

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

**KABLOSUZ HABERLEŞME YÖNTEMLERİ VE
IEEE 802.16 PROTOKOLÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elek.-Elektr. Müh. İbrahim Hakkı SALTABAŞ

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEK.-ELEKTR. MÜH.
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK
Tez Danışmanı : Yar. Doç. Dr. Cabir VURAL**

Eylül 2007

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KABLOSUZ HABERLEŞME YÖNTEMLERİ VE
IEEE 802.16 PROTOKOLÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elk.-Elektr. Müh. İbrahim Hakkı SALTABAŞ

Enstitü Anabilim Dalı : ELK.-ELEKTR. MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK

Bu tez 12 / 09 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Yrd. Doç Dr. Cabir VURAL
Jüri Başkanı**

**Prof. Dr. Osman ÇEREZCİ
Üye**

**Prof. Dr. Abdullah FERİKOĞLU
Üye**

ÖNSÖZ

Günümüzde geniş-bant bağlantı ihtiyacının artması, bağlantı yapılacak yerlerin birbirlerine uzak olması ve kablolu olarak tasarlanan ağların tasarım, tesis ve işletme maliyetlerinin yüksekliği bilişim teknolojilerinde faaliyet gösteren firmaların kablosuz ağlar üzerinde araştırma yapmalarına yol açmıştır. 1990'lı yılların başında sadece noktadan noktaya kablosuz bağlantılar kullanılır durumda iken günümüzde şehirleri kapsayan, mobil cihazların birbirleri ile görüşebilmesine olanak veren kablosuz ağlar oluşturulabilmektedir. İlerleyen yıllarda kablosuz ağların mevcut sorunları da (güvenlik, işaret seviyesi, lisanslama) aşılırsa kablonun ulaşamadığı yerlere de geniş-bant bağlantısı verilebilecektir.

Tezin hazırlanması aşamasında bana her türlü desteği veren ve ufkumu açmama yardımcı olan danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Cabir Vural'a, moralimi her zaman yüksek tutmama yardım eden ve ilgi ve desteğini esirgemeyen eşim Süheyla Saltabaş'a ve çalışmalarımı sürdürmemde bana her türlü imkânı sağlayan Bursa İl Telekom Müdürlüğü yöneticileri ve camiasına teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
KABLOSUZ AĞLAR.....	3
2.1.Kablosuz Ağların Gelişimi	3
2.2. Kablosuz Ağ Türleri	4
2.2.1. Sabit ağ	4
2.2.2. Nomadik ağlar	5
2.2.2.1. 802.11 standardına genel bakış	6
2.2.2.2. 802.16 standardına genel bakış	13
2.2.3. 10 – 66 GHz teknik standartları	16
2.2.4. 2 – 11 GHz standardı	16
2.2.5. Mobil ağlar	17
2.2.6. Standart temelli çözümler ve tescilli çözümler	17
BÖLÜM 3.	
IEEE 802.16 STANDARDININ TEKNİK ANALİZİ.....	19
3.1. Frekans Bantları	19

3.1.1. 10 – 66 GHz Lisanslı bantlar	19
3.1.2. 11 GHz Altındaki lisanslı frekanslar	19
3.1.3. 11 GHz altındaki lisans harici frekanslar (Öncelikli olarak 5-6 GHz)	20
3.2. Referans Modeli.....	20
3.2.1. Medya giriş kontrolü (Media access control – MAC)	22
3.2.1.1. MAC katmanı teknik detayları	23
3.2.2. Fiziksel katman	28
3.2.2.1. 10-66 GHz frekans aralığı	28
3.2.2.2. 2-11 GHz frekans aralığı	28
3.2.2.3. Fiziksel katman teknik detayları	29
3.2.2.4. PHY desteği ve çerçeve yapısı	33
3.2.4. Radyo bağlantı kontrolü	34
3.2.5. Veri indirme bağlantıları programlama servisleri	37
3.2.6. Bant henişliği talepleri ve tahsisler	39
3.2.7. Kanal kazanımı	41
3.2.8. SS Yeteneklerinin ilk sıralaması ve devretmesi	42
3.2.9. SS Yetkilendirme ve kayıt	42
3.2.10 IP Bağlanabilirliği	43
3.2.11. Bağlantı kurulumu	43
3.2.12. Gizlilik alt-katmanı	44
3.2.12.1. Güvenlik birliği	44
3.2.12.2. Şifreleme yöntemleri	44
3.3. OFDM Tekniği.....	45

BÖLÜM 4.

SİSTEM UYGULAMASI, TEST VE OPTİMİZASYON	48
4.1. Gerçek Sistem Örnekleri	48
4.1.1. Örnek 1: Kafeterya	48
4.1.2. Ofis yerel ağı kurulumu	50
4.1.2.1. 2.4 GHz RF kapsama alanı sonuçları	55
4.1.2.2. 5.6 GHz RF kapsama alanı sonuçları	55

4.1.3. Örnek 2: Küçük bir alandaki topluluk için yerel ağ kurulumu	56
4.1.3.1. Cihaz seçimi	56
4.1.3.2. Sistem planlama	57
4.1.4. Örnek 3: Kentsel veya yöresel alanları ticari kullanıcılara	58
sunma	
4.1.4.1. Spektrum analizi	59
4.1.4.2. Tasarım fikirleri	60
4.1.5. Örnek 4: Müşteriler ve ticari kullanıcılar için küçük şehir	61
çözümü	
4.1.6. Lisans-dışı IEEE 802.16 standardı çözümü ve Bursa iline	62
uygulanması.....	
4.1.6.1. Birden fazla lisans-dışı kablosuz ağın bir arada	65
bulunması durumu	
4.1.6.2. Anten teknolojileri kullanılan lisans-dışı WIMAX	66
çözümleri	
4.1.6.3. Bursa ili için tasarlanmış WIMAX çözümü	69
4.1.7. Özet	71
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR.....	74
ÖZGEÇMİŞ.....	75

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AAS	: Adaptive Antenna System (Uygun Anten Sistemi)
AP	: Access Point (Erişim Noktası)
ARQ	: Automatic Repeat Request (Otomatik Tekrar İsteği)
ATM	: Asynchronous Transfer Mode (Eşzamanlı Aktarım Modu)
BPSK	: Binary Phase-Shift Keying (İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama)
BS	: Base Station (Baz İstasyonu)
BWA	: Broadband Wireless Association (Kablosuz-Geniş bant Birliği)
C/I	: Carrier to Interference (Taşıyıcı Gürültü Oranı)
CAT5	: Category 5 Cable (Kategori 5 Kablo)
CBC	: Cipher Block Chaining (Şifreleme Blok Zinciri)
CBR	: Constant Bit Rate (Sabit Bit Oranı)
CC&R	: Codes, Covenants and Restrictions (Kodlar, Gözlemler ve Sınırlama)
CCK	: Complementary Code Keying (Tamamlayıcı Kod Anahtarlama)
CDMA 2000	: Code division multiple access (Kod Bölmeli Çoklu Giriş)
CF	: Compact Flash (Sıkıştırılmış Bellek)
CID	: Connection Identifier (Bağlantı Kimliği)
CLEC	: Competitive Local Exchange Carrier (Rekabetçi Yerel Taşıyıcılar)
CPE	: Customer Premise Equipment (Müşteri Arabirimi)
CPS	: Common Part Sublayer (Ortak Bölüm Alt Katmanı)
CRC	: Cyclic Redundancy Check (Dairesel Fazlalık Kontrolü)
CS	: Convergence Sublayer (Çevirme Alt katmanı)
CSMA/CA	: Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance (Taşıyıcı Duyarlı Çoklu Erişim / Anlaşma İptali)

CV	: Check Value (Kontrol Değeri)
DAMA	: Demand Assigned Multiple Access (İsteğe Gre Tahsis Edilen Çoklu Erişim)
DES	: Data Encryption Standart (Veri Şifreleme Standardı)
DFS	: Dynamic Frequency Selection (Dinamik Frekans Seçimi)
DHCP	: Dynamic Host Configuration Protocol (Dinamik Sunucu Yapılandırma Protokolü)
DIUC	: Download Interval Usage Code (Veri İndirme Aralığı Kullanım Kodu)
DOSCIS	: Data Over Cable Service Interface Specifications (Kablo zerinden Verilen Servis Arayzleri Sınıflandırması)
DPBC-REQ	: Downlink Burst Profile Change Request (Veri İndirme Patlamalı Profili Değişiklik Talebi)
DPC	: Dynamic Power Control (Dinamik Gc Kontrolü)
DSL	: Digital Subscriber Line (Sayısal Abone Hattı)
Eb/No	: Energy per Bit to Noise Ratio (Bit Enerjisi Gürültü Oranı)
EIRP	: Effective Isotropic Radiated Power (Isotropik Yayılan Etkili Gc)
FCC	: Federal Communications Commission (Birleşik Haberleşme Kurumu)
FDD	: Frequency Division Duplexing (Frekans Bölmeli İkileme)
FEC	: Forward Error Correction (İleri Hata Kontrolü)
FFT	: Fast Forier Transform (Fast Forier Dnşm)
GFR	: Guaranteed Framen Rate (Garanti Edilmiş Çeręeve Oranı)
GPC	: Grant Per Connection (Bağlantı Başına Tahsis)
GPSS	: Grant per Subscriber Station (Abone İstasyonu Başına Tahsis)
FSL	: Free Space Loss (Açık Hava Kaybı)
HEC	: Header Error Check (Başlık Hatası Kontrolü)
HMAC	: Hashed Message Authentication Code (Karışmış Mesaj Belgeleme Kodu)
ICI	: Inter-carrier Interference (Taşıyıcılar Arası Etkileşim)

IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Enstitüsü)
IFFT	: Inverse Fast Forier Transform (Ters Fast Forier Dönüşümü)
IP	: Internet Protocol (Internet Protokolü)
ISI	: Inter-symbol Interference (Simgeler Arası Etkileşim)
ISP	: Internet service provider (Internet Servis Sağlayıcısı)
IT	: Internet Technology (Internet Teknolojisi)
LAN	: Local Area Network (Yerel Alan Ağı)
LOS	: Line of Sight (Görüş Alanında Olan)
MAC	: Media Access Control (Medya Giriş Kontrolü)
MAN	: Metropolitan Area Network (Metropol Alan Ağı)
MDU	: Multiple Dwelling Units (Çoklu Yerleşim Ünitesi)
MPLS	: Multiprotocol label switching (Çoklu-protokol Katman Anahtarlama)
NAT	: Network Adress Translator (Ağ Adresi Çeviricisi)
NDA	: Nondisclosure Agreement (Bildirimi Yapılmamış Anlaşma)
NLOS	: Non Line of Sight (Görüş Alanında Olmayan)
OFDM	: Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama)
OS	: Operation System (İşletim Sistemi)
PBX	: Phone Box (Telefon Kutusu-Santral)
PC	: Personal Computer (Kişisel Bilgisayar)
PCI	: Peripheral Component Interconnect (Çevre Birimleri Bağlantı Kartı)
PCS	: Personal Communication Service (Kişisel Bağlantı Servisi)
PDA	: Personal digital assistants (Kişisel Sayısal Asistan)
PDU	: Protocol Data Unit (Protokol Veri Ünitesi)
PHS	: Payload Header Suppression (Veri Başlığı Gizleme)
PHY	: Physical Layer (Fiziksel Katman)
PKM	: Privacy Key Management (Gizlilik Anahtar Yönetimi)

PMP	: Point to Multipoint (Tek Noktadan Çok Noktaya)
PPP	: Point to Point (Noktadan Noktaya)
PSK	: Phase-Shift Keying (Faz Ötelemeli Anahtarlama)
PTP	: Point to Point (Noktadan Noktaya)
QAM	: Quadrature amplitude modulation (Dördül Genlik Modülasyonu)
QoS	: Quality of Service (Servis Kalitesi)
QPSK	: Quadrature Phase Shift Keying (Dördül Faz Ötelemeli Anahtarlama)
RF	: Radio Frequency (Radyo Frekansı)
RLC	: Radio Link Control (Radyo Bağlantı Kontrolü)
RNG-REQ	: Ranging Request (Sıralı Talep)
RNG-RSP	: Ranging Response (Sıralı Cevap)
RTS/CTS	: Request to Send / Clear to Send (Gönderme Talebi / Gönderim İptali)
SA	: Security Associations (Güvenlik Birlikleri)
SAP	: Service Access Point (Servis Erişim Noktası)
SAS	: Security Association Support (Güvenlik Yetkilendirme Desteği)
SD	: Secure Digital (Güvenli Sayısal)
SDMA	: Space-division Multiple Access (Uzay Bölmeli Çoklu Erişim)
SDU	: Service Data Unit (Servis Veri Ünitesi)
SFID	: Service Flow Identifier (Servis Akış Kimliği)
SNMP	: Simple Network Management Protocol (Basit Ağ Yönetim Protokolü)
SNR	: Signal to Noise (Sinyal Gürültü Oranı)
SOHO	: Small Office / Home Office (Küçük Ofis / Ev Ofis)
SS	: Subscriber Station (Abone İstasyonu)
SSID	: Service Set Identifier (Servis Açma Kimliği)
TCP/IP	: Transmission Control Protocol / Internet Protocol (İletim Kontrol Protokolü / İnternet Protokolü)
TDD	: Time Division Duplexing (Zaman Bölmeli İkileme)

TDM	: Time Division Multiplexing (Zaman Bölmeli Çoğullama)
TDMA	: Time Division Multiple Access (Zaman Bölmeli Çoklu Erişim)
TFTP	: Trivial File Transfer Protocol (Önemsiz Dosya Transfer Protokolü)
TPC	: Turbo decoded Product Code (Turbo Kodlanmış Ürün Kodu)
UGS	: Unsolicited Grant Service (Talep Edilmeyen Tahsis Servisi)
UIUC	: Uplink Interval Usage Code (Veri Gönderme Aralığı Kullanım Kodu)
U-NII	: Unlicensed National Information Infrastructure (Lisans-dışı Ulusal Bilgi Altyapısı)
USB	: Universal Serial Bus (Evrensel Seri Veri Yolu)
VC	: Virtual Channel (Sanal Kanal)
VCI	: Virtual Channel Identifier (Sanal Kanal Kimliği)
VLAN	: Virtual Local Area Network (Sanal Yerel Alan Ağı)
VP	: Virtual Path (Sanal Yol)
VPI	: Virtual Path Identifier (Sanal Yol Kimliği)
WI-FI	: Wireless Fidelity (Kablosuz Bağlılık)
WIMAX	: Worldwide Interoperability for Microwave Access
WISP	: Wireless Internet Network Map (Kablosuz İnternet Ağ Haritası)
WLAN	: Wireless Local Area Network (Kablosuz Yerel Alan Ağı)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	IEEE 802.11b kanal yerleşimini gösteren 2.4 GHz frekans grafiği	8
Şekil 2.2a.	5.2. GHz IEEE 802.11a kanalları	10
Şekil 2.2b.	5.7 GHz IEEE 802.11a kanal yerleşimi	11
Şekil 3.1	SAP'leri gösterir IEEE Std. 802.16 protokol katmanları	20
Şekil 3.2.	MAC PDU başlığının genel yapısı	25
Şekil 3.3	Veri indirme bağlantısı alt-çerçeve yapısı	29
Şekil 3.4.	Veri gönderme bağlantısı alt-çerçeve yapısı	30
Şekil 3.5.	TC PDU yapısı	31
Şekil 3.6.	Minimum FDD harita gösterimi	32
Şekil 3.7.	Daha sağlam bir patlamalı profile geçiş	35
Şekil 3.8.	Daha az bir patlamalı profile geçiş	37
Şekil 3.9.	OFDM sistemi temel blok diyagramı	46
Şekil 4.1.	Birbirine yakın yerleşmiş iki sağlayıcının sunduğu lisans-dışı çözüm gösterimi	63
Şekil 4.2.	Doğru olarak tasarlanmış bir lisans-dışı WIMAX çözümü	64
Şekil 4.3.	Ağların bir arada olması durumu	65
Şekil 4.4.	Akıllı anten kullanılması ile esnekliğin sağlanması	67
Şekil 4.5.	IEEE 802.16 standardının Bursa ili merkezine uygulanması ..	69
Şekil 4.6.	IEEE 802.16 standardı donanım malzemeleri	71

ÖZET

Anahtar kelimeler: WIMAX, IEEE 802.16 protokolü, kablosuz ağlar

İnternetin yaygınlaştığı ve yüksek bant genişliğinin ihtiyaç halini aldığı günümüzde artık internete ve istenilen noktalara hem yüksek bant genişliği ile hem de kablosuz olarak bağlanabilme ihtiyacı da ortaya çıkmıştır. Standart belirleyici kurumlar ve üreticiler bu ihtiyacın giderilmesi amacıyla bir dizi çalışma sonrasında kablosuz ağların uyması gereken standartları belirlemiş ve gerekli donanımların üretilmesine hız verilmiştir.

