

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KIRSAL BÖLGELER İÇİN KABLOSUZ ERİŞİM MODELİ VE AKILLI
ELEKTRİK ŞEBEKELERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Hüseyin Fethi BAYBURTLU**

Anabilim Dalı : Elektrik Mühendisliği

Programı : Elektrik Mühendisliği

HAZİRAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KIRSAL BÖLGELER İÇİN KABLOSUZ ERİŞİM MODELİ VE AKILLI
ELEKTRİK ŞEBEKELERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hüseyin Fethi BAYBURTLU

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14 Haziran 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Haziran 2010

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ömer USTA (İTÜ)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ahmet Hamdi KAYRAN

Y. Doç. Dr. V. M. İstemihan GENÇ

HAZİRAN 2010

Aileme ve benden desteğini esirgemeyen sayın Prof. Dr. Ömer USTA'ya,

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince bilgi birikimini ve tecrübesiyle beni yönlendiren ve her daim yardımcı olan sayın Prof. Dr. Ömer USTA' ya teşekkürü borç bilirim. Bana gösterdikleri destekten ötürü aileme, arkadaşlarıma ve iş arkadaşlarıma sonsuz sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2010

H. Fethi BAYBURTLU
(Elektronik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. HABERLEŞME SİSTEMLERİNE GİRİŞ.....	2
2.1 Kablosuz İletişim Tarihçesi.....	2
2.2 IEEE Komitesi.....	5
2.3 Kablosuz Erişim Teknolojisinin Terminolojisi.....	6
2.3.1 Bant genişliği ve veri hızı.....	6
2.3.2 Gürültü ve SNR.....	8
2.3.3 Modülasyon.....	8
2.3.3.1 Kablosuz iletişimde modülasyon teknikleri.....	9
2.3.4 Radyo sistemlerinin elemanları.....	10
2.3.5 Çoklu erişim.....	11
2.3.5.1 Frekans bölmeli çoklu erişim.....	11
2.3.5.2 Zaman bölmeli çoklu erişim.....	12
2.3.5.3 Kod bölmeli çoklu erişim.....	13
2.3.5.4 Ortogonal frekans bölmeli çokluma.....	13
2.3.6 İletim yönü.....	14
2.3.7 Paket anahtarlama.....	15
2.3.8 İşaret gücü.....	15
3. IEEE 802.11 YEREL ALAN AĞLARI.....	17
3.1 IEEE 802.11 Standardı Çeşitleri.....	17
3.1.1 802.11 miras.....	17
3.1.2 802.11a.....	17
3.1.3 802.11b.....	18
3.1.4 802.11g.....	18
3.1.5 802.11n.....	19
3.1.6 Yerel erişim ağı fiziksel katmanı.....	20
3.1.6.1 DSYS tipi fiziksel katman.....	20
3.1.6.2 Kızılötesi tipi fiziksel katman.....	21
3.1.6.3 FAYS tipi fiziksel katman.....	21
3.1.6.4 OFBÇ tipi fiziksel katman.....	21
3.2 Ortam Erişim Kontrol Katmanı.....	21

4. WIMAX – KABLOSUZ METROPOLİTEN ALAN AĞI.....	23
4.1 WIMAX Tanımı.....	23
4.2 WIMAX Çeşitleri.....	23
4.3 Referans Modeli.....	25
4.4 Fiziksel Katman.....	26
4.4.1 Fiziksel katman teknolojileri.....	26
4.4.1.1 Ortogonal frekans bölmeli çoklama	27
4.4.1.2 Zaman bölmeli ve frekans bölmeli çoklama.....	27
4.4.1.3 Uyumlu anten sistemleri.....	29
4.4.2 WIMAX Çeşitlerinin Fiziksel Yapıları.....	29
4.4.2.1 WirelessMAN-OFDM.....	29
4.4.2.2 WirelessMAN-OFDMA.....	30
4.4.2.3 WirelessMAN-HUMAN.....	31
4.4.2.4 WirelessMAN-SC.....	31
4.4.2.5 WirelessMAN-SCa.....	35
4.5 MAC Katmanı.....	36
4.5.1 MAC katmanı yapısı.....	36
4.5.1.1 Servis klasları.....	37
4.5.1.2 Servise özgü değişim alt katmanları.....	38
4.5.1.3 Ortak alan alt katmanı.....	39
4.5.2 MAC PDU yapısı.....	39
4.5.3 İletim değişim alt katmanı.....	41
4.6 Servis Kalitesi (QoS).....	41
4.6.1 FEC mekanizması.....	41
4.6.2 Bant genişliği atama.....	41
4.6.3 Dinamik modülasyon.....	42
4.6.4 Hata düzeltme ve araya girme.....	42
4.6.5 QoS yapısında servis akış kavramı.....	42
4.6.6 Servis klasları.....	43
5. WIMAX AĞ TOPOLOJİSİ ve UYGULAMA ALANLARI.....	45
5.1 WIMAX Ağ Topolojisi.....	45
5.1.1 Noktadan noktaya ağlar.....	45
5.1.2 Noktadan çoklu noktaya ağlar.....	45
5.1.3 Dağınık ağlar.....	46
5.2 Lisanslı ve Lisansız Bantlar.....	47
5.3 WIMAX Uygulama Alanları.....	48
5.3.1 Son kullanıcı veri erişimi.....	48
5.3.2 Servis sağlayıcılar için kablosuz altyapı	49
5.3.3 Şirket / Özel ağları.....	49
5.3.4 Kamera denetimi.....	49
5.3.5 ATM uygulamaları.....	49
5.3.6 VOIP hizmeti.....	50
5.3.7 Diğer uygulama alanları.....	50
6. WIMAX MODEL TASARIMI ve SİMÜLASYONU.....	51
6.1. Kırsal Alan Örneği Çarşıbaşı İlçesi.....	51
6.2. OPNET Simülasyonu.....	53

6.2.1. OPNET simülasyonunda kullanılan arayüzler ve wi-max araçları.....	54
6.2.2. Ağ modeli tasarımı.....	58
6.2.3. Simülasyon sonuçları.....	61
7. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	67
8. KAYNAKLAR.....	71

KISALTMALAR

AM	: Amplitude Modulation
ASK	: Amplitude Shift Keying
BE	: Best Effort
BS	: Base Station
CID	: Connection Identifier
CPS	: Common Part Sublayer
CS	: Convergence Sublayer
DL	: Downlink
DSYS	: Düz Sıralı Yayılmış Spektrum
FAÇE	: Frekans Atlamalı Çoklu Erişim
FAYS	: Frekans Atlamalı Yayılmış Spektrum
FAYS	: Frekans Atlamalı Yayılmış Spektrum
FBÇE	: Frekans Bölmeli Çoklu Erişim
FDD	: Frequency Division Duplex
FM	: Frequency Modulation
FM	: Frekans Modülasyonu
FSK	: Frequency Shift Keying
GPC	: Grant per Connection
GPS	: Global Positioning System
GPSS	: Grant per SS
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISO	: International Organization of Standardization
KBÇE	: Kod Bölmeli Çoklu Erişim
LAN	: Local Area Network
LOS	: LOS Line of Sight
MAC	: Medium Access Control
MAN	: Metropolitan Area Networks
ISM	: Medical, Industrial, Scientific,
NLOS	: None Line of Sight
nrtPS	: Non Real Time Polling Services
OFBÇE	: Ortogonal Frekans Bölmeli Çoklu Erişim
OSI	: Open system Interconnection Model
PM	: Faz Modülasyonu
PMP	: Point to Multipoint

PP	:	Point to Point
QAM	:	Quadrature Amplitude Modulation
RF	:	Radyo Frekansı
rtPS	:	Real Time Polling Services ,
SAP	:	Service Accesss Point
SFID	:	Service Flow Identifier
SS	:	Subscriber Station
TDD	:	Time division duplex
TG	:	Transition Gap
UGS	:	Unsolicited Grant Services
UL	:	Uplink
WIMAX	:	Worldwide Interoperability for Microwave Access
Wi-Fi	:	Wireless Fidelity
ZBÇE	:	Zaman Bölmeli Çoklu Erişim

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Çeşitli iletişim teknolojileri ve bant genişlikleri.....	7
Çizelge 3.1 : IEEE 802.11 Yerel Erişim Ağı Standartları.....	20
Çizelge 5.1 : Global lisanslı ve lisanssız bant dağılımı.....	24
Çizelge 6.1 : Toplam hane sayısı ve hane sayısına göre planlanan veri iletişim son noktası	51
Çizelge 6.2 : Anlık maksimum kapasite ve bu kapasite için gerekli BS sayısı.....	59
Çizelge 6.3 : Merkez ve köy yerleşkelerinde kullanıcı adetleri ve maksimum anlık veri transfer hızları	59
Çizelge 6.4 : İlçe merkezi ve köylerdeki Kullanıcı profilleri.....	60

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : Bir verinin vericide işlenmesi örneği.....	10
Şekil 2.2 : Bir radyo sisteminin elemanları.....	11
Şekil 2.3 : Frekans Bölmeli Çoklu Erişim	12
Şekil 2.4 : Zaman Bölmeli Çoklu Erişim	12
Şekil 2.5 : Kod Bölmeli Çoklu Erişim	13
Şekil 2.6 : Dört alt taşıyıcılı bir OFBÇE işaretin spektrumu.....	14
Şekil 2.7 : OFBÇE sembolü.....	14
Şekil 2.8 : Çok yönlü bozunumun etkisi.....	16
Şekil 4.1 : IEEE OSI katmanına göre 802.16.....	26
Şekil 4.2 : TDD alt çerçeve yapısı.....	28
Şekil 4.3 : TDD sisteminde OFDM çerçeve yapısı.....	29
Şekil 4.4 : WirelessMAN-OFDMA çerçeve yapısı.....	31
Şekil 4.5 : WirelessMAN-SC UL alt çerçeve yapısı.....	33
Şekil 4.6 : WirelessMAN-SC TDD DL alt çerçeve yapısı.....	35
Şekil 4.7 : WirelessMAN-SC FDD DL alt çerçeve yapısı.....	35
Şekil 4.8 : MAC başlık yapısı.....	39
Şekil 4.9 : Paketleme ve parçalama.....	40
Şekil 5.1 : Noktadan noktaya bağlantı.....	45
Şekil 5.2 : Noktadan çoklu noktaya bağlantı.....	46
Şekil 5.3 : Dağınık (Mesh) ağlar.....	46
Şekil 6.1 : Çarşıbaşı ilçesi uydu görünütüsü.....	52
Şekil 6.2 : Çarşıbaşı ilçesi köy yerleşimleri.....	53
Şekil 6.3 : Opnet üzerinde oluşturulan yerleşimler.....	53
Şekil 6.4 : İlçe merkezinde oluşturulan kullanıcılar ve erişim noktaları.....	54
Şekil 6.5 : Wimax ağı için Opnet programında kullanılan araçlar.....	54
Şekil 6.6 : Wimax config arayüzü.....	55
Şekil 6.7 : Wimax Appllication definition arayüzü.....	55
Şekil 6.8 : Application definition aracı.....	56
Şekil 6.9 : Wimax base station aracı.....	57
Şekil 6.10 : Wimax SS Workstation.....	57
Şekil 6.11 : Wimax SS server aracı.....	58
Şekil 6.12 : Wifi noktası aracılığı ile hanelerin BS noktasına erişimi.....	60
Şekil 6.13 : BS throughput değerleri.....	62
Şekil 6.14 : Kullanıcıların ürettikleri trafiklerin throughput değerleri.....	63
Şekil 6.15 : BS gecikme süreleri.....	64
Şekil 6.16 : Gülbahçe aktif kullanıcı.....	65
Şekil 6.17 : BS throughput değeri.....	65
Şekil 6.18 : BS gecikme süresi.....	66

KIRSAL BÖLGELER İÇİN KABLOSUZ ERİŞİM MODELİ VE AKILLI ELEKTRİK ŞEBEKELERİ

ÖZET

Kablosuz iletişim teknolojisinin gelişmesi ile birlikte, kablosuz ortamlarda uzak mesafelere yüksek hızlarda data erişimi sağlanmaktadır. İletim ortamının hava olması nedeni ile ortaya çıkan etkileşim ve gürültü gibi sorunlar yeni modülasyon, hata düzeltme teknikleri ve anten yapıları ile ortadan kaldırılmıştır. Bu çalışmalar IEEE organizasyonun 802.1x komitesince kablosuz iletişim standardı olarak tanıtılmıştır. IEEE 802.11 komitesi son yıllarda oluşturduğu 802.11 standartları ile yerel erişim ağları için, 802.16 standartları ile de metropoliten alan ağları için farklı erişim mesafeleri ve hızlarda veri erişimi için alternatifler sunmuştur. Bu tez çalışmasında birinci bölümde kablosuz veri iletişimi ile ilgili temel kavramlar ele alınmış, ikinci bölümde IEEE 802.11 yerel alan ağı diğer adıyla Wi-Fi standardı incelenecektir. Üçüncü bölümde IEEE 802.16 metropoliten alan ağı diğer adı ile WIMAX standardı incelendikten sonra dördüncü bölümde kablosuz erişim veri uygulamaları ile ilgili örnekler incelenecektir. Daha sonraki çalışmalarımızda kırsal bölgeler için hem kablosuz veri erişimi modeli oluşturulup aynı model üzerinde akıllı elektrik şebekesi modeli sunulacaktır. Son olarak önerilen model OPNET simülasyon programı ile modellenip simüle edilip sonuçlar değerlendirilecektir.

WIRELESS NETWORK MODEL FOR RURAL AREAS AND INTELLIGENT GRID NETWORKS

SUMMARY

As wireless communication technology grows, it is possible to Access high Access lengths and high bit rates over wireless media. Air is the access media for wireless communication, hence there are few problems such as interference, noise and etc. Thanks to IEEE 802 committee for newer standards 802.11 variants and 802.16 variant that introduces newer modulation, error correction techniques and antenna systems that avoid mentioned problems. Those standards describes different kind of access lengths and different kind of bit rates. In section one the basics of wireless communication technology is introduced. Section two mentions IEEE 802.11 standard and variants that is known as Wi-Fi. Section three mentions IEEE 802.16 standard and variants that is known as WIMAX. In section four wireless communication applications are thought. Next sections are going to discuss a wireless network model for rural area. A Wireless access model is going to be produced that includes all kind of data access over wireless network and an intelligent electrical grid also going to be discussed. At last the model is going to be simulated with OPNET simulation program and the result is going to be discussed.

1. GİRİŞ

Klasik ağ topolojilerinde karşılaşılan kablolamanın getirdiği son kullanıcıya erişim kısıtlamaları kablosuz iletişim ile veri transferi ile aşılmıştır. Kablosuz iletişim ile veri transferi günümüzde geliştirilen yöntemlerle kilometrelere varan uzaklıklara veri, ses ve video görüntüsünün taşınabildiği bir teknoloji haline gelmiştir. Bu durum daha esnek ağ yapılarının oluşturulmasına imkan sağlamıştır.

Kablosuz veri iletişimi için günümüzde en yaygın kullanılan standart 802.11 standardı ve çeşitleridir. Bu standart ticari çevrelerce ve toplum arasında Wi-Fi olarak da bilinmektedir. 2009 ekim ayında en son 802.11 standardı olarak lanse edilen 802.11n ise sağladığı 600 Mbps hız ve 250 m 'ye varan erişim mesafesi ile yakın zamanda küçük bir yerleşim birimine tek noktadan erişim hizmeti vermeye aday bir teknolojidir.

2000 yılından itibaren adı yavaşça anılmaya başlanan 802.16 standardı ise veri erişiminin büyük ölçüde kablosuz olarak sağlanmasına yönelik en önemli adımdır. WIMAX olarak anılan IEEE 802.16 standardı sağladığı 50km erişim mesafesi ve 75 Mbps iletim oranı ile uzak mesafe iletişimde kablosuz erişim olanağı sağlar. WIMAX, kablolu erişim için gerekli kablo ile bağlı olma zorunluluğunu kaldırdığı için coğrafi sebeplerden hizmet götürülemeyen yerler için de bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tez çalışmamızın ikinci bölümünde Kablosuz iletişim teknolojisi tanımlanmış, kablosuz iletişime ait temel kavramlara yer verilmiştir. Üçüncü bölümde IEEE komitesinin 802.11 Yerel Alan Ağı Standardı incelenmiştir. Dördüncü bölümde de 802.16 Metropolitan Alan Ağı Standardı incelenmiştir. Beşinci bölümde ise kablosuz iletişim teknolojisinin uygulama alanlarına yer verilmiştir. Altıncı Bölümde günümüzde hala coğrafi sebeplerden dolayı veri erişiminin sağlanamadığı kırsal bölgeler düşünülerek, kablosuz iletişim ağına bağlı bir model oluşturulmuştur. Bu bağlamda Trabzon Çarşıbaşı ilçesi model alan olarak düşünülmüştür. Bu bölgenin yerleşim yerleri ve kullanıcı profili çıkartılarak bir kablosuz ağ şebekesi oluşturulmuştur. OPNET yazılımı ile oluşturulan model simule edilerek verimlilik analizi yapılmıştır.

2. HABERLEŞME SİSTEMLERİNE GİRİŞ

Kablosuz iletişim basit anlamda bir verinin radyo frekansı (RF) veya mikrodalga teknolojisi ile iletilmesidir. İletim ortamı havadır. Alıcı ve verici arasında herhangi bir kablolu sistemine gerek duyulmaması büyük bir esneklik sağlar. Kablosuz iletişim sayesinde, birçok kablolu sistemin bünyesinde bulunan anahtarlama elemanlarından, bunların oluşturduğu karmaşık yapılardan ve beraberinde getirdiği işaret bozucu etkilerden kurtuluruz.

Basit bir SOS işaretinin iletilmesi de internete erişim de iletim ortamının hava olması durumunda kullandığı teknoloji farklılık gösterse de kablosuz iletişim kapsamına girer. Kablosuz iletişim tanımı radyo, cep telefonu ve kablosuz erişim ağlarını içerir. Evrensel pozisyon sistemleri (GPS), uzaktan kumandalar, uydu televizyonları, kablosuz fare veya tuő takımı gibi bilgisayar ürünleri ve benzeri birçok teknoloji kablosuz iletişim sınıfında değerlendirilir.

Kablosuz iletişim, basit bir SOS iőaretinden birçok kullanıcıya uzak mesafelere kadar veri iletişimi sağlayabilen WIMAX teknolojisine kadar geniş bir yelpazeye sahiptir. Bu farklı türdeki teknolojiler, tarih içerisinde peőı sıra gelen buluşlar sayesinde olmuőtur.

2.1 Kablosuz İletişim Tarihçesi

İlk Radyo dalgaları Heinrich Hertz tarafından 1887 yılında fark edildi. Bu bulgusu ile ilgili ilk düşüncesi herhangi bir önemi olmadığı yönünde idi. 1896 yılında Guglielmo Marconi geliőtirdiėi ilk kablosuz telgraf aparatını otoritelere göstermek için İtalya'dan İngiltere'ye gitti. Başvurusunun akabinde aynı yılın 2 Haziranında ilk kablosuz telgraf 3 km'den 4 km'ye kadar iletildi. İki yıl sonra, 1898 yılında Tesla uzaktan kumandalı bot testini gerçekleőtirdi fakat maalesef o zamanlar birçok insan bunu beyin gücü ile yaptığını düşünüyordu.

1906 yılında ise Reginald Fessenden Genlik Modülasyonunu (Amplitude Modulation – AM) geliştirdi.

1921 yılında kısa dalga radyo geliştirildi. Kısa dalga diye anılmasının sebebi ışık dalga boyunun yüksek frekansa göre kısa kalması ve radyo dalgasının frekansı 2.310 MHz ile 25.820 MHz aralığında olmasıdır.

1931’de Edwin Armstrong frekans modülasyonunu (Frequency Modulation – FM) geliştirdi. Bu gelişme FM radyo frekansı üzerinde dijital bilginin aktarılmasında anahtar olarak kabul edilebilir.

1982’de Groupe Special Mobile (GSM) oluşturuldu. GSM ilk olarak 1990 yılında L-band’da (dijital Radyo) çalışan Global Pozisyon Sistemi’ni (Global Positioning System - GPS) yayınladı. Bir sonraki sene ilk GSM çağrısını Finlandiya’da gerçekleştirildi.

1983 yılında, IEEE veri transferini 2.94Mbps seviyelerinde sağlayan Ethernet teknolojisini IEEE 802.3 standardı olarak oluşturdu.

1992 yılında IEEE Wi-Fi olarak da bilinen 802.11 standardını oluşturdu. Orijinal hali maksimum 2Mbps bant genişliğine sahipti. 1999 yılında 11Mbps limitine sahip 802.11b tanıtıldı. 2009 Ekim’inde 802.11n 600 Mbps hız ile standarda dâhil edildi. Günümüzde, IEEE 802.11n standardını IEEE 802.11x standardının en son hali olarak belirlemiştir.

1998 yılında Ericsson, IBM, Intel, Toshiba ve Nokia Bluetooth Special Interest Group (SIG) ‘u oluşturdu ve Bluetooth 1.0 (IEEE 802.15.1) yayınlandı. Bütün donanımların handshake işlem olarak anılan bir prosedür ile birbirini tanımlamasını sağlayan bir protokol olarak tanımlanabilir. 2003 yılında Bluetooth 1.2 etkileşimi (interference) azaltan Adaptive Frequency-Hopping (AFH) tekniğini geliştirdi. 2004 yılında duyurulan Bluetooth 2.0, 3Mbps veri transfer hızına olanak sağladı.

2001 yılında, WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) olarak da tanınan IEEE 802.16 standardı oluşturuldu. 2004 yılında yayınlanan yeni sürümü ise WIMAX’ ı günümüzün en ilgi çekici teknolojisi haline getirdi. Non-Line of Sight (NLOS) olarak bilinen ve alıcının vericiyi görmediği durum olarak bilinen yapıda 56 kilometreye varan kapsama alanı ve 75 Mbps’ a varan hızı ile WIMAX kablosuz

ağlarda geliştirilen en son teknoloji konumundadır. Mobile WIMAX ise önümüzdeki dönemlerde, ki tahminen 2010 yılı içerisinde, son şekline getirilip mobil sistemler için 4G (dördünü nesil) olarak oluşturulacaktır.

Görüldüğü gibi kablosuz iletişim teknolojisi, bir S.O.S mesajından yüksek hızlı, uzun mesafeli WIMAX teknolojisine uzanan uzun bir tarihsel gelişime sahiptir. Bu teknolojinin gelişmesinde şüphesiz ki IEEE 802 komitesinin büyük katkıları vardır. Bu yüzden kablosuz iletişim teknolojilerinde itici güç olan IEEE 82 komitesi burada ele alınacaktır.

2.2 IEEE Komitesi

IEEE komitesinin ilk toplantısı “Yerel Alan Ağı (Local Area Network - LAN) Standart Komitesi” adı altında, 802 projesi olarak 1980 Ocak ayında yapılmıştır. Orijinalinde sadece 1 Mbps’ dan 20 Mbps’ a kadar hızları kapsayan bir LAN standardı oluşturulacaktı. Fakat daha sonra standart, Medya veya Fiziksel Katmanı (PHY Layer) standardı, Ortam Geçiş Kontrolü (Medium Access Control – MAC) standardı, ve Yüksek Seviye Etkileşim (Higher Layer Interference – HILI) standardı olarak ayrıldı. Orijinal ethernet erişim metodu bus topolojisiydi. Fakat 1980’lerin sonunda Jeton Erişim Metodu (Token Access method) tanıtıldı ve bir yıl sonra üç farklı erişim yöntemi oluşturuldu: CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection), Token Bus ve Token Ring. Geçen seneler içinde MAC katmanında bir alt katman olarak Lojik Bağlantı Katmanı (Logical Link Layer – LLC) tanımlandı. İlerleyen yıllarda proje kapsamına Metropolitan Alan Ağları (Metropolitan Area LANs – MANs) ve yüksek hızda veri erişimleri de eklendi. Komite, kendi ismini IEEE – 802 LAN/MAN Standards Committee (LMSC) olarak değiştirdi [1].

