generation mobile communication systems serve only voice-based service, there had been some problems with the service quality. Second generation communication systems (2G) had taken place because of these problems. Beside voice, second generation communication systems has digital mobile communication technology which presents the possibility to low rate data transmission. Because of insufficiency in low rate data transmission, 2.5 generation (2.5G) system had been developed temporarily.

2.5 Generation serves higher rate of data transmission compared with 2G. GPRS and EDGE technology reaches to a maximum value of 59.2Kbps rate in 2.5G. Third generation (3G) wideband communication systems had been developed after the 2.5 G system, which serves higher rate of voice and data transmission and which makes it possible to use both time and frequency. The biggest advantage of the the third generation (3G) wideband communication systems is the ability of transmitting both the voice and image data's in secure and with high rates by determined codes. Data rate reaches to a value of 384Kbps/2Mbps with 5 MHz of bandwidth in wideband communication systems.

In this thesis, the development of mobile communication systems, the air interface of W-CDMA technique in third generation wideband mobile communication systems, physical layer performance, calculation of UMTS spreading and despreading, radyo resource management, 3GPP performance requirements and enhancements, uplink-downlink performance analysis and calculations have been studied.

Keywords: GSM, UMTS, 3G, WCDMA, Physical Layer

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. M. Emin Tağluk'a, yüksek lisans eğitimim sırasında emeği geçen hocalarıma, her zaman her konuda ilgi ve desteği ile beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan eşim Davut Tümer ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
TABLolar LİSTESİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. Materyal ve Yöntem	3
3. Araştırma Bulguları	3
4. MOBİL HÜCRESEL HABERLEŞME SİSTEMLERİNİN TARİHÇESİ..	4
4.1. Birinci Nesil	5
4.2. İkinci Nesil	6
4.2.1. GSM	7
4.3. 2.5G Nesil	11
4.3.1. HSCSD	11
4.3.2. GPRS	12
4.3.3. EDGE	15
4.4. Üçüncü Nesil	15
4.4.1. Üçüncü nesile geçiş nedenleri	16
4.5. Veri İletişim Karakteristiği	16
4.5.1. Devre anahtarlama	17
4.5.2. Paket anahtarlama	18
5. UMTS	21
5.1. UMTS'in Sağladığı Özellikler	21
5.2. UMTS'in Sağladığı Hizmetler	21
5.3. UMTS Standartları	23
5.3.1. Hava arayüzü ve özellikleri	23
5.3.2. Hücre yapısı	24
5.4. UMTS Mimarisi	26
5.4.1. Node B, kullanıcı cihazı ve diğer modüller	27
5.4.2. Çekirdek şebeke	29
5.4.3. UTRAN	30
6. ÇOKLU ERİŞİM TEKNİKLERİ	34
6.1. FDMA	35
6.2. TDMA	35
6.3. CDMA	37
6.3.1. CDMA'nın avantajları	38
6.3.2. CDMA'nın yaygın spektrumu	39
7. UMTS ve W-CDMA	46

7.1.	UMTS Radyo Erişimi	46
7.2.	W-CDMA	47
7.2.1.	Yayma ve derleme	50
7.2.2.	CDMA sistemlerinin kapasitesi	53
7.2.3.	Radyo arabirimi	56
7.2.4.	WCDMA'ın faydaları	56
7.3.	UMTS'in Başlıca Yenilikleri	59
7.3.1.	GSM sistemine kıyasla yeni özellikler	59
7.3.2.	GPRS sistemine kıyasla yeni özellikler	60
7.4.	WCDMA Hava Arayüzü	62
7.4.1.	Taşıma kanalları	62
7.4.1.1.	Ortak kanallar	63
7.4.1.2.	Tahsis edilmiş kanallar	64
7.4.2.	Fiziksel kanallar	65
7.4.3.	Mantıksal kanallar	68
7.5.	Radyo Protokol ve Radyo Protokol Mimarisi	69
7.5.1.	Fiziksel katman (L1) servisleri ve fonksiyonları	70
7.5.2.	Veri bağlantı katmanı (L2) servisleri ve fonksiyonları	71
7.5.2.1.	Ortam erişim kontrolü (MAC) protokolü	71
7.5.2.2.	Radyo link kontrolü (RLC) protokolü	73
7.5.3.	Ağ katmanı (L3) servisleri ve fonksiyonları	75
7.5.3.1.	Radyo kaynak kontrolü (RRC) protokolü	75
8.	RADYO KAYNAK YÖNETİMİ	77
8.1.	Radyo Kaynak Yönetimi ile Gerçekleştirilen Fonksiyonlar	77
8.2.	Girişim Bazlı Radyo Kaynak Yönetimi	79
8.3.	Güç Kontrolü	81
8.4.	Hava Arabirim Yükünün Ölçülmesi	81
8.4.1.	Yukarı bağlantı yükü	81
8.4.2.	Aşağı bağlantı yükü	86
8.5.	Kabul Kontrolü	89
8.5.1.	Güç tabanlı kabul kontrol stratejisi	90
8.5.2.	Net çıkış verimine dayanan kabul kontrol stratejisi	93
9.	FİZİKSEL KATMAN PERFORMANSI	94
9.1.	Hücresel Kapsama	94
9.1.1.	Uplink kapsamı	95
9.1.1.1.	Veri bit hızı	95
9.1.1.2.	Adaptif çok hızlı konuşma kodlayıcısı	98
9.1.2.	Downlink kapsamı	99
9.2.	Downlink Hücre Kapasitesi	100
9.2.1.	Downlink ortogonal kodlar	100
9.2.1.1.	Çok-yol çeşitleme kazancı	100
9.2.1.2.	Değişik ortamlarda downlink kapasitesi	101
9.2.1.3.	Ortogonal kod sayısı	102

9.2.2.	Downlink ses kapasitesi	103
9.3.	Kapasite Denemeleri	105
9.3.1.	Tek hücre kapasite denemeleri	105
9.3.1.1.	AMR ses kapasitesi uplink	105
9.3.1.2.	AMR ses kapasitesi downlink	107
9.3.2.	Çok hücre kapasite denemeleri	113
9.3.2.1.	Uplink yöntemliliği	113
9.3.2.2.	Downlink yöntemliliği	113
9.4.	3GPP Performans Gereksinimleri	115
9.4.1.	RF gürültü faktörü	116
10.	SONUÇ ve ÖNERİLER	117
11.	KAYNAKLAR	120

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
GHz	Frekans birimi
dB	Desibel
E_c/N_0	Chip enerjisi/gürültü değeri
Kbps	Data hız birimi
kHz	Frekans birimi
Mbps	Data hız birimi
Mcps	Bit hız birimi
MHz	Frekans birimi
Kısaltmalar	Açıklama
1G	First Generation (Birinci nesil haberleşme sistemleri)
2G	Second Generation (İkinci nesil haberleşme sistemleri)
3G	Third Generation (Üçüncü nesil haberleşme sistemleri)
3GPP	3G Partnership Project (Üçüncü Nesil Ortaklık Projesi)
AICH	Acquisition Indication Channel (Edinme Bildirim Kanalı)
AMPS	Advanced Mobile Phone Service (Gelişmiş Mobil Telefon Hizmeti)
AMR	Adaptive Multi Rate (Uyarlamalı Çoklu Oranlı)
ANSI	American National Standards Institute (Amerikan Ulusal Standartlar Kurumu)
ATM	Asynchronous Transfer Mode (Eşzamansız İletim Modu)
AUC	Authentication Center (Doğrulama Merkezi)
BCH	Broadcast Channel (Genişband Kanal)
BER	Bit Error Rate (Bit Hata Oranı)
BLER	Block Error Rate (Blok Hata Oranı)
BMC	Broadcast Multicast Control (Genişband Multicast Kontrol)
BPSK	Binary Phase Shift Keying (İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama)
BS	Base Station (Baz İstasyonu)
BSC	Base Station Controller (Baz İstasyonu Denetleyicisi)
BSS	Base Station Subsystem (Baz İstasyonu Alt Sistemi) (BTS+BSC)
BTS	Base Transceiver Station (Baz Alıcı-Verici İstasyonu)
CC	Call Control (Çağrı Kontrolü)
CDMA	Code Division Multiple Access (Kod Bölmeli Çoklu Erişim)
CFN	Connection Frame Number (Bağlantı Çerçeve Sayısı)
CN	Core Network (Çekirdek Şebeke)
CPCH	Common Packet Channel (Ortak Paket Kanalı)
CPHY	Control PHY (Kontrol PHY)
CPICH	Common Pilot Channel (Ortak Kılavuz Kanalı)
CRC	Cyclic Redundancy Check (Çevrimsel Fazlalık Denetimi)
CS	Circuit Switched (Devre Anahtarlama)
D-AMPS	Digital AMPS (Sayısal AMPS)

DCCH	Dedicated Control Channel (Tahsisli Kontrol Kanalı)
DCH	Dedicated Channel (Ayrılmış Kanal)
DCS	Digital Communications System (Sayısal Hücresel Sistem)
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications (Geliştirilmiş Sayısal Kablosuz Telekomünikasyon)
DL	Downlink (Baz istasyondan Mobil istasyona doğru iletim)
DPCH	Dedicated Physical Channel (Ayrılmış Fiziksel Kanal)
DPCCH	Dedicated Physical Control Channel (Tahsisli Fiziksel Kontrol Kanalı)
DPDCH	Dedicated Physical Data Channel (Tahsisli Fiziksel Veri Kanalı)
DS-CDMA	Direct Sequence CDMA (Doğrudan Çarpım CDMA)
DSCH	Downlink Shared Channel (Downlink Paylaşımlı Kanal)
DSL	Digital Subscriber Line (Sayısal Abone Hattı)
DTX	Discontinuous Transmission (Kesintili İletim)
ECSD	Enhanced Circuit Switch Data (Devre Anahtarlama iletim)
EDGE	Enhanced Data Rates for Global Evolution (Küresel Evrim İçin Geliştirilmiş Veri Hızları)
EGPRS	Enhanced GPRS (Paket Anahtarlama iletim)
EGSM	Extended GSM (Genişletilmiş GSM)
EIR	Equipment Identity Register (Cihaz Kimlik Kütüğü)
ETSI	European Telecommunications Standards Institute (Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü)
FACH	Forward Access Channel (İleri Erişim Kanalı)
FDD	Frequency Division Duplex (Frekans Bölmeli Çift Yönlü Haberleşme)
FDMA	Frequency Division Multiple Access (Frekans Bölmeli Çoklu Erişim)
FEC	Forward Error Connection (İleri Hata Bağlantısı)
FH-CDMA	Frequency Hopping CDMA (Frekans Atlamalı CDMA)
FSK	Frequency Shift Keying (Frekans Kaydırmalı Anahtarlama)
GGSN	Gateway GPRS Support Node (GPRS Geçit Destek Düzümü)
GMM	GPRS Mobility Management (GPRS Hareketlilik Yönetimi)
GMSC	Gateway Mobile Switching Center (Mobil Anahtarlama Merkezi)
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying (GSM’de kullanılan sayısal modülasyon tekniği; Gaussian Minimum Kaydırmalı Anahtarlama)
GPRS	General Packet Radio Services (Genel Paket Radyo Servisi)
GPS	Global Positioning System (Global Konumlandırma Sistemi)
GSM	Global System for Mobile Communications (Mobil Haberleşme için Evrensel Sistem)
GSN	GPRS Support Nodes (GPRS Destek Noktaları)
HLR	Home Location Register (Esas Yerleşim Kayıtdicisi)
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data (Yüksek Hızlı Devre Anahtarlama Veri)
HS-DSCH	High-Speed Downlink Shared Channel (Yüksek Hızlı Downlink Paylaşım Kanalı)
IMEI	International Mobile Station Equipment Identity (Uluslar arası Mobil İstasyon Kimlik Numarası)
IMSI	International Mobile Subscriber Identity (Uluslar arası Mobil Abone Kimliği)
IMT-2000	International Mobile Telecommunications-2000 (Uluslar arası Mobil

	Telekomünikasyon-2000)
IP	Internet Protocol (İnternet Protokolü)
IS-95	Interim Standard-95 (Ara Standart-95)
ISDN	Integrated Services Digital Network (Tümleşik Hizmetler Sayısal Şebekesi)
ITU	International Telecommunication Union (Uluslar arası Telekomünikasyon Birliği)
MAC	Media Access Control (Ortam Erişim Kontrolü)
ME	Mobile Equipment (Mobil Cihaz)
MM	Mobility Management (Hareketlilik Yönetimi)
MS	Mobile Station (Mobil İstasyon)
MSC	Mobile Switching Centre (Mobil Anahtarlama Merkezi)
NMT	Nordic Mobile Telephone (1. Nesil analog mobil haberleşme sistemi)
NODE B	NSS Network Switching Subsystem (B Düzümü (UMTS Baz İstasyonu))
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Ortogonal Frekans Bölmeli Çoğullama)
PCH	Paging Channel (Sayfalama Kanalı)
PCCH	Paging Control Channel (Paging Kontrol Kanalı)
PCS	Personal Communications System (Kişisel Haberleşme Sistemi)
PCPCH	Physical Common Packet Channel (Fiziksel Ortak Paket Kanalı)
PDC	Personal Digital Communications (Kişisel Sayısal Haberleşme -800 ve 1500 MHz’de çalışan Japon 2.Nesil sayısal mobil telefon standardı))
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel (Fiziksel Aşağı Bağlantı Paylaşımlı Kanal)
PICH	Paging Indication Channel (Paging Bildirim Kanalı)
PLMN	Public Land Mobile Network (Kamu Alanı Mobil Şebekesi)
PRACH	Packet Random Access Channel (Paket Rasgele Erişim Kanalı)
PS	Packet Switched (Paket Anahtarlama)
PSCH	Physical Synchronisation Channel (Fiziksel Senkronizasyon Kanalı)
PSK	Phase Shift Keying (Faz Kaydırmalı Anahtarlama)
PSTN	Public Switched Telephone Network (Kamu Anahtarlama Telefon Şebekesi)
QoS	Quality of Service (Servis Kalitesi)
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying (Kuadratur PSK - UMTS’de kullanılan bir sayısal modülasyon tekniği)
RACH	Random Access Channel (Rasgele Erişim Kanalı)
RLC	Radio Link Control (Radyo Link Kontrolü)
RLP	Radio Link Protocol (Radyo Link Protokolü)
RNC	Radio Network Controller (Radyo Şebeke Kontrolörü)
RRC	Radio Resource Control (Radyo Kaynak Kontrolü)
RNS	Radio Network Subsystem (Radyo Şebeke Alt Sistemi)
RSCP	Received signal code power (Alınan Sinyalin Kod Gücü)
RSSI	Received Signal Strength Indicator (Alınan Sinyalin Güç Gösterimi)
RTT	Round-trip time (Gidiş-Dönüş Zamanı)
RTP	Real Time Protocol (Gerçek Zaman Protokolü)
SF	Spreading Factor (Yayılma Faktörü)

SFN	System Frame Number (Sistem Çerçeve Sayısı)
SGSN	Serving GPRS Support Node (GPRS Hizmet Destek Noktası)
SIM	Subscriber Identity Module (Abone Kimlik Modülü)
SIR	Signal Interference Rate (Sinyal Girişim Oranı)
SM	Session Management (Dönem Yönetimi)
SMS	Short Message Service (Kısa Mesaj Servisi)
SS	Supplementary Services (Tamamlayıcı Servisler)
SCCH	Synchronisation Control Channel (Senkronizasyon Kontrol Kanalı)
TACS	Total Acces Communication System (Toplam Erişim Haberleşme Sistemleri)
TCP	Transmission Control Protocol (İletim Kontrol Protokolü)
TDD	Time Division Duplex (Zaman Bölmeli Çift Yönlü Haberleşme)
TDM	Time Division Multiplexing (Zaman Bölmeli Çoklama)
TDMA	Time Division Multiple Access (Zaman Bölmeli Çoklu Erişim)
TD-CDMA	Time Division-Code Division Multiple Access (Zaman Bölmeli – Kod Bölmeli Çoklu Erişim)
TD-SCDMA	Time Division Synchronous CDMA (Zaman Bölmeli Eşzamanlı CDMA)
TFC	Transport Format Combination (Taşıma Biçim Birleşimi)
TFCI	Transport Format Combination Indicator (Taşıma Biçim Birleşim Göstergesi)
TIA	Telecommunications Industry Association (Amerikan Telekomünikasyon Endüstri Birliği)
TPC	Transmit Power Control (Taşıma Güç Kontrolü)
TrCH	Transport Channel (Geçiş Kanalı)
UE	User Equipment (Kullanıcı Cihazı)
UL	Uplink (Mobil istasyondan Baz istasyona doğru iletim)
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System (Evrensel Mobil Haberleşme Sistemi)
USIM	UMTS Subscriber Identity Module (UMTS Abone Kimlik Modülü)
UTRA	UMTS Terrestrial Radio Access (UMTS Karasal Radyo Erişimi)
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network (UMTS Karasal Radyo Erişim Şebekesi)
Uu	UMTS Air Interface (UMTS Telsiz hava arayüzü, Mobil istasyonla Baz istasyonu arasındaki arabirim)
Um	GSM Air Interface (GSM Telsiz hava arayüzü, Mobil istasyonla Baz istasyonu arasındaki arabirim)
VLR	Visitor Location Register (Ziyaret Edilen Yer Kayıtedicisi)
VoIP	Voice over IP (IP Üzerinden Ses İletimi)
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access (Genişband CDMA)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 4.1.	GSM sistem mimarisi	7
Şekil 4.2.	GSM 900 frekans bandı.....	10
Şekil 4.3.	GSM 1800 frekans bandı.....	11
Şekil 4.4.	GPRS sistem mimarisi	13
Şekil 4.5.	Devre anahtarlama	17
Şekil 4.6.	Çerçevenin genel yapısı.....	18
Şekil 4.7.	Paket ve devre anahtarlamanın İncelenmesi.....	19
Şekil 4.8.	Devre anahtarlama aynı kaynakları kullanacak iki bağlantı isteğinin ardışıl gelmesi durumu	20
Şekil 4.9.	Paket anahtarlama aynı kaynakları kullanacak iki bağlantı isteğinin ardışıl gelmesi durumu	20
Şekil 5.1.	UMTS şebekesinin sağladığı hizmetler.....	23
Şekil 5.2.	UMTS kapsama alanları	25
Şekil 5.3.	UMTS hücre yapısı	25
Şekil 5.4.	UMTS sistem yapısı.....	26
Şekil 5.5.	UMTS erişim şebekesi.....	27
Şekil 5.6.	Kullanıcı cihazı	29
Şekil 5.7.	Çekirdek şebeke.....	30
Şekil 5.8.	UTRAN sistem yapısı	31
Şekil 5.9.	FDD ve TDD karşılaştırılması.....	33
Şekil 6.1.	Mobil telekomünikasyon sistemlerindeki kuşaklar.....	34
Şekil 6.2.	FDMA	35
Şekil 6.3.	TDMA	35
Şekil 6.4.	CDMA.....	37
Şekil 6.5.	CDMA kodlama.....	37
Şekil 6.6.	FDMA, TDMA ve CDMA'nın karşılaştırılması.....	39
Şekil 6.7.	Yaygın spektrum	39
Şekil 6.8.	CDMA vericisi.....	40
Şekil 6.9.	CDMA alıcısı.....	40
Şekil 6.10.	CDMA PN Döngüsü.....	42
Şekil 6.11.	Hücre Değiştirme.....	45
Şekil 7.1.	FDD ve TDD modunda frekansların kullanımı.....	47
Şekil 7.2.	W-CDMA sisteminde zaman-frekans-kod uzayında bant genişliği tahsisi	50
Şekil 7.3.	Yayma işlemi sonucu bant genişliğindeki artış	51
Şekil 7.4.	CDMA tekniği ile girişimin kabul edilmemesi	52
Şekil 7.5.	UTRAN kanalları	62
Şekil 7.6.	Taşıma ve fiziksel kanalların haritalandırılması	66
Şekil 7.7.	Fiziksel katman arayüzleri	69
Şekil 7.8.	UTRAN radyo protokol mimarisi	70
Şekil 7.9.	MAC arayüz protokolü	72

Şekil 8.1.	WCDMA şebekede RRM algoritmalarının genellikle bulundukları yerler	80
Şekil 8.2.	Yukarı bağlantı yük eğrisi ve yeni bir kullanıcı yük artışının kestrimi..	91
Şekil 9.1.	Bölümün temel içeriği	94
Şekil 9.2.	Gerçek zaman aralığında uplink kapsama bölgesinde garantilenmiş bit hızları	96
Şekil 9.3.	Gerçek zamanlı olmayan bit hızının uplink dağılımı	97
Şekil 9.4.	64 kbps'lik (%5 kesintisi) mobil iletim ile elde edilmiş güç ağırlımı	97
Şekil 9.5.	Gerçek zaman ve gerçek zamanlı olmayan bağlantı ücret iyileştirmelerinin bir fonksiyonu olarak bit hızları	98
Şekil 9.6.	Farklı AMR konuşması için uplink hücre kapsama aralığının örnek bit hızları	99
Şekil 9.7.	Farklı maksimum bağlantı ile downlink kapsamı.....	100
Şekil 9.8.	Çoklu ve tek hücreli durumlarda 384 kbps veri transferi	102
Şekil 9.9.	Devre anahtarlama ses ve W-CDMA ile IP üzerinden ses iletimi	104
Şekil 9.10.	Uplink alıcı gücü (Prx) ve eş zamanlı AMR kullanıcılarının sayısı	105
Şekil 9.11(a).	Uplink gürültü yükselişinin AMR kullanıcı sayılarına fonksiyonu	
(b).	Uplink kesirli yükün AMR kullanıcı sayılarına fonksiyonu	106
Şekil 9.12.	AMR kullanıcılarının sayısının bir fonksiyonu olarak, downlink toplam iletilen gücü	107
Şekil 9.13(a).	Downlink gürültü yükselişinin AMR kullanıcı sayılarına fonksiyonu	
(b).	Downlink kesirli yükün AMR kullanıcı sayılarına fonksiyonu	110
Şekil 9.14.	AMR bağlantı başına, downlink ortalama iletilmiş kod gücü	111
Şekil 9.15.	AMR kullanıcı sayısının bir fonksiyonu olarak CPICH Ec/I0	112
Şekil 9.16.	Downlink güç artışının bir fonksiyonu olarak CPICH Ec/I0.....	113
Şekil 9.17.	Alıcının basitleştirilmiş görünümü ve performans gereksinimleri	115
Şekil 9.18.	Eb / No Uplink'in özeti	115
Şekil 9.19.	Eb / No Downlink'in özeti	116

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 4.1.	Mobil haberleşme sistemlerinin gelişimi	4
Tablo 4.2.	1, 2, 3G Teknolojilerinin karşılaştırılması	5
Tablo 4.3.	Şebeke sistem mimarisi elemanları	7
Tablo 5.1.	UTRA/FDD ve UTRA/TDD karşılaştırılması	32
Tablo 7.1.	Dünyada kullanılan UMTS teknikleri	48
Tablo 7.2.	Temel UTRA parametreleri	56
Tablo 7.3.	W-CDMA ve GSM hava arayüzleri arasındaki temel farklılıklar.....	60
Tablo 7.4.	Fiziksel kanallar	65
Tablo 7.5.	Kontrol kanalları	68
Tablo 7.6.	Trafik kanalları	68
Tablo 8.1.	Yukarı bağlantı yük faktörü hesabında kullanılan parametreler	84
Tablo 8.2.	Aşağı bağlantı yük faktörü hesabında kullanılan parametreler	86
Tablo 9.1.	Gerekli baz istasyonunu site yoğunluğu içinde iyileştirilmiş bir bağlantı ücreti ile azaltma.....	95
Tablo 9.2.	Veri hesaplamalarında varsayımlar	101
Tablo 9.3.	Taşıyıcı ve sektör başına, makro ve mikro hücre ortamlarında veri çıktıları	102
Tablo 9.4.	Tablo 9.5'in hesaplanmasında varsayımlar	103
Tablo 9.5.	Sektör başına karıştırılmış kod ile maksimum downlink kapasitesi.....	103
Tablo 9.6.	Farklı AMR modları ile ses kapasitesi	104

1. GİRİŞ

İnsanoğlu yüzyıllardır bulunduğu yer ve zamandan bağımsız olarak iletişim sağlayabilmeyi hayal etmiştir. Teknolojik alanlardaki gelişmeler radyo iletişimine olanak sağlayacak düzeye eriştiğinde bu rüya gerçekleşmiş ve ilk mobil telefon servisi 1946'da St Louis'de (Missouri, ABD) doğmuştur. Geliştirilen bu radyo bazlı mobil iletişimi sağlayan sistemin yapısını araştırmak ve stratejilerini anlamak önem arz etmektedir.

1980'lerde araç telefonu olarak bilinen analog ve yalnız ses iletiminin mümkün olduğu birinci nesil (1G) olarak ifade edilen haberleşme sistemleri, hizmet kalitesinde sıkıntılar yaşanması, kapasite, kapsama alanı, zamanla artan ses kalitesi gibi ihtiyaçlara cevap vermekte yetersiz kalması nedeni ile 1990'lı yıllarda GSM (Mobil Haberleşme için Evrensel Sistem - Global System for Mobile Communications), TDMA (Zaman Bölmeli Çoklu Erişim - Time Division Multiple Access) ve CDMA (Kod Bölmeli Çoklu Erişim - Code Division Multiple Access) gibi radyo erişim tekniklerinin kullanıldığı, düşük oranda veri iletimine olanak sağlayan 2.Nesil (2G) haberleşme sistemine geçişler başlamıştır. Ancak kısa bir süre sonra ses ve veri iletimi talepler karşısında yetersiz kalmıştır. Dolayısı ile mobil şebekelerde sesin yanında daha hızlı veri iletimini sağlayan GPRS (Genel Paket Radyo Servisi - General Packet Radio Services), EDGE (Küresel Evrim için Geliştirilmiş Veri Hızları - Enhanced Data Rates for Global Evolution) gibi yeni modülasyon teknikleri ile 2.5G diye tabir edilen yeni bir mobil haberleşme sistemi geliştirilmiştir.

Mobil kullanıma olan bağımlılık arttıkça şebekeler üzerinden sunulan katma değerli hizmetler de hızla çeşitlendirilmekte ve geniş bant ihtiyacı da beraberinde artmaktadır. Bu artış ile birlikte 2.5G sistemleri bazı kullanıcı kesimlerinin ihtiyaçlarını karşılamakta yetersiz kalmıştır. Bu sebeple yeni bir kuşak olan, hem ses hem de hızlı veri iletimine imkan sağlayan 3.Nesil (3G) geniş bant teknolojisi geliştirilmiştir. Haberleşme sektöründeki bu gelişmenin belki de en önemli yönü en yüksek hızlara sahip IP tabanlı iletişim şebekelerinin hayata geçmesidir.

“Üçüncü nesil” (Third Generation, 3G) mobil telekomünikasyon sistemleri, çerçevesi ITU (Uluslararası Telekomünikasyon Birliği - International Telecommunication Union)

tarafından tanımlanan IMT-2000 (Uluslararası Mobil Telekomünikasyon-2000 - International Mobile Telecommunications-2000) sistemler olarak da bilinmektedir. Kullanıcılara yüksek hızda veri iletimi, mobil internet erişimi, görüntülü ve sesli oyunlar, müzik ve görüntü programları ile sağlanan eğlence amaçlı hizmetler olmak üzere çeşitli hizmetlerin sunulması maksadıyla geliştirilmiş yeni nesil mobil telekomünikasyon teknolojisini içermektedir [3].

3.Nesil’de en çok kabul gören radyo erişim tekniği WCDMA (Geniş Bant Kod Bölmeli Çoklu Erişim - Wideband Code Division Multiple Access) sistemidir. WCDMA 2 Mbps veri hızı, düşük gürültülü yüksek kalitede ses ve veri iletimi, spektrumunun verimli kullanılması, kalite, kapsama alanı ile birlikte IP tabanlı haberleşme olanağı da sağlamaktadır.

Mobil haberleşme sektörü, günümüzde “Her zaman, her yerde en iyi ve en hızlı bağlantı” ilkesini amaç edinmiş dördüncü nesil sistemler üzerinde çalışmalarını sürdürmektedir. İleriki yıllarda 4G (4.Nesil) teknolojisinin dünyanın her tarafında kullanılır hale gelmesi beklenmektedir.

Bu açıdan bir durum değerlendirmesi yapıldığında mobil haberleşme konusunda detaylı bilgi sunan bir Türkçe kaynağın olmadığı ve böyle bir kaynağa ihtiyaç duyulduğu anlaşılmıştır. Dolayısıyla bu tez çalışması haberleşme, özellikle üçüncü nesil konusunda aydınlatıcı bilgileri birçok kaynaktan yararlanarak okuyucuya sunmasını hedeflemektedir. Tezde üçüncü nesil haberleşme radyo yükleme stratejileri temel amaç olmakla beraber bu stratejilerin anlaşılması için de mobil telekomünikasyon sistemlerinin tarihçesi ve günümüzde kullanılan 3G’ye kadar ki stratejileri de gözden geçirme gereği duyulmuştur. Tezde özellikle Geniş bantlı kod bölmeli çoklu erişim (Wide-Band Code Division Multiple Access – WCDMA) stratejisi ve bu strateji ile kazanılan servis hizmetlerine geniş yer verilecektir.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

3G Mobil haberleşme ve gelişimi konusunda detaylı bilgi sunan bir Türkçe kaynağın oluşturulması hedeflendiğinden materyal olarak yerli ve yabancı birçok kaynak araştırıldı.

Bu kaynaklarda sunulan bilgilerden maksimum düzeyde faydalanabilmek için derlenen bilgiler harmanlanarak bölümlere ayrıştırıldı.

Üçüncü nesil haberleşme radyo yükleme stratejileri temel amaç olmakla beraber bu stratejilerin anlaşılması için mobil telekomünikasyon sistemlerinin tarihçesi ve günümüzde kullanılan 3G'ye kadar ki stratejileri en anlaşılır biçimde ifade etmeye yönelik fiziki ve teknik alt yapılar dikkate alınarak içerik sıralaması yapıldı. Sıralamalar aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- Mobil hücresel haberleşme sistemlerinin tarihçesi,
- UMTS (Evrensel Mobil Haberleşme Sistemleri - Universal Mobile Telecommunication System),
- Çoklu erişim teknikleri,
- UMTS ve W-CDMA,
- Radyo kaynak yönetimi,
- Fiziksel katman performansı.

Bu sıralama doğrultusunda tez yazımına geçildi.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapılmış olan bu araştırma deneysel bir çalışma olmadığından, deneysel bulgular içermemektedir. Ancak kaynaklarda bulunan bulgu niteliğindeki materyaller, bölümler içerisinde gerekli yerlerde referanslandırılarak kullanıldı. Çalışma içeriğinde materyaller, yöntemler, bulgular karşılaştırmalı bir şekilde tartışıldı.

4. MOBİL HÜCRESEL HABERLEŞME SİSTEMLERİNİN TARİHÇESİ

1980'li yıllarda Avrupa ülkelerinde birbirinden farklı ve uyumsuz birçok mobil sistem kullanılmaktaydı. 1.Nesil analog haberleşme sistemlerinin kullanılması ile başlayan mobil haberleşme sistemleri, 1990'lı yıllarda 2.Nesil sayısal haberleşme sistemlerine geçiş ile devam etmiştir. 2000'li yıllara gelindiğinde ise 3.Nesil geniş bant haberleşme sistemleri gelişmiş ülkelerde devreye alınmış ve günümüzde yaklaşık 450 milyon kullanıcıya ulaşmıştır.

Mobil haberleşme sistemlerindeki bu gelişmeler Tablo 4.1'de ana hatları ile özetlenmiştir. Tablo 4.2'de ise 3G teknolojisi diğer teknolojiler ile kıyaslanmıştır. Tablolarda dikkati çeken en önemli husus; geniş bant teknolojisine geçiş ile 3G kullanıcılarına sağlanan mobil hizmetlerin arttığı ve kısa sürede daha hızlı veri aktarımı gerçekleştirebildiği görülmüştür.

Tablo 4.1. Mobil haberleşme sistemlerinin gelişimi [17]

	1G	2G	3G
Sistem	Analog	Sayısal	Sayısal
Ana Sistemler	AMPS, NMT ve TACS	GSM, CDMA ve TDMA	WCDMA ve CDMA-2000
Uygulama	Ses	Ses + Devre Anahtarlamaalı veri	Ses + Paket anahtarlamaalı veri
Hız	Analog sinyale bağlı	9.6 kbps - 14.4 kbps	Mobil iken 384 kbps & Sabit iken 2Mbps
Özellikler	Kararsız, eksik kapsama ve zayıf ses kalitesi	Daha güvenli, veri servisleri mevcut, daha geniş kapsama alanı, daha kararlı, daha çok kullanıcı, daha iyi ses kalitesi	Çoklu ortam veri, yer belirleme, internete erişim her zaman bağlı

Tablo 4.2. 1, 2, 3G Teknolojilerinin karşılaştırılması [29]

Süre	Kullanılan Teknoloji	Yeni İç ve Dış Uygulamalar	Hız*	3dk.lık bir MP3 Müzik dosyasını İndirme süresi*
2000'e kadar	2G	• Telefon • E-mesaj • SMS • Sayısal Metin gönderimi	10 Kbps	31-41 dk.
2001-2002	2.5G	• Gezgin Bankacılık • Sesli mesaj, Web • Gezgin Ses Çalıcı • Sayısal Gazete Yayını • Sayısal Ses Dağıtımı • Gezgin Radyo, Karaoke • Lokasyon Tabanlı hizmetler, İnteraktif şehir Haritaları	64-144 Kbps	6-9 dk.
2003 ve sonrası	3G	• Gezgin video konferans • Görüntülü Telefon / Mesaj • Gezgin TV/video Oynatıcı • Geliştirilmiş araç Seyrüsefer Cihazı / Şehir rehberi • Sayısal Ses/Görüntü Dağıtımı	144 kbps- 2 Mbps	11 sn – 1.5 dk.

4.1. Birinci Nesil

İlk kablosuz telefon teknolojisi 1.Nesil (1G)'dir. Birinci nesil sistemler, analog teknolojiye dayalı sistemler olup sadece ses hizmeti sağlar, herhangi bir veri transferi söz konusu değildir. 1G'nin mobil haberleşmeye kazandırdıkları:

- Geniş kapsama alanı,
- Yüksek kapasite,
- Yük dağıtım olanağı,

olarak özetlenebilir.

1G, analog veri akışı teknolojisini kullanır. Bunun sonucu olarak:

- Veri iletişimi gibi hizmetlere olanak tanımaz.

- Enterferanslara dayanıklı değildir.
- İsteyen her kişi 1G telefon görüşmesini dinleyebilir, güvenilir değildir.

Bu nesilde kullanılan belli başlı standartlar NMT (1.Nesil Analog Mobil Haberleşme Sistemi - Nordic Mobile Telephone), TACS (Toplam Erişim Haberleşme Sistemleri - Total Access Communication Systems) ve AMPS (Gelişmiş Mobil Telefon Hizmeti - Advanced Mobile Phone Service)'dir.

4.2. İkinci Nesil

İkinci nesil sistemler, mobil haberleşme sisteminde sayısal haberleşme teknolojisinin kullanıldığı telsiz haberleşme sistemleridir. Analog bilginin sayısal bilgiye dönüştürülmesi ile birlikte, artık bilgi üzerinde her türlü matematiksel işlem yapılabilir hale gelmiştir. Böylece gelişen sayısal teknoloji ile analog sistemlerde ortaya çıkan birçok sorun giderilmiş, gezgin sistemler sadece ses iletimi için kullanılmaktan çıkmış, artık veri iletimini de gerçekleştirmeye başlamıştır.

2G'nin 1G'ye göre en büyük avantajı, analog veri yerine sayısal veri kullanılmaya başlanmış olmasıdır. İkinci nesil şebekeler, birinci nesil sistemlere göre daha yüksek kapasiteye sahiptir. Çeşitli kullanıcılar için bir frekans kanalı, eşzamanlı olarak kod veya zaman bölmeli olarak bölünür. Makro hücre, mikro hücre ve piko hücreleri içeren servis alanındaki hiyerarşik hücre yapıları sistem kapasitesini arttırır. Tüm cihazlar, bağlantı ve durum verilerini aynı kanal üzerinden yollarlar. Bağlantı kurulunca, veri (veya ses) akışı bir kanal üzerinden yapılır [30].

GSM, 2G sistemlerinde yaygın olarak kullanılan oldukça başarılı bir sistemdir. Sayısal hücreli haberleşme olarak da adlandırılan bu sistemlerde geçmiş tüm haberleşme teknikleri birleştirilmiştir. Bu sistemde kullanıcı ne zaman haberleşmek isterse, istediği anda ve istediği gizlilikle haberleşme hakkını kullanmaktadır.

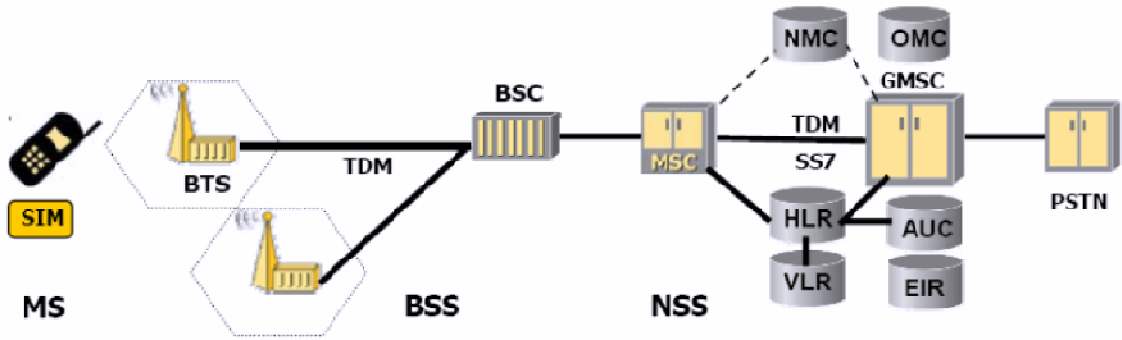
Avantajları [31];

- Radyo frekansını verimli bir şekilde kullanır.
- Ses kalitesi analog sistemlere göre daha iyidir.
- Veri iletimi sistem içinde sağlanır.

- Konuşma şifrelenir, abonenin güvenliği sağlanır.
- Uluslar arası dolaşım ile dünyanın diğer ülkelerinin GSM şebekeleri de kullanılabilir.

4.2.1. GSM

GSM sistem mimarisi ve haberleşme prensibi



Şekil 4.1. GSM sistem mimarisi

Şekil 4.1’de GSM’in genel sistem mimarisi verilmiştir. Şebekede bulunan elemanların görevleri aşağıdaki tabloda kısaca özetlenmiştir.

Tablo 4.3. Şebeke sistem mimarisi elemanları

BSC (Baz İstasyonu Denetleyicisi - Base Station Controller):	Baz istasyonlarını kontrol ederek santrale bağlayan arabirimdir.
BTS (Baz Alıcı-Verici İstasyonu - Base Transceiver Station):	Şebeke ile mobil telefon arasındaki haberleşmeyi sağlayan, radyo sinyallerinin bir anten ve alıcı - verici kullanarak gönderilip alınmasını sağlayan arabirimdir.
BSS (Baz İstasyon Alt Sistemi - Base Station Subsystem (BTS+BSC)):	BTS ve BSC’den oluşan şebeke bölümüdür.
MSC (Mobil Anahtarlama Merkezi - Mobile Switching Center):	Mobil istasyonların haberleşme trafiği MSC’i tarafından kontrol edilir.
HLR (Esas Yerleşim Kaydedicisi - Home Location Register):	Bir santralin kapsadığı bölge içindeki abonelerin bilgilerini tutan şebeke birimidir.

VLR (Ziyaret Edilen Yer Kaydedicisi - Visitor Location Register):	Bağlı olduğu MSC'nin hizmet verdiği alanda bulunan abonelerin konu, geçici mobil abone kimliği numarası gibi bilgileri tutar. Abone yer değiştikçe bilgiler güncellenir.
AUC (Doğrulama Merkezi - Authentication Center):	Bir aboneye hizmet verilip verilmeyeceğinin belirlenmesi için HLR (Ev Konum Kütüğü - Home Location Register), yetki merkezi olan AUC'den teyit almak zorundadır.
EIR (Cihaz Kimlik Kaydedicisi - Equipment Identity Register):	Cihaz kimlik kütüğü, kayıp, çalıntı veya kaçak MS'lerin listesini tutar.
SIM (Abone Kimlik Kaydedicisi - Subscriber Identity Module):	Abonenin telefon numarası SIM' de saklıdır. Mobil istasyon geçerli IMSI (Uluslar arası Mobil Abone Kimliği)'ye sahip bir SIM (Abone Kimlik Modülü - Subscriber Identity Module)'in geçerli IMEI numarasına sahip bir cihaza takılmadan çalışmaz.
MS (Mobil İstasyon - Mobile Station):	Abonenin haberleşmesi için kullanılan mobil cihazlardır. MS, aboneyi ve aldığı hizmetleri HLR'ye bildirmek için saklayan SIM kartını içerir.

Şekil 4.1'de sistem mimarisi üzerinden bir çağrının nasıl taşındığı aşağıda özetlenmiştir.

Mobil istasyon yeterli derecede yüksek bir işaret seviyesine sahip bir BTS bulduğunda çağrıyı başlatır. BSS, MS için iki yönlü bir işaretleşme kanalı tahsis eder ve aynı sırada MSC ile bağlantı kurar. MSC, BSS vasıtasıyla gelen MS'ye ait IMSI bilgisini kullanarak HLR'den bu aboneye ait bilgileri alır ve VLR'ye gönderir. Bu işlemten sonra MS aranan numarayı bildirir, BSS bir çağrı kanalı kurar ve MSC çağrıyı hedef abonenin bulunduğu diğer bir BSS'ye veya MSC'ye ya da ara bağlantı üzerinden başka bir haberleşme şebekesine yönlendirir.

Haberleşme sırasında MS'nin bir başka hücreye geçmesi halinde aktarım (handover) işleminin gerçekleştirilmesi gerekir. Yeni hücre aynı BSC tarafından yönetiliyorsa, bu işlem BSC tarafından yapılır. MS'nin başka bir BSC tarafından hizmet verilen bir hücreye geçmesi durumunda geçiş işlemi MSC tarafından gerçekleştirilir.

Bir MS'ye çağrı gelmesi halinde ise BSC tarafından MS'nin bulunduğu hücre içerisinde işaretleşme kanalı üzerinden bir işaret gönderilir. MS'ler bu işaretleşme kanalını sürekli

olarak takip etmektedir. MS'nin çağrışı kabul etmesi halinde BSC bir çağrı kanalı kurar ve haberleşme sağlanır [1, 2].

GSM'in bazı genel özellikleri ve avantajları

1. Yüksek kapasite

GSM, analog sistemler ile kıyaslandığında çok daha yüksek bir kullanıcı kapasitesine sahiptir. 200 kHz bant genişlikli kanal çiftlerinde, bir kullanıcı için 25 kHz bant genişliği tahsis edilir. Yaklaşık olarak 8 farklı görüşmenin aynı zamanlarda gerçekleşmesini sağlar.

GSM'de mobil kullanıcı, vericiden en fazla birkaç kilometre uzakta bulunur. Bu sebeple GSM'de kullanılan hücre boyutları çok küçük olur, bu da çok sayıda frekans çiftine ihtiyaç duyulması anlamına gelir.

2. Ses kalitesi

GSM, sayısal işaret işleyici işlemciler arasında oldukça iyi bir konuşma iletim kapasitesine sahiptir. Analog sistemler ile karşılaştırıldığında, konuşma kalitesi hissedilebilir derecede iyidir.

3.Frekans bandları

GSM'de kullanılan frekans bandları taşıma kapasitelerine göre 3'e ayrılmıştır.

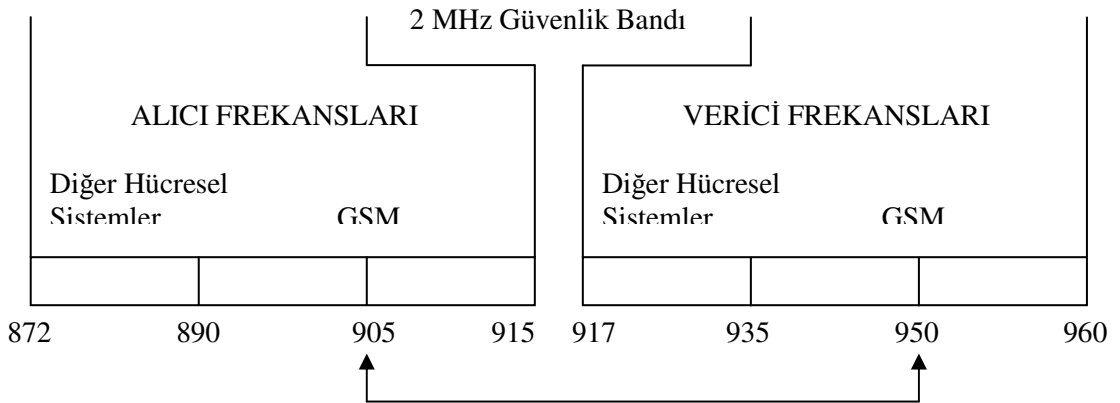
- GSM 1900
- GSM 1800
- GSM 900

GSM 1800 ve 1900'ün taşıma kapasitesi daha yüksek olduğu için genellikle şehirleşmenin yoğun olduğu bölgelerde kullanılır. GSM 1900 ise sadece Amerikan Birleşik Devletleri'nde kullanılmaktadır.

