

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PMP MODUNDAKİ BİR WIMAX AĞININ
NCTUns YARDIMIYLA
SİSTEM PERFORMANS ANALİZİ**

Mühendis Hatice ARI

**FBE Elektronik ve Haberleşme Müh. Anabilim Dalı Haberleşme Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Soner ÖZGÜNEL

İSTANBUL, 2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	v
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖNSÖZ	xiii
PMP MODUNDAKİ BİR WIMAX AĞININ NCTUns YARDIMIYLA SİSTEM PERFORMANS ANALİZİ.....	xiv
THE SYSTEM PERFORMANCE ANALYZE OF A WIMAX NETWORK IN PMP MODE USING NCTUns.....	xv
1 GİRİŞ	1
2 KABLOSUZ HABERLEŞME.....	4
2.1 Sabit Kablosuz Erişim.....	4
2.2 Ağ Kapsama Alanı	7
2.3 Veri Değişimi	8
2.3.1 Sert Veri Değişimi	9
2.3.2 Yumuşak Veri Değişimi.....	9
2.3.3 Mimari Açından Veri Değişimi	10
2.4 Ağ Yerleşimi	11
2.4.1 Homojenlik.....	12
2.4.2 Heterojenlik.....	12
3 WIMAX	14
3.1 802.16 Protokol Kümesi	15
3.2 802.16e Standardı.....	18
3.3 WIMAX Ağ Mimarisi.....	19
3.3.1 Erişim Hizmet Ağı	20
3.3.2 Bağlantı Hizmet Ağı	20
3.3.3 Topoloji Desteği.....	21
3.4 Konuşlandırma	21
3.5 WIMAX Forum Grubu	23
4 HOMOJEN TAŞINABİLİRLİK.....	25
4.1 Geçmişte Yapılan Çalışmalar.....	25
4.2 802.16e Veri Değişimi	26
4.2.1 Ağ Topoloji Kazancı	26
4.2.2 Veri Değişimi İşlem Süreci.....	27

4.2.3	Yumuşak Veri Değişimi ve BS'in Hızlı Anahtarlama	28
4.3	WIMAX Veri Değişim Süreci	29
4.3.1	Erişim Hizmet Ağı	29
4.3.2	Anahtarlama	30
4.3.3	ASN Referans Noktaları	30
4.3.4	Fonksiyonel Ayırma	31
4.3.5	ASN Dışı Veri Değişimi	32
4.3.6	ASN İçi Veri Değişimi	33
4.3.7	Devam Etmekte Olan Çalışmalar	34
4.4	802.16 Standartlar Kümesi ve Taşınabilirlik Desteği	35
4.4.1	802.16d Standardı ve Taşınabilirlik Desteği	35
4.4.2	802.16e Standardı ve Taşınabilirlik	36
4.4.3	802.20 Standardı	37
5	HETEROJEN TAŞINABİLİRLİK	39
5.1	Geçmişte Yapılan Çalışmalar	39
5.2	UMTS	40
5.2.1	Yapılan Yenilikler	40
5.2.2	UMTS	41
5.2.3	UMTS Ağ Yapısı	42
5.2.4	UMTS ve WIMAX	43
5.2.5	UMTS'te Gevşek Kablolama	45
5.2.6	UMTS'te Sıkı Kablolama	46
5.3	Wi-Fi	47
5.3.1	Yapılan Yenilikler	47
5.3.2	Wi-Fi Ağ Yapısı	48
5.3.3	Wi-Fi ve WIMAX	49
5.3.4	Wi-Fi'de Gevşek Kablolama	50
5.3.5	Wi-Fi'de Sıkı Kablolama	51
5.4	Devam Etmekte Olan Çalışmalar	51
5.4.1	802.21 Standardı	52
5.4.2	Ev Sahibi Kimlik Protokolü	53
5.4.3	Hücreli Destekli Heterojen Ağlar	54
5.5	Sonuçlar ve Tartışma	55
6	SİMÜLASYON ÇALIŞMASI	57
6.1	Simülasyon Çalışması	57
7	SONUÇLAR	68
7.1	NCTUns'a İlişkin Sonuçlar	68
7.2	Simülasyon Çalışmasına İlişkin Sonuçlar	69
	KAYNAKLAR	73
	EKLER	77
Ek 1	Ağ Giriş Mesajları	78
Ek 2	Hızlı Baz İstasyonu Anahtarlama	79
Ek 3	802.16 MAC Katmanı	80
Ek 3.1	MAC Altkatmanı	80

Ek 3.2	MAC Katmanı.....	82
Ek 3.2.1	Çerçeveleme.....	83
Ek 3.2.2	MAC Katmanı PDU'ları.....	86
Ek 3.2.3	Bağlantılar.....	87
Ek 3.2.4	Zamanlama.....	88
Ek 3.2.5	Sleep Modu.....	89
Ek 3.2.6	Idle Modu.....	89
Ek 4	NCTUns Simülatör Programı	90
Ek 4.1	Kullanılan Simülasyon Programı	90
Ek 4.1.1	NCTUns Kapasitesi ve Çalışma Yapısı	90
Ek 4.1.2	Emülasyon ve Simülasyonun Mükemmel Birleşimi.....	91
Ek 4.1.3	Yüksek Simülasyon Hızı ve Tekrarlanabilen Simülasyon Sonuçları	91
Ek 4.1.4	Çeşitli Ağ Destekleri.....	91
Ek 4.1.5	Çeşitli Ağ Elemanları Desteği.....	92
Ek 4.1.6	Çeşitli Ağ Protokolleri Desteği.....	92
Ek 4.1.7	Tümleşik ve Profesyonel Grafik Kullanıcı Arayüzü Ortamı	92
Ek 4.1.8	Popüler İşletim Sistemleri Desteği.....	93
Ek 4.2	NCTUns Mimarisi ve Bileşenleri	93
Ek 4.2.1	NCTUNns'un Ekran Çıktıları	95
Ek 4.2.2	Topoloji Editörü.....	96
Ek 4.2.3	Özellik Kutusu	96
Ek 4.2.4	Performans Monitörü	97
Ek 4.2.5	Nod Editörü.....	98
Ek 4.2.6	Paket Animasyon Sağlayıcı	98
Ek 4.3	IEEE 802.16(d) WIMAX Ağları	99
Ek 4.3.1	IEEE 802.16(d) Hücresel Mod Yapısı	99
Ek 4.3.2	IEEE 802.16(d) Hücresel Ağ Kurulumu.....	100
Ek 4.3.3	IEEE 802.16(d) Hücresel Altağların Belirlenmesi ve Yönetimi.....	102
Ek 4.3.4	IEEE 802.16(d) Hücresel Nodlarının En Yüksek İletim Aralığı	103
Ek 4.3.5	IEEE 802.16(d) Hücresel Ağ Protokol Yığını	104
Ek 4.3.6	IEEE 802.16(d) PMP Mod Kavramı.....	105
Ek 4.3.7	IEEE 802.16(d) PMP Ağlarının Kurulumu.....	106
Ek 4.3.8	IEEE 802.16(d) PMP Altağlarının Özelliklerinin Belirlenmesi	107
Ek 4.3.9	IEEE 802.16(d) PMP Nodlarının Maksimum İletim Aralığı.....	107
Ek 4.3.10	IEEE 802.16(d) PMP SS Nodlarının Hızlarının Sürekliliği	108
Ek 4.3.11	IEEE 802.16(d) PMP Ağ Protokol Yığını	108
Ek 5	NCTUns Simülatör Programının Çalıştırılması	109
ÖZGEÇMİŞ		113

SİMGE LİSTESİ

R1	R1 hizmet eden BS ve MS arasındaki fiziksel ara yüz
R3	ASN GW ve CSN arasındaki mantıksal link
R4	R4 ASN GW'ler arasındaki mantıksal link
R6	BS ASN GW'ler arasındaki mantıksal link
R8	BS'ler arasındaki mantıksal link
V4	Dört byte'dan oluşan IP adresi
V6	On altı byte'dan oluşan IP adresi

KISALTIMA LİSTESİ

3G	3. Generation
3GPP	3G Partnership Project
4G	4. Generation
AAA	Authentication, Authorization and Accounting
AES	Advanced Encryption Standard
ARQ	Automatic Repeat Request
ASN	Access Service Network
ASN GW	Access Service Network Gateway
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BE	Best Effort
BS	Base Station
BSC	Base Station Controller
Bln	Billion
BWFA	Broadband Fixed Wireless Access
CAD	Computer-Aided Design
CAHN	Cellular Assisted Heterogeneous Networking
CBR	Constant Bit Rate
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	Core Network
CoA	Care of Address
CRC	Cyclic Redundancy Check
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
CSN	Connectivity Service Network
DCD	Downlink Channel Descriptor
DCF	Distributed Coordination Function
DES3	Tripple Data Encryption Standard
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DL	Downlink
DLC	Downlink Control
DNS	Domain Name System
DOS	Denial of Service
DSL	Digital Subscriber Line
EAP	Extensible Authentication Protocol

ertPS	Extended Real Time Polling Service
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FACCH	Fast Associated Control Channel
FBSS	Fast Base Station Switching
FDD	Frequency Division Duplex
FEC	Forward Error Correction
FFT	Fast Fourier Transform
FTP	File Transfer Protocol
FWA	Fix Wireless Access
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GHz	Gigahertz
GPRS	General Packet Radio Services
GPSS	Grant Per Subscriber Station
GSA	Global Mobile Suppliers Association
GSM	Global System for Mobile Communications
HI	Host Identifier
HIP	Host Identity Protocol
HIT	Host Identity Tag
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSUPA	Speed Uplink Packet Access
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IMEI	International Mobile Equipment Identity
IMS	IP-Multimedia Services
IP	Internet Protocol
IPsec	IP Security
ISP	Internet Service Provider
IV	Initialization Vector
Km	Kilometer
L2	Layer 2, MAC Layer
L3	Layer 3, Network Layer
LAN	Local Area Network
LOS	Line of Sight
LPM	Last Packet Marking

LTE	Long Term Evolution
MAC	Medium Access Control
MACA	Multiple Access with Collision Avoidance
MAN	Metropolitan Area Network
MBMS	Multimedia Broadcast Multicast Service
Mbps	Megabit Per Second
MIP	Proxy Mobile IP
MIP	Media Independent Protocol
Mln	Million
MPEG	Moving Picture Experts Group
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Service Switching Center
MSISDN	Mobile Subscriber Integrated Services Digital Network Number
MSS	Mobile Subscriber Stations
NAP	Network Access Provider
NGN	Next Generation Network
NLOS	Non Line of Sight
nrtPS	Non Real Time Polling Services
NSP	Network Service Providers
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OSI	Open System Interconnection
OSPF	Open Shortest Path First
PCF	Point Coordination Function
PDA	Personal Digital Assistant
PDG	Packet Data Gateway
PDU	Packet Data Units
PHS	Package Header Suppression
PHSF	Package Header Suppression Field
PHSI	Package Header Suppression Index
PHY	The Physical
PMP	Point to Multipoint
PSTN	Public Switched Telephone Network
PTP	Point to Point

QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
RNC	Radio Network Controller
RPS	Radiowave Propagation Simulator
RRM	Radio Resource Management
RTG	Receive/transmit Transition Gap
Rtg	Router Traffic Grapher
rtPS	Real Time Polling Service
Rx	Received
SACCH	Slow Associated Control Channel
SAP	Service Access Point
SDU	Service Data Unit
SGSN	Serving GPRS Support Node
SIP	Session Initiation Protocol
SMS	Short Message Service
SNMP	Simple Network Management Protocol
SNR	Signal to Noise Ratio
SS	Subscriber Station
Std	Standard
STG	SNMP Traffic Generator
TCP	Transmission Control Protocol
TDD	Time Division Duplex
TFTP	Trivial File Transfer Protocol
TKIP	Temporal Key Integrity Protocol
TLV	Type/Length/Value
TSMA	Time Spread Multiple Access
TTG	Transmit/receive Transition Gap
Tx	Transmitted
UCD	Uplink Channel Descriptor
UDP	User Datagram Protocol
UE	User Equipment
UGS	Unsolicited Grant Service
UIUC	Uplink Interval Usage Code
UL	Uplink

UMTS	Universal Mobile Telecommunications
USIM	Universal Subscriber Identity Module
UTRAN	The Universal Terrestrial Radio Access Network
VoIP	Voice over Internet Protocol
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WEP	Wired Equivalent Privacy
WFQ	Weighted Fair Queuing
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Noktadan noktaya sabit kablosuz erişim	5
Şekil 2.2	Noktadan çoklu noktaya sabit kablosuz erişim	5
Şekil 2.3	Hücresele sabit kablosuz erişim	6
Şekil 2.4	Farklı ağ kapsama alanları	8
Şekil 2.5	Dikey ve yatay veri değişimi	11
Şekil 3.1	IEEE 802.16 standardının katmanları	16
Şekil 3.2	WIMAX ağ referans modeli	19
Şekil 3.3	Uygun frekanslar, dünya haritası (Fielbrandt, 2005)	22
Şekil 3.4	Katman düzenlemesi ve WIMAX'ın rolü	24
Şekil 4.1	ASN ayrışması	31
Şekil 4.2	Ağ bilgi geçişi sırasındaki cihaz aktarım fonksiyonu	32
Şekil 4.3	Dış ASN veri değişimi	33
Şekil 4.4	İç ASN veri değişimi	34
Şekil 4.5	Kablosuz erişim ağ modeli (Kim vd., 2005)	37
Şekil 5.1	UMTS referans mimarisinin ana bileşenleri	43
Şekil 5.2	UMTS ve WIMAX mimarisinin bileşenleri	43
Şekil 5.3	WIMAX/UMTS açısından gevşek kablolama	46
Şekil 5.4	Yaygın WLAN konfigürasyonu	48
Şekil 5.5	IEEE 802.21 katmanlama standardı	52
Şekil 6.1	IEEE 802.16(d) WIMAX ağı	58
Şekil 6.2	Uygulama 1	59
Şekil 6.3	Uygulama 2	59
Şekil 6.4	Uygulama 3	60
Şekil 6.5	Uygulama 4	60
Şekil 6.6	Uygulama 5	61
Şekil 6.7	Uygulama 6	61
Şekil 6.8	Uygulama 7	62
Şekil 6.9	Uygulama 8	62
Şekil 6.10	Uygulama 9	93
Şekil 6.11	Uygulama 10	63
Şekil 6.12	Uygulama 11	64
Şekil 6.13	Uygulama 12	64

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1	802.16 Standart kümesi	17
Çizelge 3.2	WIMAX için tahmini zaman çizelgesi	22
Çizelge 4.1	BS ve ASN GW'in rolleri	30
Çizelge 5.1	UMTS veri hızları	40
Çizelge 5.2	UMTS servis kalitesi sınıfları	41
Çizelge 5.3	UMTS/WIMAX servis kalitesi karşılaştırması	44
Çizelge 5.4	802.11 Protokolü çeşitleri	48
Çizelge 6.1	Veri aktarım sonuçları	66
Çizelge 6.2	Değerlendirme sonuçları	67

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanması süresince, görüş ve önerileri ile tez çalışmamı yönlendiren değerli hocam Sn.Yrd. Doç. Dr. Soner ÖZGÜNEL'e, ilgi ve desteğini her zaman için hissettiren Sn. Cem SEÇİM'e ve her zaman her konuda sağladıkları destek ve anlayış için aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Hatice ARI

Ağustos 2008

PMP MODUNDAKİ BİR WIMAX AĞININ NCTUns YARDIMIYLA SİSTEM PERFORMANS ANALİZİ

Hatice ARI

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi

Değişken ve yüksek veri hızı, servis kalitesi gibi kavramlarla karakterize edilen yeni nesil ağlar, bir ağ içindeki ya da farklı teknolojileri ve servis sağlayıcıları kullanan ağlar arasındaki taşınabilirliği sağlamaktadırlar. Globalleşmiş yeni nesil ağlarda kullanılan cihazlar açısından önemli bir konu da satıcı şirketlere bağımsız ve birlikte çalışabilmeyi sağlamak amacıyla yapılan standardizasyondur. Bu standartlaşmayı sağlayabilmek için geliştirilen WIMAX teknolojisi de IEEE tarafından 802.16 adı altında standardize edilmiştir. Bu mimari yapı, uygulama alanı olarak yüksek veri hızı ve servis kalitesine sahip, uzun mesafelerde düşük kullanım maliyetine sahip, metropoliten bir ölçekteki kablosuz erişim teknolojisini kendine örnek almaktadır. Bu çalışmada WIMAX'ın teknolojik ve mimari yapısı anlatılmaktadır. Daha da derine inilerek WIMAX'ın taşıyıcı kapasitesine de değinilmiştir. Burada MAC yapısının veri değişimi sırasındaki performansı etkilediği anlaşılmış ve WIMAX teknolojisinin gelişim sürecinde, MAC-katmanı gibi üst katmandaki protokoller ve prosedürlerin genişletilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Uygulama bölümünde ise NCTUns simülatör programı yardımıyla, PMP modundaki bir WIMAX ağının farklı senaryolar için sistem performansı çıkartılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Buna göre, bir WIMAX ağında, veri aktarımı yapan host sayısı, hostların ve baz istasyonlarının yerleşimi, veri akış yönü, kullanıcıların kapsama alanındaki dağılımı ve istekte bulundukları kullanıcı servisinin tipinin sistem performansında etkili olduğu sonucuna varılmış ve simülasyon sonuçları tartışmaya sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: WIMAX, NCTUns, sistem performansı, mod, GSM, kablosuz haberleşme.

JÜRİ:

1. Yard. Doç. Dr. SONER ÖZGÜNEL
2. Yard. Doç. Dr. N. ÜNAL KÜÇÜK
3. Yard. Doç. Dr. Gökhan YAVUZ

Kabul Tarihi: 14.09.2008
Sayfa Sayısı: 128

THE SYSTEM PERFORMANCE ANALYZE OF A WIMAX NETWORK IN PMP MODE USING NCTUns

Hatice ARI

Electronic and Communication Engineering, M.S. Thesis

Next Generation Networks, characterized by variable and high data rates, quality of services, supply mobility either in a network or between networks of different technologies and service providers. An important point of view for components used in a global next generation networks is standardization to allow different companies to work either independent or together. A technology developed to define these common characteristics, standardized by IEEE, is WIMAX often called as 802.16. This technology aims to apply high data rates, quality of services, long distance and low costs to a wireless access technology on a metropolitan area. The technology and architecture of WIMAX is the main purpose of this thesis. Specifically, its mobility capabilities are explained. The thesis investigates the handover and internetworking capabilities of WIMAX to implement selected MAC-layer functionality. Results help to identify MAC-parameters affecting performance during handovers that the upper layer (as MAC-layer) protocols and procedures executed during a handover are needed to be improved. As a practice, by using NCTUns simulator programme, the system performance of a WIMAX network in PMP mode has been identified for different type of scenarios and the results have been discussed. As a result, in a WIMAX network, the location of base stations and subscribers, the number of hosts transferring the data, the direction of data, the location of users in the covered area and the user service types are effective on the system performance.

Key words: WIMAX, NCTUns, system performance, mode, GSM, wireless telecommunication.

JÜRİ:

4. Yard. Doç. Dr. SONER ÖZGÜNEL
5. Yard. Doç. Dr. N. ÜNAL KÜÇÜK
6. Yard. Doç. Dr. Gökhan YAVUZ

Kabul Tarihi: 14.09.2008

Sayfa Sayısı: 128

1. GİRİŞ

3G olarak adlandırılan üçüncü nesil hücresel ağların sektöre girmesiyle beraber, yeni nesil ağlar haberleşme sektörünün hedef noktası haline gelmiştir. Değişken ve yüksek veri hızı, servis kalitesi gibi kavramlarla karakterize edilen bu yeni nesil ağlar, aynı ağ içindeki ya da farklı teknolojileri, farklı servis sağlayıcıları ve farklı cihazları kullanan ağlar arasındaki taşınabilirliği sağlamaktadır.

Küreselleşmiş yeni nesil ağlarda kullanılan cihazlar açısından en önemli konu ise servis sağlayıcılara bağımsız ya da gerektiğinde birlikte çalışabilmeyi sağlamak amacıyla yapılan standartlaştırmadır. Yeni nesil ağların değişken ve yüksek veri hızı, servis kalitesi gibi karakteristiklerini tanımlamak için geliştirilen WIMAX teknolojisi de IEEE tarafından 802.16 protokolü adı altında standardize edilmiştir.

IEEE'nin bu standardı, hava ara yüzüyle sınırlı olmasına rağmen, standardın yaygın olarak bilinen adı Geniş Bant Kablosuz Erişim Teknolojisi (Worldwide Interoperability for Microwave Access, WIMAX)'dir. IEEE'nin 802.16 standardı ile belirlenmiş uçtan uca ağ yapısına sahip bir teknoloji olan WIMAX'ın geliştirilip düzeltilmesi yine IEEE'nin 802.16e standardı ile sağlanmaktadır.

WIMAX ağ yapısı, yüksek veri hızında, yüksek servis kalitesini ve orta ölçekli bir bölgedeki kablosuz erişim teknolojisi için düşük geliştirme maliyetini kendine amaç edinmiştir. Bu ağ yapısı, Intel, Fujitsu, Samsung, AT&T ve Alvarion gibi teknolojik şirketlerin desteklediği WIMAX Forum grubu tarafından geliştirilmektedir.

802.16 standardı, yeni ve gelişim sürecinde olduğundan, bu çalışma WIMAX'ın ağ mimarisi ve taşınabilirlik özelliği ile sınırlandırılmıştır ve WIMAX'ın durağan kablosuz özellikleri üzerine odaklanmamıştır. WIMAX ağ yapısı ve 802.16 standardının parçaları hala değişim sürecinde olduğundan, bu tez, derinlemesine bir açıklık getirememekle beraber, taşınabilirlik açısından, tartışmaya açık durumlarda olabildiğince net sonuçlar çıkartılmasını hedeflemektedir.

WIMAX'ın, standarda bağlı değişimlerinin ele alındığı ve varılan sonuçların da, değişen WIMAX mimarisine bağlı olarak değişim süreci altında olduğunu kabul ettiğimiz bu çalışmada, Bölüm 1'de WIMAX teknolojisinde kullanılan yöntemler anlatılmaktadır. Bu kısım, WIMAX'ın haberleşme sektörü açısından neden ilgi çekici bir konu olduğunu ve WIMAX çalışmalarını engelleyen sınırlandırmaları detaylarıyla

açıklamaktadır.

Bölüm 2 teorik kısımları, homojen ve heterojen ağ yapılarını anlatmaktadır. Bu kısımda ayrıca, ağ kapsama alanı gibi konulardaki araştırmalara da değinilmektedir. Buna ek olarak, orta ölçekli alan ağları (Metropolitan Area Network, MAN), yerel alan ağları (Local Area Network, LAN) ve geniş bant sabit kablosu erişim (Broadband Fixed Wireless Access, BWFA) ağ ailesi de anlatılmaktadır.

Bölüm 3'te, simülasyon programları ile ilgili yapılacak pratik kısma zemin hazırlamak için, öncelikle IEEE'nin 802.16 standardı ve WIMAX'ın ağ yapısı ele alınmaktadır.

Bölüm 4'te, WIMAX teknolojisinin taşınabilirlik kapasitesi üzerinde durulmaktadır. Bu kısımda, 802.16 standardı ile IEEE'nin 802.20 gibi diğer versiyonları karşılaştırılmakta ve taşınabilirlik kapasitesinin, paket anahtarlamalı sistemlerde bant genişliği paylaşımından sorumlu alt katman (Medium Access Control, MAC) açısından önemi değerlendirilmektedir.

Teorik çalışmalara, Bölüm 5'te WIMAX ağı ve uzak mesafe kablosuz erişim teknolojisi (Universal Mobile Telecommunications, UMTS) ağı heterojen taşınabilirlik açısından karşılaştırılarak devam edilmektedir. Ayrıca, heterojen taşınabilirlik, WIMAX ağı ve kablosuz yerel ağ (Wireless Fidelity, Wi-Fi) açısından da karşılaştırılmaktadır.

Günümüzde WIMAX üzerine çok az pratik uygulama yapıldığından, Bölüm 4 ve Bölüm 5'te sunulan literatür analizi, girişim, taşınabilirlik, veri değişimi gibi WIMAX'ın taşınabilirlik yeteneğini belirleyen temel özellikler ile ilgili yapılan araştırmaları içermektedir. Burada, UMTS, Wi-Fi ve IEEE'nin 802.20 standardı gibi teknolojiler referans noktası olarak kabul edilmektedir.

Teorik karşılaştırmalardan sonra, uygulama çalışmasının yapıldığı Bölüm 6'da, bir noktadan çoklu noktaya (Point to multipoint, PMP) bir WIMAX ağının farklı senaryolar için sistem performansı NCTUns simülatör programı yardımıyla çıkartılmaktadır. Bu bölümde 802.16 WIMAX ağı ve ekipmanının test edilmesine dair bilgiler de sunulmakta ve WIMAX'ın hava ara yüzünü açıklayan 802.16 standardı özetlenmektedir. Bu bölümde yapılan geliştirme, bir abonenin WIMAX ağı içerisindeki hareketine odaklanarak yapılmıştır ve servis kalitesi (Quality of Service, QoS) gibi diğer temel baz alınması gereken konuları gelecekte çalışmak üzere bırakmıştır.

Sonuçlar, simülasyon sonuçlarının değerlendirilmesi ve gelecekteki çalışmalara ilişkin önerilerle Bölüm 7’de sunulmaktadır. Simülasyon kriterlerini, yapılan market araştırmalarından elde edilen sonuçlar ve yapılan tartışmalar sonucu varılan yargılar belirlemektedir.

2. KABLOSUZ HABERLEŞME

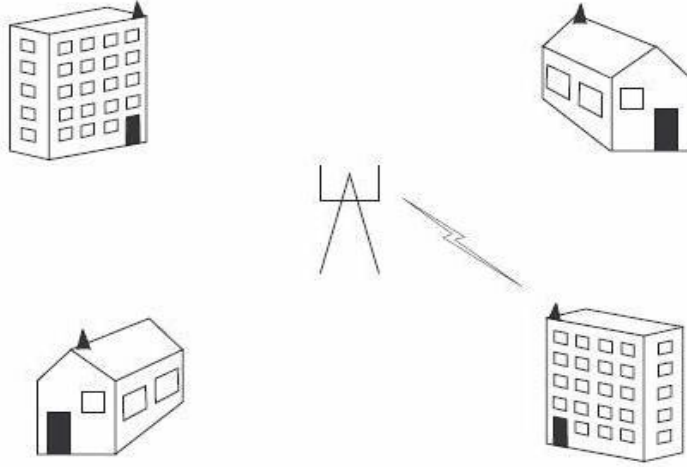
Günümüzde hala gelişim aşamasında olan bir çok kablosuz erişim teknolojileri ve standartları vardır. Bu gelişim süreci, taşınabilirlik özelliğinin genişletilmesi, veri hızı ve kullanıcı servislerini ve buna bağlı yeni nesil ağları kapsamaktadır. Bu ağ yapılarındaki değişim ve gelişim süreci, ağ mimarisinin de paralel bir şekilde değişimine neden olmaktadır.

Bu bölümde, homojen ve heterojen ağ yapıları anlatılmakta ve ağ kapsama alanı gibi konulardaki araştırmalara değinilmektedir. Buna ek olarak, orta ölçekli alan ağları (Metropolitan Area Network, MAN), yerel alan ağları (Local Area Network, LAN) ve geniş bant sabit kablosuz erişim (Broadband Fixed Wireless Access, BWFA) ağ ailesi de anlatılmaktadır.

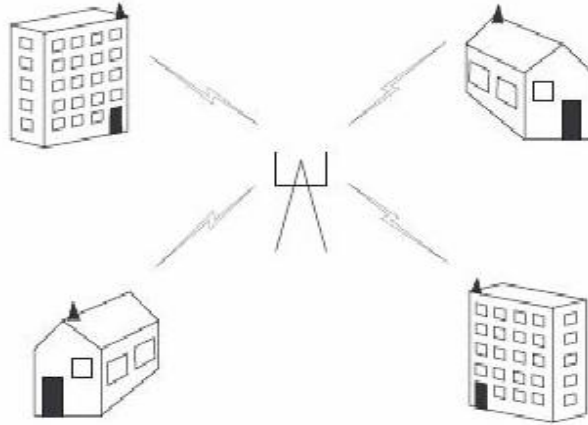
2.1 Sabit Kablosuz Erişim

Noktadan noktaya (Point to Point, PTP) sabit kablosuz erişim (Fix Wireless Access, FWA) sistemleri, kendi aralarında haberleşebilmek için bir link ile birbirine bağlanmış iki baz istasyonundan oluşur. Bu link, yüksek bant genişlikli karakteristiklere ve yönlü antenlere sahiptir. Şekil 2.1 bir PTP konfigürasyonunu göstermektedir (Trinkwon, 1996). PTP sistemleri genellikle uzak noktalardan merkeze veri aktarımı amacıyla (backhaul olarak) kullanılır.

Noktadan çoklu noktaya (Point to Multi Point, PMP) sistemler ise, daha güçlü baz istasyonları ve daha küçük abone istasyonları olan bir erişim ağıdır. Kullanıcılar, sadece kullanıcı donanımlarını yükleyerek ağa hızlıca erişebilirler. Burada abone istasyonu (Subscriber Station, SS), baz istasyonu (Base Station, BS) çok yönlü olduğundan ya da çok yönlü anten gruplarına sahip olduğundan yönlü antenlerden baz istasyonuna doğru yerleştirilir. Şekil 2.2’de, geniş bant hizmeti veren genel bir PMP konfigürasyonu verilmektedir (Trinkwon, 1996).

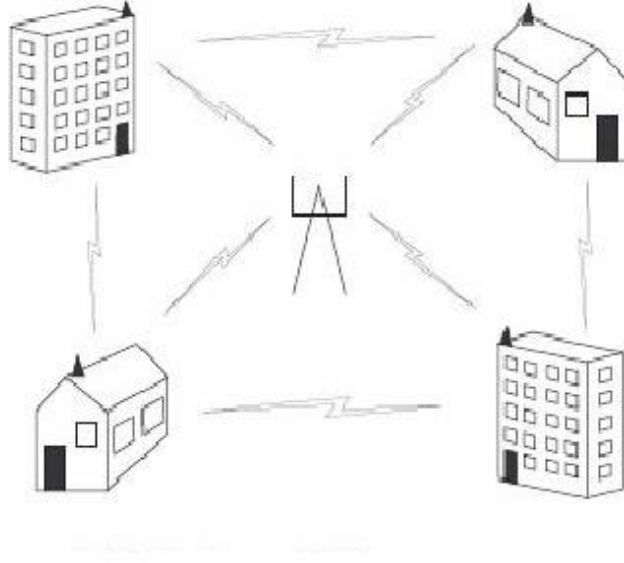


Şekil 2.1 Noktadan noktaya sabit kablosuz erişim



Şekil 2.2 Noktadan çoklu noktaya sabit kablosuz erişim

Çoklu noktadan çoklu noktaya olarak bilinen hücresel ağ yapısında ise merkezde bir baz istasyonu yoktur (Trinkwon, 1996). Şekil 2.3'te verildiği gibi bu ağ yapısında daha çok kullanıcının vericisi ağ yapısına katıldığı için, hizmet verilen alan genişler. Bununla beraber, bu mimari yapı, yönlendirme, servis kalitesi (Quality of Service, QoS) gibi konularda ve ağ içinde düğümlere erişirken karmaşıklığa sebep olur.



Şekil 2.3 Hücresel sabit kablosuz erişim

FWA sistemleri, görüş alanı (Line of Sight, LOS) ya da görüş alanı harici (Non Line of Sight, NLOS) gibi iletim yetenekleri açısından karakterize edilir. LOS sistemleri genellikle, radyo dalgacıklarının tanecik yapılarının iletiminin yansıma ve engellemeye karşı daha hassas bir şekilde gerçekleştirildiği 20 GHz üzeri frekanslarda çalışır.

Tüm kablosuz haberleşme sistemleri gibi, FWA da radyo dalgaları üzerindeki çevresel etkileri düşünmek zorundadır. FWA çoğunlukla MAN'da ya da daha küçük bölgelerde koordinasyonu sağladığı için; işarete dair örtüşme, sönümlenme, çoklu yol yayılımı, gürültü, yol kaybı ve diğer pek çok sorun ve bu sorunlarla baş edebilmek için geliştirilmiş pek çok yöntem vardır.

Bu yöntemlerden biri olan modülasyon teknikleri (Schiller, 2003), veri hızını servis kalitesinin gerektirdiği ihtiyaçlara göre (işaretteki kaybın miktarına göre) uydurmak amacıyla kullanılır. 64QAM gibi her sembolü 6 bitle kodlayan daha yüksek modülasyon teknikleri, yüksek bit hızı için kullanılır fakat her sembol için öncekinden daha çok bit kullanıldığından, bu teknik aynı zamanda girişimden daha çok etkilenir. Bu problem, 16QAM gibi daha düşük bir modülasyon tekniği ile giderilebilir.

Ağ performansı çıkarılırken, ağ üzerinde gönderilen veya alınan paketlerin toplam

büyüküğünün zamana oranı dikkate alınır. Bu oran hesaplanırken sıkıştırılmamış veri büyükükleri dikkate alınır. Bu yüzden örneğin 56k'lık bir hat üzerinde 56k'dan daha fazla bir işlem hacmi görülebilir. Burada byte, bit veya paket büyüküğü cinsinden işlem hacmi ölçümleri en yaygın olanlarıdır. Bu aşamada, kötü bağlantılardaki servis kalitesini arttırmak için hata düzeltme algoritması (Forward Error Correction, FEC) yöntemi uygulanabilir. Bu yöntem, iletilen veriye küçük bir parça daha ekleyerek bozulmaya uğramış verinin doğru paketlerle tamamlanmasına olanak sağlar. Buna rağmen bu küçük veri, bağlantı hızında küçük de olsa bir örtüşme yaratır, ancak yine de bu veri, kötü bir işaret linkine tercih edilebilir.

Girişim, kanalın farklı frekanslara ayrıldığı frekans bölmeli çoğullama (Frequency Division Duplex, FDD) ya da farklı zaman dilimlerine ayrıldığı zaman bölmeli çoğullama (Time Division Duplex, TDD) gibi frekans çoğullama teknikleri ile de azaltılabilir.

BFWA sistemlerinin gelişimi, bu sistemleri yeni nesil ağlarda kullanmaya elverişli kılar. IEEE'nin 802.16 standardında belirtildiği gibi, BFWA'ya kablosuz ağ açısından bakıldığında, başlangıçta sabit uç noktalar (IEEE Std. 802.16, 2004) için tasarlanmış olmasına rağmen, hareketli taşınabilirliği ve yer değiştirmeyi desteklemesi için adapte edilebileceğini görürüz (IEEE Std. 802.16e/D9, 2005).

2.2 Ağ Kapsama Alanı

Kapsama alanı ve iletim ağının konuşlandırılmasının dikkate alındığı bu bölüm, farklı kapsama alanına sahip ağ yapılarının bu çalışma ile ilişkisini ele almaktadır.

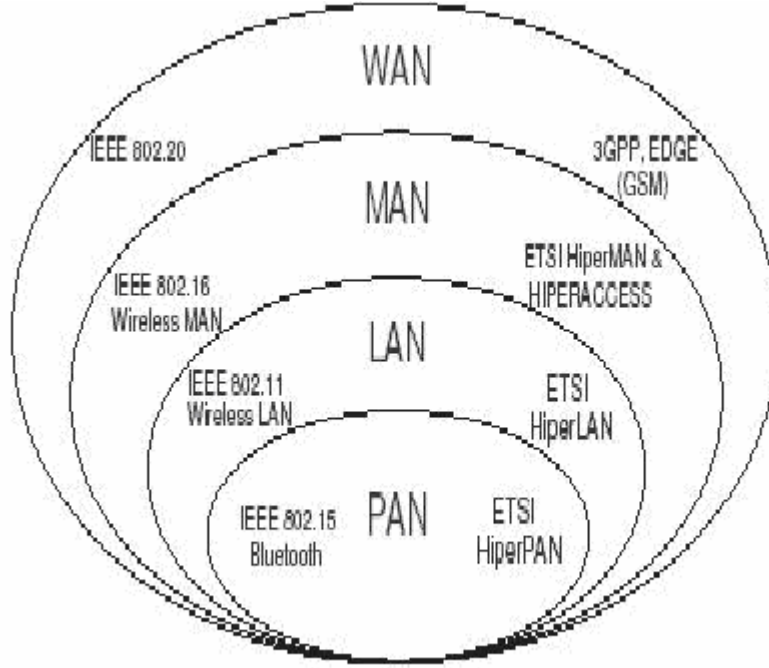
Yüksek hızlı altyapıya sahip olan MAN'lar, genellikle bir şehre ya da kasabaya fiber kablolarla ya da yönlendiricilerle hizmet sağlayan LAN'lara backbone olarak destek veren veri ağıdır.

LAN'lar ise bir bina veya binalar grubunu örtmek için inşa edilen daha küçük ölçekli ağlardır. En yaygın LAN teknolojisi, Ethernet veya ağ erişimi için ağ hizmet sağlayıcı (Internet Service Provider, ISP) olarak kullanılan IEEE Standardı 802.3'tür (IEEE Std. 802.3, 2008).

LAN'a bir tamamlayıcı olarak, WLAN'lar bir ortak görüş haline gelmiştir. Bu ağ yapısı, LAN ile aynı ölçekte olmasına rağmen, kablo yerine, kullanıcının yer değiştirmesi ve kablo yerleştirmesi olmadan ağa erişimi sağlayan radyo dalgasını

kullanmaktadır. Böylece radyo iletişiminden kaynaklanan kayıplar da önlenmektedir.

IEEE standardı 802.11, 802.11'in farklı kısımlarına dayanan bir radyo teknolojisi olan Wi-Fi'ye referans olarak gösterilmektedir ve genellikle WLAN'a özgü geliştirmeler yapmaktadır (IEEE Std. 802.11, 2008). Bu standardın getirdiği yenilikler, Wi-Fi birliği tarafından onaylanmaktadır (Wi-Fi Alliance, 2008). Şekil 2.4, IEEE'nin kapsama alanına ilişkin farklı ağ yapılarını göstermektedir.



Şekil 2.4 Farklı ağ kapsama alanları

2.3 Veri Değişimi

Hareketli sistemlerde önemli bir süreç olan veri değişimi, bir hareketli istasyonun (Mobile Station, MS) farklı baz istasyonlarını (Base Station, BS) kapsayan hava ara yüzlerinde yer değiştirmesi olarak tanımlanır. Bunun gibi bir değişikliğin nedeni, bir hücrenin aşırı yüklenmesi ya da ilgili MS'in BS iletim alanı dışına çıkması olabilir (Wikipedia Handoff, 2006). MS'e bağlı BS, veri değişiminden önce hizmet eden BS olarak adlandırılırken, yeni BS hedef BS olarak adlandırılır (IEEE Std. 802.16e/D9, 2005).

Bir veri değişimi, ön kayıt evresi ve asıl veri değişimi (Kim vd., 2005) olmak üzere iki kısma ayrılabilir: Ön kayıt evresi, veri değişimi isteği ya da olası hedef BS'lerin listesi gibi bilgi mesajlarından oluşur. Bu evre süresince, MS de hedef BS olarak

kabul edilebilir. Asıl veri değişimi gerçekleştiğinde, MS, hizmet eden BS'e olan bağlantısını sonlandıracak ve hedef BS için yeni bir bağlantı kuracaktır.

Asıl veri değişimi aşamasında hizmet eden BS ve hedef BS arasında bağlantıyı kurma biçimlerine göre iki tip veri değişimi vardır: Sert ve yumuşak veri değişimi.

2.3.1 Sert Veri Değişimi

Sert veri değişiminde, MS hizmet eden BS ile iletişimi keser ve hedef BS'e doğru bir veri geçişi başlatır. MS, yeni BS'i dinleyebilmek ve ona kendi bilgilerini gönderebilmek için hedef BS'e kayıt olmak zorundadır. Bu tip bir veri değişimi, hizmet eden BS ile iletişim asıl veri değişiminden önce koparıldığı için, veri değişiminden önce bağlantıyı koparan (break-before-make (Ylianttila, 2005)) veri değişimi olarak bilinir. Sert veri değişimi de yumuşak veri değişiminin uygun olmadığı ya da uygulanamadığı durumlarda kullanılır; örneğin farklı ağlar arasındaki veri değişimleri gibi.

Sert veri değişimi, bir veri değişimini gerçekleştirmek için en sık kullanılan yoldur. Genellikle UMTS (Schiller, 2003) ve WIMAX gibi sistemlerde kullanılır (WIMAX Forum, 2005). Veri değişiminin kullanıldığı yaygın senaryolardan biri de, bir çok BS tarafından kapsanmış kalabalık şehirlerdir. Bir BS, kendi kapsama alanındaki bir hücrenin aşırı yüklendiğini anladığı anda, kendisine ait bir MS'i başka bir frekansta çalışan bir BS'e aktarmaya karar verebilir. Böyle bir durumda, veri değişimini başlatacak olan MS'e bir veri değişimi isteği yollanır. Buradaki veri değişimi, MS, hizmet eden BS ile konuşmayı kesip, frekansını değiştirerek hedef BS'e bağlandığı için sert veri değişimi olarak tanımlanır.

2.3.2 Yumuşak Veri Değişimi

Bir yumuşak veri değişimi süresince, MS, veri değişiminin ikinci aşamasına kadar her iki BS ile de bağlantısını koruduğu için bu tür bir veri değişimi, veri değişiminden sonra bağlantıyı koparan (make-before-break (Ylianttila, 2005)) veri değişimi olarak adlandırılır. Bu yöntemde, MS daima veri değişimi sırasında bağlanmaktadır (UMTS Handover, 2006). Burada MS, bir seferde birçok işareti birden alacağından (Schiller, 2003), bu işlem, veri değişimini hızlı sönümlenme, gölgelenme ve çoklu yol yayılımına karşı daha güçlü kılar. Buna rağmen, iki tane bağlantı kullanmanın,

sistemdeki aşırı yüklenmeyi ve fazlalığı arttırması, MS'in birçok kanalı tutabilmek için daha fazla sistem kaynaklarını kullanması gibi dezavantajları da vardır. Yumuşak veri değişimi sert veri değişimine göre daha karmaşık bir yapıda olmasına rağmen, daha kararlı ve daha iyi bir performans verdiği ve daha yumuşak bir geçiş sağladığı için, daha sık tercih edilmektedir. Yumuşak veri değişimi, veri değişimini, iletim kontrol protokolü (Transmission Control Protocol, TCP) gibi yüksek katman protokolleri için daha görünür hale getirir. Bu tip bir veri değişimi, UMTS sistemlerinde sıklıkla kullanılır ve 802.16e'ye de uygulanabilir (IEEE Std. 802.16e/D9, 2005).