Çalışma Grubu kısaca şu şekilde tasniflenebilir;

- 802.1 High Level Interface (HILI) Working Group
- 802.3 CSMA/CD (Ethernet) Working Group
- 802.11 Wireless LAN (WLAN) Working Group
- 802.15 Wireless Personal Area Network (WPAN) Working Group
- 802.16 Broadband Wireless Access (BWA) Working Group

Kablosuz iletişime göre, 802 standartlarını oluşumuna göre şu şekilde sıralayabiliriz [2];

- 802.11: Wireless LAN (Local Area Networks)
- 802.15: Wireless PAN (Personal Area Networks, örneğin Bluetooth=IEEE 802.15.1)
- 802.16: Wireless MAN (Metropolitan Area Networks)

Özetle, 802.11 grubunun ilgi alanı LAN' dır. 2.5 ile 5 GHz frekans aralığını ve 2Mbps'dan 600 Mbps' a kadar olan veri aktarım hızları ilgi alanına girer. Günümüzde Wi-Fi 802.11n 50 metreden 250 metreye kadar uzaklıklara maksimum 600 Mbps' lık veri akışı sağlayabilmektedir.

Bluetooth standardı olarak da bilinen 802.15x standardı, birçok farklı cihazın iletişimi için kablo ve karmaşık yapının yerine kablosuz ve basit yapıda ortak haberleşme protokolü olarak kullanılmaktadır. Bluetooth, basitçe telefon kulaklığı, bilgisayar klavyesi, bilgisayar faresi ve printer gibi cihazların 2.4 GHz lisanssız bandında çalışmalarını sağlar.

802.16x metropoliten alan ağı olarak tasarlanmış ve 56 km' lik bir alanda kablosuz iletişimi sağlamak için oluşturulmuştur.

2.3 Kablosuz Erişim Teknolojisinin Terminolojisi

2.3.1 Bant genişliği ve veri hızı

Bant genişliği iki farklı şekilde kullanılır. Radyo frekansları için bant genişliği modüle edilmiş bir işaretin taşındığı frekans aralığıdır, diğer bir deyişle analog bant genişliği maksimum ve minimum frekans bölgesi arasında kalan frekans aralığıdır. Dijital veri iletiminde bant genişliği, belli bir sürede iletilen veri miktarı olarak tanımlayabiliriz. Buna iletişim hızı da denilebilir.

Kablosuz iletim sistemlerinde bant genişliği, hattın ilettiği modüle edilmiş taşıyıcı merkez frekansının sahip olduğu frekans aralığı olarak tanımlanabilir. Bir verici iletilecek bilgiyi dijital işleminden geçirip modüle ettikten sonra iletim ortamında taşımak için bir merkez frekansta yayın yapar. Yapılan bu yayının sahip olduğu bant genişliği ne kadar çok ise işaret o kadar doğrulukla iletilir. İletilecek dijital işaretin

değişme oranı saniyede 100 baud olsun. Eğer hattın bant genişliği 50 Hz ise bu işaret taşınamaz. Standartlar, İletilen verinin ortamına göre çevre ile etkileşmemek, gerekli kanal sayısı ve benzeri etkiler göz önüne alınarak her sistem için bir merkezi frekans ve bir bant genişliği atamıştır.

Veri hızları tanımını tekrar incelersek bir saniyede iletilen veri miktarı olarak anılmıştı. Fakat verinin içeriğine göre farklı türlerde hız kavramından bahsedilebilir. İletilen bilgi ve bu bilginin iletilmesi için verici ve alıcı tarafından eklenen adres ve kontrol bilgileri de dahil tüm verilerin hesaplanması durumunda saniyede geçen toplam veri miktarına toplu hız oranı (gross bit rate) denir. Bahsedilen veri fiziksel katmana ait hata düzeltme kodlarını içermiyorsa yani iletilecek bilgi ve MAC katmanına ait kontrol kodlarını içeriyorsa bu sefer saniyedeki veri miktarına net veri oranı (net bit rate / useful bit rate) denir. Eğer sadece iletilen bilgiden bahsediyorsak yani MAC katmanına ait kontrol başlıkları dahil edilmez ise buna da iletilen veri hızı (throughput) denir. Bu tezde veri hızından kasıt net veri hızıdır. Mevcut bazı sistemlerin hızlarını çizelge 2.1 ‘de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 : Çeşitli iletişim teknolojileri ve Bandgenişlikleri

İletim Teknolojisi	Hız (Bandgenişliği)	Kullanıldığı Yer
Telefon Hattı	14.4 – 56 Kbps	Ev ve Küçük Ölçekli İş Yerleri (KÖİY)
Frame Relay	56 Kbps	İşyerleri
ISDN	BRI : 64 – 128 Kbps PRI : 23 adet 64 Kbps kanal üzerinden 1.544 Mbps’e kadar	BRI : Ev ve KÖİY PRI : Orta ve Büyük ölçekli iş yerleri
T1 (Amerikan standardı)	1.544 Mbps	Büyük ölçekli şirketler

Çizelge 2.1 : (devamı) Çeşitli iletişim teknolojileri ve Bandgenişlikleri

Gigabit Ethernet	1Gbps	10/100 Mbps hızlarıyla birbirine bağlı iş istasyonları Fiber üzerinden haberleşir.
Wi-Fi	600 Mbps	250 metreye kadar Kablosuz iletişim ortamı
Wimax	75 Mbps	50 Km 'ye kadar Kablosuz iletişim ortamı

2.3.2 Gürültü ve SNR

Gürültü, işaretin iletiminde aynı frekansta çalışan ve bozulmasına sebep olan işaretlerdir. Bir çok gürültü kaynağı olabilir. Verici ve Alıcı tarafında bulunan modülasyon ve dijital işlemci aygıtları da birer gürültü kaynağı olabileceği gibi işaretin iletim ortamında aynı frekanstaki benzer işaretler de birer gürültü kaynağıdır.

SNR ise iletilen bir işaretin gücünün gürültü gücüne oranı olarak tanımlanır. Bir işaret için SNR değeri ne kadar yüksekse o kadar kaliteli iletim olmuş olur.

2.3.3 Modülasyon

Modülasyon bir analog veya dijital verinin daha kolay taşınabilmesi değiştirilmesi olarak tanımlayabiliriz. İşaretler modülasyon işareti olarak anılan bir işaretle işleme tabi tutulur. Birçok modülasyon tekniği mevcuttur. Modülasyon tekniklerini analog ve dijital modülasyon olarak iki grupta değerlendirebiliriz.

Modülasyon işaretinin genliği vasıtası ile modüle etme işlemine genlik modülasyonu denir. Genlik modülasyonu daha çok radyo iletişimde kullanılır. Frekans ile yapılan modüle işlemine frekans modülasyonu, faz ile yapılan modülasyona da faz modülasyonu denir.

Dijital modülasyon bir Analog sinyalin dijital bit parçaları ile işlenmesi olarak anılabilir. Faz, genlik ve frekans öteleme modülasyonu (sırası ile PSK, ASK, FSK),

çeyrek genlik modülasyonu (QAM), çeyrek faz genlik modülasyonu (QPASK) dijital modülasyon tekniklerine örnek teşkil eder.

2.3.3.1 Kablosuz iletişimde modülasyon teknikleri

Analog modülasyon teknikleri olarak bilinen genlik modülasyonu (AM), frekans modülasyonu (FM), faz modülasyonu (PM) ve ikili modülasyon (Binary Modulation) teknikleri olarak bilinen amplitude shift keying (ASK), frequency shift keying (FSK) ve quadrate amplitude modulation (QAM) ile quadrate phase shift keying (QPSK) kablosuz iletişimde kullanılan en bilinen modülasyon teknikleridir.

Kablosuz teknoloji için iletişim ortamı hava olduğundan, etkileşim (interference) en önemli problemdir. Radyo işaretleri doğası gereği dar bant iletişimidir. Birçok Geniş Yerel Alan Ağı (WLAN) cihazı aynı bandı kullanır. Fakat çok küçük güç seviyelerindedirler. Bu, işaretlerin minimum etkileşimlerin oluşmasına yardımcı olan, çok kısa ve kullanışlı kullanım aralıkları olduğu anlamına gelir. Bu yüzden dar bant iletişime alternatif olarak, Spread Spectrum olarak bilinen yayılmış spektrum tanımlanmıştır. Herhangi bir gürültü bütün işaretin sadece çok küçük bir kısmını etkilediğinden, yayılmış spektrum iletişimi dış etkileşimlere karşı çok dayanıklıdır . İki farklı yayılmış spektrum iletişimi vardır.

İlki frekans atlamalı yayılmış spektrum – FAYS (Frequency Hopping Spread Spectrum – FHSS)’dur. FHSS ile veriyi tek bir frekansla taşımak yerine birden fazla frekans kullanılır ve iletişim sırasında bu frekanslar birçok kez değiştirilir [3]. Değişimden kasıt, veri iletimi boyunca iletim frekansı alıcı ve verici tarafından belirlenen frekans seviyeleri arasında atlama yapar.

Bir diğer yayılmış spektrum ise düz sıralı yayılmış spektrum (Direct Sequence Spread Spectrum – DSSS)’ dur. DSYS her bit için harici rastgele bir kod ile QPSK modülasyon tekniğini kullanır. En önemli özelliği herhangi bir dış etkene maruz kalırsa bile alıcı tarafında uygulanan istatistiksel teknikler ve matematiksel algoritmalar sayesinde orijinal veri tekrar oluşturulabilir [3]. Böylece aynı iletişim için tekrar iletişime gerek kalmaz.

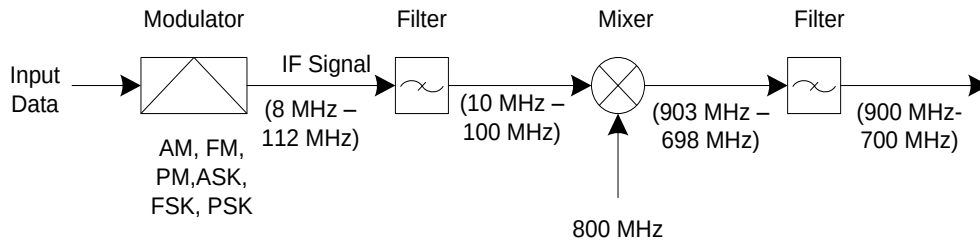
2.3.4 Radyo Sistemlerinin Elemanları

Filtreler istenmeyen RF işaretlerinden kurtulmak için kullanılır. Üç tip RF işareti vardır: low-pass, band-pass ve high-pass. Low-pass filtreler ile maksimum frekans limiti tanımlanır ve bu işaretin altındaki bütün işaretlerin geçişine izin verilir. High-pass filtrelerde ise low-pass filtrelerin aksine bir minimum frekans eşik değeri olarak tanımlanır ve bu frekansın üzerindeki frekanslara geçiş izni verilir. Band-pass filtrelerde ise minimum ve maksimum frekans seviyeleri eşik değeri olarak atanır ve bu iki frekans aralığındaki frekansların filtreden geçişine izin verilir.

Modülatör ise, ürettiği ara frekans (Intermediate Frequency – IF) ile herhangi bir giriş verisini (ses,görüntü veya veri), frekansını,genliğini veya fazını modülasyon tekniğine bağlı olarak değiştirmek sureti ile modüle eder.

Karıştırıcı (Mixer), iki farklı radyo frekansını kullanarak bir tek çıkış sağlar. Çıkış işareti iki işaretin en yüksek toplamı ile en düşük farkının aralığındadır. Bu toplam ve fark frekansları frekans taşıyıcının köşe bandı (Sideband) olarak da bilinir. Karıştırıcının amacı giriş işaretini istenilen çıkış frekansına dönüştürmektir.

Bir Örnek vermek gerekirse şekil 2.1 bir vericide veri iletimini göstermektedir. Öncelikle veri 8 MHz ile 112 MHz arasında bir IF işareti elde etmek için modülatörde modüle ediliyor. Ardından istenmeyen frekanslardan kurtulmak için bir filtre kullanılıyor. Akabinde işareti 800 MHz' e taşımak için karıştırıcı kullanılıyor. Elde edilen işaret 698 MHz ile 903 MHz arasında olduğundan, istenilen aralığı elde etmek için bir kez daha filtre kullanılıyor. Sonuçta 700 MHz ile 900 MHz arasında bir işaret elde ediliyor.

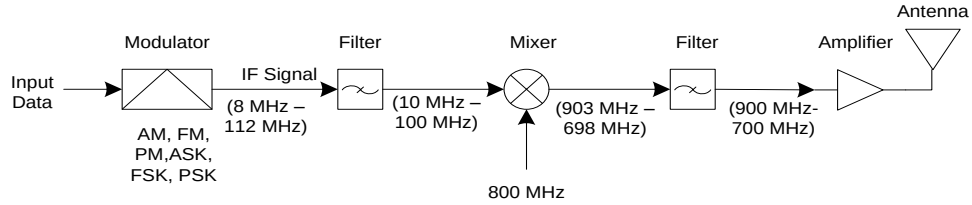


Şekil 2.1 : Bir verinin vericide işlenmesi örneği [3].

Kuvvetlendiriciler, RF işaretlerin genliklerini arttırmak için kullanılırlar. Bir verici için düşünersek işaret iletilmeden önce filtreden gelen işaretin kuvvetlendirilmesi

olarak düşünebiliriz. RF sistemlerde işaretler devrelerden geçerken veya hava ortamında iletilirken genliklerini kaybetmeye yatkındırlar bu yüzden kuvvetlendiriciler son derece önemlidir.

Antenler, alıcı ve vericilerin haberleşmesi için gereklidir. Şekil 2.2 bir önceki örneğin bütün halini göstermektedir.



Şekil 2.2 : Bir radyo sisteminin elemanları [3].

2.3.5 Çoklu Erişim

Radyo iletişiminde limitli sayıda frekans aralığı uygun olduğu için, frekans kullanımı önemlidir. Bir yöntem bir frekansı birden fazla kullanıcıya paylaşmaktır. Her bir kullanıcıya bir frekans ayırmaktansa, bir frekansı birden fazla kullanıcıya paylaşmak mümkündür. Bu yöntem çoklu erişim (Multiple Access -MA) olarak anılır.

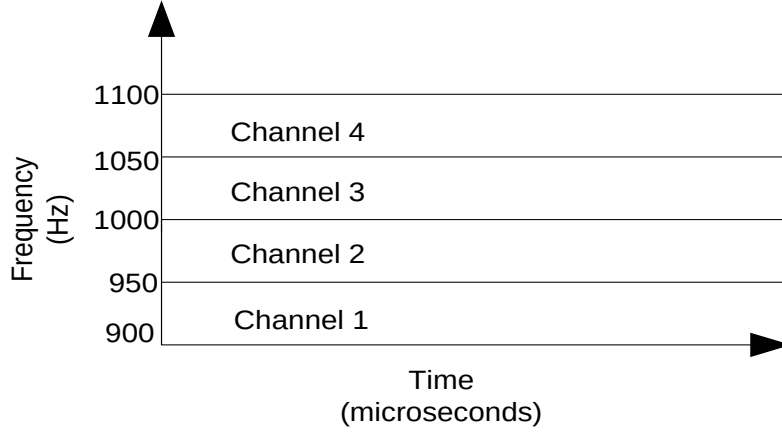
Birçok çoklu erişim metodu vardır. Kablosuz iletişim için en önemli olanları Frekans Bölmeli Çoklu Erişim – FBÇE (Frequency Division Multiple Access – FDMA), Zaman Bölmeli Çoklu Erişim – ZBÇE (Time Division Multiple Access – TDMA), Kod Bölmeli Çoklu Erişim – KBÇE (Code Division Multiple Access – CDMA), ve Ortogonal Frekans Bölmeli Çoklu Erişim – OFBÇE (Orthogonal Frequency Division Multiple Access – OFDMA)’dir.

2.3.5.1 Frekans bölmeli çoklu erişim

FBÇE, bir kanalın bandını bir çok küçük banda veya kanala ayırmak olarak tarif edilebilir. Örneğin Şekil 2.3’de görüldüğü gibi 200 KHz’lik bir bant her bir kullanıcı için 50 Hz’ lik binlerce banda ayrılabilir.

Bununla beraber FBÇE’ in bazı dezavantajları vardır. Birbirine çok yakın gruplanmış frekanslarda, işaret komşu frekanstaki işaret ile karışabilir. Bu olay çarpık konuşma

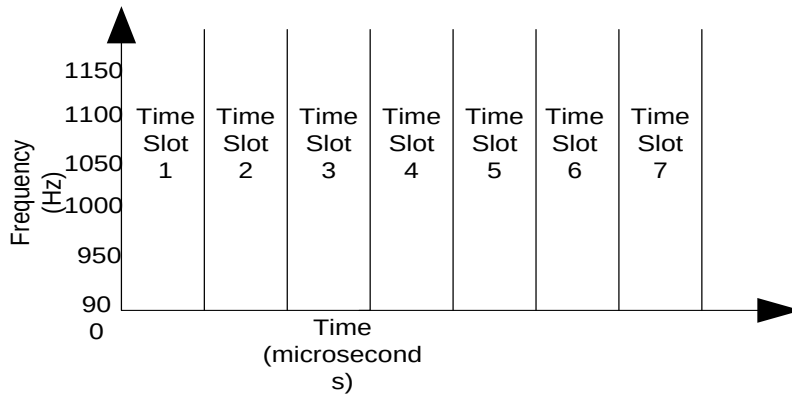
(crosstalk) olarak anılır ve diğer frekans aralığında etkileşime sebep olur. Bu durum iletişim bozukluğuna yol açar [3].



Şekil 2.3 : Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (FBÇE) [3].

2.3.5.2 Zaman bölmeli çoklu erişim

Çarpık konuşma sorunuyla baş edebilmek için ZBÇE geliştirilmiştir. FBÇE frekansı bölerken, ZBÇE zamanı birçok parçaya ayırmaktadır. Bu teknikte, her kullanıcı zamanın bir parçasında frekansı bölmeden tamamını kullanmaktadır. Her bir zaman aralığı çok kısa olduğundan, diğer kullanıcılar zamanı kullanırken oluşan gecikme dikkate alınmayacak kadar azdır. Şekil 2.4 ZBÇE' in bir kaç kullanıcıya ayrışımını göstermektedir. Dijital iletişimde ZBÇE çoğunlukla kullanılan yöntemdir.

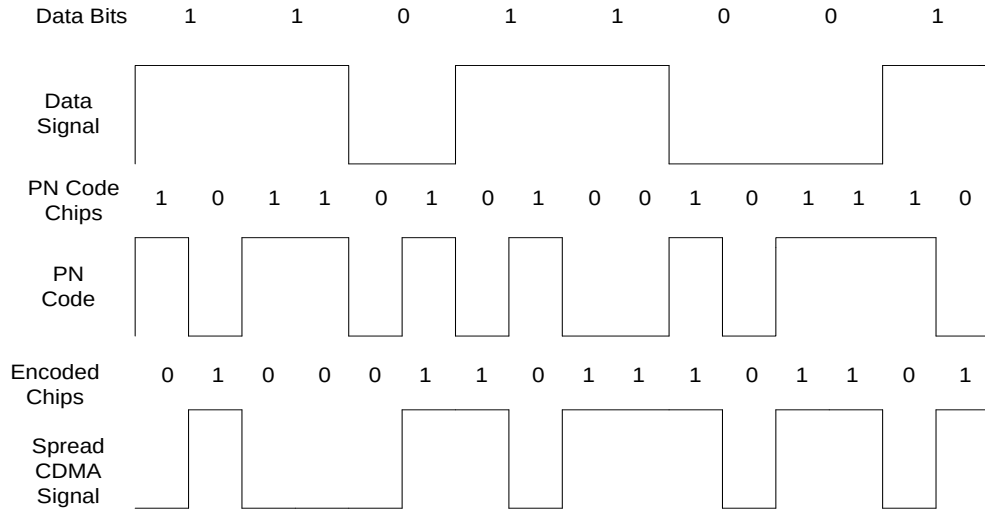


Şekil 2.4: Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (ZBÇE) [3].

ZBÇE' in FBÇE' e göre birçok avantajı vardır. ZBÇE bant aralığını daha efektif kullanır. Çalışmalar göstermiştir ki 25 MHz'lik bir bant genişliğinde, ZBÇE FBÇE' e göre 20 kat daha fazla kapasiteye ulaşmıştır [3].

2.3.5.3 Kod bölmeli çoklu erişim

KBÇE daha çok cep telefonu iletişimde kullanılır. KBÇE psuedo-random kod olarak (PN Code) anılan eşsiz dijital ayrışık kodu ile desteklenmiş DSSS teknolojisini kullanır. Diğer RF teknolojilerine nazaran çoklama için frekans veya kanalı ayırmaz. Kullanılan PN kodlar sayesinde gönderilen veri bitleri her kullanıcıya özgü bir adresleme olur ki bu da aynı frekansı kullanan birçok kullanıcı sağlar.

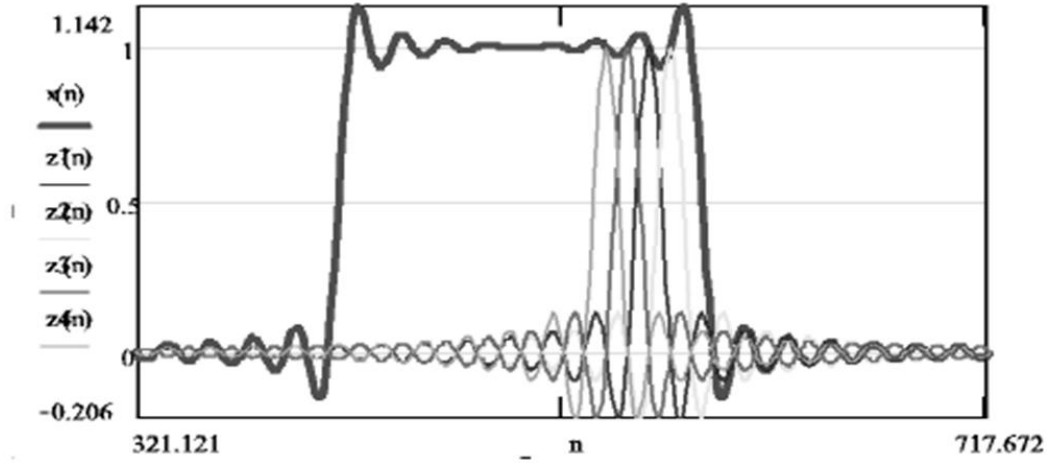


Şekil 2.5 : Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA) [3].

Aynı frekans bütün kullanıcılar tarafından kullanıldığından, her veri bütün kullanıcılar tarafından alınır. Fakat her kullanıcının kendine özgü bir PN kodu olduğundan, sadece gönderilen verinin sahibi veriyi kabul eder, diğerleri veriyi yok sayar.