GSM 900 frekansları

Şekil 4.2’de mobil telefon 900 protokolünde yukarı link, aşağı link, güvenlik bandı ile alıcı ve verici arasındaki frekans farkı verilmiştir.

- Mobil telefon, 900 protokolünde 890-915 MHz arasındaki frekans, yukarı link adı verilen alış için, 935-960 MHz arasındaki frekanslar, aşağı link adı verilen veriş için kullanılmaktadır.
- 917-935 MHz arasındaki frekanslar, hücresele mobil telefon sistemi dışındaki hücresele sistemler tarafından kullanılmaktadır.
- 915-917 MHz arasındaki 2 MHz’lik kısım, koruma bandı için bırakılmıştır. 2 MHz’lik koruma bandı, alış - veriş frekansları arasındaki elektromagnetik dalgalar arasında oluşabilecek girişimi önlemek amacını taşımaktadır.
- Alış-veriş frekansları arasındaki 45 MHz’lik fark, girişim ihtimalini azaltmaktadır.



Herbir Çağrıda 45 MHz Uzaklıkta
Verici ve Alıcı Frekansları

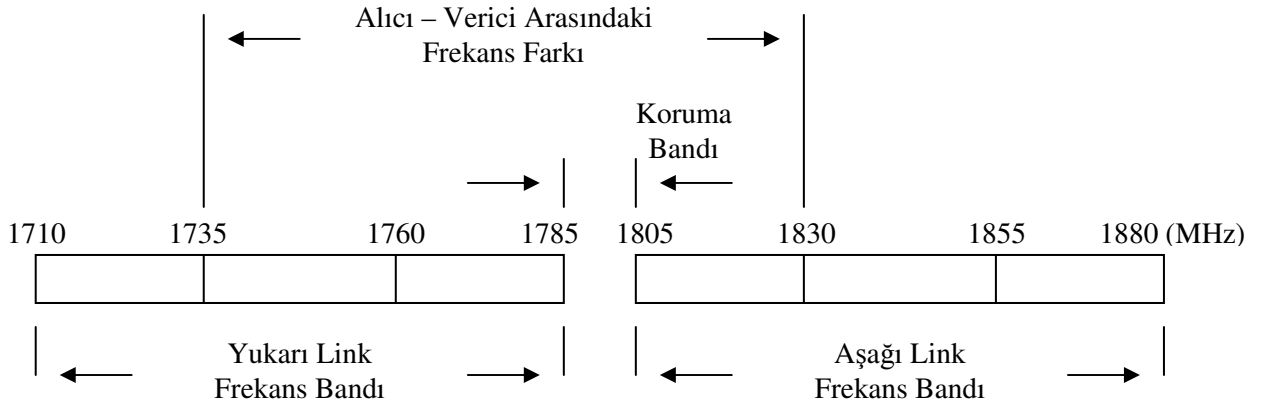
Şekil 4.2. GSM 900 frekans bandı

GSM 1800 frekansları

Şekil 4.3’de mobil telefon 1800 protokolünde yukarı link, aşağı link, koruma frekans bantları ile alıcı ve verici arasındaki frekans farkı verilmiştir.

- 1710 ile 1785 MHz arasındaki frekanslar, alış - yukarı link, 1805 ile 1880 MHz arasındaki frekanslar, veriş - aşağı link,

- RF taşıyıcıları 200 kHz aralıklarla kullanılmakta ve bu protokolün 374 taşıyıcısı bulunmaktadır.
- Alış ve veriş anında 95 MHz’lik bir frekans farkı vardır.
- 1785 ile 1805 MHz frekansları arasında 20 MHz’lik koruma bandı girişimi önlemektedir.



Şekil 4.3. GSM 1800 frekans bandı [32]

4.3. 2.5G Nesil

“2.5 Nesil”, 2G sistemlerinin gelişmiş özelliklerini içeren bir teknolojidir. 2.5G; HSCSD (Yüksek Hızlı Devre Anahtarlama Veri - High Speed Circuit Switched Data), GPRS ve EDGE teknolojileri ile 2G'nin bilgi aktarım hızını artırmıştır.

4.3.1. HSCSD

2,5G teknolojileri içinde yer alan HSCSD; GSM şebekesi üzerinde kurulan, hızlı anahtarlama ve bir kullanıcının birden fazla zaman dilimini aynı anda kullanabilmesini sağlayan bir sistemdir.

GSM devre anahtarlama veri iletiminde, her kullanıcı için bir zaman dilimi tahsis edilmişti. HSCSD’de ise bir kullanıcı için dört zaman dilimi tahsis edilir. Bu durumda bir kullanıcı için birden fazla trafik kanalı tahsis edilmiş olur ve kullanıcı birden fazla çağrı yapmış gibi algılanır. Dolayısıyla kullanıcı açısından ücretlendirme ekonomik olmaz. GSM sisteminde, tek bir zaman dilimi kullanılarak veri aktarım hızı 9.6 kbps iken, HSCSD ile veri aktarım hızı 57.6 kbps’ye ulaşabilir. Bu sistem ile video

konferans, çoklu ortam uygulamaları ile gelişmiş hizmetleri almak mümkün olacaktır. HSCSD'nin işletmeci açısından maliyeti düşüktür. Çünkü, sadece baz istasyonlarının yazılımının değişmesi ile yeni bir ekipmana ihtiyaç duyulmadan sistem kurulur. Yalnız HSCSD'de veri kullanıcıları kanal kullanımı için ses kullanıcıları ile yarışması gerekecektir. Çünkü veri trafiğinin artmasına bağlı olarak ses kapasitesi azalmaktadır. Dolayısı ile HSCSD, yoğunlukla kapasitenin boş olduğu durumlarda veya yeni şebekelerde kullanılır.

HSCSD, GPRS ile karşılaştırıldığında iki nedenden dolayı tercih edilir.

- GPRS'de kullanılan paket anahtarlama veri transferi sırasında veri paketlerinin gecikmesi, hatta bazılarının transfer esnasında kaybolması, özellikle hareketli resim uygulamalarında gecikmelerin yaşanması HSCSD'yi avantajlı kılar.
- Diğer bir neden ise HSCSD'nin devre anahtarlama yapısının, GPRS'in paket anahtarlama şebekeleriyle olan bağlantısından daha avantajlı olmasıdır.

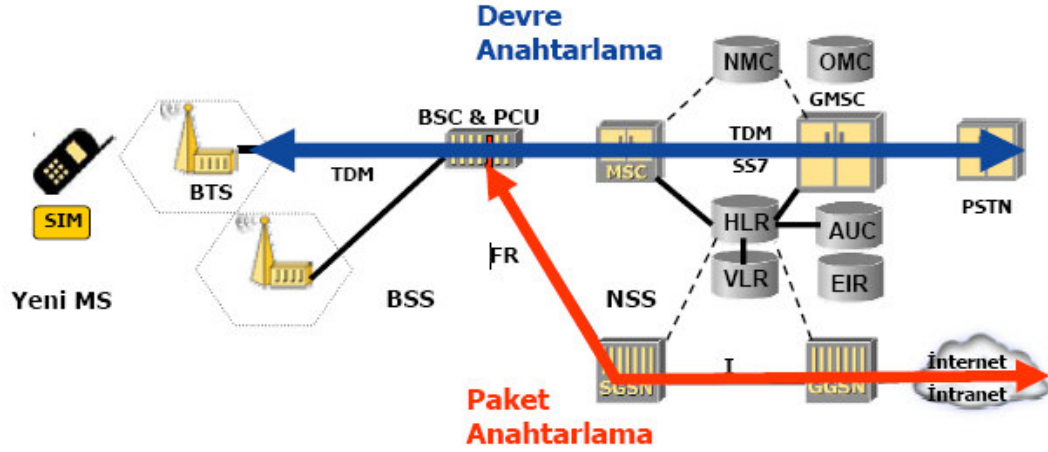
4.3.2. GPRS

GPRS, mevcut 2G şebekesi üzerinden paket anahtarlama olarak yüksek hızlı veri iletimini sağlayan bir sistemdir. Aynı zamanda internet gibi paket veri şebekelerinde telsiz erişimini önemli ölçüde basitleştiren ve geliştiren yeni bir taşıyıcı teknolojisidir.

GPRS'de her kullanıcıya 8 kanal veya her kanala 16 kullanıcı tahsis edilir. Veri hızı, 9 ile 115 kbps arasında değişir. Uygulamada ise veri hızı 50 kbps seviyelerinde gerçekleşmektedir.

GPRS sistem mimarisi

GPRS servislerinin sunumu ve dağıtımı, günümüz GSM şebekeleri üzerinden yapılabilir. Şekil 4.4'te gösterildiği gibi, veri şebekeleri ile bağlantıyı sağlayan GGSN (GPRS Geçit Destek Düzümü - GPRS Gateway Support Node) ve kullanıcılara ait veri trafiğini denetleyen SGSN (GPRS Hizmet Destek Düzümü - Serving Gateway Support Node) elemanları ile fazlaca değişiklik gerektirmeden kurulabilmektedir.



Şekil 4.4. GPRS sistem mimarisi [16]

GGSN; GPRS şebekesiyle diğer paket anahtarlama şebekeleri arasındaki arayüzdür. SGSN'den gelen GPRS paketlerini, paket anahtarlama şebekeye uygun hale getirir ve iletir. Paket anahtarlama şebekeden gelen verileri ise SGSN'ye gönderir. Bu aktarımları gerçekleştirebilmesi için, geçerli SGSN adresini ve kullanıcının profilini kaydetmesi gerekir. GGSN, paket yönlendirme işlemlerine ek olarak ücretlendirme ve doğrulama işlemlerini de yürütür.

SGSN; servis bölgesindeki mobil telefonlara veri paketlerinin ulaştırılması, mobil telefonlardan gelen veri paketlerinin sabit veri ağlarına iletilmesini sağlar. SGSN, kapsama alanına yeni bir kullanıcı girdiğinde HLR'yi kullanarak, GPRS kullanıcılarının geçici ve kalıcı tüm lokasyon bilgilerini saklar.

GPRS'in temel özellikleri ve avantajları

- Teoride GPRS'in 8 radyo kanalını da aynı anda kullanması durumunda veri transfer hızı 171.2 kbps'dir.
- GPRS'in sağladığı en büyük avantaj sürekli şebekeye bağlı olmaktır.
- GPRS sisteminde kullanıcı sadece veri gönderiminde ve alımında radyo kanallarını meşgul eder. Böylece mevcut kanallar her kullanıcı tarafından kullanılabilir.
- GPRS teknolojisiyle birlikte kişisel bilgisayarınızla dosya transferi, e-mail vb. uygulamalar mümkün olmaktadır.

GPRS'in dezavantajları

GPRS, şu anki veri iletim hızı ve spektrum kullanımı ile kıyaslandığında çok önemli özelliklere sahip olmasına rağmen aşağıdaki gibi özetlenebilecek bir takım sınırlamalara sahiptir [18].

Tüm kullanıcılara sınırlı hücre kapasitesi:

Mevcut şebeke yapısında, farklı kullanıcılar tarafından kullanılacak sınırlı sayıda radyo kanalı vardır. Dolayısıyla kanalların bir amaç için tahsis edilmesi aynı anda bir başka kanalın kullanımını önler. Örneğin, ses ve GPRS çağrıları aynı şebeke kaynaklarını kullanırlar. GPRS'in şebekeye olan etkisi bir zaman aralığı (Time Slot) GPRS'e tahsis edilirse ortaya çıkar.

Pratikteki hız düşüklüğü:

Teorideki veri iletim hızı olan 171.2 kbps'ye ulaşabilmek için tek bir kullanıcının sekiz zaman dilimini herhangi bir hata koruması olmaksızın kullanması gerekir. Ancak uygulamada hiçbir operatör tek bir GPRS kullanıcısının tüm zaman dilimlerini kullanmasına müsaade etmez. Bu durum bant genişliğinin sınırlı olarak kullanılmasına neden olur. Dolayısıyla GPRS sabit şebekelerdeki veri iletim hızını yakalayamaz.

Verimsiz modülasyon:

GPRS, GMSK (Gaussian Minimum Kaydırmalı Anahtarlama - Gaussian Minimum Shift Keying) modülasyonunu kullanır. EDGE ise hava arayüzü üzerinden daha çok bit oranına izin veren yeni bir modülasyon tekniği olan 8PSK'yı (Faz kaydırmalı Anahtarlama - Phase Shift Keying) kullanır. Dolayısıyla şebeke işleticileri üçüncü nesile geçmek için şebekelerine bazı eklentiler yapmak zorundadırlar.

Geçiş gecikmeleri:

GPRS veri paketlerinin aynı istikamete farklı yollardan gitmesini sağladığı gibi bazı paketlerin iletim esnasında bozulma veya kaybolma olasılıklarını artırır. Paket iletiminde kaybolan veriler yeniden istendiği için bazı gecikmeler ortaya çıkar. Bu yüzden kaliteli görüntü yayını gibi uygulamalarda HSCSD kullanılabilir. HSCSD bir

kullanıcının aynı anda dört zaman dilimine kadar kullanabildiği bir sistem olduğu için uç noktalar arası bağlantıda gecikme daha az olacaktır.

4.3.3. EDGE

EDGE, GSM operatörlerine geniş bir kapsama alanıyla birlikte 3G yeteneklerine sahip servisler geliştirme imkanı sunan radyo arayüz standartlarından biridir. EDGE, GSM’de kullanılan GMSK modülasyon tekniğine ilave olarak, daha fazla veri taşınmasını sağlayan, daha verimli bir bant genişliği ve yeni bir modülasyon metodu olan 8PSK kullanan bir telsiz arayüzüdür.

EDGE, GSM sisteminin veri iletim hızını 3 kat arttıracak potansiyele sahiptir. GPRS’e benzer en önemli özelliği ise bir kullanıcının 8 kanalıda kullanabilmesidir. EDGE ile bir kanalda 48 kbps’lik veri taşınabilir ve bu hız geniş alanda 384 kbps, yerel alanda 554 kbps hızına erişebilir. EDGE, mevcut şebekeye yeni radyo taşıyıcıları sağlayan bir sistem olarak hücresel haberleşmenin hava arayüzü kısmında sağlanan teknolojik bir gelişmedir. Kullanıcıların baz istasyonuna olan uzaklığı sinyallerin zayıflamasına ve girişimlerin farklı olmasına neden olur. Bu nedenlerden dolayı hücresel haberleşme sistemlerinin karakteristik bir özelliği olarak her kullanıcı farklı kalitede trafik kanalları üzerinden haberleşir.

EDGE teknolojisinin büyük oranda GSM ile aynı çerçeve yapısını (TDMA) ve kanal genişliğini kullanması, mevcut hücre ayarlarının aynı olması ve yeni bir lisansa gerek duyulmaması gibi nedenlerden ötürü, şebeke işleticisine çok büyük külfet getirmeden sadece her hücreye bir EDGE alıcı verici birimlerinin eklenmesi ile kurulur.

4.4. Üçüncü Nesil

3.Nesil (3G) mobil telekomünikasyon sistemleri; kullanıcılara ses, yüksek hızda veri iletimi, internet ve multimedya uygulamaları gibi yüksek hız ve bant genişliği gerektiren, çeşitli hizmetlerin sunulması amacı ile geliştirilen, yeni nesil mobil telekomünikasyon teknolojisinin genel adıdır.

4.4.1. Üçüncü nesile geçiş nedenleri

Birinci nesil sistemler analog oldukları için hem kapasiteleri hem de güvenlik performansları düşüktür. İkinci nesil sistemler ise sayısal tabanlıdır. 1.Nesil analog hücresel sistemlerde abone sayısının artması ve iletişim alt yapısındaki diğer eksikliklerden ötürü 2. Nesil sayısal hücre sistemlerine geçiş ihtiyacı duyulmuştur.

İkinci nesilden üçüncü nesile geçiş nedenleri, birinci nesilden ikince nesile geçiş nedenlerinden oldukça farklıdır. Mevcut ikinci nesil alt yapısı artan abone sayısına cevap verebilecek yapıya sahip olmasına rağmen, aşağıda belirtilen nedenlerden dolayı üçüncü nesil kavramı ortaya çıkmıştır [18].

- İnternetin geldiği nokta ve IP'nin başarısı,
- Paket anahtarlama teknolojilerdeki gelişme,
- Mobil haberleşmeye olan ilginin beklenenin çok üzerinde olması,
- Elektronik ve mobil e-ticaret kavramlarının ortaya çıkması,
- Mevcut mobil şebeke üzerinden veri iletim miktarının artması ve bu artışı destekleyen WAP (Kablosuz Uygulama Protokolü – Wireless Application Protocol) ve GPRS gibi teknolojilerin gelişmesi.

4.5. Veri İletişim Karakteristiği

Haberleşmede amaç verinin bir noktadan, haberleşmek istenen diğer noktaya aktarılmasıdır. Ne yazık ki, bu iki nokta arasında doğrudan bir hat bulunması pratik olarak çok masraflı ya da imkansızdır. Bu nedenle, veri anahtar adı verilen bağlantı noktalarında bir hattan diğerine aktararak uçtan uca iletilir. Anahtarlar ilk telefon hatlarından günümüze kadar, haberleşme sistemlerinin vazgeçilmez elemanları olmuşlardır. Veri iletişimde devre anahtarlama iletişim ve paket anahtarlama iletişim olmak üzere iki yöntem kullanılmaktadır.

Devre anahtarlama iletişimde, kullanıcılar arasında bir alana bağlı, belirli bir zaman aralığında veya belirli bir frekans bandında uçtan uca bir bağlantı kurulmaktadır. İletişim taraflar arasında yol kurulunca başlamakta ve görüşme süresince kurulan yol

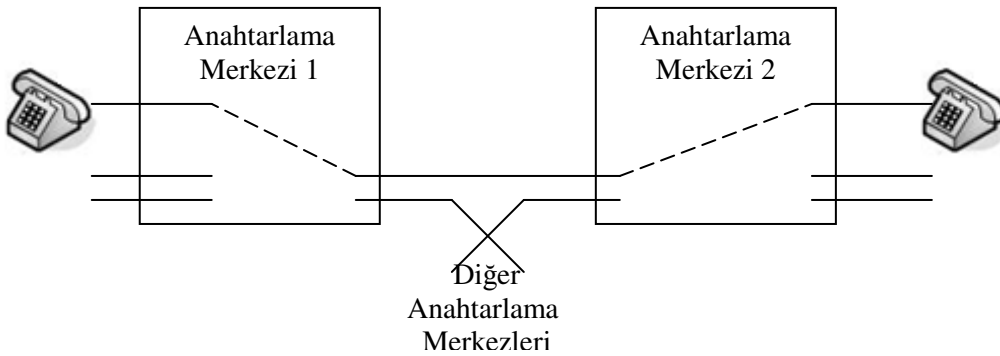
tutulmaktadır. Görüşme sona erdiğinde bağlantı kesilmekte ve bağlantı başka kullanıcılar için yeniden kullanılabilir hale gelmektedir.

Paket anahtarlama veri iletişimde sistem, bir uç noktadan başka bir uç noktaya erişmek üzere bir mesaj gönderildiğinde mesajı belli uzunluklardaki paket adı verilen parçalara ayırmaktadır. Oluşturulan paketler ayrı olarak iletilmektedir. Ulaşılması istenen uç noktanın adresi her bir pakete eklendikten sonra paketler kanallara gönderilmektedir. Bir mesaja ait paketler, farklı yollar izleyerek farklı gecikmelerle alıcıya erişmektedir. Alıcının mesajı doğru olarak değerlendirebilmesi için pakete sıra numarası eklenmektedir. Şebeke ihtiyaç durumunda paketlerden oluşan veriyi dağıtmaktadır. Bu sebeple bir radyo kanalı birden fazla mobil istasyon tarafından eş zamanlı olarak paylaşılabilir. Bir mobil istasyon 8 radyo zaman dilimini eş zamanlı olarak kullanabilmektedir. Bir mobil istasyon bir veri paketi oluşturduğunda, şebeke paketi adrese uygun olan ilk radyo kanalından göndermektedir. İletim esnasında farklı paketler farklı radyo kanallarını kullanabilmektedir [39].

4.5.1. Devre anahtarlama

Devre anahtarlama haberleşecek iki uç düğüm arasında bir yol (devre) kurulur. Bağlantı boyunca belirlenen yol kurulu kalır ve veri aktarımı bu yol üzerinden gerçekleşir. Devre anahtarlama veri aktarımında iki aşama vardır [33]:

- 1) Devrenin kurulması. Bu aşamada ilgili uç düğümler arasında özel sinyalleşme mesajları kullanılarak bir yol kurulur.
- 2) Veri aktarımının başlatılması.



Şekil 4.5. Devre anahtarlama [33]

Birinci aşamada uç düğümler arasında bir yol kurulamazsa bağlantı gerçekleştirilemez. Bağlantı iki uç düğümden biri tarafından koparılabılır (bitirilebilir). Telefon şebekesi bu anahtarlama tipinin en güzel örneğidir. Zamana duyarlı gerçek zaman uygulamaları için devre anahtarlama en uygun ortamı oluşturur. Daha önceden kurulmuş devre üzerinden yaratılan trafik bekletilmeden aktarılır.

4.5.2 Paket anahtarlama

Paketler bir bağlantı sırasında aktarılması planlanan verinin küçük parçalara bölünmüş halidir. Mesaj boyutunun değişken olması anahtarlarda bellek sorunu yaratır. Ayrıca uzun mesajlarda mesajın başındaki veri, mesajın sonundaki veri gelene kadar bekletilir. Bu da, zamana duyarlı uygulamalarda sorunlara neden olur. Herkes tarafından kabul edilen tek bir paket yapısı yoktur. Donanım teknolojisine bağlı olarak paket yapısı da değişir. Belli bir ağ teknolojisinde paket aktarımı için oluşturulan yapıya *çerçeve* (frame) denir. Bir çerçeve genellikle Şekil 4.6'daki yapıya sahiptir [33].

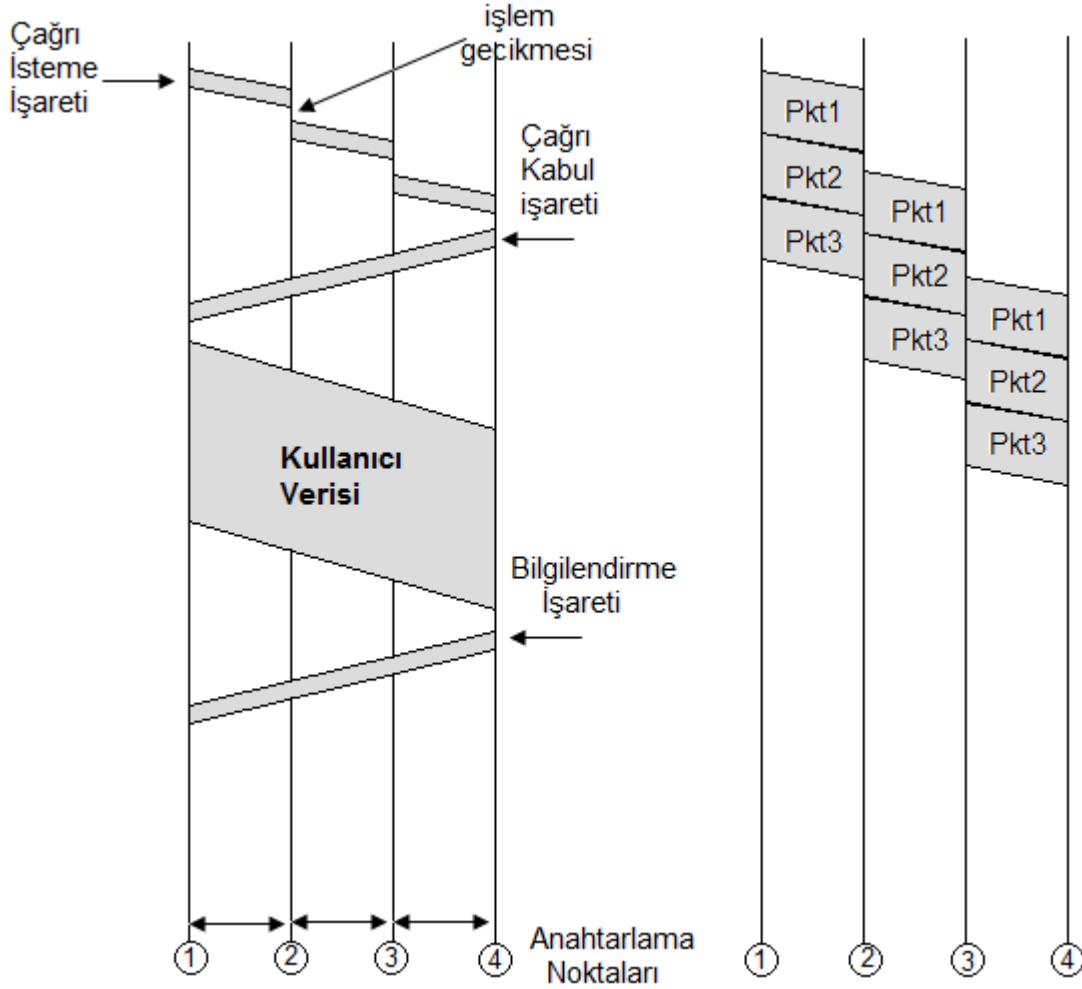
çerçeve başı	veri bloğu	çerçeve sonu
--------------	------------	--------------

Şekil 4.6. Çerçevenin genel yapısı

Şekilde de görüldüğü gibi verinin önünde ve arkasında çerçevenin başlangıcını ve sonunu gösteren küçük bloklar vardır. Bu bloklarda adres, hata kontrolü vb gibi veri aktarımı sırasında kullanılan ağ teknolojisine özel kontrol bilgisi bulunur. Şekilden de anlaşıldığı gibi paketlere bölerek aktarım sırasında taşınan veri miktarı artar. Gerçekte taşınması istenen veriye ek olarak gönderilen fazlalıklara *ek yük* diyoruz. Aktarım sırasında ek yük ne kadar azaltılırsa kullanıcı verisine o kadar fazla alan (kapasite) kalır.

Paket anahtarlama dönüş

Paket anahtarlama temelde sakla-ve-gönder yöntemi kullanır. Ancak veri tek bir mesaj halinde gönderilmez. Daha küçük boyutlardaki paketlere yerleştirilir. Küçük paketlere yerleştirilmiş veri daha hızlı hareket edebilir. Bir bağlantıya ait paketlerden biri herhangi bir düğüme varırken aynı bağlantının başka bir paketi o düğümden çıkabilir. Paket anahtarlama bağlantı öncesinde yol kurulmaya gerek duyulmaz. Paket ve devre anahtarlamanın çalışması, Şekli 4.7'de incelenmiştir.

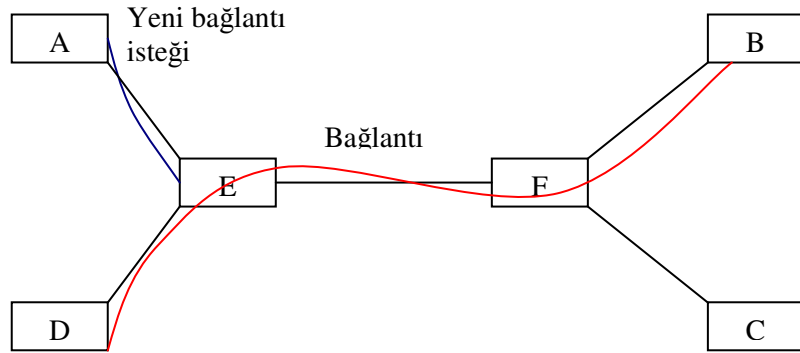


Şekil 4.7. Paket ve devre anahtarlamamanın incelenmesi [39]

Paket anahtarlama aynı bağlantıya ait bir paket bir öncekinden farklı bir yolu kullanarak varış noktasına ulaşabilir. Bu da paketlerin varış düğümünde sıralanmasını gerektirir. Paketlerin varış düğümüne ulaştırılırken farklı yollar izlemesi her paketin düğümler üzerinde ayrı ayrı işlenmesi ve o an için en uygun yoldan varış düğümüne yönlendirilmesinin sonucudur. Bu nokta hataya duyarlılık söz konusu olduğunda bir avantaja dönüşür. Kaynak-varış arasındaki bir düğüm bozulduğunda ya da bir bağlantı koptuğunda alternatif yolların kullanılması mümkündür. Devre anahtarlama yönteminde kurulan yolun değiştirilmesi mümkün değildir. Paket anahtarlama yöntemi ağ üzerindeki kaynakları en iyi şekilde kullanmayı hedefler. Kaynakları önceden rezerve etmesi söz konusu değildir. Ancak bu durum gerçek zamanlı ve belli bir kapasiteye ihtiyaç duyan uygulamalar için istenmeyen sonuçlar yaratabilir. Bu nedenle, gerçek zamanlı uygulamalarda tercih edilen bir yöntem değildir.

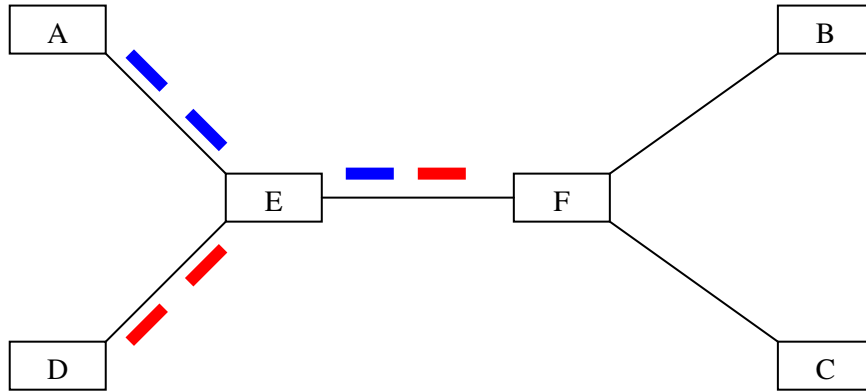
Paket anahtarlama temelli ağlarda ağ kaynaklarının paylaşımı

Bu konuyu aşağıdaki basit örnek üzerinde anlatmak daha kolay olabilir. Altı düğümlü (A, B, C, D, E ve F düğümleri) bir haberleşme ağıımız olduğunu ve bu ağ üzerinde devre temelli bağlantıların kurduğunu düşünelim. Bu durumda, B ve D düğümleri arasında kurulmuş bir bağlantı D-E, E-F ve F-B hatlarını kullanacaktır. Aynı ağ üzerinde, daha sonra, A ve C düğümleri arasında başka bir bağlantı kurmak istersek D ve B düğümleri arasındaki bağlantının bitmesini beklememiz gerekir. Çünkü E-F hattının kullanılıyor olması A ve C düğümleri arasında yeni bir bağlantı kurulmasını engeller. Bu durum Şekil 4.8’de gösterilmiştir [33].



Şekil 4.8. Devre anahtarlama aynı kaynakları kullanacak iki bağlantı isteğinin ardışıl gelmesi durumu

Aynı ağ yapısı üzerinde paket anahtarlama tekniğini kullanılırsa her iki bağlantı da Şekil 4.9’da görüldüğü gibi gerçekleşebilir. Bu durumda ikinci bağlantı birinci bağlantının sona ermesini beklemeden paket aktarımına başlayabilir. Bu da kaynakların nasıl daha verimli kullanıldığını gösterir [33].



Şekil 4.9. Paket anahtarlama aynı kaynakları kullanacak iki bağlantı isteğinin ardışıl gelmesi Durumu

5. UMTS (EVRENSEL MOBİL HABERLEŞME SİSTEMİ)

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System - Evrensel Mobil Haberleşme Sistemi) IMT-2000'nin standartlarına uygun olarak Avrupa'da kabul edilen, üçüncü nesil mobil haberleşme sisteminin genel adıdır. UMTS, yüksek hızlı asimetrik-simetrik veri transferine olanak sağlayan, devre ve paket anahtarlama sistemlerinin aynı anda hizmet verebilmesini mümkün kılan ve IP protokolünü destekleyen bir şebekedir. UMTS şebekesi, mevcut GSM şebeke alt yapısı üzerine kurulmaktadır, ancak farklı bir spektrum ve hava arayüzü kullanılacağından yeni bir lisans alınması gerekmektedir.

5.1. UMTS'in Sağladığı Özellikler

UMTS şebekesinin haberleşme sektörüne sağladığı avantajlar aşağıda verilmektedir [3].

- Her türlü telsiz ortamında 144 kbps kapsama alanı veya dahili ortamlarda 2 Mbps iletim hızları,
- Simetrik ve asimetrik veri iletimi,
- İnternet protokolü (IP) ile paket bağlantılı hizmetler ve gerçek zamanlı görüntü,
- Daha iyi ses kalitesi,
- Daha büyük kapasiteli ve geliştirilmiş spektrum verimliliği,
- Çoklu ortam hizmetleri için son kullanıcı veya terminallere aynı anda birden fazla hizmet,
- Gelişmiş hizmet kalitesi, gelişmiş pil ömrü,
- 2G mobil sistemi ile kesintisiz bağlanabilme,
- Farklı 3G işletim ortamlarında küresel dolaşım, ölçek ekonomisi ve kitle pazarı gereksinimlerini karşılaması beklenen açık uluslararası standart,
- Mevcut şebekelerle birlikte çalışabilirlik,
- Mevcut şebekelere geriye doğru uyum sağlayabilme, düşük kurulum maliyeti.

5.2. UMTS'in Sağladığı Hizmetler

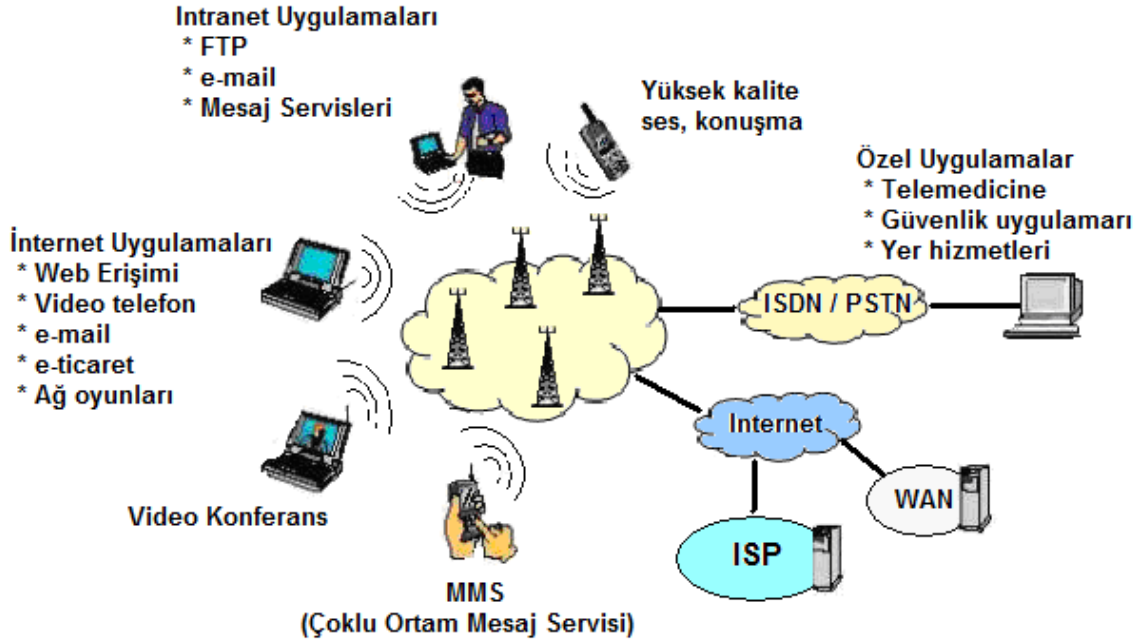
UMTS'nin sağladığı diğer uygulamalar ise aşağıdaki gibidir [4, 5, 18].

- İnternet protokolü üzerinden ses iletimi: Telefon çağrılarını internet üzerinden yönlendirerek tüm çağrılar yerel çağrıymiş gibi ücretlendirilmesine imkan veren bir uygulamadır ve EDGE'nin gelmesi ile ilk defa mobil telefonlarda uygulanabilmektedir.

VoIP (IP Üzerinden Ses İletimi – Voice Over IP)’nin yüksek hız gerektirmesinden ötürü, UMTS standart ses servisine bir alternatif olarak gelmemektedir.

- Sanal Ev Ortamı: UMTS, kullanıcılarına bazı işlerini evlerindeymiş gibi uzaktan yapabilmelerine imkan tanımaktadır.
- Hareketli Resim İletimi: Bu uygulama ailesi içerisine; görüntülü telefonların yanında güvenlik kameralarının uzaktan takibi, tele-konferans ve diğer uygulamalar girmektedir.
- Sabit Resim İletimi: Fotoğraf, resim, mektup, posta kartı, sunum, statik web sayfaları gibi görsel içerikli veri iletimleri bu uygulama ailesine girer.
- Elektronik Yardımcı: E-Sekreter, E-Advisor gibi uygulamalar bu uygulama ailesi içerisinde yer alır. Elektronik yardımcılar, şebeke üzerinde kullanıcı adına çalışan veri arama ve iletme işlevlerini yürüten programlar olarak düşünülebilir.
- Yazılım Transferi: UMTS’in şu anki internet erişiminden daha yüksek veri hızlarına ulaşmasıyla gelecekte yazılımların mobil cihazlar aracılığı ile transfer edilebileceği düşünülmektedir.
- Radyo ve televizyon yayını,
- Konuma özel uygulamalar,
- İnternet temelli hizmetler,
- Mobil e-ticaret (Alışveriş / bankacılık),
- Durağan resim gönderimi,
- Çoklu ortam mesajlaşma,
- Konum temelli hizmetler,
- Canlı TV ve radyo yayını,
- Noktadan noktaya yayın hizmetleri,
- Paket veri temelli araç seyir sistemleri,
- Paket veri temelli gerçek zamanlı sağlık izleme sistemleri,
- Oyun, CD kalitesinde müzik, görüntü vs çoklu ortam bileşenleri indirme.

UMTS’in sağladığı hizmetler Şekil 5.1’de gösterilmiştir [19].



Şekil 5.1. UMTS şebekesinin sağladığı hizmetler

5.3. UMTS Standartları

5.3.1. Hava arayüzü ve özellikleri

3G standartları birkaç farklı bölümden oluşmaktadır. Birincisi, kullanıcı terminali ile şebeke arasındaki hava arayüzüdür. Bu arayüz sinyallerin terminalden şebekeye ve şebekeden terminale nasıl aktarılacağını tanımlamaktadır. Bu standart aynı zamanda lisansla birlikte verilecek spektrum miktarını belirlemektedir. ITU'ya 3G telsiz standartlarının belirlenmesi kapsamında önerilen arayüzler değerlendirme gruplarınca incelenmiş ve Eylül 1998'e kadar hazırlanan raporlar ITU'ya sunulmuştur. Kasım 1999'da Helsinki'de yapılan toplantının ardından ITU Radyo Komünikasyon Topluluğu IMT 2000 karasal telsiz arayüzü (mobil terminal ile telsiz haberleşme) olarak aşağıdaki beş teknolojiyi önermiştir [17].

1. IMT DS (Direct Spread) için *UTRA FDD* 1920-1980MHz ve 2110-2170MHz bandı
2. IMT MC (Multi Carrier) için CDMA-2000
3. IMT TC (Time-Code) için *UTRA TDD* 1900-1920MHZ ve 2010-2025MHz bandı
4. IMT SC (Single Carrier) için UWC-136
5. IMT FT (Frequency Time) için DECT.

1. IMT-DS (Direct Spread): Bu standardın temeli UTRA-FDD (UMTS Karasal Radyo Erişim Frekans Bölmesi Çift Yönlü Haberleşme - UMTS Terrestrial Radio Access Frequency Division Duplex)'ye dayanmaktadır. Bu arayüz UTRA-FDD veya WCDMA olarak da adlandırılmaktadır. UTRA-FDD modu eş zamanlı gerçekleşmesi gereken simetrik uygulamalar (ses, video, konferans) için uygun olup, tam hareketliliğe imkan tanımaktadır.

2. IMT-MC (Multi Carrier): CDMA-2000 olarak da adlandırılan bir 3G telsiz arayüz standartıdır. CDMA-2000 radyo frekansını çoklu kullanıcıya aynı anda ve birbiriyle enterfere olmadan paylaşımın sayısal bir telsiz teknolojisi olan CDMA'nın geliştirilmiş versiyonudur.

3. IMT-TC: İki versiyonu vardır. UTRA TDD (UMTS Karasal Radyo Erişim Zaman Bölmesi Çift Yönlü Haberleşme - UMTS Terrestrial Radio Access Time Division Duplex) ve TD-SCDMA (Time Division Synchronous CDMA - Zaman Bölmesi Eşzamanlı CDMA). Bunlar tekli bant kullanırlar. İnternet gibi asimetrik servislerde ve düşük hareketlilik gerektiren uygulamalarda kullanılır. UTRA TDD'nin Avrupa'da, TD-SCDMA'nın ise Çin'de kullanılacağı düşünülmektedir.

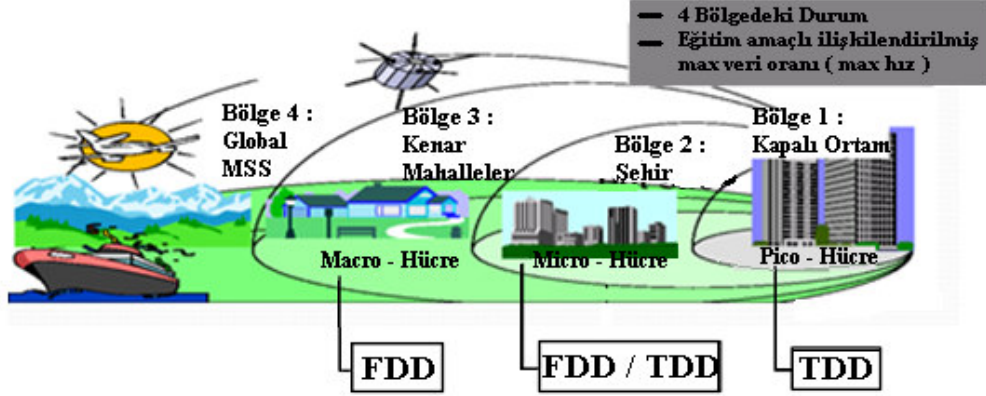
4. IMT-SC: 3G teknolojisi olarak TDMA kullanan ülkelerin 3. Nesile geçiş için öngördükleri bir sistem olmakla beraber EDGE adı ile de anılan bu arayüz yeni bir modülasyon tekniğı kullanarak TDMA tabanlı telsiz arayüzlerin kodlama tekniğinin geliştirmekte ve mevcut GSM şebekeleri üzerinden 3G verilerinin sunulmasını sağlamaktadır.

5. IMT-FT: DECT olarak da bilinir. Avrupa'da kablosuz telefonlara has TDMA kullanan bir sayısal telsiz teknolojisidir. Tekli frekans bandı kullanır. 120 duplex ses kanalı içerir.

5.3.2. Hücre yapısı

UMTS karasal, ulusal ve küresel uydu bileşenlerini kapsayarak, tüm dünyada geçerli olan bir sistem olarak tasarlanmıştır. Sistem, mevcut ikinci nesil şebekesini de

kullanarak çok modlu ve çok bantlı mobil terminaller sayesinde temel hizmetler için çok geniş bir kapsama alanına kavuşmaktadır.



Şekil 5.2. UMTS kapsama alanları [17]

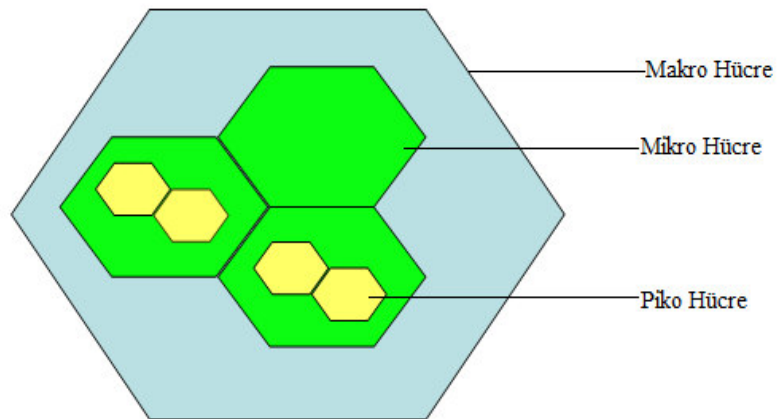
UMTS kapsama alanı içinde Micro, Macro ve Picocell olarak 3 farklı hücre tipi vardır.