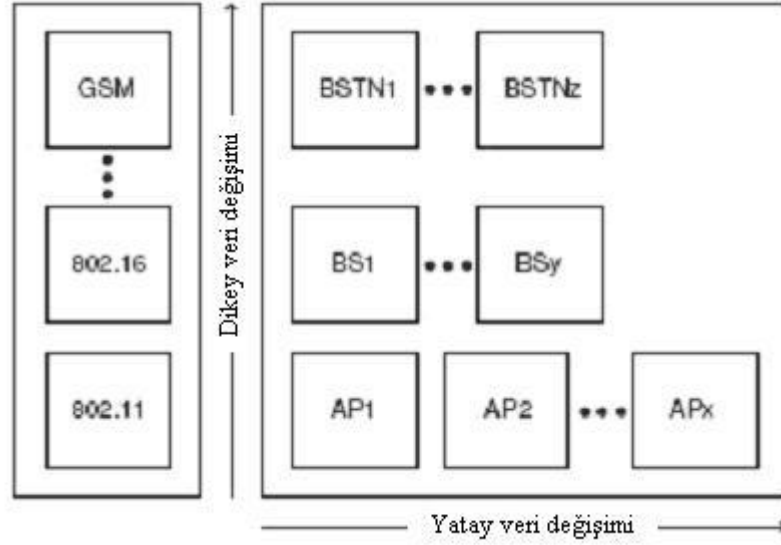
Bir MS, hizmet eden BS'i bırakırken, daha iyi bir BS bulabilmek için veri değişimi isteğinde bulunabilir. Eğer yumuşak veri değişimi kullanılıyorsa, MS, hizmet eden BS ile bağlantısını koparmadan, hedef BS ile kayıt evresine başlar. Böylece, veri değişimi boyunca, MS her iki BS'ten de işaret almaya devam eder. Yeni bağlantının kurulumu tamamen gerçekleştiğinde, hizmet eden BS ile iletişim kesilir.

2.3.3 Mimari Açıdan Veri Değişimi

Veri değişimine mimari açıdan bakarsak, yatay ve dikey olmak üzere iki çeşit veri değişimi olduğunu söyleyebiliriz.

Yatay veri değişimi, aynı ağ teknolojisine sahip baz istasyonları arasındaki veri değişimidir. Dikey veri değişimi ise, farklı ağ teknolojilerine sahip (Schiller, 2003) baz istasyonları arasındaki veri değişimidir. Yatay ve dikey veri değişimleri Şekil 2.5'te verilmektedir.

Hem yatay hem de dikey veri değişimi, sert ya da yumuşak veri değişiminin bir türü olabilir. Yumuşak veri değişimi, daha karmaşık bir yapıda olduğu ve ağdaki kullanılan cihazlar arasında daha fazla işbirliğini gerektirdiğinden yatay veri değişiminde daha çok kullanılır.



Şekil 2.5 Dikey ve yatay veri değişimi

Dikey veri değişimine dair araştırmalar, bu tip bir veri değişimi farklı ağlar arasında geçiş gerektirdiği için genellikle heterojen ağlarla ilgili araştırmalarla bağlantılıdır. Geçmişteki çalışmalar (Ylianttila, 2005), heterojen bir ağdaki dikey veri değişimine dair teknik bir model sunar. Bu model 3 temel parçadan oluşmaktadır:

- Kaynak Yönetimi: Uçtan uca servis kalitesi ve ağ kapasitesi için kullanılan kaynakları içerir.
- Taşınabilirlik Mühendisliği: Ağların nasıl entegre çalıştığını ve hangi protokolleri ortak kullandığını modeller.
- Ağ Yönetimi: Kullanıcının ağ ve kaynak erişim bilgileri ve bunların doğrulanması, yetkilendirilmesi (Authentication, Authorization and Accounting, AAA) gibi durumları yönetir.

2.4 Ağ Yerleşimi

Günümüzde birçok yeni kablosuz ağ teknolojisi geliştirilmektedir ve bu teknolojilerin her birinin özel kullanım alanları mevcuttur. Bazı sistemler, yüksek bant genişliğinde kısa iletim mesafesine sahip diğer sistemlerin aksine, uzun iletim mesafesi ve düşük bant genişliğinde iletim yapma olanağı sağlar. Sistemleri bu bakımdan karşılaştırmak, optik ya da bakır kablolarla yüksek ya da düşük veri iletimine olanak sağlar. Bütün bu teknolojiler, servis sağlarken birbirleriyle ortak çalıştığı için, heterojen bir ağ yapısı oluştururlar. Homojen ağ yapısı, çoğunlukla heterojen ağ yapısının karşıtı olarak

karşımıza çıkar. Bu bölümde homojen ve heterojen ağların içeriği detaylarıyla anlatılmaktadır.

2.4.1 Homojenlik

Homojen bir ağ yapısında, ağda yer alan bütün cihazlar aynı teknolojiyi kullanır (Computer Networks and Internets, 2006). Geniş bant kod bölmeli çoklu erişim (Wideband Code Division Multiple Access, WCDMA) tekniğine dayanan mobil telefon sistemi buna bir örnek olabilir. Ağ, sadece bu tekniği kullanan birimlerden oluşuyorsa, homojen ağ olarak tanımlanır. Bu yapıdaki bir ağ, WCDMA'dan başka bir teknoloji kullanan ağlar ile bağlantı kuramaz. Homojen ağlar, heterojen ağlara göre daha basit bir yapıya sahiptir ve daha kolay desteklenebilir.

Bu basit yapının dezavantajı ise, ağın sadece bu teknolojiyi kullanmak zorunda olmasıdır. WCDMA telefon sisteminin kullanıcıları, sadece aynı ağ içindeki üyelerle arama yapabilir. Farklı ağlar arasında bir bağlantı kurulamayacağı için, farklı ağ yapısını (mesela yerel telefon ağını) kullanan kullanıcılarla görüşemez. Bu yüzden de, bu farklı ağ yapıları birbirlerine heterojen ağ yardımıyla bağlanır.

2.4.2 Heterojenlik

Farklı teknolojileri kullanan homojen ağ yapıları bir araya gelerek heterojen ağ yapısını oluşturur (Ylianttila, 2005). Günümüz toplumunda heterojen ağ yapılarının birçok örneği vardır. Birçok binadan oluşan bir şirket, yerel ağ servis sağlayıcı (Internet Service Provider, ISP) tarafından sunulan fiber kablolarla ağa bağlanır. Farklı katlardan ofislere bağlanabilmek için, her şirket bir çift kablo ve Ethernet kullanır. Ofis içinde ise, her biri ağa ve internete erişebilmek için 802.11'i kullanır. Bazı çalışanlar, kişisel yardımcı (Personal Digital Assistant, PDA) bağlantılarını ve takvimlerini bilgisayar ile uyumlu hale getirebilmek için Bluetooth teknolojisini kullanır. Bütün bu farklı teknolojiler, şirketin ağ yapısına bağlı küçük ağ yapıları sayesinde heterojen bir ağ yapısı oluşturur.

Bazen çok farklı teknolojiler birbirleriyle iç içe çalışmak zorunda kaldığı için, heterojen bir ağda mimari yapı daha karmaşıktır. Bu karmaşıklık hem donanımsal hem de yazılımsal bir karmaşıklıktır. Farklı iki teknolojiye aynı anda bağlanabilmek için, ağda kullanılan bazı cihazlar bu iki teknolojiyi de, hem donanımsal hem de

yazılımsal olarak desteklemek zorundadır.

Farklı ağ yapıları, genellikle farklı tiplerdeki servis kalitelerini desteklediğinden, bu onları birbirlerine bağlarken zorluklara yol açabilir (Ylianttila, 2005). Eğer bir ağ yapısı, müşterilerine gerçek zamanlı servisler sunuyorsa, gerçek zamanlı uygulamaları desteklemeyen bir ağdan kaynaklı veri gecikmesi olabileceği için, müşterilerine her zaman gerçek zamanlı veri doğrulayacağını garanti edemez. Bunun bir anlamı da uçtan uca servis kalitesini sağlayamaması demektir. Birçok zorluğuna rağmen, heterojen ağlar, kullanıcılarını tek bir teknolojiye bağlı olmak zorunda bırakmadıkları ve farklı uygulama ve servisleri aynı ağ içerisinde sunabildiği için daha esnek bir ağ yapısı olarak kabul edilir.

3. WIMAX

Devre anahtarlama yapıdan oluşan mobil iletişim, servis kalitesini sağlamada ve paket kaybını önlemede oldukça yavaş bir gelişim süreci geçirmiştir. Haberleşme sektörü, 100 bps veri hızına olanak sağlayan 3. nesil (3 Generation, 3G) ağ yapısı ile 3G Ortaklık Projesi (3G Partnership Project, 3GPP)'nin 4. nesil (4 Generation, 4G) standardı olarak bilinen uzun vadeli evriminin (Long Term Evolution, LTE) vazgeçilmez bir parçası olmuştur (Duffy, 2005). Bundan önce 3G ağları, yüksek hızlı paket verisi akışı (High Speed Downlink Packet Access, HSDPA) yapısıyla sadece 14 Mbps veri hızını sağlayabilmiştir.

IEEE ve IETF ağ protokol (Internet Protocol, IP) teknolojisi ile beraber 802.11 standardı ile yüksek hızlı ağlar, 802.16 ile geniş bantlı kablosuz erişim, 802.21 ile tüm mobil standartlar ve 802.20 arasındaki uyum sağlanmıştır.

IEEE'nin 802.16 standardına dayanan WIMAX, yüksek veri hızı ve servis kalitesinin yanı sıra kablosuz haberleşen bilgisayar ağlarını iyileştirmeyi ve ağdaki son kullanıcı (last mile) için çözüm sağlamayı hedefler. Başlangıçta taşınabilirlik amacıyla tasarlanmamış olmasına rağmen, standart kendini bu amaçla 802.16e adı altında geliştirmeye başlamıştır. Öyle ki, 802.16e standardı, hareketli araçlarda taşınabilirlik ihtiyaçlarını sağlamak ve farklı servis kalitesindeki ağlar arasındaki haberleşmeyi sağlayabilmek amacıyla geliştirilmeye devam edilmektedir.

802.16e standardı, 3G ve kablosuz yerel alan ağı (Wireless LAN, WLAN) teknolojisi arasındaki boşluğu doldurmayı hedeflemektedir. Bunu yaparken de, hücreli ağların yüksek servis kalitesiyle, IP teknolojisinin esneklik ve ölçeklenebilirliğini birleştirme yolunu seçmektedir.

WIMAX teknolojisi, son kullanıcı problemlerini çözmek, uzun mesafeli yer değiştirmeleri, taşınabilirliği ve orta ölçekli bir alandaki hareketli kablosuz bağlantıları sağlamak amacıyla geliştirilen bir BFWA sistemidir.

IEEE 802.16 çalışma grubu, orta ölçekteki alanlar için geniş bant kablosuz erişim teknolojisini standartlaştırmak için fiziksel katman (The Physical, PHY) ve MAC-katmanı üzerinde çalışmalarını sürdürmektedir. Bu standart, PHY ve MAC-katmanını geliştirerek uçtan uca mimari yapıyı kapsamak amacıyla, WIMAX Forum grubu tarafından yaratılmıştır. Bu grup, kablosuz geniş bant kullanımını ve uyumunu küresel

hale getirmeyi amaçlamaktadır. Bu yüzden WIMAX bir standart değil, 802.16 protokol kümesinin belgelendirmesini yapan endüstriyel bir organizasyondur.

WIMAX, hala 802.16 standardı altında gelişme sürecinde olduğundan, araştırma ve incelemeye açık bir konudur. WIMAX, onu yaratanların ve marketin ihtiyacını karşılayabilecek midir? Bunu yaparken ne gibi düzenlemelere ihtiyaç duyulacaktır? Bu bölüm, WIMAX'taki taşınabilirlik ve IEEE'nin 802.16 standardı üzerine yapılan bir yönlendirme niteliğindedir. Bu yönlendirme, diğer teknolojilerle yapılan karşılaştırma neticesinde yapılmaktadır.

Farklı cihazların kullanıldığı bir ağdaki taşınabilirlik yeteneği, uç kullanıcılar açısından oldukça önemli bir gereksinimdir. Öyle ki, hareketli araçlarda kullanılan acil durum servisleri, veri paketleri ile beraber ses ve görüntüyü de taşıyabilmek için bu taşınabilirlik özelliğinden yararlanır. Bu amaçla, farklı teknolojiler arasında taşınabilirlik özelliklerini sağlamak için tam taşınabilirlik gibi özelliklerin geliştirilmiş olması beklenir.

WIMAX'ın taşınabilirlik yeteneği nedir ve bu taşınabilirlik WIMAX ağı ile diğer teknolojilerin kullandığı ağlar arasında nasıl bir değişim süreci yaşamaktadır? WIMAX, ağ içinde taşınabilirliği nasıl sağlar; bu taşınabilirlik, günümüz teknolojileri ile karşılaştırıldığında ne durumdadır? Bu sorular, hem bir WIMAX ağı için, hem de WIMAX ve diğer ağlar arasındaki uyumu sağlayabilmek için ağdaki bileşenler üzerinde yoğunlaşmayı gerekli kılmıştır.

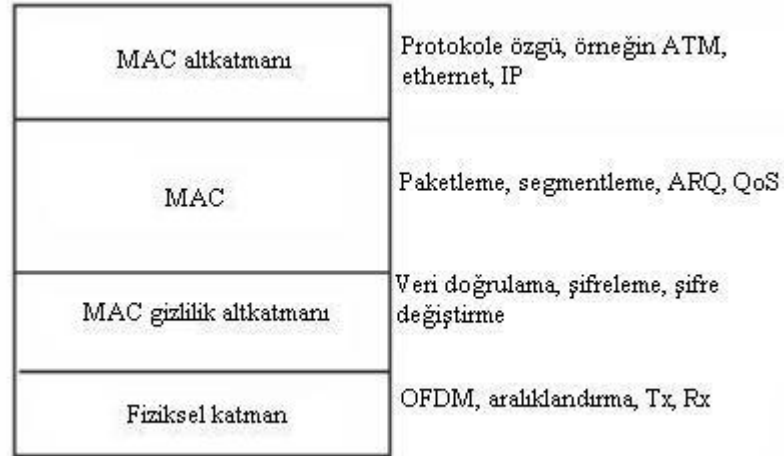
Bu bölüm, WIMAX teknolojisini ve ağ yapısını homojen ve heterojen taşınabilirlik açısından açıklamayı amaçlamaktadır.

3.1 802.16 Protokol Kümesi

WIMAX teknolojisinin temeli bir IEEE standardı olan 802.16'ya dayanır. Başlangıçta bir BFWA sistemi gibi düşünülmüş olsa da, 802.16 teknolojisi, PMP ağ yapılarında kablosuz ve kablolu sistemler arası geçişi ve farklı tiplerdeki taşınabilirliği sağlama amacını taşımaktadır. Şu an aktif standart olarak kullanılan 802.16-2004 (IEEE Std. 802.16, 2004), karmaşık kurulumları sağlamak ve 70 Mbps ya da 2-10 Mbps/kullanıcı hızıyla 10 Km² (Bienaim, 2005) kapsama alanı sağlamak için bant genişliği geliştirmeleri üzerinde çalışmaktadır. Bu kapsama alanı 50 Km olarak hedeflenmiş, ancak bu hedef teoride kalmıştır.

Yapılmakta olan taşınabilirlik değişiklikleri, 802.16e standardı adı altında, hareketli araçlar içinde yer değiştirmelere destek vermektedir (IEEE Std. 802.16e/D9, 2005). Burada, 5 Km²'lik bir kapsama alanında, veri hızı taşınabilir kullanıcı için 2-3 Mbps/kullanıcı olarak, hareketli kullanıcı içinse 1-2 Mbps/kullanıcı olarak hedeflenmiştir (Bienaim, 2005).

Şekil 3.1, 802.16 standardının kapsama alanlarını (katmanları) ve Ekler Bölümü de MAC-katmanına dair ayrıntıları anlatmaktadır. 802.16 standardı başlangıçta, yüksek kapasiteli fakat kayıplı sistemler için, 10-66 GHz frekans aralığında çalışabilecek şekilde geliştirilmiş olmasına rağmen, üzerinde yapılan değişiklik ve geliştirmelerle, 2-11 GHz'lik çalışma frekansını ve farklı fiziksel katmanları destekler duruma gelmiştir. Dik frekans bölmeli çoğullama (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) (Schiller, 2003) bu desteklenen fiziksel katmanları kullanan teknolojilerden biridir ve tekli taşıyıcı ve kod bölmeli çoklu erişim (Code Division Multiple Access, CDMA)'e göre daha iyi bir NLOS performansı sunmaktadır. 256 taşıyıcılı OFDM formatı, 2004 yılında WIMAX forum grubu tarafından, standardın yeni hali olarak seçilmiştir.



Şekil 3.1 IEEE 802.16 standardının katmanları

Halen geliştirilmekte olan 802.16e standardı, bir taşıyıcı kümesini özel kullanıcılara atayabilen OFDM'in bir çeşidi olan dikey frekans bölmeli çoğullama (Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA) (Sanders, 2005)'yı kullanmaktadır. Standardın bu kısmı, değişikliği 2007 itibari ile kullanacak olan ağ şirketlerinin de onayı alınarak, 2005 yılının son çeyreğinde onaylanmıştır (Fielbrandt, 2005).

MAC-katmanı, IP, ATM ve girişim sırasındaki Ethernet trafiğini desteklemek

amacıyla yaratılmıştır (Schiller, 2003). MAC-katmanında servis kalitesinin beş aşaması vardır: Sabit bit hızı sunumu, gerçek zamanlı gecikme, geliştirilmiş gerçek zamanlı gecikme, gerçek zamanlı olmayan gecikme, en iyi performans.

Burada, MS'ten BS'e doğru ya da BS'ten MS'e doğru gerçekleşen veri akışı, kaynakları dinamik bir şekilde tutabilir ve TDD ve tam/yarı FDD'yi destekleyebilir.

MAC veri paketi birimleri (Packet Data Units, PDU), segmentasyonu desteklemek için farklı uzunluklarda olabilir. Bu sayede, ağ içerisindeki MAC-katmanı, servis veri birimlerine (Service Data Units, SDU) kolayca erişir ve başlık dosyalarındaki adres ve paket tipi gibi bilgiler kaydedilmiş olur. Bütün bunlar, paket büyüklüğü değişirken, bant genişliğinin daha verimli kullanılmasını ve servis kalitesinin gereksinimlerini karşılamada kolaylık sağlar. Gereksiz başlık bilgileri, paket başlık bilgileri sıkıştırma tekniği (Package Header Suppression, PHS) kullanılarak da ihmal edilebilir (IEEE Std. 802.16, 2004).

Çizelge 3.1 802.16 Standart kümesi

802.16	2001 yılında onaylanmıştır. 10-66 GHz frekansında çalışan çekirdek sistemler için.
802.16a	Ocak 2003 yılında onaylandı. 11 GHz ve altındaki frekanslarda çalışan sistemler için.
802.16-2004	Haziran 2003 yılında onaylanmıştır. 802.16d olarak da bilinir ve 802.16a ve WIMAX Forum prosedürlerini ve profil dosyalarını içerir.
802.16e	2005 yılında onaylanmıştır. 802.16 baz istasyonları arasındaki yer değiştirme ve cihaz aktarım fonksiyonlarını desteklemektedir.
802.16f/g	Ağ yönetimini, etkin veri değişimini ve geliştirilmiş servis kalitesini sağlamaktadır.

Terminaller, bir istek ya da karşı tarafa sunulan çizelge içinde kendi ihtiyaçlarının gerektirdiği servis kalitesi isteminde bulunurlar. Burada, baz istasyonunun kullanıcı ya da servis için, dinamik olarak tuttuğu bant genişliği önemli bir faktördür. MAC-katmanı üzerindeki veri trafiği, 802.11'deki gibi rekabete dayanmak yerine, zamana göre listelenir. Bununla beraber, hedefleme ve kesinleşmiş bant genişliği istekleri,

sistemin esnekliğini arttırmak ve gecikmeyi azaltmak amacıyla yapılan tartışmalar üzerinden iletilebilir.

MAC-katmanı ayrıca, MAC PDU'larının şifrlenmesini sağlayan doğrulama ve şifre değişimlerinin yapıldığı gizlilik alt katmanına sahiptir. 802.16 standardı, geliştirmelerle farklı kullanıcılara hizmet eder hale gelmiştir. Çizelge 3.1, 802.16 standardının bazı çeşitlerini içermektedir.

3.2 802.16e Standardı

802.16e standardının resmi olarak onaylanması, Ekim 2005 olarak planlanmasına rağmen 2005 yılının sonlarına doğru gerçekleşmiştir. Bu standart, abone istasyonlarının WIMAX baz istasyonları arasında yer değiştirmesini ele almaktadır. Mevcut taslak (IEEE Std. 802.16e/D9, 2005), genişletilmiş gerçek zamanlı havuz hizmeti (extended real time Polling Service, ertPS) olarak adlandırılan yeni bir hizmet eklemektedir. Bu hizmet, talep edilmemiş hizmetler (Unsolicited Grant Service, UGS) ve gerçek zamanlı havuz hizmeti (real time Polling Service, rtPS)'nin etkinliklerini birleştirerek, UGS gibi istenmeyen bant genişliklerine sebep olmasına rağmen, rtPS gibi dinamik bir boyut kullanımına izin vermektedir. Bu da, internet protokolü üzerinden ses iletimi (Voice over IP, VoIP) yaparken gürültüyü bastırmak için gerekli olan gerçek zamanlı ve değişken veri paketli servis akışını desteklemektedir.

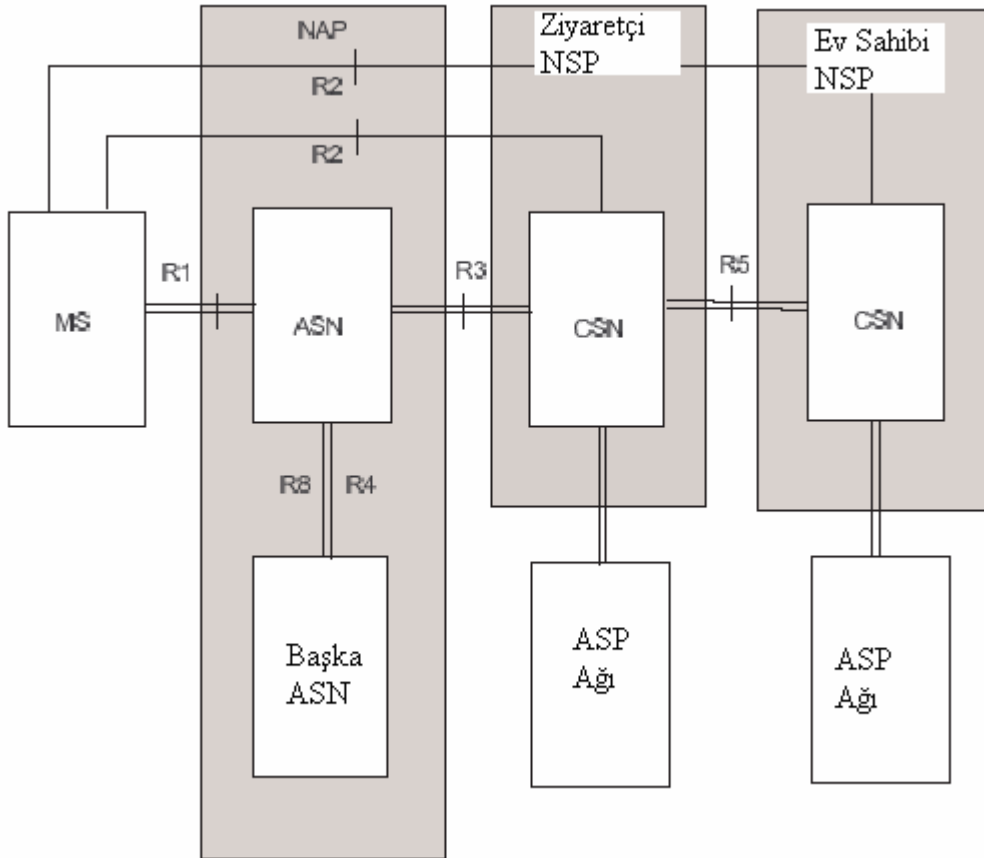
Taslak, 2004 yılındaki 802.16 standardında açıklık kazanamamış bazı değerleri tanımlamaktadır ve sleep/idle modundaki hareketli abone istasyonları için, anons bildirme, konum bildirme, güç tasarrufu ve veri değişimi işlemleri için gerekli mesajların tanımlandığı MAC-desteğini eklemektedir. Özelleştirilmiş bir veri değişimi işleminin yanı sıra, taslak aynı zamanda iki tane isteğe bağlı modu ekler: Yumuşak veri değişimi ve hızlı baz istasyonu anahtarlama. Böylece yakın çevreyi tanıma ve topoloji reklamları gibi prosedürleri de belirlemiş olur.

802.16e standardının rahatsız edici bir yanı ise fiziksel profiller konusudur. Eğer standart, sabit OFDM 256 hızlı Fourier dönüşümü (Fast Fourier Transform, FFT) yerine ölçeklenebilir OFDMA'yi kullanmış olsaydı, baz istasyonlarının, hareketli ve sabit aboneler için gereksinim duyduğu donanımsal değişiklikleri sağlayabilmek için bir olanak olurdu. Yine de, bazı satıcı firmalar, 802.16e'ye dair yazılımsal yükseltmeleri destekleyeceğini taahhüt etmektedir. Fakat operatörler tarafından,

pahalı yükseltmeleri azaltmak için yapılan geliştirmeler, sabit ve hareketli WIMAX (The Register Wireless Watch, 2006) arasındaki uyumsuzluğu arttırabilir.

3.3 WIMAX Ağ Mimarisi

IEEE 802.16 standardının getirdiği PHY ve MAC-katmanı kısıtlamasıyla, WIMAX Forum grubu, erişim/çekirdek sistemlerine ve fonksiyonlarına özgü uçtan uca ağ mimarisini (WIMAX Forum, 2005) geliştirmeye başlamıştır. Bu çalışma, bir ağın WIMAX abone istasyonuna, hareketlilik, güvenlik, girişim, veri doğrulama gibi konularda nasıl destek vereceğine dair prosedür ve protokolleri içermektedir. Böyle bir ağ yapısı Şekil 3.2’de sunulmaktadır. Bu ağ yapısı, MS’leri, erişim hizmet ağı (Access Service Network, ASN) ve bağlantı hizmet ağı (Connectivity Service Network, CSN) gibi kendine özgü yapıları içermektedir. Bu örnek yapı aynı zamanda farklı elemanlar arasındaki ara yüzleri içerir. Bu ara yüzler, prosedür ve protokolleri tanımladığı gibi elemanlar arasındaki linklere fizikselden ziyade mantıksal hizmet verir.



Şekil 3.2 WIMAX ağ referans modeli

3.3.1 Erişim Hizmet Ağı

ASN, bir coğrafi bölgeye WIMAX kablosuz erişimini sağlayan bir ya da daha fazla ASN Gateway'nden oluşur. Bir ASN, numaralandırma, konumlandırma, telsiz kaynak idaresi (Radio Resource Management, RRM) ve baz istasyonları arasındaki taşınabilirlik gibi MAC erişim fonksiyonlarının yönetiminden sorumludur.

Böylece ASN, sadece WIMAX telsiz bağlantısının yönetimini sağlamış olur, CSN'a ait yüksek düzeydeki yönetimleri yapmaz. ASN aynı zamanda proxy olarak da kullanılabilir. Bu durumda da Prox hareketli ağ protokolü (Proxy Mobile IP, MIP) adını alır.

ASN, ağ erişim sağlayıcı (Network Access Provider, NAP) olarak adlandırılan bir şirket tarafından yayımlanmıştır. Bu ağ erişim sunucusu, SS/MS'i WIMAX telsiz ağına; CSN'i yöneten kullanıcıları da ağ servis sunucusu (Network Service Providers, NSP)'na bağlayabilmek için L2 bağlantısını sağlar. Burada ASN Gatewayleri, ASN ve CSN arasında ara bağlantıyı sağlayan yapılardır.

Erişim ağının bağlantı ağından bu şekilde mantıksal olarak ayrılması, bireysel erişim ağlarının gelişimine olanak sağlamaktadır. Bu, örneğin bir çok NAP'ın birlikte çalışmak zorunda olduğu ve birbirleri ile ya da farklı NSP'lerle yer değiştirme yapıldığı durumda büyük fayda sağlar.

3.3.2 Bağlantı Hizmet Ağı

CSN, WIMAX abone istasyonlarına IP bağlantısını sağlayan bir ağ fonksiyonları kümesidir. CSN, ağa erişmek için Gatewayleri, AAA için yönlendiricileri, IP'leri tutmak için sunucuları ve kullanıcı veritabanını tutmak için proxy ve girişim cihazlarını yapısında bulundurur. CSN aynı zamanda kabul, erişim hakları, ASN ile konum hizmetleri ya da hukuksal hizmetler gibi özel bir WIMAX servisi arasındaki taşınabilirlik ihtiyacını da karşılar.

CSN, NSP adlı bir şirket tarafından geliştirilmiştir. WIMAX aboneleri bir sözleşme imzalayarak, servisler, servis kalitesi, bant genişliği gibi konularda NSP ile hemfikir olmuşlardır. Böylece, bu servisleri ASN üzerinden kullanabilmektedirler.

Kullanıcılar daha sonra bu ağ servis sunucularını ya da başka şirketler tarafından sağlanan ağda dolaşma hakkını kendi evinden kullanabilmektedirler. Yabancı ASN,

hem yabancı CSN'in kendi yönetim fonksiyonlarını kullanarak onları ev ağına proxy etmekte hem de ev ağı CSN'i ile doğrudan iletişim kurabilmektedir.

3.3.3 Topoloji Desteği

WIMAX teknolojisi, hem iki yönlü olarak bilinen noktadan çoklu notaya (Point to Multi Point, PMP) ağları hem de hücresel olarak adlandırılan merkezi olmayan ağ topolojisini destekler (IEEE Std. 802.16, 2004).

PMP modunda, SS'ler sadece BS'le konuştuğu ve bütün trafik BS boyunca gittiği için hücresel mod PMP'den ayrılır. Çünkü hücresel modda bütün uç noktalar birbirleriyle doğrudan iletişim kurabilir ya da başka bir SS üzerinden dolaylı olarak konuşabilirler.

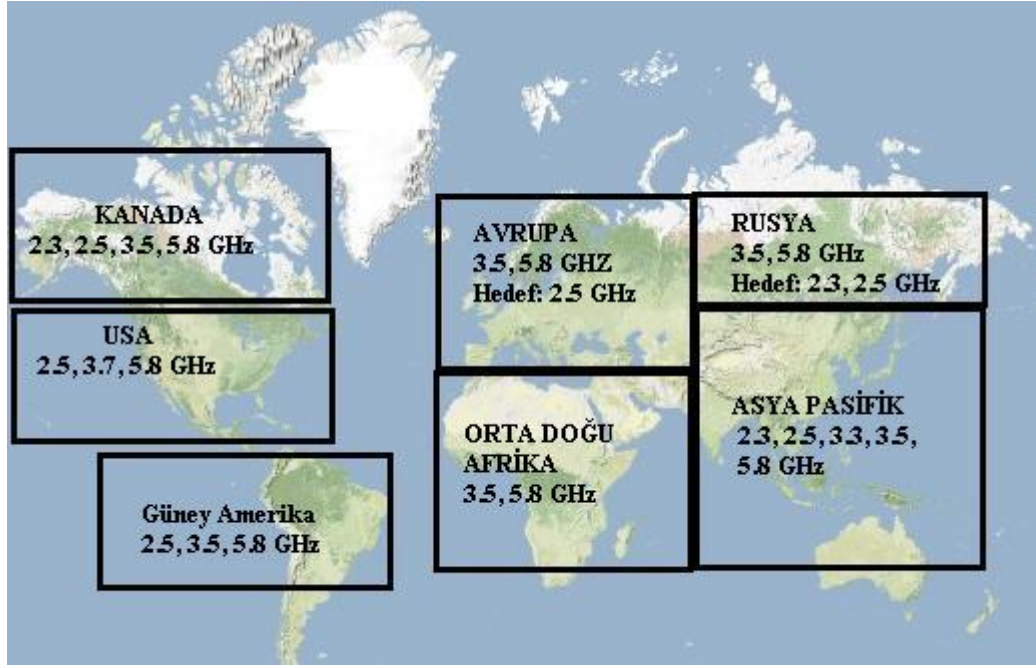
Bir backhaul bağlantısına erişebilen bir sistem hücresel BS olarak adlandırılır. Sistemin geri kalan kısmı ise hücresel SS'tir. Bir hücre, hücresel BS'e sahip olmasına rağmen diğer uç noktalarla da bağlantısını korumak zorundadır. Hücre, bunu iki yolla sağlayabilir: Dağıtılmış çizelgelemeli sistemi kullanır. Bu sistemde, Bir uç noktadan diğerine geçerken iki durak kullanır. Ya da zaman aralıklarını paylaşır ve paket çakışmasını önlemek ve kaynakları daha verimli kullanmak amacıyla birlikte çalışır.

Merkezileştirilmiş hücre yapısı, belli bir bölgede hücresel SS'lerden kaynak isteğini toplayan ve bu istekleri kendi kapasitesinde tutan hücresel BS'lere dayanır. Bu kapasite, aynı BS ile veri alışverişinde bulunan diğer hücresel SS'ler ile paylaşılır.

Hücresel modda, servis kalitesi PMP modunda olduğu gibi bağlantılarla ilişkilendirilmez. Bu işlem paket-paket yapılır. Bu yüzden de haberleşmekte olan iki hücre uç noktası arasında sadece bir tane bağlantı bulunur.

3.4 Konuşlandırma

Her ülke kendine özgü frekans aralığını kullandığı için, genel uyumlu cihazlara erişimi sağlayan frekansları seçmek kolay bir işlem değildir. WIMAX Forum grubu, bu amaçla 3.3-3.8 GHz, 2.3-2.7 GHz ve 5.75-5.85 GHz (Fielbrandt, 2005) olmak üzere üç frekans bandı belirlemiştir. Bunlardan ilk ikisi lisanslı üçüncüsü ise lisanstan muaf tutulmuştur. Birçok kıta, bu frekans aralıklarından bir ya da birkaçını kendisine uygun olarak seçmiş olup Şekil 3.3'te buna dair bilgiler sunulmaktadır.



Şekil 3.3 Uygun frekanslar, dünya haritası (Fielbrandt, 2005)

WIMAX üzerindeki çalışmalar hala gelişim sürecinde olduğundan, amaçlanan bütün yenilikler henüz hazır değildir. Çizelge 3.2 bunun için tahmin edilen zaman çizelgesini göstermektedir. WIMAX Forum grubunun ilk planı sabit ağlarla ilgili çalışmaları tamamlamak ve Wi-Fi erişim noktalarına backhaul gibi servisleri ile dahil olarak baz istasyonları ve binalar arasındaki iletimi sağlamaktır. Bu amaçla, kampüslere girişi sağlayan piconetler ve yapı içinde çalışması için tasarlanmış antenler kullanılır. Yapılan yeni geliştirmelerle, hareketli pazara, 2007'nin sonu ya da 2008'de girilmesi planlanmaktadır (Fielbrandt, 2005).

WIMAX için planlanan uygulama alanları, nüfusun az olduğu kırsal bölgeler ve daha fazla bant genişliğine ihtiyaç duyan gelişmekte olan ülkeler olarak seçilmiştir. Çünkü kırsal kesime sayısal abone hattı (Digital Subscriber Line, DSL) ya da kablo ile erişmek WIMAX ile bağlanmaktan daha zordur (WIMAX Forum, 2005). WIMAX'ın zaman içinde şehirlerdeki pahalı kablolu ağların yerini alması hedeflenmektedir.

Çizelge 3.2 WIMAX için tahmini zaman çizelgesi

Sabit	Yapı dışı ve veri aktarımı	2005
Gezici	Sabit kampüs alanı	2006
Hareketli	Hareketli alan	2007/8+

802.16-2004 hava ara yüzünü kullanan WIMAX ağları için planlanan topoloji, baz istasyonları ve bina içinde ve dışında yerleştirilmiş antenlerden oluşmaktadır. Plaza ve kampüs çevrelerindeki Wi-Fi noktalarında WIMAX'a backhaul görevi gören dış antenler kullanılmaktadır. Bu dış antenler aynı zamanda, kırsal bölgedeki binalara erişimi de sağlayarak maksimum kapsama alanı sağlamaktadır. Abonelerin yoğun olduğu şirket binalarında ise bina içi antenler kullanılmaya devam edilir.

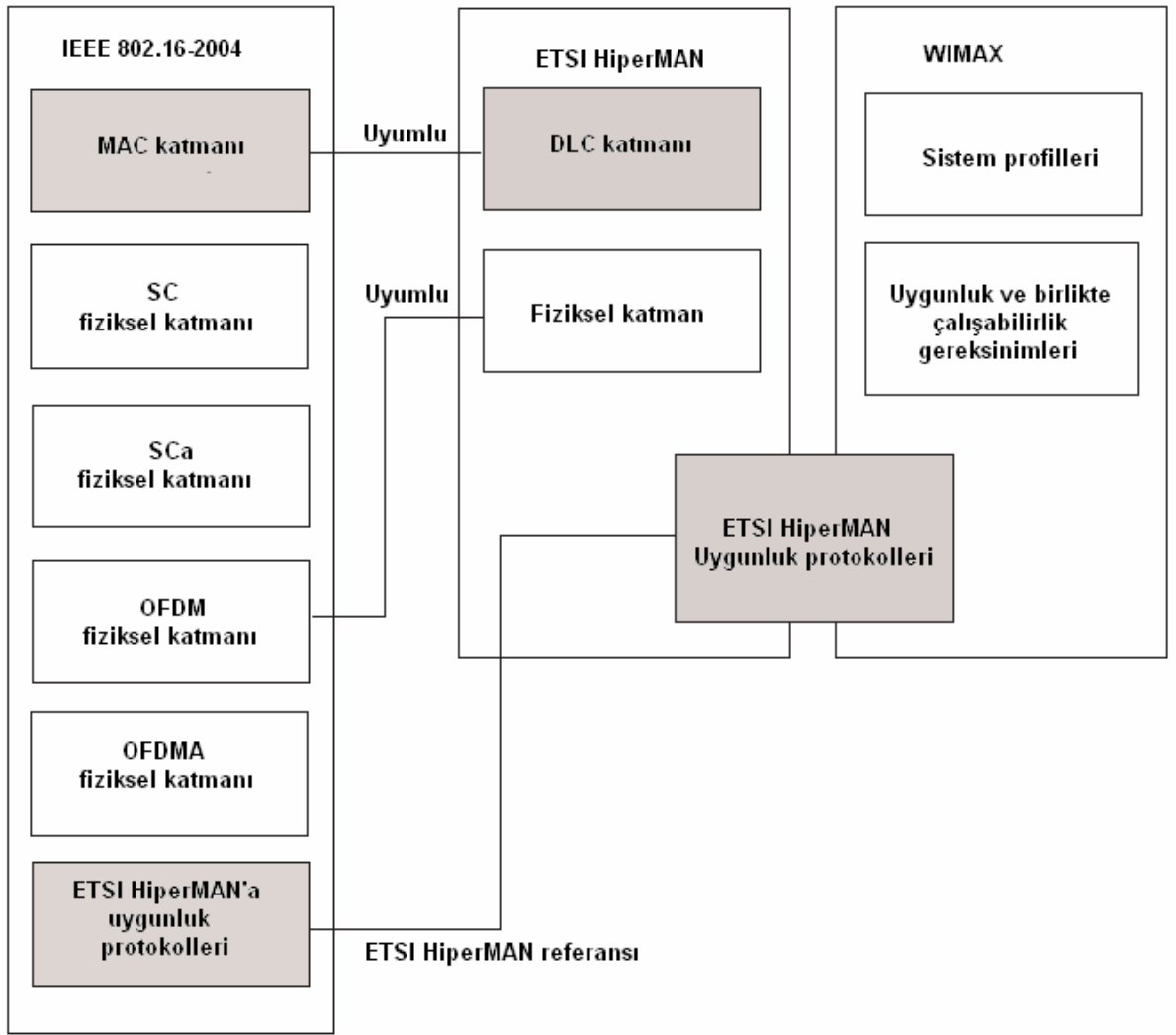
3.5 WIMAX Forum Grubu

WIMAX Forum grubu, 2001 yılında kurulmuş, 290'dan fazla üyesi olan, kar amacı gütmeyen bir organizasyondur (Fielbrandt, 2005).

Bu üyeler, standardın bir parçası olabilmek ve belgelendirmelerden yararlanabilmek için can atan büyüklü küçüklü şirketlerden oluşmaktadır. WIMAX'ın amacı, IEEE 802.16 ve ETSI Hiper-MAN standartlarına dayanan geniş bant kablosuz erişim cihazlarında birlikte çalışılabilirliği ve uyumu sağlamaktır (ETSI Webpage, 2006). Böylece, WIMAX ile uyumlu çalışabilen ürünler için bir belgelendirme süreci başlatarak bu iki standardı da birleştirmeyi amaçlamaktadır. Şekil 3.4, bu uyum sürecinde WIMAX'ın rolünü göstermektedir (Antonello, 2006).

Bu uyumluluğu sağlayabilmek için, WIMAX Forum grubu, 802.16 takımı ve şirketlerden bu iş için seçilmiş insanlar ile yakın bir çalışma sürecine girmektedir. Böylece, sistemlerin ortak çalışması, ortak ürün üretilmesi ve ortak uygulamalar yapılması sağlanmaktadır (WIMAX Forum, 2005).

WIMAX Forum grubu, ürünlerin WIMAX ile uyumluluğu üzerine yaptıkları çalışmalarını Mayıs 2005'te tamamlamış ve belgelendirme çalışmalarına Haziran 2005'te başlamıştır. Ağustos 2005 boyunca, ilk donanımsal ürün testleri gerçekleştirilmiş ve 2005 sonunda bu ürünlerin belgelendirilmesi yapılmıştır (Fielbrandt, 2005). WIMAX Forum grubu, IEEE 802.16e standardının 2005 yılının son çeyreğinde onaylanmasını ve 2006 yılının üçüncü çeyreğinde de sertifika testlerinin tamamlanmasını hedeflemiştir.



Şekil 3.4 Katman düzenlemesi ve WIMAX'ın rolü

4. HOMOJEN TAŞINABİLİRLİK

Homojen taşınabilirlik, bir MS'nin aynı teknolojiyi kullanan ağlar arasında yer değiştirmesidir. Bu bölümde, homojen taşınabilirlik, WIMAX ve 802.16e'deki yatay veri değişimi açısından incelenmektedir.

Bunun için öncelikle, 802.16e'nin temel veri değişimi mekanizması anlatılmaktadır. Bu kısım, hem veri değişimi öncesi ağ bilgilerini toplayabilmek için gerekli yöntemleri, hem de gerçek veri değişimini idare edebilmek için gerekli işlevsellikleri içermektedir. Daha sonra ise, WIMAX'ın yatay veri değişimini nasıl yönettiği anlatılmaktadır. Bu kısımda, kullanılan ağ yapısı ele alındığı gibi, ankrajlama, iç/dış ASN veri değişimi gibi terimler de açıklanmaktadır. Son olarak da, konuyla ilgili araştırmalar sunulmuştur.