Bu standartların en önemlilerinden ve en yenilerinden birisi de IEEE 802.16 standardıdır. 5-50 km çapında bir alanda kablosuz geniş bant ağ oluşumuna olanak sağlayan ve sistemin büyümesi noktasında büyük avantajlara sahip olan bu yeni nesil kablosuz ağlar dünyada ve ülkemizde giderek yaygınlaşmaktadır. Buna paralel olarak da üretici firmaların yaptığı sistem denemelerinin ve uygulamaların sayısı da artmaktadır.

WIRELESS COMMUNICATION METHODS AND IEEE 802.16 PROTOCOL

SUMMARY

Keywords: WIMAX, IEEE 802.16 protocol, wireless networks

Nowadays, in which the internet has become common and broad bandwidth has become a necessity, the need for both wireless and broadband access to the internet and to the desired points has emerged. Standards establishing institutions and manufacturers have determined the standards that the wireless network must satisfy after a certain amount of study and producing the required hardware has been speed up

One of the most important and the newest standards among these is IEEE 802.16. this new generation wireless networks, which provides broadband wireless network in a region having a diameter of 5-50 km. and have important advantage in terms of system capacity enlargement, have become more and more common in the world as well as in our country with parallel to this, the number of system tests and applications performed by the manufacturers has been increasing.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Yüksek bant genişlikli haberleşme ihtiyacının hızla arttığı günümüzde insanlar internet üzerinden işlerini takip etmekte, video, ses ve görüntü iletimi ile her türlü veri haberleşmesini yapmaktadır. Telefon kabloları üzerinden verilen geçmişteki dar bant internet erişiminin yerini, yine aynı bakır kablo üzerinden verilen DSL (Digital Subscriber Line – Sayısal Abone Hattı) teknolojileri ile fiber optik kablolar kullanılarak sağlanan geniş bant internet erişim seçenekleri almıştır. Ancak, artık küreselleşen dünyada bant genişliğinin yüksek olması yeterli bir ölçüt olmaktan çıkmıştır. Özellikle, geniş bant internet hizmeti iş dünyasında yoğun bir şekilde kullanılıyor olmasına karşın alınan hizmetin kablolarla bağlı olması ve kablolu yerel ağların genişlemesindeki yüksek maliyet, kablosuz veri transferi teknolojilerinin geliştirilmesine ve uygulama alanlarında kullanılmasına ihtiyaç doğurmuştur.

Bu ihtiyaç doğrultusunda yapılan araştırma ve geliştirmeler neticesinde çeşitli kablosuz ağ standartları oluşmaya başlamıştır. Günümüzde gelinen noktada noktadan-noktaya veri transferinde (kızılötesi, bluetooth, mikrodalga vs.) ve noktadan-çoklu noktaya veri transferinde (IEEE 802.11x, IEEE 802.16 vs) bir çok seçenek bulunmakta ve uygulamadaki ihtiyaca göre kullanılabilir. Her bir durumda maliyet ve uygulanabilirlik konusunda uygun olan çözümler tasarlanabilir.

Yeni bir kablosuz haberleşme teknolojisi olan IEEE 802.16 standardı, mevcut kablolu ağların genişleyebilmesine olanak sağlaması, işletme ve bakım maliyetlerinin düşük olması nedeniyle gelecekte yaygın olarak kullanılacak bir teknolojidir. Bu tezin amacı, kablosuz veri transferi için kullanılacak çözümler hakkında bilgi sunmak, IEEE 802.16 standardının detaylı bir teknik analizini yaparak gelecekte yoğun bir şekilde kullanılması beklenen bu teknolojinin maliyet, kapsama alanı ve uygulanabilirlik yönlerinden üstünlük ve eksikliklerini belirlemektir.

Tez aşağıdaki şekilde dzenlenmiştir:

İkinci bolumde kablosuz ağların gelişimi ve turleri hakkında temel bilgilere yer verilmiştir. Noktadan noktaya kablosuz ağlardan, IEEE 802.16 standardına kadar olan yelpazede genel bir bakış açısı sağlanması amaçlanmış ve uğuncu ve dorduncu bolumlerde ayrıntılı olarak işlenecek IEEE 802.16 standardına giriş yapılmıştır.

Uğuncu bolum IEEE 802.16 standardının teknik analizine ayrılmıştır. Veri iletiminde kullandığı referans modeli, katmanlar arası veri transferinin detayları ve donanımsal olarak kullandığı teknikler incelenmiştir.

Dorduncu bolumde kablosuz geniş-bant ağların pratikte uygulama ornekleri işlenmiştir. İlk olarak ihtiyacın turu belirlenmiş ve bu ihtiyacı karşılayacak cözumler maliyet ve kapsama alanı gibi sorunlar da göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Daha sonra, tespit edilen cözumlerin uygulamasına yönelik bilgilere yer verilmiştir. Bu bolumde küçük bir kafede oluşturulan kablosuz ağdan bir ilçede uygulamaya konulabilecek kablosuz ağa kadar ceyitli ornekler verilmiştir.

Beşinci bolumde ise teknik analiz ve uygulama bolumlerinde işlenen IEEE 802.16 standardının analizinde elde edilen sonuçlara yer verilmiştir. Kablosuz ağ kullanımının gerekliliği ağıklanmış ve gelecekte doğabilecek sorunlara ve ihtiyaçlara değinilmiştir.

BÖLÜM 2. KABLOSUZ AĞLAR

2.1. Kablosuz Ağların Gelişimi

Bilgisayar ağlarının gelişimi son yıllarda, kablosuz (Wireless) ağların yaygınlaşmasını sağlamıştır. Bu nedenle, kablosuz ağların kullanımı hızla artmış ve bu konuda teknoloji üreten firmalar bu sektörde gelişme içinde olmuştur.

Kablosuz ağ denildiğinde, bir istemci bilgisayarın kablosuz olarak bir vericiye bağlanarak iletişime başlaması anlaşılmaktadır. Merkezde kablosuz ağ yayını yapan bir verici ve istemci durumundaki bilgisayarlarla yapılan bir bilgisayar ağı, özellikle kablo çekilemeyen ve çekilmek istenmeyen yerler için çok uygun bir ağ oluşturma imkânı vermektedir. Kablosuz ağ türleri özellikle İnternet'in gelişmesiyle birlikte bilgisayar kullanıcılarını her yerde İnternet bağlantısı gereksinimi duyması nedeni ile daha çok bu alanda gelişme göstermektedir.

Kablosuz ağların maliyetlerinin hızla düşmesi ve kablosuz ağlarda bant genişliğinin hızla artması sonucu 3-4 bilgisayar bulunan küçük ofislerde bile kablosuz ağların kurulması ve kullanılması mümkün olmuştur. Özellikle ofis içerisinde sürekli hareket halinde olan dizüstü bilgisayar kullanıcıları ve dizüstü bilgisayarı ile sürekli seyahat eden kullanıcılar için en uygun bağlantı yöntemi kablosuz ağlardır.

Günümüzde kablosuz geniş-bant veri iletimi ihtiyacı hızla artmakta ve ağların kapsama alanının büyüklüğü de bu ihtiyaç oranında genişlemektedir. Kasabaları, şehirleri kapsayan kablosuz ağlar üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Aşağıdaki kısımlarda kablosuz ağların türleri ve bunlar için geliştirilen standartların teknik analizine kısaca değinilmiştir. Detaylı bilgi daha sonraki bölümlerde verilmiştir.

2.2.Kablosuz Ağ Türleri

2.2.1. Sabit ağ

En basit ağ mimarisi, noktadan noktaya ağıdır. Adından da anlaşılacağı gibi bu ağların özellikleri binalar gibi iki veya daha fazla fiziksel konuma bağlanabilmeleridir. Bu ağlar, veri haberleşmesini ağın geri kalanından fiziksel olarak ayrı konumlara genişletmek üzere tasarlanmıştır. Sabit ağ mimarisi iki binayı birbirine bağlamada, bir eve ağ bağlantısı sağlamada veya çoklu ağ elemanlarını birbirlerine bağlamada kullanılabilir.

Bu bağlantılar temel mikrodalga bağlantılar ile benzer olabilirler. Bu tür ağlarda kapsama alanı ve kontrolü sağlamak için yüksek antenler kullanılmaktadır. Seçilen teknolojiye ve çalışma frekansına bağlı olarak, bu yapıda birkaç metre ile 30 kilometre arasında kapsama alanı ve 1 Mbps (Mega bit per second – Saniyede bir milyon bit) ile 1 Gbps (Gigabit per second – saniyede bir milyar bit) arasında bir bant genişliği elde edilebilir.

Bu sistemler, özel radyo yolları olarak tasarlanırlar ve planlanırlar. her yol iki noktayı birbirine bağlamaya yarar. Bu özel yolların birkaçından oluşan bir ağ, çoklu ve birbirinden tamamen ayrı fiziksel konumları bağlamak amacıyla tasarlanabilir. Mesela, bir yerleşke veya ofis parkı içindeki sabit bir noktadan-noktaya ağ ile birkaç tane özel noktadan-noktaya yol yüksek hızda bağlantıyı sağlamak amacıyla kullanılabilir. Bu ağlar ayrıca fiber optik tabanlı ağlarda, kapsama alanını ve kapasitesini artırmanın gerekli olduğu ancak cadde ve sokakların kazılamaması durumunda kullanılabilir.

Noktadan-noktaya ağların başka bir türü noktadan-çoklu noktaya ağlardır. Bu tür ağlarda merkez veya ana istasyon kişisel bir anten kullanmaz, onun yerine ortasında büyük bir deliği olan antenleri kullanır ve kendi kapsama alanında bulunan istasyonlara yayın yapar. Böylece basit bir sistem anten kapasitesini birkaç kullanıcı ile paylaşabilir. Bu tür sistemlerin özelliği, tek bir anten ile çoklu noktalara yayın yapabilmeleridir. Bu sayede anten ihtiyacı aza indirilmiş olur. Bu tür ağların birkaç

eksikliği vardır. İlk olarak merkez istasyonunda geniş bir alanı kapsamak amacıyla düşük kazançlı antenler kullanıldığından noktadan-noktaya bağlantılara kıyasla bağlantı kurulabilecek mesafe kısalmıştır. İkinci olarak, ağ kapasitesinin ortak kullanıldığı durumlarda, bütün kullanıcılara aynı anda bant genişliği verilmesi uygun olmayabilir. Diğer sistemlerde olduğu gibi, toplam kapasitenin belirlenmesinin bir parçası olarak her kullanıcının ulaşacağı maksimum bant genişliği ihtiyacının belirlenmesi gerekmektedir. Diğer bir sorun ise parazit yönetimi ve frekans toplanmasıdır. Merkez istasyon geniş bir alana yayın yaptığı sürece aynı frekansların kullanılma imkânı sınırlanacaktır. Noktadan noktaya ve noktadan-çoklu noktaya ağlar 1 GHz (Giga Hertz) ve 90 GHz aralığının dışında kalan lisanslı veya lisanssız bantları kullandığında başarıya ulaşacaktır. Bu durumların dışında farklı patentli teknolojiler kullanılabileceği gibi IEEE 802.11 veya IEEE 802.16 standartları da kullanılarak istenilen ağ mimarisi kurulabilir. Kapsama alanı, kapasite, spektrum uyumluluğu, akış kalitesi ve maliyet gibi faktörler göz önünde bulundurularak seçilen çalışma frekansı ve teknoloji belirlenmelidir.

2.2.2. Nomadik ağlar

Noktadan noktaya ağların başka bir türü de kullanıcıyı sisteme doğrudan bağlamayı amaçlayan Nomadik ağlardır. Bu tür ağlar kişisel bilgisayarları ağa bağlamanın yanı sıra Laptop veya PDA (Personal Digital Assistant – Kişisel Sayısal Asistan) gibi hareketin olduğu durumlarda da düşük seviyede bir hareketi destekleyecek şekilde tasarlanmıştır.

Bu tür ağlara örnek olarak IEEE 802.11b verilebilir. Ayrıca IEEE 802.11g ve IEEE 802.11a standartları da yine bu tip bir ağ mimarisine sahiptirler. Tamamen taşınabilir olabilmesi için, bilgisayarlar içindeki RF (Radio Frequency – Radyo Frekansı) aracının küçük, düşük güç tüketimli ve kullanılan antenlerin çok-yönlü olması gerekmektedir. Kullanıcı ile kablosuz erişim terminali arasındaki işaretin zayıflamasına sebep olabilecek bir duvar veya başka bir cisim olabileceğinden bu ağların kapsadığı alanlarda önemli ölçüde azalabilir. Noktadan-noktaya kablosuz ağ bağlantısının etkin olduğu uzaklığın metrelerle ölçüldüğü uygulamalarda aynı

uygulama Nomadik ağlar kullanılarak gerçekleştirildiğinde etkin uzaklık 10 ila 100 kat artmaktadır.

Nomadik ağlar yavaş yavaş yaygınlaşmaktadır. Bir kafedeki internet erişimini sağlayan IEEE 802.11b ağı Nomadik ağa bir örnektir. Kablosuz ofis LAN'ları (Local Area Network – Yerel Alan Ağı), yerleşkeleri kapsayan WISP (Wireless Internet Service Provider – Kablosuz Internet Servis Sağlayıcısı) ağlar veya MDU (Multiple Dwelling Unit – oklu Yerleşim nitesi) Nomadik ağ olarak düşünülebilir.

Bu ağlar özel ve kamusal yerlerde kablosuz olarak yüksek hızda veri aktarılmasının ilk adımını oluştururlar. Ancak bu ağlar tam anlamıyla hareketi destekleyen ağ değillerdir. Hareketi desteklediklerinde kapsama alanları düşer ve yüksek miktardaki hareketliliği sağlayamazlar. Her teknolojiye olduğu gibi bu teknolojiye de sınırlayıcı etkenler vardır. Bununla birlikte belirli bir yerle sınırlandırılmış düşük harekete izin veren uygulamalarda ucuz çözümler sunmaktadır. Bu tür ağları kurmada kullanılacak lisanssız spektrum ve IEEE 802.11b kablosuz standardında haberleşme yapılması için gerekli donanımlar mevcuttur.