Macro hücre: Yerleşimin seyrek olduğu maksimum 25-35 km yarıçapındaki geniş alanlarda hizmet verir. (örneğin; okul kampüsleri, şehirlerarası otobanlar)

Micro hücre: Genellikle yerleşimin daha yoğun olduğu ve makro hücresel kapsamayı geliştirici ve tamamlayıcı olarak hizmet verir. (örneğin; binalar arası yavaş bir trafikte hareket eden insanların olduğu mekanlar)

Pico hücre: Daha çok bina içi haberleşmede ve daha özel alanlarda hizmet verir. (örneğin; alışveriş merkezleri, lobiler)

UMTS'deki hücre yapılarının boyutları Şekil 5.3'te verilmiştir.



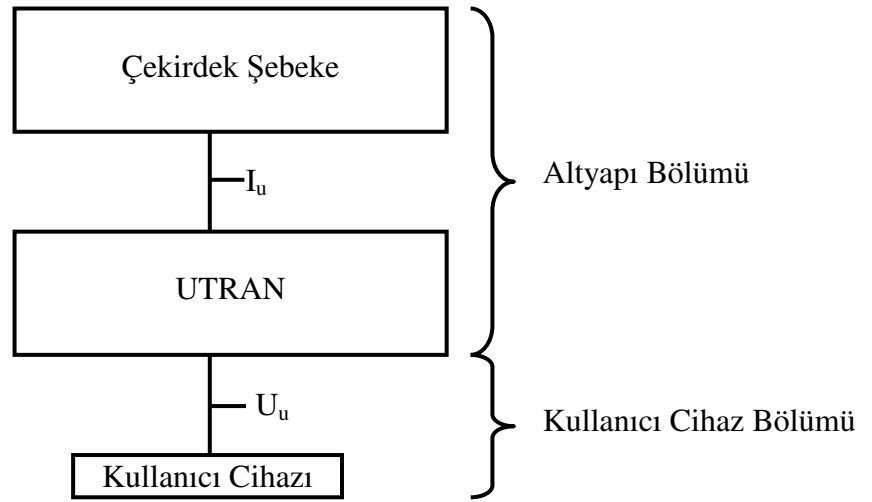
Şekil 5.3. UMTS hücre yapısı

5.4. UMTS Mimarisi

Şekil 5.4’de temel kısımları, harici referans noktaları ve UTRAN ara yüzleri ile basitleştirilmiş UMTS mimarisi görülmektedir.

UMTS; şebeke mimarisi olarak aşağıdaki kısımlardan oluşur [18].

- UTRAN (UMTS Karasal Telsiz Erişim Şebekesi - UMTS Terrestrial Radio Access Network)
- CN (Çekirdek Şebeke - Core Network)
- UE (Kullanıcı Terminali - User Equipment)



Şekil 5.4. UMTS sistem yapısı [18]

Şekil 5.4’te UMTS sistem yapısındaki modüllerin bağlantı arayüzleri verilmiştir. Kullanıcı cihazı UTRAN’a erişmek için “U_u” denilen bir radyo arayüzü kullanır. UTRAN ile CN ise devre anahtarlama veya paket anahtarlama “I_u”denilen bir arabirimle bağlantı halindedir.

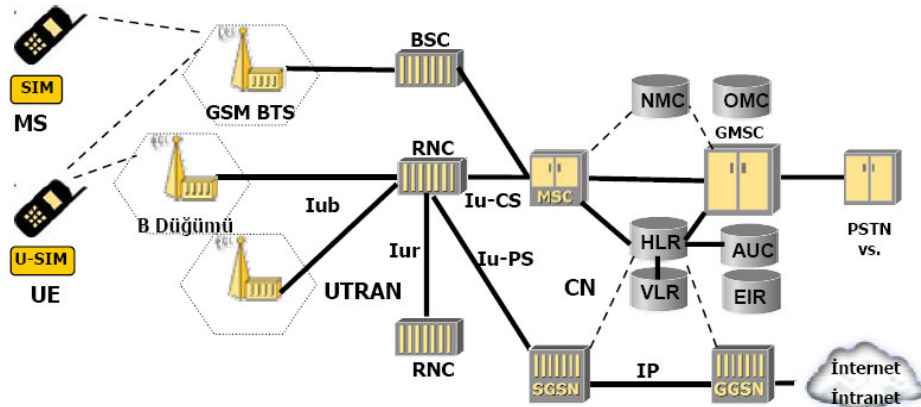
UMTS sistem yapısı Şekil 5.5’de verilmiştir. Bu sistemdeki modüller ise şöyle tanımlanmaktadır.

UTRAN; Node B ve RNC (Radyo Erişim Kontrolörü - Radio Network Controller)’den oluşmaktadır. Node B; GSM’deki baz istasyonu, RNC; GSM’deki BSC’ye eşdeğerdir.

CN; GSM'deki NSS (Şebeke Anahtarlama Alt Sistemi - Network Switching Subsystem) sistemine benzer.

UE; GSM'deki SIM'e benzeyen USIM olarak adlandırılan bir kart ile bir terminal cihazının birleşiminden oluşan kullanıcı cihazıdır.

UMTS faz 1'e göre UTRA, UMTS'in erişim şebekesini oluşturur. UTRAN çekirdek şebekeye referans noktasıyla bağlanmıştır (Şekil 5.5).



Iu Arayüzü: UTRAN ile CN arasındaki bağlantıyı,

Iur Arayüzü: RNC'ler arasındaki bağlantıyı,

Iub Arayüzü: Node-B ile RNC'ler arasındaki bağlantıyı,

Uu Arayüzü: Kullanıcı terminali ile Node-B arasındaki bağlantıyı sağlar.

Şekil 5.5. UMTS erişim şebekesi [21]

UTRAN bir veya daha fazla RNS'den oluşmaktadır. Her bir RNS ise bir adet RNC ve bu RNC'ye bağlı Node-B'lerden oluşmaktadır.

5.4.1. Node B, kullanıcı cihazı ve diğer modüller

Node – B

UMTS baz istasyonu olarak adlandırılan Node-B, kullanıcı terminali ile UMTS şebekesi arasında W-CDMA erişim tekniğini kullanarak hava arayüz bağlantısını sağlayan bir ünedir. Node-B temel olarak FEC (İleri Hata Bağlantısı – Forward Error Connection), W-CDMA ve modülasyon olarak QPSK (UMTS'de kullanılan bir sayısal modülasyon

tekniki - Quadrature Phase Shift Keying) işlevlerini yerine getirerek kullanıcıdan gelen ve kullanıcıya giden bilginin dönüşümünü gerçekleştirir.

Her Node-B bir veya birkaç hücreye hizmet verebilmektedir. Node-B Iub arayüzü ile RNC'ye bağlanır. GSM'in aksine FDD modunda iken Node-B'ler arası bir senkronizasyona ihtiyaç yoktur. Bir Node-B hem TDD hem de FDD modunu destekleyebilmektedir [17].

İşlevleri [23];

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

RNC (Radyo Kaynak Kontrolü)

RNC, GSM'deki BSC ile eşdeğer fonksiyonlara sahiptir. Her bir RNC bir ya da birkaç tane Node-B'yi kontrol eder. RNC'ler Iu ara birimi ile CN'ye bağlantı halindedir. Iu(CS) arabirimi ile ses; Iu(PS) arabirimi ile veri iletimi gerçekleştirilir. RNC; kullanıcı cihazının bir baz istasyonundan diğerine aktarılması anlamına gelen aktarım (handover, handoff) kararları ile tüm RNS merkezi işlem ve bakımından sorumludur. RNC; Iu, Iub, Iur arayüzleri arasındaki protokol değişimini idare eder. İşlevleri [23];

- 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.

RNS (Radyo Şebeke Alt Sistemi)

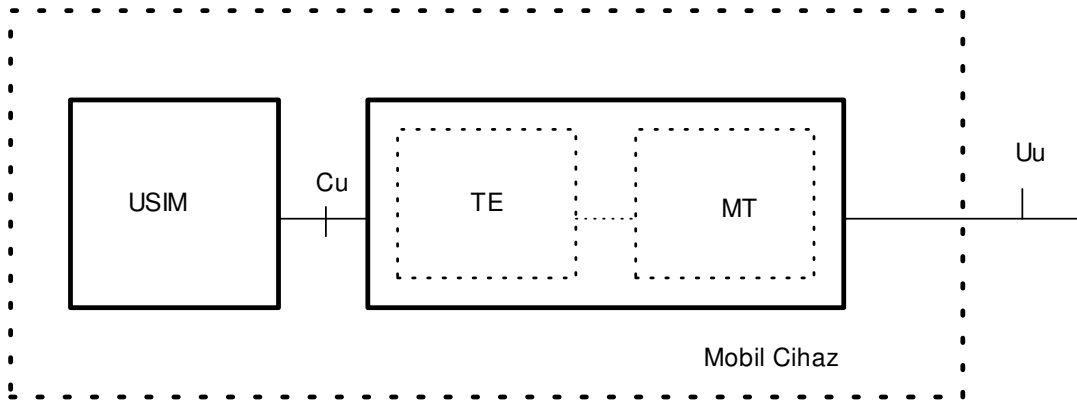
RNS; bir adet RNC ve bu RNC'ye bağlı Node-B'lerden oluşmaktadır. Her RNS kendi hücre setinin kaynaklarını yönetmekle sorumludur. GSM'in aksine RNS, mobilite yönetimi (handover algılama ve kontrol) ve radyo kaynak yönetiminden (bağlantı kurulması, kapatılması ve paketlerin transferi) tamamen sorumludur [17].

USIM (UMTS Abone Kimlik Modülü)

USIM; GSM'deki SIM ile benzer özelliklere sahiptir. Ancak daha yüksek işlemci performansına, daha yüksek hafıza kapasitesine, daha yüksek kodlama ve şifreleme kapasitesine sahip yeni nesil bir SIM karttır. USIM adlı smart kart kullanıcı, abonelik ve kişisel bilgilerinin şebekeye tanıtılmasından ve güvenlikle ilgili uygulamalardan sorumludur.

UE (Kullanıcı Cihazı)

UE; GSM'deki SIM'e benzeyen ve UMTS Abone Kimlik Modülü (USIM) olarak adlandırılan bir kart ile bir terminal cihazının birleşiminden oluşmaktadır.



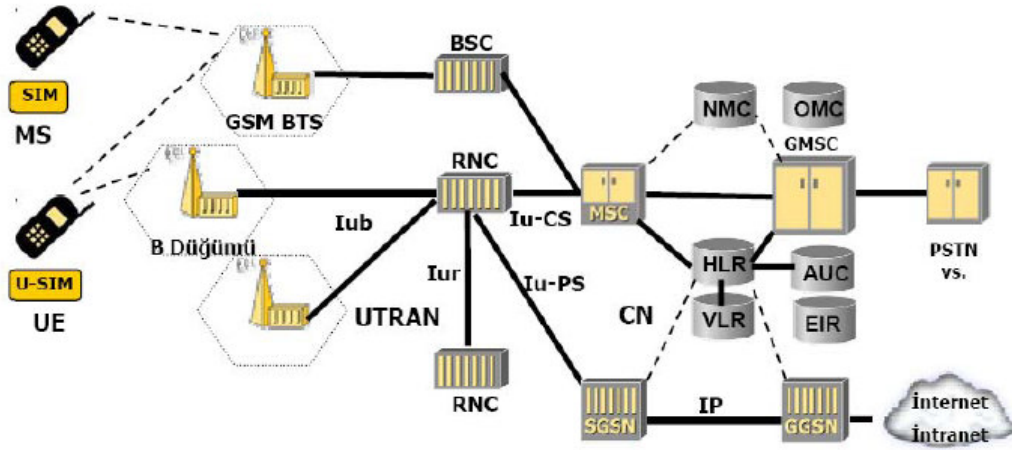
Şekil 5.6. Kullanıcı cihazı [17]

5.4.2. Çekirdek şebeke (CN)

Çekirdek şebeke, şebeke içi ve şebekeler arası ses ve veri iletimi için gerekli anahtarlama ve yönlendirme işlemlerini yürütmektedir. Çekirdek şebekede devre ve paket anahtarlama iki etki alanı vardır. Çekirdek şebekenin şeması Şekil 5.7'de gösterilmiştir [21].

Gerçek zamanlı olması gereken işlemler, ses ve görüntü servisleri MSC üzerinden devre anahtarlama tekniği kullanılarak yürütülürken; mesajlaşma ve bilgilendirme gibi gerçek zamanlı olmayan iletim hizmetleri ise SGSN (GPRS Hizmet Destek Düzümü - Serving Gateway Support Node) ve GGSN (GPRS Geçit Destek Düzümü - GPRS Gateway Support Node) üzerinden paket anahtarlama ile gerçekleştirilmektedir [17].

MSC ve SGSN birimleri, telsiz erişim şebekesine bağlantıları sağlayan Iu-CS ve Iu-PS arayüzleri ile yüksek hızda veri hizmetleri sunabilir. Çekirdek şebeke elemanlarından MSC (Mobil anahtarlama merkezi - Mobile Switching Center), GMSC (Mobil Anahtarlama Merkezi - Gateway Mobile Switching Center) ve VLR (Ziyaret Edilen Yer Kaydedicisi - Visitor Location Register), devre anahtarlama etki alanına özgü elemanlardır. SGSN ve GGSN ise paket anahtarlama etki alanına özgü elemanlardır. HLR (Esas Yerleşim Kaydedicisi - Home Location Register), EIR (Cihaz Kimlik Kaydedicisi - Equipment Identity Register), AuC (Cihaz Kimlik Kaydedicisi - Equipment Identity Register) gibi şebeke elemanları ise her iki etki alanına da hizmet vermektedir [17].



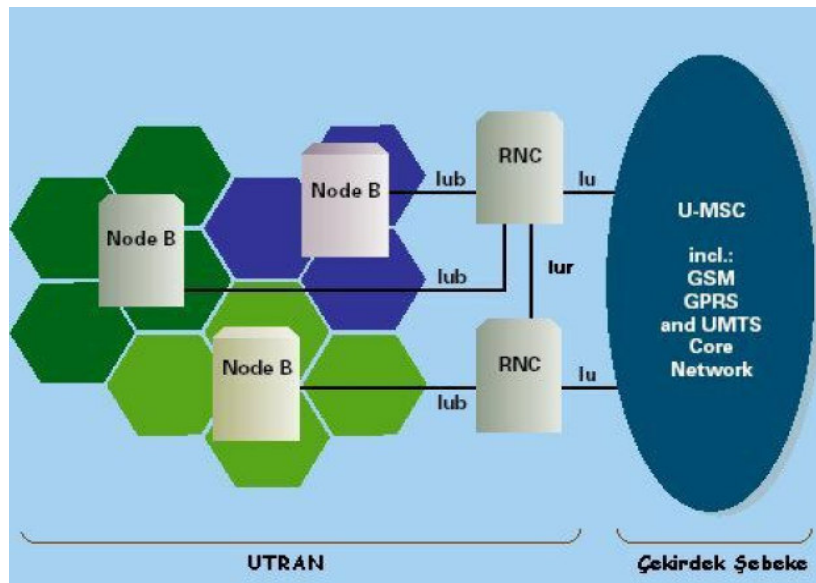
Şekil 5.7. Çekirdek şebeke [21]

5.4.3. UTRAN

UTRAN, UMTS radyo arabirimi olarak adlandırılır, UMTS’de kullanılan ve GSM’deki BSS yapısına denk düşen radyo erişim şebekesidir.

UTRAN, UMTS'in erişim kısmından sorumlu RNS'lerden oluşmuştur. RNS'ler özel radyo kaynaklarının tahsisinden ve serbest bırakılmasından sorumludur. RNS çekirdek şebekeye Iu referans noktasıyla bağlıdır (Şekil 5.8). Her RNS, bir RNC ve bir ya da daha fazla Node B'den oluşur.

Daha önce de değinildiği gibi Node B bir veya daha çok hücrenin radyo iletimi ve alımından sorumlu şebeke elemanıdır. Node B'ler RNC'ye Iub arayüzü ile bağlıdır. FDD (Frekans Bölmeli Çift Yönlü Haberleşme - Frequency Division Duplex) ve TDD (Zaman Bölmeli Çift Yönlü Haberleşme - Time Division Duplex) fonksiyonlarını destekler. Bir Node B'yi birden fazla RNC kontrol edemez. RNC, aktarım işleminden ve Node B'nin tüm mantıksal kaynaklarının yönetiminden sorumludur. UTRAN'daki RNC'ler ve RNS'lere Iur arayüzü ile bağlıdır.



Şekil 5.8. UTRAN sistem yapısı [17]

Utran telsiz arayüzünün diğer şebekelerden farkı 2 adet farklı ve birbirini tamamlayan telsiz erişim modu içermesidir.

- UTRA FDD
- UTRA TDD

Çiftli frekans bantlarında, çift yönlü frekans bölmesi UTRA FDD kipinde çalışması için CDMA'ya benzeyen ancak daha fazla bant genişliği sağlayan W-CDMA (Genişband CDMA

- Wideband Code Division Multiple Access) telsiz erişim tekniği kullanılırken; tekli frekans bantlarında, çift yönlü zaman bölmesi UTRA TDD kipinde çalışması için TD-CDMA (Zaman Bölmeli CDMA – Time Division CDMA) telsiz erişim tekniği kullanılır. UTRA FDD ve UTRA TDD telsiz arayüzleri Tablo 5.1’de karşılaştırılmıştır. UTRA FDD’nin UTRA TDD’den farklı olarak yeni bir modülasyon tekniği kullanabilmesi, daha avantajlı olan W-CDMA erişim tekniğini kullanmasına olanak sağlamıştır.

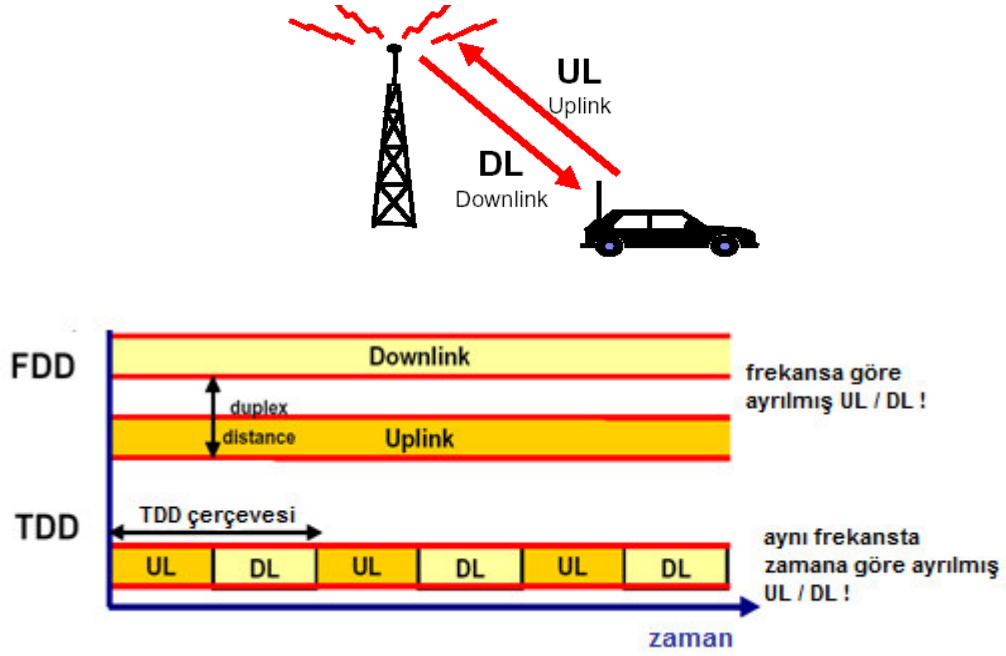
Tablo 5.1. UTRA / FDD ve UTRA / TDD karşılaştırılması

	UTRA/FDD	UTRA/TDD
Erişim tekniği	W-CDMA	TD-CDMA
Chip hızı	3.84 Mchip/s	3.84 Mchip/s
Kanal alanı	4.4 – 5 MHz	4.4 – 5 MHz
Çerçeve süresi	10 msn	10 msn
Çerçeve başına dilim sayısı	15	15
Modülasyon	Aşağı bağlantı: QPSK Yukarı bağlantı: Çift Kod BPSK	QPSK
Hız	Değişken (her 10 msn). Yayma faktörünü değiştirerek, iletilecek işarete birkaç kod tahsis ederek veya (sadece TDD için) birkaç zaman dilimini toplayarak farklı hızlar elde edilebilir.	

FDD tekniğinde, mobil terminalden baz istasyonuna doğru olan uplink iletimi (yukarı bağlantı) daha düşük frekans bandında gerçekleşirken, baz istasyonundan mobil terminale doğru olan downlink iletimi (aşağı bağlantı) diğer frekans bandında gerçekleşir. Böylece gönderme alma işlemleri farklı iki frekansta gerçekleştiğinden, FDD kipi eş zamanlı aynı hızda simetrik hizmetler sunabilir. TDD kipinde yukarı ve aşağı bağlantı için tek frekans bandı kullanılır. Belirli zaman aralığında ya kullanıcıya ya da şebekeye doğru veri aktarımı gerçekleşir. TDD’nin yüksek ve düşük yonga hızında olmak üzere iki şekli vardır [24]:

- 5 MHz band genişliğinde 3.84 Mc/s yonga hızında,
- 1.6 MHz band genişliğinde 1.28 Mc/s yonga hızında çalışmaktadır.

Aynı frekans bandında çok farklı hızlarda uplink ve downlink işlemleri gerçekleştiği için TDD kipi asimetrik hizmetler için kullanılır.



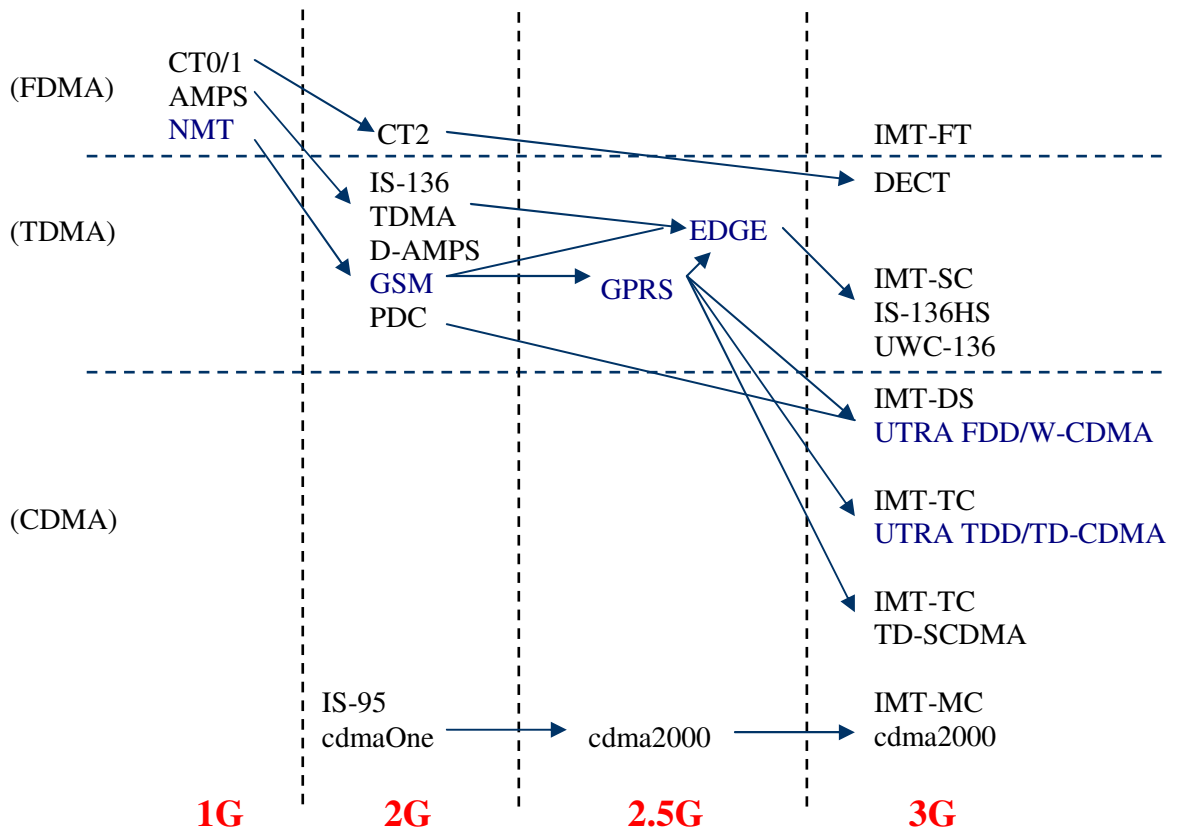
Şekil 5.9. FDD ve TDD karşılaştırılması [21]

6. ÇOKLU ERİŞİM TEKNİKLERİ

Mobil haberleşme sistemlerinin işletiminde kullanılan ana kaynaklar; frekans ve zamandır. Bu iki sınırlı kaynaktan faydalanarak çok sayıda abonenin hizmet alabilmesi ve bu abonelerin birbirleriyle girişim yapmaması amacıyla çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Çoklu erişim teknikleri olarak adlandırılan bu teknikler üçe ayrılır.

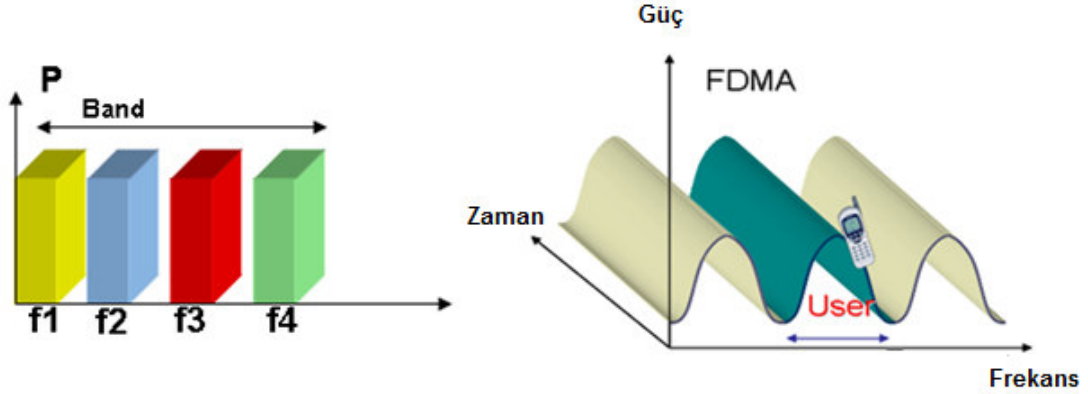
1. FDMA (Frekans Bölmeli Çoklu Erişim - Frequency Division Multiple Access)
2. TDMA (Zaman Bölmeli Çoklu Erişim - Time Division Multiple Access)
3. CDMA (Kod Bölmeli Çoklu Erişim - Code Division Multiple Access)

Çoklu erişim tekniklerinin gelişen mobil haberleşme sistemlerine göre dağılımı Şekil 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1. Mobil telekomünikasyon sistemlerindeki kuşaklar [34]

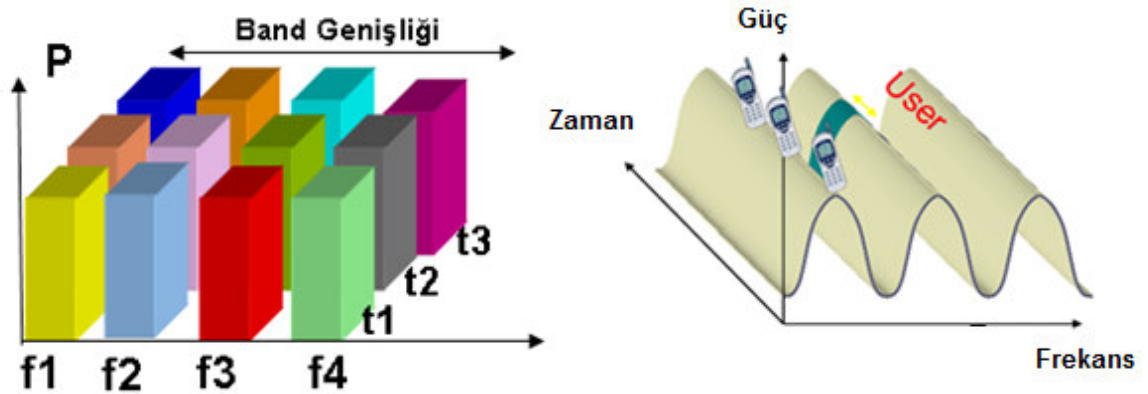
6.1. FDMA



Şekil 6.2. FDMA [21]

FDMA tekniğinde sistem için tahsis edilmiş bant genişliği, kanal olarak adlandırılan belli sayıda dilimlere ayrılır. Konuşma boyunca her bir kullanıcıya bu kanallardan biri tahsis edilir ve tahsis edilen her bir kanal için bir frekans bandı ayrılır. Bu kanalın farklı bir kullanıcı tarafından kullanılabilmesi için ilk kullanıcının görüşmesinin bitmiş olması gerekir. FDMA tekniği birinci nesil analog hücresel sistemlerden TACS (Toplam Erişim Haberleşme Sistemleri - Total Access Communication System) ve AMPS (Gelişmiş Mobil Telefon Hizmeti - Advanced Mobile Phone Service) tarafından kullanılmıştır.

6.2. TDMA



Şekil 6.3. TDMA [21]

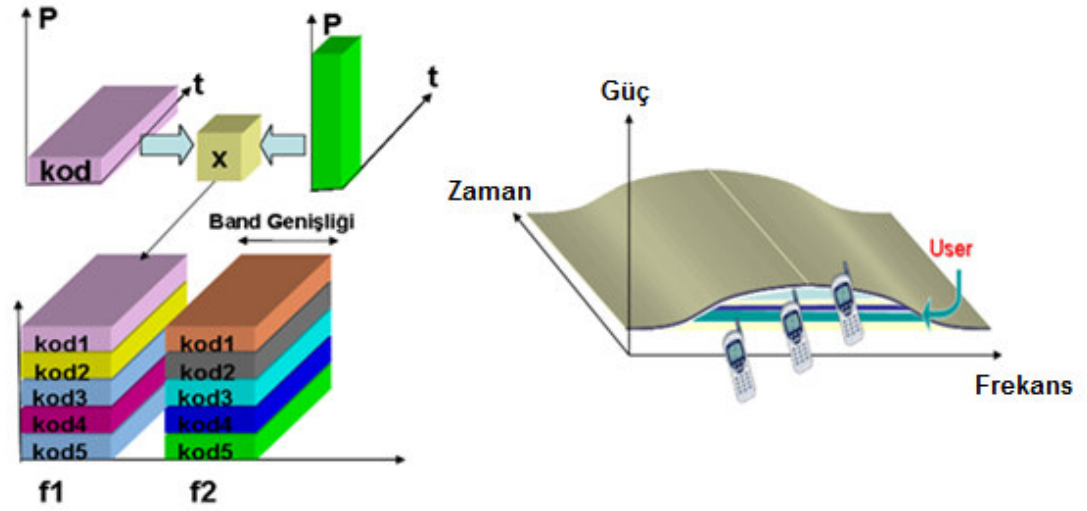
Amerika Birleşik Devletleri'nde geliştirilen ilk sayısal standarttır ve 1992 yılında TIA tarafından kabul edilmiştir. Amerikan analog teknolojisi olan AMPS'nin sayısal versiyonu (D-AMPS) veya IS-136 olarak da bilinmektedir [20, 35].

TDMA tekniğinde temel kaynak zaman dilimidir. İletişim kaynağı zaman dilimlerine ayrılır. Böylece kullanıcı frekans bandını farklı anlarda kullanabilir. Her frekans aralığı TDMA çerçevelerine bölünür. Bu çerçevenin frame süresi 4,615 ms'dir. Çerçeveler 8 eşit zaman dilime ayrılmıştır ve her bir zaman dilimi 577 micro saniyedir. Her bir telefon görüşmesi 1 time slotla taşınır. Time slot içinde taşınan bilgi burst olarak isimlendirilir. Burst "time slot" un ses, veri ve sinyalleşme için kullanılan parçalarıdır [34].

TDMA'da yer istasyonunun iletimleri, belirli bir zaman bölmesi ile sınırlıdır, ancak belli bir uydu sistemi ya da kanalı dahilinde iletimlerinin hangi frekansı ya da bant genişliğini kullanabileceği ile ilgili herhangi bir kısıtlama yoktur. Her yer istasyonu vericisi istediği herhangi bir anda iletim yapabilir ve belli bir uydu sistemini ya da kanala tahsis edilen bant genişliğinin herhangi bir bölümünün ya da tümünü kullanabilir [18, 22]. Genelde TDMA tekniği FDMA tekniği ile beraber kullanılır. Öncelikle tahsis edilen frekans bandı birçok kanala ayrılır. Daha sonra her bir kanal zaman bölmeli olarak hizmete sunulur. Böylece komşu hücrelerde farklı frekanslarda kullanılmış olur. Bu planlama ile aboneler arasında girişim önlenerek 8 time slotta 7 kişinin görüşebilmesi sağlanır. Time slotlardan biri sinyalleşme için kullanıldığından kullanıcı sayısı 7'ye düşmüştür.

Ayrıca gelişmiş TDMA tekniği, GSM ve 2.5G sistemlerinde kullanılan GPRS, HSCSD ve EDGE sistemlerinde de kullanılır.

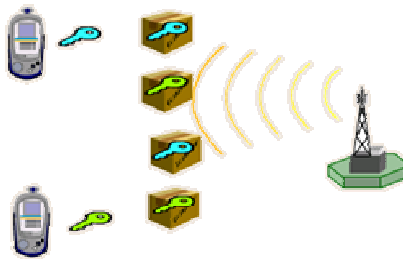
6.3. CDMA



Şekil 6.4. CDMA

CDMA tekniği; kablosuz ortamda kullanıcıların aynı anda ve aynı frekansta yayın yapmalarını mümkün kılar. Son yıllarda CDMA'dan daha çok söz edilmesinin nedeni üçüncü nesil kablosuz iletişim kavramının doğuşu ve CDMA'nın bu iletişimin çekirdek teknolojisi oluşudur [18].

CDMA tekniğinde, kullanıcıların her birine farklı birer kod verilir. Bu kodlar sayesinde kullanıcı verisi diğer kullanıcı verilerinden ayrılır. Bu işleme yayma denir. Yayma işleminde radyo kanalından iletilecek her bir işaret, iletim hızı çok daha büyük olan bir sayısal kod ile çarpılır. Bu işlemden sonra elde edilen bitler chip olarak adlandırılır. Sonuç olarak alıcı tarafından kod ile çözülebilen bilgi alınır, diğer kodları kullanan bilgiler ise göz ardı edilir. Yani CDMA her veri kanalını farklı bir kodla çarpıp kanalların birbirini gürültü olarak görmesini sağlar. Kodları bilen alıcı ise işaretleri bu gürültü yığını içerisinde çekebilmektedir (Şekil 6.5). Bu kodlar sayesinde çağrı güvenliği artmakta olsa da kodlar esasen çağrı tanımlanması amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 6.5. CDMA kodlama [21]

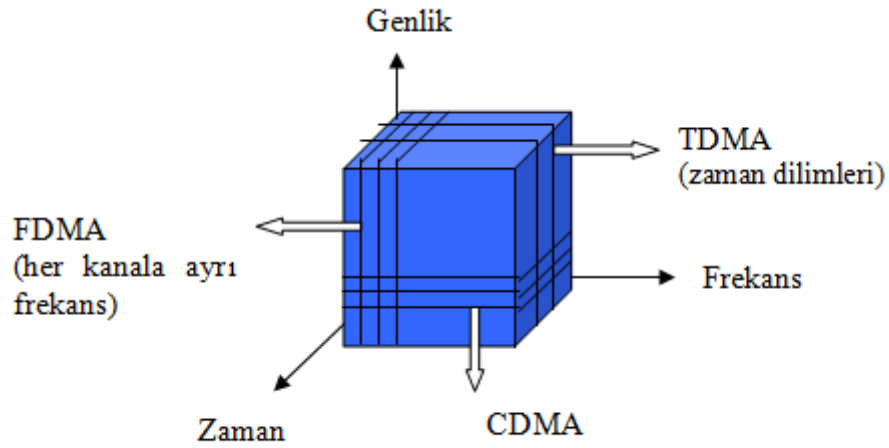
TDMA’da ise her kanala belirli bir zaman diliminin ayrılması tercih edilmekteydi. Bu durum FDMA’ya göre daha verimli bir çözümdür ve pratik olarak TDMA tekniği FDMA’yı içerebilir. Yani TDMA, belirli bir kanal grubuna ayrılmış bir frekansta da gerçekleştirebilir. CDMA tekniği TDMA ve FDMA’yı içerebilir. Böylece, FDMA’dan CDMA’ya kronolojik olmasa da evrimsel bir süreç izlendiği söylenebilir. CDMA’nın diğer tekniklerin göz ardı ettiği genlik ekseninden de yararlanıyor olması, bu tekniği diğer tekniklerden avantajlı kılmaktadır.

CDMA tekniği basit bir benzetme ile anlatılabilir. Aynı anda farklı dillerde (Türkçe, İngilizce ve Fransızca) üç kişinin sunum yaptığı bir konferans salonunda olduğumuzu düşünelim. Sadece İngilizce bilen bir dinleyici sadece İngilizce olarak yapılan sunumu anlayabilir. Diğer dillerde yapılan sunumlar ise arka plandaki bir ses, gürültü gibi gelecektir. CDMA sisteminde de aynı şey olur. Alıcı tarafında kullanılan kod ile çözülebilen bilgi alınır, diğer kodları kullanan bilgiler göz ardı edilir veya gerçek durumda çok büyük oranda zayıflatılır.

6.3.1. CDMA’nın avantajları

CDMA tekniğinin avantajları aşağıdaki şekilde özetlenebilir [6, 18].

- AMPS analog sistemlere göre 8-10 kat fazla iletim kapasitesine sahip,
- GSM sistemlere göre 4-5 kat fazla iletim kapasitesine sahip,
- AMPS sistemlere göre ses kalitesi fazla,
- Kullanılan aynı frekanstan dolayı kolay sistem planlamaya sahip,
- Kodlar bilinmedikçe modülasyonu çok zor, gelişmiş güvenlik,
- CDMA’da taşınabilir haberleşme cihazlarının konuşma süresi fazla,
- Geliştirilmiş kapsama karakteristiği ile mümkün olduğunca az sayıda hücre sitelerine müsaade eder,
- Daha çok bant genişliğine izin verir.

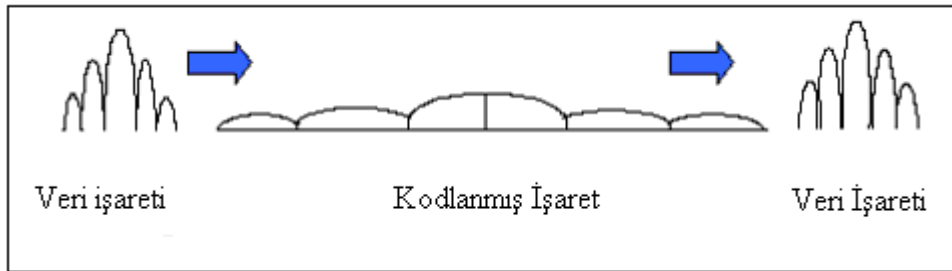


Şekil 6.6. FDMA, TDMA ve CDMA'nın karşılaştırılması [18]

6.3.2. CDMA'nın yaygın spektrumu

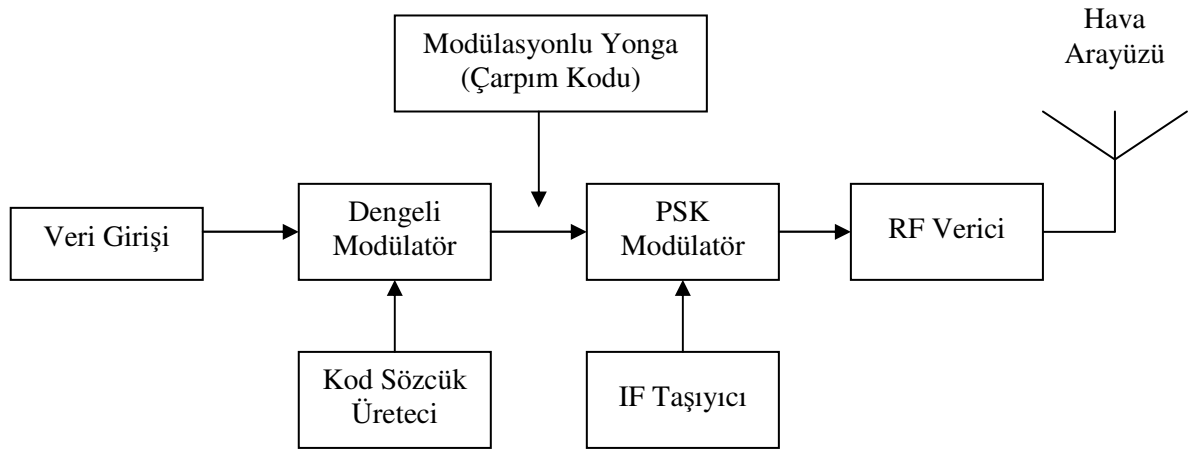
CDMA'nın genlik ekseninden yararlanma biçimi ve CDMA'nın çekirdek modülasyon yöntemi, yaygın spektrum tekniğidir (Şekil 6.7). Yaygın spektrum tekniği, veri işaretini daha geniş bir spektruma yaymaktır. Böylece TDMA ya da FDMA sistemlerine göre çok daha geniş bir frekans bandını işgal eder. Ancak CDMA, band genişliğine ödediği bedeli yüksek kapasite olarak geri kazanır. CDMA'nın standart veri iletim hızı 9.6 Mbps'dir.

FDMA'da, yer istasyonunun iletimleri bir uydu kanalı ya da sistemi dahilindeki belli bir bant genişliği ile sınırlıdır, ancak ne zaman iletim yapabilecekleri ile ilgili herhangi bir kısıtlama yoktur. TDMA'da yer istasyonunun iletimleri, belirli bir zaman bölümü ile sınırlıdır, ancak belli bir uydu sistemi ya da kanalı dahilinde iletimlerinin hangi frekansı ya da bant genişliğini kullanabileceği ile ilgili herhangi bir kısıtlama yoktur. Her yer istasyonu vericisi istediği herhangi bir anda iletim yapabilir ve tahsis edilen band genişliğinin herhangi bir bölümünü ya da tümünü kullanabilir.

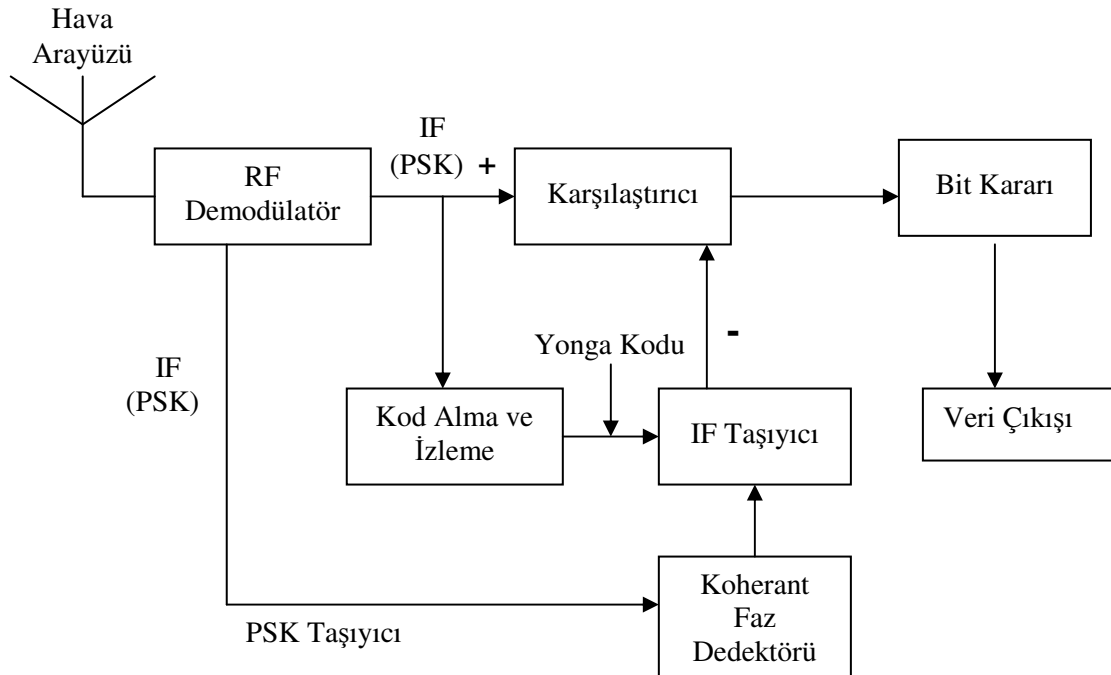


Şekil 6.7. Yaygın spektrum

CDMA tekniğinde bant genişliği ile ilgili herhangi bir sınırlama olmadığı için, CDMA'ya spektruma yayılmış çoklu erişim de denmektedir. İletimler, tahsis edilen bütün bant genişliğine yayılabilir ve şifreleme/şifre çözme teknikleriyle ayrılır. Yani, her yer istasyonunun iletimleri yonga kodu adı verilen kodlarla şifrelenir. Her istasyonun iletimini almak için, alma istasyonu o istasyonun yonga kodunu bilmek zorundadır. Şekil 6.8'de CDMA verici (kodlayıcı) ve Şekil 6.9'da CDMA alıcı (kod çözücü) devreleri görülmektedir [18].