4.1 Geçmişte Yapılan Çalışmalar

Homojen taşınabilirlik, heterojen taşınabilirliğe göre daha az karmaşıktır. Çünkü homojen bir ağ içinde hareket edilirken, diğer teknoloji ve sistemleri düşünmeye gerek kalmaz. Bu taşınabilirlik, sadece kendi ağını desteklediği için, yer değiştirme problemlerine ilişkin daha az karmaşık çözümler sunar. Örneğin, işaretin gürültüye oranı, (Signal to Noise Ratio, SNR) bu şekilde iyileştirilebilir. Kullanıcıların en temel beklentisi, ağ içerisinde hareket ya da seyahat ederken, ağ ile bağlantılarının kopmamasıdır. Bu ihtiyacı giderebilmek için, büyük bir çaba gösterilmektedir ve bu amaçla geliştirilen standartlara sürekli devam edilmektedir.

GSM (Global System for Mobile Communications, GSM) ve evrensel hareketli telekomünikasyon sistemi (The Universal Mobile Telecommunication System, UMTS) gibi sistemlerde, taşınabilirlik oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Hemen her insan homojen taşınabilirlik ile çalışan mobil telefon kullandığı için, kullanıcılar telefonları ile birlikte hareket ettikleri ve mevcut BS'lerinin kapsama alanı dışına çıktıkları zaman sistem bir iç sistem gibi davranarak (yatay) veri değişimini gerçekleştirir. BS'ler arasındaki bu geçişi, çoğu zaman kullanıcı hiç fark etmez. Bu da bize yatay veri değişiminin ne kadar iyi geliştirildiğini gösterir. Eğer bir sistem, veri değişimi için yeterince geliştirilmiş prosedürlere sahip değilse, kullanıcı konuşma sırasında bu veri değişiminin farkına varacak ve rahatsız olacaktır.

Paket odaklı çalışan ağlara bakarsak, taşınabilirlik bu tür ağlar için yeni bir konudur

ve servisleri olabildiğince etkin kullanabilmek için birçok çalışma yapılması gerekmektedir. IEEE bu gereksinimi, 802.16e ve 802.20 gibi kablosuz MAN hava ara yüzünü geliştirerek kapatmaya çalışmaktadır (IEEE Webpage, 2006). WIMAX Forum gibi kar amacı gütmeyen organizasyonlar, bu çalışmayı daha da ileri götürerek, ağı yüksek katmanlı mimarisini geliştirmek için öneriler sunmakta ve veri değişimi desteğini vermeye çalışmaktadır (WIMAX Forum, 2005).

Taşınabilirlik konusunda WIMAX'tan yüksek beklentiler vardır. Bu da WIMAX'ın araştırma konularının başında gelmesinin başlıca nedenidir. Bu bölümde WIMAX'ın yer değiştirme dünyasına bir açıklama sunulmaktadır: 802.16e'de belirtildiği gibi, farklı veri değişimi destekleri incelenecektir.

4.2 802.16e Veri Değişimi

802.16e standardı, WIMAX'ta kullanılan taşınabilirliğe dayanmaktadır. Bu standart, BS/MS seviyesindeki prosedür ve fonksiyonlar boyunca veri değişimini desteklemektedir. Standart, verinin nasıl toplanacağını ve bir veri değişiminin gerçekleşip gerçekleşmeyeceğine nasıl karar verileceğini açıklamaktadır. Ne zaman bir veri değişimi olması gerektiğine birkaç örnek verirsek: MS, BS'ten daha yüksek kalitede bir işaret almaya ihtiyaç duyduğunda ya da başka bir BS'ten daha iyi bir servis kalitesi alabileceği zaman veri değişimi yapabilir. Veri değişimine ilişkin daha ayrıntılı bilgi, IEEE Standardı 802.16e'den elde edilebilir (IEEE Std. 802.16e/D9, 2005).

4.2.1 Ağ Topoloji Kazancı

Bir veri değişimini gerçekleştirebilmek için, MS'in ilgili ağa ilişkin bilgiye ihtiyacı vardır. Bu bilgi, ağ topolojisi ya da yakın çevredeki BS'ler taranarak elde edilir (IEEE Std. 802.16e/D9, 2005).

Ağ topoloji mesajları, bütün BS'ler tarafından yollanan ve yakın çevredeki BS'ler ve onların kanalları hakkında bilgi içeren mesajlardır. Bu bilgiler, MS'in yeni bir BS ile uyumlu olmasını kolaylaştırır. Çünkü böyle bir durumda, MS'in hedef BS'in DCD/UCD mesajlarını dinlemesine gerek yoktur. Hizmet eden BS, yakın çevresine ilişkin gerekli bilgiyi backbonları üzerinden sağlayabilir.

MS, yine de yakın çevresindeki hedef BS'leri taramak için vakit harcayabilir. Bu

taramayı yaparken, MS, BS'i yerleştirip onun kanal kalitesini kontrol edebilir. MS, hizmet eden BS'ten zaman taramak için istekte bulunur ve isteği kabul edildiğinde taramaya başlayabilir. Zaman taraması boyunca, hizmet eden BS, MS'i tarama modunda farz eder ve MS göndereceği veriyi ara belleğinde tutarak tampon görevi görür. BS, MS tarama modundan çıkar çıkmaz, ara belleğinde tuttuğu verileri MS'e yollamaya baslar. MS, tekrar PDU'lari göndermeye başlayarak istediği zaman taramayı bitirebilir. BS, MS'ten PDU'lari almaya başladığında, onun tarama modundan çıkararak normal işlem moduna geçeceğini anlar. Aynı anda yapılan birçok tarama isteğinden kaynaklanan fazla yüklenmeyi azaltmak için, MS bir BS grubunun zamanını taramak için istekte bulunabilir. Bu durumda zamanlamalar, normal işlem süreleri baz alınarak, belli aralıklar boyunca birbirine eklenir.

Standarttaki birleştirme prosedürleri, keyfi bir özelliktir ve tarama süresince bu prosedürler de gerçekleştirilebilir. Birleştirme işleminin üç aşaması vardır: Bağlantısız tarama/birleştirme, bağlantılı birleştirme, ağ yardımıyla birleştirme. Bağlantının temel hedefi, BS'ler hakkında bilgi alabilmek ve depolayabilmek için MS'e erişebilmektir. Toplanan veriler, belli aralıklarla kayıt edilir ve böylece MS'e veri değişimi durumunda daha çabuk karar verebilmesi için yardımcı olunur.

4.2.2 Veri Değişimi İşlem Süreci

Bir veri değişimi işlem süreci, hücre seçimi, veri değişimine karar verme ve veri değişimini başlatma, BS'in downlinki için senkronizasyonu, sıralama, hizmeti sonlandırma ve veri değişiminin iptal edilmesi olmak üzere altı farklı aşamadan oluşur.

Hücre seçimi, MS'in ağda BS'ler hakkında bilgi topladığı aşamada yapılır. Toplanan bu bilgi, veri değişiminin gerçekleşip gerçekleşmeyeceği hakkında bilgi edinmeye yarar. Bu bilgi, ağ topoloji bilgileri kullanılarak ya da tarama ara bölgesi sayesinde elde edilir. Hücre seçim aşaması, bir veri değişimi ile bağlantılı olmak zorunda değildir.

Bir veri değişiminin başlaması, MS'in hizmet eden BS'ten hedef BS'e doğru göç etmesi için alınan bir karardır. Bu karar, MS tarafından da BS tarafından da başlatılabilir. Gerçek veri değişimine başlamak için, istekte bulunan parça, MS ve BS arasında gönderilmek üzere, veri değişimine özgü mesajlar dizisi gönderir (IEEE Std. 802.16e/D9, 2005).

MS, hedef BS ile iletişim kurabilmek için, kendi downlink kanallarını senkronize etmeye ihtiyaç duyar. Bu aşama boyunca MS, downlink ve uplink iletim parametrelerini alır. Eğer MS, daha önce BS hakkındaki bu bilgileri bir kez almışsa, (ağ topoloji kazancı boyunca), bu sürecin uzunluğu kısalabilir.

MS kanalla senkronize edildiği zaman, veri değişimi sıralaması yapmaya ihtiyaç duyar. Bu sıralama işlemi, aslında MS'in iletim parametrelerini doğru alıp almadığını kontrol etmek için yapılmaktadır. Zaman dengeleme ve güç aşaması buna örnektir. Hedef BS, MS hakkında ihtiyaç duyduğu bilgileri backbonundan alabilir ve elde ettiği bilgiye göre, bazı sıralama işlemleri atlanabilir.

Hizmet eden BS tarafında hizmetin sonlandırılması, veri değişimi işlemindeki son aşamadır. Hizmet eden BS, MS ile ilgili bütün bağlantılarını sonlandırır ve kendi bellek sıralarını ve sayıcılarını da temizler.

Veri değişimi süresince, MS veri değişimini iptal etme ve hizmet eden BS ile normal iletme devam etme hakkına sahiptir. Ancak MS, belli bir zaman geçtikten sonra bu iptal etme hakkını kaybeder.

4.2.3 Yumuşak Veri Değişimi ve BS'in Hızlı Anahtarlama

Yumuşak veri değişimi boyunca, MS aynı anda farklı birçok BS'i dinleyebilir ve onlarla iletişime geçebilir. Bu iletişim, BS'lerin MS'e aynı PDU'ları göndermesiyle başlar ve BS'ler böylece MS'in iletimini dinleyebilir. MS, BS'lerden aldığı farklı işaretleri birleştirerek veri değişimine başlar. BS'ler ise uplink PDU'ları alabilmek için harekete geçerler.

BS'in hızlı anahtarlama süresince, MS aktif BS'ler içinde sadece bir tanesini dinler/iletimde bulunur. MS'in dinlemeye geçtiği BS, ana BS olarak adlandırılır. MS, belli aralıklarla ana BS'i değiştirip, aktif BS kümesinden yeni bir BS seçebilir.

Her iki tip veri değişiminde de, MS veri değişimine dahil olan aktif BS'lerin bir listesini elinde tutar. Bu aktif BS'lerden her biri, MS için hedef BS olabilir.

Aktif listedeki tüm BS'ler, yumuşak veri değişimi ve hızlı BS anahtarlama desteklenmesi için birbirleri ile senkronize edilmek durumundadır. Çünkü MS, yumuşak veri değişiminde, aynı anda bütün BS'leri dinleme gereği duyar, fakat BS'ler farklı PDU'lar yollarsa, ya da farklı zamanlarda aynı PDU'ları yollarsa, MS

aldığı veriyi doğru yorumlayamaz. Hızlı BS anahtarlama durumunda ise, MS sadece bir BS'i dinlese bile, anahtarlama çerçeveden çerçeveye yapıldığından, BS'ler çerçeveleri aynı zamanda ve farklı noktalardan yollarsa, MS anahtarlama sırasında gevşek çerçeve alabilir, ya da çerçeveleri iki katına çıkartabilir.

Ne tip bir veri değişimi kullanılacağı, veri değişimi istek/yanıt mesajlarından anlaşılır. Yumuşak veri değişimi ve hızlı BS anahtarlama standartlarda isteğe bağlıdır.

4.3 WIMAX Veri Değişim Süreci

WIMAX mimari yapısı, 802.16 standardını genişleterek veri değişimi mekanizmalarını da içermeye başlamıştır. 802.16 standardı sadece baz istasyonları arasındaki veri değişimini desteklerken WIMAX, protokollere, ağ yapısında veri değişimi desteğini de sunmaktadır. WIMAX mimarisi, iç/dış ASN veri değişimi destek mekanizmasına, NSP'ler arasında yer değiştirme desteğine, mikro/makro hareket durumunda taşınabilirlik desteğine sahiptir.

Bu bölüm, WIMAX mimari yapısını ele alarak onun veri değişimi prosedürlerini, özellikle de iç/dış ASN veri değişimlerini açıklamaya çalışacaktır. Konu hakkında daha ayrıntılı bilgi, ilgili dokümanlardan elde edilebilir (WIMAX Forum, 2005).

4.3.1 Erişim Hizmet Ağı

Bir ASN ağı içinde, en az bir ASN Gateway (ASN GW) ve bir baz istasyonu vardır. BS, ASN Gateway CSN ile irtibat kurarken MS ile bağlantı kurmayı sağlar. Bir ASN Gateway, bir ya da daha fazla BS ile bağlantı kurabilir ve bir BS de bir ya da daha fazla ASN GW ile ilişki kurabilir. Bu durum Şekil 4.1'de açıklanmaktadır. ASN'in bu şekilde segmentasyonu, ASN'in farklı parçalarını üreten farklı sistem kullanıcılarına birlikte çalışabilme olanağı sağlar.

Bir BS ya da ASN GW'in veri değişimi sırasında hangi farklı rolleri aldığı Çizelge 4.1'de verilmektedir. MS'in veri değişiminden önce ilişkide bulunduğu BS, hizmet eden BS ve BS'e hizmet eden ASN GW de, hizmet eden ASN GW olarak adlandırılır. BS ve ASN GW, veri değişiminden sonra MS ile bağlantılı hale gelir ve bu durumda hedef BS ve hedef ASN GW olarak adlandırılırlar. Bağlantı ASN GW terimi, ASN GW'in, MS'in, verisini hizmet eden ASN GW'ye anahtarladığı zaman aldığı isimdir.

Çizelge 4.1 BS ve ASN GW'in rolleri

Hizmet eden BS	Veri değişiminden önce MS ile bağlantılı BS.
Hedef BS	Veri değişiminden sonra MS ile bağlantılı BS.
Hizmet eden ASN GW	Hizmet eden BS'e karşılık düşen ASN GW.
Hedef ASN GW	Hedef BS'e bağlı ASN GW.
Bağlantı ASN GW	MS'e ait CSN verisini alan ASN GW.

4.3.2 Anahtarlama

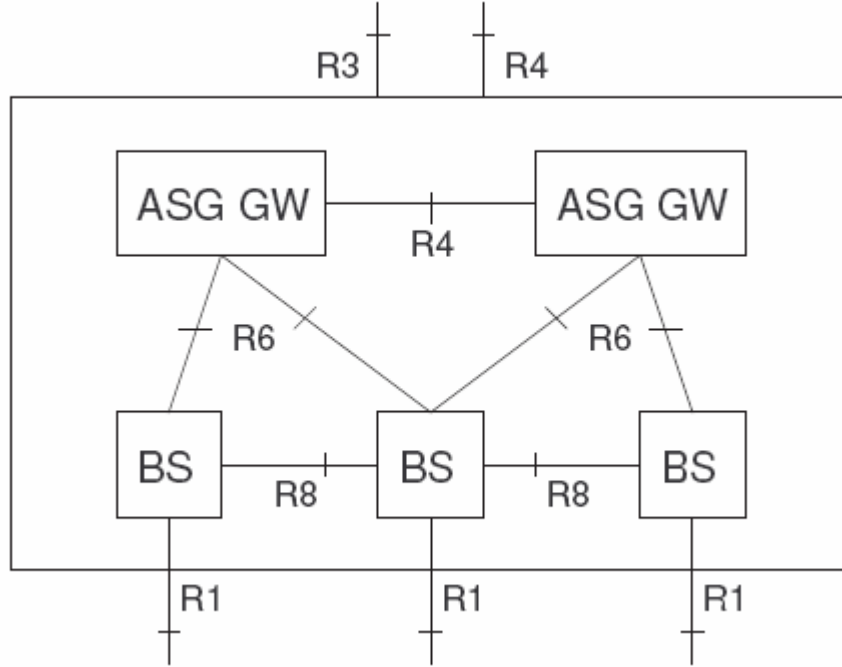
Anahtarlama yapan ASN GW, ağın ya da CSN'in MS'e yaptığı bir bağlantıdır. Gelen veri, anahtarlama yapan ASN GW'ye gönderilir ve CSN, MS'in o anki BS'inin hangi ASN GW'de bulunduğunu bilmeye gerek duymaz. Verinin, hizmet eden ASN GW'ye gönderilmesi, anahtarlama yapan ASN GW tarafından yapılır. Bu işlem, MS'in taşınabilirliğini CSN'e karşı daha şeffaf hale getirir ve IP adresinin değişimi daha az sıklıkla olur. Hizmet eden ASN GW'in veriyi ağdan direk olarak aldığı durumlarda, hizmet eden ASN GW aynı zamanda anahtarlama da yapar. Böyle bir durumda, anahtarlama yapan ASN GW'in, hizmet eden ya da hedef ASN GW olmasına gerek kalmaz.

4.3.3 ASN Referans Noktaları

ASN, MS ve ağın geri kalan kısmı ile iletişim kuran farklı ara yüzleri belirlemek için, Şekil 4.1'de görüldüğü gibi birçok referans noktası tanımlanmıştır (WIMAX Forum, 2005). Bu referans noktaları, iletişim sırasında gerekli olan protokol kümesini ve prosedürleri tanımlar. Referans noktalarının çoğu, mantıksal haritalama olmasına rağmen, örneğin R1 durumunda, farklı fiziksel cihazlardaki fonksiyonlar için, referans noktalar farklı fiziksel ara yüzlerle bakarlar.

R1 ve R3, ASN dışında; R6 ve R8 ise ASN içindeki elemanlar ile iletişim kurmaya yarayan referans noktalarıdır. R4 ara yüzü ise, ASN GW'ler arasında mantıksal bir link olduğu için, bu GW'lerin aynı ASN ya da farklı ASN'de olmalarından bağımsız

olarak, hem ASN içinde hem de ASN dışında kullanılabilir. R1 ise, hizmet eden BS ve MS arasındaki fiziksel ara yüzüdür. R3, ASN GW ve CSN arasındaki mantıksal linktir. BS-ASN GW etkileşimi R6 üzerinden sağlanırken, BS'ler boyunca iletişim, R8 tarafından sağlanır.



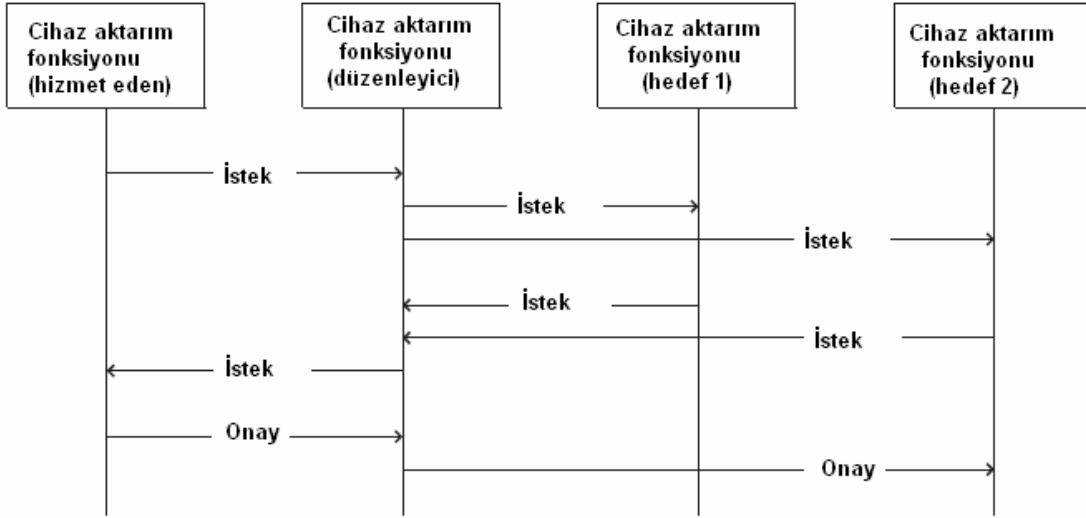
Şekil 4.1 ASN ayrışması

4.3.4 Fonksiyonel Ayrışma

MS'in hareketini yönetmek için üç fonksiyon tanımlanmıştır. Bu fonksiyonlar, veri değişimi, MS'in içeriği ve MS'e doğru giden ya da MS'ten gelen verilerle ilgilidir. Veri yolu fonksiyonu, yol kurulumu ve gerçek veri iletimi ile ilgilenir. MS'e ilişkin bilgi ve içerik, ve bunların backbonlarda değişimi içerik fonksiyonları ile yönetilir. Veri değişimi açısından en ilginç fonksiyon olan cihaz aktarım fonksiyonu (Handoff function) ise, veri değişimine ilişkin işaretleşme ve karar verme ile ilgilenir. Bütün bu fonksiyonlar, aynı amaç için çalışır ve duruma göre hizmet eden/yayan/hedef fonksiyon olarak görev yapabilirler. Bu genel bir modeldir ve WIMAX dökümanı bu fonksiyonların nerede bulunduğunu belirtmez (WIMAX Forum, 2005).

Cihaz aktarım fonksiyonu durumunda, sistem (peer to peer) mekanizması, hizmet eden cihaz aktarım fonksiyonunun veri değişimi isteğinde bulunacağını gösterir. Hedef cihaz aktarım fonksiyonu ise bu istekle ilgilenip yanıt gönderecektir. Gerekirse,

düzenleme yapan cihaz aktarım fonksiyonları bu ikisi arasında hareket eder. Cihaz aktarım fonksiyonuna dair olası bir senaryo Şekil 4.2’de verilmektedir.



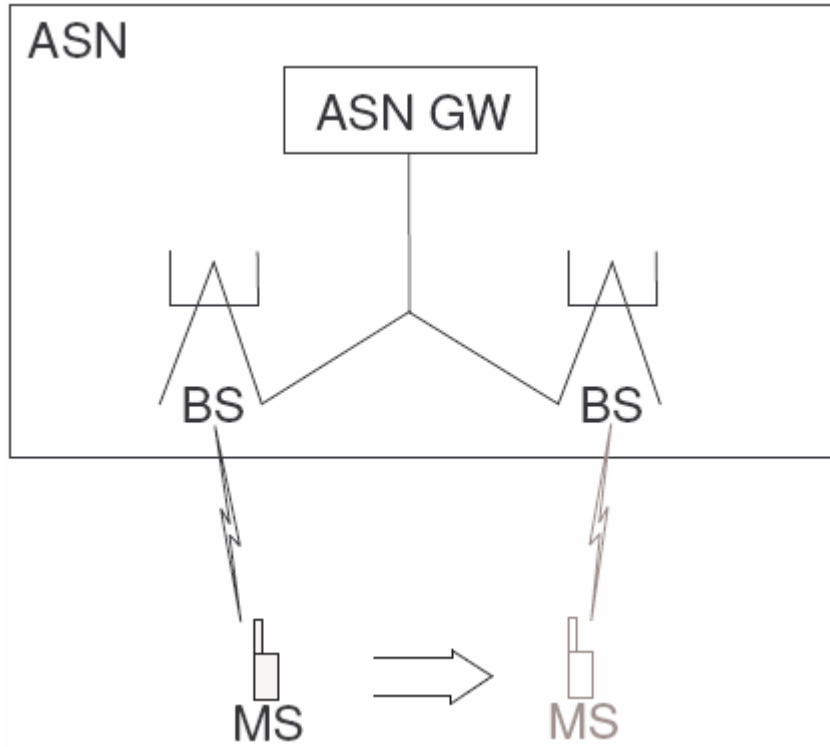
Şekil 4.2 Ağ geçişi sırasındaki cihaz aktarım fonksiyonu

802.16e standardına göre, bir cihaz aktarım fonksiyonu, hareketli durumda başlatılan veri değişimini, ağ tarafından başlatılan veri değişimini, hızlı BS anahtarlanmasını ve yumuşak veri değişimini desteklemektedir.

4.3.5 ASN Dışı Veri Değişimi

ASN dışı veri değişimi, aynı ASN içindeki BS’ler arasında ya da bir BS içerisinde yer alan sektörler arasında gerçekleştirilir. Şekil 4.3 bir ASN dışı veri değişimini göstermektedir. Bu BS’ler, aynı ASN GW’e ya da aynı ASN içindeki farklı ASN GW’lere bağlı olabilir, bu durumda hala ASN dışı veri değişimi söz konusudur. Eğer aynı ASN içinde sadece bir tane BS varsa, bu BS’in birkaç tane anten sektörü olmadığı sürece ASN dışı veri değişimi gerçekleştirilemez.

ASN dışı veri değişiminin amacı, MS ve BS arasındaki geçiş esnasındaki gecikmeyi ve veri kaybını en aza indirmektir. Eğer MS, IP ya da MIP gibi servisler kullanıyorsa, MS’in hareketi ASN dışından görünemeyeceği için, veri değişiminden sonra IP adresi değiştirmesine gerek de kalmayacaktır.



Şekil 4.3 Dış ASN veri değişimi

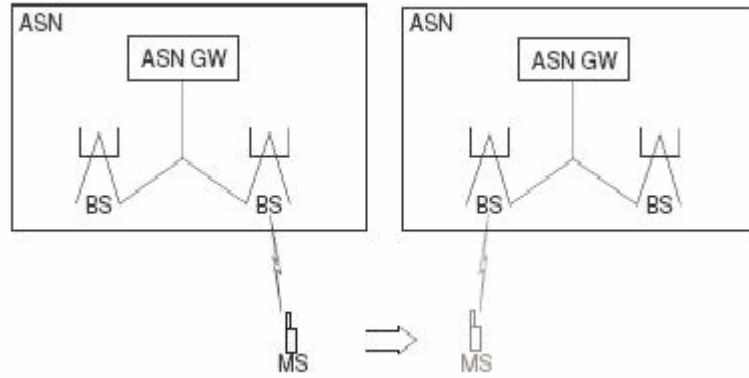
Bir ASN dışı veri değişimine dahil olan referans noktaları genelde R6, R8, ve bazı olaylarda ise R4'tür. R4 sadece, hedef BS hizmet eden BS'ten başka bir ASN GW'e bağlandığı zaman olaya dahil olur. Bir dış veri değişimi süresince, tam olarak hangi mesajların gönderileceği, WIMAX dökümanında (WIMAX Forum, 2005) tam olarak netleştirilmemiştir.

4.3.6 ASN İçi Veri Değişimi

Bir ASN içi veri değişimi, Şekil 4.4'te görüldüğü gibi aynı ASN'e ait olmayan BS'ler arasındaki veri değişimidir. ASN içi veri değişimi süresince, farklı ASN'lere ait ASN GW'ler, veri değişiminin (MS açısından) düzgün yapılabilmesi için birlikte hareket etmek durumundadır. ASN içi veri değişimi boyunca veri akışı ile ilgili anahtarlama ve yeniden-anahtarlama olmak üzere iki olası yol vardır. Anahtarlamanın amacı, yol güncellemesinden ve bunun sonucu olan veri yolunun yeni bir adrese yönlendirilmesinden kaçınmaktır. Yeniden-anahtarlama ise, bu güncelleme işlemi yapılır.

Anahtarlama ya da veri yolunu yeniden anahtarlama kararı, hedef ya da anahtarlama ASN GW'i tarafından yapılır. Bu iki sonucun üç farklı karar verme prosedürü vardır.

Tarafların her ikisi de yeniden-anahtarlama gerekmediğine ya ASN GW'lerden bir tanesi yeniden-anahtarlama gerektiğine karar verebilir. Eğer hedef ASN GW yeniden-anahtarlama isterse, anahtarlama ASN GW'i bu karara uyar ve gereği neyse yerine getirir. Bu karar verme sürecinde, hedef ASN GW her zaman birinci önceliktedir. Bu önceliğin neye dayanarak hedef ASN GW'e verildiği, başlangıçta yapılan geliştirmeye bağlıdır ve WIMAX dokümanının alanında kapsamaz (WIMAX Forum, 2005).



Şekil 4.4 İç ASN veri değişimi

4.3.7 Devam Etmekte Olan Çalışmalar

WIMAX dokümanı, bu tezin devamı sırasında bazı değişikliklere uğramıştır, bu bölümde yatay veri değişimine ilişkin yapılan değişiklikler ele alınmaktadır. WIMAX dokümanında, eski dokümanın veri değişimi kısmına bazı küçük değişiklikler/eklemeler yapılarak kıyaslamalara gidilmiştir. Bu iki dokümanın ana fikri aynı olmasına rağmen, bazı içerikleri değişmiştir. Eski dokümanda, ASN dışı/ASN içi veri değişimine odaklanıldığı için, ASN'e bir bakış açısı getirmiştir.

Yeni dokümanda (WIMAX Forum, 2005) ise bu kısım biraz gölgede bırakılarak, adresli ya da adres güncellemesinden bağımsız (Schiller, 2003) veri değişimi üzerine odaklanılmıştır. Burada, ASN dışı veri değişimi, veri değişimi boyunca yeni IP adresi almaya gerek kalmadığı için kategori dışı bırakılmıştır. ASN içi veri değişimi ise, anahtarlamanın, bir veri değişimi güncellemesi olmadan gerçekleştirmesini sağladığı için yeni odak nokta olmuştur.

Servis kalitesi açısından bakarsak, veri değişimi kontrollü ya da kontrolsüz gerçekleşebilir. Kontrollü bir veri değişimi bir dizi şartları sağlamak zorundadır ve

eğer bu şartlardan herhangi biri sağlanamazsa, veri değişimi kontrolsüz veri değişimi olarak düşünülmelidir.

Bu bölümde, WIMAX'ın, ağ topoloji kazancı evresinde tarama yaparken gerekli olan 802.16e bağlantı prosedürlerini nasıl destekleyeceğine de açıklık getirilmiştir. Fonksiyonel ayrıştırmanın anlatıldığı bu bölümde, fonksiyonlar arasındaki işbirliği diyagramlarla gösterilmiştir.

4.4. 802.16 Standartlar Kümesi ve Taşınabilirlik Desteği

Taşınabilirlik alanındaki araştırmalar, bir çok farklı insan ve şirket tarafından genişletilerek günümüzdeki halini almıştır. IEEE gibi birlikler, var olan standartların eksiklerini kapatarak yenilerini üretmeye devam etmektedir. Şirketler, çalışma gruplarını birleştirip, kullanılan cihazların birbirleriyle uyumlu çalışmasını sağlamaya çalışmaktadır. Bir çok öğrenci, araştırma konularını WIMAX konusunda almakta ve öne sürdükleri fikirler ile standardın gelecekteki haline katkıda bulunmaktadır.

4.4.1 802.16d Standardı ve Taşınabilirlik Desteği

802.16-2004 adıyla bilinen 802.16d standardı, IEEE'nin taşınabilirlik alanındaki çalışması olan 802.16e versiyonu ile sadece sabit ağları desteklemektedir. 802.16-2004'teki taşınabilirlik eksikliğini çözmek için sunulan diğer bir yaklaşım da, IEEE 802.16d kablolu ağlarda taşınabilirlik desteğidir (Leung vd., 2005). Burada amaç, standardı değişikliğe uğratmadan taşınabilirliği sağlayabilmektir. Bunu başarabilmek için hiyerarşik MIP gibi cihazlar kullanılır ve 802.12-2004'ün başlangıç işlemleri ile standarttaki ön tanımlanmış mesajlar iyileştirilir.

Var olan bir mesaj, veri değişimi isteğine ve geri bildirimine hizmet etmesi için seçilir. MS, veri değişimini gerçekleştirmek istediğinde bu mesajı BS'e gönderir. BS ise aynı mesajla MS'e yanıt döner. Eğer taşınabilirlik fonksiyonları yoksa, seçilen mesaj, MS ya da BS'i etkilemez, basitçe alıcıya her zamanki gibi devam etmesini söyler.

Veri değişiminin başlangıç aşamasında, hedef BS, doğrulama ve şifreleme anahtarlarının değişimi ve değişmiş bilginin backhaule doğru gönderilmesini takip eder. Başlangıç aşamasının sadece gerekli kısımlarını tekrar kullanarak, veri değişimi sırasında meydana gelen gecikme en aza indirilmeye çalışılır.

Bu çözüm yönteminin kısıtlayıcı yanı, MS'in sadece bir veri değişimi isteğinde bulunabilmesidir. Bu da, MS'in gönderecek bir şeyi olmadığı durumlarda, belli bir zaman süresince sessiz kalmasına neden olur. Problem, BS'in, bu sessizliğin nedenini doğru tahmin etmesiyle çözülebilir. Bunu yapabilmek için, BS'in "MS veri göndermeyi mi durdurdu yoksa iletim sahası dışına mı çıktı?" sorusuna doğru yanıt bulması gerekir. Eğer MS veri değişimi isteğinde bulunursa, BS'in bu soruya yanıt bulmasına da gerek kalmaz.

Bu çalışmada, 802.16-2004 standardının PHY-tabakasının, hareketlilik için uygun olduğu gösterilmektedir. Hesaplamalar, terminallere erişimin hızı sınırlandırılacağını göstermiştir. Bu bilgi ile veri değişimini yönetmek için öne sürülen mekanizmayı birleştirirsek, 802.16-2004 standardında veri değişiminin yönetilebileceği ortaya çıkar.

4.4.2 802.16e Standardı ve Taşınabilirlik

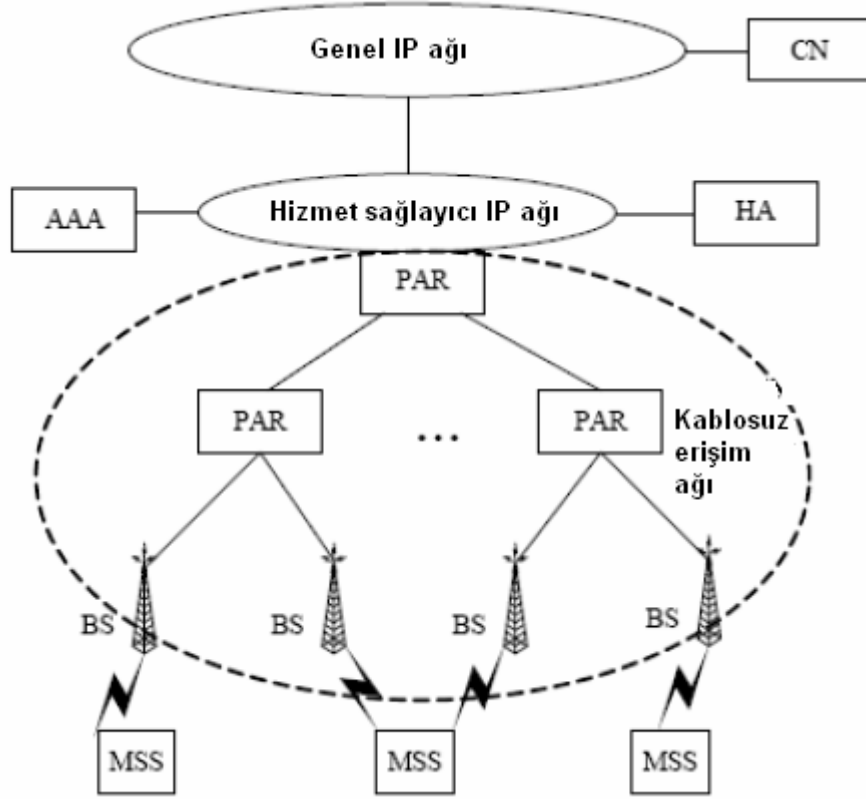
IEEE'nin 802.16e standardı üzerindeki çalışması bitmiş olsa da, standartta zaten veri değişimi için öne sürülen bir mekanizma vardır. IEEE 802.16e'nin geniş bant radyo erişimi için hazırlanmış veri değişimi mekanizması, (Kim vd., 2005) olarak bilinen bu mekanizma, son paket işaretleme (Last Packet Marking, LPM) olarak adlandırılmakta ve MAC-katmanı veri değişimi ile ağ katmanı veri değişimini entegre ederek veri değişiminin TCP servis performansı üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmaya çalışmaktadır.

Temel olarak LPM, birkaç yeni mesaj ve BS'te paketleme yapabilmek için gereksinim duyduğu ara bellek ile 802.16e standardının veri değişimi desteğine dayanır. Bu mesajlar yönlendirme bilgilerini içerir. Ağ modeli, Şekil 4.5'te verildiği gibi BS'lerden ve onlara hiyerarşik olarak bağlanmış yönlendiricilerden oluşur.

LPM'nin temel amacı, MS veri değişimi gerçekleştirmeyi düşündüğü zaman, gelen MS paketlerini hem hizmet eden BS'e hem de hedef BS'ye göndermektir. Hedef BS gelen veriyi ara belleğinde tutup veri değişimi bittiğinde MS'e yollayacaktır.

Seçilen ağ simülatörleri 802.16e standardında geliştirilmediği için, LPM simülasyonları 802.11 WLAN'ında gerçekleştirilmektedir. Otoriteler, bu simülasyon boyunca seçilen alternatif çalışmanın 802.16e'de tanımlandığı gibi iyi çalışmasını istemektedirler. Bunun için de, LPM mekanizmasını değerlendirmek için TCP

paketlerinin saniyedeki işlem hacmine bakılmaktadır. Sonuçlar göstermektedir ki, sistem LPM kullanmadığı zaman veri değişimi sırasındaki işlem hacmi düşüş göstermektedir. LPM kullanıldığında, veri değişiminin sonuç üzerindeki olumsuz etkisi en aza inmektedir. Bu da bize LPM'nin etkili ve faydalı bir mekanizma olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.5 Kablosuz erişim ağ modeli (Kim vd., 2005)

4.4.3 802.20 Standardı

802.20, IEEE tarafından, mobil ağlar için geliştirilen yeni bir standarttır. Bu standart, var olan bir standarda yeni geliştirmeler yapılırken problemler çıkabileceğinden, 802.16e'ye göre avantajlı sayılabilir. 802.16-2004 standardı sabit kablosuz ağlar için tasarlanmıştır, 802.16e ise taşınabilirlik üzerine odaklanmıştır. Çünkü orijinal standardın eksikleri, bazı tasarım seçenekleri ile azaltılsa da yeni hedefler için en uygun çözümleri sunmaya yeterli olmamaktadır. Fakat diğer bir yandan, yeni baştan yapmak yerine önceden sunulan bir şeyi kullanmak daha hızlı olabilir. Bu da, 802.16e ürünlerinin markete 802.20 ürünlerinden önce girmesinin nedenini açıklamaktadır (802.16e- 802.20, 2006).

802.16e ve 802.20 standartlarının birçok benzerliği vardır. Mesela her ikisi de yüksek veri hızlı WLAN'lar ile yüksek taşınabilirlikli hücresele ağlar arasındaki boşluğu kapatmayı hedeflemektedir. Fakat yine de bazı küçük farklar vardır (IEEE Std. 802.16e/D9, 2005). 802.20, 3.5 GHz'in aşağısındaki frekans aralıklarında çalışır ve standart, PHY ve hava ara yüzünün MAC-tabakalarını açıklar (IEEE Std. 802.20, 2008). Bu protokol, 15 Km²'lik kapsama alanındaki düşük veri hızını Mbps/kullanıcıdan daha büyük hale getirmek için geliştirilmiştir (Wilson vd., 2006). Bu hızın 250 Km/s'ye çıkması hedeflenmektedir ki bu da 802.16e protokolünün desteleyebileceği hızdan daha yüksek bir hızdır. Bu yüksek hız, örneğın konuşlandırma amaçlı yüksek hız trendlerinde 802.20'yi kullanışlı kılar (802.16e-802.20, 2006).

802.16'ya dair bir diğere konu ise, WIMAX Forum çalışma grubunun geliştirdiği WIMAX uçtan uca ağ sistem yapısının, farklı satıcılara ait ağ cihazlarının birlikte çalışmasını sağlamak amacıyla bu farklılıktan kazanç sağlayan ticari şirketlere karşı mücadele vermek zorunda olmasıdır (WIMAX Forum, 2005). Ancak uyumlu cihazlar belgelendirilmekte ve bu sertifikasyon işlemi 802.16'nın kendi yolunda başarıya ulaşmasına yardım etmektedir.

802.20, standarda büyük değışiklikler getiren bir organizasyon olmamasına rağmen, yine de büyük değışikliklere sebep olabilir. Telcordia şirketi, diğere şirketleri 802.20 standardı üzerinde çalışacak ortak bir grup kurmaya davet etmiştir. Bu grup, 802.20 standardı ile 3.5 GHz'in altında lisanslı çalışan diğere sistemlerin uyumlu çalışabilmesini sağlamayı hedeflemektedir. Bunun için de, ortak ve uyumlu çalışma üzerine bir belgelendirme hazırlanmaktadır. 802.20 standardının WIMAX Forum grubu olarak bilinen bu grubun temel hedefi, birlikte çalışmayı sağlayacak temel prosedürler tanımlamak ve ortak çalışabilecek servisler oluşturmaktır (Telcordia Technologies Inc., 2005).

5. HETEROJEN TAŞINABİLİRLİK

WIMAX taşınabilirlik kapasitesine dair ikinci kısmı açıklayan bu bölümde, ağ mimarisi ve IEEE 802.16 standardında belirtilen hareketlilik ve diğer ağ tipleri ile girişime ilişkin bir değerlendirme sunulmaktadır. Bunun için UMTS ve Wi-Fi ağ yapısına yapılacak olan bir giriş bölümünden sonra, hareketlilik konusuna odaklanılmakta ve WIMAX teknolojisi tartışılmaktadır.

5.1 Geçmişte Yapılan Çalışmalar

Üçüncü nesil hücresel ağların hızlı bir şekilde gelişmesiyle, daha büyük kapsama alanı ve hareket olanağı oluşmuştur. Buna rağmen, Wi-Fi gibi sabit kablosuz geniş bantlı ağlara göre, veri hızı oldukça düşüktür ve bu iki teknoloji arasındaki hareketlilik yeni araştırma konularının başında gelmektedir. Bu iki teknolojinin servis kalitesi, erişim alanı ve veri hızı, ağ teknolojisinin kullandığı topolojiler bakımından karşılaştırılmaktadır.

Örneğin, bir kullanıcı BFWA ağını Wi-Fi hot spotlarıyla karşılaştırdığında, buna ek olarak taşınabilirlik, bir Wi-Fi hot spotuna transfer olabilmek için gerekli maliyet ve performans gereksinimleri gibi otoritelere dayanan kararlar nedeniyle hareketli durumlar için BFWA ağına daha güçlü yapısından hoşlanabilir. BFWA'nın UMTS ile girişmiş hali, BFWA baz istasyonlarının kapsama alanı dışında iken gerekli olan, azaltılmış veri hızı ile sürekli bağlantıyı sağlamak amacıyla kullanılabilir.

Bu üç farklı ağ teknolojisi, kullanıcının hareketli olduğu ancak hala yüksek veri hızı ve farklı teknolojiler arasında sürekli hareket etmesine olanak sağlayan sürekli bir bağlantıya ihtiyaç duyduğu bir MAN ağ yapısında birbirinin tamamlayıcısı olarak kullanılabilir.

3G ürünlerinin tüketim artışı ve Wi-Fi marketinin gelişimi, WIMAX'ın bu teknolojilerle birlikte çalışabilirliğini araştırmak için yeterli bir sebeptir. Çünkü telekomünikasyon şirketleri, kendi yatırımlarını korumayı ve müşteri servislerini yeni cihaz tiplerine göre genişletmek istemektedirler.

Bu bölümde heterojen taşınabilirlik konusunda IEEE 802.16 standardının ne gibi bir destek sunduğu ve WIMAX ağ yapısı üzerinde durulmaktadır.

Araştırma sonuçlarına göre, WLAN marketinin 2006da \$5 bln'ye ve 3G kullanıcısının da 2005 sonu itibariyle \$70 mln'ye ulaştığı kanıtlanmıştır (ZDNet Research, 2006).

5.2 UMTS

Evrensel hareketli telekomünikasyon sistemi (The Universal Mobile Telecommunication System, UMTS), üçüncü nesil hücresel ağlar için, telefon, mesaj ve veri hizmetlerinin global kapsamı amacıyla geliştirilmiş bir IETF standardıdır. Üçüncü nesil ortak proje (The Third Generation Partnership Project, 3GPP), 3G ağlarına teknik geliştirmeyi sağlamak amacıyla birkaç telekom standardizasyon organı tarafından oluşturulmuştur. UMTS Forum Grubu'na göre, geliştirilmiş ve 25 ülkede kullanımda olan 30'dan fazla UMTS ağı vardır. Bunlardan ilk ticari ağı, 2001 yılında Japonya'da işlevsel olarak kurulmuştur (UMTS Forum, 2008).