2.2.2.1. IEEE 802.11 standardına genel bakış

Diğer bir çok standart gibi, IEEE 802.11 standardı da yıllar içinde bir çok değişiklik ve genişleme geçirerek son şeklini almıştır. Başlangıçta, 900 MHz (Mega Hertz) kanaldan 1 Mbps veri transferi yapılırken şu anda 2400 MHz ve 5600 MHz kanallarından 54 Mbps hıza kadar çıkılabilmektedir.

Wi-Fi (Wireless Fidelity – Kablosuz Bağlılık) olarak da bilinen IEEE 802.11x, IEEE'nin (Institute of Electric and Electronic Engineers – Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Enstitüsü) standartlaştırdığı IEEE 802.11a, IEEE 802.11b ve IEEE 802.11g sınıflarını içerir. Türkiye'de bu cihazların RF yayılımları Telekomünikasyon Kurumu tarafından yönetilmektedir. Bu kurallar çıkış gücünü, lisanssız bantlarda kullanılan antenler ve araçları kontrol eder. IEEE 802.11b standardı ile kapalı alanda yaklaşık olarak birkaç metre mesafeye kadar, açık alanda ise birkaç yüz metre mesafeye kadar, 2.4 GHz frekansında 11 Mbps hızında iletişim yapılabilir.

IEEE 802.11a standardı 5 GHz bandını kullanır ve yakın mesafelerde 54 Mbps hızında veri transferi yapabilmektedir. IEEE 802.11g standardı 2.4 GHz bandında IEEE 802.11a standardının modülasyon standartlarını uygular ve IEEE 802.11b cihazları ile uyumludur (geriye dönük uyumluluk). Bu standartların kapsama alanı, görüş alanındaki engellere bağlı olarak değişiklik gösterir.

IEEE 802.11b standardı 1999 yılından sonra Apple Bilgisayar'ın AirPort aracının tanıtımı ile oluşmaya başlamıştır.

IEEE 802.11x, ethernet benzeri prensipleri ile kablolu ethernetin genişletilmiş halidir. Örneğin IEEE 802.11a üzerinden geçen veriler hakkında bilgi sahibi değildir ve TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol – İletim Kontrol Protokolü / Internet Protokolü) protokolünü kullanır. Ayrıca, AppleTalk ve NetBEUI gibi haberleşme trafikleri ile de haberleşebilmektedir.

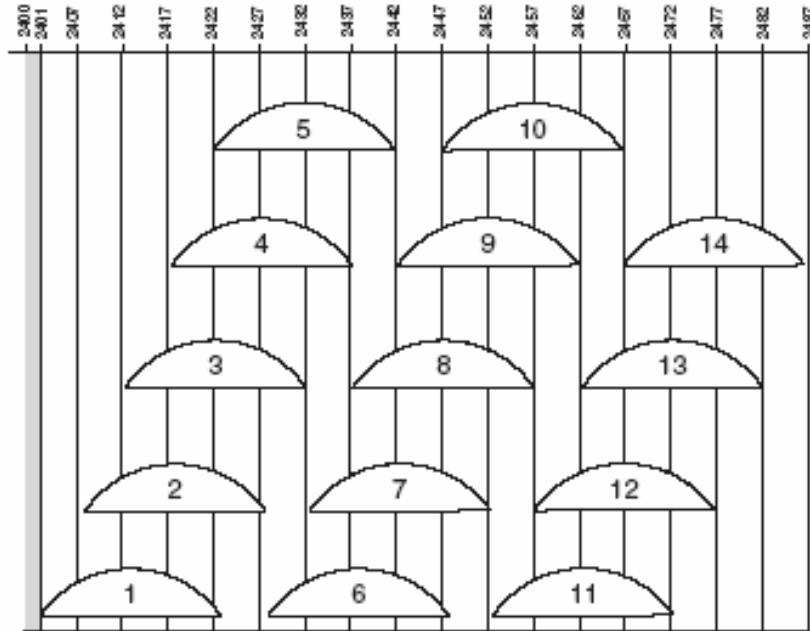
Windows veya Mac OS (Operation System) işletim sistemlerini kullanan bilgisayarlar (ve benzeri aygıtlar) ve Linux ve Unix işletim sistemlerinin bazı çeşitleri, değişik üreticilerin donanım malzemelerini kullanarak Wi-Fi üzerinden haberleşebilirler. İstemci, tipik olarak bir PC (Personal Computer – Kişisel Bilgisayar) kartı veya PCI (Peripheral Component Interconnect – Çevre Birimleri Bağlantı Kartı) kartı olabilir. Ayrıca USB (Universal Serial Bus – Evrensel Seri Veri yolu) ve diğer formlarda Wi-Fi cihazları da kullanılabilir. Palm OS ve Pocket PC gibi PDA'lar için de SD (Secure Digital – Güvenli Sayısal) kartı ve CF (Compact Flash) kartı slotlarına uygun adaptörler de vardır.

Her kablosuz ağ cihazı, donanıma bağlı olarak bir göbek (kabloların birleştiği yıldız biçiminde nokta) veya bilgisayardan bilgisayara ağın bir parçası olabilirler. Genel olarak bu tür ağlarda WLAN (Wireless Local Area Network – Kablosuz Yerel Alan Ağı) bir veya birden fazla Erişim Noktası (Access Point) kurulumuna ihtiyaç vardır. Bu erişim noktaları güçlü işlemci-setlerine ve yüksek kazançlı antenlere sahiptirler. Ev ve küçük-ofis AP'ler (Access Point – Erişim Noktası) basit bir ağı yapılandırmak için genelde yönlendirme, DHCP sunucusu (Dynamic Host Configuration Protocol – Dinamic Sunucu Yapılandırma Protokolü), NAT (Network Address Translator – Ağ

Adresi Çeviricisi) ve diğer gerekli özelliklere sahiptir. Gelişmiş erişim noktaları güvenli yetkilendirme desteği (SAS) kadar iyi giriş kontrol özelliklerine sahiptirler.

2.4 GHz bandında uygulamaya geçirilmiş IEEE 802.11b standardı geriye dönük olarak 2.4 GHz bandında yayın yapan IEEE 802.11 donanım araçları ile uyumludur. IEEE 802.11b aynı donanım ile 1, 2, 5.5, ve 11 Mbps hızlarını desteklemektedir. Çoklu IEEE 802.11b erişim noktaları 2.4 GHz bandında kullanılabilir alt bölümlerindeki aynı alan ve farklı kanal üzerinde çalışabilirler.

Genel olarak 2.4000 ile 2.487 GHz bantları arasında 14 tane standart kanal vardır. Sadece 1.ve 11. kanallar arasındaki kanallar U.S.A da yasaldır. IEEE 802.11 kanalı 22 MHz genişliğindedir ve 5 MHz'li kanallar içermektedir (Bkz Şekil 2.1.). Sadece 1, 6, 11 kanalları üst üste binmiş kanal içermeyen IEEE 802.11 ağı olarak tanımlanabilir. Kapalı uzay kanalları belirlendiğinde, taşıyıcı girişim üretilecektir. Üst üste binmiş bu sistem hala daha çalışabilir, fakat kanallardan gelen gürültüler kanaldaki gürültü eşiğini yükseltecektir. Bu da sistemin çalışma işaret eşik değerini ve kapsama alanını etkileyecektir.



Şekil 2.1. IEEE 802.11b standardında kanal yerleşimini gösteren 2.4 GHz frekans grafiği

IEEE 802.11b birkaç çeşit modülasyon kullanmaktadır. BPSK (Binary Phase Shift Keying – İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama) veya QPSK (Quadrature Phase Shift Keying – Dördül Faz Ötelemeli Anahtarlama) modülasyonu 1 ve 2 Mbps hızlarında iletim yapmakta kullanılır. 5.5 ve 11 Mbps hızlarında ise tamamlayıcı kod anahtarlama (CCK – Complementary Code Keying) modülasyonu kullanılmaktadır. Çoklu kullanıcılar CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance – Taşıyıcı Duyarlı Çoklu Erişim / Anlaşma İptali) kullanılarak desteklenmektedir.

IEEE 802.11g olarak adlandırılan yüksek hızla iletim yapan standart IEEE 802.11b standardı ile tamamen uyumludur. Fakat haberleşme hızını 54 Mbps'ye çıkaran 3 tane şifre çözme özelliği daha vardır (1 tane zorunlu, 2 tane tercihe bağlı). Yüksek hızlı bağlantılar IEEE 802.11a'nın kullandığı OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama) modülasyon türünü kullanır. Hız artışı, 2.4 GHz ve 5.5 GHz bantlarında çalışan ve IEEE 802.11 haberleşmesini destekleyen cihazlarda daha verimli modülasyon tekniklerinin kullanılması ile sağlanabilmektedir.

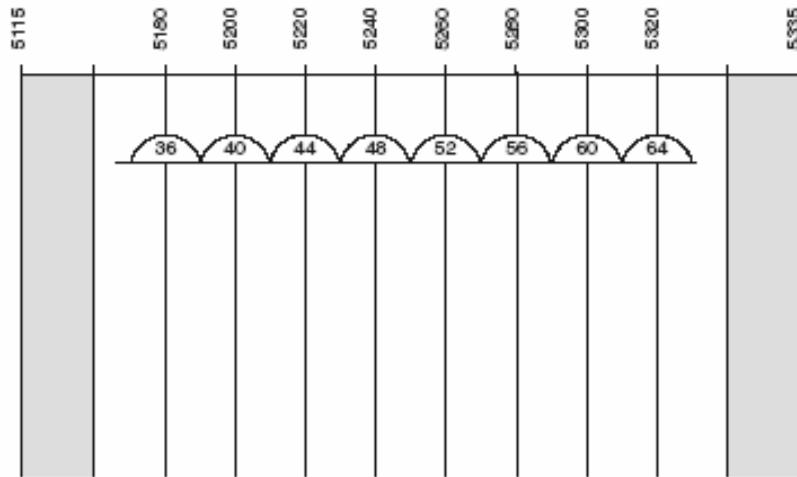
IEEE 802.11a sadece OFDM modülasyonun kullanımını belirtmekte ve 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps veri hızlarını desteklemektedir (6, 12 ve 24 Mbps bütün ürünler için zorunludur). OFDM yüksek verimde çalıştığından yüksek veri hızlarına ulaşmak da mümkün olmaktadır. OFDM, iletimi sağlamak için veri işaretini 48 alt taşıyıcıya bölmektedir. Bütün bu alt taşıyıcılar seçilen hıza bağlı olarak PSK (Phase-shift Keying – Faz Ötelemeli Anahtarlama) ve QAM (Quadrature Amplitude Modulation – Dördül Genlik Modülasyonu) ile sayısal işareti modüle etmektedir. Son olarak, dört pilot alt taşıyıcı iletim boyunca frekansı ve faz ötelemesini minimuma indirmek için bir referans sağlarlar.

Çoklu kullanıcılar CSMA/CA ile desteklenirler. Bu yüzden IEEE 802.11b standardındaki sınırlamaların aynısı IEEE 802.11a standardında da vardır.

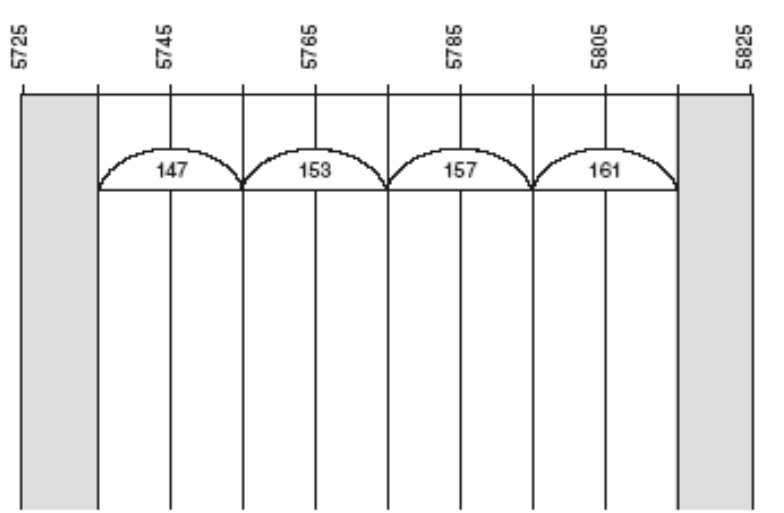
IEEE 802.11a standardındaki çalışma frekansı ile verilen U-NII (Unlicensed National Information Infrastructure – Ulusal Lisans-dışı Bilgi Altyapısı) bantları arasındadır. 5.15–5.25 GHz, 5.25–5.35 GHz ve 5.725–5.825 GHz. Şekil 2.2a ve

Şekil 2.2b de görüldüğü gibi, spektrum içinde 12 tane 20 MHz kanal vardır (8 tane ev içi kullanım için, 4 tane de hem ev içi hem ev dışı kullanım için uygun) ve çakışmazlar. Bu da yan yana bir yerleştirmeyi mümkün kılar. Her bant Telekomünikasyon Kurumunun belirlediği farklı çıkış güç limitlerine sahiptirler. IEEE 802.11a standardının kapsama alanı, çalışma frekansına ve seçilen modülasyonuna bağlı olarak biraz düşüktür, ancak ev veya ofis gibi kapalı alanlarda IEEE 802.11b ile karşılaştırılabilecek kadar yüksek hızlarda iletim yapabilir.

IEEE 802.11 sistemlerinin artmasıyla, bu standardın sınırlamalarını ilgilendiren birkaç tane önemli nokta ortaya çıkmıştır. IEEE 802.11 standardında güvenlik zayıftır ve QoS (Quality of Service – Servis Kalitesi) paket önceliği yapısını desteklemez. IEEE içindeki yeni bir çalışma grubu bu eksikliği gidermeye çalışmaktadır. IEEE 802.11e,h ve i standartları IEEE 802.11'in yeteneklerini geliştirecek, bazı durumlarda daha sağlam ve kullanışlı olmasını sağlayacaktır.



Şekil 2.2a. 5.2 GHz IEEE 802.11a kanalları



Şekil 2.2b. 5.7 GHz IEEE 802.11a kanal yerleşimi

Bu standartların oluşumu, farklı üreticiler tarafından üretilen araçların farklı sistemlerde çalışmasını garanti altına almamaktadır. Farklı ürünlerin her sistemde kullanılabilmesini sağlamak için, tüketicinin de benimsemesini destekleyerek Wi-Fi Alliance adında bir endüstri grubu (önceden Wireless Ethernet Compability Alliance olarak biliniyordu) üyelerinin ürünlerini IEEE 802.11a ve b standartlarında uygunluğunu sertifikalandırmakta ve gerçekleştirdiği testleri geçen donanımlara Wi-Fi uyumluluk belgesi vermektedir. Wi-Fi uyumluluk belgesi yüzlerce satıcı ve binlerce cihaz arasındaki uyumluluğu garantiye alma girişimidir (IEEE nin böyle bir mekanizması yoktur, sadece standartları ilan etmektedir). 2002 öncesinde, Wi-Fi Alliance endüstri grubu a ve b standartlarını belirten Wi-Fi işaretini 2.4 GHz veya 5 GHz bant uyumluluğunu kaydedecek şekilde değiştirmiştir.