Şekil 6.8. CDMA vericisi [18]



Şekil 6.9. CDMA alıcısı [18]

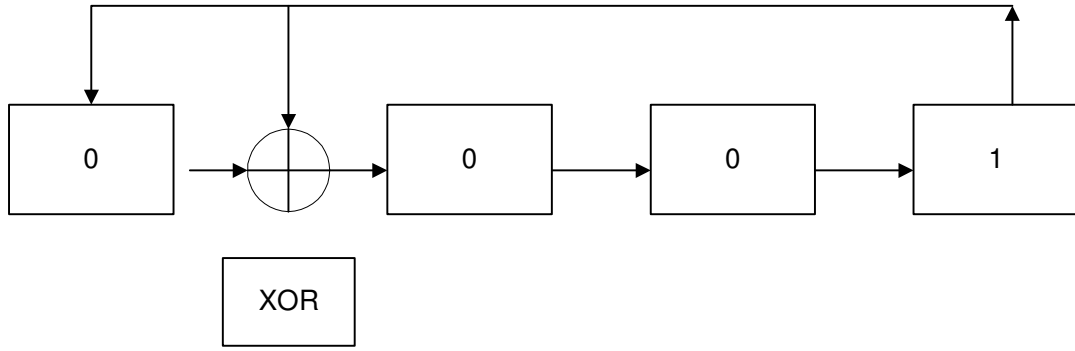
Kodlayıcıda, giriş verileri benzersiz bir yonga kodu ile çarpılır. Çarpım kodu bir IF taşıyıcıyı PSK modülasyonuna tabi tutar. PSK modülasyonunda bir taşıyıcının fazı sayısal işaretin iki seviyesine bağlı olarak iki değer arasında değiştirilir. İşaretimiz '0' seviyesinde ve '1' seviyesinde farklı faza sahip olur. Modülasyonlu taşıyıcı, iletim için radyo frekansına dönüştürülür. Alıcıda RF, IF'ye (ara frekansa) dönüştürülür. IF'den koherant bir PSK taşıyıcı tekrar elde edilir. Ayrıca yonga kodu elde edilir ve alma istasyonunun kod üreticini senkronize etmekte kullanılır. Alan istasyon yonga kodunu bilmektedir, ancak alma koduyla eşzamanlı olan bir yonga kodu üretmesi gerekir. Tekrar elde edilen senkron yonga kodu, tekrar elde edilmiş PSK taşıyıcıyı çarpar ve PSK taşıyıcı ile yonga kodunu içeren PSK modülasyonlu bir sinyal üretir. Yonga kodunu, PSK taşıyıcıyı ve veri bilgisini içeren alınan IF sinyali karşılaştırmacıda alınan IF sinyali ile karşılaştırılır. Karşılaştırmacının işlevi, iki sinyali karşılaştırmada ve başlangıçtaki veriyi tekrar elde etmektedir.

Herhangi bir kod kümesi genel olarak çoklu erişimi başarıyla sağlayamaz. Kodların birbiriyle çapraz korelasyonlarının en az değerde veya sıfır olması gerekmektedir. Geometrideki ortogonalite ya da diklik kavramı kodların özelliğini iyi tanımlamaktadır. Kodların ortogonal olmaları, A koduyla çarpılmış bir işaretin gücünün, B koduyla ayağa kaldırılmaması anlamına gelmektedir. N bitlik dizilerden x_n ve y_n , eğer $(x_n y_n)$ dizisi ve ayrı ayrı x_n ve y_n dizilerindeki 1 ve 0 sayıları eşitse, ortogonal olarak tanımlanırlar. Matematiksel olarak gösterilebilir ki, n bitlik bir diziden en çok (n-1) elemanlı bir ortogonal küme seçilebilir. Sözgelimi n=4 için {1010, 1100, 1001} dik bir kümedir. Bir CDMA sisteminde hangi kod kümelerinin kullanılacağı uygulanan standarda göre değişmektedir. Farklı dik kümelerin yanında PN (pseudo noise) dizileri de bir kanalı tanımlamak için kullanılmaktadır. Baz istasyonunda mobil radyo işaretinin kodlanması sırasında işarete özel olarak eklenir, bu sayede işaret belli sürede kendini tekrar eder. PN ya da sözde rastlantısal diziler, kayan yazmaçların (shift registers) özel düzenlemeleriyle oluşturulurlar. Aşağıda kayan yazmaçlarla elde edilecek olan PN dizisi ya da PN döngüsü [18]:

{0001, 1100, 0110, 0011, 1101, 1010, 0101, 1110, 0111, 1111, 1011, 1001, 1000, 0100, 0010, 0001}

biçimindedir. N yazmaçlık bir sistem $(2n-1)$ PN kodu üretebilmektedir. PN döngüleri daha ayrıntılı incelendiğinde, kodların sayısal iletişimde arzulanacak bazı özellikleri taşıdığı görülebilir.

CDMA açısından PN kodlarının ilginç özelliği, bir PN döngüsündeki komşu kodların birbirleriyle korelasyonlarının çok daha düşük oluşudur. Örnek olarak, 15 yazmaçlı oluşturulan 32767 kodluk döngüde, 512 elemanlı bir pencere içinde çapraz korelasyon %1,3'ün altındadır. PN kodların bu özelliğine dayanarak, CDMA sistemlerde, PN döngüsünde kaydırmalar yapılarak farklı kanallar kodlanabilmektedir [18].



Şekil 6.10. CDMA PN döngüsü

CDMA hücresel sisteminde kapasite

Çoklu ortam teknolojilerini kapasite büyüklüklerine göre kıyaslamak oldukça zordur. Çünkü belirleyici olan kullanılan teknolojiye göre çok uygulanan standartlar ve çözümlerdir. CDMA, FDMA ve TDMA'da kullanılmayan genlik boyutunu da kullandığından kapasite artışı söz konusudur.

Farklı teknolojilerdeki çoklu erişim tekniklerinin abone sayıları aşağıdaki şekli ile belirlenmiştir. Baz istasyonları başına abone sayısı/MHz [18]:

AMPS(FDMA)	11
GSM(TDMA)	85
IS-95(CDMA)	283

Bu rakamlardan da görüldüğü gibi CDMA diğer çoklu erişim tekniklerine göre çok daha yüksek bir kapasiteye sahip olduğunu göstermektedir.

Qualcomm firmasının dünya çapındaki CDMA denemeleri GSM'in 3, analog sistemlerin 10 katı bir kapasite ortaya koymuştur. Bu farklılık da, CDMA hücresel sistemindeki frekans kullanımının da payı vardır. GSM gibi TDMA bir sistemde hizmet alanı hücrelere bölünerek komşu hücrelerde farklı frekanslar kullanılmaktadır. Bu planlama, aboneler arası karışmayı önlemek açısından zorunludur. Oysa CDMA sisteminde, farklı baz istasyonları kendi işaretlerini baz istasyonuna özgü ortogonal kodlarla çarptıklarından, farklı hücrelerdeki aboneler arası karışma problemi çözülmektedir.

CDMA hücresel sisteminde birbirlerine komşu hücreler aynı frekansı kullanarak planlama açısından iş kazancı sağlarlar. CDMA'da sistem sığasını etkileyen bir diğer faktör, gezgin uç birimlerin RF güçleridir. Baz istasyonunda her gezgin uç birimin işareti hemen hemen aynı güç düzeyinde algılanması gerekirken baz istasyonuna yakın gezginlerin RF güçleri uzaktaki gezginlerin zayıf işaretlerini engelleyebilir. Bu sorunun çözümü güç denetimi algoritmaları ile, baz istasyonu gezgin uç birimlerine hangi güçte iletim yapacaklarını sürekli bildirmelerinden geçer. Böylece baz istasyonunda tüm aboneler için eşit bir güç düzeyi sağlanmaktadır.

CDMA güç kontrolü

CDMA sisteminde bütün kullanıcılar baz istasyonlarındaki güçten eşit miktarda faydalanırlar. Zaten gereğinden fazla güç, CDMA kanalında gereksiz ses düzeylerine sebep olur. Bu yüzden güç kontrolü arttıkça kanal kapasitesi artar. TDMA ve analog sistemlerde de güç kontrolü önemlidir, ancak CDMA'daki gibi bir hassasiyet bulunmamaktadır. CDMA'da baz istasyonları, mobil istasyonlarla haberleşir ve gücün az mı çok mu olduğuna dair mobil istasyonu bilgilendirir. Mobil istasyonları sadece yeterli güç seviyelerinde yayın yaparlar ve bu yüzden harcadıkları ortalama güç analog sistemlerden çok daha azdır.

Ses kalitesi

Kablosuz iletişimde, iki nokta arasında birden fazla RF yolu bulunduğundan verici ve alıcı birbirlerini görseler dahi çevredeki nesnelerden ve başka düzlemlerden yansımalar oluşabilir. Çok yollu yansıma olarak nitelendirilen bu olay sonucunda alıcıda zaman ekseninde birbirine göre kaymış işaretler oluşur. TDMA sisteminde RF çok yolluluk yıkıcı bir etki yaratırken, CDMA sisteminde işaretin zaman ekseninde kayması izlenebilmekte, dahası çok-yollu bileşenler asıl işareti güçlendirici bilgi olarak kullanılmaktadır. Bu işleyiş, tırmık alıcı (rake receiver) adı verilen özel bir donanım ve özel bir pilot kanalı yapısı ile olanaklıdır.

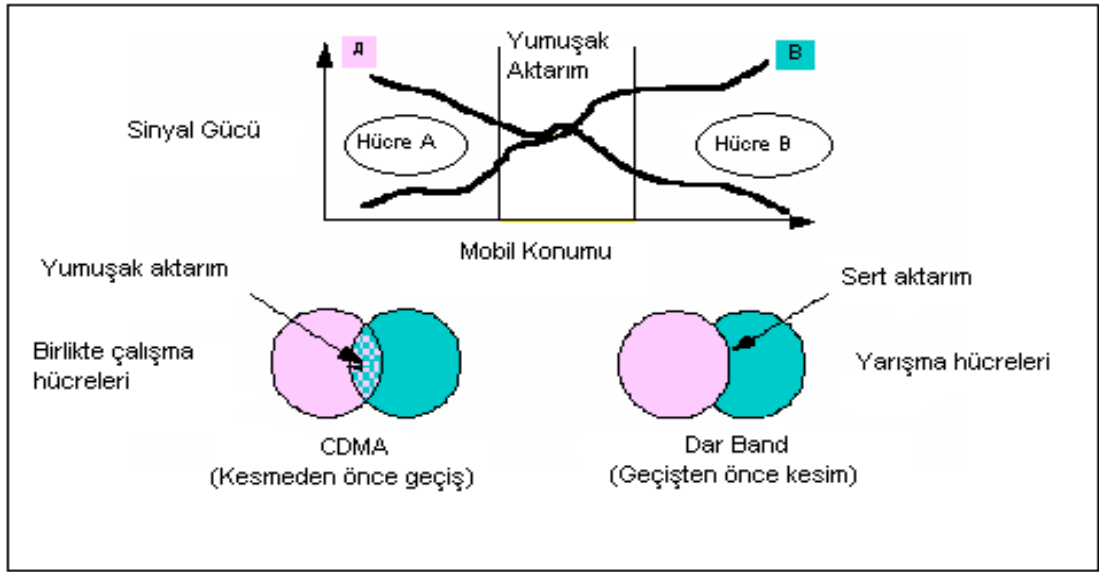
Güvenlik

Elektronik ticaret ve çağdaş bankacılık işlemlerinin gelişmesi ile kablolu ve kablosuz iletişimde güvenliğin önemi artmıştır. CDMA bağlantıları alıcıda kodlarla çözüldüğünden analog teknolojilere ve GSM'e göre çok daha güvenlidir. Çünkü hangi kod kümesinin hangi kullanıcının kullandığını bilmeden CDMA kanalını sistemin dışında dinlemek çok zor ve pahalıdır. Ayrıca özel güvenlik kipleri ile CDMA sisteminde güvenlik daha fazla artırılabilir.

Kesintisiz hücre değiştirme

Gezginin komşu baz istasyonun alanına girdiğinde gerçekleştirdiği frekans değişikliğine hücre değiştirme denir (Şekil 6.11). Gezgin uçbirim, iletişimini başka bir baz istasyonu ile daha iyi gerçekleştirebilecek bir konumda ise, anahtarlama merkezince bağlı olduğu istasyondan öteki istasyona atanır. Konuşma sırasında GSM kullanıcıları bu olayı, konuşmanın bir an için kesilmesi olarak algırlar.

CDMA sistemi, gezgin uç birimlerin kesintisiz hücre değiştirebildikleri ilk teknoloji olmuştur. CDMA hücresel sisteminde her hücrede aynı frekans kullanılabilir. Bu yüzden de, bir CDMA gezgin uçbirimi hücreler arası geçişte aynı anda birden fazla bağlantı kurabilir. Böylece kesintisiz hücre değiştirme sağlanır [18].



Şekil 6.11. Hücresel geçiş

7. UMTS ve W-CDMA

7.1. UMTS Radyo Erişimi

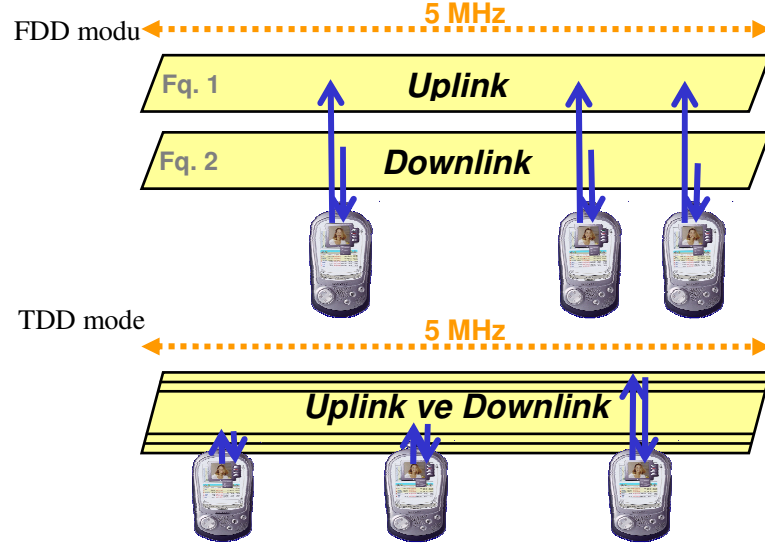
Mobil radyo sistemlerinde kullanıcı, işaretleri bir radyo taşıyıcısı üzerinde iletilir. Operatörler için tahsis edilmiş elektromanyetik spektrum sınırlı olduğundan, radyo kaynakların mümkün olduğunca verimli kullanımı gerekmektedir. Bu tür radyo kaynak yönetimi ise çoklu erişim teknikleri ile yapılır. Bu tekniklerle radyo kaynağı birçok kullanıcı için paylaştırılabilir.

Ocak 1998’de, ETSI UMTS için radyo erişim tekniğini belirlemiştir. Buna göre [9];

- Çift bantlarda, FDD tekniği ile W-CDMA kullanılması,
- Tek bantta, TDD tekniği ile TD-CDMA kullanılması,
- İkili kullanım için UMTS/GSM ve FDD/TDD terminaller geliştirilmesi,
- FDD yönteminde, bir operatörün UMTS hizmetlerini en az 2x5 MHz bant genişliği ile sağlaması tavsiye edilmiştir.

FDD tekniğinde, mobil terminalden baz istasyonuna doğru olan (yukarı bağlantı) iletim birbirinden simetrik olarak ayrılmış frekans bantlarından birinde (genel olarak daha düşük frekanstaki bant) gerçekleşirken, baz istasyonundan mobil terminale doğru olan (aşağı bağlantı) iletim diğer frekans bandında gerçekleşir. Böylece, gönderme ve alma işlemleri farklı frekansta gerçekleştiğinden eş zamanlı olabilir. Bu tip iletim, kullanıcı bilgisinin her iki yönde de aynı hızda taşındığı simetrik hizmetler için uygundur.

TDD yönteminde, yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı iletim için aynı frekans bandı kullanılır. Bu durumda, asimetrik hizmetlerin sağlanması, asimetrik zaman tahsisi ile olur. Asimetrik hizmette, kullanıcı bilgisi yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı yönlerinde birbirinden çok farklı hızlarda iletilmektedir (Şekil 7.1).



Şekil 7.1. FDD ve TDD modunda frekansların kullanımı [21]

7.2. W-CDMA (Genişband CDMA - Wideband CDMA)

W-CDMA, 3GPP (3rd Generation Partnership Project) tarafından ITU'ya önerilen IMT-2000 standardıdır ve Avrupa'da UMTS olarak bilinir. W-CDMA 3G'ye geçişte GSM temelli şebekelerin desteklenmesi amacıyla geliştirilmiştir. W-CDMA, CDMA-2000 erişim tekniğinde de olduğu gibi Qualcomm (Amerika) firmasının öncülüğünü yaptığı CDMA tekniğine dayanır.

W-CDMA, 5 MHz ya da daha fazla band genişliğine sahiptir. Bütün önerilerde nominal band genişliği 5MHz olarak verilmiştir. Bunun birkaç nedeni vardır: Birincisi, 144 kbps ve 384 kbps'lık veri hızı makul kapasitede 5MHz band genişliğinde sağlanır. Sınırlı şartlarda 2 Mbps'lık hıza da ulaşılabilir. İkincisi, mevcut ikinci nesil sistemlerin bulunduğu frekans bandında kurulum zorluğu ile karşılaşıldığında minimum tahsis gerekmesidir. W-CDMA kullanıcı verisini 5 MHz'lık band içinde yayan yaygın spektrum tekniğini kullanır. Yaygın band genişliği W-CDMA içinde yama ve çözme süreçlerinde oluşmakta olup, 2G sistemleri ve onların gelişmiş sürümleri üzerinde kapasitenin artmasını sağlar. Yaygın band genişliği taşıyıcıları (ya da kanalları) nedeniyle W-CDMA kullanımı için yeni bir spektruma ihtiyaç duyulmakla birlikte yeni baz istasyonu ve kullanıcı cihazları da gerekir. 3G W-CDMA radyo arayüz tasarımı, şebeke senkronlu ve şebeke asenkronlu olmak üzere iki gruba ayrılır. Senkronlu bir şebekede tüm baz istasyonları birbirleriyle zaman senkronludur. Bu senkronizasyon baz

istasyonlarında oldukça pahalı donanımlar gerektirmesine karşın etkili bir radyo arayüzü sağlar. Örneğin, tüm baz istasyonlarında GPS (Global Konumlandırma Sistemi - Global Positioning System) alıcılarının kullanılmasıyla senkronizasyonu sağlamak mümkündür. Ancak GPS alıcıları yüksek bloklu şehir merkezlerinde veya kapalı alanlarda kullanışlı değildir. Diğer W-CDMA karakteristikleri, yukarı bağlantı ve aşağı bağlantının her ikisinde de hızlı güç kontrolü sağlar ve çeşitli yaygınlaştırma işlemleri kullanılarak servis parametreleri ve bit hızı çeşitliliğini sağlar.

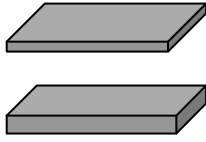
Kore'nin TTAII teknolojisinde olduğu gibi ETSI/ARIB W-CDMA teknolojisi asenkronizedir. KORE TTAI ve CDMA2000 teknolojileri senkronize şebekeleri kullanır. ETSI/ARIB teknolojileri, Ericsson, Nokia ve Japon telekomünikasyon operatörü NTT DoCoMo tarafından da kullanılan oldukça popüler bir 3G teknolojisidir. Bu teknoloji daha sonra diğer Avrupa üreticilerine uyarlanmış ve adı UTRAN veya tam olarak UTRAN FDD olarak değiştirilmiştir. Bu sistemin çekirdek şebekesi GSM MAP şebekesine dayalı olduğundan mevcut GSM operatörleri için cazip bir seçim olmuş ve yeni yatırımları diğer 3G teknolojilerinden daha düşük maliyetli olmuştur. Ayrıca CDMA2000 teknolojisi Kuzey Amerika'da kullanılan IS-95 sistemleri ile de uyumludur. Bu sistemi Qualcomm, Rucent ve Motorola gibi mevcut IS-95 operatörleri de kullanmaktadır. Bu teknolojinin özellikleri 3GPP2 (3G Ortaklık Projesi 2 - 3G Partnership Project 2) ile geliştirilmiştir. Dünyada kullanılan teknikler Tablo 7.1'de verilmiştir [11].

Tablo 7.1. Dünyada kullanılan UMTS teknikleri

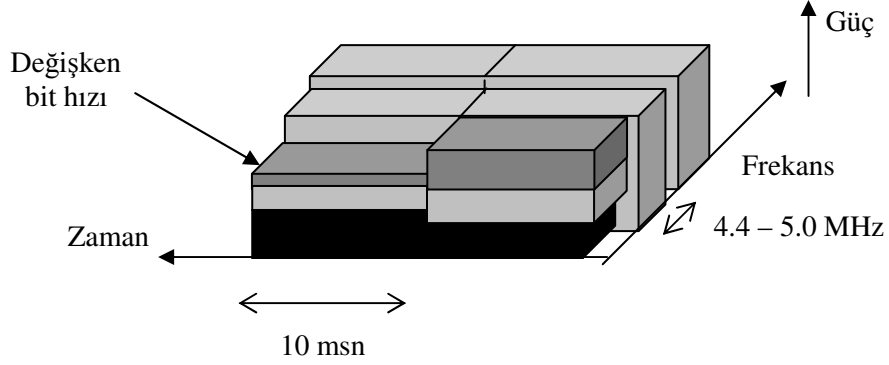
No	Kullanılan Teknik	Alıcı/Verici (metodu)	Sağlayıcı
1	J: W-CDMA	FDD, TDD	Japan: ARIB
2	ETSI-UTRA	FDD, TDD	Europe: ETSI
3	WIMS W-CDMA	FDD	U.S.A: TIA
4	W-CDMA/NA	FDD	U.S.A: TIP1
5	Global CDMA II	FDD	South Korea: TTA
6	TD-SCDMA	TDD	China: CATT
7	CDMA2000	FDD, TDD	U.S.A: TIA
8	Global CDMA I	FDD	South Korea: TTA
9	UWC-136	FDD	U.S.A: TIA
10	EP-DECT	TDD	Europe: ETSI DECT plan

W-CDMA ile ilgili olarak aşağıdaki özellikleri belirtmek sistemi genel olarak anlamamızı sağlayacaktır [9]:

- Kullanıcı bitleri, kullanıcı verisinin, CDMA yayma kodlarından elde edilen ve chip olarak isimlendirilen bitler ile çarpımı ile geniş banda yayılır. Çok yüksek bit hızlarını destekleyebilmek için, değişken yayma faktörü ve çoklu-kod bağlantıları desteklenmektedir. Bu tip bir düzenleme Şekil 7.2’de gösterilmiştir.
- Kullanılan 3,84 Mchip/sn’lik chip hızı yaklaşık 5 MHz bant genişliğini ortaya çıkarmaktadır. W-CDMA sisteminin geniş bant özelliği, yüksek veri hızını destekler ayrıca arttırılmış çok-doğrultulu çoklama gibi birtakım performans faydaları vardır. İşletim lisansına göre, operatör birçok 5 MHz taşıyıcıyı plana göre yerleştirebilir. Böylece kapasite hiyerarşik hücre katmanları şeklinde arttırılmış olur. Şekil 7.2 bu özelliği de göstermektedir. Gerçekte taşıyıcı, taşıyıcılar arasındaki girişime bağlı olarak, yaklaşık 4,4 ve 5 MHz bölgesinde 200 kHz aralıkla seçilir.
- W-CDMA çok değişken kullanıcı veri hızlarını desteklemektedir. Diğer bir deyişle, talep üzerine bant genişliği elde edilmesi desteklenmektedir. Her kullanıcı, kullanıcı veri hızı sabit kalan 10 ms süreli çerçevelere yerleştirilir. Bununla birlikte, kullanıcılar arasındaki veri kapasitesi çerçeveden çerçeveye değişebilir. Şekil 7.2’de bu da gösterilmiştir.
- W-CDMA iki temel işlemini desteklemektedir. Bunlar FDD ve TDD tekniklerine dayanmaktadır. FDD tekniğinde, yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı için ayrı 5 MHz taşıyıcı frekanslar kullanılırken, TDD tekniğinde yalnızca bir 5 MHz yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı arasında zaman paylaşımli olarak kullanılmaktadır. Yukarı bağlantı mobilden baz istasyonuna doğru olan bağlantıdır ve aşağı bağlantı ise baz istasyonundan mobile doğru olan bağlantıdır.
- W-CDMA, zaman uyumsuz (asenكرون) baz istasyonlarının işletilmesini desteklemektedir. Bu nedenle senkron IS-95 sisteminden farklı olarak, GPS gibi bir global zaman referansına gerek yoktur. GPS işaretinin alımına gerek duyulmadığı için bina içi ve mikro baz istasyonların kullanımı kolaydır.
- W-CDMA, GSM sistemi ile birlikte çalıştırılacakmış gibi tasarlanmıştır. Onun için, W-CDMA sisteminin takdiminde GSM kapsamasının kullanılacağı düşünülürse, GSM ve W-CDMA arasındaki aktarmalar desteklenmelidir.



= Farklı yayma özelliğine sahip kodlar



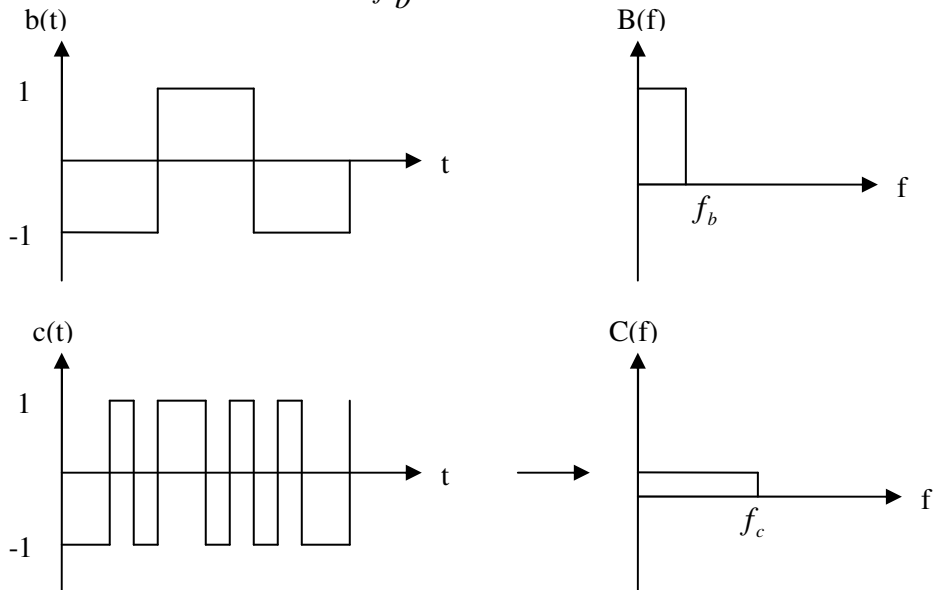
Şekil 7.2. W-CDMA sisteminde zaman-frekans-kod uzayında bant genişliği tahsisi [9]

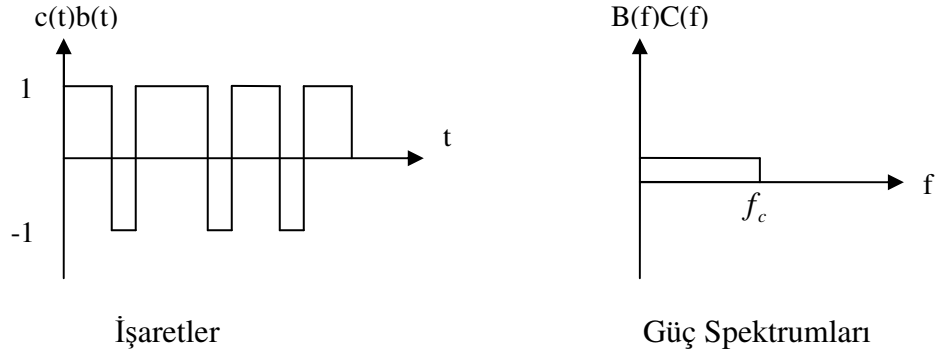
7.2.1. Yayma ve derleme

CDMA tekniği ile iletilen işaretin bant genişliği, gerekli olan bant genişliğinden epeyce büyük hale getirilir. Yayma işleminin, işaretin bant genişliği üzerindeki etkisi Şekil 7.3’de gösterilmiştir [7]. Burada $b(t)$ veri işaretini, $c(t)$ kullanıcıya verilen kodu, $B(f)$ ve $C(f)$ güç spektral yoğunluğunu göstermektedir. ‘*’ sembolü fonksiyonlar arasındaki konvolüsyon işlemi temsil etmektedir.

Bant genişliğindeki artış, İşlem Kazancı (P_G) ile ifade edilir. İşlem Kazancı, iletilen işaretin bant genişliğinin (f_c) veri işaret bant genişliğine (f_b) oranıdır [7]:

$$P_G = \frac{f_c}{f_b} \quad (7.1)$$



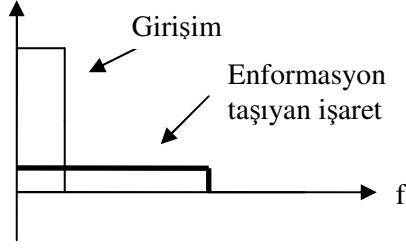


Şekil 7.3. Yayma işlemi sonucu bant genişliğindeki artış [7]

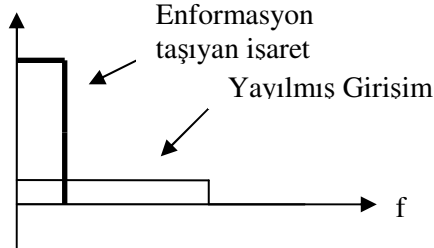
Verilen bir biti temsil eden chip sayısına yayma faktörü denir. UMTS sisteminde bu, kullanıcı işaretlerini birbirinden ayırt etmek için verilen kodun uzunluğuna karşı düşer. İşlem kazancı ile yayma faktörü arasındaki fark vurgulanmalıdır. İşlem kazancı; veri kaynağı ile gönderici anten arasında, bant genişliğini arttırmak için yapılan bütün işlemleri içerir. Örneğin hata düzeltme kodları işlem kazancı içerisinde yer alır. Yayma faktörü ise, sadece yayma işleminin kendisini içerir. Diğer bir deyişle, işaretin o kullanıcıya verilmiş kod ile çarpımıdır. İşlem kazancı, CDMA tekniğinin girişim azaltıcı özelliği ile ilişkilendirilirken, yayma faktörü elde edilebilir kod sayısı ile yani hizmet verilebilecek kullanıcı sayısı ile ilişkilendirilir [7].

Bilgi taşıyan işaretin alıcı tarafta elde edilmesi için, alınan işaret o kullanıcı için tahsis edilen aynı $c(t)$ kodu ile çarpılır. Buna derleme işlemi denir. Bu işlemin yapılabilmesi için bir şekilde kodun alıcı tarafta bilinmesi gerekmektedir. Örneğin mobil terminale bu kod, bağlantı kurulumu aşamasındaki işaretleşme ile bildirilebilir. Şimdi iletilen işaretin üzerine binmiş vaziyette dar bantlı girişim oluştuğunu düşünelim. Derleme işlemi iletilen işaretten gönderilen bilgiyi almayı mümkün kılar. Aynı zamanda, girişim de yüksek bit hızındaki bu kod ile çarpılır. Dolayısıyla bant genişliği artar, güç spektral yoğunluğu azalır. Alçak geçiren filtre göz önünde bulundurulursa, bilgiyi taşıyan işaret geçirilmiş ve girişim oluşturan işaret gücü işlem kazancı kadar azaltılmış olur. Bu durum Şekil 7.4’de ifade edilmiştir. Belirtilen bu örnek, geniş bantlı girişim için de geçerlidir. Örneğin bu girişim $c'(t)$ kodu atanmış kullanıcı tarafından oluşturulsun. Derleme işleminden sonra, girişim bant genişliği hala yayılmış durumdadır. Çünkü $c'(t)$ $c(t)$ çarpımı hala geniş bantlı bir dizidir [7].

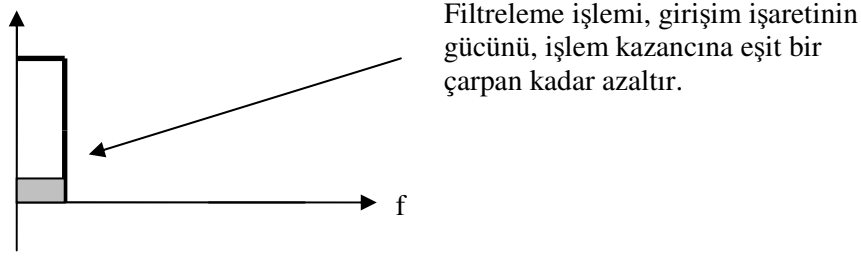
Derleme işleminden önce spektrum



Derleme işleminden sonra spektrum



Filtrelemeden sonra spektrum



Şekil 7.4. CDMA tekniği ile girişimin kabul edilmemesi [7]

Gerçek W-CDMA parametreleri ile bir örneğe bakalım. 12.2 kbit/sn olan bir konuşma hizmetinin işlem kazancı 25 dB ($=10 \times \log (3,84e6/12,2e3)$) olarak bulunur. Derleme işleminden sonra, işaret gücünün girişim ve gürültü gücünün birkaç dB üzerinde olması gerekir. Derleme işleminden sonra, istenen güç yoğunluğunun girişim güç yoğunluğuna oranı E_b/N_o olarak ifade edilir. Burada E_b kullanıcı biti başına düşen enerji veya güç yoğunluğu, N_o ise girişim ve gürültü güç yoğunludur. Konuşma hizmeti için E_b/N_o 5 dB seviyelerindedir ve istenen geniş bant işaret-girişim oranı 5 dB eksi işlem kazancı yani – 20 dB olarak bulunur. Diğer bir deyişle, işaret gücü girişim veya termal gürültü gücün 20 dB altında olabilir ve de W-CDMA alıcısı işareti algılayabilir. Geniş bant işaret-girişim oranı taşıyıcı-girişim oranı (C/I) olarak da isimlendirilir. Yayma ve derleme işlemlerinden dolayı C/I oranı W-CDMA’da GSM’ye göre daha küçüktür. İyi kalitede bir konuşma bağlantısı GSM sisteminde $C/I = 9-12$ dB değer aralığını gerektirmektedir [9].

Geniş bantlı işaret termik gürültü seviyesinden aşağıda olabileceğinden, yayma kodunu bilmeden işaretin tespiti zordur. Bu nedenle, bu sistemlerin ilk çıkışı askeri uygulamalara dayanmaktadır.

Herhangi bir kanal bant genişliğinde, kullanıcı bit hızının düşük olması durumunda yüksek, kullanıcı bit hızının yüksek olması durumunda ise düşük işlem kazançları elde edilir. 2 Mbit/sn'lik kullanıcı veri hızlarında işlem kazancı 2'den küçüktür. $(3.84 \text{ Mchip/sn} \div 2 \text{ Mbit/sn} = 1.92 \text{ bu da } 2.8 \text{ dB'ye karşı gelir})$ ve böylece W-CDMA dalga şeklinin girişime karşı sağlamlığından açıkça ödün verilmiş olur [9].

7.2.2 CDMA sistemlerinin kapasitesi

Teoride işaretlerin birbirlerinden farklı kodlar kullanarak ayrıldığı CDMA sisteminde girişim olmadığı düşünülür. Gerçekte ise yayılma şartları, kullanılan kodların ortogonal olma özelliğini zayıflatır. Sonuç olarak, karşılıklı girişimden dolayı konuşma sayıları sınırlanmıştır.

Birinci ve ikinci nesil sistemlerden farklı olarak, frekans veya zaman dilimi gibi kaynaklar üzerinde daha önceden belirlenmiş kısıtlamalar yoktur. Her seferinde yeni bir görüşme kabul edilir. Aktif kullanıcılara sağlanmış olan kalitede ise ufak düşmeler olur. Yeni görüşmeler, istenen kalite değerinin altına düşülmediği sürece karşılanır. Girişimin sebep olduğu kapasite sınırlaması yukarıda bahsedilen analojiye benzer bir örnekle açıklanabilir. Her çift insan normal ses tonuyla konuşsa dahi, bu durum belli sınırları aşarsa arka plandaki ses (gürültü) her çiftin birbirini anlamasını engelleyecek seviyede olabilir.

Birbirleriyle farklı dillerde (kodlarda) konuşan çiftler, her çift normal ses tonuyla konuşmasını sürdürürse birbirlerini anlayabileceklerdir. Kendilerini duyurabilmek için, çiftlerden biri bağırarak konuşmayı düşünebilir. Bu durumda, ortamda bir rahatsızlık diğer bir deyişle girişim oluşacaktır. Bu da herkesin iletişim sürdürmesini engelleyecektir. Bu olguya gerçek bir örnek olarak, baz istasyonunun çok yakınında bulunan bir mobil terminali verebiliriz. Eğer uygun ölçümler yapılmazsa ve mobil terminal maksimum gücünde yayın yaparsa (bağırırsa), daha uzakta bulunmaları

nedeniyle daha düşük güçte algılanabilen diğer kullanıcılara ait işaretler doğru bir şekilde alınamayabilir. Bu problem yakın-uzak etkisi olarak bilinmektedir.

Genel olarak, her hizmete ait işaretlerin yukarı bağlantıda aynı güç seviyesinde alınması önemlidir. Bu güç kontrol mekanizması ile sağlanabilir. Böylece farklı işaretlerin iletim seviyeleri düzenlenir. Birbirine bağırarak konuşan çiftler örneğimize dönersek, diyebiliriz ki zayıf ve etkisiz bir güç kontrolü kapasitemizde önemli azalmalara neden olur.

Güç kontrolü hem yukarı bağlantıda hem de aşağı bağlantıda önemlidir. Yine de şüphe yoktur ki; birçok kullanıcının aynı anda tek bir baz istasyonuna bilgi gönderdiği yukarı bağlantı daha önemlidir. Bu durumda, aynı hücreden servis alan kullanıcılardan kaynaklanan girişim, bu kullanıcıların radyo baz istasyonundan uzaklıklarına bağlıdır. Aşağı bağlantıda ise farklı mobil terminallere giden işaretler bulunmaktadır. Bu nedenle, bu yöndeki güç kontrolü çok daha az önemlidir. CDMA sisteminin kapasitesi girişim seviyesi ile ilgilidir. Bu durumda, çok önemli bir parametre olan C/I oranı (taşıyıcı-girişim oranı) dikkate alınmalıdır.

İlk önce, tek bir hizmet senaryosunda mükemmel güç kontrolünün uygulandığı (bütün işaretlerin aynı güç seviyesinde alındığı) sistemden izole edilmiş bir hücreyi ele alalım. N kullanıcı sayısı, C iletimin efektif güç değeri olmak üzere, geriye kalan (N - 1) kullanıcı C(N - 1) değerinde bir girişim oluşturur. Buradan hareketle C/I oranı şu şekilde ifade edilir [7]:

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{C(N-1)} = \frac{1}{N-1} \quad (7.2)$$

İstenen servis kalitesini sağlamak için, belirli bir işaret-gürültü oranı garanti edilmelidir. Bu amaç için genel olarak kullanılan oran E_b/I_o 'dır. E_b/I_o , enformasyon biti başına düşen enerjinin, girişim spektral yoğunluğuna (termik gürültünün ihmal edilebilir olduğu varsayımıyla) oranıdır. Bu oran şöyle ifade edilebilir [7]:

$$\frac{E_b}{I_o} = \frac{C/R}{I/W} = \frac{W}{R} \frac{C}{I} = \frac{W}{R} \frac{1}{N-1} \quad (7.3)$$

Burada; W chip hızı, R kaynağın bit hızıdır. Bilindiği gibi W/R işlem kazancıdır.

Bu hücrede hizmet verilebilecek kullanıcı sayısı aşağıdaki gibidir [7]:

$$N \cong \frac{W}{R} \frac{1}{\frac{E_b}{I_o}} \quad (7.4)$$

Görüldüğü gibi, kullanıcı sayısı, işlem kazancı ve Eb/Io oranı olmak üzere iki faktörden etkilenmektedir. Pratik olarak, Eb/Io değerini azaltan herhangi bir teknik, kapasitede kazanç oluşturmaktadır.

Yayma işlemi; veri işaretinin, yayma kodu ile ilişkilendirilmiş bir başka işaret ile çarpımını içermektedir. Teorik olarak kaynaktan herhangi bir veri akışı olmadığında yani kaynak durakladığında harcanan güç sıfırdır. Dolayısıyla ν kaynak ortalama aktivite faktörü olmak üzere, kapasite $1/\nu$ oranında artar. Buna ek olarak, her yöne yayın yapan anten yerine sektörsel anten kullanıldığında varsayılırsa, bir sektör tarafından devre dışı bırakılan girişim $1/G_s$ ye eşittir (G_s sektör sayısı veya “sektörleme kazancıdır”). Coğrafi olarak aynı yerde bulunan radyo sistemlerinin oluşturduğu ve toplam G_s sektöre ayrılmış kapsama bölgesinin kapasitesi şu şekilde hesaplanabilir [7]:

$$N = \frac{W}{R} \frac{1}{E_b/I_o} \frac{1}{\nu} G_s \quad (7.5)$$

Şimdi de, kullanıcıların düzgün dağıldığı ve tümünün aynı hizmeti talep ettiği çok hücreli yapı ele alınacaktır. Bu durumda, hücreler arası girişimin etkisi de hesaba katılmalıdır. Diğer hücrelerden alınan girişimin, mobil terminalin servis aldığı kendi hücresindeki girişime oranı ‘i, ile ifade edilir. Dolayısıyla, kapasite $(1 + i)$ ’ye eşit bir faktör kadar azalır [7]:

$$N = \frac{W}{R} \frac{1}{E_b/I_o} \frac{1}{\nu} G_s \frac{1}{1 + i} \quad (7.6)$$

Bu ifadede, en kritik eleman i faktörüdür. Makro hücreli bir çevrede bu faktör, 0.5-0.6 değerlerini almaktadır. Yukarıda verilen bu formül, ortalama değerlere dayanmaktadır ve kapasiteyi yaklaşık olarak ifade etmektedir. Daha iyi bir değerlendirme, sistemin tüm önemli rastgele bileşenlerinin hesaba katıldığı istatistiksel analizle yapılabilir.

7.2.3. Radyo arabirimi

UMTS haberleşme sisteminde kullanılan radyo arabirimi UTRAN olarak isimlendirilmiştir. Radyo kısmına ait temel özellikler Tablo 7.2’de belirtilmiştir. FDD tekniğinin temel özellikleri TDD tekniğinden farklılıklarını da belirterek aşağıda anlatılacaktır.

Tablo 7.2. Temel UTRA parametreleri

	UTRA/FDD	UTRA/TDD
Erişim tekniği	W-CDMA	TD-CDMA
Chip hızı	3.84 Mchip/sn	3.84 Mchip/sn
Kanal alanı	4.4 – 5 MHz	4.4 – 5 MHz
Çerçeve süresi	10 msn	10 msn
Çerçeve başına dilim sayısı	15	15
Modülasyon	Aşağı bağlantı: QPSK, Yukarı bağlantı: Çift kod BPSK	QPSK
Hız	Değişken (her 10 msn). Yayma faktörünü değiştirerek, iletilecek işarete birkaç kod tahsis ederek veya (sadece TDD için) birkaç zaman dilimini toplayarak farklı hızlar elde edilebilir.	

7.2.4. W-CDMA’ın faydaları:

Genişband CDMA (W-CDMA) beraberinde pek çok yeni özelliği ve faydayı sunan bir arayüz teknolojisidir. W-CDMA teknolojisinin faydaları aşağıdaki şekilde özetlenebilir [36].

Servis esnekliği:

W-CDMA her biri 5 MHz genişliğindeki taşıyıcı bantlarının yardımı ile saniyede 8 kbit’ten 2 Mbit’e kadar veri iletim sağlayan çeşitli servisleri destekleyebilmektedir.