5.2.1 Yapılan Yenilikler

UMTS, telekom endüstrisinin veri iletimini sağlayan taşıyıcı servisleri tele servislerle birleştirmeye doğru gidişinin bir sonucudur. Bu, ETSI standardı tarafından GSM sistemlerinin geliştirilmesini sağlamak amacıyla, mevcut altyapının üzerine UMTS ağının daha verimli çalışacak şekilde konuşlandırılması için ortaya çıkmıştır (Schiller, 2003). UMTS, Çizelge 5.1'deki ETSI standardının temel veri hızlarına erişebilmek için, radyo erişim teknolojisi olarak WCDMA'dan faydalanmaktadır.

Çizelge 5.1 UMTS veri hızları

144 kbits/s	Kırsal kesim erişim hızı
384 kbits/s	Şehirsel erişim hızı, maksimum hız 120 km/s
2 Mbits/s	Yapı içi ve kısa mesafe erişim hızı, 10 km/s

Yeni servisler eklendiği için, öncelikli servislerin belirlenmesi gerekmektedir. Örneğin ses servisleri, gecikmeye karşı duyarlı iken kayba karşı toleransı yüksektir. Oysa e-mail gibi veri servisleri, veri hızı ve gecikme konusunda toleranslı olsa da,

kayıpsız bir iletimi gerektirir. Ağ hizmetleri, trafiği, Çizelge 5.2’de görüldüğü gibi dört farklı sınıfa ayırmaktadır (Overview of UMTS, 2006).

Çizelge 5.2 UMTS servis kalitesi sınıfları

Konuşmalı	Ses, görüntü, telefon
Akıcı	Çoklu ortam, internet yayını, akıcı görüntü
Etkileşimli	Ağ oyunları ve yayını
Arka planlı	Elektronik posta, SMS, veri indirme

UMTS’in güvenlik özellikleri, GSM’in daha önceki yetersiz kaldığı noktalar da göz önüne alınarak geliştirilmiştir (Boman vd., 2002). Bu yeni geliştirmeye beraber, veri doğrulama, isim gizleme gibi kullanıcıya güvenliği sağlayan ve kablosuz telefonlarla ilgili problemleri azaltan servisler sunulmuştur. Kullanıcı ekipmanı (User Equipment, UE) ve baz istasyonları arasındaki karşılıklı doğrulama, her iki tarafın da kiminle iletişim kurmakta olduğunu bildiğini garanti eder.

GSM’in aksine, UMTS, ağı yanlış baz istasyonlarının kullanımından doğan ataklara karşı koruyan kayıp veri bilgisi ve işaretleşme üzerinde yoğunlaşır. Veri, belli algoritmalara göre şifrelenebilir ve bu şekilde trafiğin gizlenmesine olanak sağlar. Bu koruma, sadece UE ve BS arasında kalmaz, radyo ağ yöneticisi (Radio Network Controller, RNC)’ne kadar uzanır (Boman vd., 2002).

5.2.2 UMTS

UMTS, aynı zamanda, kullanıcı bilgilerini, yer ve servis hizmetlerini de gizleme olanağı sağlar. Global abone kimlik belirleme modülü (Universal Subscriber Identity Module, USIM), kullanıcıya özgü veri doğrulamayı sağlarken, uluslar arası mobil ekipman belirleme modülü (International Mobile Equipment Identity, IMEI) bir ekipmanı doğrulamaya olanak sağlar (Schiller, 2003).

UMTS’in mimari yapısı, IETF protokolünün, ağlar arasındaki IP güvenliği (IP Security, IPsec), IP trafiği gibi konularda kullanılmasına olanak sağlar (IEC, 2006). Gelecekteki UMTS geliştirmelerinin standartlaştırılması, Release adı verilen birçok

alt standartlara bölünmüştür.

Mart 2002 yılında tamamlanan Release 5, bir ağ çekirdeğini ve bütün IP çekirdekleri, ETSI'nin oturum başlatma protokolü (Session Initiation Protocol, SIP) tarafından desteklenen çoklu IP servisleri (IP-Multimedia Services, IMS) arasındaki değişiklikleri içermektedir. Release 5 aynı zamanda HSDPA yapısının hızını 8-10 Mbit/s'ye çıkartır (Schiller, 2003).

Nisan 2005 yılında GSM/3G kullanıcılarına açıklama yapan bir forum olan global mobil hizmetler birliği (Global mobile Suppliers Association, GSA), Release 6'nın tamamlandığını bildirmiştir. Bu release, çoklu alıcılara çoklu yayın yapabilmek için çoklu yayın servisi (Multimedia Broadcast Multicast Service, MBMS)'ni de ekleyerek IMS servislerini geliştirmeyi hedeflemektedir. Release 6, aynı zamanda WLAN için ağ girişimi geliştirmeleri de yapmaktadır.

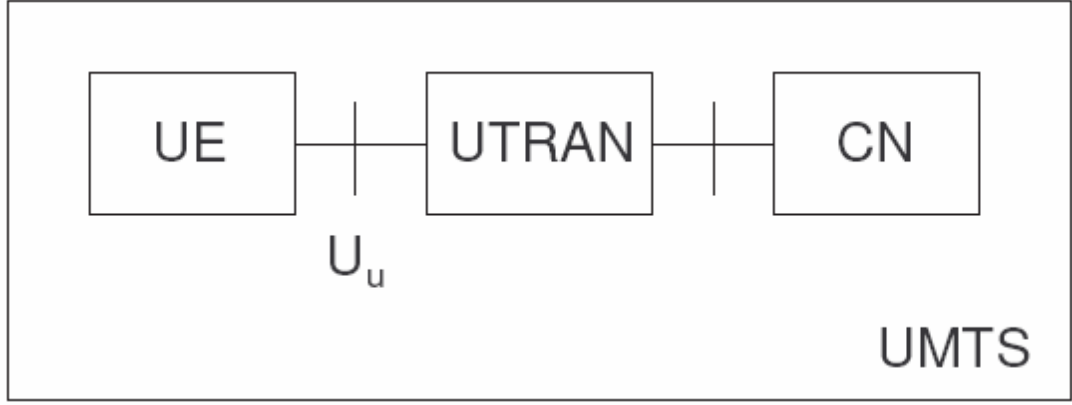
Downlink HSDPA'nın tamamlayıcı olarak, Release 6, yüksek hızlı simetrik veri haberleşmesini sağlayan yüksek hızlı veri erişimi (Speed Uplink Packet Access, HSUPA)'ni sunmaktadır. 3G'nin gelecekteki hali olarak adlandırılan süper 3G, veri hızını 100 Mbps'ye kadar desteklemeyi taahhüt etmektedir. Ancak bu veri hızı teoriktir. Süper 3G'nin HSDPA teknolojisiyle birlikte kullanımına ilişkin yazılan birçok makale, günümüzde Süper 3G hız konusunda HSDPA'nın gerisinde kaldığı için anlamını yitirmiştir (Karlberg, 2006).

5.2.3 UMTS Ağ Yapısı

Referans olarak kullanılan UMTS ağ yapısı, Şekil 5.1 (Schiller, 2003)'de gösterilen üç ana bileşenden oluşmaktadır.

Evrensel radyo erişim ağı (The Universal Terrestrial Radio Access Network, UTRAN) olarak adlandırılan teknoloji, radyo kaynak yönetimi, hücre hareketliliği ve UTRAN tarafından kapsanan radyo hücresindeki UE'ye radyo erişimini sağlar. UTRAN, RNC tarafından yönetilen ve Node B olarak adlandırılan bir cihazın kontrol ettiği antenlerden oluşmaktadır.

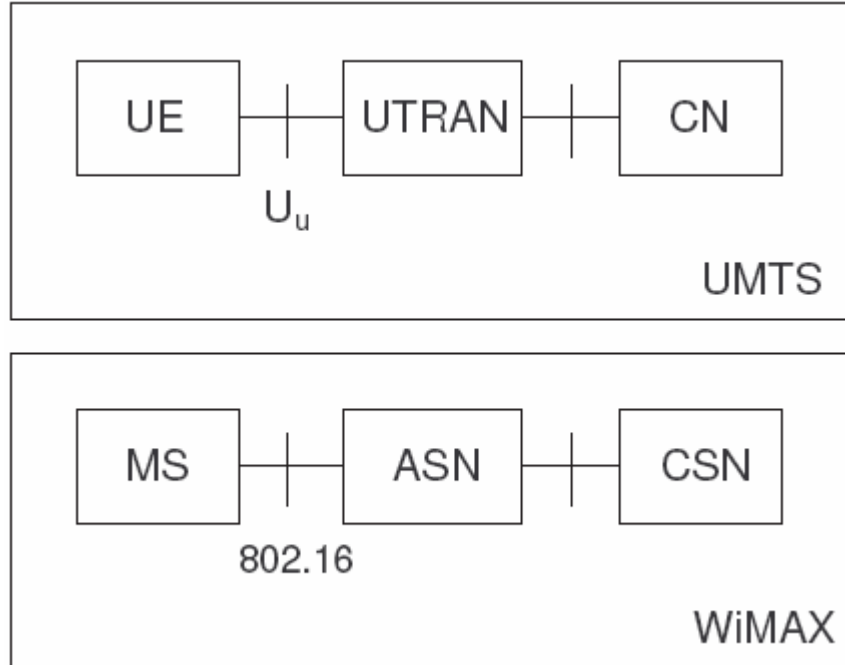
Radyo erişim ağı UTRAN, AAA gibi kullanıcı yönetim fonksiyonlarından, veritabanı ve yer kayıt tutucularından oluşan bir çekirdek ağı (Core Network, CN)'na bağlıdır. Dahası, bu çekirdek ağı, ağ girişimini sağlayan ve paket ya da devre anahtarlamalı trafik için alt yapı olarak hizmet eden Gateway'lerden oluşmaktadır.



Şekil 5.1 UMTS referans mimarisinin ana bileşenleri

5.2.4 UMTS ve WIMAX

Genel olarak, WIMAX ve UMTS'in ağ mimari yapısı oldukça benzerdir. Her ikisi de kullanıcı cihazları, baz istasyonları ve çekirdek alt yapısı arasında hareket edebilmek için iyi tasarlanmış ara yüzleri içerir. Ana fonksiyonları temelde aynı olduğu için, ASN'i UTRAN'a CSN'i de çekirdek ağa eşleştirebiliriz. Şekil 5.2, UMTS ve WIMAX mimari yapısını göstermektedir.



Şekil 5.2 UMTS ve WIMAX mimarisini bileşenleri

WIMAX ve UMTS'in CN içinde yönetilmesi, ağ içinde yer değiştiren kullanıcıya sunulan hizmet taşınabilirliği açısından önemli (Ylianttila, 2005) olduğu kadar

heterojen taşınabilirliğin de destekçisidir. İki ağ arasında hareket eden bir kullanıcı için veri hızı ve uçtan uca ne kadar gecikme yaşayacağı dikkate alınması gereken bir noktadır. WIMAX teknolojisi, beş tip servis kalitesini desteklemektedir ve bütün servis kalitesi parametreleri UMTS parametrelerine benzemektedir. Bu da, iki ağ arasındaki trafik akışlarının kolayca kontrol edilebilmesini sağlar. Olası bir eşleştirme Çizelge 5.3’te verilmiştir.

Çizelge 5.3 UMTS/WIMAX servis kalitesi karşılaştırması

UMTS	WIMAX
Konuşmalı	Talep edilmemiş hizmetler
Akıcı	Gerçek zamanlı olmayan havuz hizmetleri (nrtPS)
Etkileşimli	(Genişletilmiş) gerçek zamanlı havuz hizmetleri
Arka planlı	En iyi performans (BE)

Orijinal UMTS ağları ve gelecek olan süper 3G ağları için HSDPA ve HSUPA üzerinde yapılan geliştirmeler, iki ağ arasındaki veri hızı farkını azaltmayı amaçlamaktadır (HSDPA, 2007). Buna rağmen, WIMAX’tan UMTS’e geçişte, görüntü kalitesi ve veri indirme hızı kabul edilebilir bir aralıkta olduğu için, süreç hala UMTS sistemi tarafından yönetilmektedir (HSUPA, 2006).

WIMAX’ta ağ güvenliği, DES3 ve AES şifreleme standartlarını destekleyen MAC güvenlik katmanı tarafından sağlanmaktadır (WIMAX Security scheme/protocol, 2006). Tıpkı UMTS gibi, WIMAX da, bir istemci ve WIMAX ağı arasında karşılıklı veri doğrulama özelliğini destekler. Bu durum, WIMAX ağ referans dokümanında şöyle belirtilmiştir (WIMAX Forum, 2005):

“Bu mimari yapı, veri bütünlüğünü, güvenliği ve global düzenlemelerle izin verilen ölçüde kullanılan maximum anahtarlama ölçülerini destekleyecektir.” Böylece hücresel ağlarda trafiği koruma desteği taahhüt edilmiştir. WIMAX ve UMTS arasındaki hareketi incelerken aralarındaki bağlantıyı da incelemek gerekmektedir.

WIMAX ağ yapısı, diğer erişim ağlarına alternatif olan 3GPP modeline uygun olarak tasarlanmıştır (WIMAX Forum, 2005). UMTS, Wi-Fi erişim ağlarıyla paket değişimini desteklemesi amacıyla standardize edildiği için, bu, WIMAX’ın birlikte

çalışabilirliği arttırması ve daha kullanışlı kılması için gereksinimleri sağlar.

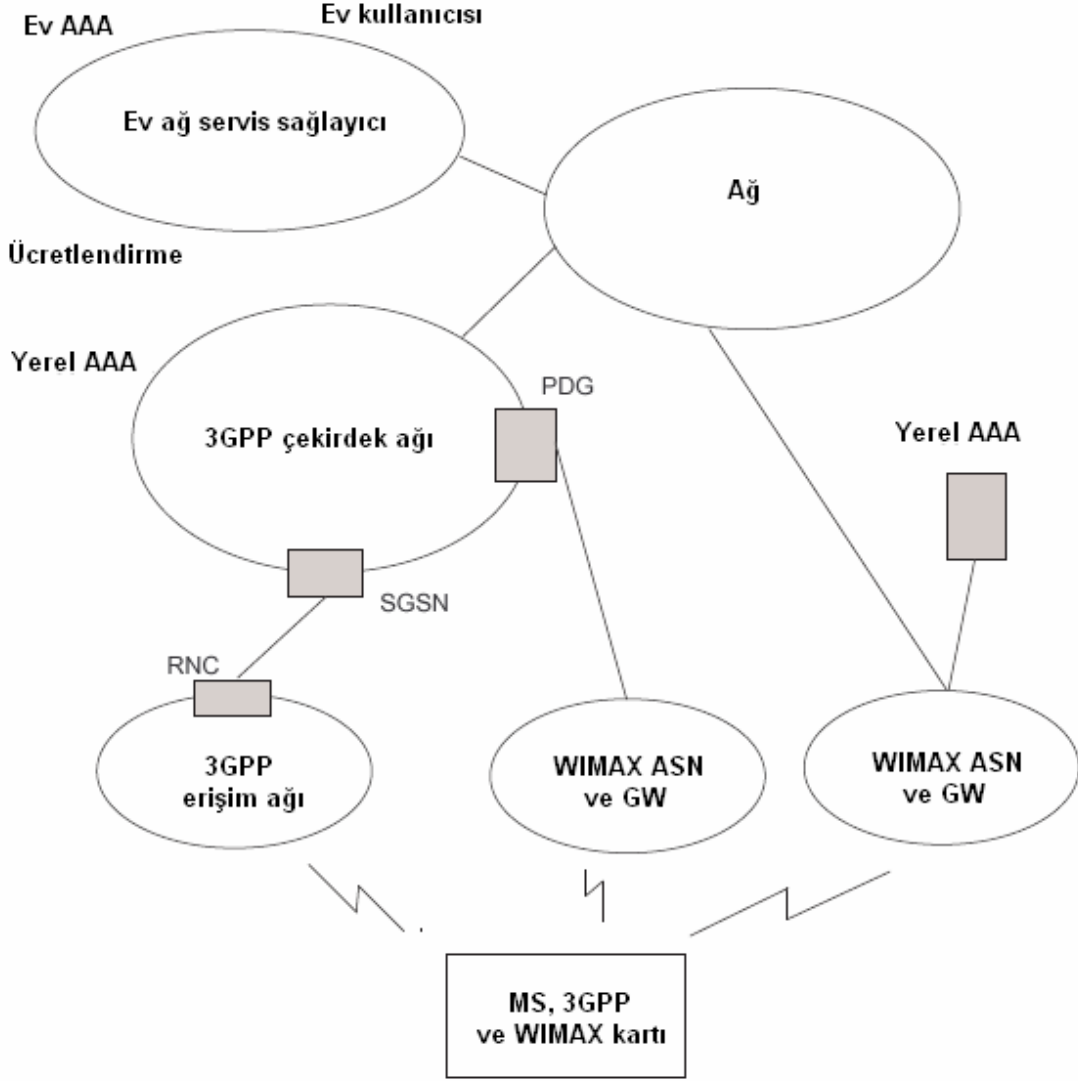
WIMAX erişim ağı ve Wi-Fi analojisi arasındaki fark şudur: WIMAX ASN'i, CSN'in dinamik host konfigürasyon protokolü (Dynamic Host Configuration Protocol, DHCP) ve ASN içindeki DNS ile haberleşebilmesi için gerekli olan mantıksal gereksinimleri içeren IP bağlantısını sağlamaz.

Ağlar arasında, ağların birbirlerine entegre ediliş biçimine göre gevşek ve sıkı olmak üzere iki çeşit kablolama yöntemi vardır. Kablolamalar, her iki ağ yapısında da birçok konuya açıklık kazandırır (Morrissey vd., 2004).

5.2.5 UMTS`te Gevşek Kablolama

WIMAX ağ yapısı, iki teknolojinin gevşek kablolama ile entegre edilmesi gerektiğini öne sürer (WIMAX Forum, 2005). Şekil 5.3 böyle bir kablolamayı göstermektedir. Bu senaryoda, 3G AAA servislerine erişim, WIMAX ağına bağlanılarak ya da ağ boyunca yönlendirilen veri paketi Gatewayi (Packet Data Gateway, PDG) yönlendiricileri tarafından sağlanmaktadır. WIMAX ağının trafiği UMTS ağından ayrılır ve böylece WIMAX ağı, hareketlilik, veri doğrulama ve ücretlendirme için kendi mekanizmasını kullanır. Bunun sonucu olarak da, WIMAX ağ sunucuları ve 3G sunucuları arasında yer değiştirme konusunda görüş birliği sağlanmış olur.

Bu aynı zamanda, cihazdan bağımsız protokol (Media Independent Protocol, MIP)'ü sağlayan hareketliliğin, IEEE 802.21 gibi standartlarca yüksek katmanlarda yönetilmesi gerektiği anlamına gelir (IEEE Std. 802.21, 2008). Bu yüzden, dikey hareketliliği ağlar arasında yönetmek için akıllı ağ yapısını eklemek oldukça zordur. Çünkü bu akıllı yapı, veri değişim fazındaki gecikmeyi arttıracaktır. Birçok gevşek kablolanmış ağlar, ağ tarafından başlatılan dikey veri değişimini ve trafiği yönetebilmek için kapasite aşımına ihtiyaç duyar. Ağ tarafından başlatılan veri değişimini kolaylaştırmak için, her ağ kabul kontrol bilgilerini ve kaynak yönetimini görüntülemeli ve paylaşmalıdır ki böylece kullanıcının ihtiyaç duyduğu servis kalitesini sağlarken doğru karar verebilsin.



Şekil 5.3 WIMAX/UMTS gevşek kablolama

5.2.6 UMTS`te Sıkı Kablolama

Sıkı kablolanmış bir ağda, WIMAX ve UMTS, çekirdek ağdaki Gateway, AAA ve alt yapı gibi bileşenleri paylaşabilir. WIMAX ağı, UMTS Gateway uzaktan erişim destek noktası (Gateway GPRS Support Node, GGSN)'na ve UMTS çekirdek ağının paket anahtarlama yapısına bağlanır. WIMAX ağı, UMTS ağına göre bir RNC gibi davranır, burada Gateway RNC'nin davranışını yerine getirmeye çalışır. Ancak bu, kullanıcı cihazının UMTS protokol yığınlarını kullanmasını gerektirir.

Sıkı kablolanmanın en belirgin avantajı: WIMAX ağının, UMTS ağının kullandığı ücretlendirme, veri doğrulama, taşınabilirlik protokollerinin aynısını yeniden kullanabilmesidir. Sıkı kablolanmanın diğer bir avantajı da, çekirdek ağı, ağlar

arasındaki kaynaklara dair bilgiye doğrudan sahip olduğu için, çekirdek ağının, ağ tarafından başlatılan dikey veri değişimini destekleyerek dikey hareketliliği kolayca belirleyebilmesidir.

Wi-Fi ağları ve UMTS için önerilen sıkı kablolama, hareketliliği bir hareketlilik Gatewayi ile beraber ele almak için karışık bir hareketli IP çözümü sunar (Mehta vd., 2002). Hareketlilik Gatewayi bütün trafiği engeller ve doğru ağa (UMTS ya da Wi-Fi) yönlendirmeyi garanti eder. Bu, sadece adres bildirimi karşılıklı değilse gerekli olan bir işlemdir. Sıkı kablolamanın önemli bir getirisi de, WIMAX trafiğini UMTS ağına tanıttırmasıdır. Hücrelerin karakteristikleri ve IP trafiği birbirinden oldukça farklıdır. Bu yüzden de, çekirdek ağının bazı kısımları, kapasite uyumsuzluğunu engelleyebilmek için bu yeni özelliklere ve trafik yapılarına uyum sağlamak zorunda kalabilir.

Bazı şirketler (Morrissey vd., 2004), bu yaklaşımın sadece kombine ağların aynı operatöre bağlı olduğu ve eski ağda kullanılan cihaz sayısını azaltmak amacıyla yapılan entegrasyonun, yeni sisteme bir yama şeklinde yapıldığı durumlarda pratik olduğunu savunur. Bu yaklaşım, sıkı kablolamanın, gevşek kablolamaya göre, kapsama alanında daha az esnek bir yapı olmasına rağmen, WIMAX ağına, UMTS altyapısına eklenirken operatörlerle uyumlu çalışmasına izin vermesinden kaynağını alır.

5.3 Wi-Fi

Wi-Fi, IEEE'nin 802.11a, 802.11b ve 802.11g standartlarını kullanan radio erişim teknolojisidir. Tıpkı WIMAX Forum gibi, Wi-Fi Alliance da, kablosuz ağ şirketlerinin ve servis sağlayıcıların belgelendirme ve WLAN cihazlarını kullanabilmeleri amacıyla kurulmuş, kar amacı gütmeyen bir organizasyondur (Wi-Fi Alliance, 2008).

Wi-Fi pazarının uzmanları, 2008 yılına kadar %44-66 oranında bir yıllık büyüme beklemektedirler (Wi-Fi, 2006). Zaten, WLAN teknolojisi, özel tüketicilere kadar pazarın her tarafına yayılmıştır (eWeek, 2006).

5.3.1 Yapılan Yenilikler

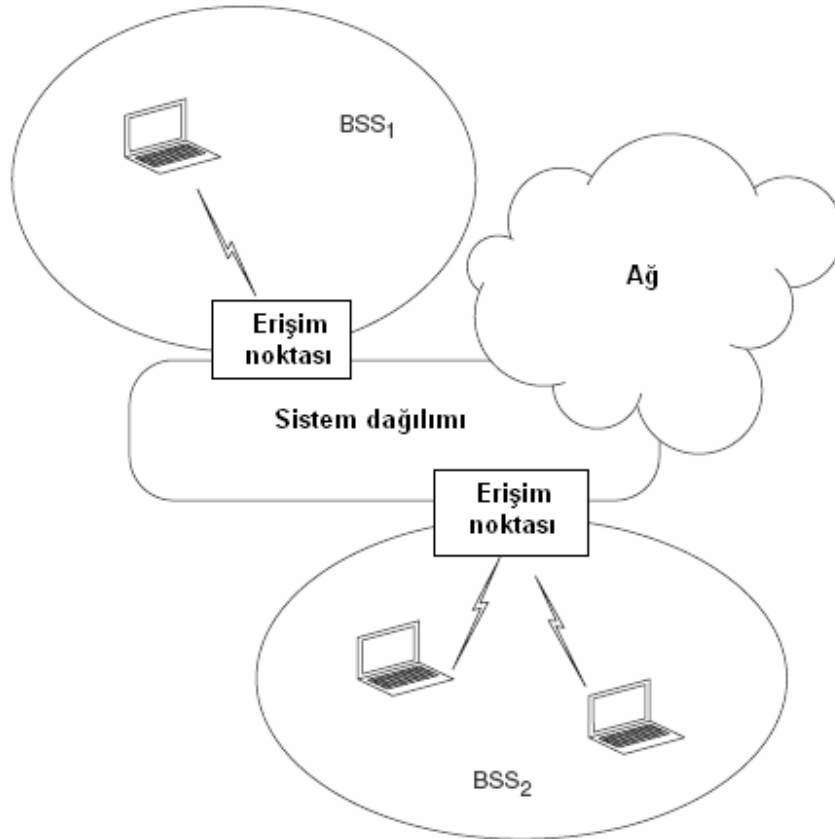
Wi-Fi, 802.11'i, güvenlik, hız, topoloji konfigürasyonu gibi konularda genişletmiştir. Buna dair 802.11 standardına eklenen özelliklerin bazıları Çizelge 5.4'te verilmektedir (Geier, 2002).

Çizelge 5.4 802.11 Protokolü çeşitleri

802.11a	5GHz OFDM 54Mbps
802.11b	2.4GHz DSSS 11Mbps
802.11e	Servis kalitesi
802.11f	İç erişim nokta protokolü, hareket desteği
802.11g	2.4 GHz'lik bant için 54Mbps hız yükseltmesi
802.11i	MAC güvenlik genişletmesi, AES

5.3.2 Wi-Fi Ağ Yapısı

802.11, WLAN'ın ağ yapısındaki kolaylık, bir güçsüzlük olarak görülebilir. Çekirdek ağ yönetiminin eksikliği, başlangıçtaki yüklemeler ve entegrasyonu kolaylaştırır ancak ağ kontrolünü ve servis ve kullanıcı yönetimini sınırlandırır. WLAN ağ konfigürasyonunun bir örneği Şekil 5.4'te gösterilmektedir (Schiller, 2003).



Şekil 5.4 Yaygın WLAN konfigürasyonu

WLAN çoğunlukla genel bir LAN gibi hizmet verdiği için, servis sağlayıcı kendi DHCP ya da DNS sunucularını kullanmakta ya da bu servisleri ikinci partilerden tedarik etme konusunda özgürdür. Küçük ölçekli WLAN'lar, kullanıcıların sürekli hareket etmek yerine bazen sabit durup sonra harekete geçtiği küçük şirketler için oldukça uygundur. Çünkü kullanıcılar sürekli hareket halindeyse alt ağlar boyunca sabit hareketlilik desteği zorunludur.

5.3.3 Wi-Fi ve WIMAX

Bütün Wi-Fi özelleştirmeleri, genişletilebilir veri doğrulama protokolü (Extensible Authentication Protocol, EAP), geçici kayıp durum protokolü (Temporal Key Integrity Protocol, TKIP) ve 802.11i fonksiyonlarını içermek için yapılmıştır. Buna rağmen, standart, güvenlik konusunda eleştiriye uğramıştır.

Kablolu gizlilik sözleşmesi (Wired Equivalent Privacy, WEP), 24-bit başlangıç durumuna getirme vektörü (Initialization Vector, IV) ve statik anahtarlara göre birtakım eksikliklere sahiptir. Wi-Fi bu açıkları kapatmaya çalışmış ancak kablosuz IP teknolojisi hücresel haberleşme konusunda yakaladığı yükselişi, hareketlilik konusunda devam ettirememiştir.

Bu da, WIMAX'tan WLAN'a geçiş sırasında iletilen ve korunan servislerin sayısını sınırlandırmaktadır. Radio teknolojisinin, örtüşmeye karşı 2.4 GHz bant duyarlılığı, mutfak eşyaları ve diğer elektronik aletlerden etkilenmesi gibi güçsüzlükleri zaten yapısından kaynaklanmaktadır. Servis kalitesi desteği ve diğer frekans bantlarındaki trafiğe yönelik birtakım yenileştirmeler olmasına rağmen, 802.11 standardının geriye doğru yamanabilmesi için sınırlandırmalar vardır.

Veri iletimi ve Wi-Fi hotspotları boyunca daha ucuza sağlanan erişim, WLAN/WIMAX hareketliliğinin ilginç bir yanı olarak görünebilir. Ancak bu, aynı zamanda WIMAX ağ servislerinin WLAN erişim noktaları için bir backhaul olarak Wi-Fi hotspotlarıyla nasıl entegre olduğunun bir göstergesidir.

İç erişim nokta hareketliliğini sağlayan 802.11f, WLAN'ın yer değiştirmesine doğru bir basamaktır. Ancak WLAN ağlarının ölçeği, veri değişimi küçük hücreler boyunca çok hızlı bir şekilde gerçekleşeceğinden hızlı hareketliliği mantıksız kılar. Bir 802.11 ağında, erişim noktaları arasındaki yer değiştirme ile baş edebilmek için birtakım yan çözümler sunulmasına rağmen 802.11f standardı, farklı üreticilerin erişim noktaları

arasında yer değiştirme birlikteliğine izin verecektir.

MAN kapsama alanındaki WIMAX'ta olduğu gibi, 802.16e standardı yer değiştirme için daha iyi çözümler sunabilir. Bunun için testler çoktan yapılmaya başlanmıştır (Kim vd., 2005). Bir hareketli cihaz, IP-alt ağını değiştirdiğinde, bu iki farklı sistem arasındaki veri değişimi öncelikle ele alınması gereken bir konu haline gelir. Bu durum, WIMAX ağında daha yüksek katmanlarda yönetilebilir. Hareketli cihaz, ASN'ler arasında hareket etmediği sürece, genellikle makro hareketlilik olarak bilinen L3 hareketliliği uygulanamaz.

802.11'de L3 veri değişimi tipi, bir cihaz, farklı alt ağların erişim noktaları arasında hareket ettiği zaman uygulanır. Böyle bir hareketliliği yönetebilmek için en sık kullanılan yöntem MIP'tır. WLAN'daki servis kalitesi nokta koordinasyon fonksiyonu (Point Coordination Function, PCF) ya da dağıtılmış koordinasyon fonksiyonu (Distributed Coordination Function, DCF) seçimine bağlı olarak sınırlandırılmıştır. Fakat 802.11e standardı, servis kalitesi için iki yeni fonksiyon sunmaktadır (Garg vd., 2006).

Bu iki fonksiyon, sekiz kullanıcı önceliğine sahip olmasına rağmen sadece bir bağlantıyı kapsayabilir. Diğer andan WIMAX, kendi servis kalitesi parametrelerini servislere, kullanıcılara, trafik tiplerine uygulayabilir ve her biri farklı trafik parametrelerine sahip birçok bağlantıyı kapsayabilir (Nair vd., 2006). Kullanıcıları ve trafiği ayırabilmesi, WLAN'ı WIMAX erişim ağına bir hotspot olarak entegre eder. Çünkü WLAN erişim noktasından aktarılan trafik, bağlanan kullanıcıların sayısı hakkında bilgi verebilir.

Bölüm 5.2.3'te anlatılan UMTS ve WIMAX gibi, Wi-Fi ve WIMAX ağları boyunca hareketlilik, iki modele bağlı olarak sağlanabilir. Her iki ağ da IP temelli olduğundan, entegrasyon, altyapı uyuşması için protokol dönüşümlerini gerektirmez.

5.3.4 Wi-Fi'de Gevşek Kablolama

WLAN'ın yapısındaki ağ yönetim birimlerindeki eksikler nedeniyle, WLAN operatörü, dikey veri değişimini gerçekleştirirken daha yüksek derecede bir ağ performansı alabilmek için ek cihazlara ihtiyaç duyar. Bu ağ performansı, veri değişimi öncesi hizmetler ve AAA'nın içerik iletimini iyileştirmek için kullanılır. Bu işlem, veri değişimindeki gecikmeyi azaltır ve değişimi görünmez kılar (Ylianttila,

2005).

UMTS'te olduğu gibi, gevşek kablolama, yer değiştirme konusunda WIMAX veri servislerinin kapsama alanlarını, WIMAX ağı içerisindeki WLAN ile entegre olmadan genişlettiği için operatörler açısından esneklik sağlar.

Wi-Fi hotspotları arasındaki global yer değiştirmeyi sağlamak için, WLAN henüz böyle bir altyapıya sahip olmadığı için, ücretlendirme ve hesaplamaların desteklendiği WIMAX ağları tercih edilir.

5.3.5 Wi-Fi'de Sıkı Kablolama

Bu tip bir entegrasyonda, WIMAX ağının cihazları zaten kullanıcı hareketliliği ve AAA gibi destekleri vermektedir. Tıpkı UMTS'teki gibi, entegrasyon proxileri, çift trafik akışının engellenmesi sırasındaki görünmez bağlantı transferini desteklemek için çekirdek ağı içerisine yerleştirilir. Böylece, uçtan uca anlamlı bir işleme olanak sağlayan bu çözüm, dikkate alınmalıdır (Schiller, 2003). Proxiler aynı zamanda, fazlalık gibi görünen bir hata durumu noktası ekler. Fakat, çekirdek altyapısında, yüksek seviyelerde hareketliliği yönetebilmeyi sağlayan bu yapı, aynı zamanda daha iyi bir ölçeklendirme demektir.

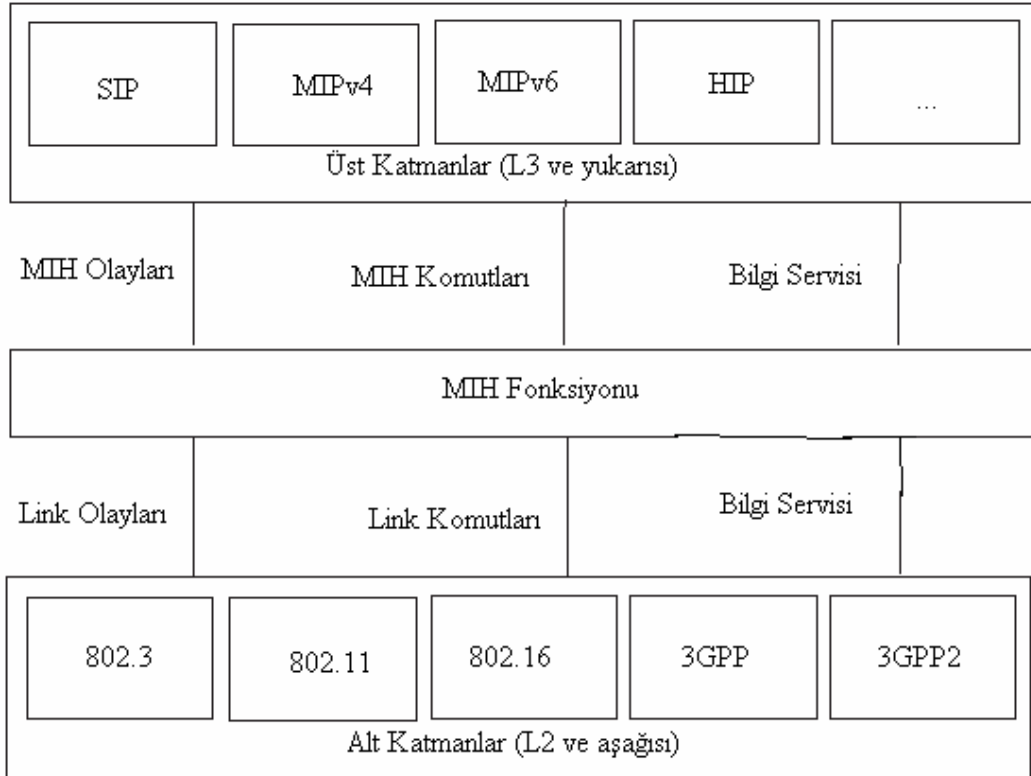
Ağlar arasında hareket ederken, ağ yapısına dair bilgiler sayesinde konum yönetimi daha kolay sağlanabilir. Yer yönetimi sayesinde, hareketli cihaz, başka ara yüzlerdeki ağ teknolojilerinden kendini sakınabilir ve bu sayede gücünü korur. WIMAX ağına eklenmiş bir WLAN, kullanıcıya IP bağlantısını sağlamak ve IP adres bilgilerini tutmak için CSN'i kullanabilir.

5.4 Devam Etmekte Olan alışmalar

4G ağları sayesinde, heterojen ağlar arasındaki entegrasyon ve hareket birçok araştırma projesini doğurmuştur. UMTS standardının WLAN ile ağ girişimi kısmına açıklık getiren Release 6 buna örnektir. Bu projelerin bazıları, Katman 3 veri değişimine ilişkindir. Bu, kimlik bilgisi gösteren bir gösterge ve bağlantı noktası gibi iki amaçlı kullanılan bir IP adresinin ikili kullanımından kaynaklanmıştır.

5.4.1 802.21 Standardı

IEEE, şu anda, IEEE 802 ve 802 olmayan teknolojiler arasındaki veri değişimini yönetmek için 802.21 MIH ara yazılım standardı üzerinde çalışmaktadır (IEEE Std. 802.21, 2008). Bu yazılımla, düşük katmanlardaki servislerin yüksek katmanlara hizmet verebilmesi amaçlanmaktadır. MIH ara yazılımı, Şekil 5.5'te gösterildiği gibidir.



Şekil 5.5 IEEE 802.21 katmanlama standardı

802.21 üç ana bileşenden oluşmaktadır: Ağ elemanları arasındaki protokollerin mimari yapısı, veri değişimi fonksiyonları ve primitifler (MAC katmanı SAP'ları ve özel erişim teknolojileri için kullanılan primitifler).

Teknolojiye özgü eklemeler, her standardın özelleştirilmesi için bir iyileştirme amacı taşır. MIH, ağ elemanları arasında hareketliliği ve mobil cihazı yöneterek daha yüksek katmanlar için gerekli fonksiyonları sağlayan bir ara yazılım olarak düşünülebilir. MIH, MIP'i genişleterek ağ statüsü ve çoklu ara yüzlere dair bilgileri Katman 2'den alarak işleyebilir. Standart, çoklu katmanlardaki girişimleri iyileştirir ve heterojen ağlardaki hareketlilik için, optimum hale getirilmiş yumuşak/sert veri değişimi çözümünü içeren bir Katman 2.5 önerisinde bulunur (Bi vd., 2005).

Standardın son hali Temmuz 2005 yılında yayımlanmıştır ve bitiş tarihi olarak Mayıs 2006 gösterilmiştir. Fakat bu, tahminlere dayanan bir zamanlama olmuştur. Şu an heterojen hareketliliğe olanak sağlayan NetMotion Mobility XE (NetMotion Wireless, 2006) ve PCTEL gibi değişik çözümler sunulmuştur (PCTEL's Mobility Solutions Group, 2006).

5.4.2 Ev Sahibi Kimlik Protokolü

IETF, IP trafiğinin güvenlik kriterleri belirleyen ve IP paketlerinin yönlendirilmesi sırasında karşılaşılan problemleri adresleyen ev sahibi kimlik belirleme prokolü (Host Identity Protocol, HIP) üzerinde çalışmaktadır (Jokela vd., 2004) .

Bir IP adresi, IP ağına bağlanan bir hostu belirlemek amacıyla kullanıldığı için, hareketlilik genellikle engellenmiş olur ancak bu durum MIP kullanılarak azaltılabilir (Schiller, 2003). Bununla beraber, bu işlem; çoklu IP adreslerinin, IP katmanının tepesindeki işaretleşme protokollerinin ve trafik akışının yönlendirilmesini gerektirir. HIP, host kimliklerinin paket akışından bağımsız olmasına olanak sağlayarak, paketlerin IP adresinden ziyade tek host kimliği ile yönlendirilmesine imkan verir. Böylece HIP, konum belirlenmesine ve IP adresine dair konum ve kimlik belirlenmesine olanak sağlayarak, IP katmanında, yönlendirme ve uçtan uca fonksiyonlar arasındaki yerini alır.

Bu sayede, yeni bir adresleme yapılarak, kullanıcıların host belirleyici (Host Identifier, HI) tarafından tanınmasını sağlar. 128 bit tanımlayıcı olarak tanımlanan HI, host belirleme etiketi (Host Identity Tag, HIT) olarak adlandırılır. HIP, ağ içindeki güvenlik ve hareketliliğe yardımcı olur. Böylece, aynı IP adresinin iki kez alınmasını engelleyebilmek için, L3 mobilitesini alt ağlar ve heterojen ağlar boyunca işleme alır. İşin uzmanları HIP için IPv4 ve IPv6 üzerinden sağlanan hareketlilik ve çoklu adreslemeyi tanımlamışlardır (Jokela vd., 2004). Daha sonra ise bu konuda, host hareketliliği açısından MIP, yer değiştirme ve HIP'i tartışmışlardır (Liang vd., 2004).

Bütün bunlara rağmen, HIP, çoklu yayın ve yalancı servis (Denial of Service, DOS) tehlikelerine karşı koruma desteği veremez. Araştırmacılar, HIP ve secure-i3'ün kaynaştırılmasına ve her iki protokolün de tanımlanmasına ilişkin fikirlerini sunmuşlardır (Nikander vd., 2004).

5.4.3 Hücresel Destekli Heterojen Ağlar

Hücresel destekli heterojen ağlar, (Cellular Assisted Heterogeneous Networking, CAHN) (Danzeisen vd., 2006), peer-to-peer ağlarda gerçek veri bağlantılarından ayrı tutulan bir işaretleşme tabakası üzerinde çalışan bir projedir. Bu tip ağlar, GSM/GPRS gibi hücresel ağların karakteristiklerini kullanırlar. Bu hücresel ağlar, belgeleme, kimlik doğrulama, alçak bant genişliği işaretleşmesi için gerekli fonksiyonlara sahiptir. Heterojen ağlar, AAA'daki karakteristikler, kullanılan gücün azaltılması, kapsama alanı ve bit hızı gibi konularda farklılık gösterirler.

CAHN, kullanıcıları belirlemek için, IP, MAC ya da diğer adresleme yöntemlerini kullanmak yerine hareketli abone entegre servisleri sayısal ağ numarası (Mobile Subscriber Integrated Services Digital Network Number, MSISDN)'nı kullanmayı tercih eder. Kullanıcıların, kendi hücresel operatörleriyle aralarında güvenlik mekanizmaları ve ücretlendirme bilgileri zaten belirlenmiştir. Bu bilgiler, kullanıcılar arasındaki bağlantılar kurulurken tekrar kullanılabilir. Bu işlem, kullanıcıları, kimlikle beraber eklenmenin bir tanımı olarak kullanılan birçok adresleme yöntemlerinin topoloji düzeltmeleri için gerekli zorunluluklarından kurtarır.