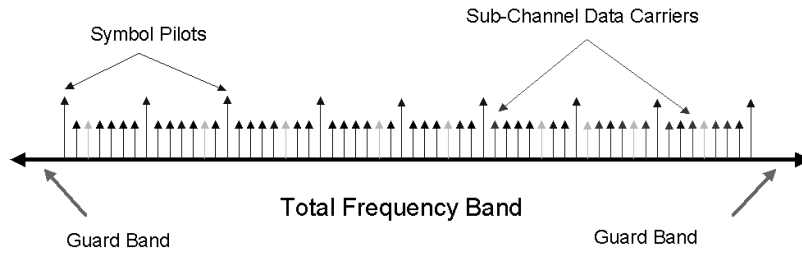
2.3.5.4 Ortogonal frekans bölmeli çoklu erişim

Frekans çoklamalı sistemlerdeki verimlilik sorununu aşmak için OFBÇE tanıtılmıştır. OFBÇE' de temel mantık alt taşıyıcıların birbirine ortogonal olmasıdır. Bu sayede etkileşime engel olmak için kullanılan koruyucu bantlara da artık ihtiyaç kalmaz.



Şekil 2.6: Dört alt taşıyıcılı bir OFBCE işaretin spektrumu [4].

Şekil 2.7 'da görüldüğü üzere çoklu erişim kullanıcılara alt taşıyıcı setleri atayarak aşılmıştır. Bu sayede bir çok kullanıcı için eşzamanlı düşük oranda veri iletimi sağlanır.



Şekil 2.7: OFBCE sembolü [4].

2.3.6 İletim Yönu

Birçok kablosuz iletişim sisteminde veri akışı alıcı ve verici arasında çift yönlü olmalıdır. Simplex, half-duplex ve full-duplex olmak üzere üç çeşit veri akış tipi vardır.

Simplex iletişim tek yönlü oluşur. Genel yayın yapan bir radyo istasyonu buna iyi bir örnek olabilir. İşaret radyo istasyonundan bütün dinleyicilere doğru tek yönlüdür.

Half-duplex iletişim veriyi iki yönlü taşır. Fakat aynı anda sadece tek yönlü veri iletimi olur. Bir taraf veriyi iletmek için diğer tarafın veri iletimini bitirmesini beklemek zorundadır.

Full-duplex iletişim veri akışı yine iki yönlüdür, fakat bu sefer eşzamanlı iletişim mümkündür. Telefon sistemleri ve çoğu kablosuz iletişim sistemleri bu tip iletişim kurar. Bir antenle eşzamanlı iletişim için, alış veriş sürecinde farklı frekanslar kullanılmalıdır.

2.3.7 Paket Anahtarlama

Paket anahtarlama veri ağlarında kullanılır. Paket anahtarlama veri iletişimi, taşınan verinin paket adı verilen daha küçük hücrelere bölünmesi üzerine kuruludur. Bu paketler, birbirlerinden bağımsız olarak iletişim ağında ilerler ve hedefe ulaşırlar. Daha sonra hedefte tekrar birleşerek veriyi oluştururlar.

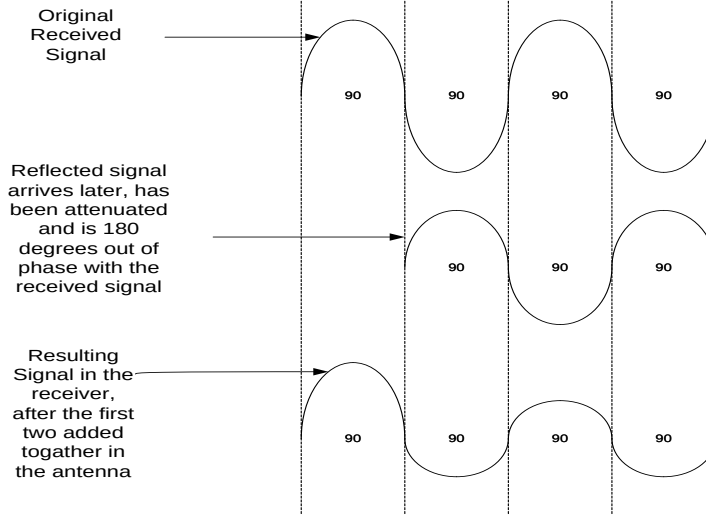
Veri iletiminde, paket anahtarlamanın birçok avantajı vardır. Öncelikle, Birçok cihazın aynı hattı veya frekansı kullanmasını sağlar. Bir başka avantajı hata düzeltmedir. İletim sırasında bir hata oluştuğunda, taşınan verinin sadece ufak bir kısmı bozulmaya uğrar.

2.3.8 İşaret Gücü

Radyo işaret gücünü etkileyen faktörlerden birisi gürültü olarak da bilinen elektromanyetik etkileşim (Electromagnetic Interference – EMI)'dir. Radyo işaretleri söz konusu olunca birçok farklı gürültü işarete etki edebilir.

SNR (Signal-to-Noise Ratio) işaret gücünün arka plan gürültüye oranını veren bir ölçümdür. İşaret, gürültüye yakın veya altında bir değere düştüğünde, etkileşim oluşur. Sinyali bir kuvvetlendirici ile güçlendirmek SNR değerini arttırmak için bir yöntemdir. FAÇE (Frekans Atlamalı Çoklu Erişim) gibi teknikler de gürültünün etkisini azaltmak için kullanılır.

Çok yönlü bozunum (Multipath Distorsion) da başka bir problemdir. Verici tarafından gönderilen bir işaret birçok farklı yüzeyden yansiyarak alıcıya gidebilir. Bu da alıcının aynı işareti birden fazla kez alması demektir. Bu durum da iletilen işaretin zayıflaması ile sonuçlanır. Şekil 2.8 iki farklı zamanda gelen aynı işaretin oluşturduğu zayıflamayı göstermektedir.



Şekil 2.8: Çok yönlü bozunum' un etkisi [3].

Doğruca alıcıya yönlendirilmiş bir anten veya açık bir görüş sağlaması açısından daha yükseğe yerleştirilmiş bir alıcı bir çözüm olabilir. Alıcının arkasına bir kuvvetlendirici yerleştirilebilir. OFBÇE kullanılarak bozunum azaltılabilir.

3. IEEE 802.11 YEREL ALAN AĞLARI

IEEE yerel alan ağlarında kablosuz erişim için 802.11 standardını tanıtmıştır. Kurulduğu günden günümüze kadar kullandığı teknoloji ve buna bağlı olarak erişim hızı ve mesafesi artarak gelişmiştir. Günümüzde kullanılan son hali ise 802.11n olarak anılmakta ve 54 Mbps hız ve 100 m erişim mesafesi ile çalışmaktadır.

Ticari çevrelerce kablosuz bağlantı manasında Wireless Fidelity kelimelerinin kısaltması olan Wi-Fi olarak lanse edilmiştir.

3.1 IEEE 802.11 Standardı Çeşitleri

3.1.1 802.11 miras (802.11 Legacy)

1997 yılında 802.11 grubunun çıkardığı ilk standarttır. 2.4 - 2.5 GHz ISM bandında çalışmaktadır. Kızılötesi (Infrared – IR) , frekans atlamalı yayılmış spektrum - FAYS (Frequency Hopping Spread Spectrum - FHSS) ve düz sıralı yayılmış spektrum (Direct Sequence Spread Spectrum – DSSS) olmak üzere üç farklı fiziksel iletişim yöntemini kullanır. IR 1Mbps'a kadar hızı desteklerken DSYS ve FAYS 2Mbps'a kadar hızları destekler.

802.11 İç mekanlarda 20m'ye kadar, dış mekanlarda 75 metreye kadar güvenli erişim sağlayabilir. 802.11 daha çok bir beta sürümü gibi düşünülebilir. En büyük sorunu üreticilerin ortak bir yapıyı benimsememesinden dolayı cihazların uyumluluk sorunu çekmesiydi.

3.1.2 802.11a

1999 yılında IEEE 802.11a'yı tanıtmıştır. 5 GHz ISM bandında çalışır. 5GHz ISM bandında çalışması 2.4 GHz bandında çalışan kablosuz telefon, mikrodalga fırın gibi birçok cihazın oluşturabileceği etkileşimden uzak durmasına olanak sağlar.

Maksimum 54 Mbps gibi yüksek bir iletim hızını sunmasına rağmen, 5GHz frekansındaki işaretlerin duvarlar ve benzeri cisimler tarafından 2.4 GHz' deki

işaretlere göre daha fazla emiliyor olmasından dolayı erişim mesafesi iç mekanda maksimum 35 m civarında kalmaktadır. Dış mekanlarda 100m'ye kadar erişim sağlar.

802.11a standardı 5 GHz ISM bandında 5MHz aralıkla 20MHz bant genişlikli 12 veya 13 kanal kullanır. Kullanılan kanal sayısı bulunan ülkenin düzenleyici kurulu tarafından tespit edilir.

Fiziksel katmanda OFDM yöntemi ile iletişim sağlar. Her bir kanal 52 alt-taşıyıcı içerir. 48 alt kanal veri taşırken, 4 alt kanal eşleme için pilot kanaldır.

3.1.3 802.11b

802.11b IEEE tarafından 802.11a ile aynı tarihte yayınlanmıştır. 2.4 GHz ISM frekans bandında çalışmaktadır. Fiziksel iletim katmanında DSSS yöntemi ile iletişim sağlar. 802.11b tamamlayıcı kod anahtarlama (Complementary Code Keying – CCK) modülasyonunu kullanarak net iletilen bilgi oranını 5 Mbit/s seviyelerine çıkartmıştır. Maksimum iletilen veri oranı ise 11Mbps'a çıkmıştır.

TKA modülasyonu fiş adı verilen sembolleri kullanır. Bu semboller tamamlayıcı kod olarak anılan kodlama sistemi kullanılarak QPSK ile modüle edilmiş 4 (5.5 Mbit/s hız için) veya 8 (11 Mbit/s hız için) bitten oluşur. Her bir fiş sembolü 11Mfiş/s hızla taşınır.

İç mekanlarda 11 Mbit/s hız ile 30 m ve 1Mbit/s hız ile 90 m mesafelere kadar erişim sağlanır. Dış mekanlarda 120 m'ye kadar erişim sağlanır. Noktadan noktaya ve LOS sağlandığı taktirde 8 km'ye kadar iletim hızı sağlandığı kaydedilmiştir. İç mekanlarda 2.4 GHz ile çalışan mikrodalga fırın, Bluetooth gibi cihazlarla etkileşim olabilmektedir.

3.1.4 802.11g

IEEE 802.11g standardı 2003 yılında tanıtılmıştır. 2.4 GHz ISM frkans bandında çalışır. Net iletilen veri oranı 22Mbit/s ve FEC kodlama yapılmaksızın ulaşılan maksimum veri oranı 54 Mbit/s' dur. Fiziksel katman FBÇE, DSSS veya TKA bazlı çalışır. OFDM bazlı çalıştığında 6, 9, 12, 18, 24, 36,48 veya 54 Mbit/s hız oranında çalışır. TKA ile 11 ve 5 Mbit/s hızlarda çalışırken DSSS ile 1 veya 2 Mbit/s hızlarında çalışır.

İç mekanlarda 45 m dış mekanlarda 90 m'ye varan erişim mesafesine sahiptir.

2.4 GHz bandında çalışan diğer cihazlardan kaynaklanan etkileşim sorunu bu standart için de vardır. Ayrıca kalabalık yerlerde birkaç kullanıcıdan fazla kullanıcı olması durumunda bant paylaşımında sorun yaşanır. Bu sorunu çözmek için ISM bandında bulunan bütün kanallar kullanılmaz. Amerika'da 25 MHz aralıklı olarak 1,6 ve 11. Kanallar olmak üzere üç kanal kullanılırken, Avrupa'da 20 MHz aralıklı 1, 5, 9 ve 13. Kanallar kullanılır.

3.1.5 802.11n

IEEE komitesi tarafından Ekim 2009 tarihinde tanıtıldı. 2.4 GHz ve 5 GHz ISM bantlarında çalışmaktadır. 20 Mhz ve 40 Mhz olmak üzere iki farklı banda çalışabilir. 20 MHz çalışma bandında 75 Mbps iletimi hızına, 40MHz' de 140 Mbps iletim hızına ulaşır. İç mekanda 70 metre dış mekanlarda 250 metreye kadar veri erişimi sağlamaktadır.

Fiziksel katmanında OFDM kullanılmaktadır. Veri iletim hızının ve erişim mesafesinin artmasını sağlayan kullanılan Çoklu Giriş Çoklu Çıkış (ÇGÇÇ - Multiple Input Multiple Output) teknolojisidir. Bu teknolojiye alıcı ve verici yönünde birden fazla anten kullanılır. ÇGÇÇ sayesinde bir veri akış bloğu birden fazla bloğa bölünüp aynı frekansta farklı antenlerden iletilebiliyor. Böylece aynı zaman dilimi içinde daha fazla veri iletimi sağlanıyor. Bu işleme uzaysal çoklama (Spatial Multiplexing) denir. SNR oranlarının yüksek olduğu ortamlarda özellikle yüksek verimlilik sağladığı görülmüştür.

Verici antenini a, alıcı antenini b ve uzaysal çoklama ile aynı frekansta iletilen veri akış blok sayısını c ile gösterirsek ÇGÇÇ' lı sistemlerdeki yapı genelde $a \times b : c$ şeklindeki ifadeyle $2 \times 2 : 2$, $2 \times 3 : 2$, $3 \times 3 : 2$ ve $4 \times 4 : 4$ şeklindedir. Standart $4 \times 4 : 4$ şeklindeki sistemde 600 Mbps net veri hızına ulaşmaktadır.

Ayrıca 802.11n standardının getirdiği bir yenilik de MAC katmanında yapılan çerçeve birleştirme (frame aggregation) işlemidir. Temel mantığı yüksek oranlarda iletilen verilerin başlık çerçeve sayısını olabildiğince az tutmaktır. 100 bitlik beş adet bilgi verisini ayrı ayrı göndermek istersek ve gönderilecek her paket için 10 bitlik birer MAC katmanı başlığı konulacağı düşünülürse toplam iletilmesi gereken veri

550 bit olur. Halbuki 100 bitlik bilgi verisini birleştirilip 500 bitlik bir paket ve 10 bitlik MAC başlığı ile iletilen veri miktarı 510 bit olur. Bu şekilde bilgi veri miktarı arttıkça paket birleştirme yöntemi ile iletilecek başlık sayısı azaltılarak verimlilik arttırılmış olur.

Wi-Fi standartlarını genel özelliklerine göre çizelge 3.1 ‘deki gibi gösterebiliriz.

Çizelge 3.1 : IEEE 802.11 Yerel Erişim Ağı Standartları

YEA Standardı	Çıkarılma Tarihi	Fiziksel Katman	ISM Çalışma Frekansı	Net Veri Hızı (Maks.)	İç Mekan Erişim Mesafesi (Maksimum)	Dış Mekan Erişim Mesafesi (Maksimum)
802.11 Miras	1997	Kızılötesi FAYS DSYS	2.4 GHz	1 Mbps - 2Mbps	20m	75m
802.11a	1999	OFBM	5 GHz	54 Mbps	13m	100m
802.11b	1999	DSYS	2.4 GHz	11Mbps	30m	120m
802.11g	2003	FAYS DSYS	2.4 GHz	54 Mbps	45m	90m
802.11n	2009	OFBM	2.4 GHz 5 GHz	600 Mbps	70	250

3.1.6 Yerel erişim ağı fiziksel katmanı

Erişim yöntemine göre dört tip fiziksel katman tanımlanmıştır.

3.1.6.1. DSYS tipi fiziksel katman

Düz sıralı yayılmış spektrum tipi fiziksel katmanı 802.11 miras, 802.11b, 802.11g standartlarında kullanılır. 1Mbps ve 2Mbps veri hızlarını destekler. 802.11b standardında tamamlayıcı kod anahtarlama yöntemi ile birlikte 5.5 ve 11 Mbps veri hızlarını destekler.

2.4 GHz ISM bandında çalıştığından aynı frekansta çalışan cihazlardan kaynaklanan etkileşim sorunu vardır.

3.1.6.2. Kızılötesi tipi fiziksel katman

Kızılötesi (IR) tipi fiziksel katman 802.11 miras standardında kullanılır. Kızılötesi 20m ‘ye kadar erişim ile kısıtlıdır. Duvar ve benzeri engelleri aşamadığı için

vericinin bulunduğu kapalı alanla sınırlıdır. 1 Mbps ve 2 Mbps hızlarda erişim imkanı vardır. 2.4 GHz ISM bandında çalışır.

3.1.6.3. FAYS tipi fiziksel katman

Frekans atlamalı yayılmış spektrum tipi fiziksel katman (FAYS) IEEE 802.11 miras standardı tarafından kullanılır. 1 ve 2 Mbps oranında veri hızlarını destekler. 2.4 GHz ISM bandında çalışır. FAYS yapısı gereği etkileşimden az etkilenir.

3.1.6.4. OFBÇ tipi fiziksel katman

Ortogonal frekans bölmeli modülasyon kullanan fiziksel katman IEEE 802.11n, 802.11g ve 802.11n standartlarında kullanılır. Ortogonal 52 alt kanalı içerir. Bunlardan 4 'ü eşleme (senkronizasyon) için kullanılan pilot kanallar, diğerleri veri için kullanılan kanallardır. Kullanıldığı standara göre hem 2.4 GHz hem de 5 GHz ISM bandında çalışır.

3.2 Ortam Erişim Kontrol Katmanı

Ortam Erişim Kontrol – (Medium Access Control – MAC) katmanının temel işlevi data verilerinin eksiksiz ve doğru bir şekilde alıcı tarafına iletilmesini sağlamaktır. Eksiksiz veri iletimini sağlamak için kullanılan yöntemlerden biri onay (Acknowledgement – ACK) mekanizmasıdır. Alıcı taraf gönderilen bir veri bloğuna karşılık onay gönderir. Eğer alıcı tarafından negatif onay (nonACK) mesajı gelirse ilgili veri bloğu tekrar gönderilir.

Bir diğer yöntem veri isteği / gönderme serbest (RTS/ CTS) mekanizmasıdır. Verici veri göndermek istediği alıcıya RTS işareti gönderir. Alıcı veri almaya uygun olduğu vakit CTS işareti gönderir ve veri iletimi onay mekanizması da kullanılarak başlar. Buna dört el sıkışma yöntemi denir. Gönderici RTS mesajını ilettiğinde veya alıcı CTS işaretini ilettiğinde yakındaki cihazlar herhangi bir veri transferi yapmaktan sakınırlar.

MAC katmanı Dağılım koordinasyon fonksiyonu (DCF – Distributed Coordination Function DCF) ve nokta koordinasyon fonksiyonu (PCF – Point Coordination Function - PCF) olmak üzere iki alt katmandan oluşur.

DKF yöntemi ile çoklu erişimin kontrolü için kullanılır. Birçok cihazın çekişme yöntemi denilen yöntemle erişimini sağlayabilmesini sağlar. Çekişme yöntemi gereğince bir uç nokta veri iletmek için öncelikle trafik olup olmadığını kontrol eder. Eğer veri iletmek için uygunsa, Çerçeveler arası zaman (IFS) kadar bir süre bekler ve veri iletmek için hala ortam uygunsa veri iletimini yapar. Eğer ortam uygun değilse bu süre kadar beklemeye devam eder. Böylece çakışmalar önlenmiş olur. Bu yöntem MAC katmanları için daha genel anlamda taşıyıcı gözetleyen çoklu erişim (Carrier Sense Multiple Access – CSMA) olarak anılır.

NKF ise çekişme kontrolü için kullanılan mesajların senkronizasyonun yapıldığı ve yönlendirildiği katmandır.

4. WIMAX – KABLOSUZ METROPOLİTAN ALAN AĞI

4.1 WIMAX Tanımı

IEEE kablosuz iletişim ile ilgili olarak, öncelikle yerel alan ağ standardı 802.11'i daha sonra bireysel alan ağ standardı 802.15 'i tanımladıktan sonra metropolitan alan ağ standardı olarak 802.16' yı oluşturmuştur. IEEE komitesince Wireless MAN olarak anılsa da, endüstriyel bir kurum olan WIMAX forum tarafından WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) adı altında ticarileştirilmiştir.

IEEE tarafından WIMAX; yenilikçi, uygun-fiyatlı ve birçok üreticinin bant erişim ürünleri ile uyumlu ürünlerinin dünya genelinde hızla konuşlanmasını sağlamıştır. Ayrıca, Geniş bant erişiminde kablolu erişime alternatif sunarak rekabeti kolaylaştırmış, dünya genelinde spektrum tahsisini ve geniş bant erişim sistemlerinin ticarileşmesini desteklemiştir [5].

WIMAX maksimum hızda ve maksimum uzaklığa % 99' luk bir verim ile veri erişiminin sağlanması için tasarlanmıştır ve bu yüzden eşsizdir. Bunu sağlayabilmek için çok güçlü bir Fiziksel ve MAC katmanına sahiptir.

4.2 WIMAX Çeşitleri

WIMAX fiziksel katmanına bağlı olarak beş farklı yapıda anılır. Bu yapılar öncelikle Single Carrier veya OFDM kullanımına göre ayrılır. Kullandıkları frekans aralığının 2-11 GHz ve 10 – 66 GHz olmasına göre de alt çeşitlere ayrılır. Çizelge 4.1 'de özelliklerine göre Wimax çeşitleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : OFDM Çeşitleri [6 - 7].

Standart	Fonksiyonu	LOS/NLOS	Opsiyonları	Frekans	Çoğullama Çeşitleri
WirelessMAN- SC	Point-to- Multipoint	LOS		10-66 GHz	TDD,FDD
WirelessMAN- SCa	Point-to- point	NLOS	AAS, ARQ, STC	2-11 GHz	TDD,FDD
WirelessMAN- OFBÇE	Point-to- Multipoint	NLOS	AAS, ARQ, STC, mesh	2-11 GHz	TDD,FDD
WirelessMAN- OFBÇE	Point-to- Multipoint	NLOS	AAS, ARQ, STC	2-11 GHz	Tdd,FDD
WirelessHUMAN	Point-to- multipoint	NLOS	AAS, ARQ, STC, mesh	2-11 GHz	TDD

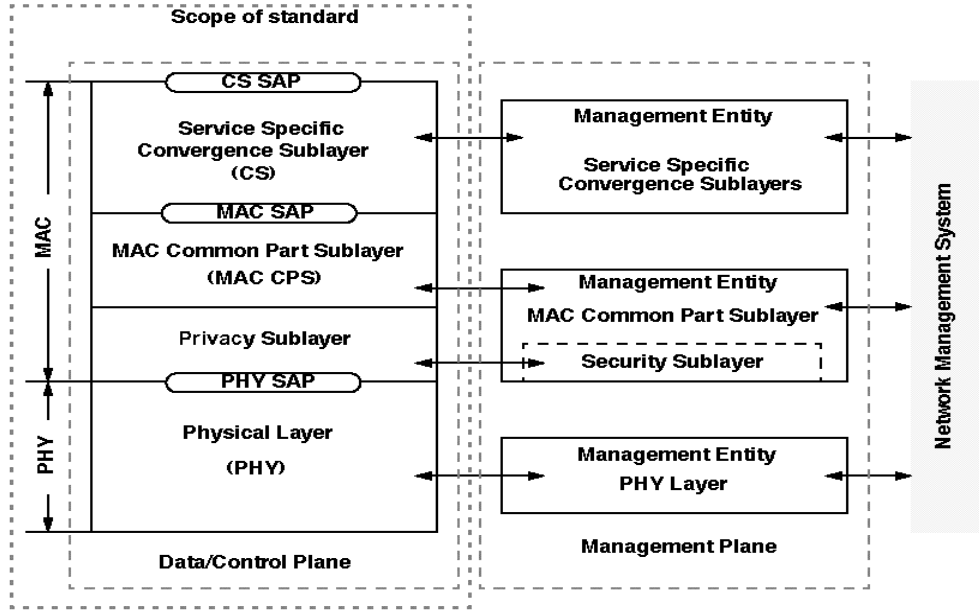
10 – 66 GHz bandı; kısa dalga boyuna bağlı, LOS (Line-of-Sight) ‘a ihtiyaç duyan ve çok yönlü erişimin olmadığı bir fiziksel ortam sağlar. 10 – 66 GHz bandında, 25 MHz veya 28 MHz bant genişliği kullanılır. Single Carrier modülasyonun kullanıldığı bu tür, WirelessMAN-SC olarak anılır [5].