IEEE 802.11b standardı, havaalanları, oteller, konferans merkezleri, kafeler ve restoranlar gibi kısa-mesafeli ağlar için geliştirilmiş ilk standarttır. U.S. ve diğer ülkelerde birçok şirket kendi geliştirdikleri ağlara erişim için saatlik, oturum-tabanlı, limitsiz veya aylık kullanım gibi ücretler istemektedir.

IEEE 802.11a ve b tek noktadan noktaya işletimi olmayan bir sitede veri veya internet bağlantısını genişletmek ve birkaç tane sabitlenmiş veya nomadik

kullanıcılar arasında paylaştırılmış yüksek hızda veri bağlantısını sağlayabilecek bir noktadan-çoklu noktaya sistemi yapmak için iyi bir tercihtir.

IEEE 802.11 ürünleri, RF gücü ve kazançlı bir anten kullanılarak elde edilen EIRP (Effective Isotropic Radiated Power – Isotropik Yayılan Güç) yi sınırlayan Türk Telekomünikasyon Kurumu kurallarına uyar. En katı kısıtlama, çok-yönlü işlemlerdedir ve bu işlemler çevredeki alana verilen yüksek toplam gürültü ile sonlanırlar. Çok-yönlü işlemlerde EIRP 1 watt’da sınırlandırılmıştır. Yönel bir anten kullanıldığında, izin verilen EIRP 4 watt’a çıkmaktadır. Sabitlenmiş bir noktadan noktaya bağlantı tamamlandığında, yüksek EIRP’nin kullanılabilceği durumlarda, 30 dB kazançlı anten kullanıldığında 100 watt’ın üzerinde bir EIRP elde edilebilir. Bu EIRP değeri 25 kilometrenin üzerinde bir mesafede rotası üzerinde doğru şartlandırılmış noktadan-noktaya bağlantıyı destekler.

IEEE 802.11 standardı WISP veya MAN (Metropolitan Area Network – Metropol Alan Ağı) tipinde bir yayılımı kullandığından önemli bir sınırlamaya sahiptir: Ethernet standardı gibi giriş protokolleri CSMA’yı kullanır. IEEE 802.11 standardında ise sınıflandırma, bütün istasyonların birbirini duyabilecek şekilde olduğu ve kanal önceliği ve iletimindeki aktiviteleri dinleme kabiliyetinin olduğu düşünülerek CSMA/CA ile yapılır. Başka bir taşıyıcı duyulduğunda, istasyon kanalın kullanımında olduğunu bilir ve rasgele bir zamanda tekrardan geri döner. Geri dönme esnasında, istasyon tekrar dinler ve kanal boş ise ilettime başlar.

Geniş alana yayılmış ve açık havada yayın yapan bir sistemde kullanıcılar erişim noktalarını duyabilirler fakat birbirlerini duyamazlar. Bu yüzden CSMA/CA çalışmaz. Sistemin aynı anda çoklu kullanıcılara iletim imkânı vermesi gürültüye ve paket kaybına neden olur. Bir diğer sorun da “yakın-uzak” sorunudur. Erişim noktalarının yakınındaki kullanıcılar, uzaktaki kullanıcılara göre bant genişliğini daha verimli kullanır. Bu güçlü işaretin en yakındaki kullanıcıdan artarak uzaktaki kullanıcıya zayıflayarak gitmesine bağlıdır. RTS/CTS (Request to Send / Clear to Send – Gönderme Talebi / Gönderim İptali) özelliği kullanıma alınarak bu etki azaltılabilir. RTS/CTS özelliğinin kullanıma alınmasıyla istasyon iletimden önce izin komutunu bekler ve tamamen temiz cevabı alana kadar iletimi başlatmaz. Halen, bir

istasyonun aldığı bir CTS'nin kendi gönderdiği RTS'nin mi yoksa başka bir istasyonun mu cevabı olduğunu tespit etmesi problemi çözülmüş değildir. Bu yüzden karışma olabilmektedir. Son olarak, RTS/CTS fazladan bilgi ekler. Bu da gerçek trafiğin taşınmasını sağlar.

Bazı üreticiler sistemlerine merkezi kontrol birimleri ekleyerek bu sorunları çözmeye çalışmaktadır. Kullanıcıları sıralamak ve kimin iletme geçeceğini belirlemek, kullanımda ve kalitede iyileşme sağlamaktadır. Bazı cihazlar tescilli standartları kullanmaktadır ve bu tescilli çözümlerin içinde bulunmak için de tescilli donanım cihazları gerekmektedir.

IEEE 802.11 standardı, WISP veya MAN ağları için geliştirilmemiştir. Maliyet üstünlüğü, tamamen serbest olarak kullanılabilinen spektrumu ve taşınabilir sistemlerde çalışabilmesi nedeniyle standart olmuştur. IEEE 802.11 standardının sınırlamalarını ve bir MAN çözümü için gerekli özellikleri tanımlamıştır. IEEE 802.16 standardı WISP ve MAN üreticilerine bir çözüm sunması amacıyla tasarlanmıştır. IEEE 802.16 geniş alanları kapsayacak şekilde geliştirilmiştir ve MAC (Media Access Control – Medya Giriş Kontrolü) tabakası CSMA/CA yapısını kullanmaz. Bu yüzden IEEE 802.11 standardının CSMA/CA yapısından dolayı karşılaştığı sınırlamalarla karşılaşmaz.

2.2.2.2. IEEE 802.16 standardına genel bakış

IEEE 802.16 hava arayüz standardı, bir noktadan-çoklu noktaya haberleşme mimarisine sahip geniş bant kablosuz erişim standardının adıdır. Standardın ilk halleri 10 ile 66 GHz frekansları arasında çalışan kablosuz geniş-bant sistemleri (BWA – Broadband Wireless Association) için çok sayıda kullanıcıları birbirleri ile görüşmesini sağlamak amacıyla geliştirilmiştir.

2 ile 11 GHz arasında çalışan sistemlere destek olması amacıyla eklenen değişiklik bir önceki türlerini sınıflandırmasında eklenmiştir. IEEE test sınıflandırmalarını ve iyileştirme çalışmalarını durdurduğundan beri, üreticiler arasında çalışabilir olmasını sağlamak amacıyla WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)

forum oluşturulmuştur. Wi-Fi'nin cihazların IEEE 802.11 standardına uyumluluğunu garanti altına alması gibi WIMAX forum da IEEE 802.16 donanımlarının uyumlu bir çalışma prensibine sahip olduğunu garanti altına almaktadır.

IEEE 802.16 komitesinin 1. Görev grubu 10-66 GHz frekansları arasındaki sistemler için bir noktadan-çoklu noktaya geniş-bant kablosuz erişim standardı geliştirmiştir. Standart, MAC ve PHY (Physical Layer – Fiziksel Katman) katmanlarının ikisini de içermektedir. Grup a ve b beraber hareket ederek sınıflandırmada 2-11 GHz aralığındaki lisanslı ve lisanssız bantları da içerecek şekilde genişletecek bir değişiklik yapmışlardır.

Yayın yapılması hedeflenen çevre için birkaç tane PHY konusu önemli bir hal almıştır. Örneğin 6 GHz üzerindeki frekanslarda istasyon aralarında LOS (Line of Sight – Görüş Alanında Olan) bir zorunluluktur. LOS yolları için gerekli olanları bir tasarım ihtiyacı gibi alınarak PHY çoklu yolunu minimum düzeyde etkileyerek tasarlanabilir. Bu PHY ye tipik olarak 10 MHz'den büyük geniş kanallar barındırmasına izin verir, böylece IEEE 802.16 hem yüklemeye hem de indirmede yüksek kapasiteli bağlantıları sağlayabilme kabiliyetine sahip olur.

Düşük frekanslarda, LOS bağlantı işlemler için gerekli değildir, fakat LOS yapısının olmayışı başka tasarım sıkıntılarının oluşmasına neden olur. Uygun patlama profilleri (modülasyonu ve FEC (Forward Error Connection) – İleri Hata Kontrolü) yapısını değiştirmek) IEEE 802.16'nın kapasitesini daha da artırmak için kullanılır. MAC farklı çevreler için farklı PHY'leri barındırması için geliştirilmiştir. Tek-taşıyıcılı PHY'ler, hem TDD (Time Division Duplexing – Zaman Bölmeli İkileme) hem de FDD (Frequency Division Duplexing – Frekans Bölmeli İkileme) yayılmalarını barındırması ve FDD durumunda iki yönlü ve tek yönlü terminallerine izin vermesi için tasarlanmıştır.

MAC, PMP (Point to Multipoint – Noktadan Çoklu-noktaya) kablosuz erişim ortamları için özel olarak tasarlanmıştır. Daha yüksek katmanları taşımak veya katmansız olarak ATM (Asynchronous Transfer Mode – Eşzamanlı Aktarım Modu), ethernet veya IP (Internet Protocol – İnternet Protokolü) gibi protokolleri transfer

etmek için tasarlanmıştır. Ayrıca daha geliştirilmemiş protokolleri de içerisinde barındıracak şekilde geliştirilmiştir. MAC, Gerçek geniş-bant fiziksel katmanların, ATM olmayan servislerde olduğu gibi, ATM uyumlu QoS servislerinden ATM'e transferde çok yüksek bit oranı sağlayabilecek şekilde tasarlanmıştır. (her yöne 268 Mbps hızına kadar)

Çerçeve yapısı, terminallerin kendi bağlantı şartlarına göre patlamalı yüklenme ve indirme trafiklerini dinamik olarak belirlemesine izin verir. Bu gerçek zamanlı kapasite ve sağlamlık arasındaki bir sınırı belirler ve ayrık bağlantı uygunluğunun sürdürülmesinde uyumlu olmayan bir sisteme göre kapasiteyi yaklaşık olarak iki kat yükseltir.

IEEE 802.16 Standardı, MAC standardın verimini artıran bir dizi içeriğin yanında, değişebilir uzunlukta bir PDU (Protocol Data Unit – Protokol Veri Birimi) kullanır. Çoklu MAC PDU'lar PHY yapısını korumak için tekli patlamaya bağlanabilirler. Ayrıca, aynı servis için tasarlanmış çoklu SDU'lar (Service Data Unit – Servis Veri Birimi) tekli MAC PDU içinde birbirlerine bağlanabilirler, böylece MAC başlığının taşması korunmuş olur. Değişken parçalanması eşik değeri servisin QoS yapısını garanti altına almak için çok büyük SDU'ları parçalar halinde gönderilmesine izin verir. Önceden başlık gizleme SDU başlıklarının gereksiz parçalarını azaltmada yararlı olacaktır.

MAC, DAMA/TDMA (Demand Assigned Multiple Access / Time Division Multiple Access – İsteğe Göre Tahsis Edilen Çoklu Erişim / Zaman Bölmeli Çoklu Erişim) diye bilinen kendini-doğrulamalı bant genişliği isteği/vermesi algoritmasını kullanır. Böylece CSMA/CA tekniğinin yetersiz geldiği noktaları elimine eder. DAMA çoklu istasyonlar boyunca istenilen değişikliklere adapte eder. DAMA ile kanallara ayrılan zaman ihtiyaca göre dinamik olarak değişir. Bir kablosuz erişim terminalinden üyelere iletimde standart iki tip işlem tanımlar, biri ses veya görüntü gibi sürekli bir iletim dizisini kullanan tip, diğeri de IP tabanlı trafik gibi patlamalı iletim dizisini kullanan tiptir. Kullanıcı terminalleri QoS ve kendi servislerindeki trafik parametrelerine bağlı olan bant genişliği için değişik seçeneklere sahiptirler.

2.2.3. 10–66 GHz Teknik standartları

Wi-Fi konsorsiyumunun IEEE 802.11 cihazları için uygunluk belgesi vermesi gibi WIMAX forum da IEEE 802.16 ürün ve standartları ile ilgili uygunluk garantisi vermektedir. 10-66 GHz frekansı ilk oluştuğundan beri, WIMAX bir 10-66 GHz grubu oluşturmuştur. Teknik çalışma grubu cihaz çalışma profillerini ve test sınıflandırmalarını oluşturmuştur fakat testleri yetkilendirilmiş bağımsız bir laboratuvar yapmaktadır. Her sistem profilinde fonksiyonlar mecburi ve opsiyonel özellik sınıflarına ayrılırlar. Burada opsiyonel özelliklerde üreticiden üreticiye değişen farklılıklar olmaktadır, fakat zorunlu özellikler her üreticinin ürününde aynıdır.

WIMAX şu anda iki tane MAC sistem profili tanımlamıştır, birisi basit ATM ve diğeri de IP-tabanlı sistemler içindir. Aynı zamanda iki tane ikincil PHY sistem profili de tanımlanmıştır: 10-66 GHz aralığında kullanım için 25 MHz genişliğinde bir kanal (tipik U.S. yayınlarında) , ve yine 10-66 GHz aralığında kullanım için 28 MHz genişliğinde bir kanal (tipik Avrupa yayınlarında). PHY profilleri kanal genişlikleri ve kendi kanal genişlikleri ile orantılı olan sembol oranları dışında aynıdırlar. Her ikincil PHY profili iki tane alt profil içerir, birisi FDD için diğeri ise TDD içindir. İlave olarak, bu sistemler LOS yolları üzerinde işlem yapacak şekilde tasarlandığından geleneksel çoklu-durum QoS modülasyonu kullanılmaktadır.

2.2.4. 2-11 GHz Teknik standartları

2003 öncesi, IEEE 802.16 2-11 GHz frekansları arasındaki geniş-bant kablosuz erişime yoğunlaşan IEEE 802.16a değişikliği ile genişlemiştir. Patent belgesi WIMAX forum tarafından verildiğinden, bütün dünyadaki mikrodalga kullanma hakkını sertifikalandırma ve işlevselliği sağlama işlemini ilerletmek amacıyla WIMAX faaliyet alanını IEEE 802.16a standardını da içine alacak şekilde genişletmiştir.

IEEE 802.16a standardı LOS ve NLOS (Non Line of Sight – Görüş Alanında Olmayan) yollarının her ikisinin de üzerinde çalışacak şekilde tasarlanmıştır. NLOS

yollarda oluşan çoklu-yol etkisinden dolayı IEEE 802.16 standardında kullanılan QAM uygun bir modülasyon türü değildir. 803.16a modülasyon tekniği olarak OFDM yapısını kullanmaktadır. IEEE 802.16 standardının teknik analizi 3. bölümde ayrıntılı olarak işlenecektir.

2.2.5. Mobil ağlar

Gerçek hareket kabiliyetini sağlamak için tasarlanmış bu ağlar kablosuz ağların en karmaşık türüdür. Ses tabanlı hücresele ağlar veya PCS (Personal Communication Service – Kişisel Bağlantı Servisi) ağlarda olduğu gibi, yüksek-hız mobil ağları her yerde olan bir kapsama alanına ve yüksek hız hareketliliğine sahiptir. Bu tasarımlar biraz maliyetli olmaktadır. Bu sistemler birkaç tane lisanslı spektrum veya megahertz içerirler. IEEE 802.16e, IEEE 802.20 ve CDMA 2000 (Code Division Multiple Access – Kod Bölmeli Çoklu Giriş) standartları dünya üzerindeki büyük alanlarda gerçek geniş-bant mobil veri çözümleri sunan standartlardır. Maliyet ve karmaşıklık özelliklerinden dolayı Telekom operatörleri, küçük şirketlerin itirazlarına rağmen bu tür ağları kullanmaktadırlar.