İki host arasındaki işaretleşme bir bağlantı kurulumunu gerektirdiğinden, deneyimler kısa mesaj servisi (Short Message Service, SMS) ile birlikte uygulanır. Fakat SMS de tıpkı kontrol taşıyıcısı gibi gecikmeye duyarlıdır. Bu yüzden de CAHN protokol işaretleşmesini geliştirmek için, SMS tarafından kullanılan yavaş bağlanan kontrol kanalı (Slow Associated Control Channel, SACCH) yerine hızlı bağlanan (Fast Associated Control Channel, FACCH) kontrol kanalı önerilmiştir (Maghsoodi, 2004).

Kullanıcılar birbirlerine, CAHN protokolü üzerinden oturuma katılma isteği yollayarak hücresel doğrulama yapabilirler ve birbirlerini MSISDN yardımıyla tanıyabilirler. Böyle bir oturuma katılma isteği geldiğinde, cihazlar WLAN, Bluetooth gibi uygun olan teknolojileri tarayıp istenen ortam boyunca en uygun bağlantıyı sağlarlar.

Böylece işaretleşme daha düşük güçlerde de gerçekleştirilebilir ve bağlantı daima ayakta kalır. Gücü düşüren ara yüz ve yüksek bant genişliğindeki ara yüzler sadece bearer servisler kullanıldığında aktive edilir. Bu yüksek bant genişlikli ara yüzlerin, sürekli olarak aktif olmasına ya da bağlı kalmasına gerek yoktur. İşaretleşme ayrı yapıldığından, gerçek veri iletimi için, sadece gerekli ara yüzü aktive etmek yeterlidir.

Servisi ile hücresel sağlayıcı konusunda hemfikir olan bir hücresel telefon kullanıcısı, bu hizmetten yararlanabilmek için, heterojen erişim teknolojilerinden başka, CAHN mimarisini desteklemeye ihtiyaç duyar.

5.5 Sonuçlar ve Tartışma

WIMAX ağ referans mimarisi, heterojen ağlar arasında mobilite desteğini taahhüt etmesine rağmen, 2007-2008'e kadar tam mobilite desteği sağlanamadığı ve 802.16e yer değiştirme standardı hala tamamlanamadığı için bir belirsizlik söz konusudur.

Buna rağmen, eldeki teknolojiler ve ağ girişimi yapısı düşünülerek standart, daha yüksek katmanlarda değerlendirilebilir. Hücresel ağların ve bilgisayar ağlarının genel IP-birleşmesi WIMAX tarafından düşünülmüş bir faktördür. MIP, L3 mobilite desteği vermek amacıyla ortaya atılmış ve ağ referans mimarisi tarafından desteklenen bir protokoldür. NAP'lar için düşünülen mobilitenin asıl amacı, özellikle L3 veri değişimi protokollerine yardımcı olmaktır.

802.21 ve MIP gibi L3 mobilite protokolleri yardımıyla makro mobilite desteğinin ele alınması, aynı mobiliteyi tıpkı WIMAX ve UMTS gibi destekleyen 802.11 protokolünü beraberinde getirmiştir. Bu 802.11e, altyapıyı desteklemek amacıyla erişim noktalarını kullanmak yerine erişim noktalarını desteklemek için gerekli altyapıyı sağlamıştır. Bu ise, baz istasyonlarının merkezde bulunduğu hücresel ağlar ve WIMAX'tan farkıdır.

L3 mobilitesinin yanı sıra, L2 ve cross katmanı mobilite desteği için de alternatifler vardır. MIH, cross katmanı verilerini faydalı hale getiren bir standarttır. WIMAX mimarisi, her iki format için de MIP'i destekleyerek IPv4'ten IPv6'ya geçişi desteklemektedir. Buna rağmen, yatay ve dikey veri değişimleri tarafından karakterize edilen mobilite konusunda, L3 veri değişimine sebep olduğu için MIP'in güçsüz yanları vardır (Vidales vd., 2004). Fakat WIMAX ağlarının hiyerarşik yapısında, erişim ağını yönlendirmek için iç veri yollarının kullanıldığı bu tip bir mobilitenin daha yüksek bir katmana taşınması desteği zaten vardır.

UMTS, ağın IP-trafiği karakteristiklerine yoğunlaşırken, WLAN ise daha iyi bir servis kalitesi, mobilite ve WIMAX tarafından paylaşılan, hücresel karakteristiklere odaklanmıştır. WIMAX başlangıçta, sabit kablosuz geniş bantlar için tasarlanmış olsa da, NLOS ve veri hızı kapasitelerini destekleyen OFDMA fiziksel katmanı, güvenlik

ve servis kalitesi desteğini sağlayan MAC katmanı ve yönetim özelliğine sahip ağ mimari yapısıyla, mobilite desteğinin olduğunu göstermiştir.

Buna rağmen, bu yeni mimarinin tanıtımı, pratik test sonuçlarına yani WIMAX'ın gerçek sahadaki kapasitesine dayandırılmalıdır. Farklı teknolojiler arasındaki entegrasyonun nasıl yapıldığı, mobilite performansını etkileyecektir. Günümüzde yapılmış birçok araştırma, veri değişimine karar verilirken temel olarak işaretin gücünün baz alındığı yatay veri değişimi üzerinedir.

Ağların anahtarlanması sırasında otoriterlerce anahtar nokta olarak kabul edilen, servis kalitesi ve maliyet gibi konularda daha çok araştırmanın yapılması gerekmektedir. Çünkü mevcut basit işaretleşme ölçüleri, gevşek kablolanmış ağlar tarafından ortaya atılan, birçok farklı servis sağlayıcının hizmet ettiği, farklı erişim teknolojilerinin uygulamalarını ve bu uygulamaların farklılıklarını yakalamada yetersiz kalmaktadır.

6. SİMÜLASYON ÇALIŞMASI

WIMAX, kablosuz ağlar ve geniş bant erişim açısından hala yeni ve üzerinde tartışılan bir teknoloji olduğu için, WIMAX MAC-katmanı ve IEEE'nin 802.16 standardı tartışılmaya devam edilmektedir. Tam olarak tasarlanmış bir WIMAX ağı simülasyonu yapabilmek için hangi araçlar kullanılabilir?

NCTUns bu amaçla geliştirilmiş bir kütüphanedir (Wang vd., 2007). Bu program, gerçekten WIMAX simülatörü olarak kullanılabilir mi? Homojen ve heterojen ağlar için, WIMAX ağ yapısının taşıyıcı kapasitesi nedir? Bu taşıyıcı kapasitesi, veri değişimi, gecikme ve hedef adres, paket tipi gibi asıl veriyi fazlalaştıran bilgileri desteklemek için yeterince etkin midir? NCTUns WIMAX simülasyonunun geliştirmeye elverişli midir? Bu sorulara yanıt bulunmaya çalışılmaktadır.

Bu bölümde PMP modundaki bir WIMAX ağının sistem performansı çıkartılacaktır. Bunun için öncelikle kullanılan simülasyon programı bütün detayları ile anlatılmaktadır. Ayrıca, WIMAX ağına ilişkin farklı simülasyon senaryoları da ele alınmaktadır. Simülasyon senaryolarının gerçekleşme aşaması adım adım anlatılmaktadır. Bu yapılırken ağda kullanılan cihazlar ve bunlara bağlı olarak alınan sonuçların analizi de verilmektedir.

6.1 Simülasyon Çalışması

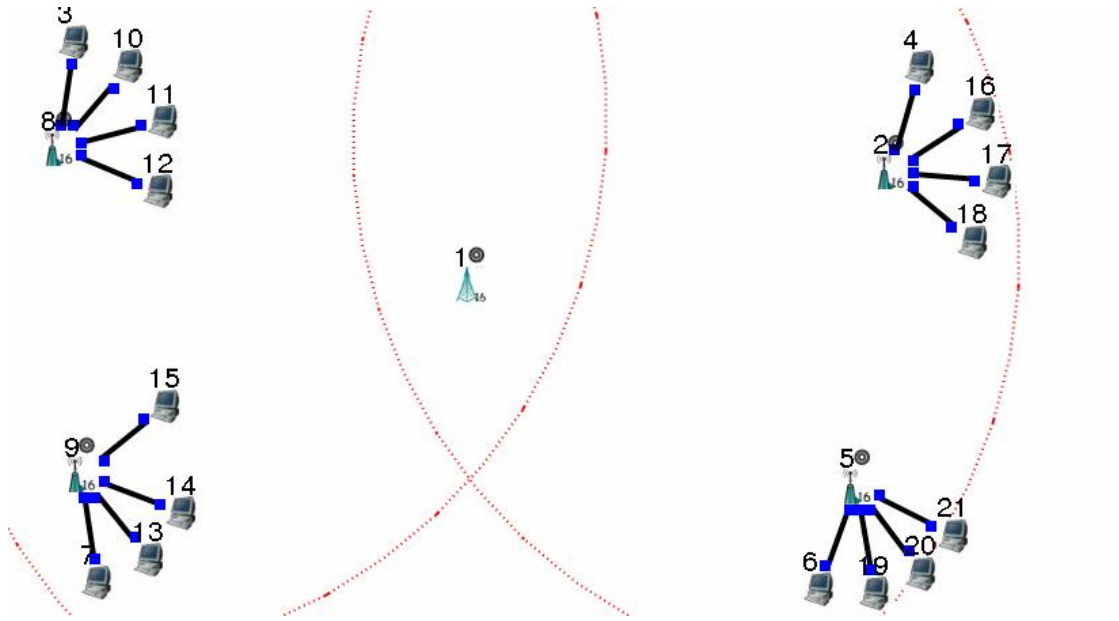
Sistem performans analizi üzerine yapılan son dönem çalışmalarında (Theodoros ve Kostantinos, 2007) 28- 42 GHz frekans bandında çalışmakta olan BFWA sistemlerin sistem performans analizi için:

- Örtüşme/gürültü oranını düşürme (örneğin bu oranı -10 dB'den -6 dB'ye çekme)
- Baz istasyonunda bulunan antenler üzerinde yapılan değişiklikler
- Farklı nod seçimleri yapma

Gibi yöntemler denenerek sistem performansının nasıl arttırılabileceğine dair görüşler sunulmuştur. Bu bölümde, sistem performans analizi için önemli bir yöntem olan farklı nod seçimleri yapılarak, PMP modundaki bir WIMAX ağının performans analizi yapılmaktadır. Bu analiz yapılırken, Şekil 6.1'de görülen 16 adet host, 4 adet gateway ve 1 adet baz istasyonundan oluşan WIMAX ağı temel alınacaktır. Bu ağda, baz istasyonları ve gatewayler arasındaki mesafe her bir gateway için eşit olup 400

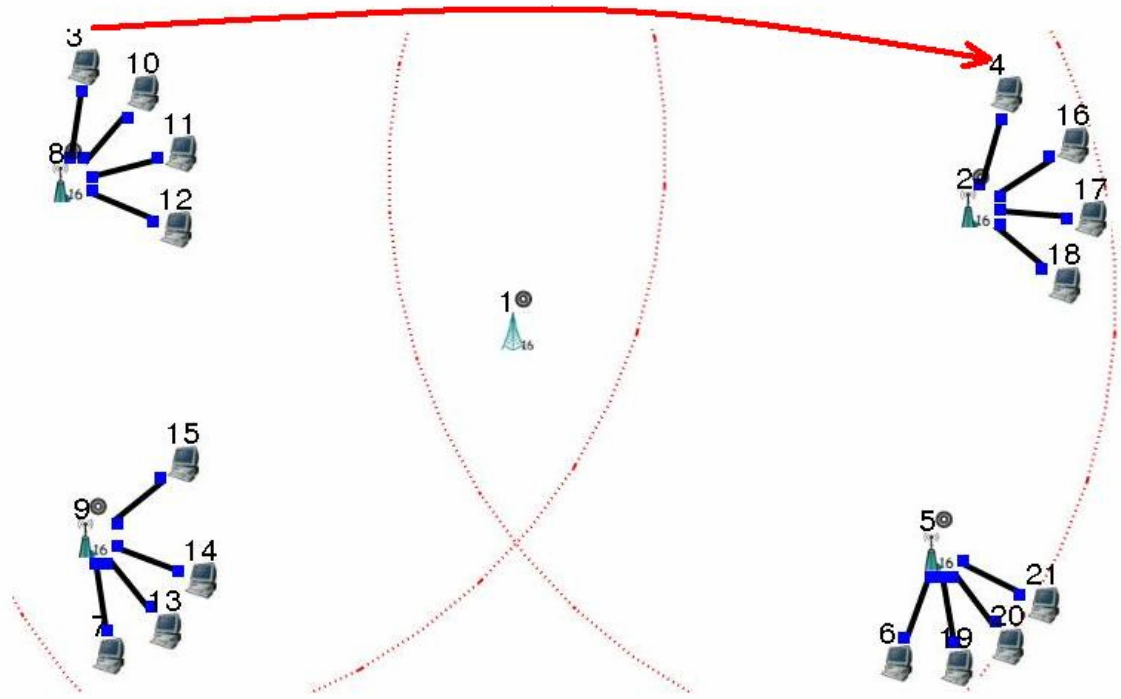
metredir. Gatewayler ile bağılı oldukları hostlar arasındaki mesafe ise yine sabit olup 100 metredir. Bir host, aynı ağ içerisindeki diğer bir hosta veri aktarımı yapabilmek için ilk önce kendi gatewayi üzerinden baz istasyonuna bağlanmakta, daha sonra bu baz istasyonu diğer hostun gatewayi üzerinden hosta veri aktarımını gerçekleştirmektedir.

Bütün uygulama aşamalarında, diğer şartlar aynı olmak koşulu ile 12 saniyelik toplam uygulama süresi için, veri aktarımı 1. saniyede başlayıp 11. saniyede bitirilmiştir. Değişken olarak veri aktarımı yapan host sayısı, veri aktarım yönü (UL/DL), aynı anda farklı kanalların kullanımı ile toplamda aktarılan veri miktarı değerlendirilmektedir.



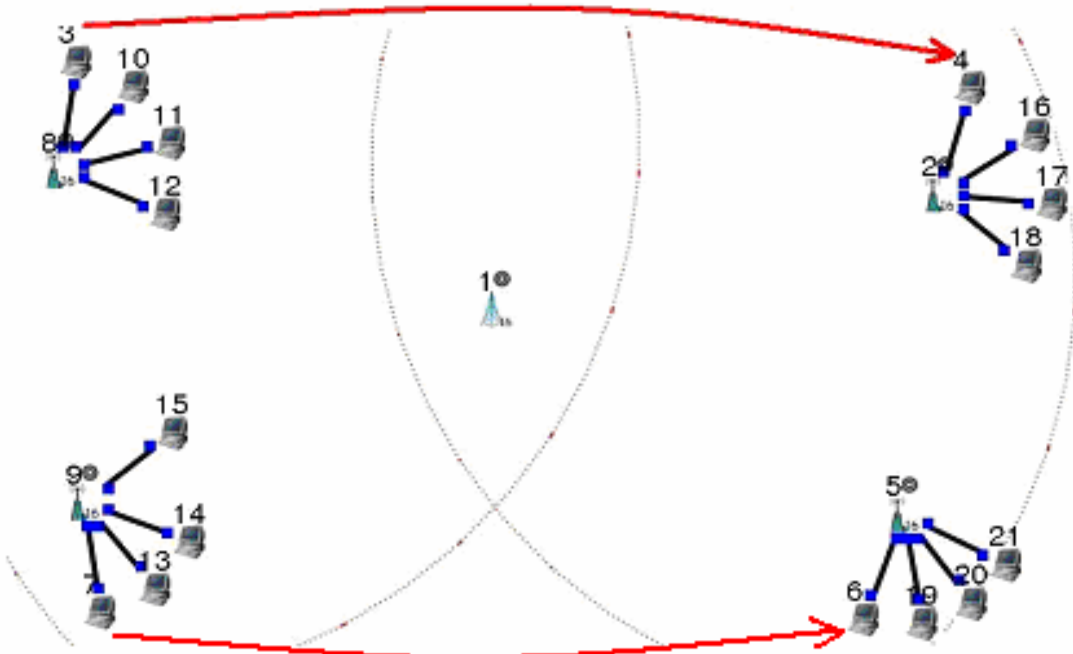
Şekil 6.1 IEEE 802.16(d) WIMAX ağı

Uygulama 1: Host 3'ten host 4'e veri aktarımı



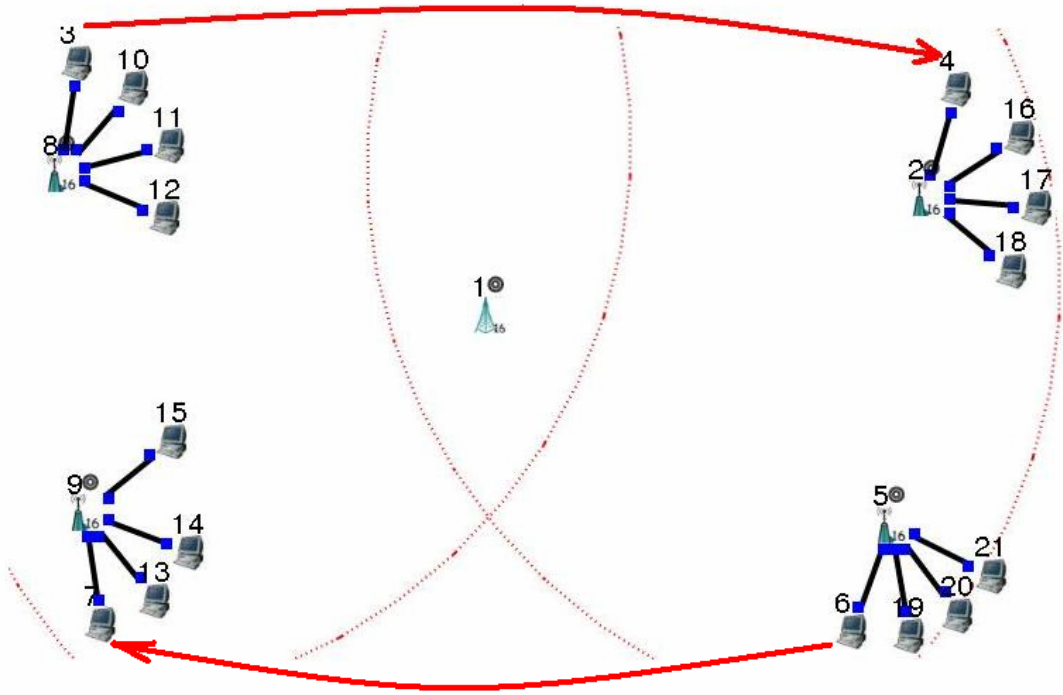
Şekil 6.2 Uygulama 1

Uygulama 2: Host 3'ten host 4'e ve host 7'den host 6'ya veri aktarımı



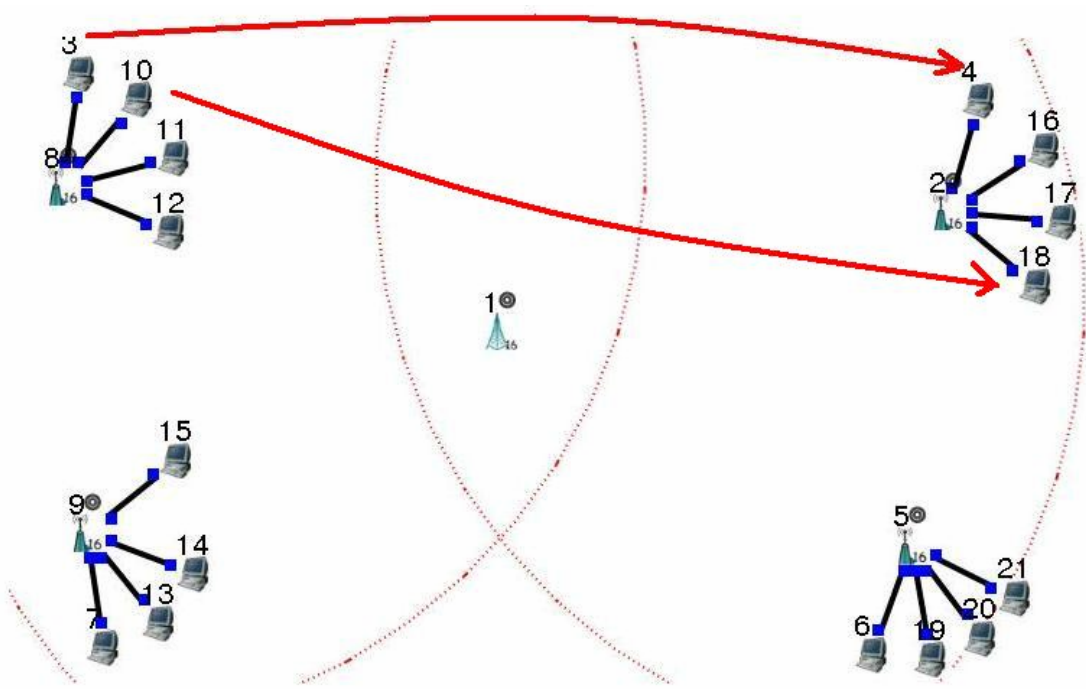
Şekil 6.3 Uygulama 2

Uygulama 3: Host 3'ten host 4'e ve host 6'dan host 7'ye veri aktarımı



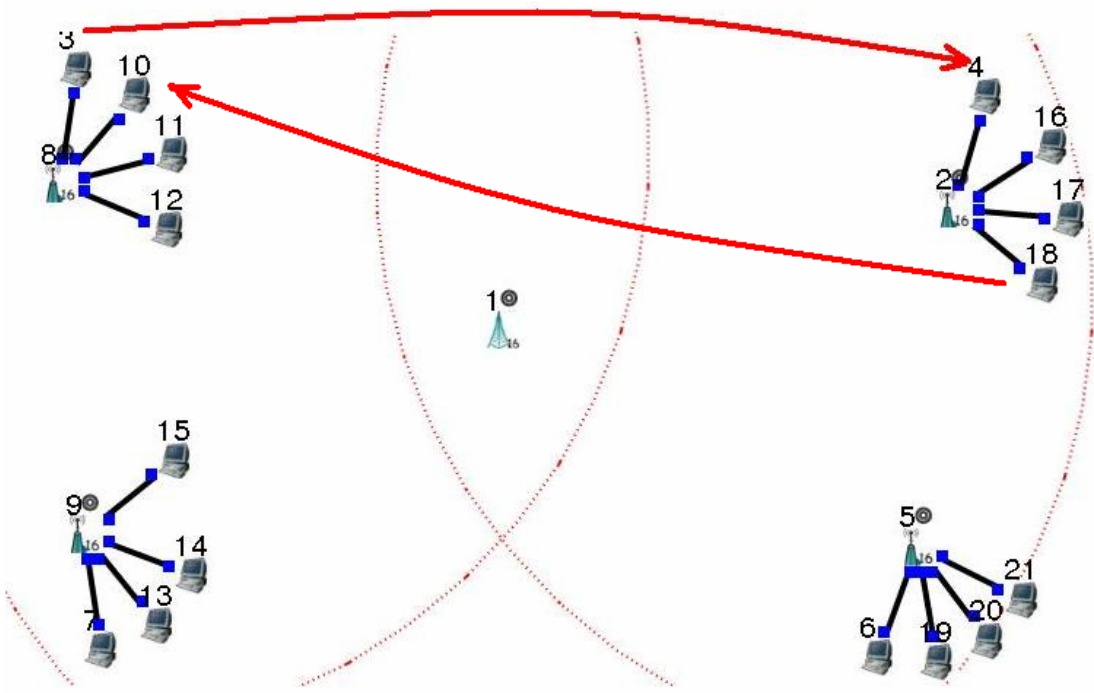
Şekil 6.4 Uygulama 3

Uygulama 4: Host 3'ten host 4'e ve host 10'dan host 18'e veri aktarımı



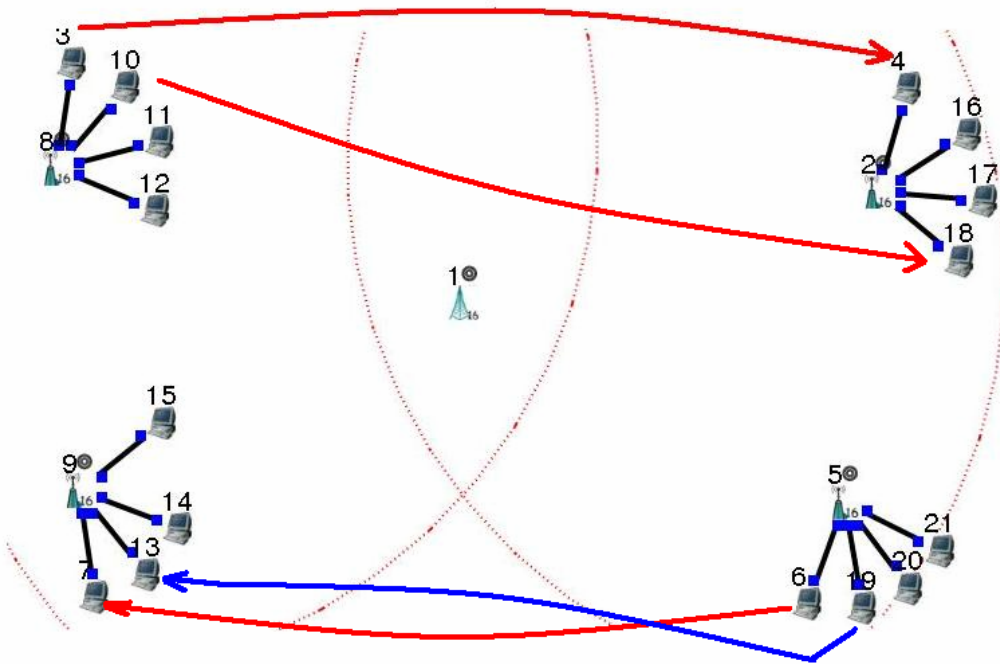
Şekil 6.5 Uygulama 4

Uygulama 5: Host 3'ten host 4'e ve host 18'den host 10'a veri aktarımı



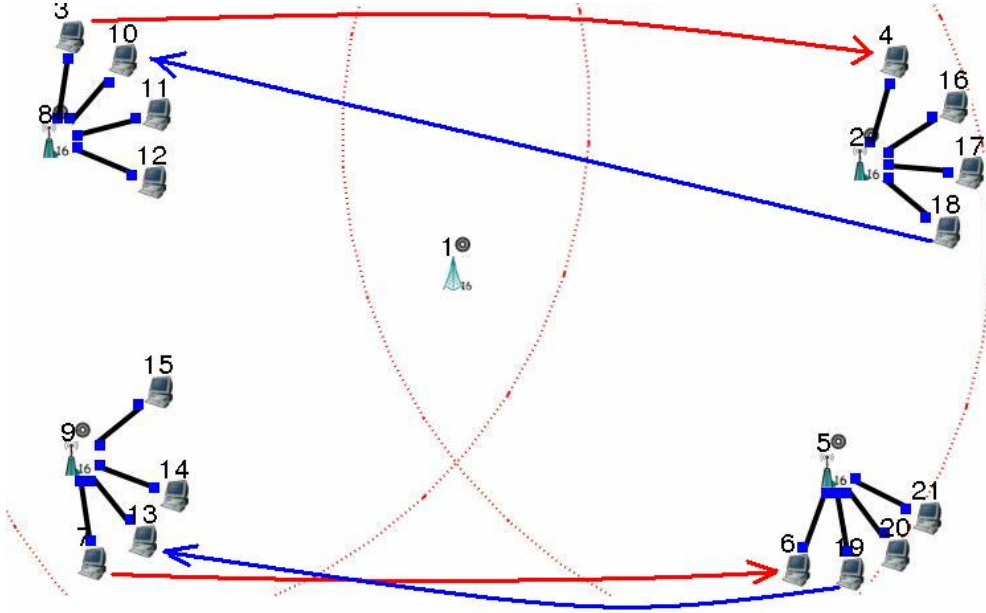
Şekil 6.6 Uygulama 5

Uygulama 6: Host 3'ten host 4'e, host 10'dan host 18'e; host 6'dan host 7'ye ve host 19'dan host 13'e veri aktarımı



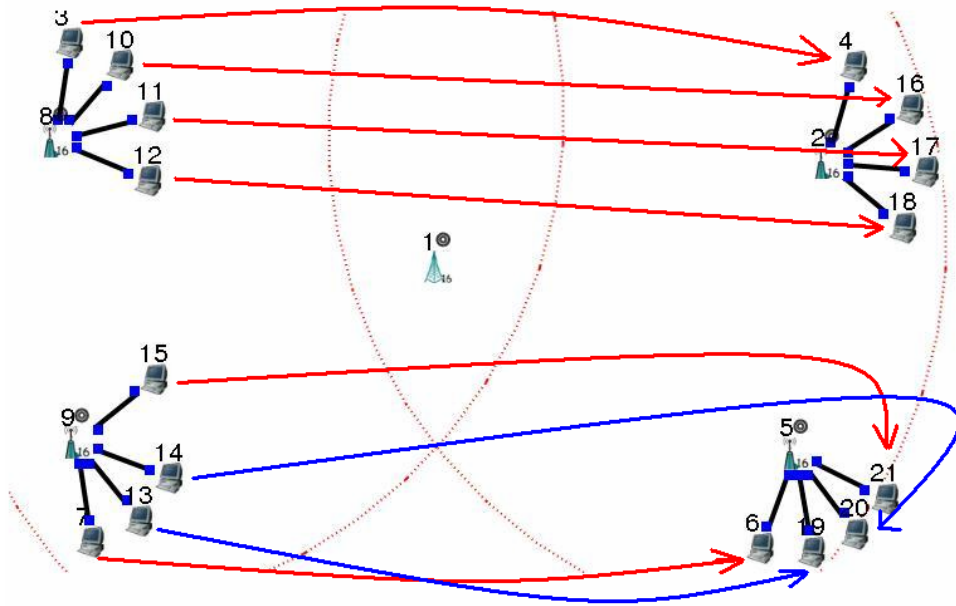
Şekil 6.7 Uygulama 6

Uygulama 7: Host 3'ten host 4'e, host 7'den host 6'ya; host 19'dan host 13'e ve host 18'den host 10'a veri aktarımı



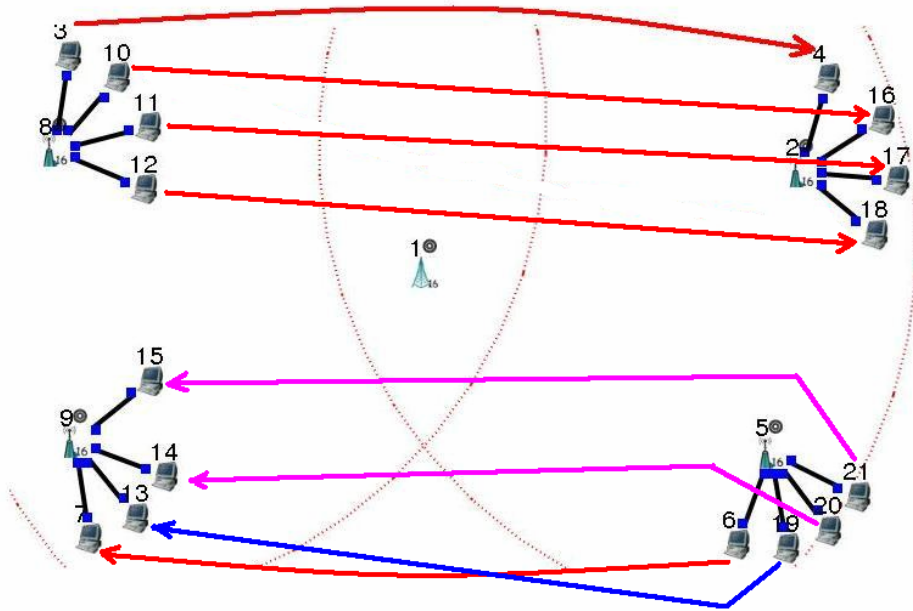
Şekil 6.8 Uygulama 7

Uygulama 8: Host 3'ten host 4'e, host 10'dan host 16'ya; host 11'den host 17'ye, host 12'den host 18'e; host 7'den host 6'ya, host 13'ten host 19'a; host 14'ten host 20'ye ve host 15'ten host 21'e veri aktarımı



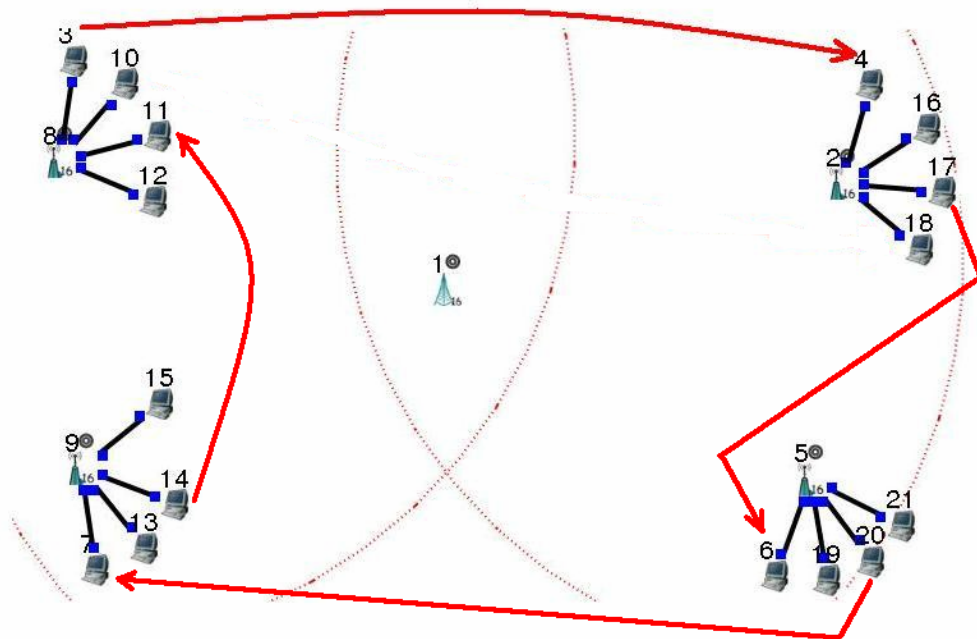
Şekil 6.9 Uygulama 8

Uygulama 9: Host 3'ten host 4'e, host 10'dan host 16'ya; host 11'den host 17'ye, host 12'den host 18'e; host 6'dan host 7'ye, host 19'dan host 13'e; host 20'den host 14'e ve host 21'den host 15'e veri aktarımı



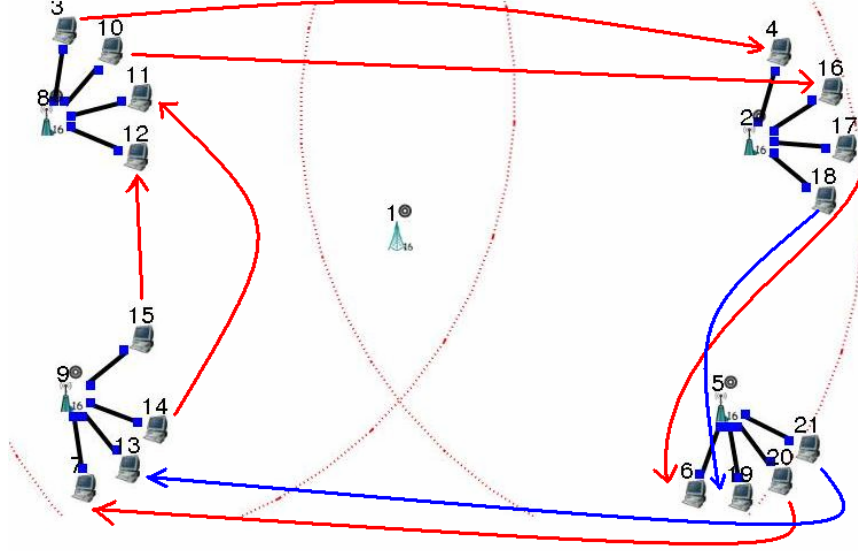
Şekil 6.10 Uygulama 9

Uygulama 10: Host 3'ten host 4'e, host 14'ten host 11'e; host 20'den host 7'ye ve host 17'den host 6'ya veri aktarımı



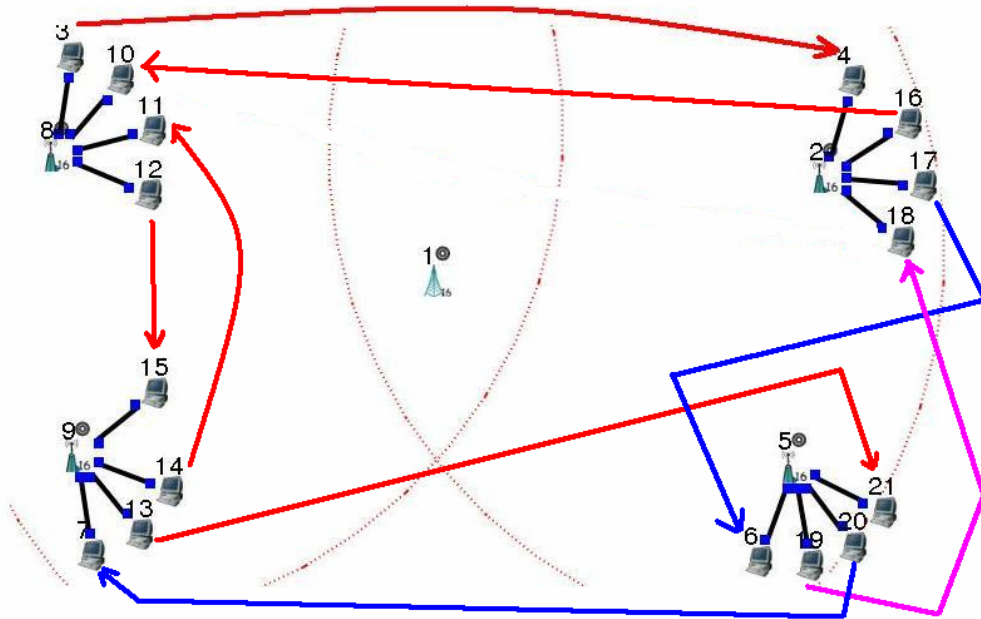
Şekil 6.11 Uygulama 10

Uygulama 11: Host 3'ten host 4'e, host 10'dan host 16'ya; host 14'ten host 11'e, host 15'ten host 12'ye; host 20'den host 7'ye, host 21'den host 13'e; host 17'den host 6'ya ve host 18'den host 19'a veri aktarımı



Şekil 6.12 Uygulama 11

Uygulama 12: Host 3'ten host 4'e, host 12'den host 15'e; host 13'ten host 21'e, host 14'ten host 11'e; host 16'dan host 10'a, host 17'den host 6'ya; host 19'dan host 18'e ve host 20'den host 7'ye veri aktarımı



Şekil 6.13 Uygulama 12

Çizelge 6.1’de verilen sonuçlar göstermektedir ki, bir WIMAX ağında, ağdaki elemanlara dair yapılan her türlü seçim sistem performansına yansımaktadır. Bu çizelgede, uygulama çalışmasındaki her bir senaryo için yapılan nod seçimleri, her bir nod üzerinden giden ve alınan veri miktarları, sistemdeki nodlar üzerinde toplam alınan ve toplam giden veri miktarları ve bunların oranları çıkartılmıştır. Bu oranlara dair maksimum ve minimum değerler ise Çizelge 6.2’de sunulmuştur.

Çizelge 6.2’deki değerlendirme sonuçlarından da anlaşılacağı gibi, bir WIMAX ağında veri aktarımı yapan host sayısı, veri aktarım yönü, hostların yerleşimi sistemin toplam veri yükünün bir göstergesi olup sistem performansını etkilemektedir. Bu sonuç, sistemdeki host sayısının en az olduğu senaryo olan Uygulama 1 için toplam alınan ve giden veri miktarının da en az olan senaryo olmasını açıklamaktadır.

Uygulama 4’te, tek bir Gateway SS nodu üzerinden iki hostun aynı anda ve aynı yönde veri aktarımı yapması, işaretler aynı kanalda birbirini sönümlediği için Giden Veri- Alınan Veri oranını düşürmüştür. Halbuki aynı senaryo için, hostların veri aktarım yönleri birbirine zıt olacak şekilde seçildiğinde, Çizelge 6.1’de verilen Uygulama 5’te görüldüğü gibi bu oran yükselmektedir.

Giden Veri- Alınan Veri oranının en fazla olduğu Uygulama 8’in Uygulama 4’ten farkı, veri aktarım yönleri aynı olmasına rağmen, veri aktarımı yapan host sayısının çok daha fazla olması ve bu hostların iki farklı Gateway SS noduna bağlı olmasıdır. Bir PMP Gateway SS nodu kendi konfigürasyonunu ve yönlendirme fonksiyonlarını gerçekleştirme özelliğine sahip olduğu için, veri akışlarını kontrol edebilir ve kanalın daha verimli kullanılmasına olanak sağlar. Bu durum, toplam giden verinin en fazla olduğu Uygulama 12 için de etkin bir özelliktir. Uygulama 12’de, veri aktarım yönlerinin farklı olması ve hostların farklı Gateway SS nodlarına bağlı olması aktarılan veri miktarını arttırmıştır.

Uygulama 10, hem veri aktarımı yapan host sayısı yüksek, hem de hostların bağlı bulunduğu her bir Gateway SS nodundan BS’e gelen ve BS’ten Gateway SS noduna aktarılan verilerin oranı birbirine yakın olup UL/DL örtüşme oranının düşük olması nedeniyle toplam alınan veri miktarı en yüksek olan uygulama olmuştur.

Çizelge 6.1 Veri aktarım sonuçları

Uygulama	Nod Seçimi	Alınan Veri (Kb/10s)	Giden Veri (Kb/10s)	Toplam Alınan Veri (Kb/10s)	Toplam Giden Veri (Kb/10s)	Giden Veri-Alınan Veri (Kb/10s)
U1	3->4	4284,644	4302,516	4284,644	4302,516	17,872
U2	3->4	2324,34	2348,628	4665,504	4714,08	48,576
	7->6	2341,164	2365,452			
U3	3->4	2221,826	2230,934	4690,486	4719,328	28,842
	6->7	2468,66	2488,394			
U4	3->4	2370,658	2378,248	5018,88	5032,542	13,662
	10->18	2648,222	2654,294			
U5	3->4	2318,524	2326,114	4595,806	4617,058	21,252
	18->10	2277,282	2290,944			
U6	3->4	1078,062	1094,76	5087,026	5108,278	21,252
	10->18	1369,518	1374,072			
	6->7	1318,24	1318,24			
	19->13	1321,206	1321,206			
U7	3->4	850,362	853,476	4840,638	4865,082	24,444
	7->6	2629,584	2641,728			
	19->13	545,244	549,798			
	18->10	815,448	820,08			
U8	3->4	561,252	564,288	4889,592	4960,144	70,552
	10->16	369,658	371,176			
	11->17	561,252	564,288			
	12->18	761,378	764,414			
	7->6	620,384	622,124			
	13->19	620,384	623,56			
	14->20	690,212	690,352			
	15->21	705,072	759,942			
U9	3->4	449,61	452,646	4849,766	4910,918	61,152
	10->16	826,074	835,252			
	11->17	646,26	650,814			
	12->18	451,128	452,646			
	6->7	695,958	699,146			
	19->13	552,764	555,87			
	20->14	559,338	589,768			
	21->15	668,634	674,776			
U10	3->4	2721,392	2721,392	5263,3	5286,226	22,926
	14->11	1550,09	1563,752			
	20->7	920,19	929,376			
	17->6	71,628	71,706			
U11	3->4	623,624	626,66	5195,874	5227,752	31,878
	10->16	692,756	692,756			
	14->11	970,612	970,612			
	15->12	520,956	525,51			
	20->7	191,55	199,14			
	21->13	990,018	997,608			
	17->6	744,604	750,676			
	18->19	461,754	464,79			
U12	3->4	554,352	561,942	5259,342	5306,4	47,058
	12->15	639,36	643,914			
	13->21	962,82	971,928			
	14->11	375,228	379,782			
	16->10	1137,264	1140,3			
	17->6	713,742	722,85			
	19->18	388,89	391,926			
	20->7	487,686	493,758			

Çizelge 6.2 Değerlendirme sonuçları

Senaryo	Uygulama	Sonuç (Kb/10s)
Giden Veri-Alınan Verinin en az olduğu host	U4	17,872
Giden Veri-Alınan Verinin en fazla olduğu host	U8	70,552
Toplam alınan verinin en az olduğu host	U1	4284,644
Toplam alınan verinin en fazla olduğu host	U10	5263,3
Toplam giden verinin en az olduğu host	U1	4302,516
Toplam giden verinin en fazla olduğu host	U12	5306,4

7. SONUÇLAR

Bu bölümde, öncelikle yapılan simülasyon çalışması sırasında, NCTUns 4.0 simülatör programına dair çıkartılan sonuçlar ve öneriler sunulmaktadır. Daha sonra ise yapılan simülasyon sonucunda varılan yargılar ve gelecekte yapılabilecek çalışmalara dair öneriler sunulmaktadır.