11 GHz altındaki lisanslı frekanslar için fiziksel ortam; uzun dalga boyuna bağlı, LOS’ a ihtiyaç duymayan ve çoklu erişimin önemli olduğu bir fiziksel ortam sunar. NLOS senaryolarının desteklenmesi için gelişmiş güç yönetim tekniği, etkileşim azaltma ve çoklu anten gibi ekstra fiziksel katman uygulamalarına ihtiyaç vardır.

11 GHz altındaki lisanssız frekansların fiziksel ortamları da lisanslı frekans ortamlarına benzer. Fakat, regülasyonun izin verdiği güç seviyeleri kısıtlı olduğundan, ekstra etkileşim sorunları vardır.

4.3 Referans Modeli

Uluslararası Standart Kuruluşu (International Organization of Standardization – ISO) ‘nun OSI (Open system Interconnection Model) modeline göre, WIMAX fiziksel ve MAC katmanlarından oluşur. Şekil 4.1’ de görüldüğü gibi IEEE MAC katmanını üç katmana ayırır. IEEE standardı, kendisine ait erişim noktasından (Service Access Point –SAP) gelen ve MAC ortak alt katmanının (MAC Common Part Sublayer – MAC CPS) Servis erişim noktasına (MAC SAP) gelen MAC servis veri birimlerini (MAC Service Data Unit – MAC SDU), harici ağa iletilmesini sağlayan Servis-özel değişim katmanını (Service-specific Convergence Sublayer – CS) tanımlar. Bu katman harici ağ servis veri birimlerini (Service Data Unit – SDU) tasnifleyip, uygun MAC servis akışı (Service Flow) tanımlayıcıya (Service Flow Identifier – SFID) ve bağlantı tanımlayıcıya (Connection Identifier – CID) ilişkilendirir. Ayrıca yük başlık sıkıştırma (Payload Header Suppression – PHS) işlemini gerçekleştirir. Birçok farklı protokolü karşılayabilmek için birçok CS özelliği mevcuttur. CS yükünün (payload) iç formatı CS’ e özeldir ve MAC CPS bu formatı bilmek zorunda değildir.



Şekil 4.1 : IEEE OSI katmanına göre 802.16 [5].

MAC CPS; sistem erişimi, bant genişliği atama, bağlantı kurulması ve bağlantı yönetimi gibi MAC katmanına ait çekirdek fonksiyonları yerine getirir. Çeşitli CS'lerden MAC SAP yoluyla verileri alır, gerekli MAC bağlantılarına tanımlar. Veriye QoS (Quality of Service) uygulandığı ve planlandığı yer fiziksel katmandır.

MAC ayrıca üye olma, güvenli şifre değişimi ve kriptolama gibi güvenlik işlevlerinin gerçekleştirildiği bir güvenlik alt katmanına (Security Sublayer) sahiptir.

Fiziksel katmanla MAC CPS arasındaki veri akışı fiziksel katman servis erişim noktası (PHY Service Access Point – PHY SAP) vasıtası ile olur.

4.4 Fiziksel Katman

4.4.1 Fiziksel katman teknolojileri

Fiziksel katman verinin fiziksel iletimin metodlarını tanımlar. Fiziksel katmanda maksimum verimi alabilmek için birçok farklı teknoloji kullanılmıştır. Bu teknolojiler OFDM, TDD, FDD, QAM ve AAS olarak belirtilebilir.

4.4.1.1 Ortogonal frekans bölmeli çoklama

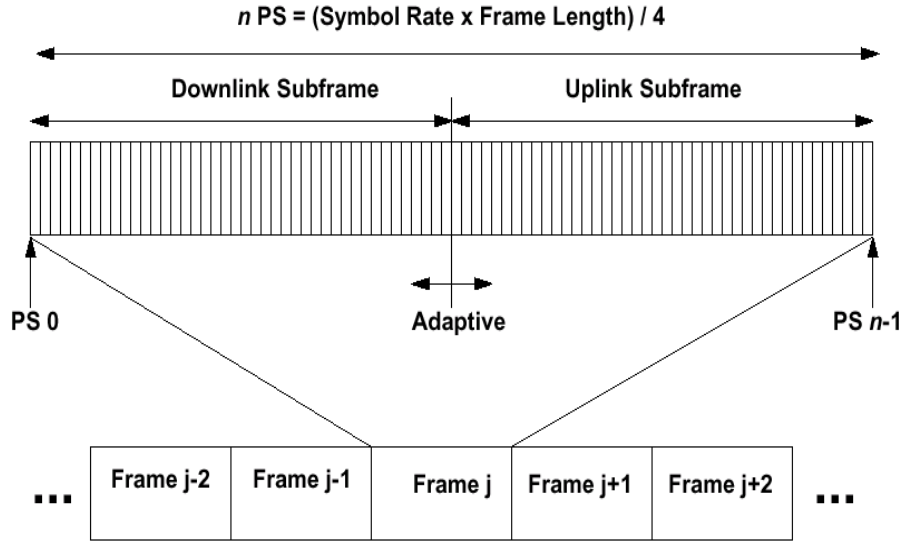
OFBÇ, diğer çoklama yöntemlerine nazaran uzun mesafelere daha az etkileşimle veri transferini sağlar. OFBÇ 52 kanalın birbiri ile karışmadan ve özel karakteristiklerini bozmadan iletilmesini sağlayan (ortogonalite) FFT (Fast Fourier Transform) ve ters FFT matematik işlemine dayanır. Bu sayede spektrum daha verimli kullanılır ve kanalların alıcı tarafında daha verimli işlenmesini sağlar.

WIMAX OFBÇ tabanlı bir sistem 20 MHz' e kadar bir kanal spektrumunda 75 Mbps kodlanmamış (100 Mbps' a kadar kodlanmış) veriyi sıkıştırabilir. Bu her Hz' de 3bps'lık bir spektrum verimliliği olarak tanımlanabilir. Eğer bu 20 MHz' lik kanallar 5.725 'den 5.825 Gz' lik bir bantta yer alıyorsa, toplamda 360 Mbps' lık bir bant kapasitesi verir. Kanal geri kullanımı ve bölgelere ayırma gibi tekniklerle bir Ana istasyon (BS) potansiyel olarak 1Gbps'lık bir kapasiteye sahiptir [6].

4.4.1.2 Zaman bölmeli çoklama (TDD) ve Frekans bölmeli çoklama (FDD)

TDD, aynı frekansta veri alışverişinin olduğu fakat zamanın alış ve veri için parçalara ayrıldığı bir modeldir. Bant ayırımına gerek yoktur. Böylece bütün spektrum paylaşımı, değişken veya asimetrik olan hem yukarı yönde hem aşağı yöndeki trafikte verimli bir şekilde yapılır.

TDD sabit süreli bir aşağı yönlü bir de yukarı yönlü alt çerçeveye sahiptir (Şekil 4.2). İki alt çerçeve transition gap (TG) olarak anılan bir koruyucu zaman dilimi ile ayrılır.



Şekil 4.2 : TDD alt çerçeve yapısı [5].

TDD yapısında, WIMAX BS ve BS' e bağlı abone santrali (Subscriber Station –SS) veri alıverişi sırasında BS' in iletilici durumundan alıcı durumuna geçmesi için gerekli bir zaman boşluğu vardır ki buna TTG (Transmit Transition Gap) denir. Aynı şekilde BS' in alıcı durumundan verici durumuna geçmesi için gerekli boşluğa da RTG (Receive Transition Gap) denir [5].

FDD yapısında aşağı yönlü link (downlink –DL) ve yukarı yönlü link (Uplink –UL) 50 ile 100 MHz ile ayrılmış iki frekanstan oluşur. DL ve UL yapıları benzerdir. WIMAX iki tip FDD tipini destekler.

Sürekli FDD (Continous FDD), yapısında bütün istasyonlar aynı anda veri alış verişi yapabilir. Aşağı yöndeki kanal her zaman açıktır ve bütün istasyonlar bu kanalı dinler. Trafik bu kanal üzerinden yayın mantığı ile çalışır. Yukarı yönlü kanal ZBÇE ile paylaştırılır ve BS bant aralığını paylaşdırmakla yükümlüdür.

Burst FDD ile bütün istasyonlar eşzamanlı trafik alışverişi yapmaz. Eşzamanlı trafik alışverişi yapabilen SS' lere full-duplex kapasiteli istasyon, eşzamanlı yapamayanlara da half-duplex kapasiteli istasyon denir.

4.4.1.3 Uyumlu anten sistemleri

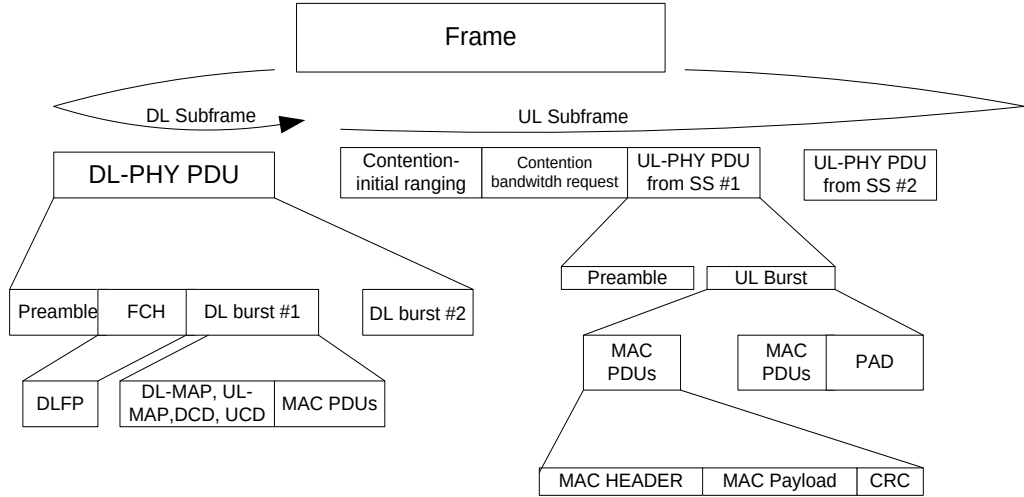
Uyumlu anten sistemleri, fasulye-formu (beam-forming) denen ve birkaç çeşit antenin BS' de kullanılmasıdır. SS 'in kazancının artırıldığı, diğer SS' lerden veya gürültü kaynaklarından oluşabilecek etkileşimin ortadan kaldırıldığı bir tekniktir. SDMA (Spatial Division Multiple Access) kullanılarak dağınık halde bulunan birden fazla SS' in aynı alt kanalı kullanarak veri alışverişi yapması sağlanabilir. Fasulye formatı ile BS aynı veriyi birden fazla SS' e yönlendirebilir ve aynı alt kanalda çalışan birden fazla SS' e ait işaretleri ayırt edebilir [6].

4.4.2 WIMAX çeşitlerinin fiziksel yapıları

4.4.2.1 WirelessMAN-OFDM

WirelessMAN-OFDM fiziksel yapısı OFDM modülasyonu ve 11 GHz frekans bandının altında çalışan NLOS operasyonlar için tasarlanmıştır. Hem FDD hem de TDD operasyonlarını destekler. Half-duplex FDD SS'leri de destekler. QPSK, BPSK, 16-QAM ve 64-QAM modülasyonlarını destekler. UL yönünde alt kanallaşmayı destekler. UL içinde 16 alt kanal mevcuttur.

Şekil 4.3 TDD sistemin yapısını göstermektedir. Çerçeve UL ve DL alt çerçevelerine bölünmüştür.



Şekil 4.3 : TDD sisteminde OFDM çerçeve yapısı [5].

DL alt çerçevesi başlangıç, çerçeve kontrol başlığı (FCH) ve bir çok veri burst'ünden oluşur. FCH burst profilini ve FCH' i takip eden DL çerçevelerin uzunluğunu belirtir. İlk DL burst' ün profili ve yeri, DL çerçeve ön kodunda (DLFP) belirtilir.

Çerçevenin içeriğini bildiren DL-MAP, UL-MAP, DL kanal tanımlayıcı (DCD), UL kanal tanımlayıcı (UCD), ve diğer genel yayın mesajları, bu ilk burst' ün başında iletilir. Geri kalan burst' ler bağlı oldukları SS' lerle ilgili veri taşır.

Her bir burst, bir OFDM sembolünü içerir ki bu burst içinde iletilen verinin kod algoritmasını, kod oranını ve modülasyon seviyesini belirten burst profiline ilişkilendirilmiştir.

Başlangıç aralığı vermek ve bant genişliği tahsisi için UL alt katmanındaki CI (Contention Interval) kullanılır.

DL-MAP ve UL-MAP; DL ve UL alt çerçevelerinin içeriklerini belirtir. Her bir burst' te ileten veya alan SS' i, her SS' in ilettiği UL' de yer alan alt kanalı, her kanal ve burst' de kullanılan kodlama ve modülasyonu belirtirler.

FDD sistemi TDD' ye çok yakın bir yapıya sahiptir. UL ve DL çerçevelerinin 50 veya 100 MHz ile ayrılmış iki frekansta taşınması tek farkıdır.

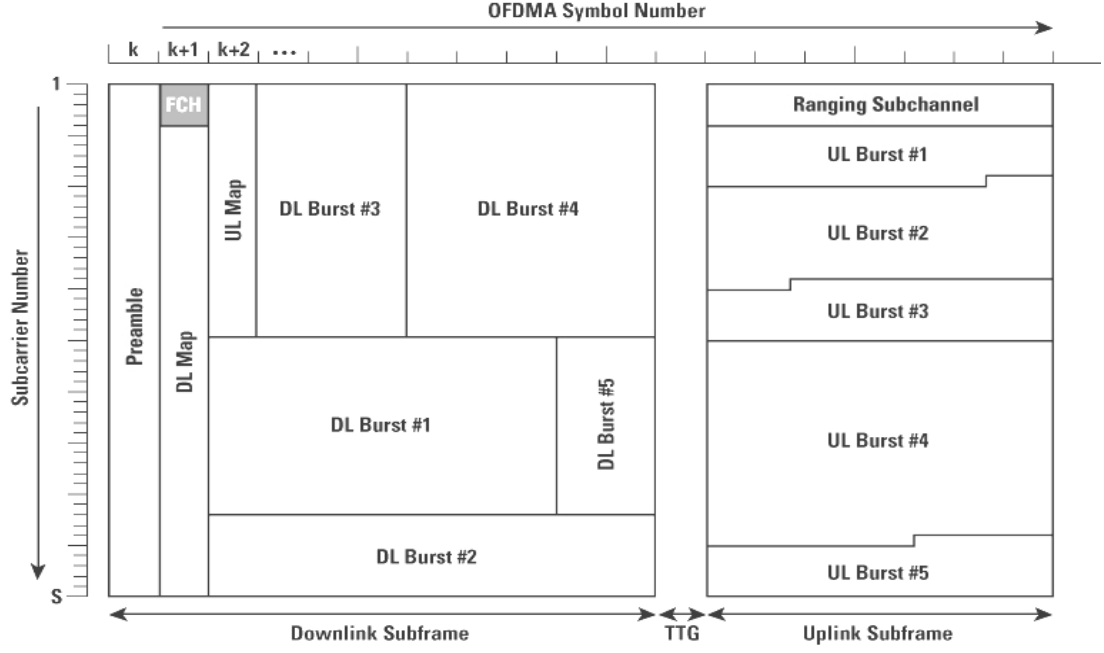
4.4.2.2 WirelessMAN-OFDMA

Bu sistem OFBÇE tekniğini kullanır. Bu sistemde birçok taşıyıcı grubunu bir alıcıya tanımlamak çoklu erişimi sağlar.

Lisans bandında, TDD ve FDD operasyonları desteklenir. FDD SS' leri half-FDD olarak da çalışabilir. Lisans dışındaki bantlarda TDD desteklidir. Hem UL hem de DL yönünde beş alt kanal yapısı ile alt kanallaşmayı destekler. WirelessMAN-OFDM ile aynı modülasyon seviyelerini destekler.

SDMA kullanan AAS yapısı desteklenir. MIMO (Multiple input Multiple Output) yapısı ile BS ve SS tarafında çoklu anten ile kanalların kapasite ve aralığı arttırılabilir.

Çerçeve yapısı OFDM fiziksel türü ile benzerdir (Şekil 4.4). Alt kanallaşmanın yalnızca UL yönünde değil DL yönünde de olması dikkate değer bir farktır. Böylece genel yayın mesajları aynı zamanda farklı alt kanallarla veri olarak taşınabilir.



Şekil 4.4 : WirelessMAN-OFDMA Çerçeve Yapısı [7].

4.4.2.3 WirelessMAN-HUMAN

WirelessMAN-HUMAN (Wireless High Speed Unlicensed Metropolitan Area Network) OFDM tabanlı yapılara benzer fakat çalışma alanı lisanssız bantlarda (UNII) çalışan ürünler ve diğer lisanssız bantlardır.

Standart bütün kanallar için 5 GHz' den 6 GHz 'e kadar olan ve 5MHz' lik aralıklı olan 8 Mbit' lik birim numaralama sistemini 1 denklemi ile tanımlar.

$$\text{Kanal Merkez Frekansı (MHz)} = 5000 + 5 n_{ch}$$

Burada n_{ch} 0'dan 199 'a kadar olan kanal numarasıdır.

4.4.2.4 WirelessMAN-SC

Hem WirelessMAN-SC hem de WirelessMAN-Sca için temel beş terimden bahsedilebilir.

- Yük (payload), alıcı tarafındaki bir bölüme ilişkin iletişim veri parçaları.
- Burst, kendisine özgü burst profiline göre şekillendirilmiş yük parçalarını içerir. Burst UL-MAP veya DL-MAP içeriğindeki verilere göre kodlama ve modülasyon işlemleri ile yapılandırılır. UL için burst, bir başlangıç çerçevesi

kodlanmış yük ve bunu takip eden sonlandırma kısmından oluşan bütün bir iletişim birimidir.

- Burst bloğu (Burst set), bir başlangıç çerçevesi, bir veya daha fazla burst ve bunları takip eden sonlandırma kısmıdır. UL için burst ve burst bloğu aynı şeydir.
- Burst çerçevesi, tek bir iletimdeki bütün bilgileri kapsar. Bir veya daha fazla burst bloğunu kapsar. DL ve UL alt çerçevelerinin her biri bir burst çerçevesi taşır.

MAC çerçevesi, veri alışverişinde ayrılmış sabit bant aralığıdır. TDD için MAC çerçevesi TTG ile birbirinden ayrılmış bir DL ve bir UL alt çerçevesini içerir. FDD operasyonunda MAC çerçevesi DL alt çerçevesinin maksimum uzunluğuna tekamül eder. FDD UL alt çerçevesi DL alt çerçevesi ile eşzamanlı çalışır fakat farklı bir kanaldadır.

10 – 66 GHz frekansında çalışan WirelessMAN-SC, servis sağlayıcıların hücre planlama, fiyat, radyo kapasitesi, servis ve servis kapasitesine bağlı sistem gereksinimlerinin optimizasyonunu yüksek bir esneklikle sağlamak için tasarlanmıştır [6].

TDD ve FDD operasyonlarının ikisini de destekler. Her iki operasyon da burst iletişimi destekler. Burst iletişim, her bir SS' a ait farklı modülasyon ve kodlama gibi iletişim parametreleri çerçeve bazında işlenmesini sağlayan profile özgü burst mekanizmasını destekler. FDD hem full-duplex hem de half-duplex SS' leri aynı anda destekler.

UL yapısı ZBÇE ve DAMA (Demand assigned multiple Access) kombinasyonu üzerine kuruludur. UL kanalı birçok zaman dilimine ayrılmıştır. BS altındaki MAC katmanı birçok kullanıcıya atanmış bu dilimlerin sayısını ayarlar.

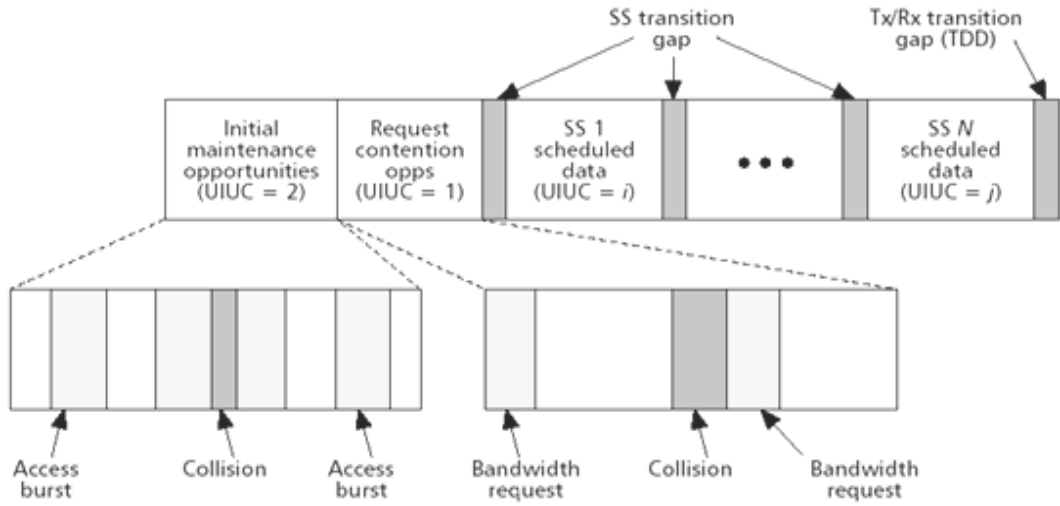
DL kanalı TDM' dir. Her bir SS' e ait bilgi, bir veri akışı üzerinde çoklanmıştır ve aynı bölgede bulunan bütün SS' ler tarafından alınır. Şekil 4.3'de görüldüğü gibi H-FDD özellikli SS' leri desteklemek için DL altında ZBÇE bölümü mevcuttur.

UL ZBÇE burs iletişimi üzerine kuruludur. Her bir burst, değişken uzunluktaki MAC PDU birimlerini taşıyabilecek şekilde tasarlanmıştır. Verici gelen veriyi rastgele

işler, FEC kodlar ve kodlanmış bitleri QPSK, 16 QAM veya 64-QAM' e göre modüle eder.

SS tarafından BS' e gönderilen UL alt çerçevesi şekil 4.5'de gösterilmiştir. UL-MAP her SS' e özgü bant genişliğini atar. UL alt çerçevesinde SS tarafından üç tip burst klasi iletilir;

- Çerçeve içerisindeki ilk sıralama (Initial Ranging – IR) için ayrılmış bloklar.
- Genel Yayın ve multicast havuzlar için ayrılmış istek aralıkları (Request Intervals –RI)
- Her bir SS' e özgü tahsis edilmiş veriler.



Şekil 4.5 : WirelessMAN-SC UL alt çerçeve yapısı [5].