W-CDMA aynı anda hem devre anahtarlama hem de paket anahtarlama teknikleriyle çalışan servisleri aynı frekans bandı üzerinde destekleyebildiğinden tek bir cihaz yardımıyla, kullanıcı multimedya uygulamalarından ve devre anahtarlama bağlantı uygulamalarından aynı anda yararlanabilmektedir.

Frekans spektrumunun etkin kullanımı:

W-CDMA radyo teknolojisi mevcut 200 kHz'lik frekans spektrumunu etkin şekilde kullanabilecek yeteneğe sahiptir. W-CDMA'nın yanında HCS (Hiyerarşik Hücre Yapısı - Hierarchical Cell Structure) ve yapışık (Koraharent) demodülasyon teknikleri de mevcut network kapasitesini artırabilmektedir.

3.Nesil sistemler için tasarlanan şebeke yapısında her bir hücre katmanı 10 MHz'lik bir frekans bandına ihtiyaç duyduğundan 2 veya 3 katmanlı şebekede 30 MHz'lik bir frekans bandında çalışabilir.

Şebeke kapasitesinin artırılması:

W-CDMA radyo frekans (RF) alıcı vericileri darband alıcı vericilere göre 8 kat daha etkin bir şekilde ses trafiğini yönetebilir. Böylece her bir RF taşıyıcısı ile 80 adet eşzamanlı ses çağrısını veya 50 adet veri uygulamasını gerçekleştirebilir. Daha büyük bir bant genişliğinde koraharent demodülasyon ve hızlı güç kontrol tekniğinin kullanımı hem yukarı bağlantı hem de aşağı bağlantı veri iletiminde avantaj sağlamaktadır.

Şebeke kapasitesinin artırılmasına yönelik olarak kullanılan tekniklerden biri de hiyerarşik hücre yapısıdır. HCS, W-CDMA taşıyıcıları arasında mobil yardımcı ara frekansı olarak adlandırılan yeni bir yöntem kullanmaktadır.

Ses trafiği kapasitesinin artırılması:

W-CDMA tekniği, ses trafiğinin de spektrumunun etkin kullanımı ile desteklenmesini sağlar. Böylece 30 MHz'lik bir frekans bandında her bir hücre için en az 192 ses çağrısını aynı anda gerçekleştirir.

Çeşitli servislere aynı anda erişebilme:

W-CDMA tekniği, 3.Nesil sistemler için kullanılacak bant genişliğinin yardımıyla hem devre anahtarlama hem de paket anahtarlama servislerin desteklenebilmesini sağlamaktadır. Bu servislerde mevcut bant genişliği içerisinde rastgele dağıtılmaktadır. Bu dağıtımda göz önünde bulundurulacak tek parametre uygulamanın ihtiyaç duyduğu servis kalitesi (QoS) seviyesidir. Böylece her bir W-CDMA terminali (mobil telefon,

PDA gibi) ses çağrılarını yaparken aynı anda faks, e-mail gönderimi gibi servislerden de yararlanabilecektir.

Hızlı servis erişimi:

3.Nesil servisler için hem multimedya servislerine erişilebilmesi hem de saniyede 384 kbit veri iletim oranına ihtiyaç duyan paket veri servislerinden yararlanabilmesi için bir rastgele erişim prosedürü geliştirilmiştir. Bu prosedürde bir mobil kullanıcı ile baz istasyonu arasında bağlantının kurulabilmesi için sadece birkaç milisaniyeye ihtiyaç duyulmaktadır.

Eşzamansız radyo erişimi:

W-CDMA, radyo baz istasyonlarının senkronize bir şekilde çalışabilmesini sağlamaktadır ve kendine özgü bir haberleşme altyapısına sahip olarak farklı bir sistemle senkronize çalışma zorunluluğundan kurtulmuştur. W-CDMA'nın sahip olduğu bu fonksiyonun faydasını şu örnekle açıklayabiliriz. CDMA/IS-95 sistemi bazı uygulamaları gerçekleştirebilmek için GPS sistemi ile senkronize çalışmak zorundadır. Böyle bir zorunluluk ise hem uygulamanın yönetilebilmesini zorlaştırmakta hem de pahalı bir hale getirmektedir.

Ekonomi:

W-CDMA sisteminin 2.Nesil dijital bir hücresel şebekeye adapte edilmesi ve hem 2.Nesil hem de 3.Nesil şebeke arasında sorunsuz bir çalışma ortamının oluşturulması bu işlemler için geliştirilen çekirdek şebeke tarafından sağlanmaktadır. Pek çok uygulama için 2.nesil baz istasyonları sisteminin de kullanılmasına devam edilecektir.

W-CDMA şebekesi ile çekirdek şebeke arasındaki bağlantılar ise ATM (Eşzamansız İletim Modu - Asynchronous Transfer Mode) adaptasyon katmanı 2 yani AAL2 tarafından sağlanır. Bu arayüz veri paketlerinin yönetilmesini etkin bir şekilde sağlamakta ve iletim maliyetlerini düşürmektedir.

Sorunsuz erişim:

Hem 2.Nesil hem de 3.Nesil içerisinde çalışabilen dual modlu (hem GSM hem de Wi-Fi üzerinden telefon konuşması yapmaya yarayan bir sistem) terminaller yardımıyla

kullanıcılar her iki sistemi destekleyen şebekeler arasında sorunsuz bir şekilde dolaşabilmekte ve veri servislerinden rahatlıkla yararlanabilmektedir. 3. nesil sistemler için Avrupa’da Japonya’da ve GSM operatörlerine sahip ülkelerde W-CDMA erişim tekniğinin seçilmesi yeni nesil servisler için global bir standardın oluşturulması amaçlanmıştır.

7.3. UMTS’in Başlıca Yenilikleri

Üçüncü nesil mobil haberleşme sistemi mobil veri hizmetleri ile ilişkili olarak ortaya çıkan yeni gereksinimleri karşılamak üzere tasarlanmıştır. Dünya çapında belirtilen entegrasyon düzenlemeleri, tahsis edilen bant genişliği ve en düşük kapasite aşağıdaki unsurları sağlamalıdır [7].

- Sağlanan hizmetlerin genel yapısı, internet dünyası ile doğrudan ve dolaylı etkileşme ile gerçekleşmektedir.
- Taşıma gereksinimleri mobil terminalin hareketliliğine ve hizmet çevresine bağlı olarak 144 kbit/sn, 384 kbit/sn ve 2 Mbit/sn şeklindedir.
- Esneklik gereksinimi, iki radyo erişim tekniği ile karşılanır. Kullanılacak değişken bit hızı hizmetlerinin ve servis asimetrisinin yani yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı arasındaki kapasite farkının kontrolünün sağlanabilmesidir.

7.3.1. GSM sistemine kıyasla yeni özellikler

GSM sistemi ile UMTS arasındaki en önemli farklılık yeni radyo ara yüzündeki değişikliktir. UMTS’te kullanılan W-CDMA ile ulaşılabilecek maksimum hız 2 Mbit/sn’dir. Ancak daha düşük hız seçeneklerini de karşılar. Dolayısı ile bugünün ve yarının hizmetlerini sağlaması mümkündür. Bu durum, ses ve 9.6 kbit/sn veri kanalı içeren GSM sistemine göre kesin bir değişimdir.

UMTS hem devre bağlaşmalı hem de IP tabanlı hizmet sunabilmektedir. İkinci nesil sistemlerde ise GSM’e eklenen GPRS özelliği ile taşıma şebekesi ses trafiğinin taşındığı şebekeden ayrıdır. UMTS sisteminde ise taşıma teknolojisi hem ses hem de veri taşınması için optimize edilmiştir.

W-CDMA ve GSM arasındaki temel farklılıklar Tablo 7.3’de gösterilmiştir [9]. Bu karşılaştırmada sadece hava arabirimi göz önünde bulundurulmuştur. Hava arabirimindeki bu farklılıklar, üçüncü nesil sistemlerin yeni gereksinimlerini yansıtmaktadır. Örneğin yüksek bit hızlarını desteklemek için daha büyük bant genişliği olan 5 MHz gerekmektedir. W-CDMA’da, yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı arasındaki asimetrik kapasite ihtiyacından dolayı aşağı bağlantı kapasitesinin geliştirilmesi için iletim çoklaması özelliği yer almaktadır. İletim çoklaması ikinci nesil standartları tarafından desteklenmez. Üçüncü nesil sistemler; farklı bit hızları, hizmetler ve kalite gereksinimleri nedeni ile gelişmiş radyo kaynak yönetim algoritmalarına ihtiyaç duyarlar.

Tablo 7.3. W-CDMA ve GSM hava arayüzleri arasındaki temel farklılıklar

	W-CDMA	GSM
Taşıyıcı Genişliği	5 Mhz	200 Khz
Frekansların tekrar kullanımı faktörü	1	1 – 18
Güç kontrol sıklığı	1500 Hz	2 Hz veya aşağısı
Kalite kontrol	Radyo kaynak yönetim algoritmaları	Şebeke planlama (frekans planlama)
Frekans çoklaması	Rake alıcı ile birlikte 5 MHz bant genişliği çok doğrultulu çoklama sağlar	Frekans hoplaması
Paket Veri	Yük tabanlı paket zamanlama	GPRS ile time slot tabanlı zamanlama
Aşağı bağlantı iletim çoklaması	Aşağı bağlantı kapasite artırımı için desteklenir	Standartlarda yoktur fakat uygulanabilir.

7.3.2. GPRS sistemine kıyasla yeni özellikler

UMTS şebekesinin paket bağlaşımlı kısmının yapısı GPRS sistemindeki yapıya benzemektedir. GPRS’de erişim sistemi BSS iken, UMTS’de W-CDMA temelli UTRAN’dır. UTRAN ile çekirdek şebeke (CN) ise I_u ara yüzü ile birbirine bağlanır.

Standartları belirleyen organizasyonlar, GPRS mimarisinden ve daha önce anlatılan mobilite yönetim protokollerinden başlayarak GPRS temel yapısını 3.Nesil sistemlere uygun hale getirme çalışmaları yapmaktadır. Özellikle şu iki konu kritiktir: Mobilite yönetimi ve servis kalite kontrolü. Bu alanlarda dünya bilgi teknolojisinin katkısı gittikçe önemli hale gelmektedir. GPRS sisteminde olduğu gibi IP alt yapısını

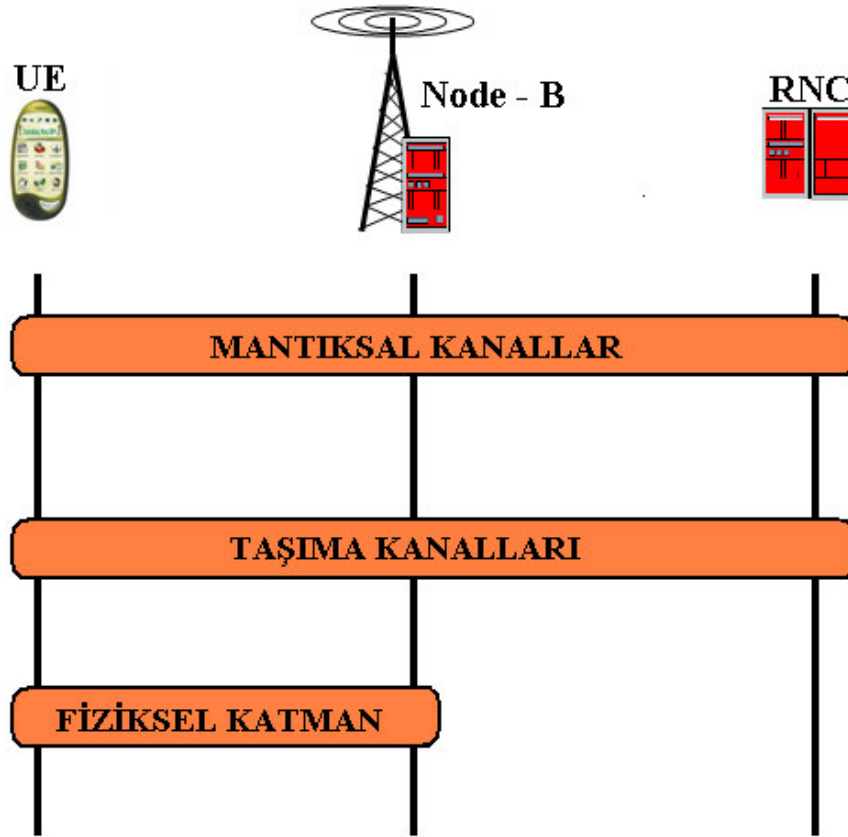
kullanmak, UMTS şebekesinin paket bağlaşmalı kısmında IETF'nin (İnternet Mühendisliği Görev Gücü - Internet Engineering Task Force) ortaya koyduğu birtakım mekanizmaları kullanabilme imkanını vermektedir [8].

Radyo teknolojisindeki ve erişim şebekesindeki değişim

İkinci ve üçüncü nesil hava arabirimleri arasındaki temel farklılıklar; ikinci nesil sistemlerde (GSM, IS-95, PDC ve US-TDMA) genel olarak konuşma hizmeti vermek için kurulmuş olup radyo erişim tekniği olarak TDMA tabanlıdır. Üçüncü nesil sistemlerin sağladığı özellikler şunlardır [9]:

- 2 Mbit/sn'ye ulaşan hızlarda çalışabilme,
- Değişken bit hızlarına hizmet verebilme,
- Konuşma, video ve paket veri gibi farklı kalite ihtiyaçları olan hizmetlerin tek bir bağlantıda çoğullanabilmesi,
- Gecikmeye duyarlı gerçek zamanlı trafikten esnek paket veriye kadar değişik gecikme toleransları olan talepleri karşılayabilmesi,
- %10 çerçeve hata oranından, 10^{-6} bit hata oranına kadar çeşitli kalite gereksinimlerini karşılayabilme,
- İkinci ve üçüncü nesil sistemlerin bir arada bulunması, yük dengelemesi ve kapsama artırımı için sistemler arasında gerekli aktarmaları yapabilme,
- Asimetrik yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı trafiğinin sağlanabilmesi (örneğin web gezintisi aşağı bağlantıda, yukarı bağlantıya göre daha çok yük getirir),
- Hem FDD hem de TDD tekniklerinin bir arada bulunması.

7.4. W-CDMA Hava Arayüzü



Şekil 7.5. UTRAN kanalları

Radyo erişim şebekesi hem radyo hem de iletim fonksiyonlarından sorumlu olup baz istasyonu (Node B) ve Radyo Şebeke Kontrolöründen (RNC) oluşur. Node B olarak tanımlanan baz istasyonu şebeke ve W-CDMA hava arayüzündeki en önemli bileşendir. W-CDMA hava arayüzü olan UTRAN sistemindeki radyo arayüz protokolleri üç kısımdan oluşmaktadır (Şekil 7.5).

1. Taşıma Kanallar,
2. Fiziksel Kanallar,
3. Mantıksal Kanallar .

7.4.1. Taşıma kanalları

Taşıma kanalları, fiziksel katmanın üst katmanları için hizmet sunarlar. Yani bilginin nasıl taşındığına ve taşıdıkları bilginin özelliğine göre tanımlanırlar.

Taşıma kanalları ikiye ayrılır:

- Ortak Kanallar (Common Channels)
- Tahsis edilmiş kanallar (Dedicated Channels)

7.4.1.1. Ortak kanallar

Bilginin tüm mobil istasyonlara iletiildiği kanallardır. UTRAN sistemindeki ortak kanallar aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir.

1. RACH (Rastgele erişim kanalı - Random Access Channel)

RACH, yukarı bağlantı yönünde bir taşıma kanalıdır. Mobil terminalden gönderilen kontrol bilgisini taşımada kullanılır. Genel olarak RACH, haberleşmeye başlayabilmek için fiziksel kanala erişim isteğidir. RACH'ın genel özellikleri [36]:

- Sadece yukarı bağlantıda bulunur,
- Açık çevrim güç kontrolü,
- Sınırlı veri alanı,
- MS'in ilgili band içinde tanınması için ihtiyaç duyulur.

2. FACH (İleri erişim kanalı - Forward Access Channel)

Aşağı bağlantı yönünde, mobil terminale (hangi hücrede kayıtlı olduğu bilinen) kontrol bilgisini ve kısa veri paketlerini iletmede kullanılmaktadır. FACH'ın genel özellikleri [36]:

- Sadece aşağı bağlantıda bulunur,
- Huzme (beam) biçimlendirici kullanım olanağı,
- Yavaş güç kontrollü kullanım olanağı,
- Hızlı güç kontrol eksikliği.

3. PCH (Sayfalama kanalı - Paging Channel)

Aşağı bağlantı taşıma kanalıdır. Aşağı bağlantı yönünde yeri bilinmeyen mobil terminale kontrol bilgisi göndermede kullanılır. PCH genellikle tüm hücre üzerinden iletilir. PCH'ın genel özellikleri [36]:

- Sadece aşağı bağlantıda bulunur.
- Uyku modu prensiplerine uygundur.
- Hücrenin tüm yayın alanında yayınlanması gerekmektedir.
- Tahsis Edilmiş Taşıma Kanalının sadece bir çeşidi vardır.

4. BCH (Yayın Kanalı - Broadcast Channel)

Aşağı bağlantı yönünde, UTRA ağ veya belirli hücrenin bilgi iletiminde kullanılmış taşıma kanalıdır. Her şebekede en tipik veri ihtiyacı mevcut hücredeki rastgele erişim kodları ve rastgele slotlardır. BCH'daki kodlar çözülmeden terminal hücreye kayıt edemez, kapsama alanı içerisindeki tüm kullanıcılara erişimde nispeten daha yüksek güçte iletim sağlamak için bu kanala ihtiyaç duyulur [9].

5. SCH (Senkronizasyon kanalı - Synchronisation Channel)

Aşağı bağlantı yönünde baz istasyonu ile mobil terminal arasındaki senkronizasyonun kurulmasında görev alır.

6. CPCH (Ortak paket kanalı - Common Packet Channel)

Yukarı bağlantı yönünde, veri paketlerinin iletiminde kullanılan taşıma kanalıdır. CPCH aşağı bağlantıda tahsis edilmiş kanal ile birleştirilir, yukarı bağlantı CPCH için güç kontrolü sağlar.

7. DSCH (Aşağı bağlantı paylaşımlı kanalı - Downlink Shared Channel)

Aşağı bağlantı yönünde veri paketlerinin iletiminde kullanılan taşıma kanalıdır. Erişim, kullanıcılar tarafından paylaşılır ve baz istasyonu tarafından düzenlenir. Bu kanal birkaç mobil istasyon tarafından DCH ile birleştirilerek paylaşılır [36].

7.4.1.2. Tahsis edilmiş kanallar

Bilginin tek bir mobil terminale fiziksel kanal ayırarak taşınmasıdır. Bu sistemdeki taşıma kanallarının sayısı GSM'e göre çok daha fazladır. Çünkü UMTS'de sadece konuşma hizmeti değil daha başka birçok hizmet sunulmaktadır.

1. DCH (Tahsisli kanal - Dedicated Channel)

Aşağı bağlantı ve yukarı bağlantı yönünde, mobil terminal ile şebeke arasında kullanıcı ve kontrol bilgisini taşımak için kullanılır. Eğer birden fazla mantıksal kanal örnekleri aynı taşıma kanalı kullanılarak konfigüre ediliyorsa DCH'a ihtiyaç duyulur. Tahsisli kanal özellikleri [8]:

- Huzme biçimlendirici kullanım yoğunluğu,

- Çabuk hız değişim uygunluğu,
- Hızlı güç kontrolü,
- MS doğal adresleme.

Her bir taşıma kanalı, ortak taşıma şekli (sabit veya yavaş değişim hızlı taşıma kanalları için) ya da ortak taşıma şekli ayarı (çabuk değişim hızlı taşıma kanalları için), taşıma şekli fiziksel kanallardaki şifreleme, gruplandırma, bit hızı ve eşleştirme birleştirilmesi gibi öğelerle tanımlanır. Taşıyıcı şekil ayarı taşıyıcının şeklini belirler, örneğin değişken hızlı DCH bir taşıyıcı şekil ayarına sahip (her bir hız için bir taşıyıcı şekli) iken sabit hızlı bir DCH tek taşıyıcı şekline sahiptir [7, 8, 10, 17].

7.4.2. Fiziksel kanallar

Tablo 7.4. Fiziksel kanallar

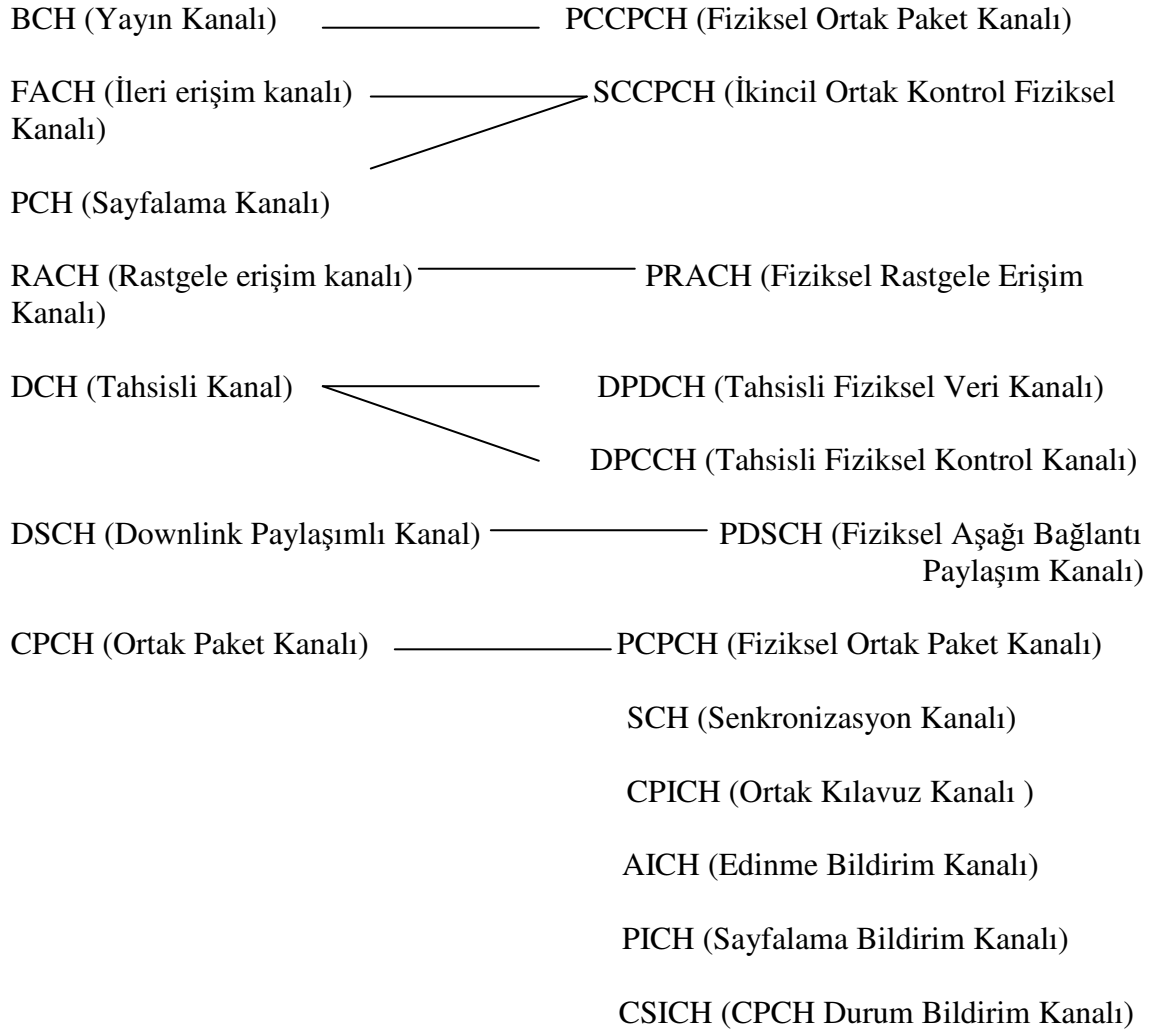
PCCPCH (Birincil Ortak Kontrol Fiziksel Kanalı - Primary Common Control Physical Channel)	Bu kanal sürekli biçimde sistem kimliğini ve erişim kontrol bilgisini yayın yapar.
SCCPCH (İkincil Ortak Kontrol Fiziksel Kanalı - Secondary Common Control Physical Channel)	Bu kanal FACH (İleri erişim kanalı) sağlama kontrol bilgisini ve ağa kayıt olan kullanıcıların (PACH) bilgisini taşır.
PRACH (Fiziksel Rastgele Erişim Kanalı - Physical Random Access Channel) (uplink):	Bir kullanıcının bir şebekeye erişim teşebbüsü olduğunda rastgele burst bilgilerini taşıması için kullanıcıya kanalı tahsis eder.
DPDCH (Tahsisli Fiziksel Veri Kanalı - Dedicated Physical Data Channel)(uplink and downlink):	Kullanıcı bilgisini taşımada kullanılır.
PDSCH (Fiziksel Aşağı Bağlantı Paylaşım Kanalı - Physical Downlink Shared Channel) (downlink):	Bu kanal kapsama alanındaki Node B ilişkin kontrol bilgilerini kullanıcı ile paylaşır.
PCPCH (Fiziksel Ortak Paket Kanalı - Physical Common Packet Channel):	Bu kanal veri paketlerini taşımayı amaçlar. Eğer kullanıcı meşgul ya da yoksa veriyi daha sonra iletir [7, 11, 25].

Fiziksel kanallardaki taşıma kanallarının haritalandırılması

Farklı fiziksel kanallarda haritalandırılan farklı taşıma kanallarının bazıları aynı fiziksel kanallar üzerinde eşleştirilir. Fiziksel kanallardan taşıma kanallarına haritalandırma Şekil 7.6'da gösterilmiştir [16].

Taşıma Kanalları

Fiziksel Kanallar



Şekil 7.6. Taşıma ve fiziksel kanalların haritalandırılması

Fiziksel kanal çerçeve yapıları

Fiziksel kanallar aşağıda belirtilen yapıdadırlar [3, 16]:

- Radyo çerçeve yapısı 10 msn uzunluğunda 15 zaman dilimi içerir.
- Zaman dilimi 10/15 msn uzunluğundadır. Her bir zaman dilimi bit hızına göre değişen sayıda sembol içermektedir.
- Hata düzeltme kodları eklendikten sonra (kanal kodlaması işleminden sonra) enformasyon unsuruna verilen isme sembol denir. Her sembol, yayma faktörüne eşit sayıda chip ile çarpılarak, her bir zaman dilimi için sabit 2560 chip elde edilmeye çalışılır.

7.4.3. Mantıksal kanallar

MAC (Ortam Erişim Kontrolü - Medium Access Control) katmanı, RLC (Radyo Link Kontrolü - Radio Link Control) alt katmanını mantıksal kanallar üzerinden veri transfer hizmetleri ile destekler. Tablo 7.5 ve Tablo 7.6’da mantıksal kanallar kontrol kanalları ve trafik kanalları olarak iki grupta tablolandırılmıştır.

1. Kontrol kanalları; kontrol düzlemine ait işaretleşme bilgisini iletir.
2. Trafik kanalları; kullanıcı düzlemine ait bilgi iletir.

Tablo 7.5. Kontrol kanalları

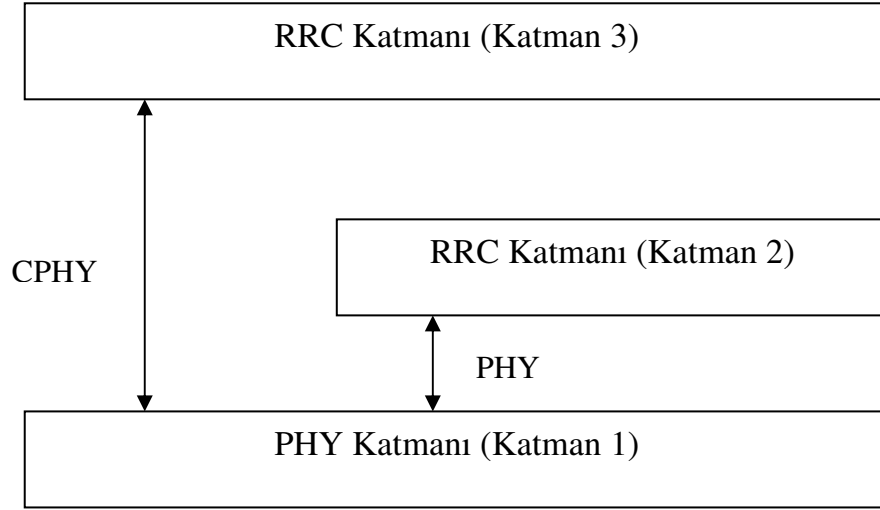
Kontrol Kanalları	
BCCH (Yayın Kontrol Kanalı - Broadcast Control Channel):	Sistemdeki kontrol bilgisini aşağı bağlantı yönünde yayınlayan kontrol kanalıdır.
PCCH (Sayfalama Kontrol Kanalı - Paging Control Channel):	Sayfalama bilgisini taşıyan aşağı bağlantı kanalıdır. Şebeke mobil terminalin bulunduğu hücreyi bilmiyorsa kullanılır.
DCCH (Tahsisli Kontrol Kanalı - Dedicated Control Channel):	Şebeke ve mobil terminal arasındaki tahsis edilmiş kontrol bilgisini taşıyan, noktadan noktaya çift yönlü bir kanaldır. RRC (Radio Resource Control - Radyo Kaynak Kontrolü) bağlantı kurulumu prosedürlerine göre oluşturulur.
CCCH (Ortak Kontrol Kanalı - Common Control Channel):	Şebeke ve mobil terminal arasındaki kontrol bilgisini taşıyan çift yönlü bir kanaldır. Şebeke ile mobil terminal arasında henüz RRC bağlantısı kurulmadıysa CCCH kullanılır.

Tablo 7.6. Trafik Kanalları

Trafik Kanalları	
DTCH (Tahsisli Trafik Kanalı - Dedicated Traffic Channel):	Kullanıcı düzlem bilgisini belirli bir mobil terminale iletmek için tahsis edilen noktadan noktaya bir bağlantı olup, hem yukarı hem de aşağı bağlantı kanalıdır.
CTCH (Ortak Trafik Kanalı - Common Traffic Channel):	Bir grup ve tüm kullanıcı cihazlarında tahsisli kullanıcı bilgisinin iletiminde kullanılır. Bir noktadan çok noktaya olan aşağı bağlantı kanalıdır.

7.5. Radyo Protokol ve Radyo Protokol Mimarisi

UTRAN’da radyo protokolleri üç katmana ayrılabilir. Fiziksel Katman (1.Katman), Veri Bağlantı Katmanı (2.Katman), Şebeke Katmanı (3.Katman) olarak tanımlanmıştır [26].



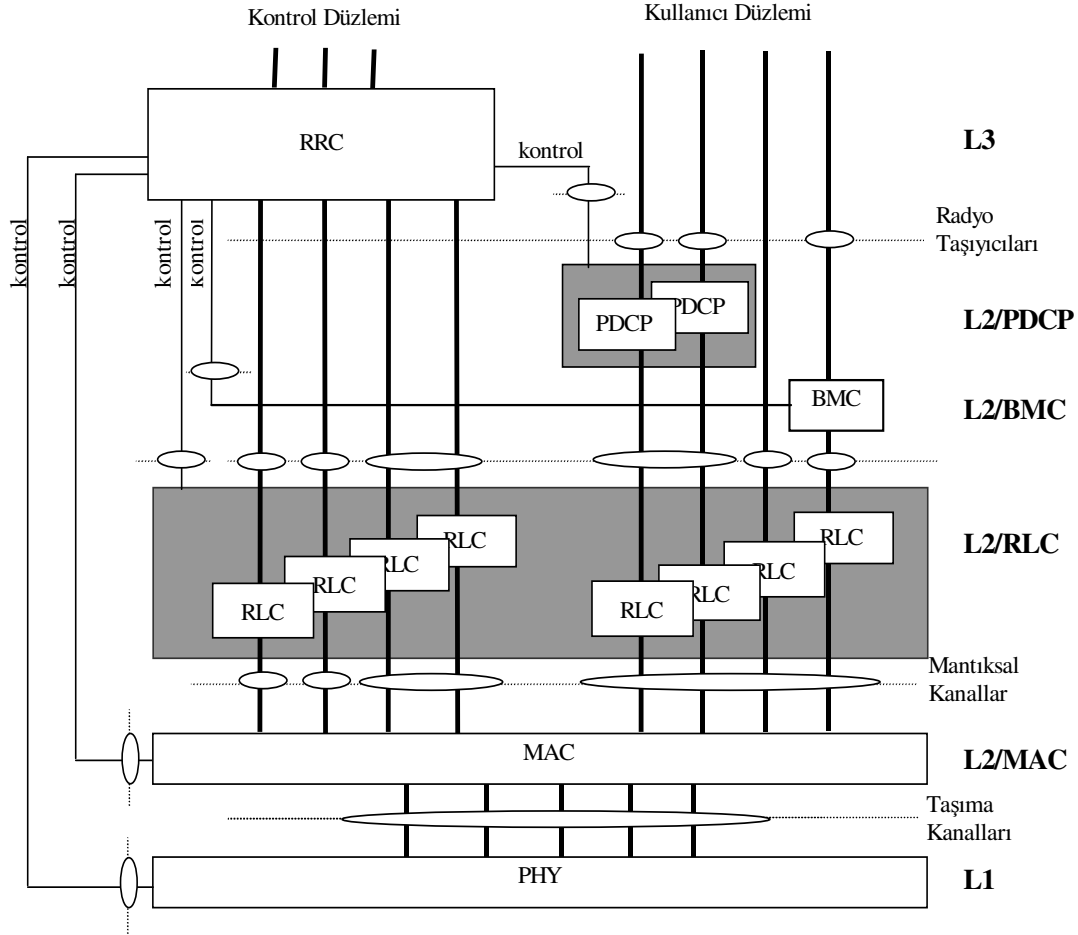
Şekil 7.7. Fiziksel katman arayüzleri

Fiziksel Katman, W-CDMA hava arayüz protokol modelindeki en alt katmandır. Fiziksel katman, 2. katman MAC ile 3. katman RRC arasındaki arayüz olup bir bağlantı katmanıdır. MAC arayüzü veri transferinde taşıma kanalı olarak kullanılır. Taşıma kanalı, bilginin radyo arayüzü üzerinden nasıl gönderileceğini karakterize eder. CPHY (Konrol Fiziksel Katman – Control Physical Layer) arayüzü fiziksel katman ve RRC arasında kontrol ve bilgi transfer ölçümü için kullanılır (Şekil 7.7 - Şekil 7.8). 1. ve 2. katmanlar transmisyon fonksiyonlarını yürütürler. Dolayısıyla, hem işaretleşme hem de kullanıcı bilgisi için taşıma ortamı sağlarlar. Bundandır ki, 1. ve 2. katmanlar kontrol ve kullanıcı düzlemlerini keserler [8].

Fiziksel katman, MAC’a farklı taşıma kanalları sunar. MAC, 2. katmandaki RLC’ye farklı mantıksal kanallar sunar. Mantıksal kanallar ise ne tür bilginin taşınacağını belirlemektedir.

Katman 2; MAC, RLC, PDCP (Paket Veri Yakınsama Protokolü - Packet Data Convergence Protocol) ve BMC (Genişband Çoklu Dağıtım Kontrolü - Broadcast Multicast Control) alt katmanlarına ayrılır. 3. Katman işaretleşmenin yürütülmesinden,

yönetilmesinden sorumludur. Bu nedenle kontrol düzlemine yerleştirilmiştir. 3. Katman ve RLC katmanında kontrol ve kullanıcı bölümlerine ayrılır. PDCP ve BMC sadece kullanıcı bölümünde vardır. Şekil 7.8.'de UTRAN radyo protokol mimarisi verilmiştir [18, 37, 38].



Şekil 7.8. UTRAN radyo protokol mimarisi

7.5.1. Fiziksel katman (L1) servisleri ve fonksiyonları

Fiziksel katman servisleri:

Fiziksel katman MAC ve daha üstü katmanlara bilgi transfer servisi sağlamaktadır. Fiziksel katman taşıma servisleri 'nasıl' ile tanımlanır ve karakteristik veri radyo arayüzü üzerinden taşınır [10, 12].

Fiziksel katman aşağıdaki fonksiyonları gerçekleştirmektedir [13].

- Taşıma kanallarının FEC kodlama/kod çözmesi,
- Radyo ölçümleri ve üst katmanlara iletimi,
- Makro çeşitlilik dağılımı/birleşimi ve yumuşak aktarım uygulaması,

- Taşıma kanallarında hata tespiti,
- Fiziksel kanallardaki iletim kanallarında şifreleme ve çoğullama ile veri akışını sonuçlandıran CCTrCH(Kodlu Karmaşık Taşıyıcı Kanal) haritalandırması,
- Taşıma kanalında çoğullama ve bileşik taşıma kanal kodunun (CCTrCH) çoğullama-çözülmesi işlemi,
- Oran uyumu,
- Fiziksel kanalın modülasyon yaygınlaştırma ve demodülasyon yaygınlaştırma-çözülmesi işlemleri,
- Frekans ve zaman senkronizasyonu,
- Kapalı-devre güç kontrolü,
- Fiziksel kanalın birleşimi ve güç ağırlığı,
- RF işleme,
- Yukarı bağlantı kanallarında ön zamanlama (sadece TDD),
- Yukarı bağlantı senkronizasyon desteği (sadece TDD).

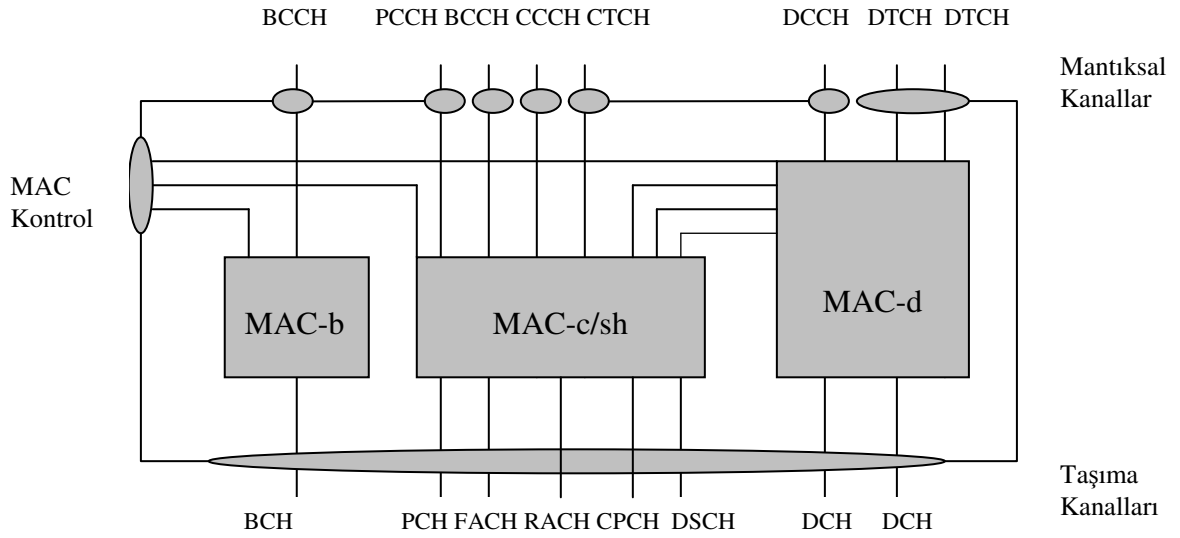
7.5.2. Veri bağlantı katmanı (L2) servisleri ve fonksiyonları

Veri bağlantı servisleri:

Veri bağlantı katmanı MAC ve RLC olmak üzere iki ana alt katmana ayrılır. MAC katmanı, radyo kaynaklarına birçok kullanıcının aynı anda erişimini sağlar. Yani kullanıcının aktif olmadığı anlarda bir başka kullanıcının verilerini ileterek ilgili radyo kaynaklarının verimli bir şekilde kullanımını sağlar. RLC katmanı ise, UTRAN sisteminde bilginin güvenilir bir şekilde aktarılmasını ve 1. katmanın doğru bir şekilde iletemediği paketlerin yeniden iletilmesini sağlar. Ayrıca kullanıcı bilgisinin istenmeyen durumlarda alınmasını engellemek işlemi, MAC katmanı tarafından yürütülemediği durumlarda RLC katmanı tarafından gerçekleştirilir. İkinci katman protokollerinden MAC ve RLC Protokolünü daha detaylı inceleyelim.

7.5.2.1. Ortam erişim kontrolü (MAC) protokolü

MAC Katmanı ikinci katmanın bir alt katmanıdır. Taşıma kanalları ile fiziksel kanallardan hizmet alırken, mantıksal kanallar ile de RLC alt katmanına hizmet ederler. Taşıma kanalları bilginin nasıl iletileceğinden sorumludur, mantıksal kanallar ise taşınan bilginin türünü ortaya çıkarır.



Şekil 7.9. MAC arayüz protokolü [9].

- MAC-b genişband kanalını (BCH) idare eder. Bir MAC-b her bir kullanıcıda ve diğer bir MAC-b ise UTRAN'da her hücre için mevcuttur [9].
- MAC-c/sh paylaşımlı ve ortak kanalları idare eder. Bu kanallar; sayfalama (PCH), ileri erişim (FACH), rastgele erişim (RACH), ortak paket (CPCH) ve aşağı bağlantı paylaşım (DSCH) kanalları olarak ifade edilebilir. Her bir kullanıcıda bir MAC-c/sh ve UTRAN'da her bir hücre için MAC-c/sh bulunmaktadır. BCCH mantıksal kanalı BCH veya FACH taşıma kanalına eşlenebilmektedir [9].
- MAC-d ise tahsisli kanalları idare eder. Her bir kullanıcı için bir MAC-d varlığı kullanıcıda, diğer bir MAC-d varlığı ise UTRAN'da bulunmaktadır [8, 9].

MAC fonksiyonları

MAC fonksiyonları aşağıda belirtilen maddeler ile özetlenmektedir [8]:

- Taşıma kanalları ve mantıksal kanallar arası haritalandırma,
- Aynı radyo kanallarına çoklu erişimin düzenlenmesi,
- RRC'den belirtilen şekilde radyo kaynaklarının dinamik olarak idare edilmesi gibi hizmetlerin yanında aşağıda detaylandırılan hizmetlerle RLC katmanını destekler.

- *Veri iletimi:* Bu servis, MAC eş birimleri arasında, bildirimsiz şekilde veri transferi sağlar. Verinin parçalara ayrılma işlemi yapılmaz. Bu yüzden, parçalara ayırma/yeniden birleştirme daha üst katmanlarca gerçekleştirilir.
- *Radyo kaynaklarının tekrar tahsisi ve MAC katman parametreleri:* RRC kısmından gelen talep üzerine, radyo kaynaklarının yeniden tahsisini gerçekleştirir ve UE kimliği, TFCS (Taşıma Biçim Birleşimi - Transport Format Combination Set) ve taşıma kanal tipi gibi MAC katmanı konfigürasyon parametrelerini değiştirir.
- *Trafik ve kalite parametre ölçümleri:* MAC katmanı, trafik yoğunluğu ve iletim kalitesini belirten parametreler üzerinde bir takım yerel ölçümler gerçekleştirir. Ölçümler radyo kaynak kontrol (RRC) birimine gönderilir. Bu birim aldığı ölçüm sonuçlarını yorumlayarak, alt katmanların yeniden düzenlenmesi işlemlerini başlatır.

7.5.2.2. Radyo link kontrolü (RLC) protokolü

RLC, MAC tarafından sağlanan hizmetleri alan ve üst katmanlara servis veren 2. katmanın alt katmanıdır. RLC protokolü, kullanıcı ve kontrol verisini parçalara böler ve yeniden iletir.

Kontrol düzleminde RLC katmanının sağladığı hizmete SRB (İşaretleşme Radyo Taşıyıcısı - Signaling Radio Carrier) denir. Eğer PDCP ve BMC protokolleri bu hizmet tarafından kullanılmıyorsa, kullanıcı düzleminde RLC katmanının sağladığı hizmet bir radyo taşıyıcıdır. Aksi halde, radyo taşıyıcı hizmeti PDCP veya BMC tarafından sağlanır.

Bildirimli RLC varlıkları iki yönlü olarak belirlenirken, saydam ve bildirimsiz RLC varlıkları tek yönlü olarak tanımlanır. RLC'nin bütün veri iletim şekli, CRC (Çevrimsel Fazlalık Denetimi - Cyclic Redundancy Check) hata belirlemesi fiziksel katmanda yapılır ve CRC kontrolünün sonucuna göre, gerçek veri ile birlikte RLC'ye gönderilir. RLC, katman bağlantılarını kurma ve çözme özelliklerinin yanında üç farklı veri iletim şekli sunar. Bunlar; saydam (Transparent mode - Tr), bildirimsiz (Unacknowledged Mode - UM), veya bildirimli (Acknowledged Mode - AM) şeklindedir [9, 12].