7.1 NCTUns'a İlişkin Sonuçlar

Bu çalışmaya başlandığında NCTUns 4.0, Kernel versiyonu 2.6.21 olan Linux Red-Hat Fedore Core 7'yi desteklemekteyken, mayıs 2008 itibariyle Kernel versiyonu 2.6.24.2 olan Linux Red-Hat Fedore Core 8'i desteklemeye başlamıştır. Bu güncelleme ile beraber, çalışmanın Uygulama Bölümü Fedore Core 8 versiyonu ile sürdürülmüş ve sonuçlar da bu versiyonda çıkartılmıştır.

NCTUns'un WIMAX sistem performans geliştirmesi açısından ns-2, QualNet ve OPNET gibi modelleyicilerle karşılaştırılması bu çalışmanın kapsamı dışına alınarak gelecekte yapılabilecek bir çalışma olarak bırakılmıştır. Buna rağmen NCTUns 4.0'ın, Kernel'in yeniden-giriş yöntemini kullanarak gerçek-dünya uygulamalarını desteklediği bilinmektedir. Oysa aynı uygulamaların, Ns-2, QualNet, ya da OPNET modelleyicilerle yapılabilmesi için bu modelleyicilerin üzerinde değişiklik yapılması ya da yeniden tasarlanması gerekmektedir. Bu yüzden de, gerçek-dünya uygulamaları Ns-2, QualNet, ya da OPNET modelleyicilerle tam olarak gerçekleştirilemezken, NCTUns gerçek-dünya uygulamalarını, üzerinde hiçbir değişiklik yapmadan gerçekleyebilir. Böylece çeşitli ağ yapıları için sistem performansı tam olarak çıkartılabilir.

Çalışma süresince NCTUns 4.0'ın, Kernel'in yeniden giriş yöntemiyle ayrık olay simülasyon yöntemini birleştirerek, sistem performans analizi konusunda, geliştirmeye açık basit yapısı, diğer benzer simülasyon cihazlarına uygulanabilmesi, yeniliklere açık olması nedeniyle diğer ağ simülatörlerine oranla büyük avantaj sağladığı görülmüştür.

Bu çalışma boyunca, NCTUns'un kurulumundan çalıştırılmasına kadar karşılaşılan her türlü problem NCTNUns destek grubuna elektronik posta ile bildirilmiştir (Wang vd., 2007). Bu problemlerden özellikle kurulumla ilgili olanlar destek grubunun da yardımıyla çözülmüştür. Ancak programa dair bazı özellikler hemen çözülemeyip

NCTUns'un gelecek versiyonlarında çözülmek üzere kayıtlara alınmıştır. Örneğin, PMP modundaki bir WIMAX ağında, parametreler sabit olup, kullanıcının bu parametreleri değiştirmek istemesi durumunda, kullanıcının NCTUns paketindeki modülün kaynak kodunu değiştirmesi ve sonrasında NCTUns simülasyon programını yeniden derlemesi gerekmektedir. Kaynak kodundaki değişikliklerle sistem performansının analizi, yasal izinler gerektirdiğinden gelecekte yapılabilecek bir çalışma olarak bırakılmıştır.

Yine NCTUns 4.0 WIMAX MAC katmanı, 802.3 MAC katmanı gibi trafik logları üretememekte ve sonuçlarını çizdirememektedir. NCTUns destek grubu, kullanıcının, bu loglar yerine koordinatördeki stg/rtg gibi trafik logu üreten uygulamaları kullanarak sonuç loglarına ait çizim yapabileceklerini belirtmiştir.

7.2 Simülasyon Çalışmasına İlişkin Sonuçlar

Simülasyon sonuçları göstermektedir ki bazı senaryolarda örtüşme miktarı sistem performansını büyük ölçüde düşürmüştür (Uygulama 4). Uygulama 4'te bir Gateway üzerindeki farklı hostlardan aynı anda bir BS'e veri aktarımı yapılmakta ve veri aktarımı sırasındaki bant genişliği sınırlandırmaları ve verilerin birbirleriyle örtüşme olasılıkları nedeniyle ağ performansı düşüş göstermektedir. Bu senaryoda veri aktarımı yapan host sayısı çok olmadığı halde (iki tane) sistemde tek Gateway SS nodu kullanılması ve veri aktarım yönlerinin (DL/UL oranının) aynı olması performansı düşürmüştür.

Sistem performansının en yüksek olduğu Uygulama 8'de ise bir çok host bulunmaktadır ve bu hostlar yine aynı yönde veri aktarımı yapmaktadır. Uygulama 8'in uygulama 4'ten en belirgin farkı iki adet Gateway SS nodu kullanılmasıdır. Gateway SS nodları bir WIMAX ağında BS'e aktarılan veri akışından sorumludur ve bir sistemde Gateway SS nodu sayısının fazla olması (bir BS aynı anda bir çok Gateway SS nodu desteği verebileceğinden), kanal bant genişliklerinin daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır. aynı anda tek bir Gateway SS nodu üzerinden bir çok host veri aktarımı yaparken karşılaşılan örtüşme, birden fazla Gateway SS nodu üzerinden yapılan veri aktarımı sırasında karşılaşılan örtüşmeye oranla çok daha fazladır. Çünkü farklı Gateway SS nodları, yönlendirme fonksiyonları sayesinde kanalı farklı zaman dilimleri için veri aktarımı amacıyla tutmaktayken (böylece farklı

Gateway SS nodlarına bağılı hostlar kanalı farklı zaman dilimlerinde kullanabilmektedir), bir Gateway SS nodu bütün hostlarına aynı kanal üzerinden veri aktarım olanağı sağlayabilmekte olup bu da kanalın verimini düşürmektedir.

Diğer uygulamalarda veri aktarım yönlerinin farklı olması (DL/UL oranı), birden çok Gateway SS nodu kullanımı, host sayısının artışı gibi faktörler toplamda aktarılan veri miktarını artırarak sistem performansını olumlu yönde etkilemiştir.

802.16 standardı, bir sistemdeki her bir BS'e, aynı çerçeve içerisindeki bir hücrenin talebine bağılı olarak gerçekleşen DL ve UL iletiminin zamanlamasını yapma olanağı sağlamaktadır. Bu demektir ki, bir WIMAX ağında, bazı noktalarda, bir baz istasyonu DL modunda iletim yaparken komşu bir hücre UL modunda olabilir. Bu koşullar altında, iki farklı örtüşme senaryosu olabilir: DL/UL örtüşmesi bir hareketli hücre DL modunda veri almaktayken, UL iletim modundaki bir komşu hareketli hücre tarafından engellendiğinde gerçekleşmektedir (Uygulama 12'de olduğu gibi).

Benzer şekilde, UL/DL örtüşmesi, aynı taşıyıcı üzerindeki komşu hücre DL modundayken, kendisi UL iletim modunda olan baz istasyonunda gerçekleşebilir. Her iki örtüşme senaryosu da, genellikle ve sadece, aynı çerçevenin UL ve DL oranlarına bağılı olarak sınırlı bir zaman için gerçekleşmektedir. Oysa, WIMAX'ın ilk standartlaştırıldığı yıllarda, UL ve DL zamanlarının dinamik atanmasına gerek görülmemiştir. Bunun sebebi ise paylaşılan çerçeveye eklenen spektral verimin sistem performansı açısından faydalı olduğu noktada sistemin aşırı yüklemeye henüz gitmemiş olmasıdır.

Bir WIMAX ağına sistem performansını etkileyen diğer bir önemli faktör de kapasitedir. Çünkü kapasite, kullanıcıdan alınan ya da kullanıcıya iletilen veri miktarını belirlemektedir. Böylece, verilen bir kanaldan iletebilecek maksimum veri miktarının bir sınırı vardır. Kablosuz bir sistemin kapasitesini belirlemek için bir çok yöntem vardır. Bunların başında, sistemden alınan birim bant genişliği başına düşen veri hızı miktarını hesaplama yöntemi gelir. Kapasiteyi hesaplamanın diğer bir yolu ise, sistem ya da kanal tarafından desteklenebilen kullanıcı sayısını belirlemektir. Kanal tarafından desteklenebilen maksimum kullanıcı sayısı, frekansa bağılı olarak, zamana bağılı olarak ya da frekans-zaman dilimi yardımıyla belirlenebilir.

Bir WIMAX ağında, kullanıcıların ihtiyaçları farklı olabileceği için sistem açısından kullanıcıların hepsi aynı tipte değildir. WEB'de dolaşmak, elektronik posta yollamak,

görüntü göndermek/almak, dosya indirmek, VoIP yapmak kullanıcılar tarafından genellikle aynı anda gerçekleştirilen işlemlerdir. Bu işlemlerden bazıları yüksek veri hızı gerektirirken (örneğin görüntü göndermek/almak gibi), bazıları yüksek servis kalitesine ihtiyaç duyar (dosya indirmek gibi). Örneğin bir görüntü alan kullanıcı, sistem kaynaklarını daha fazla kullanır. Bu yüzden de kapasite tahmini yapabilmek için, kullanıcılar özelliklerine ve sistem açısından ne kadar yük oluşturdıklarına göre sınıflandırılmalıdır.

Yapılan uygulama çalışmasında bütün hostlar aynı tipte veri gönderdiği için, sistem açısından birim host başına oluşturulan yük eşit olup bunun performansa etkisi çalışma dışında tutulmuştur.

Kapasiteyi hesaplamanın bir diğer yolu ise, sistemde yer alan belli sayıdaki kullanıcının sistem açısından yükünü hesaplamak ve bu yükü sürekli arttırarak hangi noktada yük yoğunluğunun hücrenin veri iletim yeteneğini düşürmeye başladığını belirlemektir. Sonra da her bir hücre başına düşen yük yoğunluğunu bulmaktır. Bir WIMAX ağında belli bir kapsama alanında harcanan sistem kaynaklarının sayısı, ağ üzerinde yapılan istatistiksel çalışmalara ve kapsama alanında yer alan kullanıcıların tipine göre belirlenir. Dahası, MS'te ve BS'te alınan işaretin seviyesi de WIMAX ağının sistem performansının bir göstergesidir. Alınan işaretin seviyesinin, kullanılan yüksek modülasyon tekniklerine bağlı olarak değişiminin incelenmesi, gelecekte yapılabilecek bir araştırma konusu olarak bırakılmıştır.

Sistem performansını belirlemenin en temel yolu, desteklenen maksimum ve minimum kullanıcı sayısını ve spektral verimi bit/saniye/Hz cinsinden belirlemektir. En kötü performansın, bütün kullanıcılar hücrenin kapsama alanının köşesinde yer aldığı zaman ve 1/2 bit oranlı QPSK gibi en düşük seviyeli modülasyon tekniği kullanıldığı zaman elde edildiği ortaya çıkmıştır. Bu kötü performans, sistemdeki kullanıcıların hepsi sistem kaynaklarını yüksek seviyelerde kullandığında (örneğin bütün kullanıcılar yüksek çözünürlüklü görüntü alıp verdiğinde) daha da aşağılara düşmüştür.

Diğer yandan, desteklenen kullanıcıların sayısı maksimuma çıkartıldığında, en iyi performans, bütün kullanıcılar BS'e yakın olduğunda, 5/6 bit oranlı 64QAM gibi yüksek modülasyon tekniği kullanıldığında ve bütün kullanıcılar, sistem kaynaklarını düşük seviyede kullandığında (örneğin hepsi elektronik posta gibi düşük veri hızlı

servisleri kullandığında) elde edilmiştir. Uygulama çalışmasında node seçiminin performansa etkisini belirleyebilmek için BS'e olan mesafe sabit tutulmuştur.

Bu çalışmada ele alınmamakla beraber, sonuçları tartışma açısından belirtilmelidir ki, performansı artırmanın diğer önemli bir yolu da, sistemdeki her bir kanal için frekansın yeniden kullanılması yöntemidir. Böylece hücrenin köşesinde yer alan kullanıcılar için örtüşme/taşıyıcı oranı düşürülmeye çalışılmaktadır. Uyarlamalı modülasyon tekniklerinin kullanılması, böyle bir sistemde, sistem kapasitesinde sınırlı bir etkiye sahiptir. Çünkü, hücrenin köşesinde yer alan kullanıcıların kullandığı düşük modülasyon teknikleri frekans/zaman kullanımında daha düşük bir verime sahip olmaktadır. Bu da göstermektedir ki, yüksek modülasyon tekniklerini kullanarak sistem kapasitesini arttırabilmek için, baz istasyonu sistemde kullanıcıların en fazla bulunduğu bölgeye yerleştirilmelidir.

Sonuç olarak, bir WIMAX ağında sistem performans analizi yapılırken, DL ve UL örtüşmeleri ayrı ayrı ele alınmalı ve analiz edilmelidir. DL örtüşme analizleri, hizmet verilen her noktada ayrı ayrı hesaplanabileceği için sonuçlar daha belirleyicidir. Diğer yandan, UL örtüşme analizleri, kapsama alanındaki kullanıcıların rasgele dağılımına bağlı olarak değişebileceği için, BS'teki örtüşme/taşıyıcı oranı için tahmini bir sonuç sunabilmektedir. Frekansın yeniden kullanılması kadar, kanal planlama, yardımcı kanalların ayrılması sistem performansına etki eden faktörlerdir. Ayrıca sistem performansı, kullanıcıların kapsama alanındaki dağılımına ve istekte bulundukları kullanıcı servisine bağlı olarak değişmektedir.

WIMAX standardındaki esneklik, bir sistem tasarımcısına, sistem kaynaklarını en verimli şekilde kullanarak, müşterilere, onların ihtiyaç duydukları verileri sağlayabilmek için, bütün sistemin performansı ve örtüşme seviyeleri konusunda seçim yapabilmesine izin verecek ölçüdedir.

KAYNAKLAR

Antonello, G., (2006), WIMAX Standards- "a IEEE 802.16 Standards Update", Webpage, Feb. 2006, <http://www.wimax.com/commentary/spotlight/news10-30-05mw1>.

Basic Concepts of HSDPA, (2007), http://www.ericsson.com/technology/whitepapers/3087_basic_conc_hspa_a.pdf.

Bi, Y.; Huang, J.; Xiao Hu, Fang, B.; Song, M. ve Song, J., (2005), IEEE P802.21 Mobile Technology, Applications and Systems, 2005 2nd International Conference on 15-17 Nov. 2005.

Bienaim, J. P., (2005), ITU/BDT Regional Seminar on Fixed Mobile Convergence and Guidelines on the smooth transition of existing mobile networks to IMT-2000 for Developing Countries, 9-12 May 2005, Nairobi, Kenya.

Boman, K.; Horn, G.; Howard, P. ve Niemi, V., (2002), "UMTS Security", Electronics & Communications Engineering Journal, Volume 14, No 5, 191-204, Oct. 2002, http://www.c7.com/ss7/whitepapers/cellular/umts_security.pdf.

Computer Networks and Internets, Q & A on Homogeneous and Heterogeneous Networks, Webpage, Feb. 2006, <http://www.netbook.cs.purdue.edu/othrpgs/qanda97.htm>.

Dahlman, E.; Ekström, H.; Furuskar, A.; Karlsson, J.; Meyer, M.; Parkvall, S.; Torsner, J. ve Wahlqvist, M., (2005), "The long-term evolution of 3G", Technical report, http://www.ericsson.com/ericsson/corpinfo/publications/review/2005_02/07.shtml.

Danzeisen, M.; Braun, T.; Steiner, I. ve Heissenbuttel, M., (2006), Simulations on Heterogeneous Networking with CAHN. Technical report, Apr. 2006, <http://www.iam.unibe.ch/braun/intern/ccnc.pdf>.

Duffy, J. (2006), Wireless group studies 'Super 3G' Standard, Webpage, Jun. 2006, <http://www.networkworld.com/edge/news/2005/01053gpp.html>.

ETSI Webpage, Feb. 2006, <http://www.etsi.org/>

Europe Grows Wi-Fi Wireless Faster Than North America, Webpage, Feb. 2006, <http://www.3g.co.uk/PR/Nov2003/6060.htm>.

eWeek, Public Wireless LAN Trends, Webpage, Feb. 2006, <http://www.fiberlink.com/release/en-US/Home/KnowledgeBase/Resources/Stats/>.

Fedora Project sponsored by Red Hat, 2008, <http://download.fedora.redhat.com/pub/fedora/linux/releases/8/Everything/i386/os/Packages/>

Fielbrandt, L., (2005), WIMAX - Demystified, Sep. 2005. Funkschau Workshop WLAN & WIMAX.

Garg, P.; Doshi, R.; Greene, R.; Baker, M.; Malek, M. ve Cheng, X., (2006) Using IEEE 802.11e MAC for QoS over Wireless. Feb. 2006. In Proceedings of the 22nd IEEE International Performance Computing and Communications Conference (IPCCC 2003), Apr. 2003, Phoenix, Arizona. IEEE Computer Society, <http://mosquiconet.stanford.edu/software/802.11e/ipc84.pdf>.

Geier, J., (2002), 802.11 Alphabet Soup. Webpage, Feb. 2006, <http://www.wi-fiplanet.com/tutorials/article.php/1439551>.

Global Mobile Suppliers Association, Specifications for 3GPP Release 6 finalized, Webpage, Feb. 2006, http://www.gsacom.com/news/gsa_176.php4.

HSUPA (High Speed Uplink Packet Access), Webpage, Feb. 2006, <http://www.mobilecomms-technology.com/projects/hsupa/>.

IEEE, Webpage, Feb. 2006, <http://www.ieee.com/portal/site/ipoitals/>.

IEEE Std. 802.3, CSMA/CD (ETHERNET), Webpage, Apr. 2008, <http://grouper.ieee.org/groups/802/3/>.

IEEE Std. 802.11, Wireless Local Area Networks, Webpage, Aug. 2008, <http://www.ieee802.org/11/>.

IEEE Std. 802.16-2004, Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, Technical report, June 2004, IEEE Standard for Local and metropolitan area Networks, <http://www.ieee802.org/16/>.

IEEE Std. 802.16e/D9, Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems - Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands and Corrigendum 1. Technical report, June 2005, Draft IEEE Standard for Local and metropolitan area Networks, <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=/iel5/10676/33683/01603394.pdf>.

802.16e- 802.20, Webpage, Feb. 2006, <http://www.wi-fiplanet.com/columns/article.php/3072471>.

IEEE Std. 802.20, IEEE 802.20 Mission and Project Scope, Webpage, June 2008, <http://ieee802.org/20/>.

IEEE Std. 802.21, Media Independent Handover Services, Webpage, Apr. 2008, <http://www.ieee802.org/21/>.

IETF Home Page, Webpage, June 2008, <http://www.ietf.org/>.

IEC (International Engineering Consortium), Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) Protocols and Protocol Testing, Webpage, Feb. 2006, <http://www.iec.org/online/tutorials/umts/>.

Jokela, P.; Nikander, P.; Melen, J.; Ylitalo, J. ve JormaWall, J., (2004), Host Identity Protocol-Extended Abstract, Wireless World Research Forum (WWRF8bis), 26-27 Feb. 2004, Beijing, China. <http://www.jokela.org/publications/wwrf8bis.pdf>.

Karlberg, L. A., (2006), Ericsson hjälper 3 bli först med turbo-3G. Feb. 2006. NyTeknik 050207, <http://nyteknik.se/art/38771>.

Kim, C. K ; Kim, K.A ; Kim, T., (2005), "A Seamless Handover Mechanism for IEEE 802.16e Broadband Wireless Access", International Conference on Computational Science (2), 26 Sep. 2005, 527-534, <http://popeye.snu.ac.kr/publication/file/05ij01.pdf>.

Leung, K. K.; Mukherjee, S.; Rittenhouse, G. E., (2005), Wireless Communications and Networking Conference, IEEE Conference Volume 3, 1446-1452, 13-17 Mar.

2005.

Liang, Y.; Wang, X.; ve Wang, C., (2004), Host Mobility Support in IP Network. Technical report, Mar. 2004, <http://me.cs.dal.ca/xwang/courses/cs6704/report.pdf>.

Maghsoodi, E., (2004), Design and Implementation of WLAN Support for Cellular Assisted Heterogeneous Networking. Technical report, Nov. 2004. Slides, Diploma Thesis, <http://www.iam.unibe.ch/rvs/teaching/ws04seminar/Maghsoodi.pdf>.

Mehta, P.; Khandeparkar, G. M. S. ve Swamy, M. C., (2002), Inter-operability between Heterogeneous Networks. Technical report, Wipro Technologies, <http://wireless.ittoolbox.com/pub/PM040102.pdf>.

Morrissey, R.; Leonard, J. ve Driscoll, O. N., (2004), UMTS (3G)/WLAN Integration.

Nair, G.; Chou, J.; Madejski, T.; Perycz, K.; Putzolu, D. ve Sydir, J., (2006), IEEE 802.16 Medium Access Control and Service Provisioning. Webpage, Feb. 2006. Intel Technology Journal, http://download.intel.com/technology/itj/2004/volume08issue03/art04_ieee80216mac/vol8_art04.pdf.

Nctuns, The Official NCTUns Discussion List, (2008), <http://nsl10.csie.nctu.edu.tw/mailman/listinfo/nctuns>

NCTUns Support Team E-mail Address, (2008), nctuns@nsl10.csie.nctu.edu.tw

NetMotion Wireless, NetMotion Mobility XE, Company Webpage, Feb. 2006, http://www.netmotionwireless.com/product/mobility_keys.asp.

Nikander, P.; Arkko, J. ve Ohlman, B. (2004), Host Identity Indirection Infrastructure. Nov. 2004. The Second Swedish National Computer Networking Workshop 2004 (SNCNW2004), Karlstad University, Karlstad, Sweden, Nov. 23-24, 2004, <http://www.tml.tkk.fi/pnr/publications/sncnw2004.pdf>.

Overview of The Universal Mobile Telecommunication System, Webpage, Feb. 2006, <http://www.umtsworld.com/technology/overview.htm>.

PCTEL's Mobility Solutions Group, Mobility Management Suite, Company Webpage, Feb. 2006, <http://mobilitysolutions.pctel.com>.

Sanders, T., (2005), Tutorial: The Many Flavors of OFDMA. Webpage, Feb. 2006. <http://www.wi-fiplanet.com/tutorials/article.php/3557416>.

Schiller, J., (2003), Mobile Communications. Addison-Wesley, London, 2003.

Telcordia Technologies Inc. Telcordia Digest of Technical Information Invitations to Participate Generic Requirements for Mobile Broadband Wireless Access, Webpage, Dec. 2005, <http://www.telcordia.com/services/genericreq/digest/invitations/newgrmbwa.html>.

The free encyclopedia Wikipedia, Handoff, Webpage, Feb. 2006, <http://en.wikipedia.org/wiki/Handoff>.

The Register Wireless Watch, WIMAX summit: "Standards-plus could harm 802.16 roadmap", Webpage, Feb. 2006, http://www.theregister.co.uk/2005/04/11/wimax_summit/.

Trinkwon, D., (1996), Technology of Fixed Wireless Access. Presented at the citi seminar on in delivering Universal Service, Columbia University, New York City 30th Oct. 1996.

UMTS Handover, Webpage, Feb. 2006, <http://www.umtsworld.com/technology/handover.htm>.

Universal Mobile Telecommunications System, UMTS Forum, Webpage, July 2008, <http://www.umts-forum.org>.

Vidales, P.; Patanapongpibul, L.; Mapp, G. ve Hopper, A., (2004), Experiences with Heterogeneous Wireless Networks, Unveiling the Challenges. HET-NET's 04. Second International Working Conference, Ilkley, West Yorkshire, U.K, July 26-28, 2004. <http://www.cl.cam.ac.uk/Research/DTG/pav25/publications/HetNets04-Vidales.pdf>.

Wang, S.Y.; Chou, C. L. ve Lin, C. C., (2007), Produced and maintained by Network and System Laboratory, Department of Computer Science, National Chiao Tung University, Taiwan July 1, 2007, <http://www.csie.nctu.edu.tw/~shieyuan> ; nctuns@nsl10.csie.nctu.edu.tw.

What is the WIMAX Security scheme/protocol? Webpage, Feb. 2006, <http://www.wimax.com/education/faq/faq29>.

Wilson, S.K.; Wilson, J.; Chen, J. ve Arefi, R., (2006), Broadband Mobile Systems. Technical report, Feb. 2006, http://ieee802.org/20/Dot16_Ar/C80216sgm-02_19r1.pdf.

WIMAX Forum, WIMAX End-to-End Network Systems Architecture, Technical report, 15 Aug. 2005, Draft, Stage 2: Architecture Tenets, Reference Model and Reference Points, <http://www.wimaxforum.org/home>.

Wi-Fi Alliance, Wi-Fi Official Homepage, Webpage, May. 2008, <http://www.wi-fi.org>.

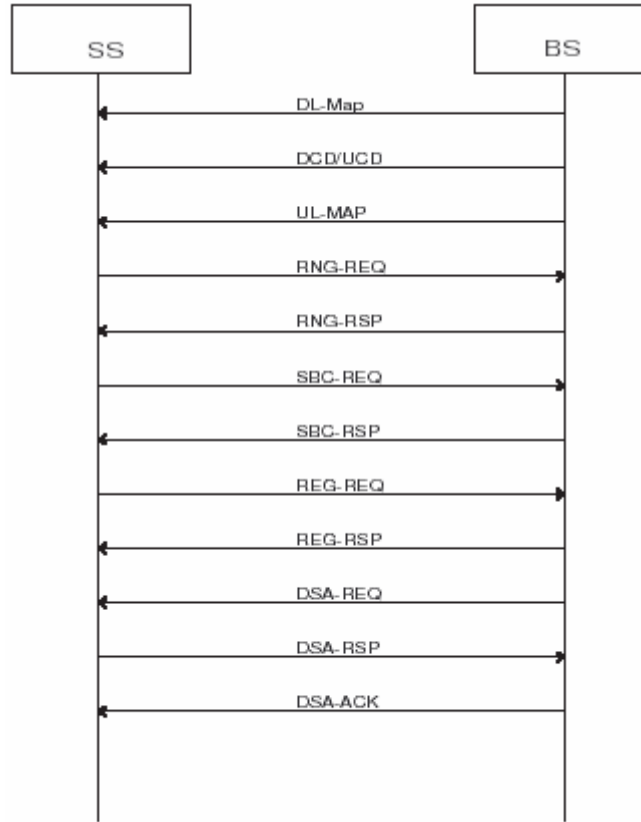
Ylianttila, M., (2005), Vertical Handoff and Mobility-System Architecture and Transition Analysis. PhD thesis, Faculty of Technology, University of Oulu, 2005, <http://herkules.oulu.fi/isbn9514276922/isbn9514276922.pdf>.

ZDNet Research., WLAN market to reach \$5 bln by 2006, Webpage, Dec. 2005, <http://blogs.zdnet.com/ITFacts/wp-trackback.php?p=8280>.

EKLER

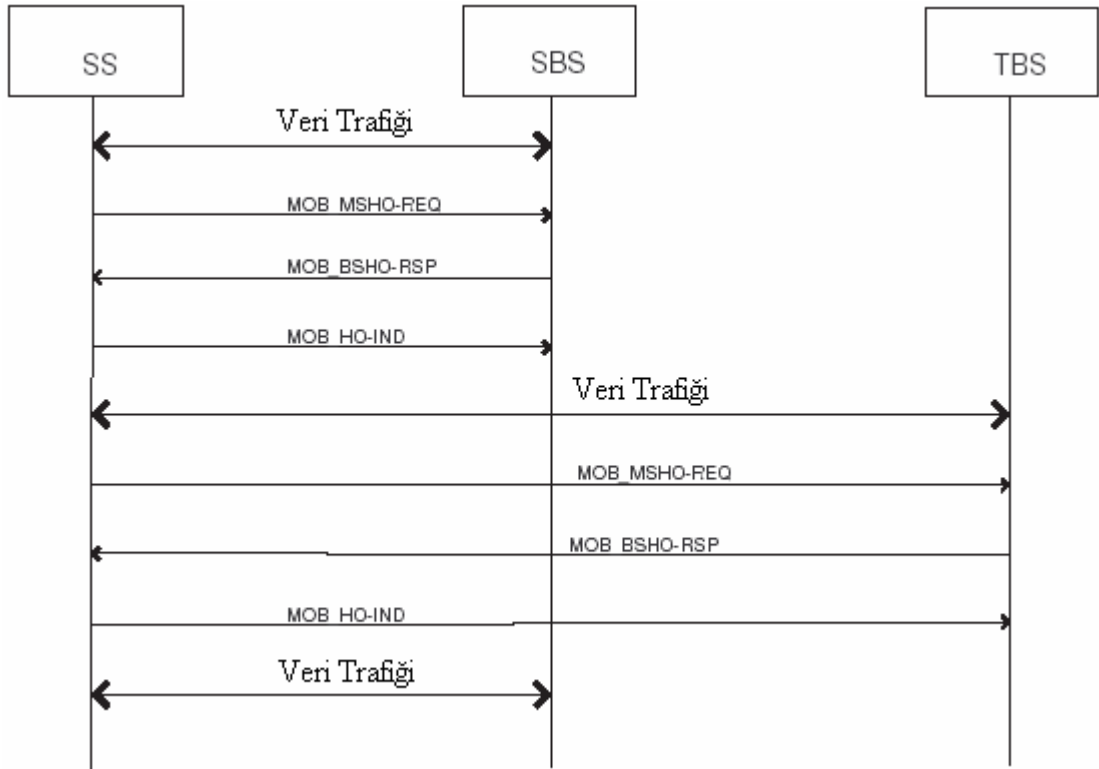
- | | |
|------|---|
| Ek 1 | Ağ Giriş Mesajları |
| Ek 2 | Hızlı Baz İstasyonu Anahtarlama |
| Ek 3 | 802.16 MAC Katmanı |
| Ek 4 | NCTUns Simülatör Programı |
| Ek 5 | NCTUns Simülatör Programının Çalıştırılması |

EK 1 Ağ Giriş Mesajları



Şekil Ek 1.1 Ağ girişindeki mesaj değişimi

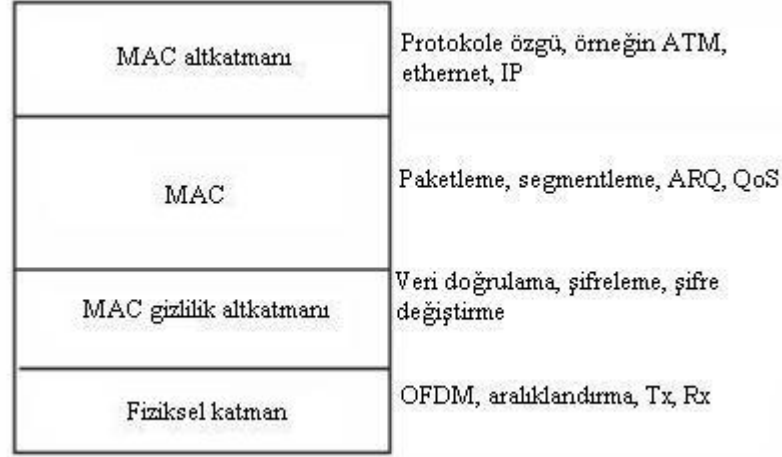
EK 2 Hızlı Baz İstasyonu Anahtarlaması



Şekil Ek 2.1 Hızlı baz istasyonu anahtarlaması sırasındaki mesaj değişimi

EK 3 802.16 MAC Katmanı

Bu bölümde IEEE 802.16 protokolünün MAC katmanına ilişkin özellikleri ve IEEE 802.16e hava ara yüzü anlatılmaktadır.



Şekil Ek 3.1 IEEE 802.16 standardının katmanları

IEEE 802.16e protokolü IEEE 802.16-2004 standardının bir düzeltmesi olarak geliştirildiğinden, 802.16 terimi, Şekil Ek 3.1’de gösterildiği gibi her iki standartta da mevcut olan özellikler tanımlanırken kullanılır.

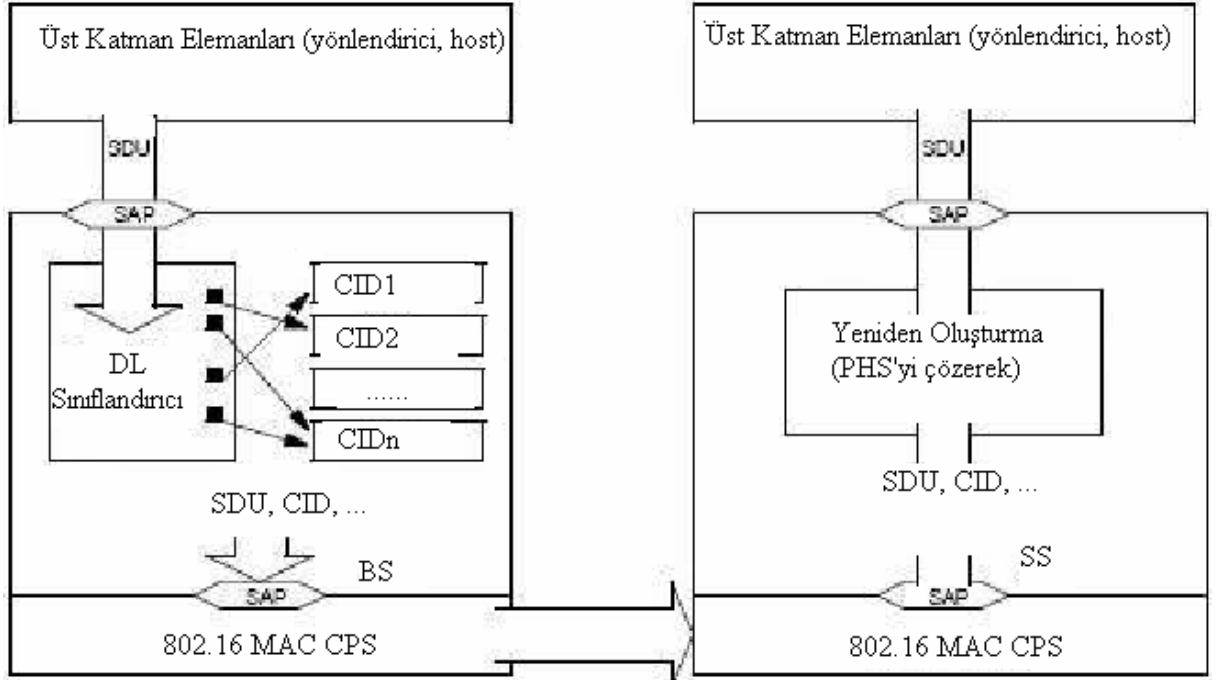
Bu bölüm MAC altkatmanı ve MAC katmanı olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Bu iki katman bir araya gelerek sınırlı işaret kaynaklarının BS ve SS arasında paylaşılmasında sorumlu hava ara yüzünün temel yapısını oluşturmaktadır.

Ek 3.1 MAC Altkatmanı

MAC alt katmanı (The Convergence Sublayer, CS) paket sınıflandırma, başlık sıkıştırma gibi temel fonksiyonlardan sorumludur. IEEE 802.16 standardı, CS için ATM CS ve paket CS olmak üzere iki spesifikasyon içermektedir. Bu bölümde daha çok paket CS’e değinilmekle beraber bir çok teorik çalışmanın ATM CS’e uygulanabildiği bilinmektedir (IEEE Std. 802.16, 2004).

Paket sınıflandırma işlemi, CS’in kendinden daha yüksek seviyeli bir katmandan paket alması ve bu paketi uygun bir servise dahil etmesi gerektiği durumlarda gereklidir. Her bir servis kendine özgü QoS parametrelerine sahip olduğundan, paketlerin sınıflandırılması ve kendilerine uygun sevislere dahil edilmesi, ilgili paketin kendisine en uygun QoS ile iletilmesine olanak sağlar.

Paket sınıflandırma, hedef adres, kaynak IP adresi gibi farklı kriterlere göre yapılabilir. Eğer bir kriter gere sınıflandırılmış bir paket, bu kriter gere uygun bir MAC bağlantısına erişirse, uygun bağlantı belirleyici (connection identifier, CID)deki sınıflandırma sonucu Şekil Ek 3.2’de görüldüğü gibi olur.



Şekil Ek 3.2 Sınıflandırma ve CID eşlemesi (IEEE Std 802.16, 2004)

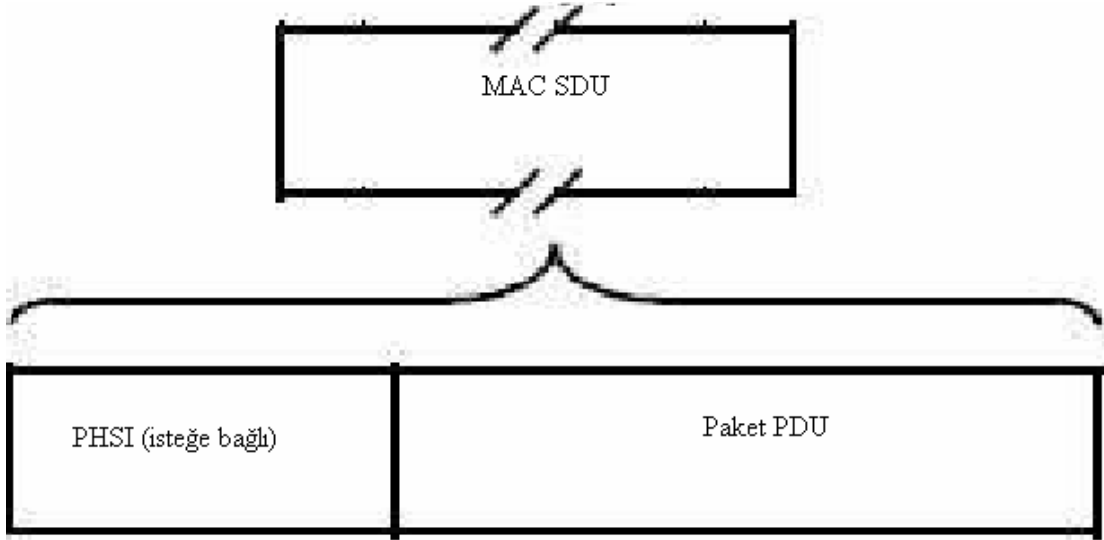
Aynı servis için birçok sınıflandırma yapılabileceğinden bu sınıflandırmalar birbirleriyle çelişebileceğinden, sınıflandırmalar standarda bağlanmıştır. Başlık sıkıştırma (Payload Headre Suppression, PHS) işlemi, daha yüksek seviyeli paket başlıklarındaki gereksiz ve tekrarlanmış bilgileri yok etmeye yarayan kullanıcının isteğine bağlı bir işlemdir. Sınıflandırılma işleminden geçmiş bir paket, bakaet başlık sıkıştırma kurallarına göre eşlenebilir. Paket başlığındaki bilgi, bir paket başlık sıkıştırma parametresi (Package Header Suppression Field, PHSF) ile karşılaştırılır. Eğer başlık biti PHSF ile eşleşiyorsa, bu bitlerin bazıları maskelenebilir. Maskelenmek istenen bu bitler IP adresi gibi daha yüksek katmanlara ait statik alanlara dair olabilir. Dinamik alanlara ait bilgiler ise, hangi bitlerin sıkıştırılmaması gerektiğini belirleyen paket başlığı maskeleyme işlemi ile bozulmadan korunabilir.

PHS işlemi için bir paket alındığında, ilgili bitlerin maskeleri çözülür ve daha yüksek katmanlara gönderilmeden önce paket başlıkları yeniden eski haline çekilir. Bu yüzden de, PHS işlemi için hem alınan hem de gönderilecek kısım için önemlidir.

Gönderilecek pakete, alıcı tarafında uygun PHSF kolayca bulunabilsin diye, bir paket başlık sıkıştırma indeksi (A Package Header Suppression Index, PHSI) eklenir.

PHS kuralları, dinamik servis eklemeleri (Dynamic Service Addition, DSA) gibi yönetim mesajlarına uygun olarak dinamik olarak yaratılabilir. Bu kurallar, örneğin önceden bilinmeyen bir parametrenin daha sonra ortaya çıkması halinde yeniden yaratılabilir (IEEE Std. 802.16, 2004).

CS boyunca ilerledikten sonra, MAC katmanındaki ilgili servise ulaşan bir paket Şekil Ek 3.3'teki biçimde olur. Alıcının maskelenmiş başlığı çözebilmesi için gerekli olan PHSF'yi seçebilmesini sağlayan PHSI ve daha yüksek katmanlı PDU'ları içeren bu biçim MAC SDU olarak adlandırılır.



Şekil Ek 3.3 MAC SDU formatı (IEEE Std 802.16, 2004)

Bu aşamadan sonra MAC SDU, paketin ahve ara yüzünde alıcıya iletilmesinden sorumlu MAC katmanına iletilmiş olur.

Ek 3.2 MAC Katmanı

PHY katmanı modülasyon, kodlama, fiziksel frekans tutma gibi işarate özgü fonksiyonları yönetirken MAC katmanı BS ve SS arasındaki sınırlı işaret spektrum kaynaklarını kontrol eder.