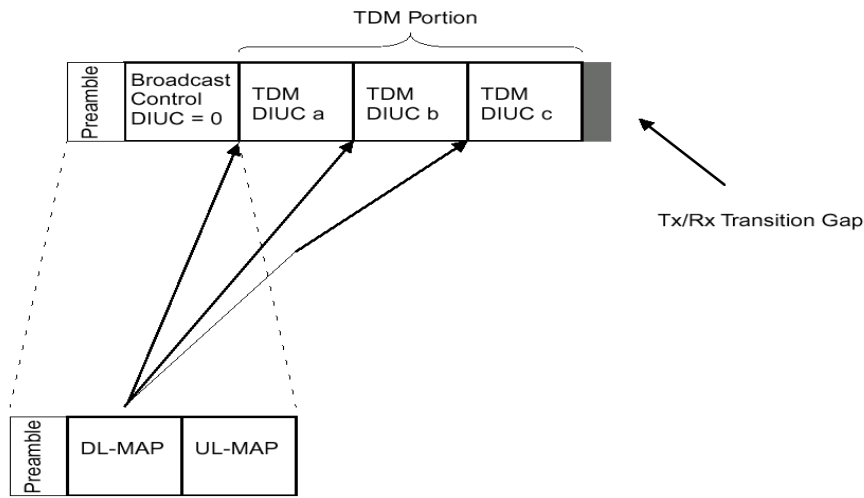
Belirtilen Burst klasları herhangi bir çerçeve tarafından sunulabilir. UL zamanlayıcısının çerçeve kontrol kısmındaki UL-MAP tarafında belirtildiği şekilde herhangi bir çerçevede herhangi bir oranda oluşabilir.

SSTG (SS transition Gap) olarak adlandırılan SS iletişim boşlukları birden fazla SS' in UL alt çerçevesi altında ayrışmasını sağlar. Bu boşluk sayesinde bir önceki burst diğer katmana iletilirken BS' in yeni SS ile senkronizasyon sağlaması için zaman tanır.

Alıcının MAC PDU bilgisinin başladığı yeri gösteren bir işaretleyici İletişim Değişim alt katmanı (Transmission Convrgeance Sublayer – TCS) tarafından veri

yükünün başına eklenir. Daha sonra bu bitler rastgele karılır, FEC (Forward Error Correction) ile kodlanır ve isteğe bağlı şekilde kodlanıp iletilir.

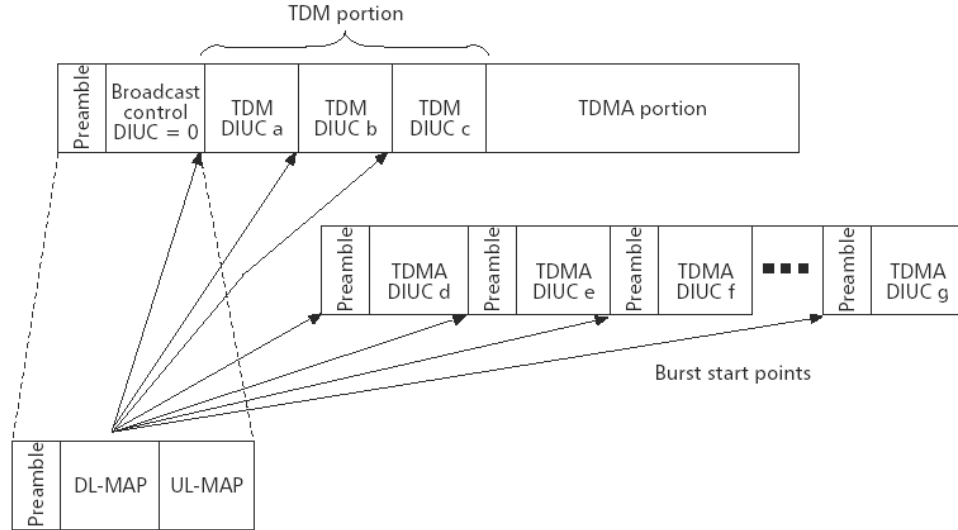
TDD kullanan DL alt çerçevesi şekil 4.6’da gösterilmiştir. DL alt çerçevesi senkronizasyon ve eşitleme için bir başlangıç çerçevesi (preamble) ile başlar. Başlangıç çerçevesi DL-MAP ve UL-MAP’ i içeren FEC tarafından takip edilir. Takip eden TDM parçaları farklı iletişim kuvvetine (transmission robustness) göre ayarlanmış burst profillerine bağlı olarak organize edilmiş verileri taşır. Her SS DL alt katmanının kontrol bilgisini alır ve buradan aldığı bilgi ile sadece kendisine ait olan veriyi geri kalan DL alt katman bilgisinden alır.



Şekil 4.6 : WirelessMAN-SC TDD DL alt çerçeve yapısı [5].

FDD operasyonuna göre olan DL alt çerçevesi şekil 4.7’de gösterilmiştir. FDD DL alt çerçeve yapısına göre, her çerçeve birçok fiziksel dilime ayrılmıştır ve her dilim dört modülasyon sembolünden birini işaret eder. TDD gibi FDD de bir başlangıç çerçevesi, onu takip eden çerçeve kontrol kısmı ve azalan iletişim direncine göre burst profili tanımlanmış TDM parçalarından oluşur. TDM parçalarından oluşan kısım aşağıdaki veri iletişim bilgilerinden biri veya bir kaçını içerir:

- Full-duplex SS’lere ait veri
- Half-duplex’lere ait, alındıktan sonra gönderilmek üzere zamanlanmış veri
- Half-duplex’e ait, fakat bulunduğu çerçeve içinde gönderilen veri



Şekil 4.7 : WirelessMAN-SC FDD DL alt çerçeve yapısı [5].

FDD DL alt çerçeve içinde half-duplex SS'lere ait ve alındıktan sonra iletmek üzere zamanlanmış verilerin bulunduğu bir ZBÇE kısmı vardır. Bu sayede Half-duplex SS'ler bütün çerçeveye ait kodu çözmek zorunda kalmaz. Bu ZBÇE parçacıkları mevcut TDM parçacıklarının akabinde bir başlangıç çerçevesi ile yer alabilirler. Bazı Half-duplex SS'ler iletişim sırasında bazen veri almadan önce veri iletmeye gereği duyarlar. Bu da senkronizasyon kaybına neden olur. ZBÇE parçalarının başındaki başlangıç çerçeveleri bu senkronizasyonun tekrar olmasını sağlar.

4.4.2.5 WirelessMAN-SCa

Bu fiziksel katman türü Single Carrier modülasyonunu destekler ve 2-11 GHz spektrumunda çalışır. NLOS operasyonlar için tasarlanmıştır. Yapısı itibariyle SC' a benzemekle beraber içeriği özetle şu şekildedir:

- TDD ve FDD desteği (Herhangi biri desteklenmelidir)
- UL alt çerçevesinde ZBÇE kullanımı
- DL alt çerçevesinde TDM veya ZBÇE kullanımı (WirelessMAN-SC tanımındaki gibi)
- Hem DL hem de UL yönünde FEC ve uyumlu modülasyon.
- NLOS operasyonlarda kanal tayini, gelişmiş eşitleme olanağı sağlayan çerçeve yapısı.

4.5 MAC Katmanı

WIMAX MAC katmanı PMP (Point-to-Multipoint) kablosuz erişimler için tasarlanmıştır. WIMAX ile erişim ve bant paylaşım algoritmaları her bir kanaldaki yüzlerce terminale uygulanabilir, böylece birçok kullanıcı bu terminalleri paylaşabilir. WIMAX MAC hem sürekli hem de burst yapıdaki trafiği düzenleyebilir. Ayrıca, bu servisler trafik tiplerine göre QoS (Quality of Service) parametrelerine ilişkilendirilebilir.

Değişim alt katmanı sayesinde (Convergence Sublayer –CS) iletişim katmanına ait trafik MAC katmanına iletilip herhangi bir trafik türünün efektif bir şekilde taşınmasını sağlayabilir. CS ve MAC birlikte çalışarak yük başlık sıkıştırması (Payload Header Suppression –PHS), paketleme ve parçalama işlemlerini yapar ve böylece orijinal iletim mekanizmalarından daha efektif bir şekilde trafik taşınır.

4.5.1 MAC katman yapısı

BS' dan diğer kullanıcılara doğru iletilen DL, PMP mantığında çalışır. WIMAX kablosuz ağında BS tarafındaki bir alandaki anten, birbirinden bağımsız birden çok alandaki antenle aynı anda ve çoklu bir şekilde çalışır. Belirlenmiş bir frekans ve anten alanı ile bütün istasyonlar aynı iletişim bilgisini alır.

DL genellikle broadcast'tir. DL-MAP içeriğinde herhangi bir SS' e atanmış özel bir DL alt çerçevesi olmadıkça bütün SS' ler iletilen DL çerçevesini dinleyebilir.

MAC bağlantıya yöneliktir. Bağlantılar 16 bitlik bağlantı bildiriciler (Connection Identifiers – CID) ile referanslandırılır. Bağlantılar, genelde önceden atanmış bir bant genişliğine veya isteğe bağlı bant genişliğine ihtiyaç duyarlar. CID' ler aynı DL kanalı ile ilişkili birden fazla UL kanalını ayırt etmek için kullanılır. SS' ler alınan PDU içindeki CID 'yi kontrol eder ve sadece kendilerine adreslenmiş PDU' ları alırlar.

MAC PDU, BS MAC ve SS MAC katmanları arasında karşılıklı iletilen veri birimleridir. Bir sonraki alt katman için aşağı yönde iletilmek için üretilen ve bir önceki alt katmandan yukarı yönde alınan veri birimidir.

Her SS' in 48-bit'lik bir MAC adresi vardır fakat bu sadece ekipmanı belirtmek için kullanılır. Operasyon sırasında kullanılan birincil adres CID' lerdir.

SS' ler üç çeşit yönetim bağlantısı yapar. Bu üç bağlantı farklı yönetim ihtiyaçlarından dolayı üç farklı QoS ihtiyacı duyar:

- Basit bağlantı, kısa süreli transferler ve zamanın kritik olduğu MAC ve radyo link kontrolleri (RLC) için kullanılır.
- Birincil yönetim bağlantıları, uzun süreli transferlerdir. Onaylama ve bağlantı kurmak gibi daha fazla gecikmeye toleranslı mesajlardır. DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol), TFTP (Trivial File Transfer Protocol) ve SNMP (Simple Network Management Protokol) gibi yönetimsel mesajlar iyi birer örnektir.
- İletişim bağlantıları, farklı DL ve UL QoS ve trafik parametreleri için üretilmiş bağlantılardır.

DL broadcast olmasına karşın SS' lerden BS' lere doğru olan UL' ler isteğe bağlı olarak iletilir. Belirlenen servis klasmanına göre, SS' lerin veri iletimine devam etmek için hakkı alınabilir veya BS' ler kullanıcıdan istek aldıktan sonra iletim için izin verebilir.

4.5.1.1 Servis klasları

WIMAX ağında çalışabilecek farklı tipte uygulamalar vardır:

- UGS (Unsolicited Grant Services), sabit veri hızına sahip servisleri destekler. T1/E1 hizmeti buna örnek olabilir. Bu tip servisler daha önceden atanmış bir bit oran limitine sahiptir.
- rtPS (Real-Time Polling Services), belli bir periyoda bağlı olan ve değişken veri boyutuna sahip gerçek zamanlı veri paketlerini destekler. MPEG videolar buna örnek olabilir.
- nrtPS (Non-Real-Time Polling Services), değişken boyutta olan fakat gerçek zamanlı olmayan veri paketlerini destekler.
- BE (Best Effort) servisi internet tarafından desteklenen web servisini destekler.

Servis akışları bir SS sisteme dahil olurken tanımlanabilir. SS' in sistemde onaylanmasından sonra, kurulan her bir bağlantı ne kadar bant genişliği isteyeceğini

bu servis akışlarına göre tayin eder. Her bir bağlantı için bir servis akışı atanır. Ayrıca kullanıcı tarafında servis değişikliği oluşunca, yeni bir bağlantı oluşturulur.

Servis akışı her bir bağlantıda, bu bağlantı kurulduktan sonra istasyonların MAC katmanları arasında alıp verilen MAC PDU'larının QoS parametrelerini belirler. Servis akışları ayrıca UL ve DL için birer QoS parametresidir. Bir SS her bir bağlantı sürecinde kullanılacak UL için bant genişliği ister. BS' de SS' den gelen bu istek doğrultusunda, her bir bağlantıya karşılıklı anlaşılan oranda bant genişliği atar.

Her bir SS' e ait burst' e göre, burst profili altında bir modülasyon ve kodlama şeması oluşturulur. MAC bant genişliğini efektif kullanabilmek, daha güvenilir bir bağlantı yapabilmek için; farklı modülasyon ve kodlama türü içeren farklı bir burst profili kullanabilir. Mesela modülasyon QPSK'den 16-QAM'e veya 64-QAM'e döndürülebilir.

4.5.1.2 Servise özgü değişim alt katmanları (CS)

WIMAX ATM ve Ip v4 veya IP v6 olmak üzere iki servis tipini destekleyen değişim alt katmanına sahiptir. Bu değişim katmanları destekledikleri servis tipinin adıyla anılırlar. CS katmanları aşağıdaki fonksiyonları işler;

- Bir üst katmandan protokol veri birimlerini (PDU) almak.
- Üst katmana ait PDU'larını klaslara ayırma.
- Üst katmana ait PDU'ları kaslarına göre işlemek.
- CS PDU'larını ilgili MAC erişim noktasına (SAP) iletmek.

Servis veri birimleri (Service Veri Units – SDU) iki komşu protokol katmanı arasında alınıp verilen verilerdir. CS alt katmanının bir görevi de bu verileri uygun MAC bağlantısına atamaktır. Bu kapsamda, Servis tipine göre belirlenen QoS parametreleri ve bant genişliği ayarları yapılır.

Bu görevlerinin dışında CS alt katmanı yük başlık sıkıştırması ve yükün tekrar oluşturulması gibi veri aktarımının verimliliğini arttıran işlemler yapar.

4.5.1.3 Ortak alan alt katmanı (CPS)

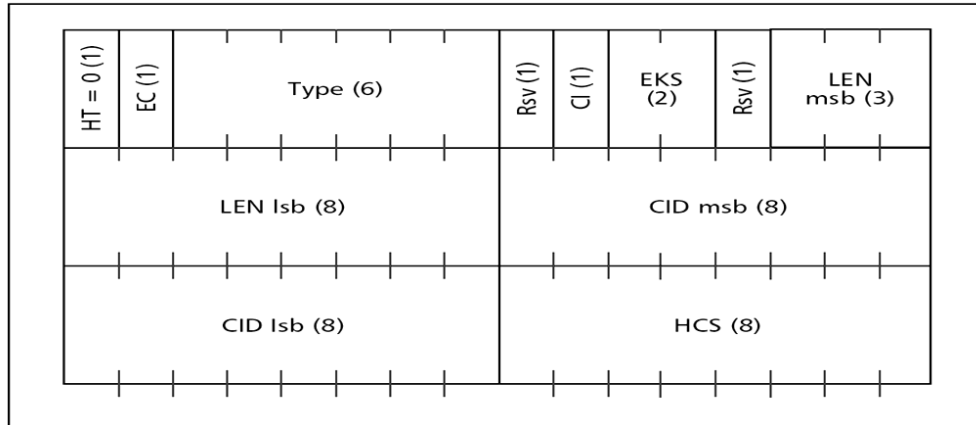
WIMAX standardı efektif paylaşılan bir yayılım ortamı sağlamak için, bağlantı yönetimini yapan CPS alt katmanını tanımlamıştır. CPS MAC katmanının ana işlemlerinin gerçekleştiği katmandır. UL planlaması, bant genişliği istek ve/veya ataması, erişim kontrolü ve gerekirse ARQ işlemleri bu katmanda yapılır.

4.5.2 MAC PDU yapısı

MAC PDU birimi sabit uzunlukta bir başlık, değişken büyüklükteki bir yük ve CRC kontrol bitinden oluşur. Başlığın akabinde yük olmayabilir veya birden fazla alt başlık olabilir ya da birden fazla MAC SDU birimi olabilir.

CRC isteğe bağlıdır. CRC sadece WirelessMAN-Sca, WirelessMAN-OFDM ve WirelessMAN-OFBÇE fiziksel türlerinde kullanılabilir.

İki çeşit Başlık formatı tanımlanmıştır. Her MAC PDU birimi MAC yönetim mesajları veya CS verisini içeren bir başlıkla başlar. Bant genişliği istek başlığı, ek bant aralığı istemek için kullanılır. Şekil 4.8 genel MAC başlık yapısını göstermektedir.



Şekil 4.8 : MAC başlık yapısı [3].

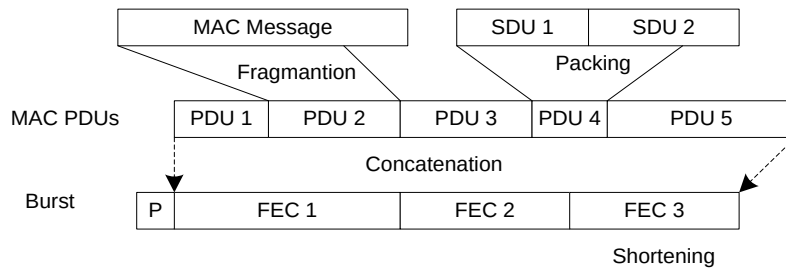
Herhangi bir yük taşımayan, bant genişliği isteğinde bulunan MAC PDU formatı dışındaki birimler MAC yönetim mesajı veya CS servis verisi taşırlar. Üç tip MAC alt başlığı vardır:

- Atama yönetimi alt başlığı, BS' a bant aralığı isteği yollamak isteyen SS' ler tarafından kullanılır.
- Parçalama alt başlığı, SDU parçalarına ait yüklerin varlığını bildirirler.
- Paketleme alt başlığı, birden fazla SDU' nun bir PDU' ya paketlenmiş olduğunu bildirirler.

Atama yönetim ve parçalama alt başlıkları MAC PDU' ya ait başlığı takip eden tip (type) alanına yerleştirilir.

İlgili değişim alt katmanından gelen MAC SDU birimleri MAC PDU yapısına göre paketleme veya parçalama şeklinde yapılandırılır. Birimler karşı uca iletilince, uç noktada tekrar yapılandırılırlar.

Parçalama MAC SDU birimlerini bir veya daha fazla MAC SDU birimine ayırma işlemidir. Paketleme ise birden fazla MAC SDU' sunu bir MAC PDU formatında birleştirmektir. WIMAX verimliliği sağlamak amacıyla eş zamanlı parçalama ve paketleme işlemlerini destekler. Şekil 4.9 parçalama ve paketleme işlemini göstermektedir.



Şekil 4.9 : Paketleme ve parçalama [3].

İletim sırasında kaybolan veya bozulan veriler için isteğe bağlı olarak otomatik tekrar isteği (ARQ) kullanılabilir. Bu onay mekanizması, gönderilen MAC SDU birimlerinin alınıp alınmadığının alıcı tarafından ACK veya not-ACK mesajlarıyla bildirilmesine dayalıdır. Alıcı tarafın ilettiği mesaja göre verici santral ilgili veri birimlerini tekrar gönderir. Bu mekanizma güvenilir veri iletişimini sağlamakla beraber bant genişliğinin efektif kullanılmasını engeller.

4.5.3 İletim değişim alt katmanı

TC altkatmanı fiziksel katmanla MAC katmanı arasında yer alır. Şekil 4.6 ‘da da görülebileceği gibi, bu katman değişken uzunluktaki MAC PDU birimlerini sabit uzunluktaki FEC (forward error correction) bloklarına dönüştürür. FEC dönüştürme sayesinde vericinin ilettiği veriyi tekrar iletmesine gerek yoktur. Ortak kullanılan parametreler ve hata düzeltme yöntemleri sayesinde alıcı hatalı gelen veriyi düzeltebilir.

4.6 Servis Kalitesi (QoS)

QoS basitçe iletilen veri paketlerinin gecikmesinin ve veri kayıplarının azalmasını sağlar. WIMAX QoS yapısı, farklı uygulamalar için eş zamanlı uygulanabilen farklı QoS mekanizmaları sunar. Mesela ses ve video verileri düşük gecikmeye ihtiyaç duyarken birkaç hatalı bite toleranslıdır. Aynı şekilde bazı veri uygulamaları da hataya yer vermezken gecikmeye karşı toleranslı olabilir.

WIMAX standardı; uyumlu modülasyon, farklı veri iletim oranları ile bağlantı kalitelerini sağlayabilir. Modülasyon tekniklerini dinamik olarak 64-QAM ‘den 16-QAM’e veya QPSK ‘ye çevirebilir. Aynı zamanda uzaklığa bağlı olarak BS ve SS arasındaki bant genişliğini dinamik olarak değiştirebilir.

4.6.1 FEC mekanizması

FEC mekanizması sayesinde verilerin tekrar taşınmasına gerek kalmaz. Bu da bant genişliğinin verimli kullanılması ve iletim gecikmesinin düşmesi demektir. Gecikme bir vericinin veriyi iletmesinden bu veriye karşılık aldığı cevabın gelmesine kadar geçen süredir. Bu da gösteriyor ki, gecikmenin azalması demek daha hızlı bir ağ demektir.

4.6.2 Bandgenişliği atama

İki tip bant genişliği atama metodu vardır. Biri her bağlantı başına bant genişliği atama (Grant per Connection –GPC) diğeri her bir SS başına bant genişliği atamadır (Grant per SS – GPSS). GPS’de SS sadece BS ‘in bağlantı tipine göre verdiği bant genişliğini kullanabilir. GPSS’ de ise belli bir bant genişliği SS’ e atanmıştır bu

durumda bağlantılara bant ayırma işlemi SS' e düşer. Bu da SS olarak kullanılacak aygıtın nispeten daha akıllı bir cihaz olmasını gerektirir.

4.6.3 Dinamik modülasyon

Güçlü modülasyon yapısı ile WIMAX uzun mesafelerde az hatalı ve efektif iletişim sağlar. Dinamik modülasyon BS' in uzaklığa göre iletişim hızını dengeleyebilmesini sağlar. Mesela uzak mesafedeki bir istasyon ile güçlü bir iletişim kurulamıyorsa BS modülasyon yapısını yüksek seviyeli 64 QAM'den 16-QAM'e veya QPSK'ye çevirerek iletişim hızını ve gücünü dengede tutar böylece uzak mesafelerle olan iletişimini daha efektif yapar.

4.6.4 Hata düzeltme ve araya girme

İletilen veri birden çok alt taşıyıcı tarafından taşındığından, iletilen bir birimde meydana gelecek hata birden çok verinin sadece çok ufak bir kısmını temsil eder. Sonuç olarak asıl bilgi bozulmamış olur. Bu durumu hata düzeltme olarak tanımlayabiliriz.

Araya girme, iletilen verinin sıralamasının değişmesidir. OFDM sistemlerde aynı zamanda iletilen veriler farklı frekanslara ayrılmıştır. Alt taşıyıcıdaki hatalar da aynı zaman aralığında dağılmıştır ve uzunluğu büyük olan hatalar aslında frekans bazında ayırık yapıdadır ve burst halinde taşınan veriler arasında küçük yer kaplamaktadır. Alıcı tarafında bu küçük hatalar da hata düzeltme kodları sayesinde kolayca düzeltilebilir.