- *Saydam çalışma şekli:* Bu yapıda ilave olunan protokol bilgisi üst katmanlardan alınan veriye eklenmeden gönderilir. Hatalı PDU'lar (Protokol Veri Birimi - Protocol Data Unit) atılır veya hatalı olarak işaretlenir.
- *Bildirimsiz çalışma şekli:* Üst katmanlardan gelen veriye karşı gelen RLC eşleniğine paket iletimi garanti edilmeyerek yapılır. Düzenlemeye bağlı olarak hatalı veri ya işaretlenir ya da atılır. Gönderici tarafında, kronometre tabanlı bir atma söz konusudur. Böylece belirli bir zamanda gönderilmeyen RLC SDU'ları (Hizmet Veri Birimi - Service Data Unit) iletim arabelleğinden kaldırılır. Veriye eklenen başlık alanlarında parçalara ayırma ve ekleme işlemleri sağlanır. Bildirimsiz veri transferi tek yönlü olarak tanımlanır, çünkü yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı arasında bir ilişkiye gerek duyulmamaktadır. Örnek olarak bu çalışma tipi, bazı RRC işaretleme prosedürlerinde kullanılır. Bildirimsiz tip RLC'yi kullanan kullanıcı servislerine örnek olarak; hücre yayını ve VoIP.
- *Bildirimli çalışma şekli:* Bilginin gideceği yere ulaştırılması garanti altındadır. Hata düzeltimi için ARQ (Otomatik Talep Tekrarı – Automatic Repeat Request) mekanizması kullanılmaktadır. RLC'nin gecikme performansına karşı kalitesi, sağladığı iletim sayısının düzenlenmesiyle RRC tarafından kontrol edilebilir. Verinin RLC'de doğru bir şekilde gönderilemediği durumda (yeniden iletimlerin maksimum sayısına ulaşması veya iletim zamanının aşılması), üst katmana bildirilir ve RLC hizmet veri birimlerine (SDU) atılır. Ayrıca gerekli komutu göndererek hizmet veri birimlerine atılması işleminden sonra protokolün karşı taraftaki eşleniği haberdar edilir. Böylece, alıcı da atılan RLC hizmet veri birimleri, AMD protokol veri birimlerine (PDU) kaldırılır. Bildirimli veri iletimi iki yönlüdür ve kullanıcı verisine karşı yöndeki linkin durum bildirimini yerleştiren bir özelliğe sahiptir. RLC hem sıralı hem de sırasız teslim özelliğinde düzenlenebilir. Sıralı teslimde, üst katman protokol veri birimlerinin sıralanmaları sağlanır. Sırasız teslimde ise üst katman protokol veri birimleri alınır alınmaz gönderilir. Protokol veri birimlerinin teslimine ek olarak, birtakım kontrol prosedürleri eşlenik RLC protokolleri arasında işaretlenebilir. Bu kontrol prosedürlerine başka mantıksal kanallar ayrılabilir, böylece bildirimli RLC varlığı bir veya iki mantıksal kanal kullanabilir. Paket tipi veri iletim servisleri için normal olan RLC çalışma şekli bildirimli olanıdır. (İnternet gezintisi ve e-posta gibi).”

RLC fonksiyonları:

RLC fonksiyonları aşağıda belirtilen maddeler ile özetlenmektedir [9]:

- *Parçalara ayırma ve yeniden birleştirme:* RLC katmanı üst katmanlardan gelen değişken uzunluktaki protokol veri birimlerinin transmisyonunu sağlar. Bu veri birimlerinin RLC katmanına uygun hale getirilmesi için üst katmanlardan gelen veriler bölünerek, karşılığına gelen RLC protokol veri birimlerine yerleştirilir. Alış durumunda ise RLC tam tersi işlemleri yürütür. Birkaç RLC protokol veri birimlerinde taşınan bilgileri birleştirilerek, tek bir üst katman veri birimine yerleştirilir. RLC protokol veri birimleri büyüklüğü, RLC varlığını kullanan servisin mümkün olan en düşük bit hızına göre ayarlanır. Böylece değişken hızlı servislerde en düşüğünden daha büyük bit hızı kullanıldığında, birkaç protokol veri birimlerine bir transmisyon zaman aralığında gönderilmesi gerekir.
- *Ekleme:* Eğer RLC hizmet veri biriminin (SDU) içeriği RLC yük birimlerinin sayısının tam katı olmuyorsa, sonraki RLC hizmet veri biriminin ilk bölümü önceki RLC hizmet veri biriminin son bölümüne eklenerek RLC yük birimi içine koyulabilir. Parçalara ayırma işleminde, üst katman protokol veri birimleri RLC protokol veri birimlerinin tam çarpanı değilse, sonraki protokol veri biriminin ilk kısmı, önceki veri biriminin son kısmı ile birlikte aynı RLC'ye ait protokol veri birimleri içinde eklenebilir.
- *Doldurma:* Ekleme uygulanamıyorsa ve kalan veri belirlenen büyüklükteki RLC protokol veri birimlerini doldurmuyorsa, verinin geri kalan alanına dolgu bitleri yerleştirilir.
- *Hata Düzeltme:* Bildirimli veri iletiminde, tekrar gönderme mekanizması ile hata düzeltimi sağlanır.

7.5.3. Ağ Katmanı (L3) servisleri ve fonksiyonları

7.5.3.1. Radyo kaynak kontrolü (RRC) protokolü

Radyo Kaynak Kontrol katmanının sağladığı temel fonksiyonlar şu şekildedir [7].

- *Mobilite ile alakalı fonksiyonlar:* RRC mobilite (aktarma, hücre seçimi ve yeniden hücre seçimi gibi) ile ilgili konularda değerlendirme, karar verme ve yürütme işlemlerini gerçekleştirir.

- *Servis kalitesi (QoS) talebinin kontrolü:* İstenen hizmeti destekleyecek şekilde, radyo taşıyıcısına servis kalitesini sağlar. Bu yeterli radyo kaynağının verilip verilmediğinin de kontrol edilmesini içerir.
- *Mobil terminalin gerçekleştirdiği ölçümler üzerinden kontrol:* Mobil terminalin gerçekleştirdiği bütün ölçümler (hangi parametrelerin ne zaman ve nasıl ölçüldüğü) RRC'nin kontrolü altındadır. Bununla birlikte, RRC katmanı mobil terminalden şebekeye bilgi de taşır.

Radyo Kaynak Kontrolü üst katmanlara üç tip hizmet sağlamaktadır [7]:

- *Genel kontrol hizmet erişim noktası:* Belirli bir coğrafi alandaki tüm kullanıcılara erişimsiz katman bilgisini yayınlar.
- *Bildirimli hizmet erişim noktası:* Sayfalama ve bildirim sağlar. Sayfalama, belirli bir mobil terminal için belirli bir alan içinde bilgi göndermeyi ifade eder.
- *Tahsisli kontrol hizmet erişim noktası:* Bir bağlantının kurulması, çözülmesi ve bu bağlantı ile mesaj transferinin gerçekleştirilmesi hizmetlerini sağlar.

8. RADYO KAYNAK YÖNETİMİ

Radyo Kaynak Yönetimi (RRM), radyo bağlantı katmanlarının etkin ve verimli bir şekilde idare edilebilmesi için gerekli yöntemler ve algoritmalar kümesini içerir. Radyo Kaynak Yönetimi, Radyo Kaynak Kontrol (RRC) katmanında yürütülür. Ortam Erişim Kontrolü (MAC), Radyo Link Kontrolü (RLC) ve fiziksel katmanlarda sağlanan fonksiyonların koordinasyonu ve denetlenmesini sağlar. Ayrıca fiziksel katmanın sağladığı kanalların doğru ve verimli bir şekilde kullanılması işlemlerini yürütür.

CDMA sisteminde kaynak, iletilen güç olduğundan, bunun kötü idaresi mobil radyo sistemin toplam kapasitesini olumsuz yönde etkileyecektir. Dolayısıyla radyo kaynak yönetimi, CDMA tekniğine dayalı mobil radyo sistemlerinin işletimi için önemlidir.

8.1. Radyo Kaynak Yönetimi ile Gerçekleştirilen Fonksiyonlar

Hücrenin seçimi/yeniden seçimi, yumuşak aktarma ve kabul kontrolü gibi birtakım fonksiyonlar Radyo Kaynak Yönetimi ile gerçekleştirilir. Bunları kısaca özetlersek [7]:

Hücre seçimi/yeniden seçimi:

Hücresel mobil sistemlerde, her mobil terminal bir radyo baz istasyonu ile ilişkilendirilir. Kullanıcı talep eder etmez, mobil terminal bu istasyon ile çağırma kurulumunu başlatacaktır. Mobil terminal açıldığı zaman, “hücre seçim” işlemine göre hücreyi seçer. Bu hücre, mobil terminalin yer değişiklikleri, yayılma koşulları veya diğer parametrelere bağlı olan frekanslarda hücre yeniden seçim işlemi ile güncellenir. Bu nedenle, CDMA tekniğine dayalı sistemlerde, çağırma kurulumu sırasında iletilen gücü en aza indirmek için, mobil terminalin en iyi seçenek olan radyo baz istasyonu ile ilişkilendirilmesi önerilir. Ancak, bunun başarılması zor olabilir. Bu nedenle, mobil terminalin en iyi seçenek olan istasyondan ziyade, başka bir radyo baz istasyonu ile işaretleşme mesajlarını alıp vermesi ve şebekenin çağırmaı tekrardan en iyi seçenek olan istasyona yönlendirme imkanını sağlaması kabul edilebilir olacaktır.

Yumuşak aktarma:

Yumuşak aktarma işlemi birtakım ölçümler yapmak, bunları yorumlamak ve bu süreci kontrol eden şebeke kısımlarına bu ölçümleri ve yorumları iletmek gibi bir takım fonksiyonlara sahiptir. Örnek olarak, yumuşak aktarma algoritması için kullanılabilecek

bir yaklaşım şu şekildedir: Eğer Aktif Kümeye (AK) ait olan bir radyo baz istasyonunun aldığı uygun bir referans işaret, belirli bir aralık ve artı olarak bir de ΔT zaman periyodu için ilişkilendirilmiş histerezis kadar, aktif kümedeki en iyi istasyonun aldığı referans işaret seviyesinden daha kötü ise, sorgudaki bu istasyon aktif kümeden çıkarılır. Eğer aktif kümedeki en iyi istasyon ile bu kümeye dahil olmayan başka bir istasyonun aldığı referans işaret seviyeleri arasında yukarda belirtilenden daha az bir fark varsa, bu baz istasyonu eğer aktif küme dolu değilse kümeye eklenir. Eğer aktif küme dolu fakat aktif kümeye ait olmayan istasyonun aldığı referans işaret seviyesi, aktif kümedeki en kötü istasyonun aldığı işaret seviyesinden bir ΔT zaman periyodu için belirli bir aralık kadar daha iyi ise, bu kötü istasyon değiştirilecektir.

CDMA tekniğinin kullanıldığı UMTS sistemi ile FDMA/TDMA tekniğinin kullanıldığı GSM sisteminde, radyo kaynaklarının yönetimi arasındaki farkı açıklamak için özellikle yüklü bir sistem hücresi dikkate alınır. Bu gibi durumda, trafiğin bir bölümünü komşu hücrelere kaydırmak suretiyle aşırı yüklenmenin ortadan kaldırılması tavsiye edilebilir.

GSM sisteminde bu durum bazı kullanıcıları mobil terminalin en kuvvetli işareti aldığı baz istasyonu dışındaki bir başka baz istasyonunun kaynaklarını kullanmaya zorlayarak yapılabilir. Böylece, trafik tüm sistem hücrelerine daha düzgün bir şekilde dağıtılabilir. Ancak diğer taraftan en kuvvetli işareti alamadığı bir baz istasyonuna bağlanmaya zorlanan mobil terminaller, düşük kalitede çalışacaklar ve diğer sistem hücrelerinde aynı radyo frekansını ve zaman dilimini kullanan mobil terminallerle daha büyük boyutta girişim oluşturacaklardır. Özellikle, GSM gibi bir sistemin kullanıcısı, yığılma yaşanan bir hücrede çağırma kurma talebinde bulunursa, sistem bu talebi, doğrudan deneme işlemi ile diğer bir komşu hücrenin kaynaklarını kullanarak karşılamaya çalışacaktır. Aynı işlem, UMTS gibi CDMA tekniğine dayanan sistemde daha hassas bir konudur. Aslında, CDMA sisteminde radyo kaynak yönetiminin temel amacı, mobil terminallerin ilettiği gücü en aza indirmektir. Bu nedenle, her mobil en az güç kullanacağı olası olan radyo baz istasyonuna bağlanmalıdır. Bu baz istasyonunun, mobil terminalin en kuvvetli işareti aldığı bir istasyon olmasına gerek yoktur. Eğer mobil terminalin ilettiği işaretin kodunun doğru bir şekilde çözülmesi isteniyorsa, diğer mobil terminallerden gelen ortogonal olmayan işaretlerle başa çıkılabilmesi için, işaretin radyo baz istasyonuna yeterli güçte ulaşması gerekmektedir. O halde, mobil terminaller tarafından kullanılan güç miktarı kanal durumunun ve baz istasyon yük seviyesinin bir

fonksiyonudur. Sonuç olarak, her mobil terminal kendi yayılma kaybını ve girişim seviyesi toplamını mümkün olduğunca minimize eden radyo baz istasyonuna bağlanmalıdır. Bundan böyle, bu radyo baz istasyonu en iyi seçenek olarak adlandırılacaktır.

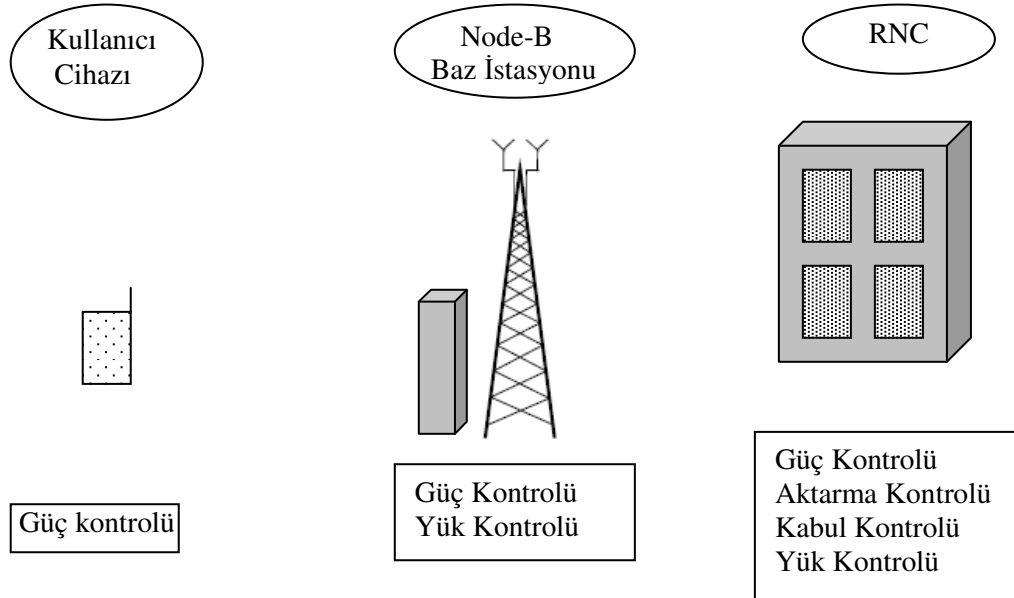
Yukarıda anlatılan durumda, özellikle yüklü hücre en iyi seçenek olarak kabul edilirse, yani en kuvvetli işareti aldığı düşünülürse bir kullanıcıyı başka bir hücrede çalışmaya zorlamak, o kullanıcıyı daha yüksek güç ile iletim yapmaya zorlamak demektir. Aslında, yüksek güç ileten bir mobil terminalin başka bir hücrede çalışmaya zorlanması, en iyi seçenek istasyon için önemli girişim yaratacak ve böylece, zaten çok yüklü olmasından dolayı yüksek olan girişim seviyesini iyice arttıracaktır. Bu örnekle, CDMA ve FDMA/TDMA sistemlerindeki radyo kaynak yönetimindeki önemli farklar gösterilmek istendiğinden, burada ifade edilen durumda, radyo kaynak yönetimi için gayet önemli olan makro çoklama kavramı bilerek göz ardı edilmiştir. Eğer yeni kullanıcı yüklü durumda olan hücrenin sınırında bulunuyorsa, çağırma kurulumunu makro çoklama göz önünde bulundurup veya başka bir deyişle, diğer radyo baz istasyonlarını da hesaba katarak iletilen gücü minimize edebilir. Eğer yeni kullanıcı hücre sınırı yakınında değilse, bu kullanıcının veya benzer durumdaki kullanıcıların şebekeye erişiminin reddedilmesi diğer kullanıcıların algıladığı kaliteyi tehlikeye atmamak adına daha iyi olacaktır. Bu Kabul Kontrol fonksiyonunun amacıdır.

UMTS sisteminin, her biri belirli bir bit hızı ve belirli bir hizmet kalitesi ile karakterize edilmiş çoklu hizmetler vereceği düşünülürse, belirtilen durumların önemi ortaya çıkmaktadır. Farklı hizmetler belirli bazı neticeleri olan farklı iletim güçleri talep edecektir. Örneğin, 2 Mbit/sn'lik hizmet talep eden bir kullanıcının kötü idaresi, ses hizmetlerini kullanan birçok kullanıcıyı olumsuz yönde etkileyebilir.

8.2. Girişim Bazlı Radyo Kaynak Yönetimi

Radyo Kaynak Yönetimi (RRM) hava arabirim kaynaklarının kullanımından sorumludur. Bu nedenle, servis kalitesinin (QoS), planlanan kapsama alanının sağlanması ve yüksek kapasite sunulması açısından önemlidir. Radyo Kaynak Yönetimi; aktarma, güç kontrolü, kabul kontrolü ve yük kontrolü fonksiyonlarını kapsar [9].

Güç kontrolü, hava arabiriminde girişim seviyelerini minimumda tutmak ve talep edilen servis kalitesini sağlamak için gereklidir. Aktarma işlemleri, bir hücrenin kapsamasından diğer hücrenin kapsamına giren kullanıcıların hareketliliğinin sağlanması için gereklidir. Üçüncü nesil şebekelerde; kabul kontrolü ve yük kontrolü radyo kaynak yönetim algoritmaları, servis kalitesinin garanti edilmesi ve farklı bit hızlarındaki hizmetlere ve kalite gereksinimlerine sahip sistem net çıkış verimini maksimize etmeyi amaçlar. Radyo Kaynak Yönetim algoritmaları, şebekedeki donanım miktarına veya hava arabirimindeki girişim seviyesine bağlı olarak şekillenir. Fiziksel engelleme; kapasitenin, hava arabirimi aşırı yüklenmeden donanımsal nedenlerden ötürü sınırlanmasıdır. Yumuşak engelleme ise, hava arabirim yükünün planlanandan daha yukarıda belirlendiği durumdur. Yumuşak engellemeye dayalı RRM, fiziksel engellemeye dayalı olana göre daha yüksek kapasite sunmaktadır. Eğer yumuşak engelleme tabanlı RRM uygulanacaksa, hava arabirim yükünün ölçülmesi gerekmektedir. IS-95 şebekelerinde RRM, kullanılabilir kanal elemanına (fiziksel engelleme) bağlıyken, bu yaklaşım, eş zamanlı olarak değişik bit hızlarının destekleneceği üçüncü nesil WCDMA sisteminde kabul edilebilir değildir. RRM algoritmalarının, bir WCDMA sistemindeki yerleri Şekil 8.1’de gösterilmiştir [9].



Şekil 8.1. WCDMA şebekede RRM algoritmalarının genellikle bulundukları yerler

8.3. Güç Kontrolü

WCDMA sisteminde hızlı güç kontrolü hem aşağı hem de yukarı bağlantıda 1.5 kHz sıklıkta desteklenmektedir. GSM de ise yaklaşık 2 Hz frekansında yavaş güç kontrolü mevcuttur. IS-95 sisteminde ise yalnızca yukarı bağlantıda 800 Hz sıklıkta hızlı güç kontrolü mevcuttur.

8.4. Hava Arabirim Yükünün Ölçümü

Eğer Radyo Kaynak Yönetimi (RRM) hava arabirimindeki girişim seviyelerine bağlıysa, hava arabirim yükünün ölçülmesi gerekmektedir. Bölüm 8.4.1’de yukarı bağlantı, bölüm 8.4.2’de ise aşağı bağlantı yük hesabı anlatılmaktadır [9].

8.4.1. Yukarı bağlantı yükü

Bu bölümde, geniş bantlı alışı gücüne ve net çıkış verimine dayanan yük kestirimi olmak üzere, iki tür yukarı bağlantı yük ölçümü anlatılmıştır. Bu ölçümler WCDMA şebekelerde kullanılabilecek yaklaşımlara örnek gösterilmiştir [9].

Yukarı bağlantı yük faktörü:

Bir WCDMA hücresinin teorik spektral verimliliği, aşağıda elde edilmiş olan yük eşitliği ile hesaplanmıştır. İlk önce E_b/N_0 (kullanıcı biti başına enerjinin, gürültü spektral yoğunluğuna oranı) ifade edilmelidir.

$$(E_b / N_0)_j = j.kullanıcının\ işleme\ kazancı \frac{j\ kullanıcının\ işareti}{Toplam\ alınan\ güç(kendi\ gücü\ hariç)} \quad (8.1)$$

Bu ifade şu şekilde yazılabilir:

$$(E_b / N_0)_j = \frac{W}{v_j R_j} \cdot \frac{P_j}{I_{toplaml} - P_j} \quad (8.2)$$

Bu eşitlikte; W chip hızını, P_j j kullanıcısından alınan işaretin gücünü, v_j j kullanıcısının aktivite faktörünü, R_j j kullanıcısının bit hızını ve $I_{toplaml}$ termik gürültü gücünü de içerecek şekilde, baz istasyonunda alınan geniş bantlı toplam gücü göstermektedir. Bu eşitlikten P_j şu şekilde ifade edilebilir:

$$P_j = \frac{1}{1 + \frac{W}{(Eb/N_0)_j R_j v_j}} I_{toplamlam} \quad (8.3)$$

$P_j = L_j \cdot I_{toplamlam}$ olarak ifade edilir ve buradan, bir bağlantı için L_j yük faktörü elde edilmiştir.

$$L_j = \frac{1}{1 + \frac{W}{(Eb/N_0)_j R_j v_j}} \quad (8.4)$$

Alınan toplam girişim (termik gürültü P_N haricinde), aynı hücredeki tüm N kullanıcıdan alınan gücün toplamıdır.

$$I_{toplamlam} - P_N = \sum_{j=1}^N P_j = \sum_{j=1}^N L_j \cdot I_{toplamlam} \quad (8.5)$$

Gürültü artışı, alınan geniş bantlı toplam gücün gürültü gücüne oranıdır.

$$Gürültü \text{ Artışı} = \frac{I_{toplamlam}}{P_N} \quad (8.6)$$

ve (8.5) eşitliğini kullanarak,

$$Gürültü \text{ Artışı} = \frac{I_{toplamlam}}{P_N} = \frac{1}{1 - \sum_{j=1}^N L_j} = \frac{1}{1 - \eta_{UL}} \quad (8.7)$$

elde edilir. Burada η_{UL} yük faktörü şu şekilde tanımlanmıştır,

$$\eta_{UL} = \sum_{j=1}^N L_j \quad (8.8)$$

η_{UL} değeri 1'e yaklaştığında, karşı gelen gürültü artışı sonsuza yaklaşır ve sistem maksimum kapasitesine ulaşmıştır. CDMA radyo şebekesi, teorik olarak maksimum

kapasitede işletilemez. İlave olarak, yük faktörü ifadesinde diğer hücrelerden gelen girişim, i oranı ile hesaba katılmalıdır:

$$i = \frac{\text{diğer hücre girişimi}}{\text{kendi hücre girişimi}} \quad (8.9)$$

Yukarı bağlantı yük faktörü şu şekilde yazılabilir:

$$\eta_{UL} = (1+i) \sum_{j=1}^N L_j = (1+i) \sum_{j=1}^N \frac{1}{1 + \frac{W}{(E_b/N_o)_j R_j v_j}} \quad (8.10)$$

Yük denklemi, girişimden dolayı termik gürültü üzerine gerçekleşen gürültü artışını kestirebilmektedir. Gürültü artışı $-10 \log(1 - \eta_{UL})$ değerine eşittir. Link için düşünülmüş girişim aralığı planlanmış maksimum gürültü artışına eşit olmalıdır.

E_b/N_o değeri, kapalı çevrim güç kontrolünün ve yumuşak aktarmanın etkisini içerir. Diğer hücre girişiminin kendi (servis veren) hücre girişimine oranı olan i değeri, hücre çevresinin veya hücre izolasyonunun (makro/mikro, kentsel/kırsal gibi) ve anten tipinin (her yöne servis veren, 3-sektör veya 6-sektör) bir fonksiyonudur. İlgili bu parametreler Tablo 8.1’de açıklanmıştır [9].

Yük denklemi, gürültü artışının tahmininde ve boyutlandırma sürecinde kullanılır. Klasik ses hizmetlerinin verildiği bir şebekede tüm N kullanıcıları düşük R bit hızına sahiptir. Buradan yola çıkarsak,

$$\frac{W}{E_b/N_o \cdot R \cdot v} \gg 1 \quad (8.11)$$

olur ve yukarıdaki yukarı bağlantı yük ifadesi şu şekilde basitleştirilebilir:

$$\eta_{UL} = \frac{E_b/N_o}{W/R} \cdot N \cdot v \cdot (1+i) \quad (8.12)$$

Tablo 8.1. Yukarı bağlantı yük faktörü hesabında kullanılan parametreler

	Tanımlamalar	Tavsiye edilen değerler
N	Hücre başına kullanıcı sayısı	
v_j	Fiziksel katmanda j kullanıcısının aktivite faktörü	Konuşma için 0.67 Data için 1.0
E_b/ N₀	Bit başına düşen işaret enerjisinin gürültü spektral yoğunluğuna bölümüdür. Bu değer daha önceden belirlenmiş servis kalitesini (örneğin bit hata oranı) karşılaması gerekir. Gürültü hem termik gürültüyü hem de girişimi içermektedir.	Hizmetin türüne, bit hızına, çok doğrultulu fading kanala, alış anten çoklamasına, mobil hıza v.b. bağlıdır.
W	WCDMA chip hızı	3.84 Mchip/sn
R_j	J kullanıcısının bit hızı	Hizmet tipine bağlı
i	Baz istasyon alıcısı tarafından görülen, diğer hücre girişiminin kendi (hizmet veren) hücre girişimine oranıdır.	Her yöne servis veren antenli makro hücrede: %55
L_j	j. kullanıcının yük faktörüdür.	

Geniş bantlı alış gücüne dayanan yük kestirimi:

Geniş bantlı alış gücü, yukarı bağlantı yük kestiriminde kullanılmıştır. Alınan güç seviyeleri baz istasyonunda ölçülmüş ve bu ölçümlere bağlı olarak, yukarı bağlantı yük faktörü elde edilmiştir. Hesaplamalar aşağıda gösterilmiştir. Alınan geniş bantlı girişim gücü $I_{toplaml}$, kendi hücre kullanıcıları $I_{ken.}$, diğer hücre kullanıcıları $I_{diğ.}$ ve artalan ve alıcı gürültüsü P_N 'ye ayrılır:

$$I_{toplaml} = I_{ken.} + I_{diğ.} + P_N \quad (8.13)$$

Yukarı bağlantı gürültü artışı alınan toplam gücün gürültü gücüne oranıdır:

$$Gürültü Artışı = \frac{I_{toplaml}}{P_N} = \frac{1}{1 - \eta_{UL}} \quad (8.14)$$

Bu eşitlik yukarı bağlantı yük faktörünü η_{UL} , vermek üzere tekrar düzenlenirse,

$$\eta_{UL} = 1 - \frac{P_N}{I_{toplaml}} = \frac{Gürültü artışı - 1}{Gürültü artışı} \quad (8.15)$$

Burada, $I_{\text{topl}} \text{ baz istasyonu tarafından ölçülebilir ve } P_N \text{ önceden bilinmektedir. } \eta_{UL}$ yukarı bağlantı yük faktörü, yukarı bağlantı yük göstergesi olarak kullanılır. Örneğin, yukarı bağlantı yük kapasitesinin %60'ı denirse, bu η_{UL} yukarı bağlantı yük faktörünün *çıkış* 0.60 olduğu anlamına gelir.

Net verimine dayanan yük kestirimi:

η_{UL} yukarı bağlantı yük faktörü 6.10 denkleminde ifade edilmişti. Boyutlandırma için bir hücrenin ortalama kullanıcı sayısı (N) kestirilmelidir. Bunun için; E_b/N_0 , i ve v 'nin ortalama değerleri giriş parametreleri olarak kullanılır. E_b/N_0 , i ve v 'nin anlık ölçüm değerleri ve N kullanıcı sayısı kullanılarak anlık hava arabirim yükü hesaplanır.

Net çıkış verimine dayanan yük kestiriminde, diğer hücrelerden gelen girişimler doğrudan yüke katılmaz; fakat i parametresi hesaba katılmalıdır. Eğer $i = 0$ olduğu kabulü yapılırsa, sadece kendi-hücre girişimi dikkate alınmış olur.

Yukarı bağlantı yük kestirim yöntemlerinin karşılaştırılması:

Geniş bantlı alışı gücüne dayanan yaklaşımda, komşu hücrelerden gelen girişim de doğrudan yük hesabına katılmıştır. Ölçülen geniş bantlı güç, baz istasyonunda alınan taşıyıcı frekanstaki tüm girişimleri içermektedir. Eğer komşu hücrelerdeki yüklenme düşükse, bu durum yük ölçümlerinde görülür ve hücrede daha büyük yüke müsaade edilir. Böylece yumuşak kapasite elde edilmiş olunur. Bu yöntemdeki problem, ölçülen geniş bantlı gücün komşu hücrelerin girişimini de içerebilmesidir. Bu durum, başka bir operatöre ait olan mobil terminalin baz istasyon antenine çok yakın bir yerde olmasından kaynaklanmıştır. Baz istasyon alıcısı ise geniş bantlı güç ölçümleri ile kendi taşıyıcısından gelen ve diğer taşıyıcılardan gelen girişimi ayırt edemez.

Net çıkış verimine dayanan yük kestirimi, komşu hücrelerden veya komşu taşıyıcılardan gelen girişimi doğrudan hesaba katmaz. Eğer yumuşak kapasite gerekiyorsa, komşu hücre yük bilgisi RNC'den elde edilebilir. Net çıkış verimine dayanan Radyo Kaynak Yönetimi (RRM), hücrenin net çıkış verimini planlanan seviyede tutar. Eğer komşu hücrelerdeki yükleme fazla ise, bu hücrenin kapsama alanını etkiler.

8.4.2. Aşağı bağlantı yükü

Bu bölümde, güç ve net çıkış verimine dayanan yük kestirimi olmak üzere, iki tür yük ölçümü anlatılmıştır. Bunlar WCDMA şebekelerde kullanılabilecek örnek yaklaşımlardır.

Aşağı bağlantı yük faktörü:

η_{DL} aşağı bağlantı yük faktörü, her ne kadar parametreleri biraz farklı olsa da yukarı bağlantı için kullanılan prensibe benzer olarak tanımlanır:

$$\eta_{DL} = \sum_{j=1}^N v_j \frac{(E_b/N_o)_j}{W/R_j} \left[(1 - \alpha_j)^{+ i_j} \right] \quad (8.16)$$

Termik gürültü üzerindeki gürültü artışı $-10\log(1 - \eta_{DL})$ ile ifade edilir. Yük faktörünün ifadesinde kullandığımız parametreler Tablo 8.2’de açıklanmıştır [9]. Yukarı bağlantı yük eşitliği ile karşılaştırıldığında, göze çarpan en önemli parametre α_j ’dir. α_j bağlantıda, kullanıcılara verilen kod dizileri arasındaki korelasyonu temsil etmektedir. WCDMA sistemi aşağı bağlantıda kullanıcıları ayırt etmek için ortogonal kodlar kullanır. α_j değerinin 1’e eşit olması, tam ortogonal kullanıcıları ifade etmektedir. Genellikle, çok doğrultulu kanallarda α_j 0.4 ve 0.9 arasında değer almaktadır.

Tablo 8.2. Aşağı bağlantı yük faktörü hesabında kullanılan parametreler

	Tanımlamalar	Boyutlandırma için tavsiye edilen değerler
N	Hücre başına bağlantı sayısı = hücre başına kullanıcı sayısı	
v_j	Fiziksel katmanda j kullanıcısının aktivite faktörü	Konuşma için 0.67 Data için 1.0
E_b/N_o	Bit başına düşen işaret enerjisinin gürültü spektral yoğunluğuna bölümüdür. Bu değer daha önceden belirlenmiş servis kalitesini (örneğin bit hata oranı) karşılaması gerekir. Gürültü hem termik gürültüyü hem de girişimi içermektedir.	Hizmetin türüne, bit hızına, çok doğrultulu fading kanala, alış anten çoklaması, mobil hızı v.b. bağlıdır.
W	WCDMA chip hızı	3.84 Mchip/sn
R_j	J kullanıcısının bit hızı	Hizmet tipine bağlı
α_j	J kullanıcısının ortogonalitesi	Çok yollu yayılmaya bağlıdır. 1: tamamen ortogonal 0: ortogonal değil

i_j	J kullanıcısı tarafından alınan, diğer hücre baz istasyon gücünün kendi hücresinin baz istasyon gücüne oranıdır	Her kullanıcı, hücredeki yerine bağlı olarak farklı bir i_j görür.
$\bar{\alpha}$	Hücredeki ortalama ortogonalite faktörü	ITU Vehicular A channel: ~% 60 ITU Pedestrian A channel: ~% 90
$\bar{i}$	Kullanıcı tarafından alınan, diğer hücre baz istasyon gücünün kendi (hizmet veren) hücre baz istasyon gücüne oranının ortalamasıdır. Buradaki kendi hücre girişimi geniş bantlıdır.	Her yöne servis veren antenli makro hücrede: %55

Aşağı bağlantıda, diğer hücre girişiminin kendi hücre girişimine oranı olan i değeri, kullanıcı konumuna bağlıdır, dolayısıyla i oranı her j kullanıcısı için farklılık göstermiştir. η_{DL} aşağı bağlantı yük faktörü, η_{UL} yukarı bağlantı yük faktörüne çok benzer bir davranış sergiler. Şöyle ki; bu faktör bire yaklaştığında, sistem teorik maksimum kapasitesine ulaşır ve termik gürültü üzerindeki gürültü artışı sonsuza gider.

Aşağı bağlantı boyutlandırması için, gerekli baz istasyonu toplam iletim gücünün belirlenmesi önemlidir. Bu tespit, kullanıcı için iletilen ortalama güce dayanmalıdır, hücre sınırı düşünülerek iletilen maksimum güç baz alınmamalıdır. Matematiksel olarak, iletilen baz istasyonu toplam gücü aşağıdaki eşitlik ile verilmiştir [9]:

$$BS_TxP = \frac{Nrf \cdot W \cdot \bar{L} \cdot \sum_{j=1}^N \nu_j \frac{(E_b/N_o)_j}{W/R_j}}{1 - \eta_{DL}} \quad (8.17)$$

Burada; Nrf , mobil alıcının gürültü spektral yoğunluğudur. Nrf şu şekilde ifade edilmiştir ($T = 290$ K olarak kabul edilmiştir) [9]:

$$\begin{aligned} Nrf &= k.T + NF \\ &= -174dBm + NF \end{aligned} \quad (8.18)$$

Burada; k Boltzman sabiti (1.381×10^{-23} J/K), T Kelvin cinsinden sıcaklık ve NF mobil istasyon alıcı gürültü figürüdür (5 – 9 dB).

Hücre yük faktörü şöyle bir ortalama ile yaklaşık olarak ifade edilebilir:

$$\eta_{DL} = \sum_{j=1}^N v_j \frac{(E_b/N_o)_j}{W/R_j} \left[(1 - \bar{\alpha}) + \bar{i} \right] \quad (8.19)$$

Güç tabanlı yük kestirimi:

Hücrenin aşağı bağlantı yükü iletilen toplam aşağı bağlantı gücü (P_{toplam}) ile belirlenir. Aşağı bağlantı yük faktörü, η_{DL} o anki toplam iletilen gücün baz istasyon maksimum gücüne P_{max} oranıdır:

$$\eta_{DL} = \frac{P_{\text{toplam}}}{P_{\text{max}}} \quad (8.20)$$

Bu yük tahmin yaklaşımında, baz istasyonunun toplam iletim gücü P_{toplam} , çalışan sistemin aşağı bağlantı hava arabirim teorik maksimum kapasitesine ne kadar yakın olduğu hakkında kesin bir bilgi vermez. Küçük hücrede, aynı P_{toplam} büyük hücreye göre daha büyük hava arabirim yüklemesine karşı gelir.

Net çıkış verimine dayanan yük kestirimi:

Net çıkış verimine dayanan yük kestirimi, aşağı bağlantıda tahsis edilmiş bit hızlarının toplamını kullanarak ifade edilir:

$$\eta_{DL} = \frac{\sum_{j=1}^N R_j}{R_{\text{max}}} \quad (8.21)$$

Burada N ortak kanalları da içerecek şekilde aşağı bağlantılarının sayısıdır. R_j j. Kullanıcının bit hızıdır ve R_{max} ise hücre için müsaade edilen maksimum net çıkış verimidir.

Kullanıcı bit hızları aşağıdaki gibi E_b/N_o değeri ile de ifade edilebilir:

$$\eta_{DL} = \sum_{j=1}^N R_j \frac{v_j (E_b/N_o)_j}{W} \left[(1 - \bar{\alpha}) + \bar{i} \right] \quad (8.22)$$

Burada W chip hızı, $(E_b/N_o)_j$ j. kullanıcının E_b/N_o değeri, v_j ses aktivite faktörü, $\bar{\alpha}$ hücrenin ortalama ortogonalitesi ve $\bar{i}$ ise ortalama aşağı bağlantı diğer hücre girişiminin kendi hücre girişimine oranıdır.

Ortalama aşağı bağlantı ortogonalitesi, yukarı bağlantıdaki çok doğrultulu yayılmaya dayanarak baz istasyonu tarafından kestirilebilir. Diğer hücrelerden gelen ortalama girişim, komşu hücre yükleri dikkate alınarak RNC de elde edilir.

8.5. Kabul Kontrolü

Radyo Kabul Kontrolü için kullanılan yöntemler, radyo kaynakları müsait olsa dahi şebekeye erişimi sınırlandırabilir. Bu yöntemler erişim tekniğinin bir özelliğidir. Örneğin CDMA sisteminde çağırma sayıları arttıkça kalite düşmektedir. Bu nedenle, maksimum yük, kaliteyi kabul edilebilir seviyede tutmak için, sonraki çağrıları reddetme yetkisine sahip operatör tarafından belirlenir. CDMA sistemleri yumuşak kapasiteye sahiptir. Bu tip kurallar, FDMA/TDMA tekniklerine dayanan sistemlerde genellikle kullanılmaz. Bu sistemlerin sabit kapasiteleri vardır. Bununla kastedilen frekans ve zaman dilimleri olarak müsait kaynakların önceden bilinmesidir. Bu kaynaklar kullanılana kadar, algılanan kalitede önemli bir etki yaratmayacak şekilde yeni kullanıcıların kabul edilebilmesi her zaman olası olacaktır. Tabii ki burada, frekans planlama işleminin (CDMA sistemleri için gerekmemektedir) doğru bir şekilde yapıldığı düşünülmektedir [7].

Eğer hava arabirim yükünün aşırı yüklenmesine izin verilirse, hücrenin kapsama alanı planlanan değerlerden daha aşağıya düşer ve kurulmuş olan bağlantıların servis kalitesi garanti edilemeyebilir. Yeni bir bağlantı kabul etmeden önce, şebeke kabul kontrolü yapılan kabulün, planlanan kapsama alanını ve kurulmuş bağlantıların kalitesini etkilememesini sağlamalıdır. Kabul kontrolü gelen talebi kabul ederek veya reddederek radyo erişim şebekesinde bir radyo erişim taşıyıcısı oluşturur. Taşıyıcı oluşturulduğunda veya değiştirildiğinde kabul kontrol algoritması yürütülür. Kabul kontrol fonksiyonu çeşitli hücrelerden yük bilgisinin alınabildiği RNC'de yerleştirilmiştir. Kabul kontrolü, radyo şebekesinde taşıyıcı kurulumunun neden olacağı yük artışını belirler. Bu yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı için ayrı ayrı tespit edilmelidir. Eğer hem yukarı bağlantı hem de aşağı bağlantı kabul kontrolü onaylanırsa talep edilen taşıyıcı kabul edilir. Aksi

halde, yapılacak kabul şebekede aşırı girişim oluşturabilir düşüncesi ile reddedilir. Kabul kontrolü için gerekli limit değerler radyo şebeke planlama tarafından belirlenir [9].

8.5.1. Güç tabanlı kabul kontrol stratejisi

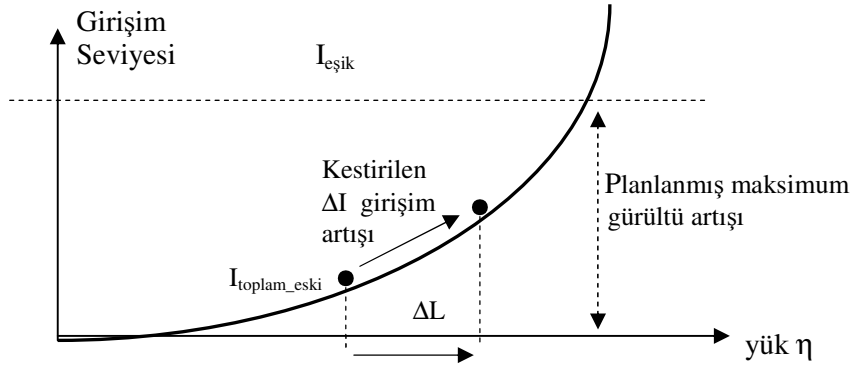
Kabul kontrol politikaları çeşitli ölçütleri temel almaktadır. Burada, girişim ölçütüne değinilecektir. Yeni bir kullanıcı şebekeye kabul edildiğinde, güç hem yukarı bağlantıda hem de aşağı bağlantıda iletilir. Bu durum, diğer kullanıcılar tarafından algılanan girişimi arttırmaktadır. Bu nedenle, eğer kabul edilen kullanıcının ürettiği girişim fazla ise, bu kullanıcının kabul edilmesi istenenden ters bir durum ortaya koyacaktır.

Yeni kullanıcı, yukarı bağlantıda radyo baz istasyonunun aldığı güç seviyesinde bir artışa neden olacaktır. Eğer, talep edilen hizmetin, o anki yükün ve kanal durumlarının bir fonksiyonu olan bu artış, diğer kullanıcıların kodunu çözmede yeterince problem oluşturuyorsa, yeni mobil terminalin şebekeye erişiminin reddedilmesi daha iyidir. Ortogonal yayma kodların kullanıldığı aşağı bağlantıda, genellikle radyo baz istasyonunun iletebileceği maksimum güç ile bir sınırlama oluşturulmuştur. Diğer bir deyişle, radyo baz istasyonu yeni kullanıcının ihtiyaç duyduğu gücü iletebilecek durumda olmayabilir. Bu değerlendirmeler temel alınarak, mobil terminal çağırma kurulumu yapmadan önce bir kabul kontrol işlemi, güç seviyesinin cihaz ve operatör tarafından belirlenen değerlere uygun olup olmadığını kontrol etmelidir. Eğer uygunluk söz konusu değilse, yeni kullanıcının şebekeye erişiminin reddedilmesi tavsiye edilir. Alternatif olarak, yeni kullanıcıların talep ettiği hizmetler tekrardan gözden geçirilebilir. Örnek olarak, bazı kullanıcıların hızları azaltılmak suretiyle toplam iletilen güç azaltılacak ve dolayısıyla yeni kullanıcıların şebekeye erişimine imkan sağlanmış olacaktır.

Güç (girişim) tabanlı kabul kontrolünde, yukarı bağlantı kabul kontrol algoritmasına göre eğer yeni bir kullanıcı şebekeye kabul edildiği taktirde oluşan girişim seviyesi bir eşik değerinden düşükse kabul yapılır [9]:

$$I_{toplam_eski} + \Delta I > I_{esik} \quad (8.23)$$

$I_{\text{eşik}}$ eşik değeri maksimum yukarı bağlantı gürültü artışına benzetilmektedir ve radyo şebeke planlama tarafından belirlenir. Link planlamasında, gürültü artışı girişim aralığı olarak yer almalıdır. Güç tabanlı kabul kontrolü Şekil 8.2’de gösterilmiştir. Yukarı bağlantı kabul kontrol algoritması yük artışını aşağıda sunulan iki yöntemden herhangi biri ile hesaplar. Yukarı bağlantı güç artış kestirim yöntemleri, yukarı bağlantı yük eğrisini hesaba katar [9].