Ortam işaretin bant genişliği ile sınırlı olacağından, kaynak kontrolünün olabildiğince etkin bir şekilde yapılması önemlidir. Aşağıdaki fonksiyonlar, MAC katmanı tarafından gerçekleştirilen bazı fonksiyonlardır:

- Verinin zamanlaması
- QoS kurulumu ve yönetimi
- Bağlantı yönetimi
- Girişim, Idle/sleep modu

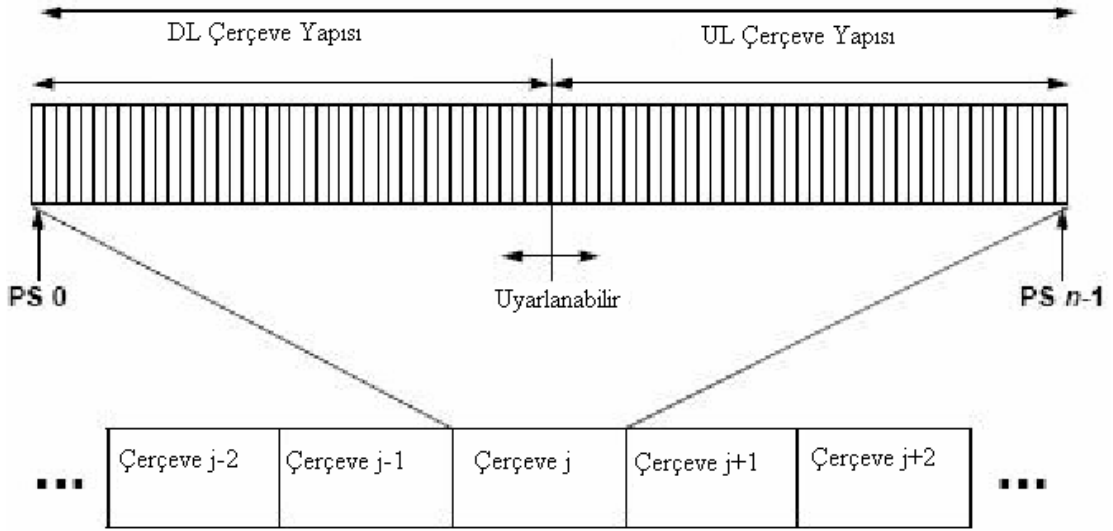
802.16-2004 standardı PMP ve Mesh modu olmak üzere iki mod işlemini desteklemektedir. Mesh modu, bir SS'i doğrudan başka bir SS'e yönlendirmek ya da hedef SS'e bilgi göndermek için kullanılır. PMP modunda ise, sadece BS ve SS arasında veri trafiği olur (HSUPA, 2006). Bu çalışma PMP modundaki MAC katmanını ele almasına rağmen bir çok teorik çalışma Mesh modu işlemlerine de uygulanabilir.

802.16 MAC katmanı bağlantı bağımlı bir katmandır ve bütün haberleşme bir bağlantı ile ilişkilendirilmektedir. QoS parametrelerine sahip bir bağlantı standardın temel kavramlarından biri olan servis akışına dahil edilebilir. Bunun için QoS, temel olarak birbirinden farklı planlama mekanizmalarından oluşan beş farklı sınıfa ayrılır.

Ek 3.2.1 Çerçeveleme

MAC katmanı hem TDD hem de FDD çerçeveleme desteğine sahiptir. TDD, UL ve DL'i zamana bağlı olarak ayırabilirken FDD ise UL ve DL'i frekansa bağlı olarak ayırmaktadır.

Şekil Ek 3.4, bir fiziksel slotun (Physical Slots, PS) genel bir TDD çerçeve yapısını göstermektedir. Çerçeve ölçüsü farklı fiziksel profillere göre değişiklik gösterebilir. Çerçevenin UL ve DL arasındaki paylaşımı da bu ölçüyü etkileyebilir.



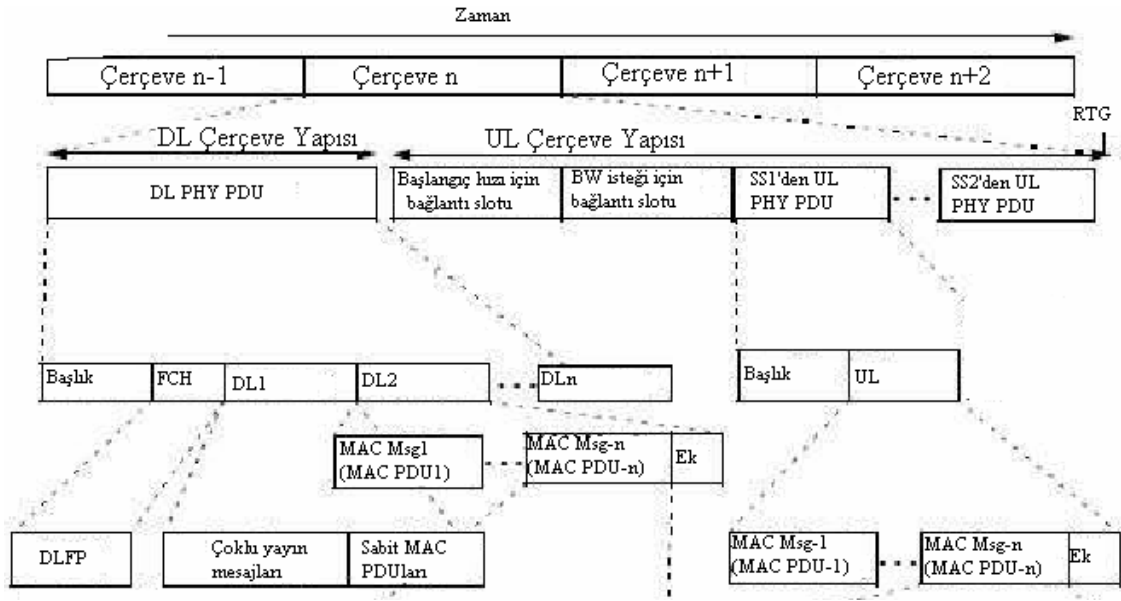
Şekil Ek 3.4 TDD çerçeve yapısı (IEEE Std 802.16, 2004)

Her bir çerçeveye ait UL ve DL kısımlarının içeriği Şekil Ek 3.5'te gösterildiği gibidir. Burada verilen OFDM PHY'ye özgü çerçeve yapısı PDU'ları UL ya da DL'in en uygun parçalarına eklemeye olanak sağlar. UL ve DL arasında, işareti alıcıya da verici modunda anahtarlamaya yarayan bir alan bırakılmıştır. Bu korucu alan alıcı/verici geçiş boluğu (Transmit/receive Transition Gap, TTG) ya da verici alıcı geçiş boşluğu (Receive/transmit Transition Gap, RTG) olarak adlandırılmaktadır.

Downlink

DL, birçok farklı fiziksel modülasyon ya da kodlama yöntemlerinden oluşmaktadır. Bu yöntemler SS'e özgü adreslemeleri, bağlantıları ve çoklu yayın mesajlarını içermektedir.

DL işlemi, diğer PHY'lerin gerektirdiği verilerin senkronizasyon işlemi ile başlar. Bu işlemin sonunda, gerekli veriler ortaya çıkar. Bu ortaya çıkan veriler DL eşleme, UL eşleme, UCD ve DCD gibi önemli mesajları içerir.



Şekil Ek 3.5 OFDM çerçeve yapısı (IEEE Std 802.16, 2004)

DL eşleme, ilk olarak yapılan işlemdir ve DL'in içeriğini tanımlar. Bu tanımlar BS ve işlemci adreslerini içerir, ayrıca DL veri işlemesine dair bilgi elementleri (Information Elements, IE) de bu kısımda mevcuttur. Örneğin BS'ten farklı MS'lere iletim yapılırken bu bilgilere ihtiyaç duyulur.

DL eşleme, ortama uyum amacıyla ya da istenen veri hızını sağlamak için fiziksel karakteristikleri değiştirebilir. DCD/UCD sayıları, bir değişiklik fark edilene dek eski bilgilerin göz ardı edilmesine olanak sağlar. Çoklu yayın mesajları, SS'leri adresleyen PDU'ları içerir.

Uplink

UL, BS'e erişebilmek için kendi modülasyon ve kodlama tekniğini kullanan SS'ler arasında paylaşılmaktadır. DL üzerinden gönderilen UL eşlemesindeki IE'ler ne tür bir eşleme yapılacağını ve bu eşlemenin nereye adresleneceğini göstermektedir. UL'in ilk parçası başlangıç hızlarını ayarlamak için ayrılmıştır. Bu parçalar, SS, bir BS ile veri değişimi yapmak istediğinde, senkronizasyonu sağlamak ve daha sonrasında iletişimi devam ettirmek için gerekli olan işaretin seviyesini ayarlamak için kullanılır.

UL'in sonraki parçası ise, SS'lerin, kendileri için ayrılmış zamanı beklemeden istek mesajı gönderebilmeleri amacıyla, bant genişliği isteği için kullanılmaktadır.

Bu iki parça, kesin olarak birbirinden ayrılmadığı için, aynı zaman aralığında iletim

yapan SS'ler arasında çarpışma olabilir. Bunu engellemek için, UCD mesajı bant genişliği isteğinin zamanına dair bilgileri içermektedir.

Bu iki zaman dilimi boyunca, bir MS iletim yapmak istediğinde, kendi bilgilerini UCD mesajına göre düzenler ve iletim zamanı için rasgele bir numara seçer. Bu numara, MS'e rasgele bir zamanda iletim yapabilme şansı verir. İletim olanağı ve iletilebilecek mesajın boyutu UCD mesajı içerisinde belirtilir. Böylece MS, sahip olduğu iletim sansına ait değişimlerden de haberdar olur.

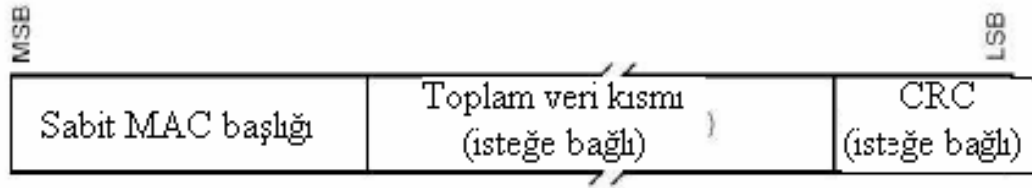
En uygun iletim olanağına sahip olan MS, bundan sonra kendi özel mesajlarını göndermeye başlayabilir. Mesajlara yanıt alınamaması iltelen verini kaybolduğu şeklinde yorumlanır. Bu durumda maksimum deneme sayısına kadar mesaj tekrar gönderilebilir.

Ek 3.2.2 MAC Katmanı PDU'ları

IEEE 802.16 protokolü geniş yönetim mesajlarına sahiptir. Bu mesajlar ve daha yüksek seviyeli veri paketleri farklı yöntemlerle paketlenip gönderilebilir. Standart, tip/boyut/değer şeklinde bir biçimlendime yaparak mesaj içeriklerinin daha kolay anlaşılmasına olanak sağlamıştır.

PDU'lar, ayrılan bir alanı doldurmak için birbiri ardına sıralanabilir ya da parçalara ayrılabilir. Parçalara ayırma, ayrılmış bant genişliğinin en uygun bir şekilde kullanılmasına olanak sağlar. IEEE 802.16 protokolünün, hatalı mesajların yeniden iletimine olanak sağlayan otomatik tekrar mesajı isteği (Automatic Repeat Request, ARQ) için de desteği bulunmaktadır. Otomatik tekrar mesajı isteği, aslında bir hata tesbit ve düzeltme tekniğidir. Çünkü alıcı hatayı tesbit etse bile bunu düzeltemez ancak yeniden iletim isteğinde bulunarak verici tarafından mesajın tekrar gönderilmesini sağlayabilir (IEEE Std. 802.16, 2004).

Şekil Ek 3.6'da gösterilen her MAC PDU, sabit boyutlu bir MAC başlığına sahiptir. Toplam veri kısmı sıfır ya da daha fazla yardımcı başlıkları ve SDU'ları ya da onun parçalarını içerir. Son olarak PDU, isteğe bağlı olarak n byte'lık diziden ilgili veriyi simgeleyen bir byte'lık dizi elde etme yöntemi olan periyodik fazlalık kontrol (Cyclic Redundancy Check, CRC) mesajını içermektedir.



Şekil Ek 3.6 MAC PDU formatı (IEEE Std 802.16, 2004)

Ek 3.2.3 Bağlantılar

Her bir SS 48-bit evrensel MAC adresine sahiptir. Bu MAC adresi, SS'i bir BS'e ilk kez tanıtırken doğrulama işleminde kullanılır. BS tarafından kurulan her bir bağlantı, servisin tipini ve diğer parametrelerini göstren 16-bit CID ile tanımlanır. Bütün kurallara uygun olarak BS ile veri iletimine geçen bir SS'e iki zorunlu (temel bağlantı ve ilk yönetim) ve bir isteğe bağlı (ikinci yönetim) olmak üzere üç yönetim bağlantısı verilir. Bu üç bağlantı, yönetimi üç ayrı önceliğe ayıran QoS seviyeleri ile ilgilidir. Temel bağlantı kritik zamanlar için kullanılan kısa MAC yönetim mesajlarıdır. İlk yönetim bağlantısı ise MAC mesajlarına daha uzun gecikme toleransı sağlamaktadır. Son olarak ikinci yönetim bağlantısı da DHCP, TFTP gibi standarda dayalı protokoller için kullanılır.

Ek 3.2.4 Zamanlama

802.16e standardı beş farklı zamanlama mekanizması tanımlamıştır ve her bağlantı türü bu mekanizmalardan biri ile eşleştirilmiştir (IEEE Std. 802.16e/D9, 2005). Bu mekanizmalar, bağlantının türünü belirten bir QoS parametlerler kümesi olarak tanımlanmıştır. Bu yüzden de QoS sınıfları olarak adlandırılan bu mekanizmalara aşağıdaki gibi sınıflandırılır:

- Talep edilmemiş hizmetler (Unsolicited Grant Service, UGS)
- Gerçek zamanlı havuz hizmeti (real time Polling Service, rtPS)
- Gerçek zamanlı olmayan havuz hizmeti (non real time Polling Service, nrtPS)
- En iyi performans (Best Effort, BE)
- Genişletilmiş gerçek zamanlı havuz hizmeti (extended real time Polling Service, ertPS)

Bir SS'e verinin nasıl gönderildiğini ve bu gönderim sırasında hangi mekanizmaların kullanıldığını gösteren bu zamanlama servisleri DSA ve DSC yönetim mesajları sayesinde kontrol edilebilir.

UGS

Bu servis, gerçek zamanlı veri akışları için tasarlanmış, sabit veri paketi boyutuna ve bit hızına sahip, periyodik zamanlı bir servistir. BS, alınan maksimum veri hızına göre periyodik olarak verileri tutar. SS ise servise ilişkin bağlantısının durumunu raporlar. Veri hızı gerçek zamanlı tutulduğundan, bir MS için ayrıca bir istek yollamaya gerek yoktur. UGS'in zorunlu parametreleri, alınan maksimum veri hızı, maksimum gecikme, jitter toleransı, istek/iletim şeklidir.

rtPS

rtPS servisi, MPEG video gibi gerçek zamanlı servis akışlarını farklı boyuttaki veri paketleriyle destekleyen bir servistir. BS, SS'in mevcut gerçek zamanlı ihtiyaçlarına ve paket boyutlarına göre ihtiyaç duyduğu bant genişliği isteği için periyodik yayın olasılıklarını planlar. Bu servis için zorunlu parametreler ayrılmış minimum veri hızı, alınan maksimum veri hızı, maksimum gecikme ve istek/iletim şeklidir.

nrtPS

Bu servis, daha fazla gecikme toleranslı veri akışlarını, farklı boyutlardaki veri paketleriyle destekler. Bu servis için bant genişliği isteği, hem BS'in zamanlama isteği boyunca hem de iletim anında hizmet verebilir. Bu servis için zorunlu parametreler ayrılmış minimum veri hızı, alınan maksimum veri hızı, veri önceliği ve istek/iletim şeklidir.

BE

BE servisi, minimum servis seviyesine sahip olmayan ve ayrılmış bant genişliği kaynağa bağlı olan veri akışlarını yönetir. Bu tür servisler genellikle gecikmenin önemli olmadığı uygulamalarda fayda sağlar. Be servisi için zorunlu parametreler alınan maksimum veri hızı, veri önceliği ve istek/iletim şeklidir.

ertPS

Bu zamanlama servisi, UGS ve rtPS'in bir bileşimi olup UGS gibi veri hızı gerçek zamanlı tutulmasına rağmen, bant genişliğini dinamik bir şekilde tutabilir. Bu yüzden de rtPS'ten daha az fazla yükleme olur. ertPS'in zorunlu parametreleri alınan maksimum veri hızı, maksimum gecikme, ayrılmış minimum trafik hızı ve istek/iletim şeklidir.

Ek 3.2.5 Sleep Modu

Bir MS, BS kaynaklarının kullanımı azaltmak ya da güç tasarrufu yapmak amacıyla sleep moduna geçebilir. BS, her bir MS için güç tasarrufu işlemini yönetir. Güç tasarrufuna ilişkin sınıflandırma her MS bağlantısı için özel olarak yapılır.

Ek 3.2.6 Idle Modu

Idle modu, bir MS'e, veri değişimi yapmak zorunda kalmadan, ya da diğer yönetim fonsiyonlarını gerçekleştirmeden daha geniş bir coğrafik alanda hareket edebilmesine olanak sağlayan bir mekanizmadır. Bu mekanizma, öncelikli olarak aktif olmayan bir MS'e, herhangi bir BS'e kayıt olmadan, DL boyunca erişebilmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu yüzden de, veri değişimi ve normal işlemler için gerekli olan bir çok MAC yönetim gereksinimleri ortadan kaldırılmış olur.

EK 4 NCTUns Simülasyon Programı

Ek 4.1 Kullanılan Simülasyon Programı

NCTUns (Wang vd., 2007), yüksek doğruluk ve genişletilebilir ve geliştirmeye uygun yapısıyla, sadece IP uygulamalarında değil aynı zamanda WIMAX sistem performans analizi konusunda da kullanıcıya gerçeğe en yakın sonuçları sunan kullanılan bir ağ simülatör ve emülatör programıdır. Bu bölümde, ekran çıktıları yardımıyla NCTUns'un çalışma yapısını anlamak için öncelikle genel özellikleri anlatılmaktadır.

Ek 4.1.1 NCTUns Kapasitesi ve Çalışma Yapısı

NCTUns, novel kernel-reentering simülasyon yöntemini kullandığı için, diğer ağ simülatörleri tarafından kolayca sağlanamayan bir çok tekil avantaja sahiptir. NCTUns, yüksek doğruluk değerine sahip simülasyon sonuçlarını elde edebilmek için, doğrudan Linux'un TCP/IP protokol yığını kullanır. NCTUns'da, gerçek dünyaya ilişkin mevcut ya da geliştirilmekte olan UNIX uygulama programları, simülasyon yapılan bir ağdaki nod üzerinde çalıştırılabilir. Bu, NCTUns kullanıcılarına şu avantajları sağlamaktadır:

- 1) Bu gerçek dünya uygulama programları, simülasyonu gerçeklemek için gerçek ağ trafiği üretmektedir. Bu ise, kullanıcıyı bazı basit programların ürettiği yapay trafiği kullanmaktan daha gerçeğe yakın sonuçlar almaya götürür.
- 2) Farklı ağ yapıları için, bu uygulamaların sonuç performansları çıkartılabilir ve sonuçlar genel kullanıcılara sunulmadan önce NCTUns ile geliştirilebilir.
- 3) Simülasyonda geliştirilen uygulama örnekleri okunarak kolayca anlaşılabilir ve UNIX makinelerde uygulanabilir. Bu işlem, zamandan ve harcanan güçten belirgin ölçüde tasarruf sağlar.

NCTUns'da, simülasyonu yapılmış bir ağın konfigürasyonu ve çalışması gerçek-dünyadaki IP ağları ile tamamen aynıdır. Bunun iki temel avantajı vardır:

- 1) Eğer kullanıcı, gerçek-dünyadaki bir IP ağına ilişkin konfigürasyonu ve çalışma biçimini biliyorsa, aynı yapının simülasyonunu NCTUns'da kolayca yapabilir.
- 2) Tam tersine, NCTUns'daki konfigürasyon ve çalışma biçimi gerçek-dünyadaki IP ağları ile birebir aynı olduğu için, NCTUns insanlara gerçek-dünyaya ilişkin bir IP ağı hakkında her şeyi öğretebilmek için eğitim programı olarak kullanılabilir.

NCTUns’da, route, ipconfig, netstat gibi birçok gerçek-dünya UNIX ağ konfigürasyon araçları ve performans görüntüleyici araçlar (ping, tcpdump, traceroute gibi) mevcut olup simülasyonu yapılmış bir ağda doğrudan kullanılabilir.

Ek 4.1.2 Emülasyon ve Simülasyonun Mükemmel Birleşimi

NCTUns, simülasyonu yapılan ağdaki node adı verilen uç noktalar, makineler yardımıyla gerçek paketlerle yer değiştirerek kolayca bir emülatöre dönüştürülebilir. Bu özellik, VoIP telefonlar gibi gerçek zamanlı cihazların performanslarını ve fonksiyonlarını test ederken kullanıcıya kolaylık sağlar. NCTUns emülasyon senaryosunda, gerçek zamanlı cihazlar sabit hostlar, hareketli hostlar ya da yönlendiriciler olabilir.

Ek 4.1.3 Yüksek Simülasyon Hızı ve Tekrarlanabilen Simülasyon Sonuçları

NCTUns, Kernel’in yeniden giriş yapılabilen simülasyon yöntemiyle ayrıık olay simülasyonu yöntemini birleştirerek hızlı bir şekilde simülasyon yapmaya olanak sağlar. Bunu gerçekleştirirken Linux Kernel’in simülasyon parametrelerini, simülasyon işlemini gerçek zamanlı uygulamalara dönüştürebilecek şekilde değiştirebilir.

Ek 4.1.4 Çeşitli Ağ Destekleri

NCTUns, Ethernet’e dayalı IP ağlarının sabit uç noktalar ve noktadan noktaya linkler ile simülasyonunun yapılmasını sağlar. Hem özel hem de sistem alt yapısına ilişkin modları içeren IEEE 802.11 (b) kablosuz LAN ağlarının simülasyonuna olanak sağlar. Bunun yanında NCTUns, GPRS hücresel ağlarının, devre anahtarlama optik ağların, IEEE 802.11(b) kablosuz mesh ağların, IEEE 802.11(e) QoS ağlarının, düzenli ve aktif hareketli özel ağların, yönlü antenlere sahip kablosuz ağların simülasyonunu gerçekleştirmeye olanak sağlar. NCTUns 4.0 ise bu ağlara ek olarak dört önemli ağın daha simülasyonuna olanak sağlar:

- 802.16(d) WIMAX ağları, PMP ve Mesh modlarını da içermektedir.
- DVB-RCS uydu ağları, dünyanın 36.000 Km üzerine yerleştirilmiş uydular için.
- Akıllı iletim sistemleri (Intelligent Transportation Systems, ITS)’nde kullanılan kablosuz ağlar.

- Hareketli uç noktalardan oluşan heterojen kablosuz ara yüzler (Herhangi bir zamanda ya da yerde ağa bağlanmak için en uygun maliyetli ağı seçen bu uç noktalar, gerçek yaşamda önemli bir role sahiptir.).

Ek 4.1.5 Çeşitli Ağ Elemanları Desteği

NCTUns 4.0, 802.16(d) WIMAX ağlarında kullanılan PMP ve Mesh modu için gerekli baz istasyonları ve abone istasyonları desteğini sağlar. Bunun yanında 802.16(d) WIMAX ağındaki kodlama ve kod çözme teknikleri, alınan güç, gürültü gücü, sönmüleme etkileri, bit hata oranı (Bit Error Rate, BER) gibi parametrelerin hesaplanmasına da olanak sağlar.

NCTUns 4.0, 3db-band genişlikli 60 derece ve 120 derecelik yönlü antenleri ve yönlendirilebilir antenleri desteklemektedir. Bu antenlerin kazanç bilgileri bir tabloda tutulur ve tablodaki değerler kullanıcının isteğine bağlı olarak değiştirilebilir.

Ek 4.1.6 Çeşitli Ağ Protokolleri Desteği

NCTUns, IEEE 802.3 CSMA/CD MAC, IEEE 802.11 (b) CSMA/CA MAC, IP, Mobil IP, RIP, OSPF, UDP, TCP, HTTP, FTP, Telnet, IEEE 802.16(d) WIMAX PMP ve Mesh modu gibi protokollerin simülasyonuna olanak sağlar.

Ek 4.1.7 Tümleşik ve Profesyonel Grafik Kullanıcı Arayüzü (Graphical User Interface, GUI) Ortamı

NCTUns GUI programı ile:

- Ağ topolojileri çizilebilir.
- Bir uç nokta içinde kullanılan protokol modülleri konfigüre edilebilir.
- Bir protokol modülü içindeki parametreler konfigüre edilebilir.
- Hareketli bir nodun başlangıç durumu ve hareket özellikleri belirlenebilir.
- Ağ performans grafiği çizilebilir.
- Bir paketin veri iletim animasyonu istenildiği zaman tekrarlanabilir.
- Bir ağ topolojisinin haritası çıkartılabilir.
- Çeşitli kablosuz ağ simülasyonları yapılabilir.

Ek 4.1.8 Popüler İşletim Sistemleri Desteği

NCTUns Linux işletim sistemi üzerinde çalışan bir programdır. NCTUns 4.0 2008 yılı itibariyle Kernel versiyonu 2.6.24.2 olan Linux Red-Hat Fedore Core 8'i dektelemektedir.

Ek 4.2 NCTUns Mimarisi ve Bileşenleri

NCTUns, sekiz bileşenden oluşan bir mimari yapıya sahiptir:

1) GUI Programı:

Kullanıcı GUI programı yardımıyla ağ topolojisini görüntüleyebilir, bir ağ uç noktası içerisindeki protokol modüllerini konfigüre edebilir, özel hareketli uç noktaların başlangıç durumları ve hareket yolunu belirleyebilir, sistemin performans grafiğini çizebilir, paket iletiminin animasyonunu tekrarlayabilir.

2) Simülasyon Programı:

Simülasyon programı, protokol modüllerine zamanlama, zaman yönetimi, veri paketi kullanımı gibi temel ve yararlı simülasyon servislerini sağlamaktadır.

3) Protokol Modülleri Kümesi:

Her bir protokol modülü, paket zamanlaması ya da buffer yönetimi gibi özel bir protokol ya da fonksiyonun gerçekleşmesinden sorumludur. Bütün protokol modülleri C++ temeline dayanmaktadır ve simülasyon programı yardımıyla derlenmektedir.

4) Simülasyon İşlemci Zamanlayıcısı (Dispatcher):

Simülasyon işlemci zamanlayıcısı, çoklu simülasyon sunucularını eşzamanlı yöneterek simülasyon çıkışını arttırmaya yarar. Simülasyon farklı bir makinede çalıştırılabileceği gibi aynı simülasyon sunucusunda da çalıştırılabilir.

5) Koordinatör Programı:

Her simülasyon sunucusunda bir koordinatör programı çalıştırılmalıdır. Sunucu çalıştığı sürece koordinatör de çalışmalıdır. Koordinatör, simülasyon zamanlayıcısından bir iş aldığı zaman, simülasyon işlemini ağ ve protokol olmak üzere ikiye ayırır. Bu işlemler, simülasyonu yapılan bir ağda trafik üretmede kullanılır.

Simülasyon programı çalıştığında, koordinatör işlemci zamanlayıcısı ve GUI programı ile iletişime geçer. Örneğin, simülasyon işlemi, simülasyon zamanını periyodik olarak GUI programına göndermeye gereksinim duyar. Bunun için

zamanlama bilgisini koordinatöre gönderir ve koordinatörden bu bilgiyi GUI programına iletmesini ister. Böylece GUI kullanıcısı, simülasyon işlemini adım adım takip edebilir. Böylece simülasyon boyunca, GUI programı ve simülasyon programı arasındaki mesaj değişimi koordinatör üzerinden sağlanır.

6) Kernel Patchi:

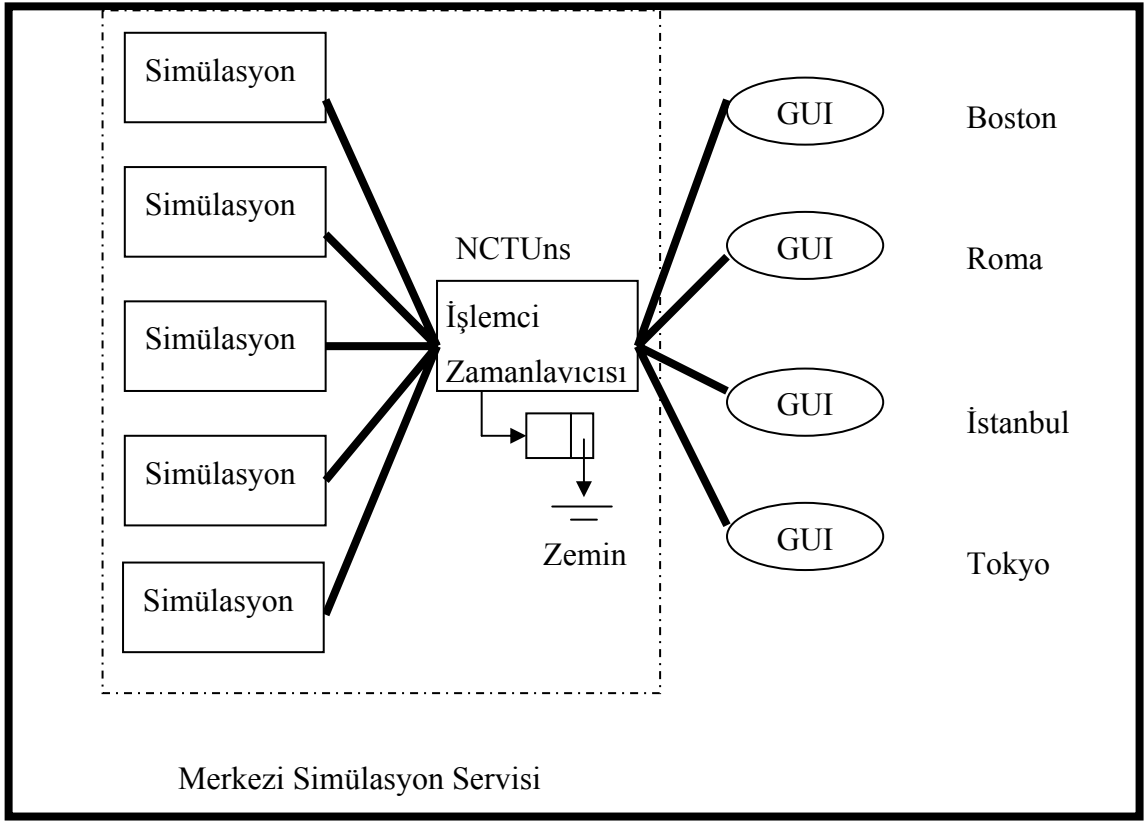
Simülasyon programının işleyebileceği Kernel kaynak kodunu yaratmaya yarayan Kernel Patchi, simülasyon işleminin UNIX makinelerde doğru bir şekilde gerçekleşmesini sağlamaktadır. NCTUns 4.0, şu an itibarıyla, Kernel versiyonu 2.6.24.2 olan Red-Hat'ın Fedora Core 8'ini kullanmaktadır.

7) Kullanıcı Uygulama Programı:

Kernel'in yeniden giriş yapılabilen simülasyon yöntemiyle, gerçek dünyada var olan ya da geliştirilmekte olan uygulama programları, simülasyonu yapılan bir ağ yardımıyla doğrudan çalıştırılabilir ve gerçekçi bir ağ trafiği üretilebilir.

8) Simülasyon Hayalet Programı:

NCTUns 4.0, kullanıcıya bir çok emülasyon programı sağlar ve bunları otomatik olarak çalıştırarak bir emülatör gibi işlev görür. Bu parçalı tasarım yapısı, kullanıcı istediği simülasyonu dispatcher'a gönderir. Dispatcher ise bu programı simülasyon sunucusuna gönderir. Sunucu programı çalıştırır ve sonucu GUI programına yollar. Şekil Ek 4.1 NCTUns 4.0'ın bu parçalı yapısını göstermektedir.



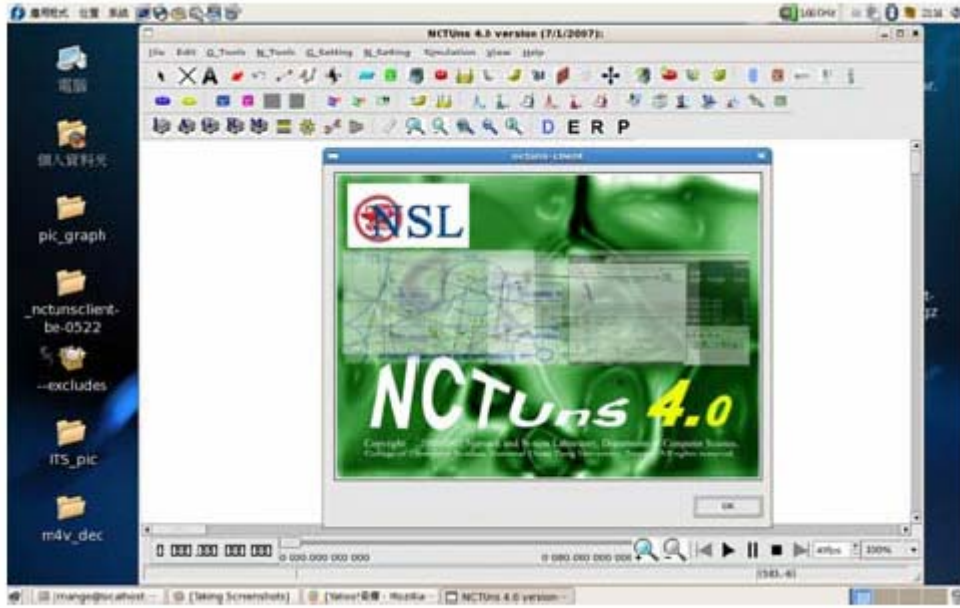
Şekil Ek 4.1 NCTUns'un parçalı mimari yapısı

Simülasyon Sunucusu = Kernel Değişiklikleri + Simülasyon Programı + Protokol Modülleri + Koordinatör

Bu parçalı mimari yapıdan oluşan 'çoklu-makine' modundan başka, bütün bu bileşenlerin tek bir makine üzerinde çalıştırıldığı NCTUns 'tekli-makine' modunu da desteklemektedir. Kullanıcılar genellikle tek bir makineye sahip olduklarından, 'tekli-makine' modu daha yaygın olup, NCTUns paketi ilk kez kurulduğunda varsayılan mod 'tekli-makine' modudur.

Ek 4.2.1 NCTUNns'un Ekran Çıktıları

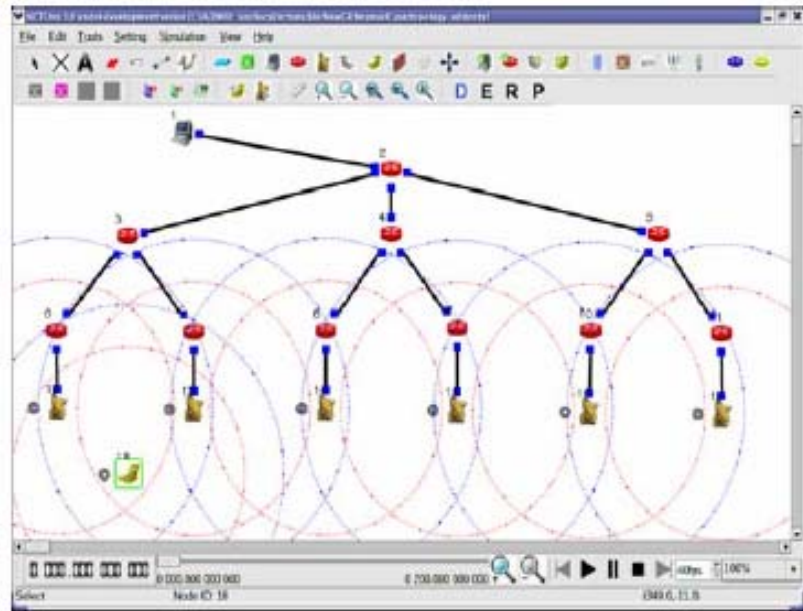
NCTUns'un her açılışında Şekil Ek 4.2'deki başlangıç ekranı görülür.



Şekil Ek 4.2 NCTns'un açılış ekranı

Ek 4.2.2 Topoloji Editörü

Topoloji editörü, bir ağ topolojisinin grafiksel olarak gerçekleştirilmesini sağlar. Bu ağ, Şekil Ek 4.3'te görüldüğü gibi sabit bir kablolu ya da hareketli kablosuz bir ağ olabilir. Böylece kullanıcıya yatkın tasarımıyla GUI işlemleri kolayca gerçekleştirilebilir.

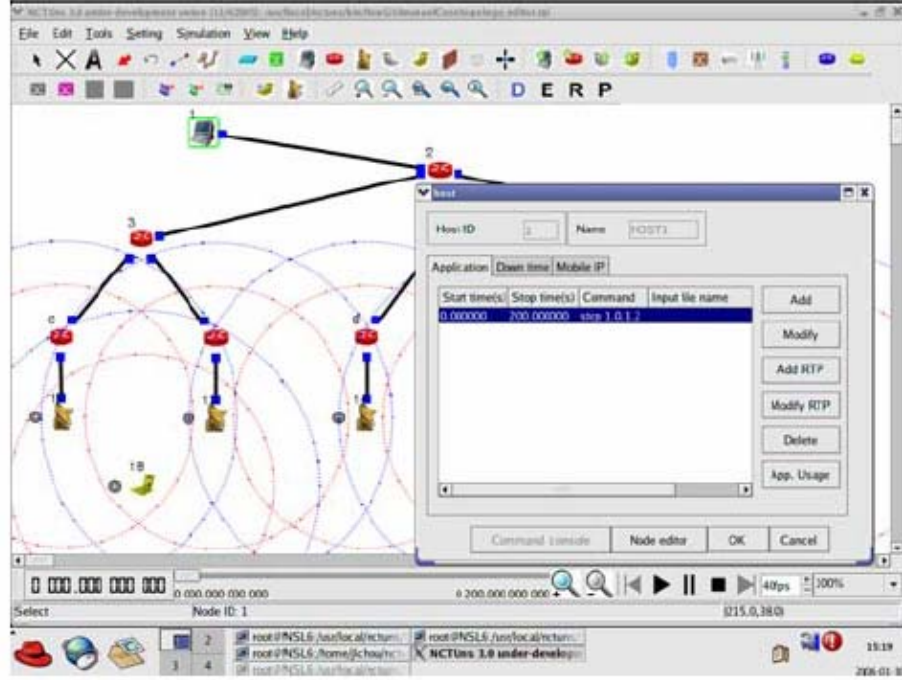


Şekil Ek 4.3 Topoloji editörü

Ek 4.2.3 Özellik Kutusu

Bir ağ bileşeni (nodu), bir çok özelliklere sahip olabilir. Bir ağ bileşeninin özellikleri,

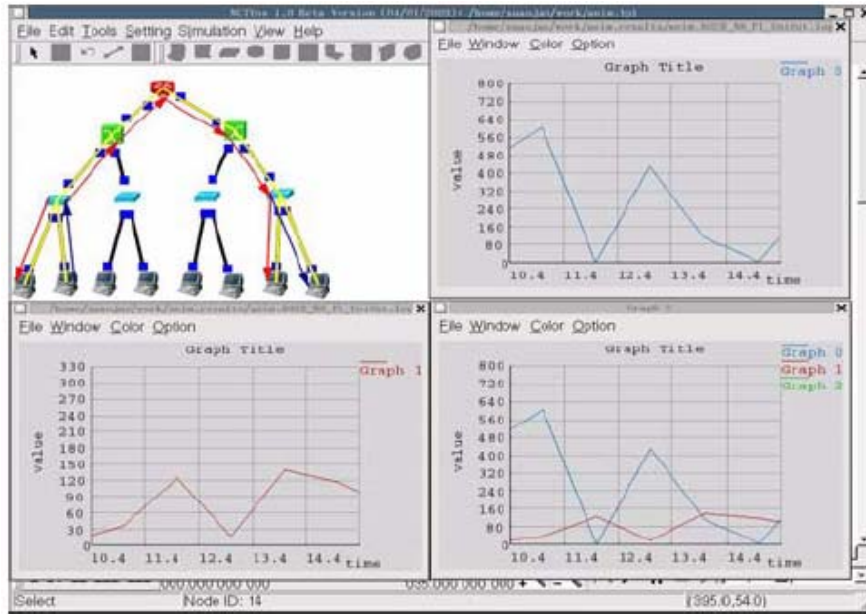
Şekil Ek 4.4'te gösterildiği gibi sadece bileşen üzerine çift tıklanarak açılan açılan özellik kutucuğu sayesinde belirlenebilir.



Şekil Ek 4.4 NCTns'un özellik kutusu

Ek 4.2.4 Performans Monitörü

Performans monitörü, Şekil Ek 4.5'te gösterildiği gibi zamana bağlı ağ bileşenlerini grafiksel olarak kolayca üretebilir. Grafik için kullanılan giriş veri dosyası, genellikle(x,y) şeklinde iki kolondan oluşur.

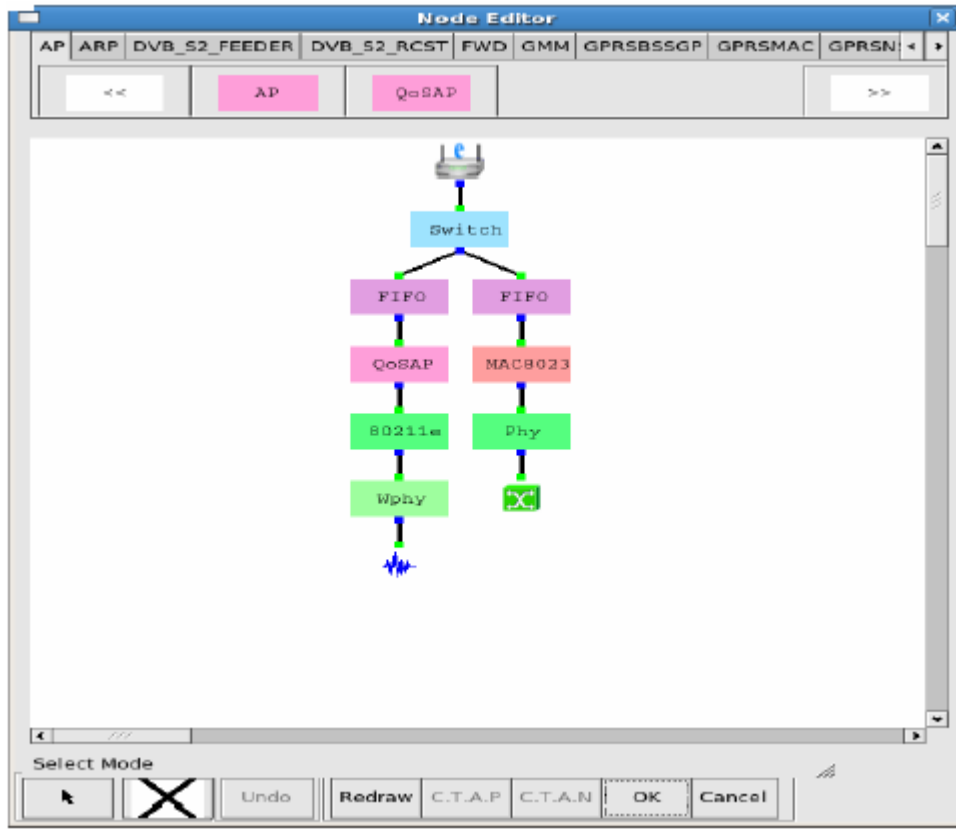


Şekil Ek 4.5 NCTns'un performans monitörü

Ek 4.2.5 Nod Editörü

Kullanıcı nod editörü sayesinde, ağa kendi modülünü ekleyebilir, ağdan herhangi bir modülü silebilir, modül üzerinde değişiklik yapabilir. Bu da kullanıcıya, yeni bir protokolün performansını kolayca test edebilme olanağı sağlar.