2.2.6. Standart temelli çözümler ve tescilli çözümler

IEEE açık standartları geliştirmeden sorumlu birkaç gruba sahiptir. Bu standartlar bütün üreticilerin kullanımına açıktır ve bu rekabeti ve ürün hacmini sağlama almaktadır. IEEE, IEEE 802.11x ve IEEE 802.16 standartlarını geliştirmiştir ve 2003 Temmuzunda IEEE 802.20 standardını geliştirmiştir.

Bütün bu standartlar kesin bir fayda ve sınırlama içinde geliştirilmiştir. Mesela IEEE 802.11b standardı kısa menzilli kablosuz ethernet yerine tasarlanmıştır. Bu standart diğer uygulamalar için kullanıldığında (toplumsal ağlar) bu uygulamalar için geliştirilen standartlardaki teknolojiye ve performansa ulaşamayacaktır.

Bazı üreticiler IEEE veya başka standartlara uymayan araçlar üretirler. Bu çözümler bazen uygulamaların standart olmasını sağlayacak kadar popüler hale gelebilirler. Genellikle, tek bir kaynakta geçerli olan bu tescilli standartlar uygun market

çözümleri haline gelirler. Bu tescilli standartlar bazı uygulamalar için en iyi çözümler olabilir, fakat genellikle standart temelli çözümler için pahalıdırlar.

Birçok tescilli kablosuz ağ çözümü vardır; ne yazık ki rekabetçi ortamda şirketler ürettikleri araçların işlemleri hakkında verilmesine veya yayınlamasına izin verilen bilgi miktarını sınırlayan NDA (Nondisclosure Agreement - Bildirimi Yapılmamış Anlaşma) anlaşması olmadan fazla detay vermemektedirler [3].

BÖLÜM 3. IEEE 802.16 STANDARDI TEKNİK ANALİZİ

3.1. Frekans Bantları

Uygulamalar kullanılan spektruma göre değişiklik gösterir. Kullanılan öncelikli bantlar aşağıdaki gibidir.

3.1.1. 10–66 GHz Lisanslı bantlar

10 – 66 GHz bandı kısa mesafe için gerekli fiziksel bir çevre sağlar. LOS (Line of Sight) gereklidir ve çoklu-yol önemsizdir. 10 – 66 GHz bandında kanal bant genişlikleri tipik olarak 25 MHz veya 28 MHz'dir. 120 Mb/s üzerindeki data oranı ile, orta ve büyük ofis uygulamaları ile SOHO'larda (Small Office / Home Office) PMP giriş servis uygulamaları için uygun bir ortam sağlar.

10 – 66 GHz frekansında tekli-taşıyıcılı modülasyon hava arayüzü WirelessMAN-SC arayüzü olarak bilinir.

3.1.2. 11 GHz Altındaki lisanslı frekanslar

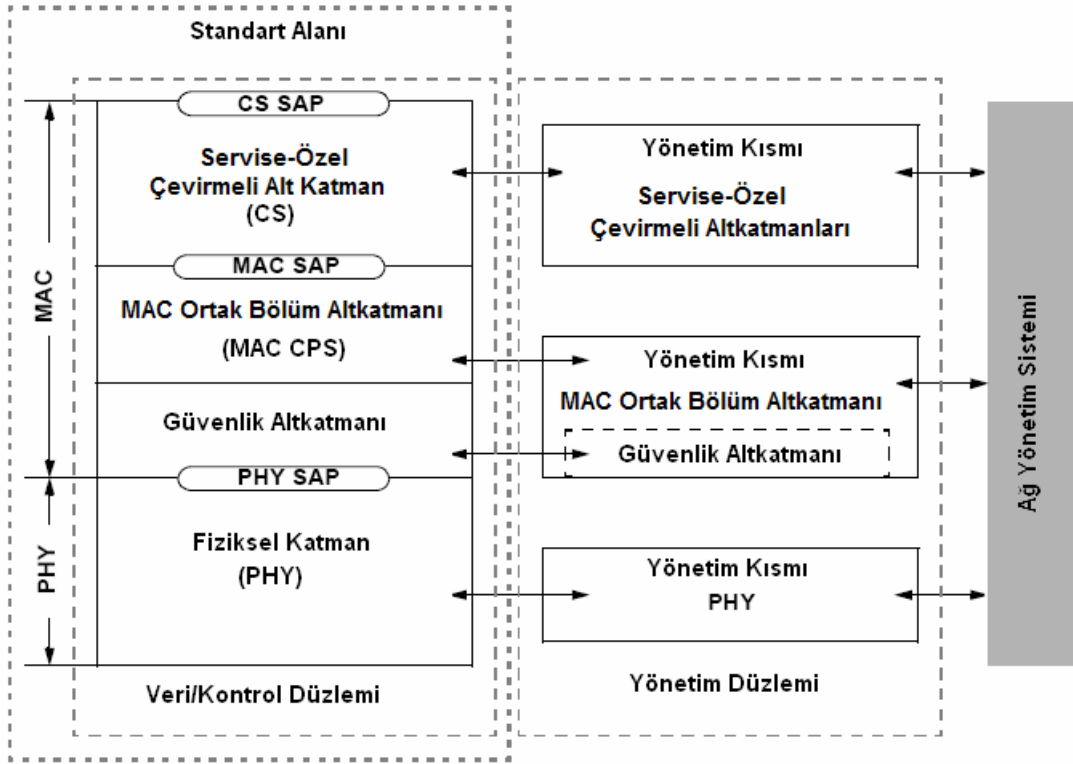
11 GHz bandı altındaki lisanslı bantla yüksek dalga uzunluğuna bağlı fiziksel çevreler sağlarlar. LOS gerekli değildir ve çoklu-yol önemli olabilir. Near-LOS ve Non-LOS (NLOS) senaryolarını desteklemesi için gelişmiş güç yönetimi teknikler, gürültü azaltılması ve çoklu antenlerde olduğu gibi ilave olarak PHY özelliği gerekmektedir.

3.1.3. 11 GHz Altındaki lisans harici frekanslar (öncelikli olarak 5–6 GHz)

11 GHz altındaki lisans harici bantlar için fiziksel çevre, aynı frekans aralığındaki lisanslı bantlar ile aynıdır. Fakat, lisans harici tutulan doğa düzenleyiciler yayılan gücü sınırladığında ilave gürültüler ve bozucu etkiler sunar. 4.1.2. de anlatılan özelliklere ilave olarak PHY ve MAC, gürültüyü tespit etmek ve engel olmak için DFS (Dynamic Frequency Selection – Dinamik Frekans Seçimi) gibi mekanizmalar sunar.

3.2. Referans Modeli

MAC 3 adet alt katmandan oluşur. Servise-Özel çevirmeli alt-katmanı (CS – Convergence Sublayer) AP'lerden alınan harici ağ verisinin haritalanmasını ve dönüşümünü sağlar. Harici ağ servisleri veri ünitelerinin (SDU) sınıflandırmasını içerir ve uygun MAC servis akış belirleyicisi (SFID – Service Flow Identifier) ve bağlantı belirleyicisi (CID – Connection Identifier) ile birleştirilir. Ayrıca PHS (Payload Header Suppression – Veri Başlığı Gizleme) gibi bazı fonksiyonları da içerebilir. Çoklu CS sınıflandırmaları çeşitli protokollerle arayüz sağlamada kullanılır. CS verisinin içyapısı CS için özgüdür ve MAC CPS'in (Common Part Sublayer – Ortak Bölüm Alt Katmanı) CS taşınan verisi ile ilgili herhangi bir yazı veya bilgiyi anlamasına gerek yoktur.



Şekil 3.1. SAP'leri gösteren IEEE 802.16 protokol katmanları

MAC, CPS giriş kontrolü, bant genişliği ayırma, bağlantı kurma ve bağlantı yönetimi gibi çekirdek fonksiyonları sağlar. Özel MAC bağlantıları olan MAC-SAP'ler (Service Access Point – Servis Erişim Noktası) boyunca birçok CS'den veri alır. MAC ayrıca, yetkilendirmeyi sağlayan güvenlik katmanı, güvenlik anahtarını değiştirme ve şifrelemeyi içerir.

Veri, PHY kontrolü ve istatistik PHY SAP üzerinden MAC CPS ve PHY arasında iletilir.

PHY, birçok sınıflandırma içerir, her biri özel frekans aralığına ve uygulamasına ayrılır. PHY sınıflandırması, 10 – 66 GHz frekans bandındaki işlemler için düşünülmüş, servis sağlayıcıların sistemlerini hücre planlama, maliyet, dalga özellikleri, servis ve kapasite bakımından en verimli bir şekilde kullanabilmek için esneklik sağlaması amacıyla tasarlanmıştır. Spektrum esnekliğinin sağlanabilmesi için hem TDD hem de FDD işlemlerini desteklemektedir. PHY ile veri gönderimi TDMA (Time Division Multiple Access – Zaman Bölmeli Çoklu Erişim) ve DAMA

yapılarının birlikte çalışmasıyla yapılır. Veri gönderme kanalları birkaç adet zaman bloklarına ayrılmıştır. Bu blokların sayısı, bazı parametrelerdeki (giriş yapma, içerik, yönlendirme ve trafiğin kullanımı) değişimlere göre BS (Base Station – Baz İstasyonu) içindeki MAC tarafından kontrol edilmekte ve optimal performans için zaman içinde değişiklik göstermektedir. Veri alma kanalı TDM (Time Division Multiplexing – Zaman Bölmeli Çoğullama) yapıdadır, Her SS'nin (Subscriber Station – Abone İstasyonu) gönderdiği bilgi birleştirilerek tek bir sektör içinde iletimi yapılır [2].

3.2.1. Medya giriş kontrolü (Media access control – MAC)

IEEE 802.16 MAC protokolü, noktadan çoklu noktaya geniş bant kablosuz erişim uygulamaları için tasarlanmıştır. Hem veri indirmede (BS'den) hem veri göndermede (BS'e doğru) yüksek bit oranlarına olan ihtiyacı ele almıştır. Erişim ve bant genişliği tahsisi algoritmaları, kanal başına düşen ve çoklu son kullanıcılar tarafından paylaşılan yüzlerce terminalleri içermelidir. Bu son kullanıcılar için gerekli servisler çeşitlilik göstermektedir ve TDM yapıda ses ve veriyi, internet protokolü (IP) ile bağlanabilirliği ve paketlenmiş VOIP yapılarının uzantılarını içerir. Bu çeşitlilikteki servisleri desteklemek için IEEE 802.16 MAC protokolü hem patlamalı hem de sürekli veri trafiğini desteklemelidir. Ek olarak, trafik türlerini takip edebilmek için bu servisler QoS yeteneğine ihtiyaç duymaktadır. IEEE 802.16 MAC, ATM servis kategorileri benzeri çeşitli servis tiplerini ve GFR (Guaranteed Frame Rate – Garanti edilmiş çerçeve oranı) gibi daha yeni kategoriler gibi geniş bir servis aralığı sağlamaktadır.

IEEE 802.16 MAC protokolü, ATM ve paket-tabanlı protokolleri de içeren çeşitli uzak noktalardan merkeze veri aktarma mekanizmalarını da desteklemelidir. Taşıma katmanına özel trafiği her hangi bir tür trafiği verimli bir şekilde taşımak amacıyla yeterli esnekliği sahip bir MAC'a dönüştürmek için çevirmeli alt katmanlar kullanılır. Veri başlığı gizleme, paketleme ve parçalara ayırma gibi özellikler aracılığı ile trafiği orijinal iletim mekanizmasından daha verimli bir biçimde iletmek için çevirmeli alt katmanlar ve MAC birlikte çalışır.

Taşıma verimi konuları MAC ve fiziksel katman arasındaki arayüz de de ele alınır. Örnek olarak, modülasyon ve kodlama yöntemleri her bir patlama için her abone istasyonuna uyarlamalı olarak ayarlanabilir bir patlama profilinde belirtilir. MAC uygun bağlantı koşulları altında bant genişliği-verimli patlamalı profilleri kullanabilir, fakat planlanan yüzde 99.999 hat kullanılabilirliğini desteklemek için gerekli, daha az verimli olmakla birlikte daha güvenli seçenekleri kullanır.

İstek-tahsisli mekanizmalar ölçeklenebilir, verimli ve kendi kendini düzeltebilen olacak şekilde tasarlanır. IEEE 802.16 erişim sistemi, terminal başına çoklu bağlantılar ve çoklu QoS katmanları ile ve yüksek bir miktarda istatistiksel olarak çoğullanmış kullanıcılar için verimliliği kaybetmez. İçeriksiz erişimin kararlılığını içerik yönelimli verimliliği ile dengede tutarak, IEEE 802.16 MAC erişim sistemi çok çeşitli istek mekanizmalarından istifade eder.

Çok sayıda bant genişliği paylaşılması ve QoS mekanizmaları var olmasına karşın, planlama ve yer ayırma yönetiminin detayları standartlaştırılmamış ve üreticiler için cihazlarını benzerlerinden ayırt etmek amacıyla önemli bir mekanizma sağlamıştır. Bant genişliği tahsisi ve veri taşınmasının yanında MAC ağa giriş yetkilendirmesi ve servis hırsızlığının önlemek amacıyla bir gizlilik alt katmanı içerir ve bu katman veri gizliliği amacıyla anahtar değiştirme ve şifreleme işlemlerini yapar.

IEEE 802.16a projesi 2 ve 11 GHz frekansları arasındaki farklı servis ihtiyaçlarının ve daha fazla talep edilen fiziksel ortamın sağlanabilmesi için MAC yapısını ARQ ve örgü (mesh) desteğini sağlayacak şekilde güncellenmektedir.

3.2.1.1. MAC katmanı teknik detayları

MAC, daha üst seviyedeki katmanlara arayüz olan Servise-Özel Çevirmeli alt katmanını içerir. Bu katmanın altında MAC fonksiyonları gerçekleştiren MAC Ortak bölüm alt katmanı yer alır. Ortak katmanın altında ise güvenlik alt katmanı vardır.

- Servise-özel çevirmeli alt-katmanlar:

IEEE 802.16 standardı, IEEE 802.16 MAC bağlantılarına doğru ve bağlantılarından dışarı olmak üzere genel iki servise-özel çevirmeli alt-katman tanımlar. ATM çevirmeli alt-katman ATM servisleri için, paket çevirmeli alt-katman ise IPv4, IPv6, Ethernet ve VLAN (Virtual Local Area Network – Sanal Yerel Ağ) gibi paketlemeli servislerin yerleştirilmesi için tanımlanmıştır. Alt katmanın öncelikli görevi SDU'ları doğru MAC bağlantısına göre sınıflandırmak, QoS yapısını devam ettirmek veya aktif hale getirmek ve bant genişliği tahsisini yapmaktır. Tahsis servislerin tipine göre çeşitlilik gösterir. Bütün bu temel fonksiyonlara ek olarak, çevirmeli alt katman veri başlığı gizleme ve hava akışı verimini artırılmasının yeniden oluşturulması gibi daha karmaşık fonksiyonları da gerçekleştirebilir.