Şekil 8.2. Yukarı bağlantı yük eğrisi ve yeni bir kullanıcı yük artışının kestirimi [9]

İki farklı yukarı bağlantı yük kestirim yöntemi aşağıda gösterilmiştir. Bunlar; girişim tabanlı kabul kontrolünde kullanılabilir. Buradaki temel fikir, alınan yukarı bağlantı geniş bantlı girişim gücündeki (I_{toplaml}), yeni bir kullanıcıdan dolayı oluşan ΔI artışını tespit etmektir. Yeni kullanıcının şebekeye kabulü ve güç artış kestirimi, kabul kontrol fonksiyonelliği ile gerçekleştirilebilir. İlk önerilen yöntem (8.26) eşitliğinde belirtilen türev yöntemi ve ikincisi (8.27) eşitliğinde belirtilen integral yöntemidir. Her ikisi de yük eğrisini hesaba katarlar ve yukarı bağlantı girişiminin yukarı bağlantı yük faktörüne göre değişimine (türevine) bağlıdır [9].

$$\frac{dI_{\text{toplaml}}}{dI} \quad (8.24)$$

$$\text{Gürültü artışı} = \frac{I_{\text{toplaml}}}{P_N} = \frac{1}{1-\eta} \Rightarrow$$

$$I_{\text{toplaml}} = \frac{P_N}{1-\eta} \Rightarrow \quad (8.25)$$

$$\frac{dI_{toplam}}{d\eta} = \frac{P_N}{(1-\eta)^2}$$

Yukarı bağlantı girişim gücündeki değişim (8.26) eşitliği ile elde edilebilir. Bu eşitlik güç artışının, yukarı bağlantı eski girişim gücünün yukarı bağlantı yük faktörüne göre türevinin yeni kullanıcının yük faktörü (ΔL) ile çarpımı şeklinde olduğu varsayımına dayanır:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta I}{\Delta L} &\approx \frac{dI_{toplam}}{d\eta} \Leftrightarrow \\ \Delta I &\approx \frac{dI_{toplam}}{d\eta} \Delta L \Leftrightarrow \\ \Delta I &\approx \frac{P_N}{(1-\eta)^2} \Delta L \Leftrightarrow \\ \Delta I &\approx \frac{I_{toplam}}{1-\eta} \Delta L \Leftrightarrow \end{aligned} \quad (8.26)$$

İkinci yukarı bağlantı güç artış kestirim yöntemi integrasyon yöntemine dayanmaktadır. Bu yöntemde, girişimin yük faktörüne göre türevi, yük faktörünün eski değerinden ($\eta_{eski} = \eta$) yeni değerine ($\eta_{yeni} = \eta + \Delta L$) kadar aşağıdaki gibi integre edilir:

$$\begin{aligned} \Delta L &= \int_{\eta}^{\eta+\Delta L} dI_{toplam} \Leftrightarrow \\ \Delta I &= \int_{\eta}^{\eta+\Delta L} \frac{P_N}{(1-\eta)^2} d\eta \Leftrightarrow \\ \Delta I &= \frac{P_N}{1-\eta-\Delta L} - \frac{P_N}{1-\eta} \Leftrightarrow \\ \Delta I &= \frac{\Delta L}{1-\eta-\Delta L} \frac{P_N}{1-\eta} \Leftrightarrow \\ \Delta I &= \frac{I_{toplam}}{1-\eta-\Delta L} \Delta L \end{aligned} \quad (8.27)$$

(8.26) ve (8.27) eşitliklerinde yeni kullanıcının yük faktörü ΔL , yeni kurulan bağlantının kestirilen yük faktörüdür ve şu şekilde elde edilir:

$$\Delta L = \frac{1}{1 + \frac{W}{v (E_b/N_o) R}} \quad (8.28)$$

Burada W chip hızı, R yeni kullanıcının bit hızı, E_b/N_o yeni bağlantının kabul edilen E_b/N_o değeri ve v yeni bağlantının kabul edilen ses aktivitesidir.

Aşağı bağlantı kabul kontrol stratejisi de yukarı bağlantıdaki gibidir. Örneğin yeni kullanıcı, eğer yeni toplam aşağı bağlantı iletim gücü daha önceden belirlenmiş hedef değeri geçmezse kabul edilir [9]:

$$P_{toplam_eski} + \Delta P_{toplam} > P_{esik} \quad (8.29)$$

P_{esik} eşik değeri radyo şebeke planlama tarafından ayarlanır. Aşağı bağlantıdaki ΔP_{toplam} yük artışı başlangıç güce bağlı olarak belirlenir. Başlangıç güç baz istasyonundan uzaklığa bağlıdır ve açık çevrim güç kontrol algoritması ile belirlenir.

8.5.2. Net çıkış verimine dayanan kabul kontrol stratejisi

Net çıkış verimine dayanan kabul kontrol yaklaşımında aşağıdaki eşitsizlikler dikkate alınarak yeni kullanıcının radyo erişim şebekesine kabulü yapılır [9].

$$\eta_{UL} + \Delta L > \eta_{UL_esik} \quad (8.30)$$

aşağı bağlantıda;

$$\eta_{DL} + \Delta L > \eta_{DL_esik} \quad (8.31)$$

Burada; η_{UL} ve η_{DL} yeni bir bağlantı kabulü yapılmadan önceki yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı yük faktörleridir ve bölüm 8.4.1 ve 8.4.2’de gösterildiği gibi belirlenir. Yeni kullanıcının yük faktörü ΔL , eşitlik (8.28)’deki gibi hesaplanır. Sonuç olarak, yukarı ve aşağı bağlantıda farklı kabul stratejileri izlenebilir.

9. FİZİKSEL KATMAN PERFORMANSI

9.1. Hücresel Kapsama

Bir hücre için önerilen trafiğin operatör spektrumunun tam yükte kullanılmasının yetersiz kalması durumunda, hücresel kapsama konusunun önemi artmaktadır. Bu durum kentsel bölgelerdeki birincil ağ yayılım fazı ve kırsal bölgelerdeki düşük trafik yoğunluğu durumlarına örnek gösterilmektedir. Etkileşimli sınıftaki (simetrik bit hız dağıtımı v.b.) makro hücresel kapsama, uplink yönüyle tanımlanmaktadır. Bu durumda kullanıcıdan alınan işaretin gönderme gücü makro hücre Node B'ninkinden çok daha düşüktür. Kullanıcının hücre başına çıkış gücü 21dBm (125mW) civarındadır. Makro hücre Node B'nin hücre başına düşen çıkış gücü ise 40-46dBm (10-40 W) civarındadır.



Şekil 9.1. Bölümün temel içeriği

İlk olarak iletim esnasındaki kayıp ve kazançların hesaplanması (bağlantı ücreti) maksimum hücresel kapsama alanını nasıl etkilediğini [km²] inceleyelim.

Basit olarak, bir bağlantı ücretinin denklemini incelersek:

$$\text{Alınan Güç (dBm)} = \text{İletilen Güç(dBm)} + \text{Kazançlar (dB)} - \text{Kayıplar (dB)}$$

Denklem 9.1'deki bağlantı ücreti hesabında ΔL dB'lik bir gelişme olduğu varsayılmaktadır. ΔL 'nin ilgili hücrenin yarıçapı artış değeri olan $\Delta R/R$ üzerindeki etkisi, makro hücre yayılım modeli varsayımı ile hesaplanabilir. R, varsayılan hücre menzili, ΔR 'de hücre menzilineki ilgili artışı gösterilmiştir. Bu örnekte, hat kaybı üsteli 3,52 olarak verilmiştir. Bunun sonucunda [9],

$$\Delta L = 35.2 \log_{10} \left(1 + \frac{\Delta R}{R} \right) \quad (9.1)$$

elde edilmiştir. İlgili hücresele alan artışı olan $\Delta A/A$ aşağıdaki formülle hesaplanmıştır,

$$1 + \frac{\Delta A}{A} = \left(1 + \frac{\Delta R}{R} \right)^2 = \left(10^{\frac{\Delta L}{35.2}} \right)^2 \quad (9.2)$$

Bağlantı performansı için elde edilen iyileştirme değeri ışığında ilgili baz istasyonunun yoğunluğu Tablo 9.1’de gösterilmiştir. Baz istasyonu yoğunluğu, hücresele alanla ters orantılıdır. Örneğin, 0.3 dB’lik bir bağlantı performansı iyileştirmesi ile baz istasyonu yoğunluğu yaklaşık olarak %50 oranında azaltılabilir.

Radyo erişim ağı, toplam UMTS ağının büyük bir bölümünü temsil etmektedir. Ayrıca, radyo erişim ağı harcamalarının büyük bir çoğunluğu baz istasyonuna bağlı harcamalardır. Örneğin; hücre site sayısındaki düşme, UMTS ağındaki yatırımların düşmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Tablo 9.1. Gerekli baz istasyonunu site yoğunluğu içinde iyileştirilmiş bir bağlantı ücreti ile azaltma

Bağlantı ücretinde iyileştirme	Sitelerin bağıl değeri
0.0dB = Referans durum	100 %
1.0dB	88 %
2.0dB	77 %
3.0dB	68 %
4.0dB	59 %
5.0dB	52 %
6.0dB	46 %
10.0dB	27 %

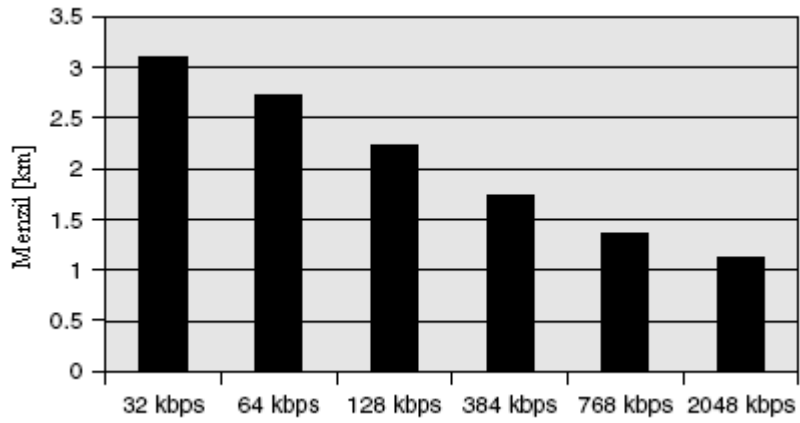
9.1.1. Uplink kapsamı

Bu bölümde, W-CDMA uplink kapsamındaki fiziksel katman parametrelerinin etkileri ve baz istasyon çözümleri incelenmektedir.

9.1.1.1. Veri bit hızı

Uplink hücresele kapsamı veri gönderimindeki bit hızına bağlıdır. Yüksek bit hızlarında işlem kazancı ve kapsama menzili düşer. Bit hızı ve kapsama arasındaki

bağlantı gerçek zamanlı ve gerçek zamanlı olmayan uygulamalarda farklılık gösterir. Tüm bit hızlarının aynı kesinti olasılığına sahip olduğu varsayımıyla kapsama alanındaki bit hızlarına göre değişimi örnekleyen grafik Şekil 9.2’de gösterilmiştir. Örnekte; 384 kbps’lik uplink menzili, 64 kbps’lik menzilin %62 değerine kadar inmiştir. Hücre yerleşimi, 64 kbps yerine 384 kbps’lik bir uplink kapsamı için planlanırsa, baz istasyonunun site yoğunluğu $(1/0.62)^2=2.6$ oranında artırılmalıdır ki bu oldukça zorlayıcı bir durumdur [9].

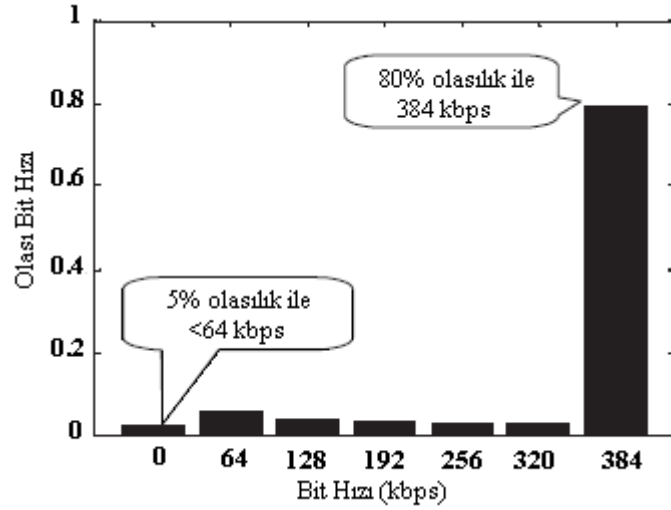


Şekil 9.2. Gerçek zaman aralığında uplink kapsama bölgesinde garantilenmiş bit hızları

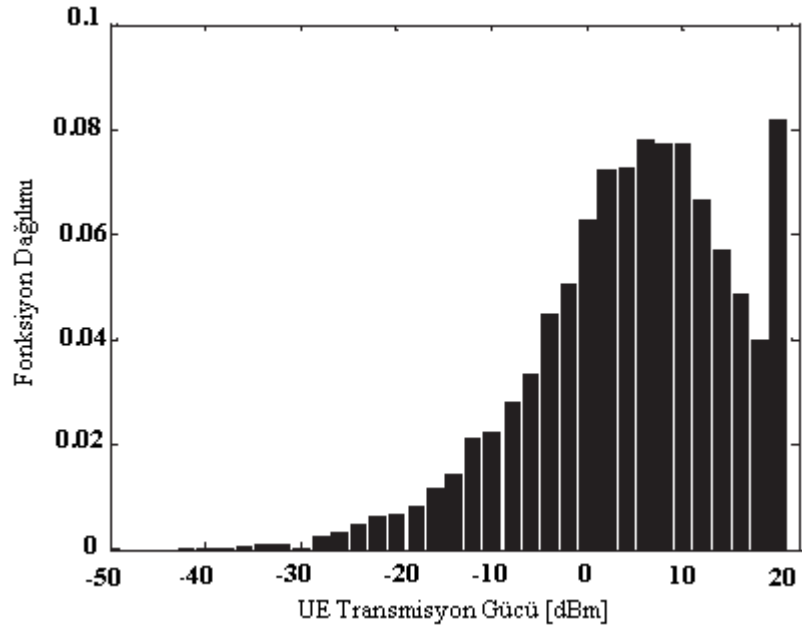
Eğer geçici olarak daha düşük bir bit hızına izin verilirse, yüksek veri hızlarının gerçekleştirilebilmesi için hücre boyutunun düşürülmesine gerek kalmamaktadır. %95 olasılıkla 64 kbps’lik bir hız sağlamak amacıyla planlanan bir hücredeki uplink bit hızı dağılımı Şekil 9.3’te gösterilmiştir. Bu tip bir hücre, %80 kapsama olasılığı ile 384 kbps değeri sağlamaktadır. Bu durumda ortalama bit hızı 330 kbps’den fazladır. Gerçek zamanlı ve gerçek zamanlı olmayan bit hızları arasındaki farkın altında yatan neden, Şekil 9.4’te gösterilmiştir. 64 kbps hız için ortalama mobil çıkış gücü 5 dBm’dir. Mobilin sadece %8’i tüm güçle iletim yapmaktadır (bu gücün %5’i kesintiye uğramaktadır). Gerçek zamanlı olmayan servislerde daha yüksek veri oranlarına sahip olabilmek için çoğu mobilin gönderme güçleri artırılabilir [9].

Gerçek zamanlı olmayan ve garantili gerçek zamanlı servislerdeki uplink bit hızındaki gelişimler Şekil 9.5’de gösterilmiştir. Gerçek zamanlı bit hızı %95 olasılıkla sağlanabilirken gerçek zamanlı olmayan bit hızı 384 kbps bir terminal için ortalama bir değerde kalmaktadır. 0 dB iyileşme sağlayan referans durum için %95 olasılıkla 64 kbps hız sağlanmaktadır. Bağlantı hücrelerindeki yığılmalarda 8dB’lik bir iyileşme

sağlandığı durumda garanti bit hızı 384 kbps'ın 6 katı kadar artar. Referans durumdaki gerçek zamanlı olmayan ortalama bit hızı 330 kbps'den fazladır. Dolayısıyla bit hızındaki ortalama iyileşme sadece bağlantı hücresindeki yığılmaların iyileşme durumu ile orantılıdır [9].



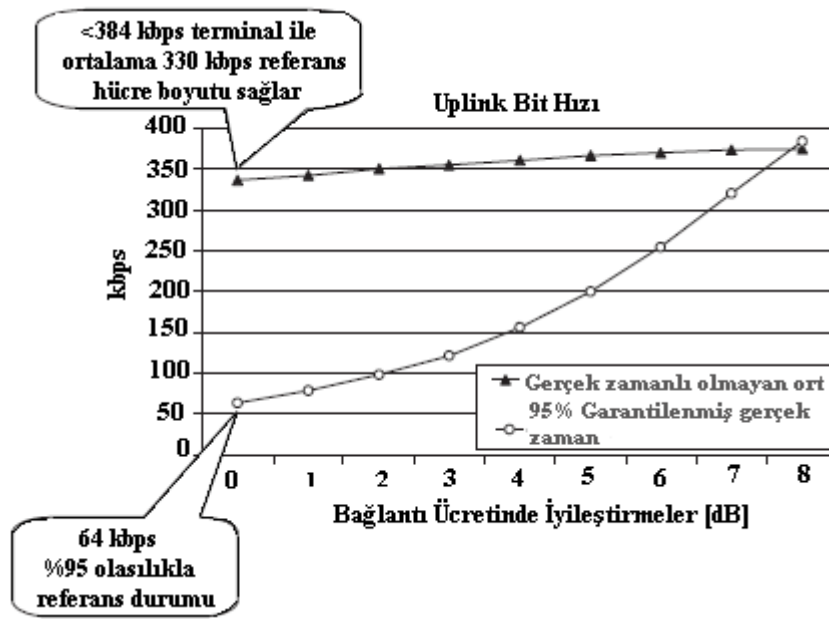
Şekil 9.3. Gerçek zamanlı olmayan bit hızının uplink dağılımı [9]



Şekil 9.4. 64 kbps'lik (%5 kesintisi) mobil iletim ile elde edilmiş güç dağılımı [9]

Yüksek bit hızlı gerçek zamanlı servislerdeki geniş alan uplink kapsamı Şekil 9.2'de gösterildiği üzere UTMS'de oldukça önemlidir. Tam 384 kbps veya daha yüksek veri hızlı uplink kapsamını sağlamak için yüksek baz istasyonu site yoğunluğuna ihtiyaç duyulmaktadır. Üçüncü nesil sistemlerde site yoğunluğuna duyulan ihtiyaç uplink kapsamındaki iyileştirme çözümlerinin önemini göstermektedir. İkinci nesil

sistemlerde ise sadece düşük bit hızına sahip servisler kullanıldığı için kapsama alanı daha az sorunludur. Diğer taraftan, 300 kbps üzerindeki yüksek ortalama bit hızları GSM site yoğunluğuna sahip gerçek zamanlı olmayan servislerde kullanılabilir. Gerçek zamanlı olmayan uygulamalarda mobilin 384 kbps hız için yeterli gönderme gücüne sahip olduğu bölgeler avantaj sağlamaktadır. Ancak bu uygulamalar sadece 64 kbps hızın olası olduğu yerlerde hayata geçirilebilir. Gerçek zamanlı olmayan paket servislerinde ve 4.72 kbps - 12.2 kbps arası veri hızlarını destekleyen AMR (Uyarlamalı Çoklu Oran - Adaptive Multi Rate) konuşma servislerinde, uplink yönünde bulunan bit hızlarında düşme gözlemlenir.



Şekil 9.5. Gerçek zaman ve gerçek zamanlı olmayan bağlantı ücret iyileştirmelerinin bir fonksiyonu olarak bit hızları [9]

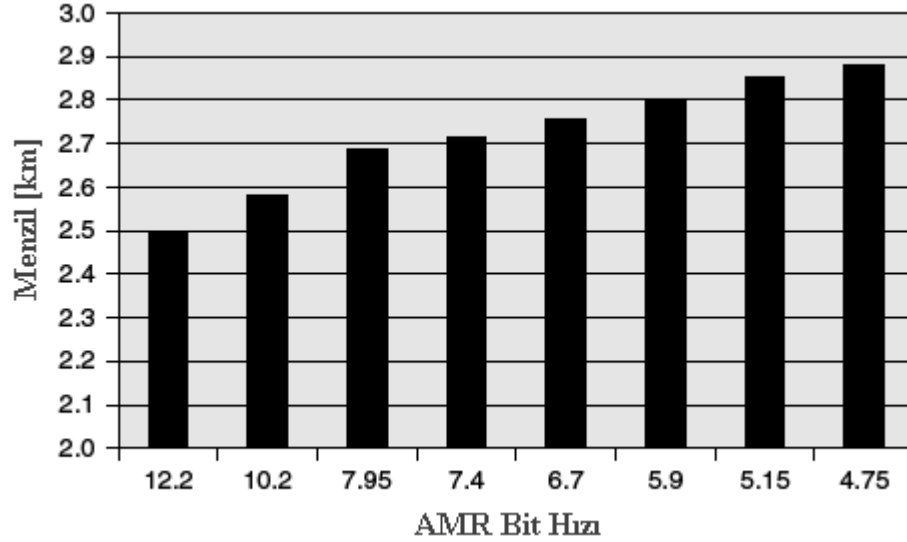
9.1.1.2. Adaptif çok hızlı konuşma kodlayıcısı

Uyarlamalı Çoklu Oran (AMR) konuşma kodlayıcısı ile daha düşük bit hızına geçmek mümkündür. Daha düşük bit hızına geçilmesi durumunda işlem kazancı artmaktadır. Bu durum ise hücresel kapsamanın zayıf olması ile düşük BLER (Blok Hata Oranı – Block Error Rate) hedef değerini korumak için bağlantı hücresindeki yığılmanın yetersiz kaldığı durumlarda geçerli olmaktadır. AMR bit hızını azaltarak bağlantı hücresindeki yığılma kazancı hesabı, 9.3 numaralı denklemde verilmiştir [9].

$$Kapsama_kazancı = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{DPDCH(12.2kbps) + DPCCH}{DPDCH(ANR_bit_hız[kbps]) + DPCCH} \right)$$

$$= 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{12.2 + 12.2 \cdot 10^{\frac{-3dB}{10}}}{AMR_bit_hızı[kbps] + 12.2 \cdot 10^{\frac{-3dB}{10}}} \right) \quad (9.3)$$

12.2 kbps hızındaki bir AMR konuşmasında DPCCH ve DPDCH arası güç farkının -3dB olacağı varsayılmaktadır. DPCCH, fiziksel katman kontrol kanalıdır. DPDCH ise fiziksel katmandaki veri kanalıdır. Değişik AMR bit hızları için DPCCH gücü sabit tutulurken, DPDCH gücü bit hızına göre değiştirilmektedir. Toplam gönderme gücündeki azalma 9.3 denkleminde hesaplanmıştır. Bu değer, AMR konuşmasında daha büyük bir uplink yönünde hücre menzili sağlamak için kullanılabilir. Bit hızını 12.2 kbps'ten 7.95 kbps hızına indirerek sağlanan kazanç 2,3 dB civarındadır. Farklı AMR bit hızları için hesaplanan hücre menzillerine örnek Şekil 9.6'da verilmiştir [9].

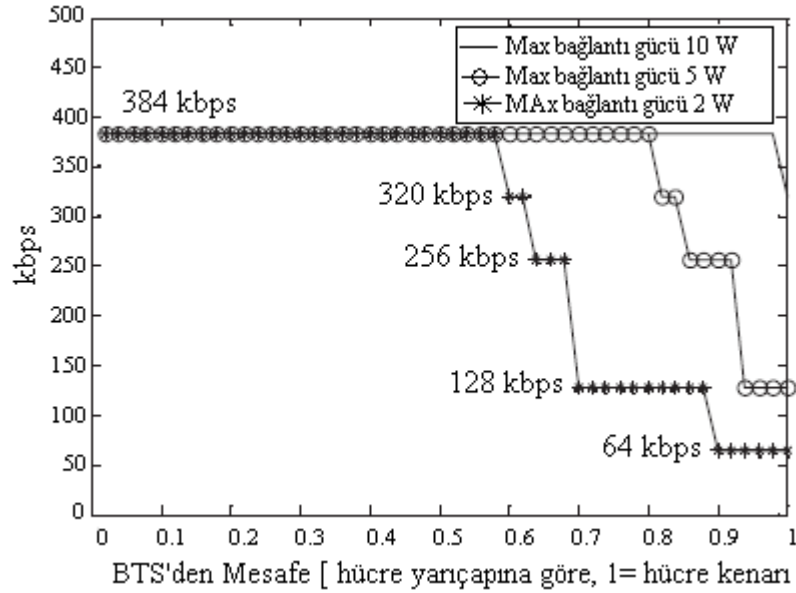


Şekil 9.6. Farklı AMR konuşması için uplink hücre kapsama aralığının örnek bit hızları

9.1.2. Downlink kapsamı

Mobil gönderme gücü sadece 125mW (21 dB) iken, Node B gönderme gücü 20W (43dBm) civarındadır. Az sayıda eş zamanlı bağlantı ile her mobil downlink bağlantısı için yüksek güç tahsis edilebilir. Yüksek bit hızlı servisler için, downlinkin uplinke nazaran daha geniş bir kapsamaya sahip olması sağlanabilir. Downlink kapsamı, ağ planlama parametrelerinden biri olan bağlantı gücüne bağlıdır. Downlink kapsamı, hücreler arası girişimlerden etkilenmektedir. Örnek olarak, hücreler arası girişim oranı hücre köşelerinde -2,5 dB civarındadır. Bu değer, büyük hücrelerdeki -12 dB'lik CPICH (Common Pilot Channel - Ortak Kılavuz Kanalı) E_c/I_0 ortalama baz istasyonu gönderme

gücüne tekabül etmektedir. Hesaplamalarda, CPICH için 2W, diğer benzer kanallar için 1W tahsis edildiği varsayılmıştır. Diğer hücrenin gönderme gücünün 10W olduğu, hücre köşesindeki maksimum yol kaybının 156dB olduğu varsayılmaktadır. Sonuçlar Şekil 9.7’de gösterilmiştir. 2W’lık bağlantı gücü, maksimum hücre menzilin %60’ında 384 kbps hız sağlarken, tam kapsamada 64 kbps değeri sağlamaktadır. 5W güç tahsisi, maksimum hücre menzilin %80’inde 384 kbps sağlarken, 10W’lık güç tahsisinde 384 kbps’lik tam kapsama sağlamaktadır [9].



Şekil 9.7. Farklı maksimum bağlantı ile downlink kapsamı [9]

9.2. Downlink Hücre Kapasitesi

W-CDMA downlink hava arayüz kapasitesinin uplinkten daha az olduğu gösterilmiştir. Bunun temel nedeni ise Node B’de mobile göre daha iyi almaç tekniklerinin kullanılabilmesidir. Bu teknikler içinde alma anten çeşitlemesi ve çok kullanıcı tespiti yer almaktadır. Ek olarak, UMTS’deki downlink kapasitesinin trafikteki asimetrik yükleme durumundan ötürü uplink kapasitesine göre daha önemli olduğu düşünülmektedir [14].

9.2.1. Downlink ortogonal kodlar

9.2.1.1. Çok-yol çeşitleme kazancı

Downlinkteki kısa ortogonal kanallama kodları, hücre içindeki kullanıcıları ayırmak için kullanılır. Çarpılan bir kod içindeki kanallama kodları, tek yönlü bir kanal içinde

ortogonal özelliğe sahiptir. Zaman ayrışıklı çok-yol kanal olduğu durumda, ortogonallik kısmen kaybolur ve çırpılan kodu kullanan hücre kullanıcılarının birbirine girişim etkisi oluşur.

9.2.1.2. Değişik ortamlarda downlink kapasitesi

Bu bölümde, makro ve mikro hücreseel ortamlarda downlink kapasitesi üzerindeki ortogonal kodların etkisi hesaplanmaktadır. Downlink ortogonal kodlar, W-CDMA downlink hücre içi girişimini uplinke nazaran daha dayanıklı kılmaktadır. Komşu baz istasyonlarındaki hücreler arası girişimin downlink kapasitesine büyük bir etkisi bulunmamaktadır. Komşu hücrelerden kaynaklanan girişim değeri, yayılım ortamı ve ağ planına bağıldır. Mikro hücrelerin makro hücrelere göre daha çok izole etme etkisi bulunduğundan, mikro hücrelerdeki hücreler arası girişimin daha düşük olduğu varsayılmaktadır. Bu nedenle downlink kodlarında daha iyi seviyelerde ortogonallik elde edilir. Downlink için mikro hücrelerde makro hücrelere nazaran daha fazla E_b/N_0 değerine gereksinim duyulmaktadır [9].

Tablo 9.2. Veri hesaplamalarında varsayımlar [9]

	Makro Hücre	Mikro Hücre
Ortogonal Downlink	0.5	0.9
Hücreden hücreye girişim oranı	0.65	0.4
2-Dallı çeşitleme ile E_b/N_0 Uplink	2.0 dB	2.0 dB
Uplink yükleme	60%	60%
İletimsiz çeşitleme ile E_b/N_0 Downlink	5.0 dB	6.5 dB
Downlink yükleme	80%	80%
Downlink ortak kanalları	15%	15%
Blok hata oranı BLER	1%	1%

Uplinkte daha düşük oranda yükleme işlemleri (%60) olmasının nedeni uplink yönündeki kapsamanın daha zor olmasından kaynaklanmaktadır. Daha küçük kapsama alanlarında daha yüksek yükleme değerlerine ulaşılır. Downlink kapasitesinin %15'inin, downlink ortak kanallarından daha fazla bilgi alması için ayrıldığı düşünülmektedir.

Tablo 9.2'de mikro ve makro hücreseel ortamlarda uplink ve downlink için tam yüklü olduğu durumdaki hesaplamalar, Tablo 9.3'de ise sonuçlar değerlendirilmiştir. Tablo 9.3'deki kapasite değerleri tüm kullanıcıların hücre alanına eşit dağıtıldığı ve her kullanıcı için eşit bit hızı tahsis edildiği varsayımına dayanmaktadır [9].

Tablo 9.3. Taşıyıcı ve sektör başına, makro ve mikro hücre ortamlarında veri çıktıları [9]

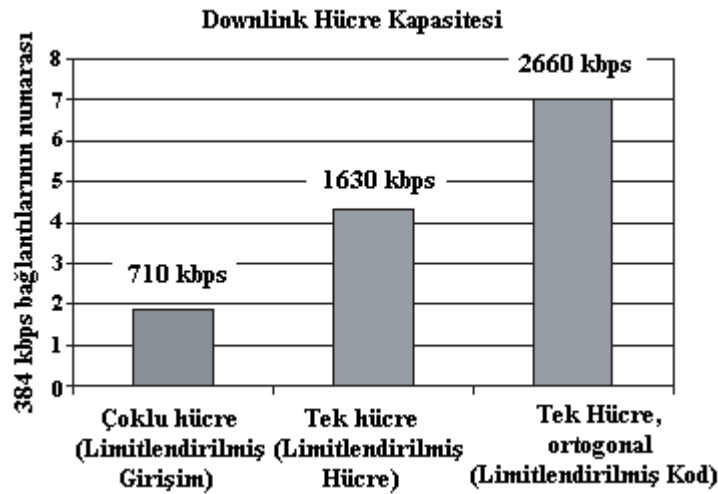
	Makro Hücre	Mikro Hücre
Uplink	900 kbps	1060 kbps
Downlink	710 kbps	1160 kbps

Makro hücrelerdeki uplink çıktıları downlinke göre daha yüksektir. Mikro hücrelerde bu değer birbirine yakındır. Downlink kapasitesi, ortogonal kodların kullanılmasından ötürü yayılıma ve çok-yol ortamına daha duyarlıdır.

9.2.1.3. Ortogonal kod sayısı

Hücre içindeki kullanıcıları ayırmak için çırpılan bir kod içindeki downlink ortogonal kod sayısı limitlidir. Eğer yayılım ortamı uygun ise ve ağ planı ile donanım yüksek bir kapasiteyi destekliyorsa kod sınırlaması downlink kapasitesinde üstten sınırlayıcı bir etki göstermektedir [9].

Şekil 9.8’de 384 kbps bağlantı hızlı 3 farklı kapasite gösterilmektedir. Bunlardan ilki çok hücre kapasitesini, ikincisi 0,5 ortogonaliteye sahip tek hücrenin kapasitesini, üçüncüsü ise ortogonalitesi 1 olan tek hücre kapasitesini göstermektedir. Üçüncü durumdaki kapasite değeri, 384 kbps hızına sahip maksimum 7 eş zamanlı kullanıcı ile kod limitlidir [9].



Şekil 9.8. Çoklu ve tek hücreli durumlarda 384 kbps veri transferi

Tablo 9.4. Tablo 9.5'in hesaplanmasında varsayımlar

Ortak Kanallar	SF=128 ile 10 kod
Yumuşak aktarım yükü	20 %
Yarım kapasiteli konuşma için Yayılım Faktörü	256
Tam kapasiteli konuşma için Yayılım Faktörü	128
Çip hızı	3.84 Mcps
Modülasyon	QPSK (Her sembol 2 bit)
Veri için ortalama DPCCH	10 %
Veri için kanal kodlama hızı	30 % fire ile 1/3

Tablo 9.5. Sektör başına karıştırılmış kod ile maksimum downlink kapasitesi

Full hızda konuşma (10.2 kbps ve 12.2 kbps)	128 kanal $*(128-10)/128$ /1.2 = 98 Channels	128 kanalın yayılma faktörü ile kodların numaralandırılması Ortak kanal yükü Yumuşak aktarım yükü
Yarı hızda konuşma (AMR ≤ 7.95 kbps) Paket veri	2*98 kanal = 196 Channels 3.84e6 $*(128-10)/128$ /1.2 *2 *0.9 /3 $/(1-0.3)$ = 2.5 Mbps	256'nın yayılma faktörü Çip hızı Ortak kanal yükü Yumuşak aktarım yükü QPSK Modülasyon DPCCH yükü 1/3 Kanal kodlama hızı 30 % fireli

Ortogonal kodların bir bölümü, ortak kanallar, yumuşak ve daha yumuşak aktarımdaki ek yük için ters çevrilmelidir. Bu etkiler Tablo 9.4 ve Tablo 9.5'te verilmiştir. Bu varsayımlar ışığında sektör başına maksimum tam verimli konuşma kanalı sayısı 98'dir. Sektör başına maksimum veri çıktısı 2,5Mbps'dir [9].

9.2.2. Downlink ses kapasitesi

156dB'lik bir yol kaybı durumunda maksimum ses kullanıcısı sayısı 66'dır. Daha düşük bit hızlı AMR (Uyarlamalı Çoklu Oran - Adaptive Multi Rate) modu kullanılarak ses kapasitesi arttırılabilir. AMR modlarının kapasitesi aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir [9].

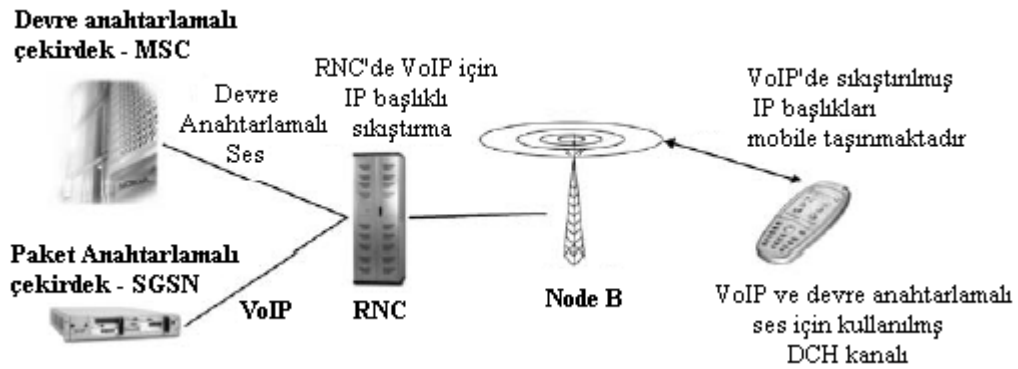
$$Ses\ kapasitesi = 66kullanıcı \cdot \frac{12.2kbps}{AMR\ bit\ hızı[kbps]} \cdot 10^{\left(\frac{E_b}{N_0}_{12.2kbps} - \frac{E_b}{N_0}_{AMR}\right)} / 10 \quad (9.4)$$

Denkleimde de görüldüğü gibi bit hızı azalırken kapasite artmaktadır. Ayrıca daha düşük AMR hızlarında fiziksel katman ek yükü hesaba katılır. Bu değer burada daha yüksek bir E_b/N_0 oranı ile modellenmiştir. Tablo 9.6'da 3 farklı AMR modu (12.2 kbps, 7.95 kbps ve 4.75 kbps) için ses kapasitesi gösterilmiştir. Bit hızı 12.2 kbps'ten 4.75 kbps'e düşürülünce ses kapasitesi 2 kat artmaktadır.

Tablo 9.6. Farklı AMR modları ile ses kapasitesi

	AMR 12.2 kbps	AMR 7.95 kbps	AMR 4.75 kbps
E_b/N_0	7.0 dB	7.5 dB	8.0 dB
Kapasite	66 Kullanıcı	90 Kullanıcı	134 Kullanıcı

VoIP, devre anahtarlı sesin hava arayüzünde kullandığı kanalları kullanır. W-CDMA'nın hava arayüzündeki esnekliği sayesinde herhangi bir modifikasyon olmadan VoIP servislerinin fiziksel katman standartlarına girmesine izin verilir. Paket çekirdek açısından VoIP aramalarında ses yüküne oranla daha büyük IP başlıkları bulunmaktadır. Sıkıştırılmış IP başlıkları W-CDMA hava arayüzü üzerinden dağıtılır. Senaryo Şekil 9.9'da gösterilmiştir [9].



Şekil 9.9. Devre anahtarlamalı ses ve W-CDMA ile IP üzerinden ses iletimi

IP başlıkları sıkıştırılsa da ek yükün artmasından ötürü W-CDMA ses kapasitesi VoIP servisinden etkilenir. Ek yük, sıkıştırılmış IP başlıkları, RLC başlıkları, RTP (Gerçek Zamanlı Protokol - Real Time Protocol) yük başlıkları ve RTCP (Gerçek Zamanlı Kontrol Paketi - Real Time Control Protocol) yük başlıklarından oluşmaktadır. Sıkıştırılmış IP başlıklarının ve diğer başlıkların ortalama ek yük değerinin 7 byte

olduğu varsayılmaktadır. 12 kbps’lik bir ses, her 20ms’de 244 bit taşımaktadır. Ek yük aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır [9].

$$10\log_{10}\left(\frac{\text{yük} + IP \text{ başlığı}}{\text{yük}}\right) = 10\log_{10}\left(\frac{244 + 7.8}{244}\right) = 0.9dB \quad (9.5)$$

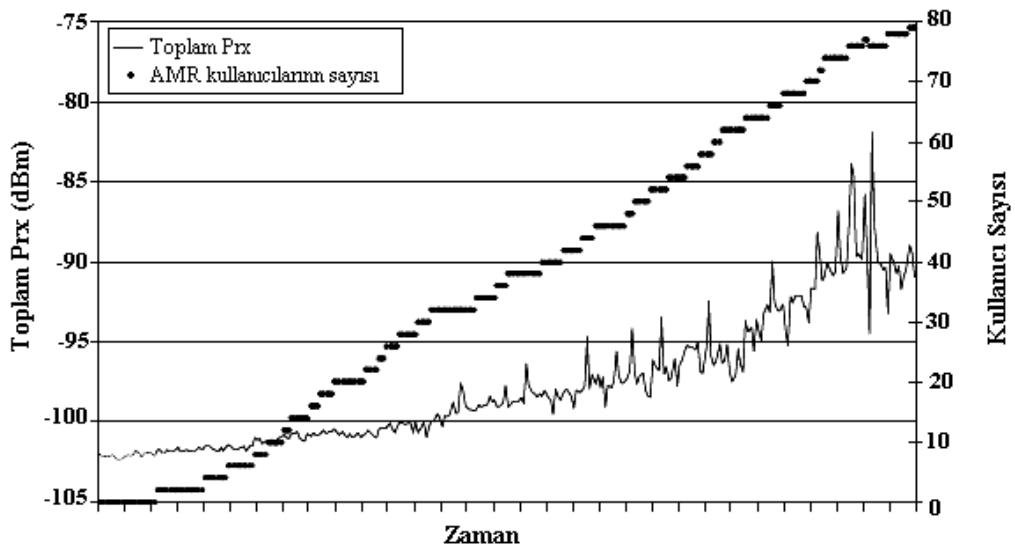
9.3. Kapasite Denemeleri

9.3.1. Tek hücre kapasite denemeleri

Bu bölümde ölçüm metotları ve kapasite denemelerine yönelik yapılmış olan testler ve sonuçları genel olarak değerlendirilmiştir. Testler, komşu sektör veya sitelerden girişim olmadığı tek sektörde yapılmış ve test ortamı, birçok test mobilinin bir veya birden fazla sabit yerleşimde bulunduğu şehir dışı modele uygun olarak yapılmıştır. Bu testler hücresel kapsamanın iyi olduğu ortamlarda gerçekleştirilmiş ve toplam gürültü içindeki ısı gürültü minimize edilmiştir [9].

9.3.1.1. AMR ses kapasitesi uplink

AMR ses kapasite testi 12.2 kbps’lik sabit bit hızıyla yapılmıştır. Ayrıca %100’lük ses aktivite faktörü, %0,8 BLER hedef ve AMR eşit olmayan hata konumu koşulları da test kapsamında değerlendirilmiştir. Alınan toplam baz istasyonu gücü ve eş zamanlı UE sayısı Şekil 9.10’da gösterilmiştir. Hiçbir kullanıcı olmadığı durumdaki yaklaşık -102dBm civarındaki alma gücü seviyesi ısı gürültü seviyesi olarak tanımlanmıştır.

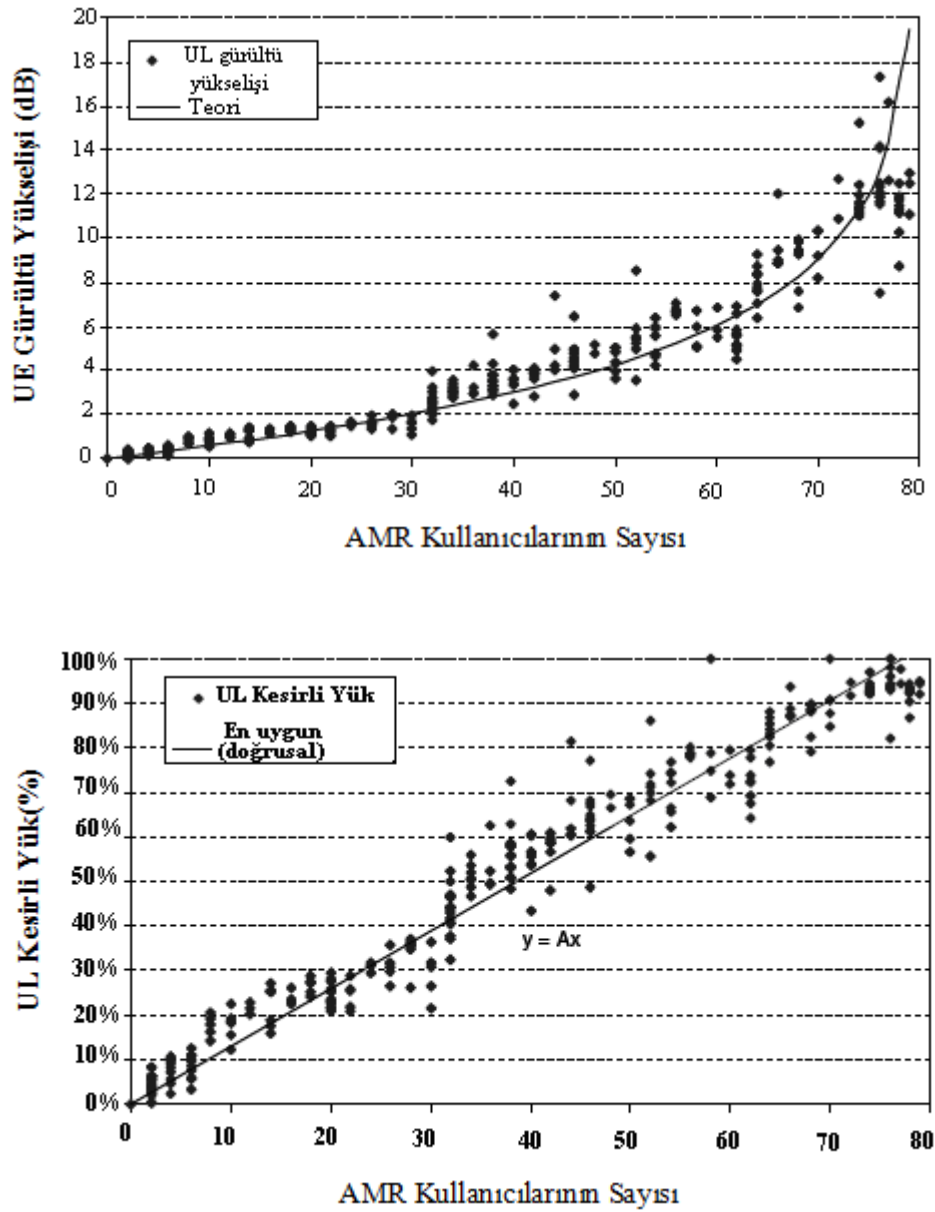


Şekil 9.10. Uplink alıcı gücü (Prx) ve eş zamanlı AMR kullanıcılarının sayısı [9]

Şekil 9.10’da uplink alıcı gücünün eş zamanda AMR kullanıcı sayılarına göre değişimi gösterilmiştir. UE sayısı için hesaplanan ortalama kesirli yük değeri aşağıdaki denklemde gösterilmiştir.

$$\text{Gürültü yükselişi} = \frac{P_{rx\text{total}}}{P_{\text{gürültü}}} = \frac{1}{1 - \eta_{UL}} \quad (9.6)$$

Burada η_{UL} ; kesirli yük, $P_{rx\text{total}}$; toplam alınan gücü göstermektedir. AMR kullanıcılarına bağlı gürültü yükselişi Şekil 9.11(a)’da, kesirli yük Şekil 9.11(b)’de gösterilmiştir.