4.6.5 QoS yapısında servis akış kavramı

QoS SS ve BS arasında hem aşağı hem de yukarı yönde alınıp verilen verilere uygulanır. Uygulanan QoS'lar şu şekilde sıralanabilir [6];

- SS' lerde yapılan onaylama ve konfigürasyon işlemleri.
- Dinamik olarak sağlanan işaretleme fonksiyonları.
- UL servis akışları için MAC şeması ve QoS çerçeve parametrelerinden yararlanmak.
- DL servis akışları için QoS servis parametrelerinden yararlanmak.
- Servis akış özelliklerini, servis klasmanları altında toplamak.

SS ve BS belirlenmiş olan QoS parametre bilgilerini (modülasyon, bant genişliği v.b.) servis akışlarına tanımlar. QoS mekanizması aslında CID tarafından belirlenmiş olan servis akışlarını paketlerle ilişkilendirmektir. QoS mekanizması iletişim ortamı yani havaya verileri belli bir sıra ve planda iletmeyi içerir.

4.6.6 Servis klasları

Servis klaslarının iki fonksiyonu vardır. Birincisi operatörler hazırladıkları servis akışlarını klaslar altında toplayıp bunu BS’de tanımlar ve SS’lerde sadece bu servis klaslarının isimi tanımlanır. Asıl konfigürasyon BS tarafında yapılır. Böylece servis akışındaki herhangi bir değişiklik gerekirse BS’ de yapılır ve SS’ in konfigürasyon değişikliği yapıp BS’ e tekrar üye olması gerekmez. İkincisi, üst seviye protokollerin kendi isimlerinde servis akışı oluşturmalarını sağlar.

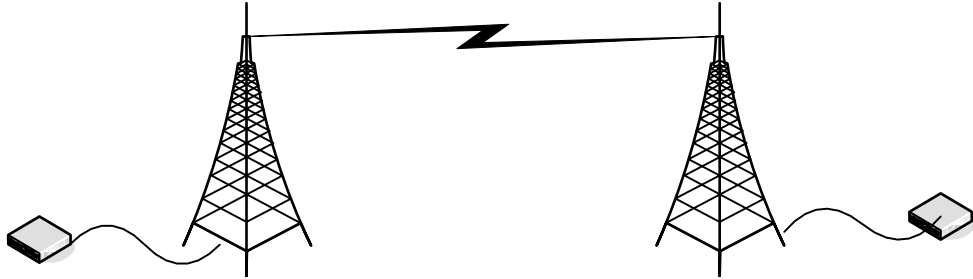
5. WIMAX AĞ TOPOLOJİSİ ve UYGULAMA ALANLARI

5.1 WIMAX Ağ Topolojisi

WIMAX Ağ yapısı noktadan noktaya (Point to Point - PP), noktadan çoklu noktaya (Point to Multipoint – PMP) veya dağınık (mesh) yapıda olabilir.

5.1.1 Noktadan noktaya ağlar

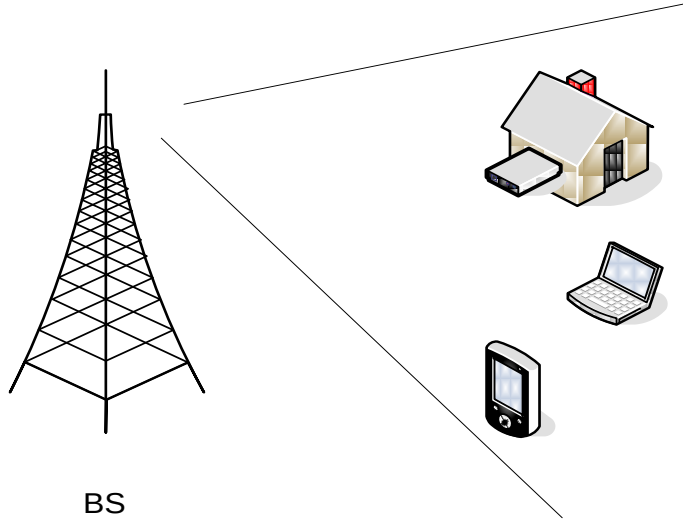
Noktadan noktaya yapılar genelde yüksek hızlı ve güçlü yayının gerekli olduğu durumlarda kullanılır. Bu tip yapılar LOS operasyonu gerektirir yani BS ve SS birbirini görmek zorundadır. Genelde backhaul olarak anılan çekirdek ağının uç noktalara erişmesi için kullanılan sistemlerde veya uç noktada son kullanıcıya birebir bağlantı yapılan noktalarda kullanılır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 : Noktadan Noktaya Bağlantı.

5.1.2 Noktadan çoklu noktaya ağlar

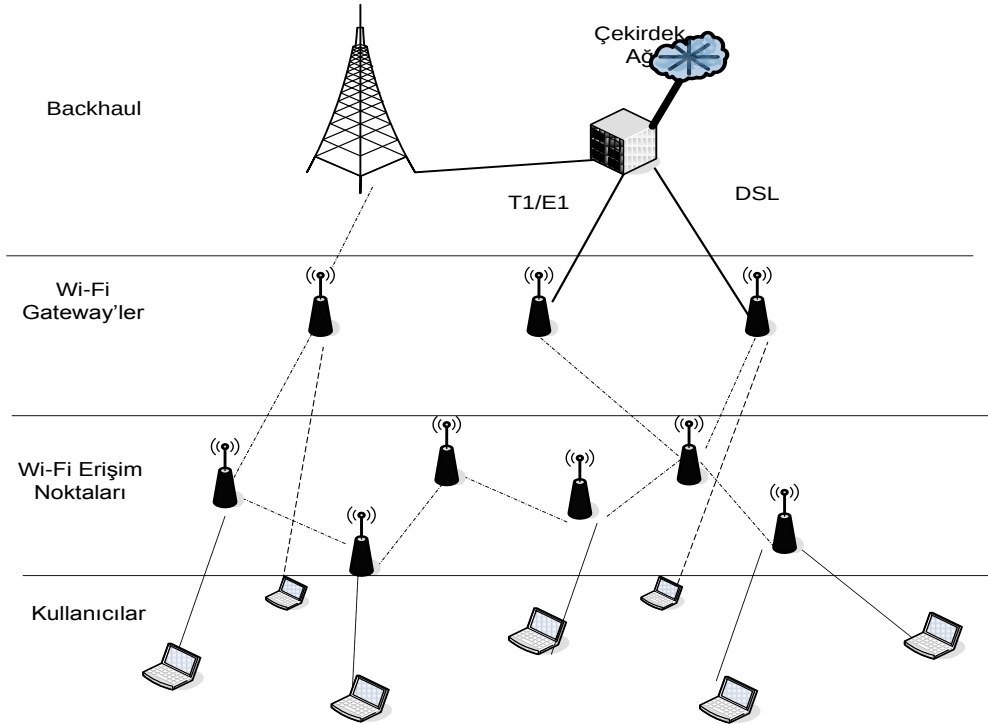
Bu tip ağlar son kullanıcıya broadband erişim için kullanılan yapıdır. NLOS operasyon ile yürütülür. Bu tip yapılar için BS’ de spektral anten ve SS’ de parabolik anten kullanımı gerekmektedir. Şekil 5.2’de görüldüğü gibi bir verici ile birden fazla kullanıcıya erişim sağlanır.



Şekil 5.2 : Noktadan çoklu noktaya bağlantı

5.1.3 Dağınık ağlar

Dağınık ağ (Mesh Network) yapıları, kullanıcıya birçok erişim noktası vasıtası ile erişim sağlanıldığı topolojidir. Bu yapıda kullanıcıya erişim için farklı alternatif yollar vardır ve veri paketi en uygun yoldan kullanıcıya erişir. Şekil 5.3 bir çok Wi-Fi noktasının kullanarak oluşturulmuş dağınık ağ topolojisini göstermektedir.



Şekil 5.3 : Dağınık (Mesh) ağlar.

5.2 Lisanslı ve Lisansız Bantlar

Servis sağlayıcıların hangi operasyon için hangi spektrumu kullanabileceği regülasyon tarafından belirlenir. Lisanslı bantlar uzak mesafelere güçlü yayınlar yapabilmek için önemlidir. Bu bantlar ayrıca etkileşimi önlemek için birbirine yakın bantlar olmamalıdır. Regülasyonlar ayrıca lisanslı yayınların gerekmediği operasyonlar için lisanssız bantlar belirlemiştir. Bu bantlarda yayın yapmak için belirlenen güç kısıtlaması ve diğer yayınların etkilenmemesi için gerekli birçok teknik kısıtlama vardır.

WIMAX için bugüne kadar Türkiye’de herhangi bir lisans dağıtımı olmamıştır. Dünyada ise WIMAX kullanımı için ayrılmış bantlar çizelge 5.1 ‘de görülebilir.

Çizelge 5.1 : Global Lisanslı ve lisanssız Band Dağılımı.

Ülke ve Joğrafi Alan	Lisanlı Bant ve Lisanssız Bant
Kuzey Amerika	2.5 GHz ve 5.8 GHz
Merkezi ve Güney Amerika	2.5 GHz , 3.5 GHz ve 5.8 GHz
Batı ve Doğu Avrupa	3.5 GHz ve 5.8 GHz
Ortadoğu ve Afrika	2.5 GHz ve 5.8 GHz
Asya	3.5 GHz ve 5.8 GHz

Lisanslı bantlarda kullanıcıya erişim daha güçlü olur. Düşük frekanslarda NLOS operasyonlar ve RF yayılımı daha kolay olur. Sinyalde etkileşim ve işarette zayıflık az olur. Servis kalitesi daha yüksektir. Geniş alanlara kaliteli hizmet vermek için lisanslı bant kullanılmalıdır. Ayrıca lisanssız bantlara göre daha kaliteli yayın olduğundan mobil çözümleri için bu bantlar kullanılır. Bant ayrımı tamamen lisansa sahip servis sağlayıcıya aittir bu da daha efektif bir altyapı kurulmasını sağlar. Lisans bantlarında FDD operasyonu kullanılır. Geniş alanları kapsayan PMP ağlar için uygundur. Broadband mobil çözümler için lisans bantlar gereklidir. Bir dezavantajı bu bantların ücretli olmasıdır.

Lisanssız bantlar dünya genelinde iki farklı aralıkta bulunur. 2.4 GHz bandı dünya genelinde ISM (Industrial, Scientific, Medical) bant olarak bilinir. Bu sahada kullanılan cihazların kullandığı banttır. 802.11b/g bu bantta çalışır. Diğer bir bant aralığı ise 5 – 6 GHz arasında bulunan ve genelde 5.15 ile 5.85 GHz arasında kullanılan banttır. Genelde 300 MHz ‘lik bir spektrum ayrılmıştır fakat nüfusu yoğun yerlerde ekstra bir 255 MHz’ lik spektrum da bu aralığa dahil edilir. IEEE 802.11a standardı da bu bölgede çalışmak üzere tasarlanmıştır.

Lisanssız bantlar TDD operasyonu ile çalışır. Lisanssız bantların en büyük avantajı çok düşük ücretli olması ve dünya çapında aynı frekanslarda çalışmasıdır. Bu bant aralığı ile ev, iş veya altyapıda uç nokta erişimi sağlanabilir. PP uzun mesafeli erişimlerde, merkezi olmayan yerlerde PMP ağlarda, RF bandında gürültünün az olduğu kampüs, site, askeri alanlar gibi izole yerlerde, fiyatın önemli olduğu uygulamalarda lisanssız bant kullanmak daha avantajlıdır.

5.3 WIMAX Uygulama Alanları

WIMAX son kullanıcıdan, servis sağlayıcının altyapısını oluşturmaya kadar bir çok alanda kullanılabilir. Son kullanıcıya ses, video ve veri erişimi sağlanabileceği gibi servis sağlayıcıların alt yapısını oluşturan fiber veya mobil servislerin hücresel yapılarının yerini rahatlıkla doldurabilir. Uzak mesafedeki cihazlardan veri alımı veya cihazların uzaktan kontrolü için kullanılabilir. Kullanım amacına göre belirttiğimiz WIMAX’ ın fiziksel altyapı tipi ve QoS parametreleri belirlenmeli ve buna göre altyapı tesis edilmelidir.

5.3.1 Son kullanıcı veri erişimi

Günümüzde son kullanıcılara sağlanan veri,ses ve görüntü hizmetleri üç sistemle sağlanmaktadır: DSL (Digital Subscriber Line), E1/T1 ve Kablo. DSL ve E1 teknolojisi Avrupa ve Asya’ da yaygın kullanılırken, kablo ve T1 teknolojisi Amerika’ da yaygın olarak kullanılmaktadır. DSL sistemleri limitli hızlarda verilmekte olup kullanıcı erişimi sınırlı mesafede kalmaktadır. E1/T1 sistemleri ise iletim hızının yüksek olmasına rağmen maliyet açısından da yüksektir. Kablo teknolojisi Amerika’da kurulmuş olması ile beraber hız limiti ve erişim mesafesi olarak yine kısıtlıdır.

Tüm bu kısıtlamalara sahip teknolojilere karşın WIMAX son kullanıcılara, yüksek hızda, uzak mesafelere yayın yapabilen kablosuz erişim sağlamaktadır. Bunun için noktadan çok noktaya yayın yapabilen, NLOS operasyonla çalışabilen OFDM bazlı alt yapı ile çalışabilir. Bu şekilde son kullanıcıya 50 Km' ye kadar toplamda 75 Mbps 'lık veri hız oranında erişim sağlanabilir. Güçlü QoS yapısı ile uzak kullanıcılarında kesintisiz ve güçlü bağlantı kurması sağlanır.

5.3.2 Servis sağlayıcılar için kablosuz altyapı

Servis sağlayıcıların uç noktalarda bulunan bir çok cihazının haberleşmesi için kullanılabilir. Örneğin cep telefonu ağlarında, dağınık yapıdaki uç noktalardaki baz istasyonları ile merkez arasındaki altyapıyı ele alalım. Bu altyapıların oluşturulması için E1/T1, metroethernet v.b sistemler kullanılmaktadır. Bu teknolojiler yerine WIMAX kullanılabilir. Benzer altyapı desteği Wi-Fi erişim noktaları için de sağlanabilir. Bu şekilde son kullanıcılara tamamı ile kablosuz erişim hizmeti verilebilir. Güçlü erişim ve az toleranslı altyapı iletişimi için noktadan noktaya ve LOS kullanan bir yapı kullanılabilir.

5.3.3 Şirket / Özel ağları

Şirketlerin merkez ofisleri ile uç noktaları arasında yerel ağlar oluşturulabilir. Bu ağlar bir merkez ofis ve buna bağlı birçok ofis arsında güvenli, hızlı ve sorunsuz bir bağlantı sağlayabilir. Bu yöntem sağlık, eğitim, yerel idari işler veya özel sektör tarafından kullanılabilir. Noktadan bir çok noktaya (PMP) ağ kullanılabilir.

5.3.4 Kamera denetimi

Günümüzde güvenlik için kamera denetimi yaygın şekilde kullanılmaktadır. WIMAX sunduğu güvenli erişim ile trafik kontrolü veya bankamatik kamera sistemi gibi benzeri kamera sistemlerini destekleyebilir. Türkiye'de MOBESE sistemi halihazırda WIMAX teknolojisi ile yapılmaktadır.

5.3.5 ATM uygulamaları

ATM hizmeti artık WIMAX üzerinden güvenli bir şekilde yapılabilir. Maliyetleri düşürmekle beraber ATM hizmeti daha kırsal kesimlere de taşınabilir.

5.3.6 VOIP hizmeti

Günümüzde Voip TDM şebekelerin yerini almaktadır. WIMAX kablosuz erişim ile yüksek hızda internet erişim sağlayarak artık Voip hizmetinin GSM ile de rekabete girmesini sağlıyor. Geniş kapsama alanı ile kısa mesafeli baz istasyonlarının yerini kolaylıkla alacaktır. 2010 yılında tamamlanacak olan WIMAX Mobile standardı ile artık mobil kullanıcıların da yüksek hızda kesintisiz erişimi sağlanmış olacak. Yüksek taşıma kapasitesi sayesinde sadece ses değil aynı zamanda video konferanslarına da elverişlidir.

5.3.7 Diğer uygulama alanları

WIMAX ile yapılabilecek diğer uygulamaları şu şekilde sayabiliriz;

- WIMAX Mobile ile lojistik sektöründe saha elemanları ile sürekli iletişim sağlanabilir. Saha ekiplerinin yerini canlı olarak izlenebilir.
- İsteğe Bağlı Video (Video on Demand) birçok operatörün vermek istediği hizmetlerden biridir. Günümüzde Şehir merkezlerinde kısıtlı sayıdaki kullanıcıya fiber alt yapısı konumlandırılarak verilebilen bu hizmet WIMAX üzerinden bütün kullanıcılara verilebilir.
- Sağlık sektöründe hastaların uzaktan izlenmesi için kullanılabilir. Hastaya ait veriler uzaktan alınabilir.
- Sahada bulunan birçok alıcıdan alınan nem, sıcaklık gibi verilerin görüntülenmesi yapılabilir.
- Gerçek zamanlı olarak saha ekipmanlarının görüntülenmesi ve kontrolü yapılabilir.

6. WIMAX MODEL TASARIMI ve SİMÜLASYONU

Kırsal alanlarda WIMAX kullanımını modellemek için örnek çalışma alanı olarak Trabzon ilinin Çarşıbaşı ilçesi seçilmiştir. Bu bölgenin coğrafi alan, hane ve nüfus bilgileri kaymakamlık resmi web sitesinden alınmıştır [9]. Örnek alanda kurulacak ağ topolojisi anlatıldıktan sonra OPNET simülasyon programı ile ilgili bir bilgi verildikten sonra OPNET üzerinde oluşturulan ağa ilişkin sonuçlar ele alınacaktır.

6.1. Kırsal Alan Örneği Çarşıbaşı İlçesi

Çarşıbaşı ilçesi merkez ile beraber 17 köyden müteşekkildir. Ayrıca yaylalarda da yerleşimler mevcuttur. Böylece toplam 19 yerleşim biriminden söz edilmektedir. İlçenin kaymaklığa ait web sayfasından köylerdeki ve merkezdeki hane ve nüfus sayısı bilgileri alınarak Çizelge 6.1 oluşturulmuştur.

Çizelge 6.1: Toplam hane sayısı ve hane sayısına göre planlanan veri iletişim son noktası

Köy	Hane Sayısı	Apartman (wi-Fi noktası)	Müstakil (WIMAX- ws)	Toplam Son nokta
Merkez	2300	154	--	154
Çallıköyü	56	9	11	20
Erenköy	101	16	21	37
Fener Köyü	428	65	103	168
Gülbağçe	148	23	33	56
Kadıköy	346	52	86	138
Kaleköy	282	43	67	110
Kavaklıköy	270	41	65	106
Kovanlı	235	36	55	91
Küçükköy	84	13	19	32
Pınarlı	84	13	19	32
Samsun	98	15	23	38
Serpil	235	36	55	91
Şahinli	220	33	55	88
Taşlıtepe	94	15	19	34

Çizelge 6.1 (devamı) Toplam Hane sayısı ve hane sayısına göre planlanan veri iletişim son noktası

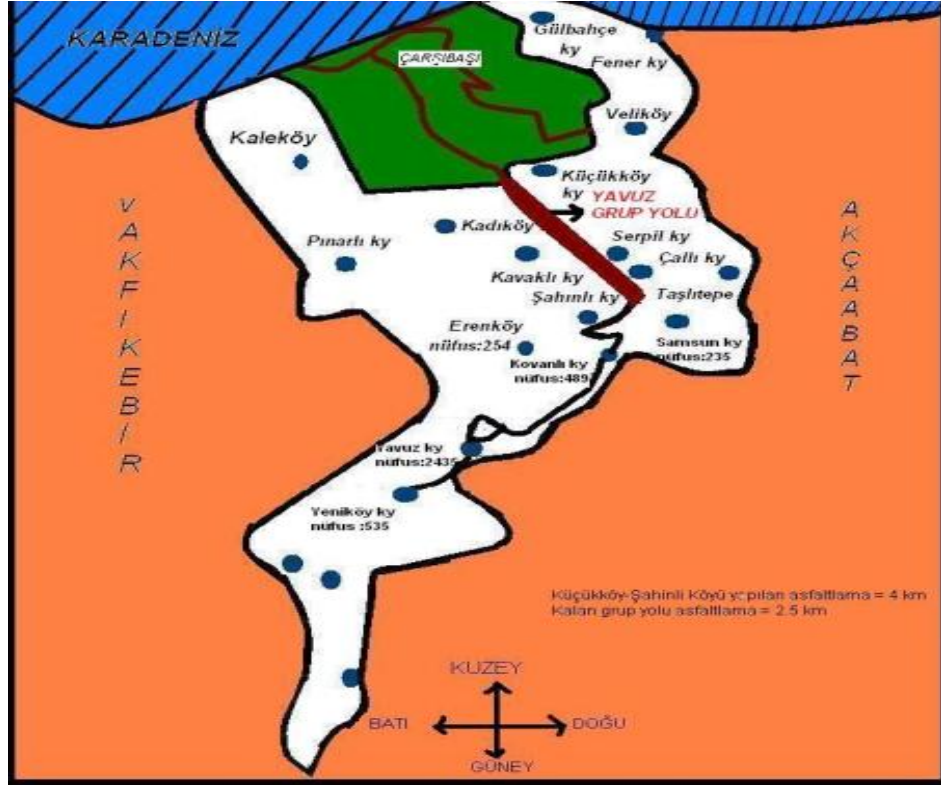
Veliköy	99	15	24	39
Yavuzköy	635	96	155	251
Yeniköy	126	19	31	50
Yayla	100	15	25	40

Çarşıbaşı merkezde toplu yerleşimler düşünülerek her 15 hane bir apartman olarak hesaplanmış köylerde ise bir apartmanın beş evden müteşekkil olacağı varsayılarak hanelerin %75'nin apartman olarak %25'inin müstakil olduğu varsayılmıştır. Her apartman için bir Wi-Fi erişim noktası her müstakil ev için bir Wi-max erişim noktası planlanmıştır.

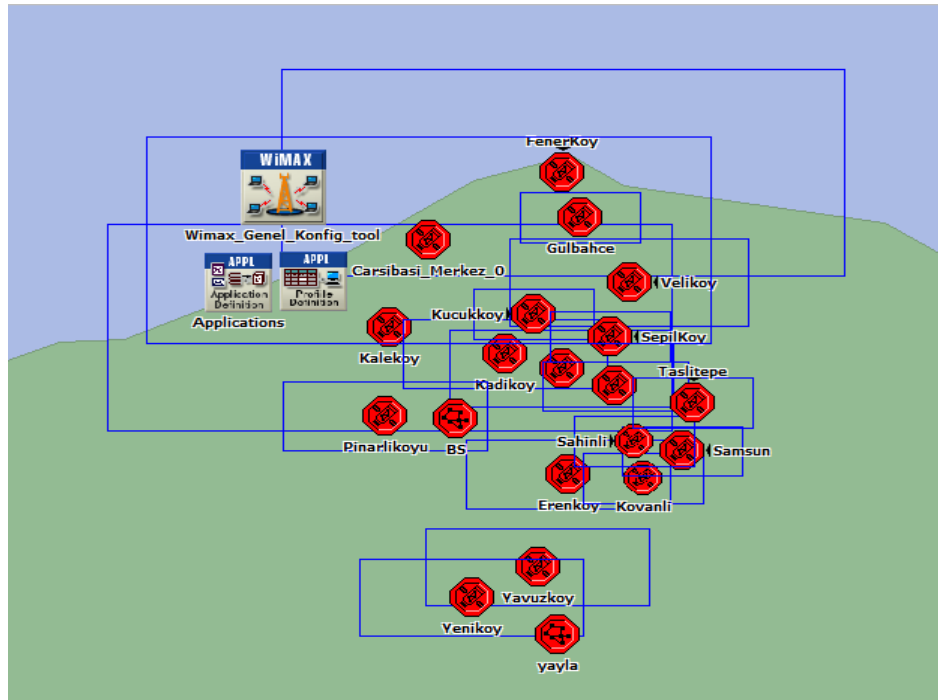
Ayrıca İlçeye ait köy yerleşimlerini içeren haritalar yine kaymakamlık sitesinden alınmış, uydu görüntülerinden alınan verilerle de köy yerleşimleri tayin edilerek OPNET programının kendisine ait ölçülü dünya haritasında köy yerleşimleri işaretlenmiştir. Daha sonra bu yerleşimlere hane sayısı bilgisine göre kullanıcılar eklenmiştir.