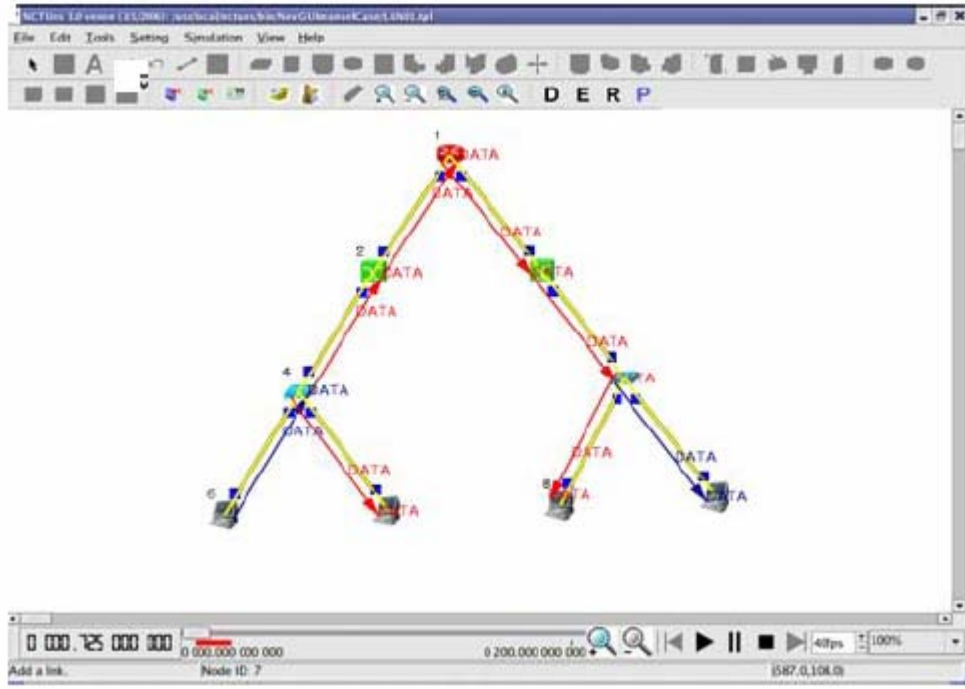
Şekil Ek 4.6’da görülen nod editörü sayesinde, kullanıcı, özel bir protokol modülünün kullandığı parametreleri atayabilir. Bunu yaparken, kullanıcı protokol modül kutusuna çift tıkladığında, modüle ait parametre kutusu ortaya çıkar.



Şekil Ek 4.6 NCTns’un nod editörü

Ek 4.2.6 Paket Animasyon Sağlayıcı

Şekil Ek 4.7’de gösterilen paket animasyon sağlayıcısı sayesinde, simülasyon sırasında kullanılan paketlerin iletim hızları belirlenebilir. Hem kablolu hem de kablosuz ağlar bu konuda desteklenmektedir. Bu özellik, kullanıcıya, ağ protokolünün davranışını görsel olarak takip etme olanağı sağladığı için araştırmacılar açısından oldukça yararlıdır.



Şekil Ek 4.7 NCTns'un paket animasyon sağlayıcısı

Ek 4.3 IEEE 802.16(d) WIMAX Ağları

IEEE 802.16 (WIMAX) standartlar kümesi, gelecek nesil yerel ve orta ölçekli alan ağları için geliştirilen haberleşme teknolojisidir. Bu standart kümesi, FBWA sistemlerinde kullanılan hava ara yüzü için gerekli özellikleri belirler. Bu amaçla, IEEE 802.16(d) Standardı'nda, hücresel (mesh) mod ve PMP mod olmak üzere iki işlemsel mod tanımlanmıştır. Bu bölümde, IEEE 802.16(d) ağlarına ilişkin bir simülasyonun NCTUns yardımıyla nasıl yapıldığı anlatılmaktadır.

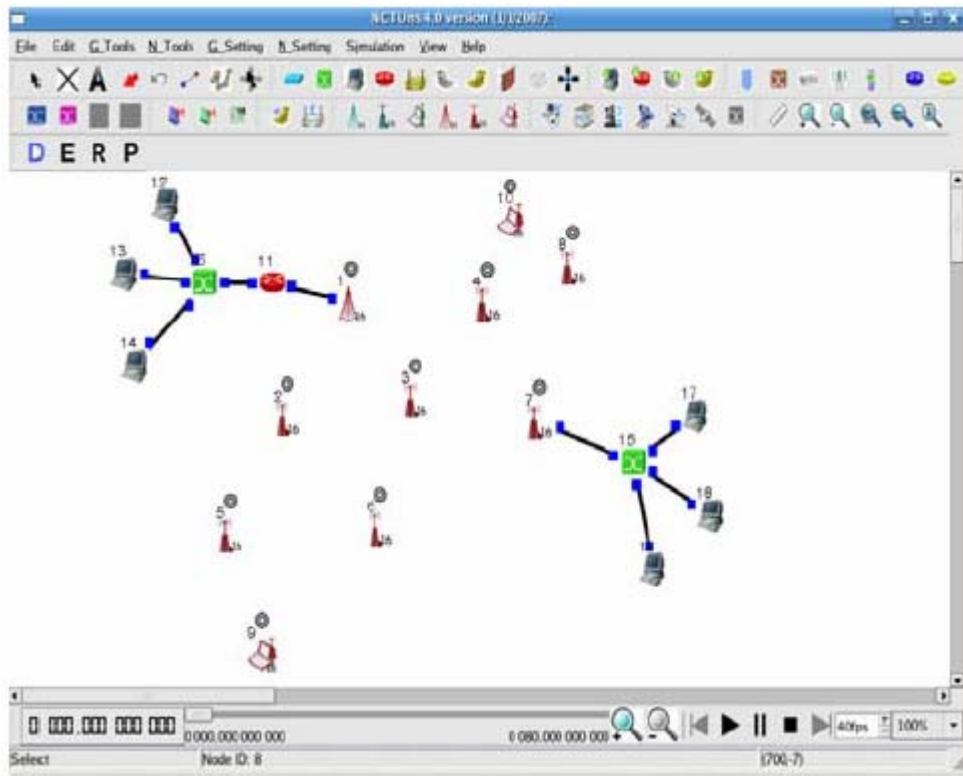
Ek 4.3.1 IEEE 802.16(d) Hücresel Mod Yapısı

IEEE 802.16(d) hücresel mod yapısı, gelecek-nesil kablosuz orta ölçekli alan ağları için tasarlanmıştır. Bu yapı, çoklu hop haberleşme desteğine sahiptir ve PMP mod yapısına göre daha esnek ağ topolojilerine izin verir.

IEEE 802.16(d) hücresel ağı içerisinde, hücresel baz istasyonu (mesh BS) ve hücresel abone istasyonu (mesh SS) olmak üzere iki nod vardır. Bir hücresel BS nodu (), ağı yönetir ve internet gibi backhaul ağlara bağlanmayı sağlar. Diğer yandan, hücresel SS nodu ise IEEE 802.16 terminal cihazlarını temsil eder ve kendi üzerinden paketlerin iletilmesini sağlar.

NCTUns'da, hücresel SS nodu, hücresel gateway SS nodu ve hücresel host SS nodu olmak üzere ikiye ayrılır. Bir hücresel gateway SS nodu (), IP paketlerinin yönlendirilmesini ve kendi konfigürasyon fonksiyonlarını gerçekleştirebilir. Buna ek olarak, hücresel ağı başka bir ağı bağlayabilir ve  bu iki ağı arasındaki paketleri yönlendirebilir. Hücresel host SS nodu () ise, IEEE 802.16(d) arayüzü ile donatılmış bir terminal sağlar. Hücresel host SS nodu, kendi üzerinden paketlerin gönderilmesini sağlayabilir, ancak başka bir ağı bağlanamaz.

Şekil Ek 4.8'de örnek bir IEEE 802.16(d) hücresel ağı verilmektedir. Burada, hücresel BS nodu, sabit link üzerinden internete bağlanır ve diğer bir hücresel SS nodu ile kablosuz hücresel ağı şekil verir. Hücresel BS nodunun paket gönderme yeteneğine göre, hücresel ağıdaki nodlar, internete erişebilir. Dahası, hücresel gateway SS nodunun yönlendirme fonksiyonu avantajını kullanarak sağ aşağıdaki subnet içindeki nodlar da internete erişebilir.

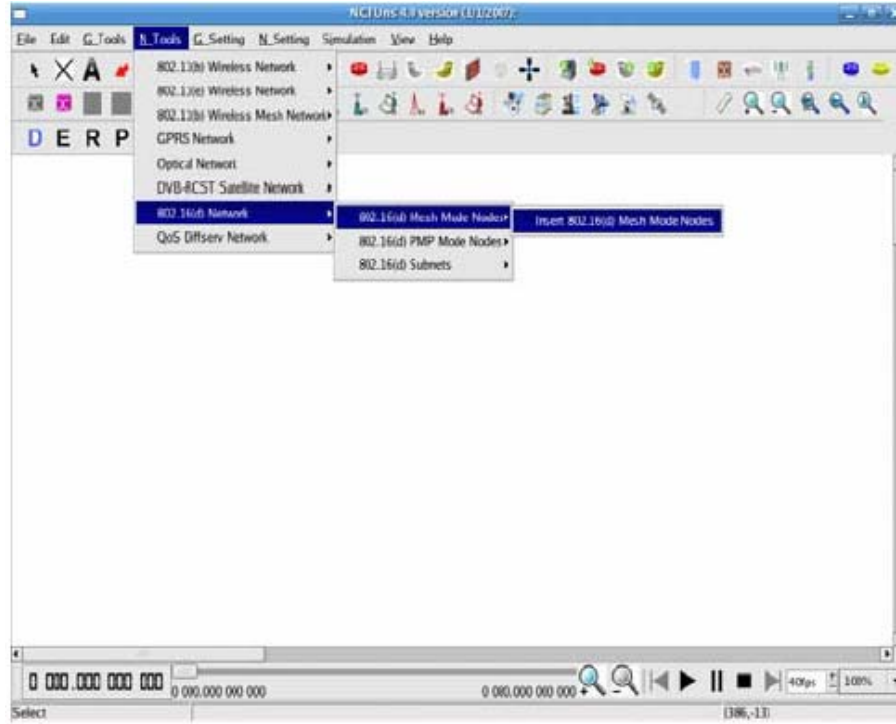


Şekil Ek 4.8 IEEE 802.16(d) hücresel ağı

Ek 4.3.2 IEEE 802.16(d) Hücresel Ağ Kurulumu

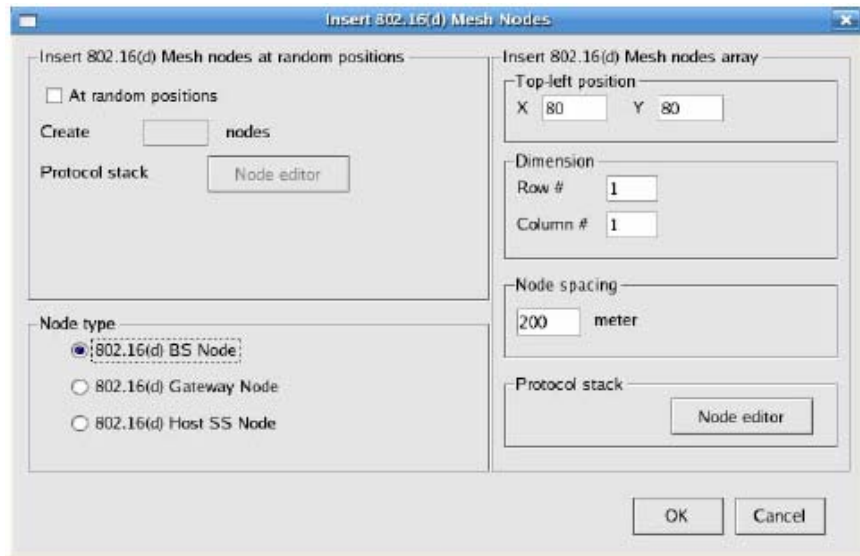
IEEE 802.16(d) hücresel ağlarının kurulumu için, Şekil Ek 4.9'daki gibi ya birim zaman için bir hücresel ağ nodu ya da otomatik bir ayar yapılarak tek adımda bir nod kümesi seçilir: (Menu -> N_Tools -> 802.16(d) Network -> 802.16(d) Mesh Mode

Nodes -> Insert 802.16(d) Mesh Mode Nodes).



Şekil Ek 4.9 IEEE 802.16(d) hücresel ağlarının kurulumu
“Insert 802.16(d) Mesh Mode Nodes” komutuyla beraber, Şekil Ek 4.10’daki kutucuk belirir. Bu kutucuk sayesinde, kullanıcı:

- 1) Girilen ağ nodlarının sayısını ve tipini belirleyebilir.
- 2) Ağ nodlarının nerede yer alacağına karar verebilir.
- 3) Her bir noda uygulanan protokole özgü ayarları yapabilir.



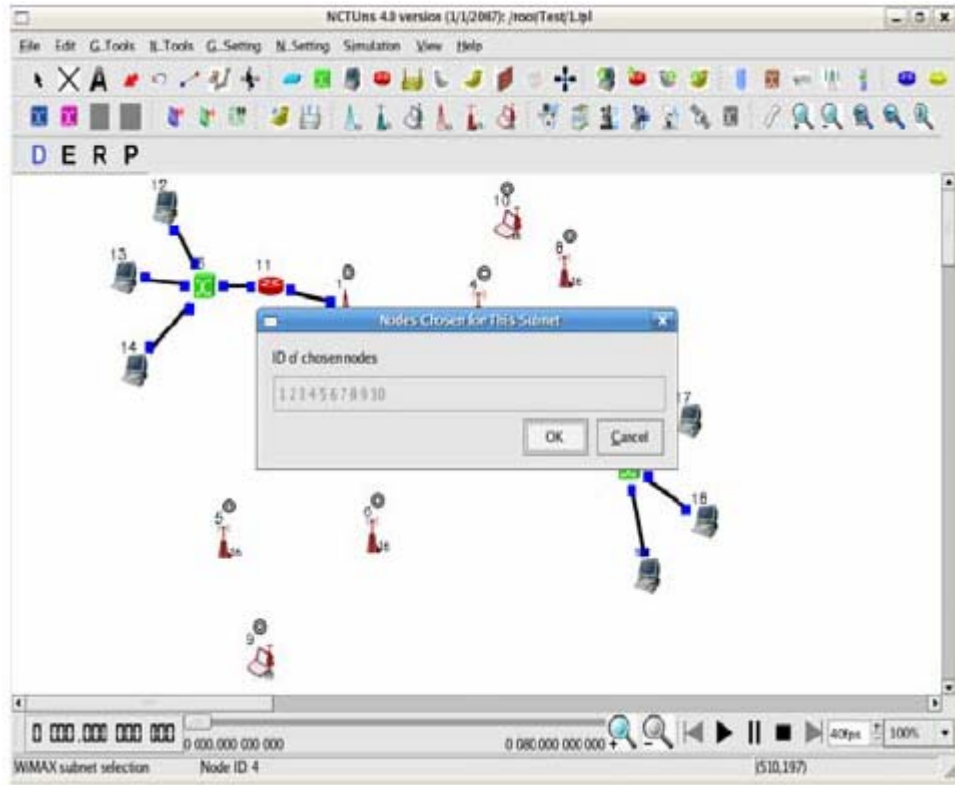
Şekil Ek 4.10 802.16(d) Mesh modu

Ek 4.3.3 IEEE 802.16(d) Hücresel Altağların Belirlenmesi ve Yönetimi

Kullanıcıya zaman ve çaba harcama bakımından zaman kazandırması için, GUI programı, alt ağları otomatik olarak belirlemeye çalışarak her bir katman-3 ara yüzü için gerekli IP adreslerini üretir. Bu belirleme işlemi, sabit ağlarda nodlar bağlı olduğu için kolayca yapılabilir. Fakat, kablosuz ağlarda nodlar bağlı olmadığı için, GUI programı altağ ilişkilerini belirleyebilmesi için gerekli bilgilere sahip değildir. Bu yüzden de kablosuz nodlar için IP adresleri otomatik olarak üretilemez.

Bir IEEE 802.16(d) hücresel ağında yer alan nodlara ilişkin IP adreslerini üretebilmek için, “Run Simulation” modunu girmeden önce öncelikle alt ağların belirlenmesi gerekmektedir. Bir IEEE 802.16(d) hücresel alt ağını belirlemek için, araç çubuğu üzerindeki “form subnet” butonuna () sol tıklanır. Sonra, kullanıcı, bir nod kümesine alt ağ şeklini verebilmek için, çalışma bölgesindeki çoklu nod ikonlarına sol tıklar. Bir ya da daha fazla alt ağ üyesi (örneğin ağ nodları) seçiminden sonra, kullanıcı çalışma alanında istediği bir yere sağ tıklayarak alt ağ biçimlendirmesini sonlandırır. Kullanıcının gerçekten biçimlendirmeyi sonlandırmak isteyip istemediğini doğrulamak için Şekil Ek 4.11’deki kutucuk belirir. Alt ağ biçimlendirme kutusu, bir alt ağı biçimlendirmek için seçilen nodun IDsini gösterir.

Yaratılan alt ağlar Menu -> N_Tools -> 802.16(d) Network -> 802.16(d) Subnets -> Manage 802.16(d) Subnets yardımıyla yönetilebilir. Alt ağ özellikleri belirlendikten sonra, hücresel ağ nodlarının IP adresleri GUI programınca üretilip ilgili nodlara atanabilir. Fakat, bu nodlar için doğru yönlendirme yolları üretebilmek için, öncelikle biçimlendirilmiş alt ağlara gatewayler atanmalıdır. Bu da, “Subnet management” komutuna ait kutucukta “Specify Gateway” butonuna sol tıklanarak yapılır.



Şekil Ek 4.11 IEEE 802.16(d) hücresel ağların belirlenmesi

Şekil Ek 4.12’de gösterildiği gibi “Specify Gateway for a Subnet” kutusu yardımıyla gateway eklenebilir, özellikleri değiştirilebilir ya da silinebilir. Bir gateway girişinin üç parametresi vardır: kaynak alt ağı, hedef alt ağı ve kaynak alt ağı tarafından paketleri hedef alt ağa göndermek amacıyla kullanılan gateway node ID’si.

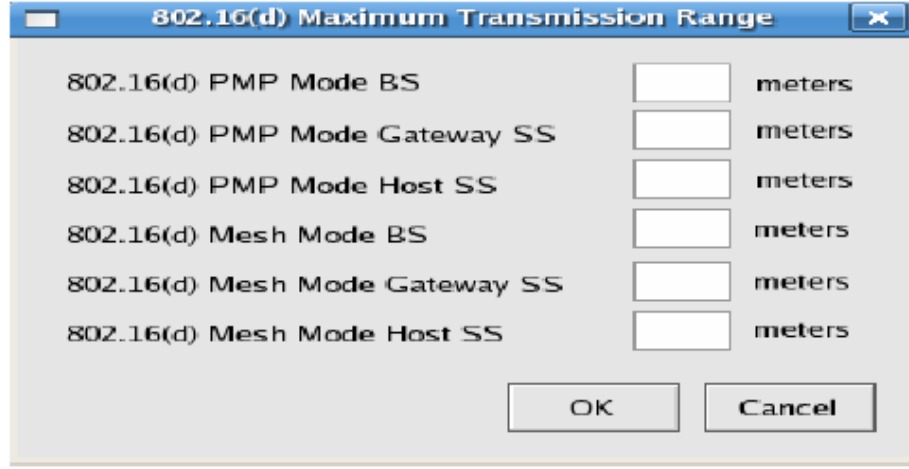


Şekil Ek 4.12 Gateway ekleme

Ek 4.3.4 IEEE 802.16(d) Hücresel Nodları İçin En Yüksek İletim Aralığı

IEEE 802.16(d) Hücresel nodları için en yüksek iletim aralığını belirleme: Menu -> N_Setting -> 802.16(d) Network -> Set Maximum Transmission Range For 802.16(d)

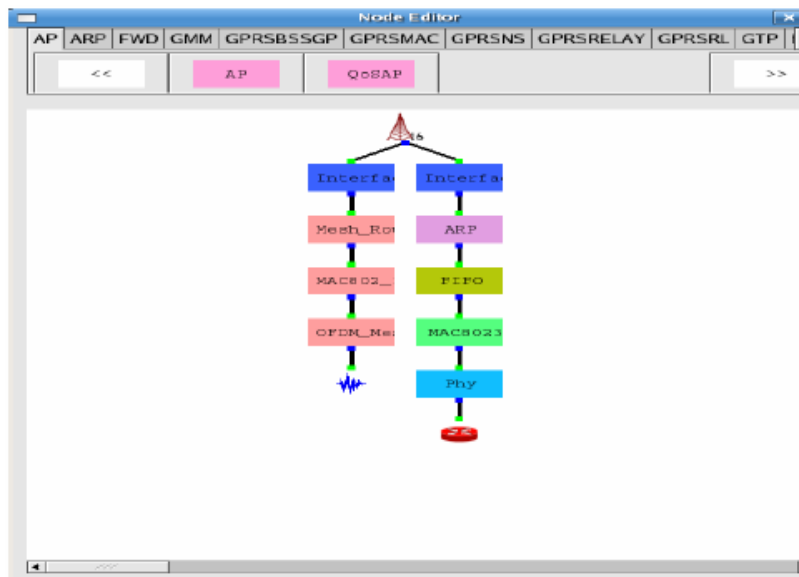
Stations komut dizisiyle sağlanır. Sonra, her bir nod tipi için en yüksek iletim aralığı Şekil Ek 4.13'teki kutucuk yardımıyla belirlenir.



Şekil Ek 4.13 IEEE 802.16(d) hücresel nodlar için iletim aralığı belirleme

Ek 4.3.5 IEEE 802.16(d) Hücresel Ağ Protokol Yığını

IEEE 802.16(d) ile ilgili modüllerin kurulumu ‘Node Editor’ yardımıyla yapılabilir. Şekil Ek 4.14, bir hücresel BS nodunun default protokol yığını göstermektedir. Bir modülün üzerine çift tıklanarak, onun ilgili parametre kutucuğu ortaya çıkarılır. Örneğin, MAC802_16_Mesh BS modülü içerisindeki en yüksek MAC-katmanı iletim sırası uzunluğu parametre kutusu yardımıyla belirlenebilir. Fiziksel-katman ayarları yapılarak, default kanal IDsi gibi parametreler ve hassaslık artırımı OFDM_Mesh modülü’nün parametre kutucuğu yardımıyla belirlenir.



Şekil Ek 4.14 IEEE 802.16(d) hücresel ağ protokol yığını

Ek 4.3.6 IEEE 802.16(d) PMP Mod Kavramı

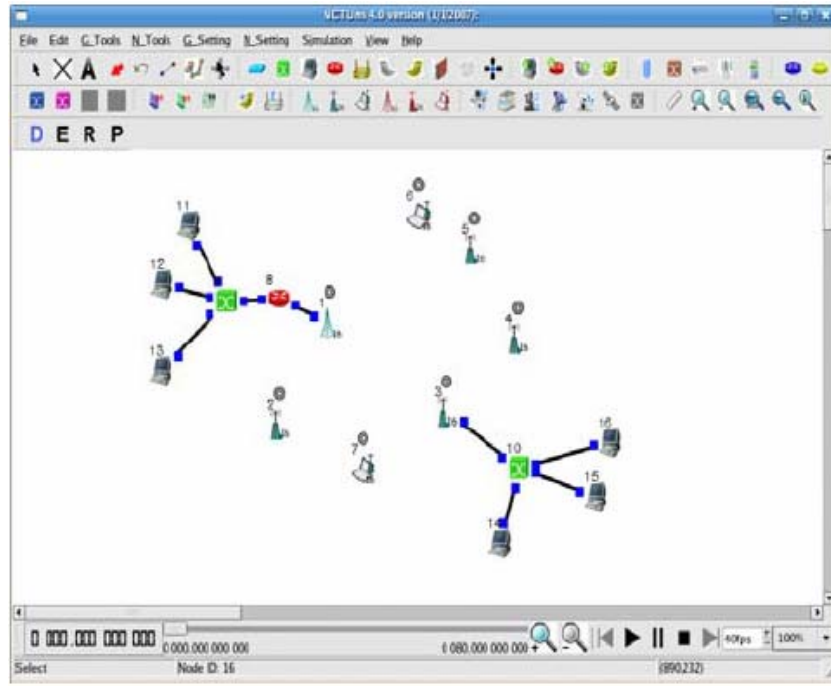
IEEE 802.16(d) PMP modu, geleneksel kablolu çözümlerin yerini alan bir last-mile teknolojidir. Downlink, (BS nodundan SS nodlarına olan veri akışı) PMP temeline dayanır. Diğer yandan, uplink (SS nodlarından BS noduna doğru veri akışı) bütün SS nodeları tarafından gerçekleştirir. PMP modunda, bir SS nodundan ağa doğru olan ya da iki SS nodu arasındaki trafik, PMP BS nodları üzerinden yönlendirilmelidir.

PMP BS nodu (), ağ kaynaklarını paylaşmaktan ve uplink iletimlerini koordine etmekle sorumludur. IEEE 802.16(d) hücreli ağlarda anlatıldığı gibi, NCTUNs'da PMP SS nodu ikiye ayrılır: PMP gateway SS nodu ve PMP host SS nodu.

Bir PMP gateway SS nodu (), kendi konfigürasyonunu ve yönlendirme fonksiyonlarını gerçekleştirebilir. Bunun yanında, bir yönlendirici gibi IEEE 802.16(d) PMP ağını başka bir ağa bağlayabilir.

PMP host SS nodu () ise, IEEE 802.16(d) PMP modu ile donatılmış bir terminal gibi davranır ve PMP gateway SS nodu gibi başka sabit bir ağa bağlanmak amacıyla kullanılmaz.

Şekil Ek 4.15, bir IEEE 802.16(d) PMP ağını göstermektedir. Bu ağda, bir PMP BS nodu, bir PMP gateway SS nodu ve bir grup PMP host SS nodu bulunmaktadır. PMP gateway SS nodu sağ alttaki alt ağa bağlanırken, PMP BS nodu sabit link üzerinden sol üstteki ağa bağlanır. PMP BS ve gateway SS nodlarının yönlendirme fonksiyonları sayesinde, PMP ağındaki internet üzerinde yer alan hostlar, sağ alttaki alt ağlarla kolayca haberleşebilir.



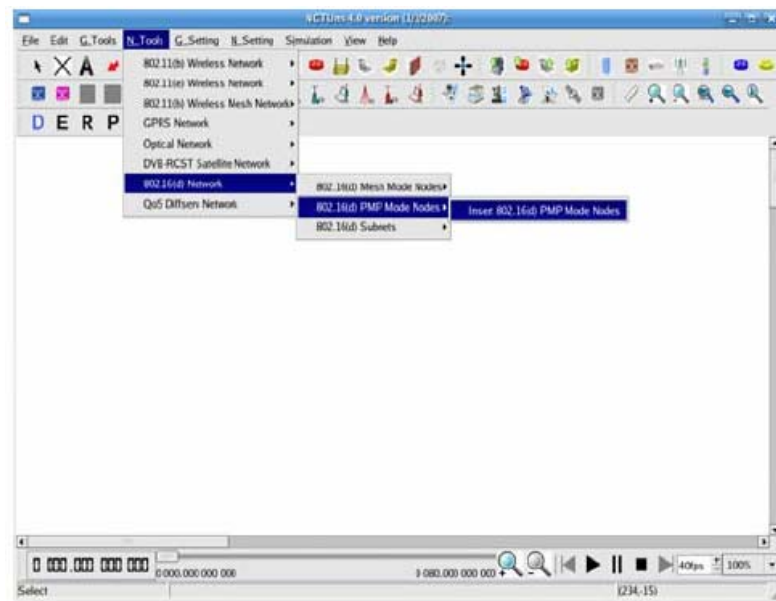
Şekil Ek 4.15 IEEE 802.16(d) PMP ağı

Ek 4.3.7 IEEE 802.16(d) PMP Ağlarının Kurulumu

Bir IEEE 802.16(d) PMP ağının kurulumuna Şekil Ek 4.16’da belirtildiği gibi IEEE 802.16(d) PMP nodlarının girilmesiyle başlanır:

Menu -> N_Tools -> 802.16(d) Network -> 802.16(d)

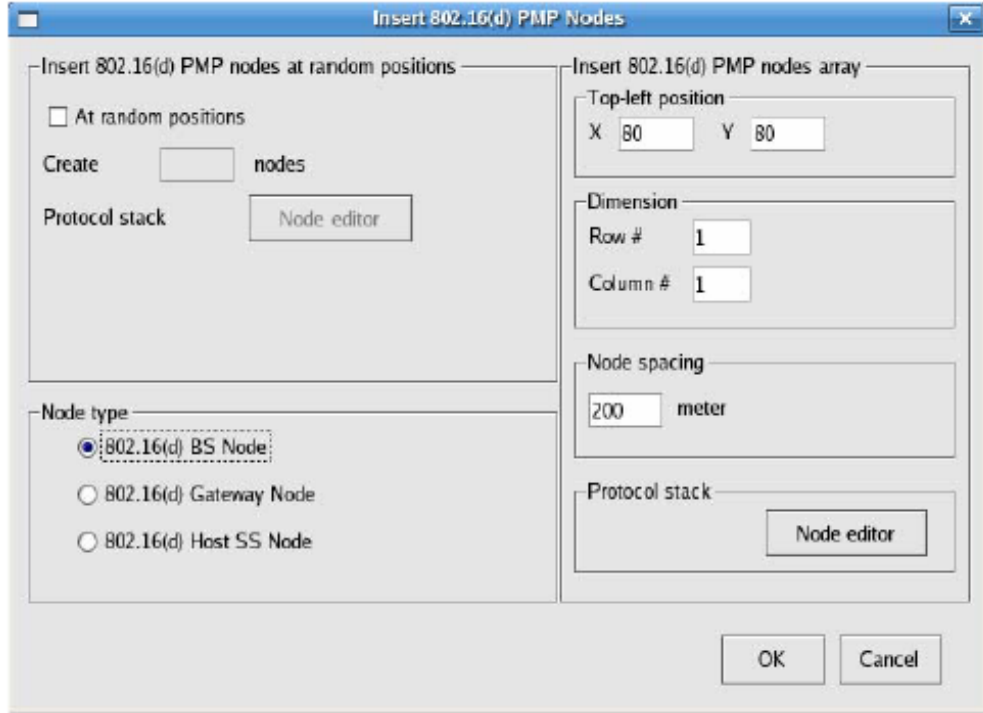
PMP Mode Nodes -> Insert 802.16(d) PMP Mode Nodes.



Şekil Ek 4.16 IEEE 802.16(d) PMP ağlarının kurulumu

Şekil Ek 4.17’de gösterildiği gibi:

- 1) Girilen nodların sayısı ve tipi,
- 2) Nodların ağda nerede yer alacakları,
- 3) Her bir noda uygulanması gereken protokole özgü ayarların belirlenmesi gerekir.



Şekil Ek 4.17 Protokole özgü ayarlar

Ek 4.3.8 IEEE 802.16(d) PMP Altağlarının Özelliklerinin Belirlenmesi

Tıpkı IEEE 802.16(d) hücresele ağlarda olduğu gibi, kullanıcı “form subnet” Toolunu () kullanarak PMP BS nodu ve PMP SS nodlarını bir altağ kurmak için kullanabilir. Bunu yaparak, GUI programı ilgili nodlar için otomatik olarak IP adresleri üretebilir ve böylece kullanıcıya zamandan ve harcanan güçten kazanç sağlar.

IEEE 802.16(d) PMP altağları, ağ özelliklerinin belirlenmesi ve ağ yönetimi için IEEE 802.16(d) hücresele altağlarla benzer bir prosedür kullanır.

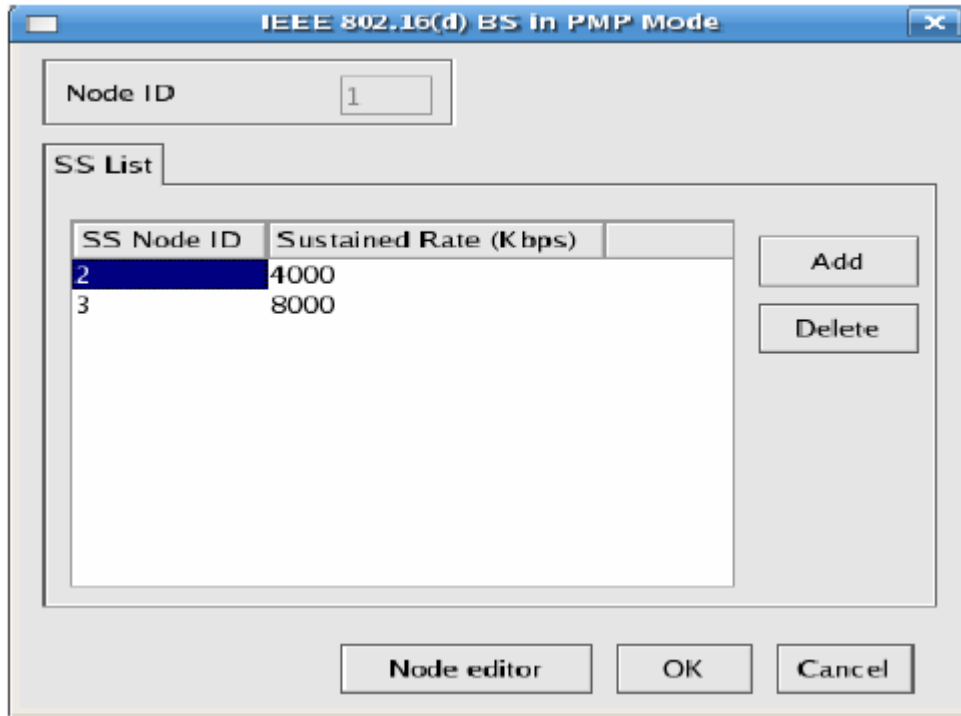
Ek 4.3.9 IEEE 802.16(d) PMP Nodlarının Maksimum İletim Aralığı

Maksimum iletim aralıklarının belirlenmesi tıpkı hücresele nodlarda yapıldığı gibi

gerçekleştirilir.

Ek 4.3.10 IEEE 802.16(d) PMP SS Nodlarının Hızlarının Sürekliliği

NCTUns şuan, PMP BS nodunda kullanılan veri çizelgesine göre sadece talep edilmemiş kabul edilen servis (Unsolicited Grant Service, UGS) akışlarını desteklemektedir. Şekil Ek 4.18’de gösterildiği gibi, PMP BS nodu ikonuna çift tıklanarak onun kutucuğu ortaya çıkarılır. Sonra da her bir PMP SS nodu için sürekli hızlar Kbps cinsinden girilir.



SS Node ID	Sustained Rate (Kbps)
2	4000
3	8000

Şekil Ek 4.18 IEEE 802.16(d) PMP SS nodlarının hızlarının belirlenmesi

Ek 4.3.11 IEEE 802.16(d) PMP Ağ Protokol Yığını

PMP modüllerine ilişkin ayarlanabilir parametreler henüz mevcut değildir. Bir kullanıcının, PMP ile bağlantılı modüllerdeki varsayılan parametreleri değiştirmek istemesi durumunda modülün NCTUns paketi içerisinde yer alan kaynak kodunu değiştirmesi ve NCTUns simülasyon programını yeniden derlemesi gerekir.

EK 5 NCTUns Simülatör Programının Kurulumu

NCTUns'un çalıştırılması için gerekli olan işletim sistemi kurulurken dikkat edilmesi gereken bazı noktalar vardır. Burada NCTUns kurulumu için Linux Red-Hat Fedora Core 8 gerekmektedir. Bunun yanında, NCTUns kurulumunun da kurallara uygun olarak yapılması gerekir. Bunun için internetten NCTUns'un güncel sürümü indirilebilir. Öncelikle NCTUNS programını çalıştırmak için install.sh dosyası çalıştırılmalıdır. Eğer üzerine çift tıklandığında install.sh dosyası metin düzenleyicide açılıyor ise, Linux ayarları değiştirilerek bu dosyanın terminalde çalışması sağlanmalıdır. Kurulan NCTUns'un yüklemesi gereken Fedora versiyonu ile yüklenen işletim sisteminin Fedora versiyonu aynı olmalıdır. Aksi halde yükleme esnasında "xinetd", "libtcl8.4", "libpcap", "rsh-server" veya "xterm" hataları alınmaktadır. Bu hataların alınması durumunda yüklenmesi gereken Fedora versiyonuna ait RPMS dizinindeki paketlerin güncel versiyonları internetten bulunarak RPMS dizini içine kayıt edilmeli ve kurulumdan önce kullanıcı tarafından yüklenmelidir (Fedora Project, 2008). Kurulum başarı ile tamamlandıktan sonra işletim sistemi kapatılarak tekrar açılmalıdır. Tekrar açılırken Kernel dosyası olarak NCTUNS Kernel dosyası seçilmeli ve 'root' kullanıcı adıyla oturum başlatılmalıdır.

NCTUns programının çalıştırılmasında aşağıdaki adımlar izlenir:

- Linux işletim sistemi NCTUns Kernel'i ile açılır.
- Daha sonra 'root' kullanıcı adı ile oturum başlatılır.
- NCTUns'un her çalıştırılmasından önce, simülasyon sonuçlarına etki ederek hatalı sonuçlar alınmasına neden olabilen SE-Linux ve iptables kontrol edilmelidir. Bu kontrol işlemini yapacak komutların çalışması için üstteki menülerden Uygulamalar->Sistem Araçları->Uç Birim tıklanır.

1. SELinux servisinin durdurulması:

a. [root@localhost ~]# vim /etc/selinux/config

SELINUX=disabled #Bu değerin disable olması gerekir; disabled, sistemin SELinux servisine başlamayacağını göstergesidir.

b. Eğer SELINUX=disabled değilse c ve d adımlarının da yapılması gerekmektedir.

c. [root@localhost ~]# vim /boot/grub/menu.lst

.....

kernel /vmlinuz-2.6.24.2-nectuns-20080219 ro root=/dev/VolGroup00/LogVol00 rhgb
selinux=0 #Bu kısım kullanıcı tarafından eklenir.

d. [root@localhost ~]# reboot

2. Iptables servisinin durdurulması:

[root@localhost ~]# service iptables stop #Stop iptables, açık olan yürütmeleri
durdurur.

[root@localhost ~]# service iptables status Firewall is not running. #Iptables'ın
durumu kontrol edilir, firewall çalışmıyor olmalıdır.

Daha sonra, Uygulamalar-> sistem araçları->Uç tıklanarak uç birim çalıştırılır.

-ilk uç birimde dispatcher çalıştırılmalıdır:

>dispatcher

Dispatcher çalıştırıldıktan sonra

-dosya-> sekme aç komutu ile yeni sekme açılıp ve yeni sekmede koordinatör
çalıştırılmalıdır:

>coordinator

Dispatcher ve koordinatör çalıştırıldıktan sonra

-dosya-> sekme aç komutu ile yeni bir sekme daha açılıp bu yeni sekmede
'nectunscient' çalıştırılmalıdır:

>nectunscient

Böylece NCTUns çalıştırılmış olur. Bundan sonraki aşama, simülasyonu hazırlamak
ve simülasyon sonucu oluşan .tpl uzantılı dosyayı çalıştırmaktır.

NCTUns içerisinde var olan bir simülasyon programının çalıştırılması:

-File >Open tıklanır. Klasör olarak simülasyon sonucunda oluşan .tpl uzantılı dosya
seçilmelidir:

Masaüstü>NCTUNS Hatice>NCTUNS-4.0>examples>Demo55.. > demo55.tpl

>Open

Açıldığındaki durum D (Draw Topology)'dedir. Sırası ile E (Edit ptoperty) ve R (Run Simulation) şeklinde çalıştırmayı tamamlamaktadır. Çıkan bilgi ekranında OK tıklanır.

>File transfer done.

Dosya atma işlemi tamamlandıktan sonra simülasyon başlatılabilir. Altteki zaman menüsünden:

>Play (Play back) tuşuna tıklanarak simülasyon çalıştırılır.

>Zoom yapılarak görsel ayarlamalar yapılır.

Zaman çizelgesindeki kırmızı barlar veri iletiminin yapıldığı bölgeleri göstermektedir. En sağdaki 100% ifadesi simülasyon hızını ayarlamayı sağlamaktadır. Kırmızı çizgili olan kısımlar ise veri iletiminin yapıldığı bölgeleri göstermektedir.

Simülasyon sonuçlarına ait grafiklerin çizdirilmesi:

-G_Tools>Plot Graph ile grafik penceresi açılır. Açılan grafik penceresinde,

-File>Open ile .result klasörü içerisinde simülasyon sonucu oluşan *.log dosyaları açılır.

Çizdirilen her grafikte zaman aralığı sabit olarak 0 ile 4. saniye arası gösterildiği için ve kullanıcının seçtiği simülasyon süresi muhtemelen bu süreden farklı olacağı için, grafikteki X ekseninin boyunun buna göre ayarlanması gerekmektedir. Örneğin simülasyon programının 0 ile 40. saniye arasında çalışmasını isteyen bir kullanıcı, grafik penceresinde

-Options> General setting > X axis setting 40 sn. yapmalıdır.

-Apply > OK ile grafik çizdirilir.

Sonuçların değerlendirilmesi iki yolla yapılabilir:

1- Program grafik olarak çıktı verebilmektedir ve bu yolla grafiksel sonuçlar alınabilir.

2-Simülasyonun çıktı dosyalarından, kullanıcının belirlediği zaman aralıklarındaki veri iletim hızını anlamak mümkündür. Hızlar ve süreden yola çıkılarak belirlenen bir zamanda boyunca iletilen toplam veri miktarı hesaplanabilir. Bu noktada, simülasyon sonuçları sayısal olarak hesaplanırken, ağdaki elamanlar arası mesafe ölçümü 'ruler'

yardımla yapılır.

Son olarak, NCTUns'un doğru çalışıp çalışmadığını kontrol etmek için, kullanıcı, NCTUns içinde zaten mevcut olan örneklerden kendi çalışma konusuna ilişkin birkaç tanesini açarak simülatörde çalıştırmalıdır. Sonuçlar, NCTUns'un internetteki sayfasından indirilen demo dosyaları ile karşılaştırılarak yapılan simülasyon doğrulanmalıdır (Wang vd., 2007).

Bütün bunların yanında, beklenmedik bir durumla karşılaşılması durumunda NCTUns destek grubundan elektronik posta yardımıyla destek ve öneri alınabilir (NCTUns Support, 2008). Ayrıca kullanıcılar tarafından geçmişte karşılaşılan problemler ve destek grubunun önerdiği çözümlere de destek gurubunun mail arşivi sayfasından erişilebilir (NCTUns, 2008).

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	01.12.1982	
Doğum yeri	Mersin	
Lise	1996-2000	Erdemli Lisesi
Lisans	2000-2005	Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2005-	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik-Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, Haberleşme Programı
Çalıştığı kurum(lar)		
2005-devam ediyor		Nortel Netaş Networks ISUP, CAS, H.248, SIP tasarım yönetimi