Şekil 9.11. a) Uplink gürültü yükselişinin AMR kullanıcı sayılarına fonksiyonu
b) Uplink kesirli yükün AMR kullanıcı sayılarına fonksiyonu

Şekil 9.11(b)'de AMR kullanıcılarının sayısı $y=Ax$ fonksiyonu ile tanımlanmıştır. Burada y kesirli yük olan η 'yi, x bağlanmış UE sayısını göstermektedir. Bu değer tek bir kullanıcının kesirli yüküne eşittir ve kesirli uplink yükü şu şekilde formüle edilmiştir.

$$\eta_{UL} = \frac{E_b / N_0}{W / R} \cdot N \cdot v \cdot (1+i) \quad (9.7)$$

N kullanıcı sayısını, i hücreden-hücreye girişimi, W çip hızını, E_b/N_0 tek bir kullanıcı için uplink gereksinimini, R tek bir kullanıcının bit hızını ve ses aktivitesini belirtir. Her kullanıcının aynı 12 kbps'lik AMR servisini kullandığı düşünülürse, tek hücre senaryosundaki hücreden-hücreye girişim değeri 0, ses aktivitesi ise %100 olmaktadır. Bu durumda denklem aşağıdaki gibi basitleştirilmiştir.

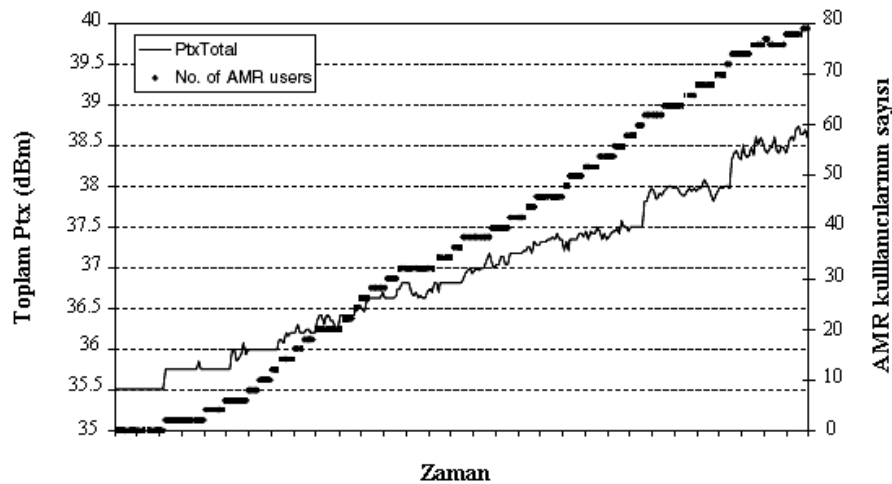
$$\eta_{UL} = \frac{E_b / N_0}{W / R} \cdot N \quad (9.8)$$

Şekil 9.11'den en uygun doğrusal eğimi olan A kullanılarak E_b/N_0 değeri elde edilmiştir.

$$A = \frac{E_b / N_0}{W / R} \Rightarrow \frac{E_b}{N_0} = A \frac{W}{R} \quad (9.9)$$

9.3.1.2. AMR ses kapasitesi downlink

Downlink kapasite testi, uplink testi ile aynı varsayımlara dayanılarak yapılmıştır. Ortogonalite 0,5 olarak alınmıştır. Yapılmış olan bu çalışmada toplam gönderilen baz istasyon gücü ve UE sayısı Şekil 9.12'de gösterilmiştir [9].



Şekil 9.12. AMR kullanıcıların sayısının bir fonksiyonu olarak, downlink toplam iletilen gücü (PTX)

Downlink ses kapasitesi testlerindeki bağlantının kullanıcı biti başına enerjinin gürültü spektral yoğunluğa oranı (E_b/N_0) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır [15].

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i = \frac{W}{R} \cdot \frac{\frac{P_i}{L_{m,i}}}{\frac{P_{tot,m}}{L_{m,j}}(1-\alpha_i) + \sum_{n=1, n \neq m}^N \frac{P_{tot,n}}{L_{n,i}} + P_N} \quad (9.10)$$

Burada $(E_b/N_0)_i$ Downlink E_b/N_0 gereksinimini, P_i i bağlantısı için m baz istasyonunda gerekli olan iletim gücünü, N girişim olan baz istasyon sayısını, P_N UE almactaki gürültü gücünü, R_i UE_i'deki bit hızını, W çip hızını, $P_{tot,m}$ servis yapılan baz istasyonunun gerekli olan toplam gönderme gücünü, $P_{tot,n}$ başka bir komşu n baz istasyonu için gerekli olan toplam iletim gücünü, $L_{m,i}$ servis yapan m baz istasyonundan UE_i'ye olan olan yol kaybını, $L_{n,i}$ başka bir n baz istasyonundan UE_i'ye olan yol kaybını ve α_i UE_i'nin ortogonal faktörünü göstermektedir. i bağlantısı için gerekli olan gönderme gücü olan P_i aşağıdaki gibi çözülmüştür.

$$P_i = \frac{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i \cdot R}{W} \left[(1-\alpha_i) \cdot P_{tot,m} + \sum_{n=1, n \neq m}^N \frac{L_{m,i}}{L_{n,i}} \cdot P_{tot,n} + P_N \cdot L_{m,i} \right] \quad (9.11)$$

Buradaki tek hücre testlerinde hücreden-hücre girişim değeri sıfır alınmıştır. Ayrıca testin iyi RSCP (Alınan Sinyalin Kod Gücü - Received Signal Code Power) koşullarında yapıldığı düşünülürse, gürültü gücü yok sayılabilir (örn. $P_{tot,n}/L_{m,i} \gg P_N$). Bu durumda formül aşağıdaki gibi basitleştirilebilir.

$$P_i = \frac{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i \cdot R}{W} \cdot (1-\alpha_i) \cdot P_{tot,m} \quad (9.12)$$

Sabit ortak kanal gücü, aktivite faktörü ile birlikte eklenir ve her iki taraf tüm hücre bağlantıları üzerinden toplanır. Bu şekilde toplam baz istasyonu downlink gönderme gücü elde edilir.

$$\sum_{i=1}^I P_i + P_{CCH} = P_{tot,m} \cdot \sum_{i=1}^I \frac{v \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_i \cdot R}{W} \cdot (1 - \alpha_i) + P_{CCH} \quad (9.13)$$

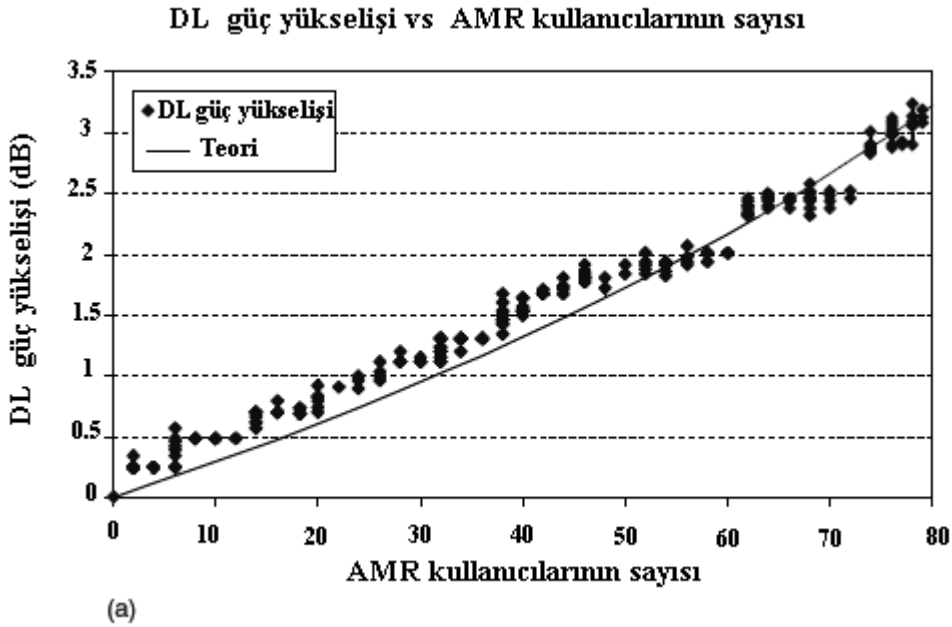
I hücredeki bağlantı sayısıdır. Ortak kanallardaki güç artışı aşağıdaki gibi çözülmüştür.

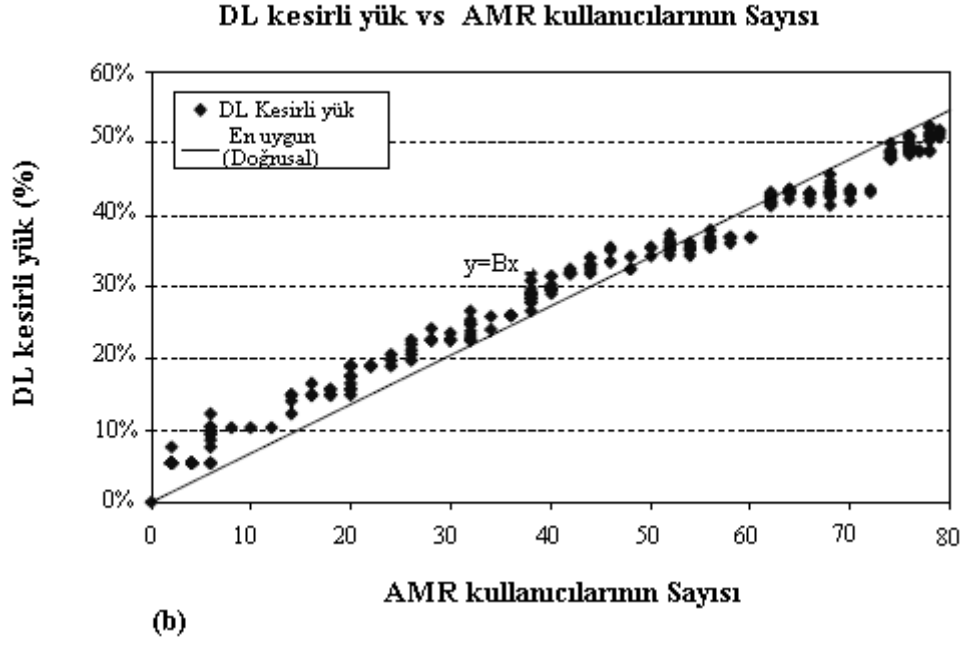
$$\frac{P_{tot,m}}{P_{CCH}} = \frac{1}{1 - \sum_{i=1}^I \frac{v \cdot \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_i \cdot R}{W} \cdot (1 - \alpha_i)} \quad (9.14)$$

Downlink yük faktörü η_{DL} kullanılarak güç yükselişi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Güç\ yükselişi = \frac{1}{1 - \eta_{DL}} \quad (9.15)$$

Yukarıda belirtilmiş olan güç yükselişi ve AMR kullanıcı sayısının fonksiyonu olan kesirli yük şekil 9.13'deki gibi çizilebilir [9].





Şekil 9.13. a) Downlink gürültü yükselişinin AMR kullanıcı sayılarına fonksiyonu
b) Downlink kesirli yükün AMR kullanıcı sayılarına fonksiyonu

Downlink E_b/N_0 değeri, downlink kesirli yük değeri kullanılarak şu şekilde tanımlanmıştır:

$$\eta_{DL} = \frac{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i \cdot R}{W} \cdot (1 - \alpha_i) \cdot I = B \cdot I$$

$$B = \frac{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i \cdot R}{W} \cdot (1 - \alpha_i)$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i = \frac{B \cdot W}{R \cdot (1 - \alpha_i)}$$
(9.16)

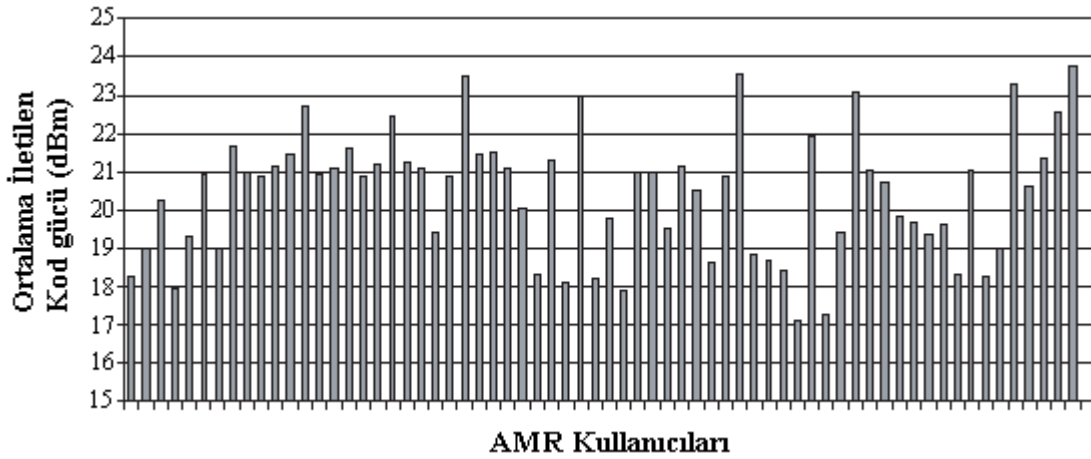
Her bir bağlantı için güçte 6 dB’lik bir salınım mevcuttur. Ayrıca yük arttıkça salınının da arttığı görülmektedir. Yükün arttığı esnadaki bağlantı başına düşen ortalama güç değerleri Şekil 9.14’te verilmiştir. Bu örnekte, bağlantı başına ortalama downlink gönderilmiş kod gücü 17dBm ile 24dBm arasında değişmektedir.

Kapsamanın zayıf olduğu koşullarda, daha önceden verilmiş olan downlink hesaplama formülü kullanılamaz. Bunun nedeni de gürültü gücünün hesaba katılması gerekliliğidir (örn: $P_{tot,n}/L_{m,i} \gg P_N$). Bu durumda baz istasyonu ortalama gönderilmiş kod gücü baz

istasyonu toplam gönderme gücü ve alınan CPICH (Ortak Klavuz Kanalı) E_c/N_0 bazlı downlink E_c/N_0 değeri hesaplanabilir. Geometri faktörü G 'nin tanımından [9];

$$G = \frac{P_i}{L_{m,i}} / (P_{diğer} + P_N) \quad (9.17)$$

Burada P_i i bağlantısı için m baz istasyonundan gerekli olan iletim gücünü, P_N UE almacındaki gürültü gücünü, $L_{m,i}$ servis veren m baz istasyonundan UE_i 'ye olan yol kaybını göstermektedir.



Şekil 9.14. AMR bağlantı başına, downlink ortalama iletilmiş kod gücü [9]

Bu durumda 7.10 denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{W}{R} \cdot \frac{P_i}{P_{tot,m}} \cdot \frac{1}{(1 - \alpha_i) + \frac{1}{G}} = \left(\frac{E_B}{N_0} \right)_i, \quad i = 1, \dots, I \quad (9.18)$$

Diğer yandan CPICH E_c/N_0 değeri kullanılarak geometri faktörü aşağıdaki gibi tanımlanabilir [9].

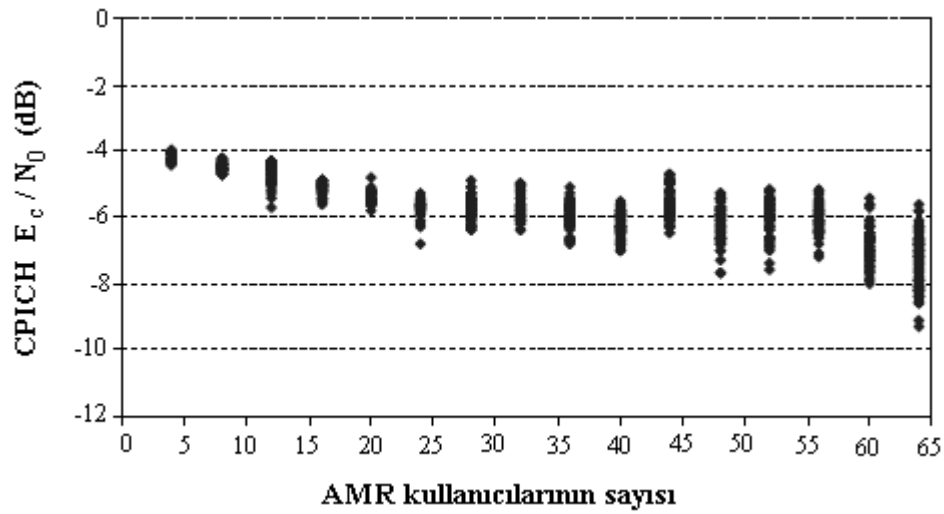
$$G = \frac{1}{\frac{P_{tx,CPICH}}{\frac{P_{tot,m}}{E_{c,CPICH}}} - 1} \cdot \frac{1}{N_0} \quad (9.19)$$

Bu şekilde gürültü gücü hesaplamalara dahil edilmiş olur. Uplink yönünde, daha iyi test sonuçları elde edebilmek için, kapsama alanının zayıf olduğu koşullarda testler yapılmıştır. Bunun nedeni ise kapsamanın zayıf olduğu durumlarda UE'nin çok fazla

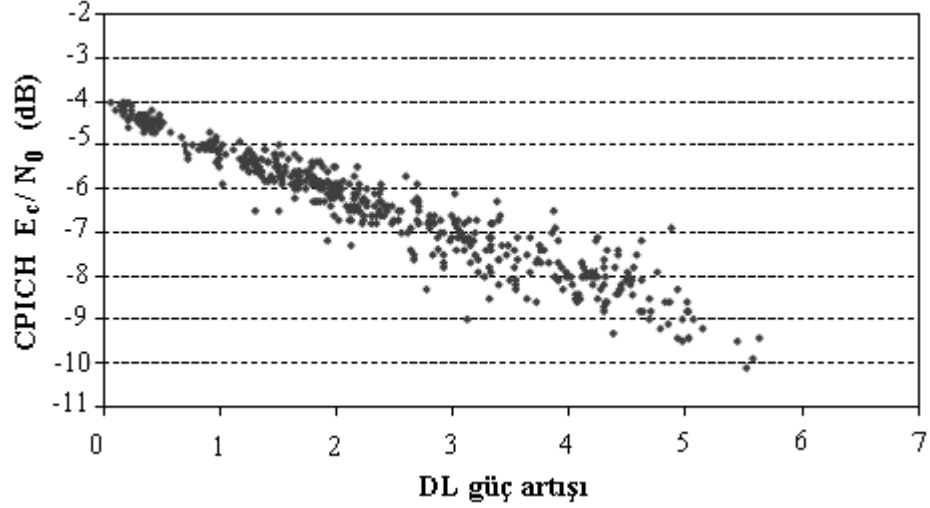
gönderme güç kaynağına sahip olmamasıdır. Dolayısı ile girişimin az olmasından ötürü olası güç artar.

Downlink yönünde ise ortalama gönderme gücü gereksiniminin yüksek olması UE’lerde güç sapmasının daha yüksek olmasından ötürü kapsamanın zayıf olduğu koşullardaki testler daha kötü sonuçlar vermiştir. Bunun sonucunda kapsamanın zayıf olduğu koşullarda kapsamanın daha iyi olduğu koşullara oranla daha yüksek E_c/N_0 değerine gereksinim duyulduğu ortaya çıkmıştır.

CPICH E_c/N_0 değerleri, downlink yükünün bir fonksiyonu olarak düşünülmektedir. Şekil 9.15’te CPICH E_c/N_0 ’nın AMR kullanıcı sayısının bir fonksiyonu, Şekil 9.16’da ise güç yükselişinin bir fonksiyonu olduğu görülmektedir. Hücredeki yük artarsa alınan CPICH E_c/N_0 azalır ve sapma artar. Güç yükselişi 5dB artarsa, buna bağlı olarak CPICH E_c/N_0 ortalama 5 dB azalır.



Şekil 9.15. AMR kullanıcı sayısının bir fonksiyonu olarak CPICH E_c/N_0 [9]



Şekil 9.16. Downlık güç artışının bir fonksiyonu olarak CPICH E_c/I_0 [9]

9.3.2. Çok hücre kapasite denemeleri

Çok hücreli kapasite testi, tek hücre kapasite testine benzerdir. Çok hücreli kapasite denemelerinde hücreden-hücreye girişim değeri i 'nin önemli bir etkisi bulunmakta ve bunun ölçümlere katılması gerekmektedir.

9.3.2.1. Uplink yöntembilimi

Tek bir UE'nin kapsama alanı içindeki hareketi göz önünde bulundurularak ortalama E_b/N_0 değeri kestirilebilmektedir. Bu şekilde, tüm kapsama alanındaki hareketlerde ortalama E_b/N_0 tanımlanabilmektedir.

9.3.2.2. Downlink yöntembilimi

Downlink hesaplamaları tek hücre kapasite denemelerindeki 9.10 denklemi ile başlar. Bölgede bulunan tüm baz istasyonlarındaki toplam gönderme gücünün aynı olduğu düşünülerek bu denklem sadeleştirilmiş ancak bu varsayım kötü sonuçlara sebep olabilir. Bunun nedeni, birkaç UE'nin ölçüm aracında bulunduğu durumda test yapılması ve komşu baz istasyonu toplam ortalama gönderme gücünün servis veren baz istasyonunun toplam ortalama gönderme gücünden her zaman daha az olmasıdır. Aktivite faktörü ve ortak kanal gücünün eklenmesiyle 9.10 denklemi modifiye edilebilir. Tüm i bağlantıları üzerinden toplama yapılması sonucunda elde edilen toplam gönderme gücü $P_{\text{tot},m}$ çözümlenmiştir [9].

$$\sum_{i=1}^I P_i + P_{CCH} = P_{tot,m} \cdot \sum_{i=1}^I \frac{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i \cdot V_i}{W/R} \left[(1-\alpha_i) + \sum_{n=1, n \neq m}^N \frac{L_{m,i}}{L_{n,i}} \right] + P_N \cdot \sum_{i=1}^I \frac{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i \cdot V_i}{W/R} \quad (9.20)$$

Yukarıdaki denklemde yer alan, anten kazancı, kablo kayıpları ve yumuşak aktarım kazancı dışındaki yol kaybı $L_{x,y}$, hava arayüzü yol kaybını göstermektedir. $P_{tot,m}$ aşağıdaki denklemde verildiği gibi çözülebilir.

$$P_{tot,m} = \frac{P_{CCH} + P_N \cdot \sum_{i=1}^I \frac{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i \cdot V_i}{W/R} L_{m,i}}{1 - \sum_{i=1}^I \frac{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i \cdot V_i}{W/R} \left[(1-\alpha_i) + \sum_{n=1, n \neq m}^N \frac{L_{m,i}}{L_{n,i}} \right]} \quad (9.21)$$

Downlink yükleme faktörü η_{DL} , arzulanen I adet bağlantıyı sürdürmek için gerekli olan baz istasyonu güç artışına denktir. Downlink yükleme faktörü η_{DL} aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\eta_{DL} = \sum_{i=1}^I \frac{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i \cdot V_i}{W/R} \left[(1-\alpha_i) + \sum_{n=1, n \neq m}^N \frac{L_{m,i}}{L_{n,i}} \right] \quad (9.22)$$

Bu denklemde, ortogonal hücreler arası girişim ile hücre içi girişimin ortogonal olmayan kısmı hesaba katılmıştır. Hücreden-hücreye girişimin ortalama değeri downlinkte aşağıdaki denklemde verildiği gibi hesaplanabilir.

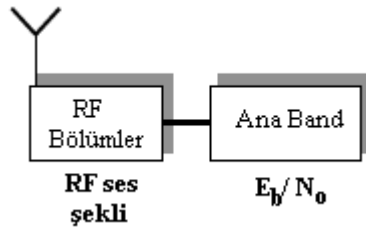
$$\bar{i}_{DL} = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{n=1, n \neq m}^N \frac{L_{m,i}}{L_{n,i}}}{I} \quad (9.23)$$

CPICH (Ortak Klavuz Kanalı) gönderme gücü bilindiği sürece, RSCP (Alınan Sinyalin Kod Gücü - Received signal code power) ölçümlerinden yol kaybı hesabı yapılabilir. Ortalama hücreden-hücreye girişim oranı her ölçüm noktasındaki değerlerin ortalaması alınarak hesaplanabilir. Her hücrede, hücreden-hücreye ortalama girişim değerinin hem uplink hem downlinkte aynı olduğu varsayımı sonucu uplink yükü yardımıyla

hücreden-hücreye girişim hesaplanabilir. Hücreler arası trafik düzgün dağıtılmış olduğu sürece bu varsayım doğrudur.

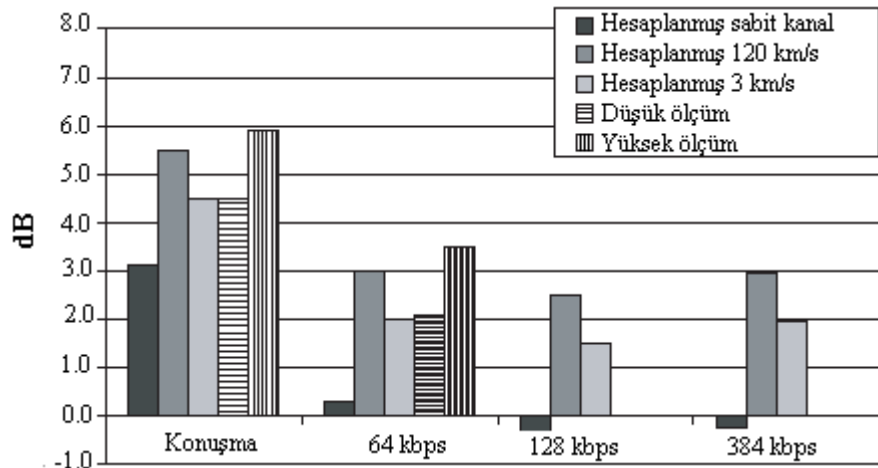
9.4. 3GPP Performans Gereksinimleri

3GPP performans gereksinimlerinden E_b/N_0 değerleri ve almacı gürültü faktörleri elde edilir. Almacı kısmının basit bir şeması Şekil 9.17’de gösterilmiştir. Varsayılan servisler 12.2 kbps’lik AMR ses ve 64, 128, 384 kbps ve %1 BLER’lik paket verisidir [27, 28].



Şekil 9.17. Alıcının basitleştirilmiş görünümü ve performans gereksinimleri

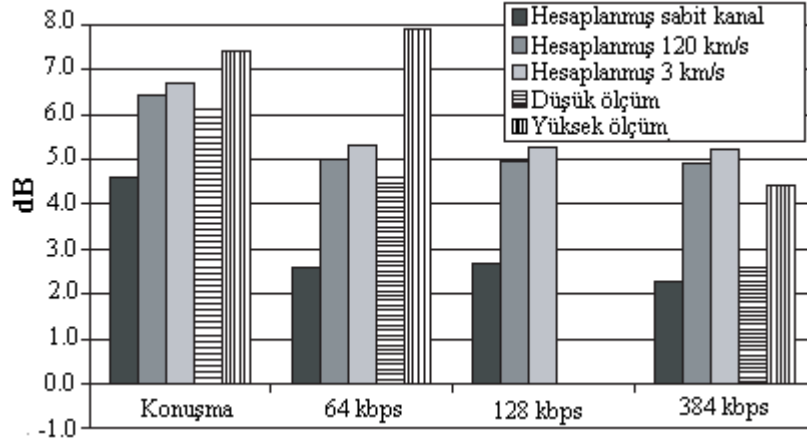
Uplinkteki E_b/N_0 değerleri Şekil 9.18’de, Downlink için ise Şekil 9.19’da özetlenmiştir. Uplinkteki E_b/N_0 değerinin downlinktekinden 2-3dB az olduğu belirtilmiştir. Bunun nedeni de uplinkteki anten çeşitliliğidir. Downlink iletim çeşitliliği E_b/N_0 değerlerinde iyileştirmeye sebep olur. Hesaplanmış değerler ile alan ölçümleri karşılaştırılabilir. Ölçümlerde sabit mobiller kullanıldığı için buradaki sonuçlar, 3km/s hızında yapılan hesaplamalarla karşılaştırılmaktadır.



Şekil 9.18. E_b / N_0 Uplink’in özeti

Ölçülmüş en küçük değer, uplinkteki ses için ve 64 kbps için hesaplananlara yakın sonuçlar vermiştir. Bunun yanında ölçülmüş en yüksek değer, hesaplananlardan 1,5dB

daha yüksektir. Beklendiği üzere ölçülmüş en kötü E_b/N_0 değeri, hesaplananlardan daha yüksektir. 64kbps durumunda oluşan farkın bir kısmı BLER gereksinimlerinden kaynaklanmıştır. Hesaplamalar paket verisi %1 BLER'e bağlı iken ölçümler BLER %0,5'e bağlıdır. Downlinkte ölçülmüş en düşük ses E_b/N_0 değeri hesaplananlardan 0,6 dB daha düşüktür, ölçülmüş en yüksek değerler hesaplananların 0,6dB yukarısındadır. Ölçülmüş en düşük 64kbps'lik E_b/N_0 değeri hesaplananların altında kalmaktayken, en yüksek değerli hesaplananların yukarısında kalmıştır.



Şekil 9.19. E_b / N_0 Downlink'in özeti

9.4.1. RF gürültü faktörü

E_b/N_0 değerleri almanın temel bandındaki performansı göstermektedir. Almanın RF performansı gürültü faktörü ile tanımlanır. Gürültü faktörü almanın RF katmanlarındaki sinyal gücü kaybı anlamına gelmektedir. 12.2 kbps'lik ses için istenilen referans duyarlılık seviyesi baz istasyonları için -121dBm, mobil istasyonları için ise -117 dBm'dir. Temel bant E_b/N_0 değeri bilindiği sürece RF gürültü faktörü hesaplanabilir.

$$RF \text{ gürültü faktörü} = \text{referans duyarlılık} - (-174dBm + 10\log_{10}(12.2e3) + E_b / N_0) \quad (9.24)$$

Gerekli görülen gürültü faktörü baz istasyonlarında 4.5dB, mobil istasyonlarında 8.7 dB'dir. Temel bandın E_b/N_0 performansı varsayılan değerlerden daha iyi olduğu sürece RF gürültü faktörü gereksinimleri daha da esnetilebilir [28].

10. SONUÇ ve ÖNERİLER

Haberleşme sektörü gelişen iletişim teknolojileri ve kullanıcılar arasında mobil iletişim ihtiyacı nedeniyle hızlı bir gelişim göstermiştir. Telekomünikasyon tarihindeki bu gelişmelerden ilki gerçek zamanlı ve iki yönlü ses haberleşmesine olanak veren telefonun icadı, ikincisi kullanıcılara hareket halindeyken de iletişim imkanı sağlayan 2.Nesil mobil haberleşme sistemi ve son olarak yüksek hızlı telsiz erişim ile IP tabanlı servislerin sağlanabildiği 3. Nesil mobil haberleşme sistemleridir.

1.Nesil ile başlayan mobil haberleşme sistemi ses kalitesi, kapsama alanı ve artan kullanıcı sayıları gibi nedenlerden dolayı, sayısal haberleşme tekniklerini kullanan 2.Nesil ile devam etmiştir. Kısa bir süre sonra sesin yanında hızlı veri iletimini sağlamak adına GPRS ve EDGE teknikleri kullanılarak 2,5. Nesil'e geçilmiştir. Ancak kullanılan bant genişliği ve modülasyon teknikleri, veri iletim hızını ve artan kullanıcı sayısını sınırlaması gibi nedenlerden dolayı geniş bant 3.Nesil mobil haberleşme sistemi geliştirilmiştir.

3.Nesil mobil haberleşme sistemlerinin bir diğer adı olan UMTS'de (Universal Mobile Telecommunication System) en çok kabul gören geniş bant teknolojisi W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access)'dır. W-CDMA tekniği ile 5 Mhz bant genişliğinde teorik olarak 2 Mbps veri iletim hızına ulaşılmıştır. Bu sistemde aynı anda hem devre hem de paket anahtarlama teknikleri kullanılır. W-CDMA bu tekniklerle aynı frekans bandında hizmet verebildiğinden, tek bir cihazla kullanıcı hem devre anahtarlama bağlantı uygulamalarından hem de multimedya uygulamalarından yararlanabilmektedir.

Yapılan bu çalışmada günümüze kadar olan mobil haberleşme sistemlerin gelişimi, 3.Nesil mobil haberleşme sistemleri, bu sistemlerin tasarımında teorik ve teknolojik temeller, mobil terminal ile baz istasyonları arasındaki haberleşmeyi sağlayan geniş bant kod bölme çoklu erişim (W-CDMA) sistemlerinin çalışma prensibi incelenmiştir. W-CDMA radyo frekans (RF) alıcı vericileri darband alıcı vericilere göre 8 kat daha etkin bir şekilde ses trafiğini yönetebildiği görülmüştür. Böylece her bir RF taşıyıcısı ile 80 adet eşzamanlı ses çağrısı veya 50 adet veri uygulaması gerçekleştirilebilme olanağı sağlanmıştır. W-CDMA daha büyük bir bant genişliğinde hızlı güç kontrol tekniğinin

kullanımı ses trafiğinin de etkin bir şekilde desteklenmesini sağlamak ve böylece 30 Mhz'lik bir bant genişliğinde bir hücre için en az 192 ses çağrısı gerçekleşir.

Uplink hücresel kapsamı, veri gönderimindeki bit hızlarına bağlıdır. Yüksek bit hızlarının işlem kazancı ve kapsama menzili düşürücü etkisi bulunmaktadır. 768 kbps'lik bit hızına sahip bir uplink kapsama alanı, 32 kbps'lik bit hızına sahip bir kapsama alanı ile karşılaştırıldığında, yüksek bit hızındaki kapsama alanının daha düşük olduğu görülmektedir.

Downlink hücresel kapsamını genişletmek için iletim çeşitliliği kullanılır. İletim çeşitliliği, anten çeşitlemesi karmaşıklığını mobildeki sinyal alıcıdan Node B iletimine aktararak, özellikle kapsama alanının uç noktalarında performans artışı sağlamaktadır.

Downlink kapsama alanında ses kapasitesinin yüksek bit hızlarında düşük kapasiteye sahip olduğu görülmüştür. Devre anahtarlı video aramanın downlink Eb/No değeri aynı koşullardaki AMR konuşma bağlantısından daha düşük olmaktadır.

3G bugüne kadar geliştirilen mobil teknolojilerden farklı olarak yeni bir frekans bandından daha fazla bant genişliğinden faydalanarak, çoklu ortam uygulamalarını mobil terminallere taşıyacak yeni nesil bir iletişim teknolojisi. 3G; ses, görüntü ve verinin kablosuz bir ortamda kullanıcılar arasında karşılıklı ve eşzamanlı olarak W-CDMA tekniği ile önceki sistemlerin sunamadığı yüksek hızlarda veri aktarılmasına imkan sağlamaktadır. Böylece bu teknoloji ile mobil ortamda ses iletimine ek olarak mobil çoklu ortamlı uygulamalar, video, görüntü iletimi, yüksek hızlı kablosuz internet bağlantısı sağlanabilir hale gelmiştir.

3G mobil haberleşme sisteminde, her ne kadar bant genişliğini verimli kullanmak ve 2G kablosuz iletişimdeki limitleri ortadan kaldırmak için tasarlanmış olsa da radyo emisyonu için yeterli olmayan algoritmalar kullanılmaktadır. Bunun sonucu olarak 3G sisteminin veri performansını mobilite (hareketlilik) ve kullanıcı kapasitesi 2G'ye göre daha çok etkilemektedir. Örneğin 3G kullanıcısı bir araç içindeki hızı belli bir limitin üstüne çıktığı anda, verinin aktarılmasında 1Mbit/s hızları görülmeyebilir.

Bir baz istasyonundan kullanıcı sayısı arttıkça kullanıcı başına ayrılan kod ve güç düşürüldüğü için hızda da düşüş olur. Yoğunluk daha da arttığı durumda ise baz istasyonu gücünü daha efektif kullanmak için uzaktan bağlanan kullanıcıları başka istasyonlara atar yada bağlantılarını koparır.

3G mobil haberleşme sisteminde kullanılan modülasyon tekniği cep telefonlarında doğrusallığı, RF güç yükselteçlerinin kullanılmasını zorunlu kılmıştır. Bu da genelde telefonun en çok akım çeken ve verimliliğinin pil ömrüne direkt etkisi olan güç yükselteçlerinin düşük verimle kullanılmasına ve özellikle ilk nesil telefonların pil ömürlerinin kısa olmasına neden olmuştur.

Buna ek olarak, 3G ile birlikte kullanılan frekans bandı 2100/2400 Mhz civarlarına çekilmiştir. Bu değişiklik ile kapsaman alanı küçülmekte, dolayısıyla şehirlerde binalar, açık alanlarda ise alanın büyüklüğü yüzünden 3G kapsama alanı dar kalmaktadır.

Bahse konu olan bu sorunların çözümü için 4G teknolojisi planlanmıştır. 4G, dördüncü nesil kablosuz telefon teknolojisidir. Diğer kablosuz telefon standartları gibi hücresel bir ağ sistemi kullanması ve üçüncü nesilde ortaya çıkan kapsama alanı sorununu başta olmak üzere bazı sorunları çözmesi beklenmektedir.

11. KAYNAKLAR

- [1] Redl, S.M., Weber, M.K., Oliphant, M.V., “GSM and Personal Communications Handbook” Artech House, London, (1998).
- [2] Hanzo, L., Gibson, J.D., “The Pan-European Cellular System 2nd ed”, The Mobile Communications Handbook, IEEE Press, CRC Press, Dallas-Texas, (1999)
- [3] Kandemir, A.,Oran, B., (vd).,”3G Dünya Tecrübeleri”, Alt Çalışma Grubu-1, UMTS Ulusal Koordinasyon Kurulu, Ankara, (2002)
- [4] Telematica Institute, “State of the art overview Interworking of heterogeneous network technologies, and Mobile Multimedia Session Management”, (2002). https://doc.telin.nl/dscgi/ds.py/Get/File-26769/sota_D3.1-4.1.pdf
- [5] Global mobile Suppliers Association, GSM/3G Market Update, (2005). <http://www.gsacom.com/gmd/index.php4?PHPSESSID=23ea5223cc5a9888337563dbea8c043e>
- [6] Liew,J., Parekh, S., Rivaille, M., Zegras, C., “3G Wireless in the US: cdmaOne to cdma2000”, Program On Internet & Telecoms Convergence, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts. <http://itc.mit.edu/itel/students/sohil/cdma3G.ppt>
- [7] Muratore, F., (ed.), “UMTS Mobile Communications for the Future”, John Wiley & Sons Ltd, Telecom Italia Group, Italy, (2000)
- [8] Gündüz, F., “UMTS Sistemine Bakış”, (2002)
- [9] Holma, H., Toskola, A., “WCDMA for UMTS, Radio access for Third Generation Mobile Communication 3rd ed .”, John Wiley&Sons Ltd., England, (2004).
- [10] Ojanpera, T. and Prasad, R., (ed.). “Wideband CDMA for Third Generation Mobile Communications”, Artech House, London. (1998).
- [11] Walke, B., Seidenberg, P., Althoff, M.P., “UMTS The Fundamentals”, John Wiley&Sons Ltd, England, (2003).
- [12] Sachs, J. and Balon, T. and Meyer, M., ”Congestion Control in WCDMA with Respect to Different Service Classes, Wireless’99”, 4. ITGFachtagung Mobile Kommunikation, Munich, (1999).
- [13] Korhonen, J., “Introduction to 3G Mobile communications 2nd ed.”, Artech House, London, (2003).
- [14] Westman, T. and Holma, H., “CDMA System for UMTS High Bit Rate Services”, Proceedings of VTC’97, Phoenix, AZ, (1997).
- [15] Sipila, K., Honkasalo, Z.C., Laiho-Steffens, J., Wacker, A. “Estimation of Capacity and Required Transmission Power of WCDMA Downlink Based on a Downlink Pole Equation”, Proceedings of VTC 2000 Spring., Tokyo, Japan, (2000),
- [16] Büyükbaş, A., “CDMA ve UMTS: Üçüncü Nesil Mobil Haberleşme Teknolojilerinin Karşılaştırılması, Türkiye Önerisi”, Uzmanlık Tezi, Telekomünikasyon Kurumu, Ankara, (2005).
- [17] Darıcı, A., “3.Nesil Mobil Haberleşme Sistemleri” Uzmanlık Tezi, Telekomünikasyon Kurumu, Ankara, (2002).
- [18] Proje Yönetim Direktörlüğü, “ Üçüncü Nesil Mobil Haberleşme Sistemlerine Geçiş ve UMTS.Ş., İstanbul, 16-30, 38-45 (2001).
- [19] Şahsuvaroğlu, M., “UMTS İncelenmesi”, Bitirme Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli

- [20] Aydın, S.E., "Üçüncü Nesil Mobil Telekomünikasyon Hizmetleri: Dünya Uygulamaları ve Türkiye İçin Politika Önerisi", Uzmanlık Tezi, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara, (2007)
- [21] Yılmaz, Y., "UMTS Overview", Turkcell Akademi, İstanbul, (2007).
- [22] Sehier, P., Gabriagues, J-M., Urie, A., "Standardization of 3G Mobile Systems", Alcatel Telecommunications Review, (2001) .
- [23] ETSI, 2004, "Overview of 3GPP Release 99, Summary of all Release 99 Features, http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/Rel99_features_v_2004_07_20.zip
- [24] <http://www.3gpp.org/>
- [25] 3 GPP Technical Specification 25.212
http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/25_series/25.212
- [26] 3 GPP Technical Specification 25.301, Radio Interface Protocol Architecture.
http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/25_series/25.301
- [27] 3GPP Technical Specification 25.104
http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/25_series/25.104
- [28] 3GPP Technical Specification 25.101
http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/25_series/25.101
- [29] <http://kmyo.ksu.edu.tr/maksu/drsnot/Mobil%20Sistemler.pdf>
- [30] <http://tr.wikipedia.org/wiki/2G>
- [31] <http://www.netteyasam.com/contents.php?id=1417>
- [32] www.fatih.edu.tr/~syilmaz/EAP/GH_GSM_D_Sunum.ppt
- [33] <http://www3.itu.edu.tr/~oktug/BH/notlar/bolum2.pdf>
- [34] <http://ee.istanbul.edu.tr/yeni/hdogan/dersler/kablosuzhaberleme/unite4/GSM.pdf>
- [35] www.gsmworld.com
- [36] <http://mysystem.org/elektronik/r.htm>
- [37] <http://www.umtsworld.com/technology/overview.htm>
- [38] <http://www.umtsworld.com/>
- [39] <http://www.elektronikmagazin.com/page.php?id=273>

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Soyadı, Adı : ŞAHİN TÜMER, Banu
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 20.06.1982 Malatya
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (312) 479 31 85
e-mail : banu_sahin@hotmail.com

İŞ TECRÜBELERİ

2009 – ŞARA Enerji Tic. A.Ş. Aselsan Jemus 3 Proje Sorumlusu
2007 – 2009 BİSEM Telekomünikasyon Ltd. Şti. Transmisyon Sorumlusu

STAJLAR

21.07.2004 - 21.09.2004 : Havelsan / ANKARA

EĞİTİM BİLGİLERİ

Üniversite : Malatya İnönü Üniversitesi
Fakülte : Mühendislik Fakültesi
Bölüm : Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Tez Konusu : Üçüncü Nesil Mobil Telekomünikasyon Sistemlerinin
Gelişimi ve Radyo Yükleme Stratejileri.
Mezuniyet Yılı : 10.06.2006