- Ortak bölüm alt katmanı:

Genel olarak, IEEE 802.16 MAC eşzamanlı ve birbirinden bağımsız birden fazla sektörü aynı anda işleyen merkezi bir BS'li noktadan-çoklu noktaya bir mimari yapıyı destekleyecek şekilde tasarlanmıştır. Veri indirmede, SS'lere gelen veriler TDM yapıda çoğullanır. Veri gönderme SS'ler arasında TDMA yapıda paylaşılır.

IEEE 802.16 MAC bağlantı-tabanlıdır. Bağlantı içermeyen bütün servisler dahil tüm servisler dönüştürülür. Bu, bant genişliği talep etmede, QoS ve trafik parametrelerini ilişkilendirmede, uygun çevirmeli alt-katmana veri taşıma ve yönlendirmede ve servis tarafından kabul edilmiş terimlere ilişkin diğer tüm olaylarda bir mekanizma sağlar. Bağlantılar 16-bit bağlantı belirleyicisi ile tanımlanmıştır ve sürekli olarak verilen bant genişliği veya isteğe bağlı olarak verilen bant genişliği gerektirebilir. İleride açıklanacağı gibi, her iki tip bant genişliği tahsisi de desteklenmektedir.

Bütün SS'ler standart olarak 48-bitlik bir MAC adresine sahiptir, fakat çalışma esnasında kullanılan birincil adresler CID'ler olduğundan 48 bitlik MAC adresi belirleyici olarak çalışır. Ağa girdikten sonra SS'lere her yöne doğru üç yönetim bağlantısı verilir. Bu üç bağlantı, farklı yönetim katmanlarınca kullanılan farklı üç QoS ihtiyacını belirtir. Bağlantılardan ilki kısa süreli, zaman açısından kritik MAC

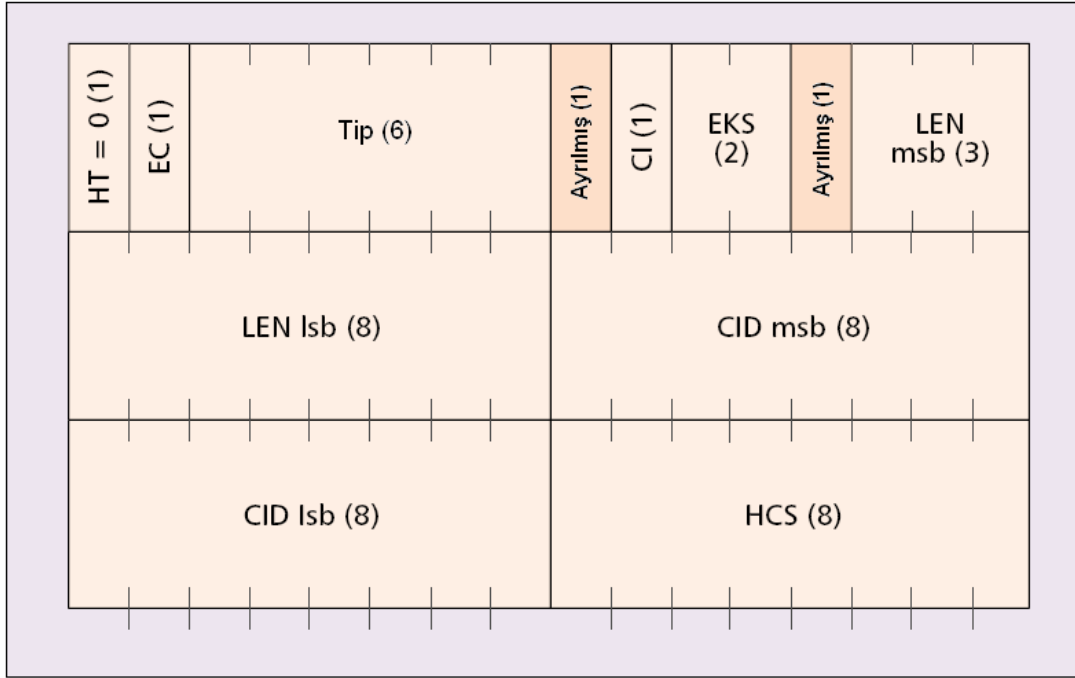
ve radyo bağlantı kontrolü (RLC) mesajlarını iletmek için kullanılan basit bağlantıdır. Birincil yönetim bağlantısı, yetkilendirme ve bağlantı kurulumu gibi daha uzun ve gecikmeye karşı daha toleranslı mesajların iletilmesinde kullanılır. İkincil yönetim bağlantısı ise, DHCP, TFTP (Trivial File Transfer Protocol – Önemli Dosya Transfer Protokolü) ve SNMP (Simple Network Management Protocol – Basit Ağ Yönetim Protokolü) gibi standart-tabanlı yönetim mesajlarının iletilmesinde kullanılır. Bütün bu yönetim bağlantılarına ek olarak, SS'lere kabul edilmiş servisler için taşıma bağlantıları tahsis edilir. Taşıma bağlantıları, QoS ve trafik parametrelerinde farklı veri gönderme ve veri alma işlemini kolaylaştırmak için tek yönlü olup servislerde çiftler olarak yer almaktadır.

MAC, değişik amaçlar için ilave bağlantılar bulundurmaktadır. Bir bağlantı, içerik-tabanlı ilk erişim için ayrılmıştır. Başka bir bağlantı, SS bant genişliği ihtiyacının içerik-tabanlı yoklamasını işaretlemekle birlikte veri indirmede yayın iletimi için tahsis edilmiştir. İlave bağlantılar, içerik-tabanlı yayınlar yerine içerik-tabanlı çoklu-yayınlar içindir. SS'lere bu çoklu-yayın yoklaması bağlantılarına ilişkin yoklama grupları içine katılmaları için komut verebilir.

- MAC PDU Yapıları:

MAC PDU, MAC'ın BS ve SS'lerdeki MAC katmanları arasında değiş-tokuşu yapılan veri birimidir. Bir MAC PDU, sabit uzunlukta MAC başlığı, değişken uzunlukta veri ve isteğe bağlı olarak CRC (Cyclic Redundancy Check – Dairesel Fazlalık Kontrolü) yapısını içerir. HT alanı tarafından ayırt edilen iki başlık formatı tanımlanır. Genel başlık ve bant genişliği istekli başlık (Şekil 3.2)

Veri içermeyen bant genişliği istekli MAC PDU'ları hariç, MAC PDU'lar ya MAC yönetim mesajlarını ya da çevirmeli alt-katman verisini içerir.



Şekil 3.2. MAC PDU'nun başlığının genel yapısı

Üç çeşit MAC alt-başlığı mevcut olabilir. Büyük yönetim alt-başlığı, bağlandığı BS'nin ihtiyacı olan bant genişliği yönetiminin taşınması için SS'ler tarafından kullanılır. Bölmeli alt-başlık, SDU'ların herhangi bir bölümündeki verinin yön ve mevcudiyet bilgilerini içeren bilgileri içerir. Paketleme alt-başlığı ise, çoklu SDU'ların bir tek PDU içinde paketlenmesini belirtmede kullanılır. Büyük yönetim ve bölmeli alt-başlıkları, tip alanıyla belirtilmiş MAC PDU'ların içerisine genel başlıktan hemen sonra yerleştirilebilir. Paketleme alt-başlığı, tip alanıyla belirtilmiş her MAC SDU yapısında öne yerleştirilebilir. Aşağıda detaylı bilgiler verilmiştir.

- MAC PDU'ların iletimi:

IEEE 802.16 MAC, ATM veya IP gibi çeşitli yüksek seviyeli protokolleri destekler. Karşılık gelen çevirmeli alt-katmanlardan gelen MAC SDU'lar, MAC protokolüne uygun olarak bir veya daha fazla bağlantı üzerinden taşınmadan önce MAC PDU yapısına göre şekillendirilir. Hava-bağlantısından geçerken MAC PDU'lar MAC SDU'lara dönüştürülür. Böylece, MAC katman protokolü tarafından yapılan biçim değişikliği alıcı tarafından algılanır.

IEEE 802.16 paketleme ve parçalama işlemleriyle birlikte bant genişliği tahsis işlemini işlemlerin esnekliğini, verimliliğini ve etkinliğini maksimum yapmak için birleştirme özelliğine sahiptir. Parçalama, MAC SDU'ların bir veya birden fazla MAC SDU parçalarına bölünme işlemidir. Paketleme ise, çoklu MAC PDU'ların bir tek MAC PDU verisinin içine paketlenmesidir. Her iki işlem de ya bir veri indirme bağlantısı için bir BS ile ya da bir veri gönderme bağlantısı için bir SS tarafından başlatılabilir.

IEEE 802.16, bant genişliğinin verimli kullanılmasını sağlamak için parçalama ve paketleme işlemleri birlikte yapılmasına izin vermektedir.

- Güvenlik alt katmanı:

Güvenlik alt katmanı, SS ile BS arasındaki bağlantıyı şifreleyerek geniş bant kablosuz ağdaki kullanıcıların güvenliğini sağlar. Ek olarak, bu katman üreticilere sanal hırsızlara karşı güçlü bir koruma sağlar. BS katmanının üzerinden akan trafiği şifreleyerek veri transfer servislerine yetkisiz girişleri de engeller. Güvenlik katmanı, BS katmanında, sunucuda ve kullanıcı tarafındaki SS katmanında bir yetkilendirme protokolü çalıştırır. Ayrıca bu mekanizma sayısal sertifika tabanlı şifreleme protokolleri ile sağlamlaştırılır.

Yetenekler göz önüne alındığında, SS katmanı IEEE 802.16 standardının güvenlik yapısını desteklemez. Bu katmanda yetkilendirme ve anahtarlama adımları atlanır. Bu gibi durumlarda ihtiyaç duyulursa BS katmanı SS katmanında yetkilendirme sistemlerini çalıştırır. Aksi halde anahtarlama veya veri şifreleme mekanizmaları çalışmaz [2].

3.2.2. Fiziksel katman

3.2.2.1 10–66 GHz Frekans aralığı

10–66 GHz frekans aralığı için PHY şartnamesi tasarlanırken LOS yapısına göre iletimin uygulamada gerektiği varsayılmıştır. Bu şartın düşünülmesi ile tek-taşıyıcılı modülasyon seçilmiş, hava arayüzü de “WirelessMAN-SC” olarak adlandırılmıştır. Bununla birlikte birçok temel tasarım problemi mevcuttur. Basit olarak, noktadan çoklu-noktaya mimariden dolayı, BS bir TDM işareti iletir. Veri göndermede erişim TDMA ile olmaktadır. çoğullama ile ilgili detaylı tartışmalardan sonra, hem veri indirme ve göndermenin aynı anda olmamak suretiyle bir kanalı paylaştığı TDD hem de veri indirme ve göndermenin bazen aynı anda farklı kanallar üzerinden çalıştığı FDD’ye imkan veren patlamalı bir tasarım seçilmiştir. Bu patlama tasarımı hem TDD hem de FDD yapılarının benzer biçimde ele alınmasına imkan verir. Aynı anda veri gönderme ve alma yapmadığından daha hesaplı olan tek taraflı FDD abone istasyonu desteği, donanımda küçük bir karmaşıklığa rağmen eklenmiştir. TDD ve FDD seçeneklerinin her ikisi de modülasyon ve kodlama tercihlerinin patlamadan patlamaya dinamik olarak tahsis edildiği uyarlamalı patlama profillerini desteklemektedir.

3.2.2.2. 2–11 GHz Frekans aralığı

2–11 GHz bantları, hem lisanslı hem de lisans dışı olarak IEEE 802.16a projesi içerisinde ele alınmıştır. Fakat standart tam olarak tamamlanmamıştır. Mevcut taslak, bu yapıya uygun sistemlerin her birisi farklı sistemlerde çalışılmayı sağlayan 3 hava sınıflandırmasından birisini yerine getirdiğini belirtmektedir. 2–11 GHz tasarlanmasında fiziksel katmanının NLOS işlemlerine olan ihtiyacı göz önünde bulundurulmuştur. Uygulamaların yerleşimi tamamlanmış yerlerde uygulanması beklendiğinden, BS anteni için gerekli olan temiz görüş açısını elde edebilmek için çatı yükseklikleri yeterli olmayabilir. Görüş açısı ağaçlar gibi etkenler tarafından engellenebilir. Bu nedenle, oldukça önemli miktarda çoklu-yayılm beklenmelidir. Ayrıca, dışarıya monte edilen antenler hem donanımsal hem de kurulum maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı pahalıdır.

Taslak 3 de yer alan 2-11 GHz 3 hava ara yüzü sınıflandırmaları:

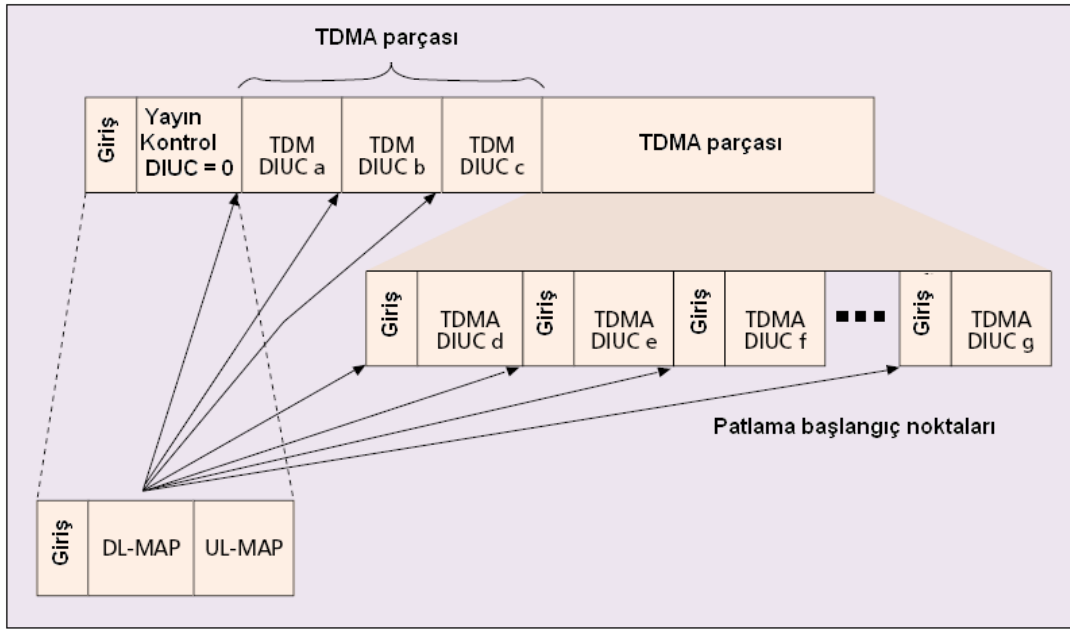
- WirelessMAN-SC2: tekli-taşıyıcı modülasyon yapısını kullanır.
- WirelessMAN-OFDM: 256 nokta dönüşümlü OFDM yapısını kullanır. Erişim TDMA ile olur. Bu hava arayüzü lisans dışı bantlar için zorunludur.
- WirelessMAN-OFDMA: 2048 nokta dönüşümlü OFDM yapısını kullanır. Bu sistemde çoklu giriş, çoklu taşıyıcı alt kümesinin özel alıcılara adreslenmesi ile sağlanır.

Yayımlı ihtiyaçlarından dolayı ileri anten (AAS) kullanımını desteklenmektedir.