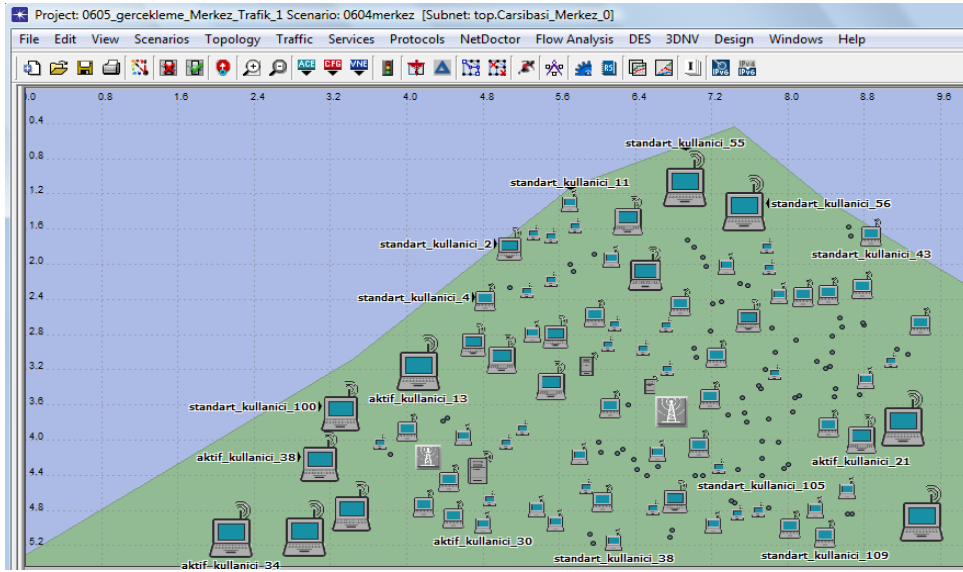
Şekil 6.1 : Çarşıbaşı ilçesi uydu görüntüsü



Şekil 6.2 : Çarşıbaşı ilçesi köy yerleşimleri [9]



Şekil 6.3: Opnet üzerinde oluşturulan yerleşimler



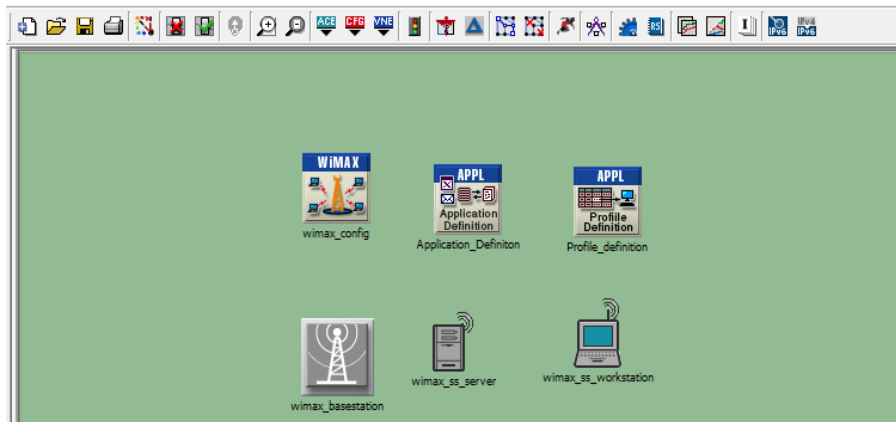
Şekil 6.4: İlçe merkezinde oluşturulan kullanıcılar ve erişim noktaları.

6.2. OPNET Simülasyonu

6.2.1. OPNET simülasyonunda kullanılan arayüzler ve Wi-max araçları

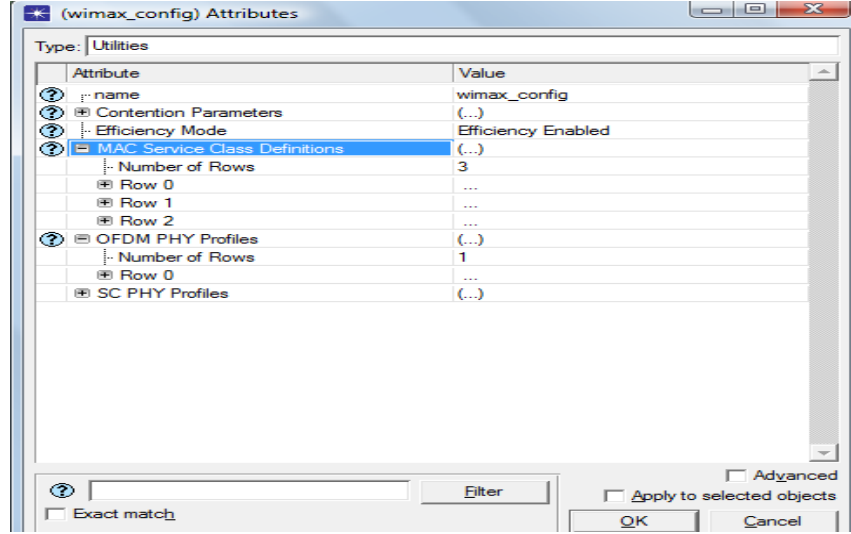
OPNET simülasyon programı network ağlarının tasarlanması ve performans analizin yapılması için dünyada yaygın bir şekilde kullanılan bir araçtır. Opnet versiyon 14.5 ile birlikte getirdiği WIMAX eklentisi ile WIMAX ağlarının da benzetiminin yapılabilmesine olanak sağlamıştır.

WIMAX networkü için kullanılabilecek başlıca araçlar Base Station, Subscriber Station Workstation, Subscriber Station Server, Application Definition, Profile Definition ve WIMAX Config araçlarıdır.



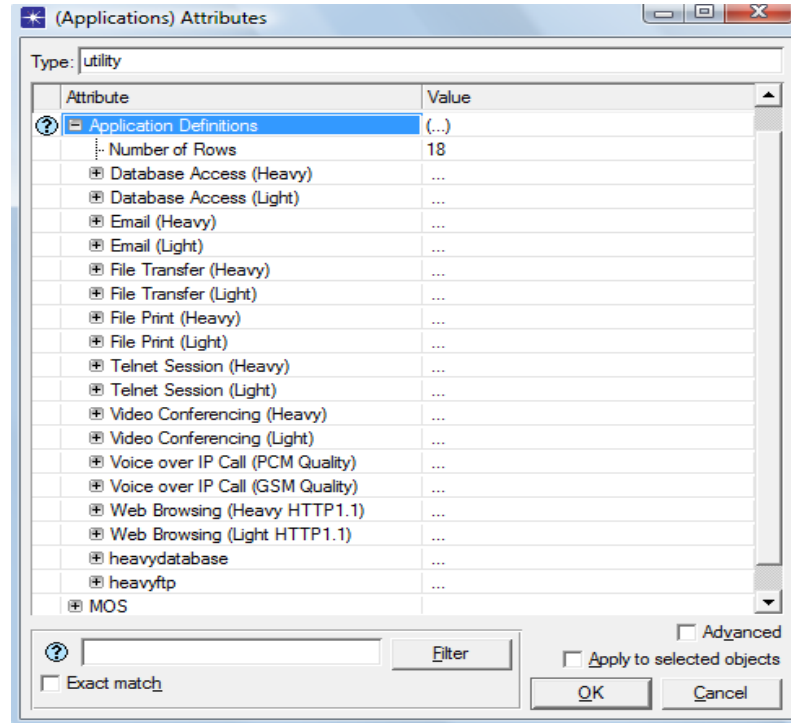
Şekil 6.5 : WIMAX ağı için Opnet programında kullanılan araçlar

WIMAX Config aracı OFDM ve SC yapısının fiziksel özellikleri tanımlanabilir. Ayrıca MAC servis sınıfları tanımlanır. Bu seçenekler oluşturulan Base Station tarafından kullanılır.



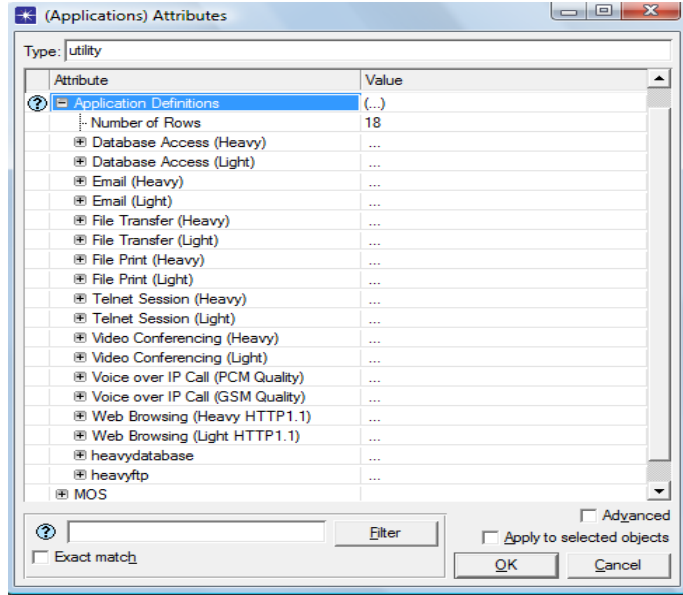
Şekil 6.6: WIMAX config arayüzü

Application Definition aracı ile üretilmek istenen trafik tipleri, trafiğin oluşma sıklığı ve miktarı belirlenir.



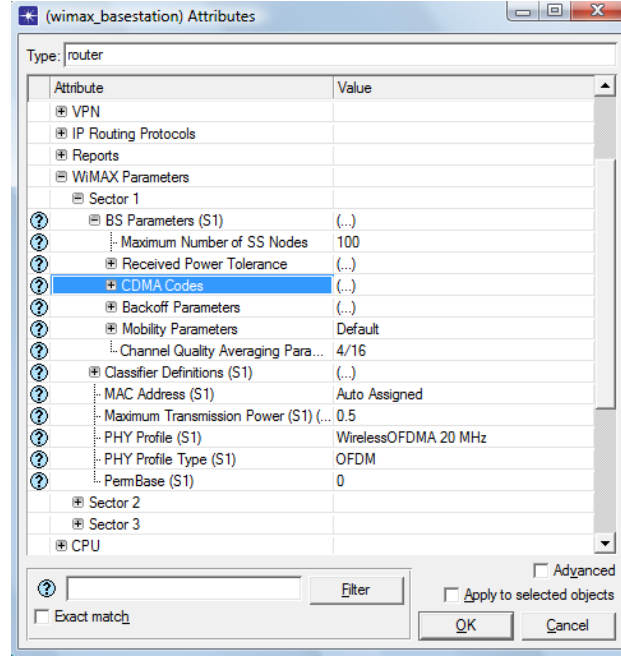
Şekil 6.7 : WIMAX Application definition arayüzü

Profile Definition aracı ile bir kullanıcının farklı uygulamaları kullanabilmesi için farklı tipte kullanıcı tipleri oluşturulur. Bu kullanıcı tipleri içerisinde application Definition aracında tanımlanmış uygulamalar farklı miktarda ve sırada oluşacakmış gibi tanımlanır.



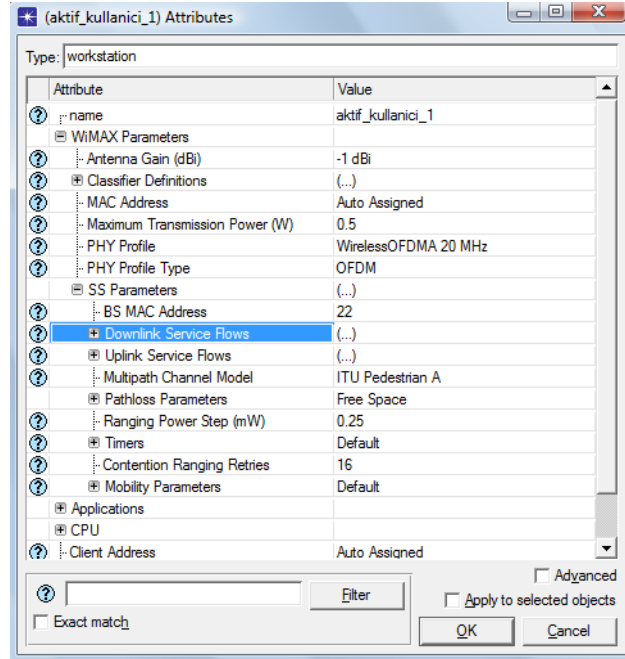
Şekil 6.8: Application definition aracı.

Base Station üzerinden verici ile ilgili bir çok farklı tanımlama yapılabilir. WIMAX özellikleri, IP özellikleri, routing özellikleri, CPU özellikleri v.b bir çok farklı özellik tanımlanabilir. WIMAX özellikleri içerisinde desteklediği servis klaslar, kullanıcı sayısı, MAC adresi, WIMAX configuration aracında tanımlanan fiziksel profillerden hangisini kullanacağı tanımlanabilir.



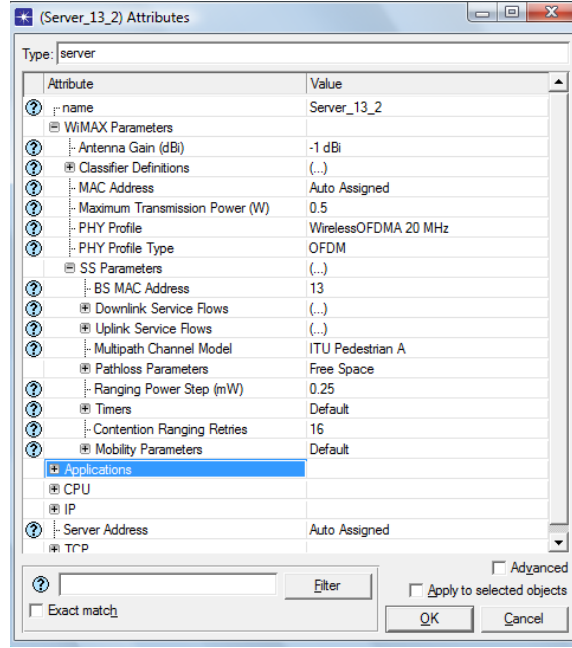
Şekil 6.9: WIMAX base station aracı

WIMAX SS Workstation aracı ile WIMAX kullanıcısı tanımlanır. Hangi türden tarifi üretmesi isteniyorsa Profile Definition'da tanımlanmış profillerden biri kullanıcıya atanır, hangi Base Station'a bağlı olacağı, hangi servis flow'u kullanacağı, WIMAX Config'de hazırlanmış hangi fiziksel profili kullanacağı belirtilir.



Şekil 6.10 : WIMAX SS Workstation

WIMAX SS server ise networkte oluşturulan trafiklerin sonlanabileceği bir server hizmetini sağlayan araçtır. SS Workstation gibi hangi BS'a bağlı olacağı, hangi profilleri destekleyebileceği, hangi servis flow tiplerini destekleyeceği belirtir.



Şekil 6.11: WIMAX SS server aracı

6.2.2. Ağ modeli tasarımı

İki tip ağ tasarlanmıştır. Birinci tip ağ her haneye ortalama 2 Mbps'lık bir erişim hizmeti vermeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla Sistemin anlık yükünü hesaplamak için overbooking katsayısının da hesaplanması gerekmektedir.

Bir gölgeye Internet servisi verilirken, bölgeye sağlanacak data bant genişliğini her insanın aynı anda maksimum seviyede bant genişliği kapasitesini kullanacağı yönünde hesaplanmaz. Kullanıcıların aynı anda toplam kapasitenin %5 'i kadar kullanacağı hesaplanır. Bu yöntem bütün internet sağlayıcılar tarafından bir bölgeye internet yatırımı yapılmadan önce hesaplanır.

$$\text{Kişi başı anlık kullanım} = \text{Toplam kapasite} * 0,05$$

Çalışma bölgemizde toplam hane sayısı 5941 olarak verilmiştir. Bu bağlamda anlık kullanılan bant genişliği 594,1 Mbps olarak hesaplanmaktadır (çizelge 6.2) Bir Base Station kapasitesi 75 Mbps olduğuna göre çalışma bölgemizde 10 adet BS kullanılması gerekmektedir.

Diğer tasarlanan proje ise evlerde kullanılan akıllı cihazlar (Intelligent Device – ID) aracılığı ile evlere ait elektrik sayaç okuma, uzaktan otomasyon, uzaktan gözlemleme işlemlerinin yapılabilirdiği birer mini erişim sistemlerinin kurulmasıdır. Bu sistemler daha basit ve anlık olarak maksimum 200 kbps’lık data akışına ihtiyaç duyan sistemler olarak tasarlandı. ID’lar için gerekli toplam kapasite 59,410 Mbps olarak hesaplandı (çizelge 6.2) . Bu tür bir ağ için 1 BS yeterlidir.

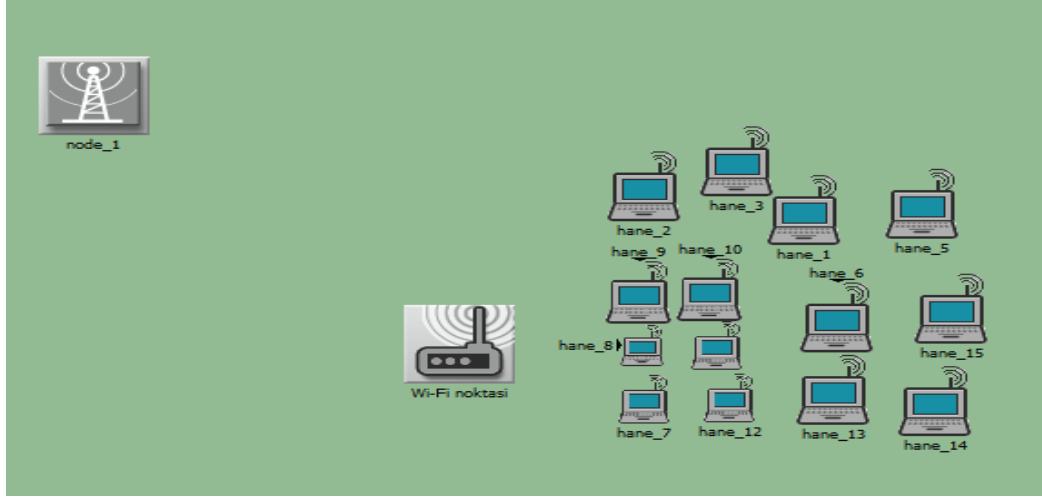
Çizelge 6.2: Anlık maksimum kapasite ve bu kapasite için gerekli BS sayısı

	Hane sayısı (toplam)	Hane Başı BW (kbitps)	Overbooking katsayısı	Anlık Maksimum kapasite ihtiyacı(kbps)	BS max anlık BW	Gerekli BS adeti
internet Erişimi	5941	2000	0,05	594100	75000	10
Akıllı Cihaz (ID) erişimi	5941	200	0,05	59410	75000	1

Merkezde 15 hanenin bir apartman ve köylerde her beş evin bir apartman teşkil ettiği hesaplanarak oluşturulmuş bir yapıyı belirtmiştik. Apartmanlarda evlerin bağlı olduğu bir Wi-Fi erişim noktası aracılığı ile Wi-max sistemine katılmaları sağlanınca (şekil 6.12) merkez ve köylerdeki toplam erişim noktası ve kapasiteler çizelge 6.3 ile gösterilmiştir.

Çizelge 6.3 : Merkez ve köy yerleşkelerinde kullanıcı adetleri ve maksimum anlık veri transfer hızları

	Müstakil Hane (MH)	MH Erişim Hızı	Apartman	Anlık Apartman başına Erişim Hızı (kbps)	Anlık Toplam Erişim hızı
Merkez					
ID Erişimi	0	0	154	150	23100
Internet Erişimi	0	0	154	1500	231000
Köyler					
ID Erişimi	866	86600	555	50	27750
Internet Erişimi	866	86600	555	500	277500



Şekil 6.12: Wi-Fi noktası aracılığı ile hanelerin BS noktasına erişimi.

Apartmanlar Wi-Fi aracılığı ile müstakil evler ise BS ile direkt Wi-Fi aracılığı ile veri alışverişinde bulunmaktadır. Wi-Fi ve Wi-max erişimi sağlayan iki grubu, standart ve aktif olmak üzere trafik üretme kapasiteleri de farklı iki alt gruba ayırmıştır. Standart kullanıcıların web erişimi ve data erişimi şeklinde trafik üretirken aktif kullanıcılar ayrıca video ve ses trafiği de üretecek şekilde ayarlanmıştır.

Her bir köyde ve merkezde trafo bilgilerinin aktarıldığı bir trafo erişim noktası ve güvenlik ihtiyaçlarının sağlanması için birer kamera noktası bulundurulmuştur.