3.2.2.3. Fiziksel katman teknik detayları

10–66 GHz frekansı için tanımlanmış PHY spesifikasyonu, modülasyon ve kodlama yöntemlerini içeren iletim parametrelerinin her bir taşıyıcı istasyona çerçeve-çerçeve temelli olarak ayarlanabildiği uyarlamalı patlamalı profili patlamalı tek taşıyıcı modülasyon kullanır. Hem TDD hem de patlamalı FDD biçimleri tanımlanmıştır. 20 veya 25 MHz (US'deki tahsise göre) veya 28 MHz (Avrupa'daki tahsise göre) kanal bant genişlikleri 0.25 değerinde azalma faktörlü Nyquist kare-kök yükseltilmiş-kosinüs darbe şekillendirme kullanılmıştır. Eş-zamanlama için bit değerlerini garantilemek ve spektral şekillendirme için rastgelelik gerçekleştirilir.

Kullanılan FEC, değişken blok boyutlu ve hata düzeltme kabiliyetlerine sahip bir Reed-Solomon GF(256)'dır. FEC, çerçeve kontrolü ve ilk erişim gibi önemli verilerin sağlam olarak iletilmesi için dâhili bir çevrimsel blok kod ile birlikte kullanılır. Değişken sağlamlıkta ve verimlilik patlamalı profiller oluşturmak için FEC tercihleri, QPSK, 16 QAM ve 64-QAM ile birlikte kullanılır. Son FEC bloğu dolu değilse blok kısalabilir. Veri gönderme bağlantısı ve veri indirme bağlantısının her ikisinde de kısalma BS tarafından kontrol edilmekte ve UL-MAP ve DL-MAP ile dolaylı olarak belirtilmektedir.



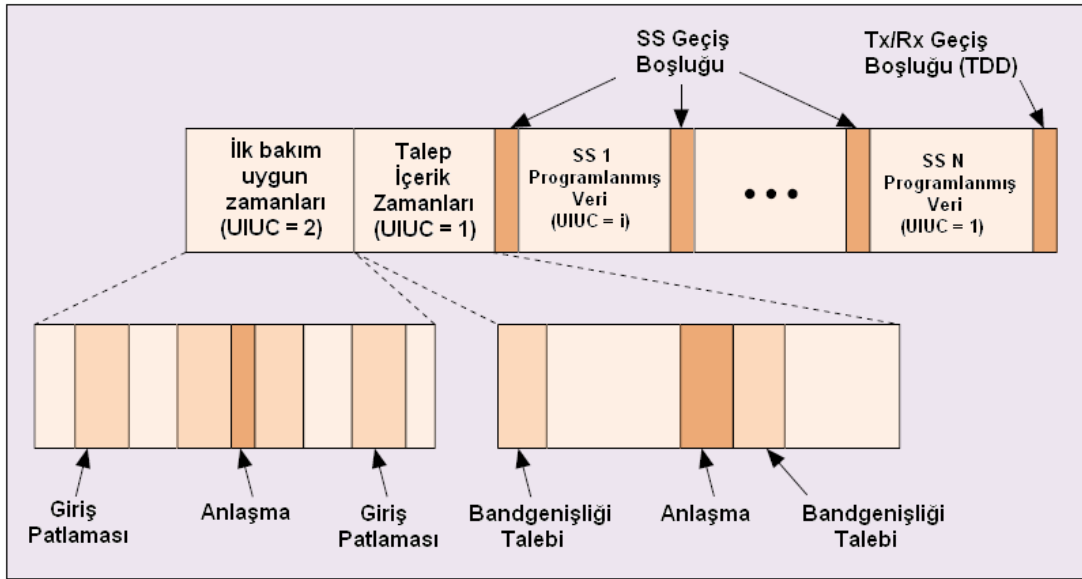
Şekil 3.3. Veri indirme bağlantısı alt-çerçeve yapısı

Bu sistem 0,5, 1 ya da 2 ms'lik çerçeve kullanır. Bu çerçeve PHY geçişinin belirlenmesi ve bant genişliği paylaşımının yapılması için fiziksel bölmelere bölünmüştür. Fiziksel bir bölüm, 4 QAM sembol olacak şekilde tanımlanır. PHY'nin TDD durumunda veri gönderme bağlantısı alt-çerçevesi veri indirme alt-çerçevesini aynı frekansında takip eder. FDD biçiminde ise veri gönderme ve alma bağlantıları alt-çerçevesi zaman içerisinde örtüşürler fakat ayrı frekanslarda taşınırlar. Veri indirme alt-çerçevesi Şekil 3.3.'de gösterilmektedir.

Veri indirme bağlantısı alt-çerçevesi, gelecekte belirtilen bir zamanda UL-MAP ile birlikte mevcut veri indirme bağlantısı çerçevesi için DL-MAP'yi içeren bir çerçeve kontrol kısmıyla başlar. Veri indirme bağlantısı haritası, veri indirme bağlantısı içerisinde fiziksel katman geçişlerinin (modülasyon ve FEC değişiklikleri) ne zaman meydana geldiğini belirtir. Veri indirme bağlantısı, tipik olarak çerçeve kontrol bölümünü takip eden bir TDM parçası içerir. İndirme verileri patlamalı bir profil kullanan her bir SS'ye iletir. Veri, SS'lerin veri indirme bağlantılarındaki eş-zamanlamayı kaybetmesine neden olabilecek bir patlamalı profili sunulmadan önce verilerini almalarına izin vermek için sağlamlık düşürülerek iletir.

FDD sistemlerde, TDM kısmı patlamalı yeni her profilin başlangıcında ilave bir başlık içeren bir TDMA parçasından sonra gelebilir. Bu özellik tek-yönlü SS'ler için daha iyi bir destek sağlar. Verimli programlanmış ve birçok tek-yönlü SS'leri olan FDD sisteminde bazı SS'lerin aldıkları çerçeveden daha önce iletim yapma ihtiyaçları olabilir. Tek-yönlü yapıları gereği, bu SS'ler veri indirme bağlantısı ile eş-zamanlamayı kaybederler. TDMA başlığı eş-zamanlamayı geri kazanmaya imkân sağlar.

Aktif olan çeşitli servisler için bant genişliği isteğinin dinamiklerinden dolayı patlamalı profillerin karışımı, süresi ve TDMA parçasının varlığı veya yokluğu çerçeveden çerçeveye dinamik olarak değişmektedir. Alıcı SS kesin olarak DL-MAP içerisindekinden daha fazla MAC başlık içerisinde belirtildiği sürece, SS'ler alabilme kabiliyeti olan bütün veri indirme alt-başlıklarının parçalarını dinler. Çift-yönlü SS'ler için bu BS ile tanımlanan sağlamlık seviyesine eşit veya daha fazla olan bütün patlamalı profillerin alınması anlamına gelmektedir.

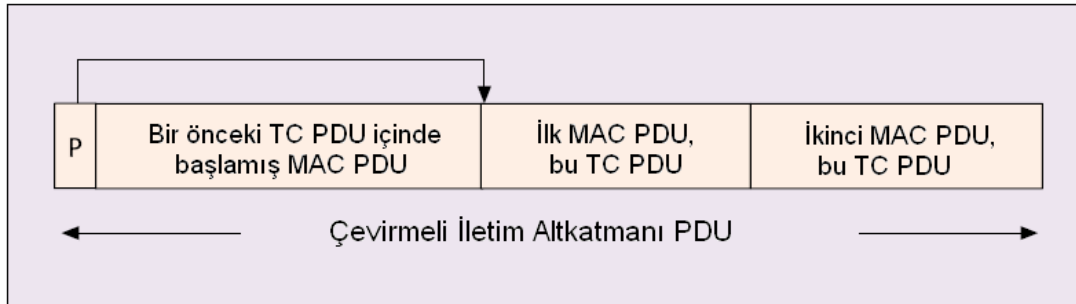


Şekil 3.4. Veri Gönderme bağlantısı alt-çerçeve yapısı

10 – 66 GHz PHY için tipik bir veri gönderme alt-çerçevesi Şekil 3.4'de gösterilmektedir. Veri indirme bağlantısından farklı olarak, UL-MAP SS'lere özel bant genişliği tahsisi yapar. SS'ler kendilerine ayrılan bölüm içerisinde, UIUC

(Uplink Interval Usage Code –Veri gönderme aralığı kullanım kodu) tarafından tanımlanan patlamalı profili kullanarak iletim yapar. Veri gönderme bağlantısı alt-çerçevesi ilk sistem erişimi ve yayın için veya çoklu-yayın bant genişliği talepleri için mücadele-tabanlı yerleştirme de içerebilir. İlk sistem erişimi için giriş fırsatları BS'deki döngü-turu gecikmesinin dengelenmesi için gereken iletim zamanı ilerlemesini çözümlenmiş SS'ler için fazladan koruma zamanına izin verecek şekilde ölçeklendirilir.

PHY ile MAC arasında çevirmeli iletim alt-katmanı yer alır. Bu katman, değişen uzunluktaki MAC protokol veri birimlerini (PDU'lar) her patlamanın sabit FEC blokları (sonuna kısaltılmış bir blok ekleyebilir) haline dönüştürme işlemini yapar. TC (Transmission Convergence – Çevirmeli iletim) katmanı, doldurulan mevcut FEC bloğuna sığabilmesi için bir PDU içerir. Bu yapı, bir sonraki MAC PDU başlığının FEC bloğu içinde nerede başladığını gösteren bir işaretçiyle başlar. (Şekil 3.5'de gösterilmiştir.)



Şekil 3.5. TC PDU yapısı

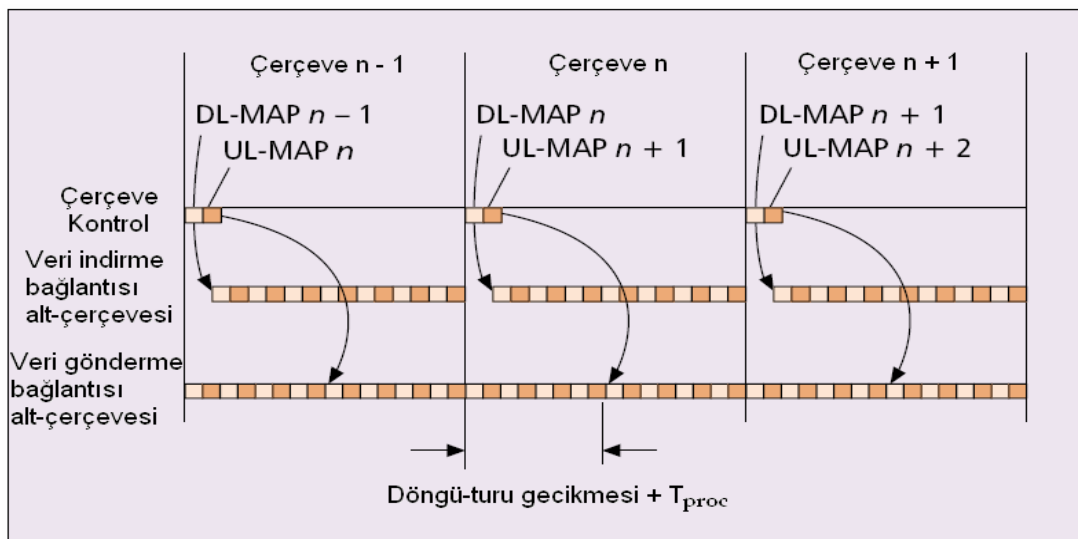
TC PDU yapısı bir önceki FEC bloğunda giderilemez hatalar olduğu zaman bir sonraki MAC PDU ile tekrardan eş-zamanlama yapılmasına imkân sağlar. TC katmanının olmaması halinde, giderilemez hatalar olduğunda alıcı bir SS veya BS patlamanın bütün artanlarını kaybedebilir.

3.2.2.4. PHY desteği ve çerçeve yapısı

IEEE 802.16 MAC, TDD ve FDD yapılarının her ikisini de desteklemektedir. FDD'de hem sürekli hem de patlamalı bağlantı desteklenmektedir. Sürekli veri indirme bağlantıları eklemeye gibi belirli iyileştirme tekniklerine izin verir. Patlamalı veri indirme bağlantıları, (FDD veya TDD) uygun abone-katmanı uyarlamalı patlamalı profilleme ve gelişmiş anten sistemleri gibi daha ileri dayanıklılık ve kapasite iyileştirme tekniklerinin kullanılmasına imkan verir.

MAC, DL-MAP ve UL-MAP mesajlarını bir çerçeve kontrol bölümüyle başlayan veri indirme alt-çerçeveleri oluşturur. Bu, alt çerçevede veri indirmede PHY geçişlerini veri göndermede bant genişliği tahsisleri ve patlamalı profilleri gösterir.

DL-MAP, mevcut çerçeveye her zaman uygulanabilir ve her zaman en az iki FEC bloğu uzunluğundadır. İlk PHY geçişi uygun işlem zamanına izin vermek için ilk FEC bloğunda belirtilir. TDD ve FDD sistemlerinin her ikisinde de UL-MAP bir sonraki veri indirme çerçevesinden daha geç başlamayan tahsisler sağlamaktadır. Ancak, işlem zamanları ve döngü-turu gecikmeleri gözlemlendiği sürece, UL-MAP mevcut çerçevede başlama tahsisi yapabilir. Bir FDD sistemi için UL-MAP alımı ve uygulanabilmesi arasındaki en az zaman Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Minimum FDD harita gösterimi

3.2.4. Radyo bağlantı kontrolü

IEEE 802.16 PHY'nin gelişmiş teknolojisi özellikle bir patlamalı profilden diğerine geçişte aynı derecede gelişmiş olan radyo bağlantı kontrolüne (Radio Link Control - RLC) ihtiyaç duyar. RLC bu yeteneği, güç kontrolü ve sıralama gibi bilinen RLC fonksiyonları kadar iyi kontrol edebilmelidir.