Çizelge 6.4 : İlçe merkezi ve köylerdeki Kullanıcı profilleri

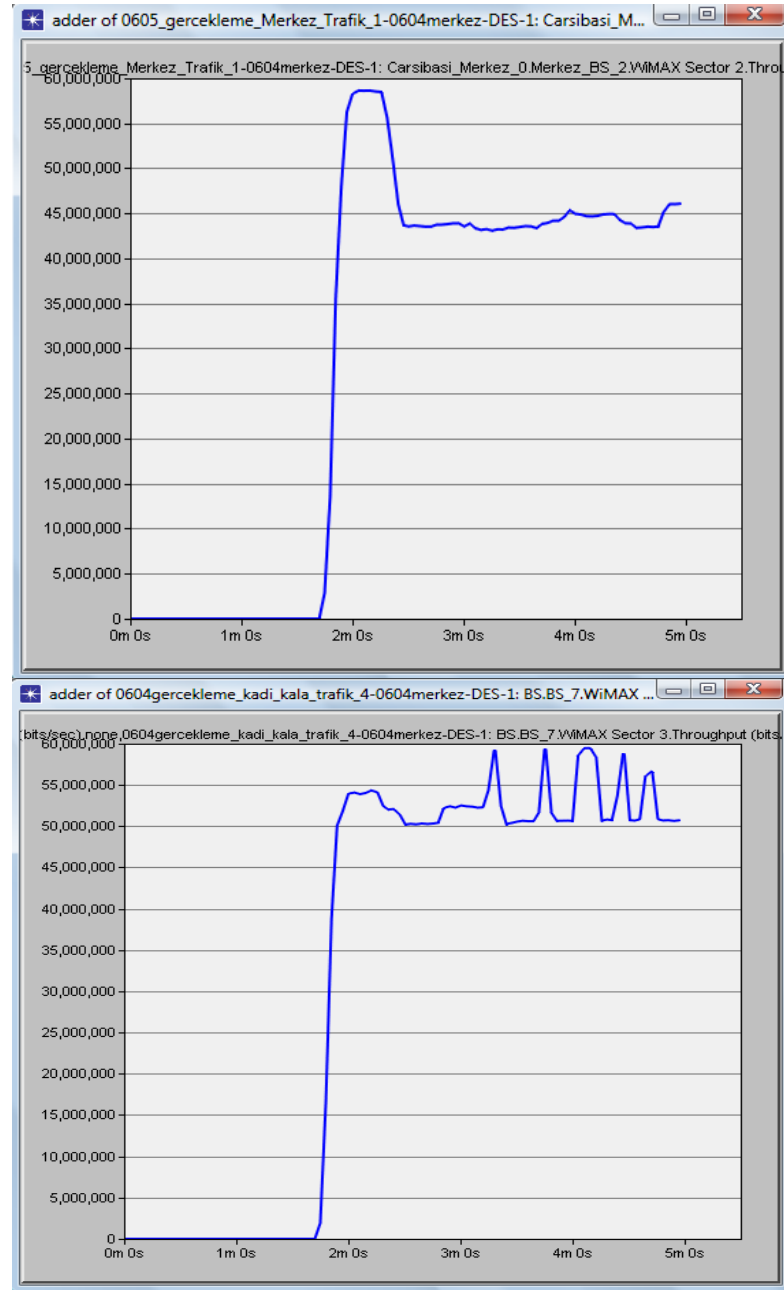
Yerleşim Yeri	Hane Sayısı	Apartman (wi-Fi noktası) (5 hane 1 apartman)	Müstakil (WIMAX- ws)	Toplam Son Nokta	Wi-Fi Standart kullanıcı sayısı	Wi-Fi Aktif Kullanıcı sayısı	Müstakil standart kullanıcı sayısı	Müstakil aktif kullanıcı sayısı
Merkez	2300	154	0	154	116	38	0	0
Çallıköyü	56	9	11	20	7	2	9	2
Erenköy	101	16	21	37	12	4	16	5
Fener Köyü	428	65	103	168	49	16	78	25
Gülbahçe	148	23	33	56	18	5	25	8
Kadıköy	346	52	86	138	39	13	65	21
Kaleköy	282	43	67	110	33	10	51	16
Kavaklıköy	270	41	65	106	31	10	49	16

Çizelge 6.4 (devamı) : İlçe merkezi ve köylerdeki Kullanıcı profilleri

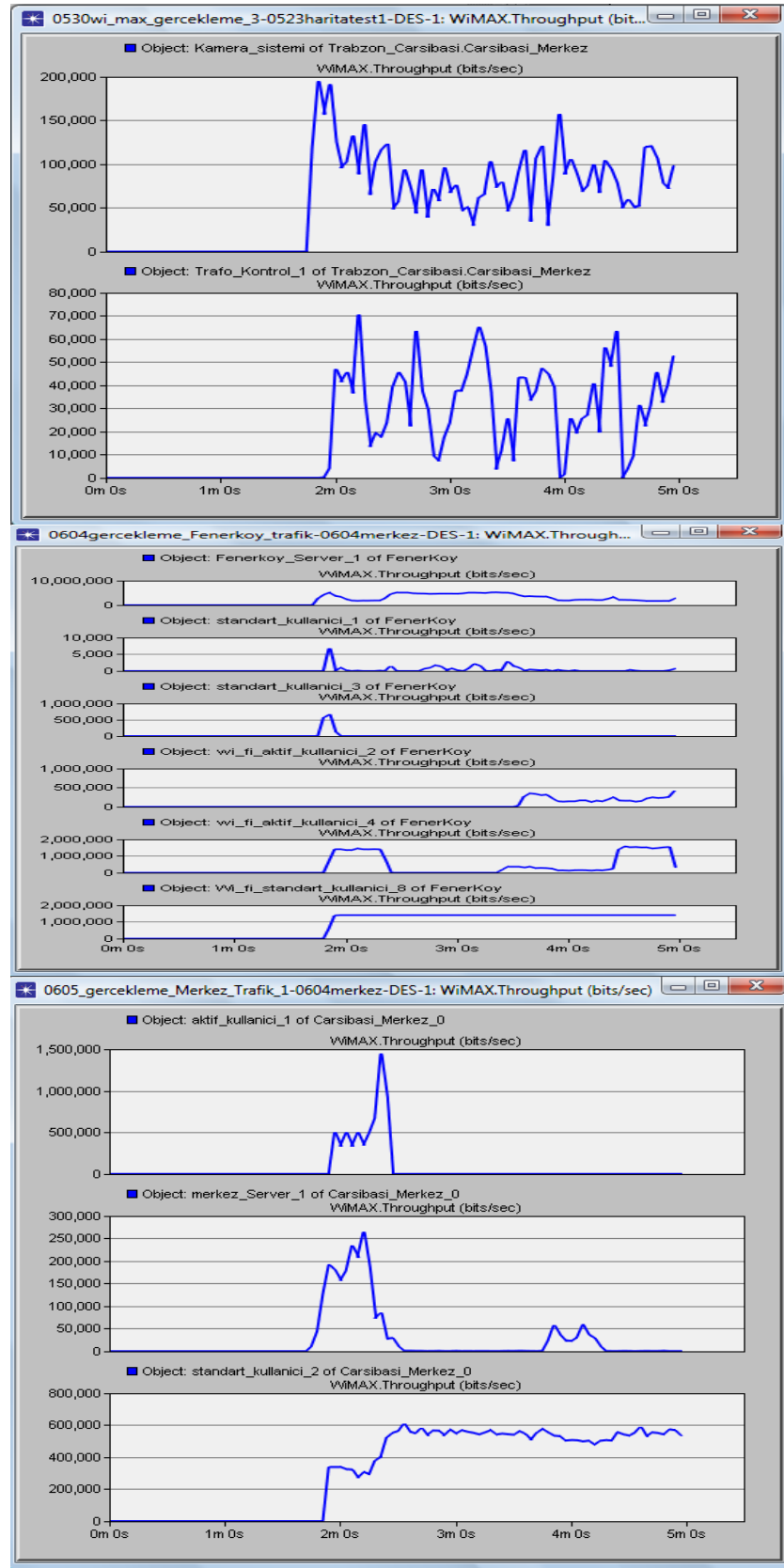
Kovanlı	235	36	55	91	27	9	42	13
Küçükköy	84	13	19	32	10	3	15	4
Pınarlı	84	13	19	32	10	3	15	4
Samsun	98	15	23	38	12	3	18	5
Serpil	235	36	55	91	27	9	42	13
Şahinli	220	33	55	88	25	8	42	13
Taşlitepe	94	15	19	34	12	3	15	4
Veliköy	99	15	24	39	12	3	18	6
Yavuzköy	635	96	155	251	72	24	117	38
Yeniköy	126	19	31	50	15	4	24	7
Yayla	100	15	25	40	12	3	19	6

6.2.3. Simülasyon sonuçları

İnternet erişiminin simule edildiği İlk ağda her biri 3 sektörlü ve OFDM olarak çalışan toplam 10 BS aracılığı ile merkez ve köylerde oluşturulan trafik taşınabilmiştir. Kullanıcıların ürettikleri trafiklere örnek teşkil etmesi için üretilen trafik değerlerini gösteren birkaç grafik ve BS tarafından işlenen trafikler aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.

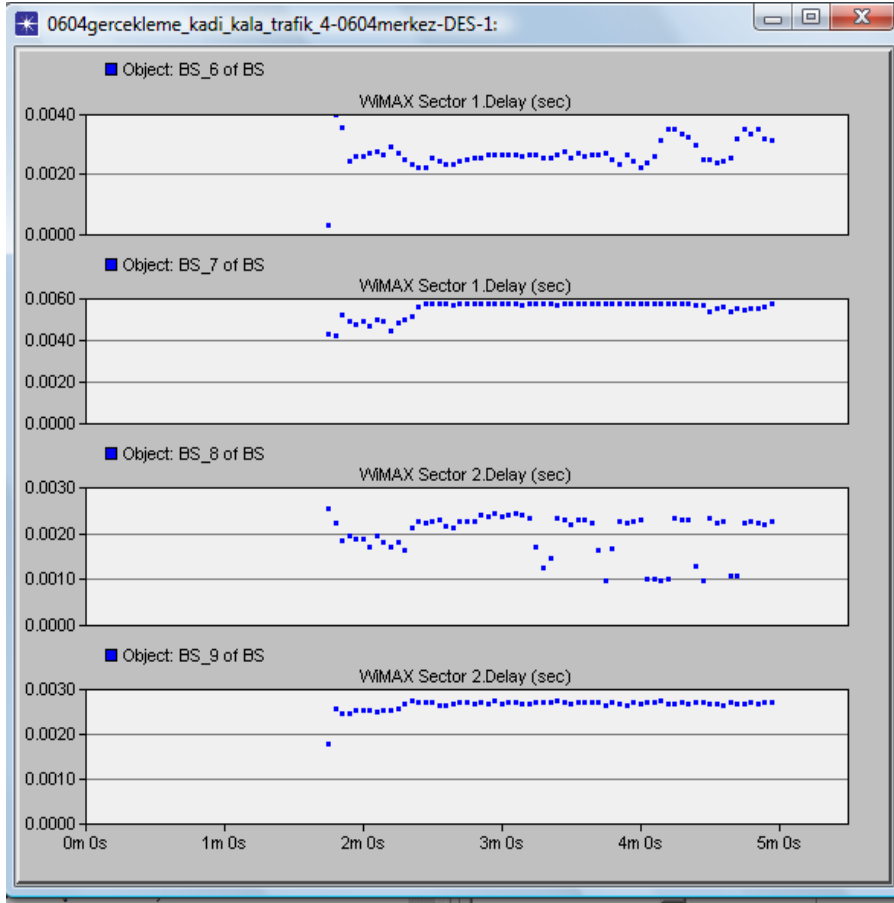


Şekil 6.13 : BS throughput değerleri



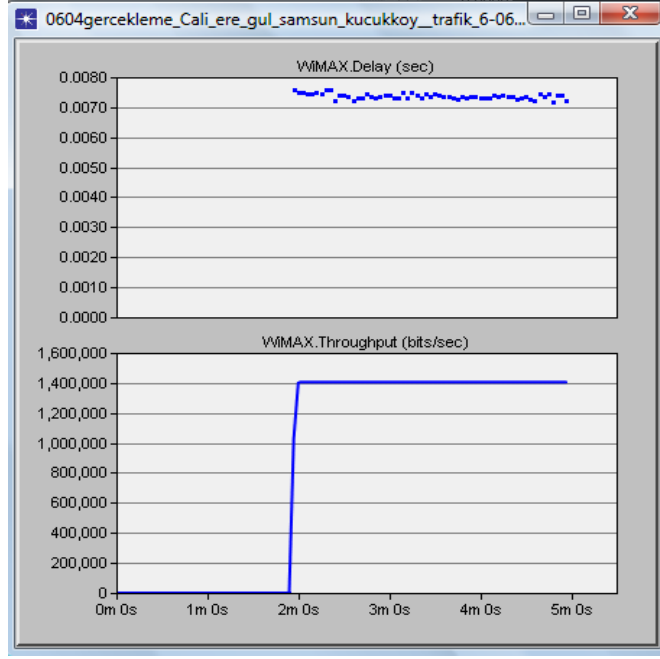
Şekil 6.14: Kullanıcıların ürettikleri trafiklerin throughput değerleri

Görüldüğü gibi random olarak üretilen trafikler BS2larda ortalama 60 Mbps'lık bir yük oluşturmaktadır. Bu yüklerdeki trafiklerin oluşturduğu gecikme süreleri ise milisaniyeler mertebesinde ki bu ağın başarılı olduğunu göstermektedir. (şekil 6.15)



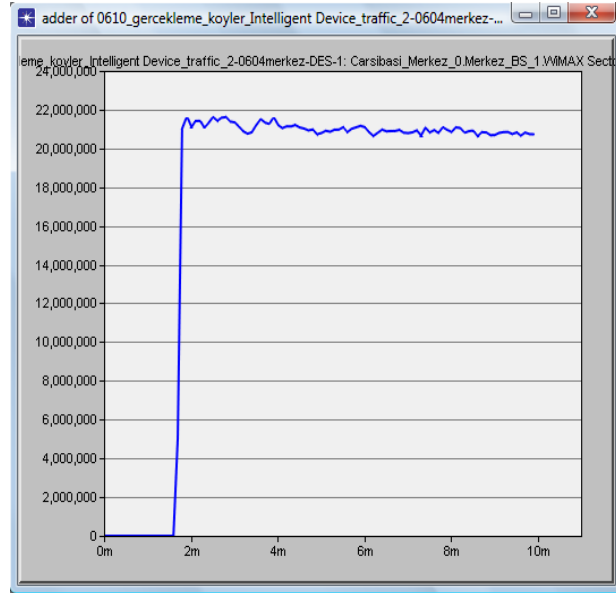
Şekil 6.15: BS gecikme süreleri.

BS'dan uzaklığı 8 km olan Gülbahçe'deki bir aktif kullanıcıya ait kullanım ve gecikme süreleri de Şekil 6.16 'de görüldüğü gibi optimum değerlerdedir.

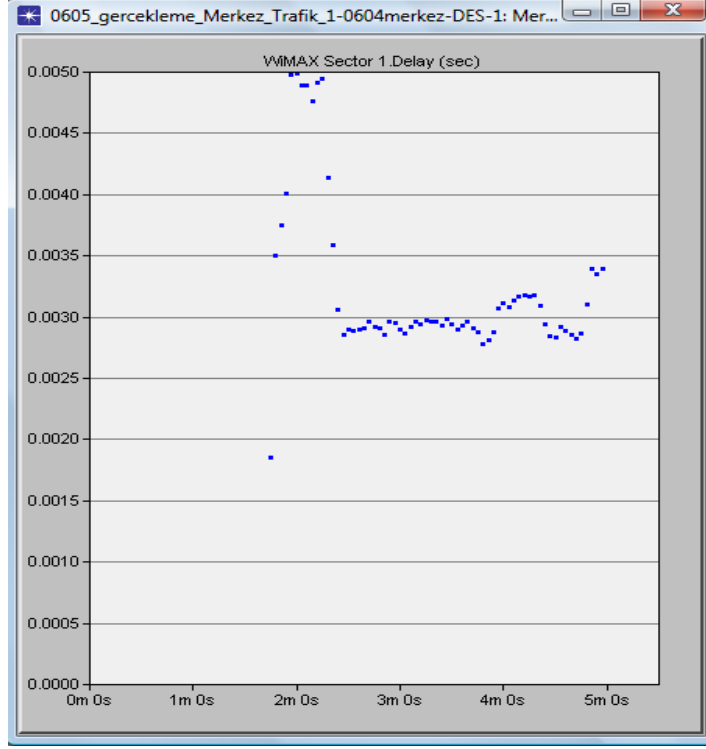


Şekil 6.16 : Gülbahçe aktif kullanıcı

İkinci olarak tasarlanan yapı sadece Çarşıbaşı Merkez tarafı simule edilmiştir. Akıllı cihazlardan oluşan tasarımda Merkez'deki ID cihazlar BS'da toplam olarak yaklaşık 22Mbps'lık aktif trafik oluşmuştur (Şekil 6.17)



Şekil 6.17 : BS throughput değeri.



Şekil 6.18: BS gecikme süresi

Tasarımın başında hesaplanan trafik değerlerine binaen oluşturulan her iki yapıda da istenilen düzeydeki trafiklerin Wi-max ve Wi-Fi Hibrid yapıdaki ağ tasarımı ile taşınabileceği görülmüştür. Tasarımın yapıldığı ilçe 20 km² lik bir alana sahiptir. BS yayın alanının 50 km² olması sebebi ile Hem Wi-max hem de Wi-Fi erişim noktalarının sorunsuzca trafik alışverişinde bulunduğu trafik gecikme sürelerinden de rahatca anlaşılabilmektedir.

7. SONUÇ ve ÖNERİLER

Tez çalışmamızın ikinci bölümünde Kablosuz iletişim teknolojisi tanımlanmış, kablosuz iletişime ait temel kavramlara yer verilmiştir. Üçüncü bölümde IEEE komitesinin 802.11 Yerel Alan Ağı Standardı incelenmiştir. Dördüncü bölümde de 802.16 Metropolitan Alan Ağı Standardı incelenmiştir. Beşinci bölümde ise kablosuz iletişim teknolojisinin uygulama alanlarına yer verilmiştir. Altıncı ve son bölümde ise WIMAX ve Wi-Fi tabanlı hibrit bir model tasarlanmış, OPNET ile simule edilmiş ve sonuçlar incelenmiştir.

Kablosuz iletişim ile veri transferi basit bir S.O.S işaretinin iletimi ile başlamış günümüzde geliştirilen yöntemlerle kilometrelere varan uzaklıklara veri, ses ve video görüntüsünün taşınabildiği bir teknoloji haline gelmiştir. Kablosuz ortamlarda veri taşınmasında iletim ortamı hava olduğu için, klasik ağ topolojilerinde karşılaşılan kablolanmanın getirdiği kısıtlamalar ortadan kalkmıştır. Bu durum daha esnek ağ yapılarının oluşturulmasına imkan sağlamıştır.

Kablosuz ortamın getirdiği etkileşim, gürültü gibi sorunlar vardır. Bu sorunlar IEEE komitesinin tanıttığı 802.11 yerel alan ağları ve 802.16 metropolitan alan ağları standartlarında uygulanan düz sıralı yayılmış spektrum, kod bölmeli çoklu erişim ve ortogonal frekans bölmeli çoklama yöntemleri ile giderilmiştir. Ayrıca bu yöntemlerle yüksek veri hızlarında çoklu erişim imkanları sağlanmıştır. Bununla beraber, Çoklu Giriş Çoklu Çıkış tipi anten yapıları ile ekta hız oranlarına erişilmiştir.

Wi-Fi olarak bilinen IEEE 802.11 standardı geniş bir şekilde yerel alan ağlarında kullanılmaktadır. 2009 ekim ayında en son 802.11 standardı olarak lanse edilen 802.11n ise sağladığı 600 Mbps hız ve 250 m 'ye varan erişim mesafesi ile yakın zamanda küçük bir yerleşim birimine tek noktadan erişim hizmeti vermeye aday bir teknolojidir.

WIMAX olarak anılan IEEE 802.16 standardı ise sağladığı 50km erişim mesafesi ve 75 Mbps iletim oranı ile uzak mesafe iletişimde kablosuz erişim olanağı sağlar. Bu sayede WIMAX tamamen kablosuz iletişim teknolojisi oluşturulmuş ağ yapılarına olanak tanır. WIMAX, kablolu erişim için gerekli kablo ile bağlı olma zorunluluğunu kaldırdığı için coğrafi sebeplerden hizmet götürülemeyen yerler için de bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tez çalışmasının son bölümünde kablosuz iletişim ağına bağlı bir model geliştirilmiştir. Günümüzde hala coğrafi sebeplerden dolayı veri erişiminin sağlanamadığı kırsal bölgeler düşünülerek bir yapı oluşturulmuştur. Bu model için Trabzon'un Çarşıbaşı örnek alan olarak seçilmiştir. Bölgeye WIMAX aracılığı ile verilebilecek iki tip hizmet tasarlanmıştır.

İlk model yüksek erişim hızı ve uzun erişim mesafeleri göz önüne alınarak bir bölgeye verilebilecek ses, video ve veri erişimi hizmeti için tasarlanmıştır. Hane başına 2Mbps bant genişliğinde veri transferi sağlamak için yapılan ön hesaplar sonucu bölgeye 10 BS'dan müteşekkil bir WIMAX altyapısının yeterli olacağı öngörülmüştür. Yapılan simülasyon analizlerinde her biri ortalama 60 Mbps doluluk ile çalışan 10 BS'ın bu hizmeti vermeye elverişli olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen veri transferi gecikme süreleri 20 ila 30 ms arasında seyretmiştir. Böylece 10 BS'dan müteşekkil bir WIMAX altyapısının, 5941 haneli Çarşıbaşı ilçesinin hane başı 2Mbps olarak hesaplanan veri erişimi gereksinimini başarı ile sağlayabildiği görülmüştür.

BS'dan 8 km uzaklıktaki Gülbahçe köyündeki bir kullanıcı incelendiğinde de 30 ms civarlarındaki gecikme süreleri ile trafiğin taşındığı gözlemlenmiş böylece uzak mesafelere internet erişiminin de rahatlıkla sağlanabildiği gözlemlenmiştir.

İkinci model olarak; hanelerin uzaktan izlenmesi ve kontrolü ayrıca elektrik, su sayaçlarının okunması ve kontrolü işlemlerini gerçekleştiren akıllı cihazların oluşturduğu bir altyapı tasarlanmıştır. Böyle bir sistem için hane başı 200 kbps'lık bir trafik kapasitesi hesaplanmış, merkez için 23,1 Mbps köyler için 27,75 Mbps anlık trafik kapasitesi öngörülmüştür. Böyle bir altyapı için sadece 1 BS yeterli görülmüştür. Tasarlanan yapı Çarşıbaşı merkez için simule edildiğinde BS'da

ortalama 30 ms gecikme süreleri ile 22 Mbps'lık bir trafik olduğu gözlemlenmiştir. 1 BS ile akıllı cihazlardan müteşekkil bir yapının taşınabileceği gözlemlenmiştir.

Bu tezde Wimax ağlarının güvenlik ve ücret tarafı incelenmemiş esneklik ve performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Modellemeler ve simulasyon sonucunda, iyi planlanmış bir WIMAX altyapısı ile herhangi bir kapasite sorunu olmadan yüksek performansta veri hizmeti sağlanabildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca kabloya bağlı bir sistem olmaması, herhangi bir noktadaki kullanıcının Wi-Fi aracılığı ile veya direk olarak WIMAX aracılığı ile erişim sağlayabilmesi, WIMAX'ın esnek bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **IEEE Committee**, 2008. IEEE 802-LMSC overview and guide 01.document, IEEE USA.
- [2] **Marks, R.**, 2007. IEEE 802.16 Working group process, status, and technology ; National Institute of Standards and Technology (U.S)
- [3] **Olenewa, J. and Ciampa, M.**, 2007. Guide to Wireless Communications (2.nd ed), Thomson Technologies, Boston U.S
- [4] **Litvin L. and Pugel M.**, 2001. The princibles of OFDM, www. Rfdesign.com , 20 Ağustos 2009
- [5] **IEEE standart 802.16**, 2004. Part 16 air interface for fixed broadband wireless access systems, IEEE 802.11 Standard Committee, U.S.
- [6] **Ohrtman F.**, 2005. Wimax Handbook , Building 802.16 wireless networks , McGraw Hill Companies, U.S
- [7] **Pinola J. And Pentikousis K.** 2008. Mobile Wimax ,The Internet Protocol Journal, Volume 11, No.2,
http://www.cisco.com/web/about/ac123/ac147/archived_issues/ipj_11-2/112_wimax.html, 5 Kasım 2009
- [8] **Sofer E. and Segal Y.**, 2005. Tutturial multi access OFDM (OFDMA) technology , IEEE 802.22 Wireless RANs, doc:IEEE802.22-05005r1, 2005-01-04., Israil
- [9] Çarşıbaşı Kaymakamlık web sitesi , Mart 2010, <http://www.carsibasi.gov.tr/>.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Hüseyin Fethi Bayburtlu

Doğum Yeri ve Tarihi: Ermenek/Konya – 18.07.1983

Adres: Kalaycı Nuri Sokak no 5 kat 4 İstanbul/Tarabya

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi Elektronik Mühendisliği