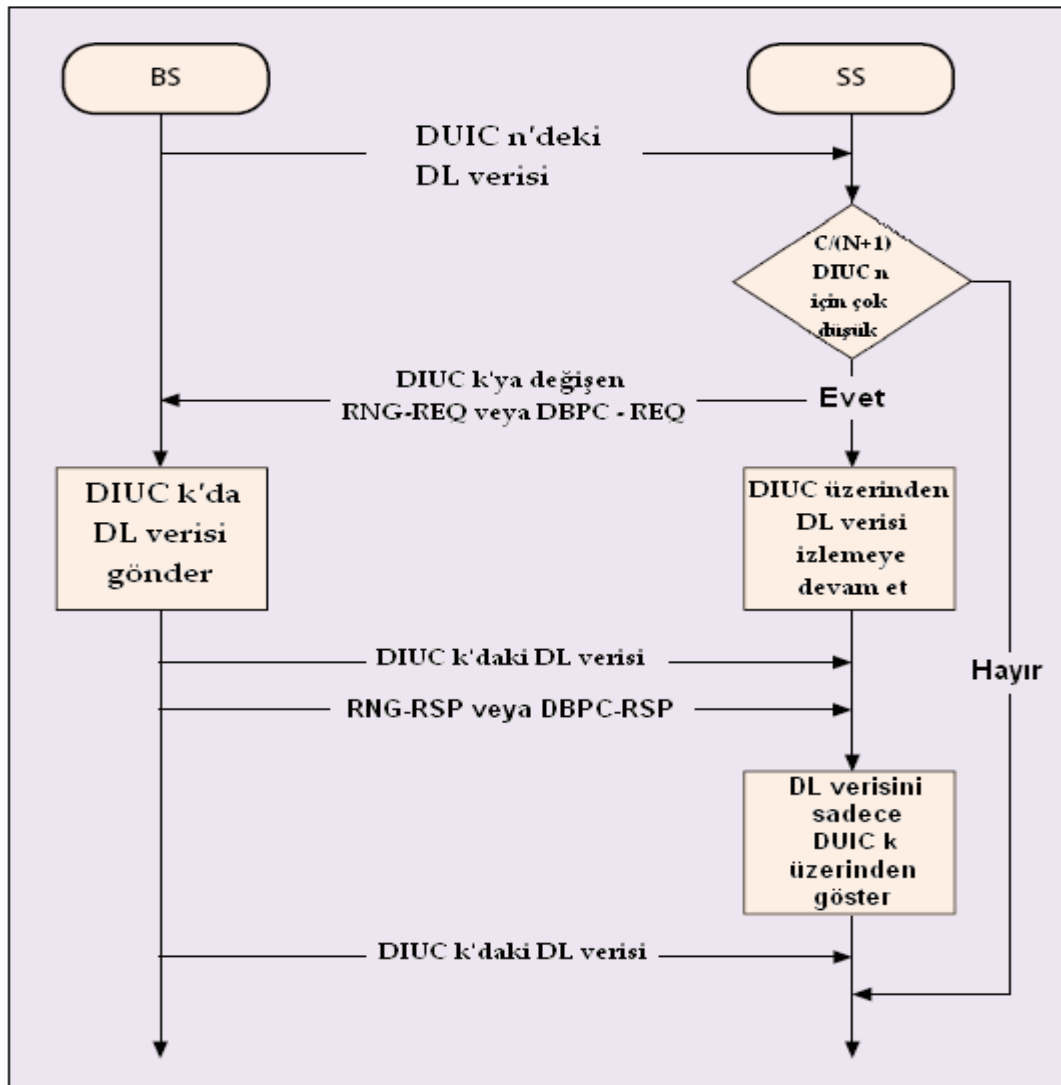
RLC, veri gönderme ve veri alma için seçilen patlamalı profillerin periyodik BS yayınları ile başlar. Bir kanalda kullanılan özel patlamalı profiller yağmur bölgesi ve donanım yetenekleri gibi bir dizi etken göz önüne alınarak seçilir. Veri indirme için patlamalı profillerin her biri DIUC (Download Interval Usage Code – Veri indirme aralığı kullanım kodu) ile isimlendirilir. Veri gönderme için ise UIUC olarak isimlendirilmişlerdir.

İlk erişim süresince, SS ilk bakım penceresinde iletilen RNG-REQ (Ranging Request – Sıralı talep) mesajlarını kullanarak güç seviyeleme ve sıralama işlemini gerçekleştirir. SS'nin iletim zamanının ilerlemesine yönelik düzenlemeler ve güç düzenlemeleri RNG-RSP (Ranging Response – Sıralı Cevap) mesajları içinde SS'e geri dönerler. Devam eden gidiş sıralaması ve güç düzenlemeleri için, BS SS'nin gücünü ve zamanlamasını ayarlamasını isteyen, RNG-RSP mesajları gönderebilir.

İlk sıralama boyunca, SS kendi seçimi olan ve BS'e doğru olan DIUC'in iletimini yaparak özel bir patlamalı profili aracılığıyla veri indirmede isteyebilir. Seçim, ilk sıralama boyunca ve daha önce SS tarafından yapılan alınan veri indirme bağlantısı işaret kalite ölçümlerine dayalıdır. BS, sıralama cevabında bu seçimi kabul veya ret edebilir. Benzer şekilde, BS SS'den aldığı veri gönderme işaretinin kalitesini gözlemler. BS UL-MAP mesajı içerisindeki uygun patlamalı profil UIUC'yi içererek SS'ye özel bir veri gönderme bağlantısı patlamalı profilini kullanmasını söyler.

BS ile özel bir SS arasındaki veri gönderme ve veri alma patlamalı profillerinin ilk kez belirlenmesinden sonra, RLC patlamalı profilleri kontrol etmeye ve gözlemlemeye devam eder. Yağmur sönümlenmeleri gibi ağır çevre şartları SS'i daha

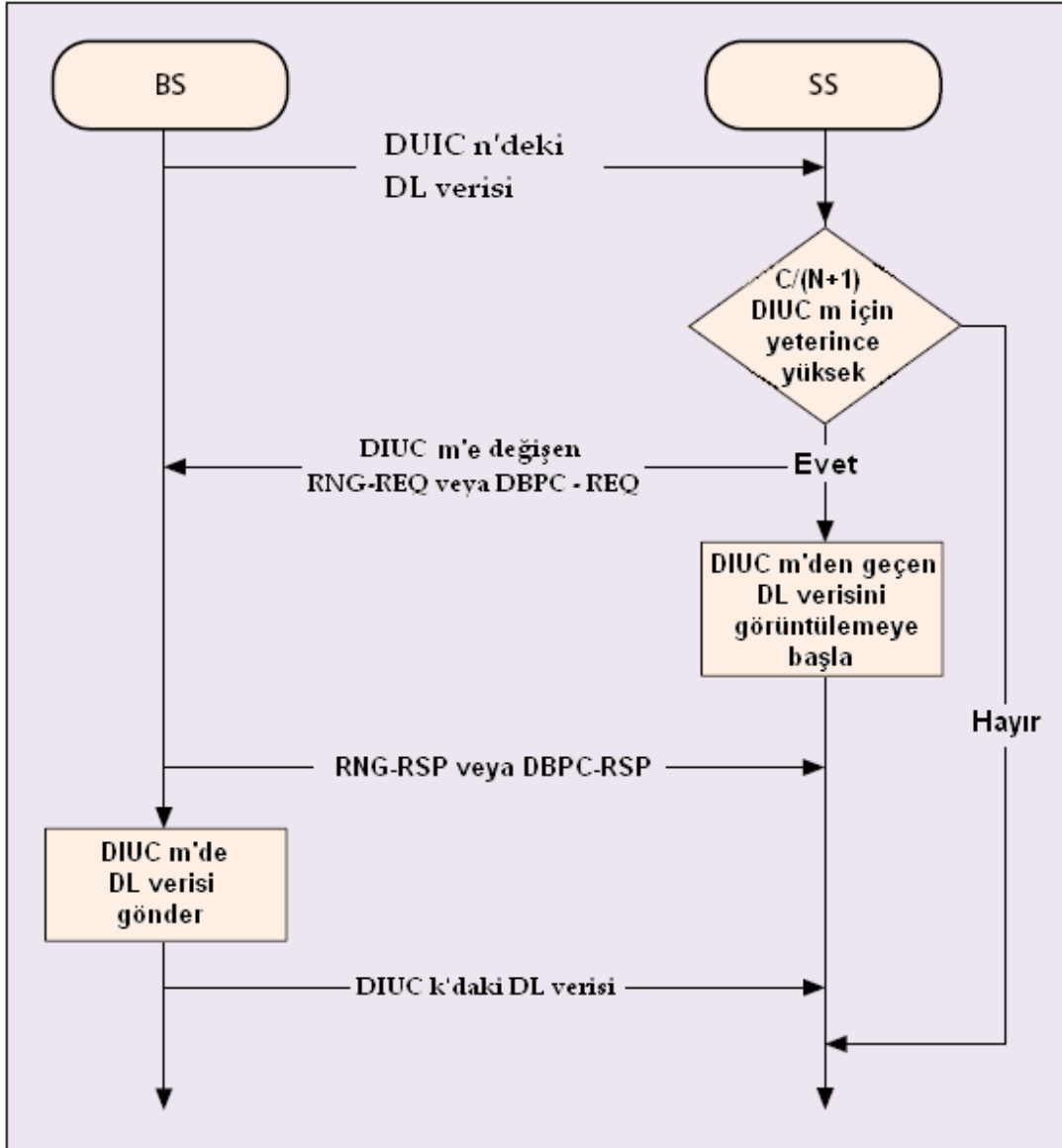
güçlü patlamalı profil istemeye zorlayabilir. Alternatif olarak, istisnai güzel havalarda SS'ye daha verimli bir patlamalı profil ile geçici olarak işlem yapmasına izin verir. RLC dayanıklılık ve verim arasındaki dengeyi sağlamak için SS'nin mevcut UL ve DL patlamalı profillerine uymaya devam eder. BS kontrolü elinde tuttuğundan ve veri gönderme bağlantısı olarak işaret kalitesini kontrol ettiğinden bir AA için değişen veri gönderme bağlantısı patlamalı profilini değiştirmek için protokol basittir: BS bir çerçevede SS'yi bant genişliği tahsis ettiğinde profilin ilgili UIUC'sini belirtir. SS her zaman ya UIUC'ü tahsis ya da hiçbirini almayacağından sürece teyit ihtiyacını giderir. Bu nedenle, BS ile SS arasında veri iletimi bağlantı profili uyumsuzluğu ihtimali yoktur.



Şekil 3.7. Daha Sağlam bir patlamalı profile geçiş

Veri indirme bağlantısında, SS alınan işaretin kalitesini gözlemler ve bu yüzden veri indirme bağlantısı profilinin ne zaman değişmesi gerektiğini bilir. Bununla birlikte, BS de değişikliği kontrol eder. SS de veri indirme bağlantı profilinde değişiklik istemek için, SS'nin GPC (Grant per Connection – Bağlantı başına tahsis) veya GPSS (Grant per Subscriber Station – Abone istasyonu başına tahsis) modunda çalışmasına bağlı olarak iki yöntem mevcuttur. İlk yöntem tipik olarak (BS programlama algoritmalarının yetkisi dikkate alınmıştır) sadece GPC SS'lere uygulanabilir. Bu durumda, SS'lere periyodik olarak istasyon bakım aralığı tahsis eder. SS, RNG-REQ iletisini, veri indirme bağlantısı patlamalı profilinde bir değişiklik talep ederken kullanabilir. SS'ler veri indirme bağlantısı patlamalı profilinin değişikliği talebinin (DBPC-REQ) iletilmesi için tercih edilen yöntemdir. GPSS SS'ler için her zaman bir seçenek olan ve GPC için bir seçenek olabilen bu durumda, değişikliği teyit eden ya da reddeden bir veri indirme bağlantısı profili değişimi cevabıyla (DBPC-RSP) BS karşılık verir.

İletiler düzeltilemez bit hataları yüzünden kaybedilebileceğinden bir SS'nin veri indirme bağlantısı patlamalı profilini değiştirmek için protokoller dikkatlice yapılandırılmalıdır. Patlamalı profili değişim olayları sırası daha az dayanıklı olana dönüştüğü zamandan daha dayanıklı olana dönüştüğü zamana göre farklıdır. Standart, bir SS'nin her zaman veri indirme bağlantısının daha sağlam parçalarını dinlemek zorunda olması ve üzerinde mutabakat protokolünden faydalanır. Şekil 3.7'deki geçiş ise daha az sağlam bir patlamalı profile geçişi gösterir.



Şekil 3.8. Daha az sağlam bir patlamalı profile geçiş

3.2.5. Veri gönderme bağlantıları programlama servisleri

Veri gönderme yönündeki her bağlantı bir programlama servisine dönüştürülür. Her programlama servisi, veri gönderme bağlantısı kapasitesini ve BS ile SS arasındaki istek-tahsis protokolünü paylaşarak sorumlu olan BS programlayıcısı üzerinde yerleştirilmiş bir takım kurallara ilişkilendirilir. Özel veri gönderme bağlantısında kullanılan kuralların ve programlama servisinin detayları bağlantı kurulum anında belirlenir.

IEEE 802.16 içerisindeki programlama servisleri kablolu modemler için tanımlanmış DOCSIS standardı içindeki tanımlar dikkate alınmıştır.

UGS (Unsolicited Grant service – Talep edilmeyen tahsis servisi), periyodik olarak sabit veri birimleri üreten taşıyıcı servisler için uyarlanmıştır. Burada, BS düzenli olarak SS'den gelen açık bir talep olmadan bağlantı kurulum esnasındaki boyut tahsisini düzenler. Bu, ilgili servisin gecikme ve gecikme sapması gereksinimlerini karşılamak için bant genişliğinin başlık ve gecikme isteklerini engeller. Gecikme sapması üzerindeki pratik bir sınır çerçeve süresi ile belirlenir. Daha hassas gecikme ihtiyacı sağlanacaksa çıkış tamponlama gereklidir. UGS servisi ile taşınmak istenen tipik servisler ATM CBR (Constant bit rate – Sabit bit oranı) ve ATM üzerinde E1/T1'i yapılarını içerir.

UGS ile kullanılınca, tahsis yönetimi alt-başlığı poll-me (beni yokla) bitiyle birlikte, kaybolan tahsisler veya IEEE 802.16 sistemi ve dış ağ arasındaki saat kayıklığı gibi etkenlerden dolayı SS'ye iletim kuyruğunun tekrar kayıt edildiğini raporlamasına imkan veren kayma belirtici bağrağını içerir. BS, kayma belirtici belirlendikten sonra, normal kuyruk durumuna geçmesine imkân vermek için SS'ye ilave kapasite tahsis edebilir. UGS ile şekillendirilmiş bağlantılara, talepler için rasgele erişim fırsatlarını kullanmak için izin verilmez.

Gerçek zamanlı yoklama servisi, kendiliğinden dinamik olan servislerin ihtiyaçlarını karşılamak için tasarlanır. Fakat gerçek zamanlı ihtiyaçları karşılamak için periyodik olarak özgül talep fırsatlarını sunar. SS açık talepler verdiği için protokol aşımı ve bekleme süresi artırılır, fakat bu kapasite sadece bağlantının gerçek ihtiyacına göre tahsis edilir. Gerçek zamanlı yoklama servisi, VoIP veya kesintisiz video veya ses yayını gibi servisleri taşıyan bağlantıcılar için oldukça uygundur.

Gerçek zamanlı olmayan yoklama servisleri bant genişliği isteklerini göndermek için bağlantıların rasgele erişim iletim fırsatlarını kullanabilmeleri dışında gerçek zamanlı yoklama servislerinin hemen hemen aynıdır. Tipik olarak, bu bağlantılar üzerinden taşınan servisler daha uzun gecikmelere dayanıklıdır ve gecikme sapmasına duyarlı

değildir. Gerçek zamanlı olmayan yoklama servisi, garanti edilmiş en az veri hızı ile internet girişi ve ATM GFR bağlantıları için uygundur.

En güçlü servis de tanımlanmıştır. Ne eşik değerleri ne de gecikme garantileri sağlanmıştır. SS, ya rasgele giriş bölümleri yada özgül iletim fırsatları içerisinde bant genişliği taleplerini gönderir. Tahsis edilen fırsatların varlığı ağ yüküne bağlıdır ve SS bunların varlığına güvenemez.

3.2.6. Bant genişliği talepleri ve tahsisler

IEEE 802.16 MAC, birbirinden bir bağlantı için veya SS'nin bütünü için bant genişliği tahsisi kabulü kabiliyeti noktasında ayrılan iki sınıf SS yapısını barındırır. SS'nin her iki sınıfı da, BS veri gönderme zamanlama algoritmasının bant genişliği paylaşırması sırasında QoS'yi uygun olarak ele alma amacıyla her bağlantı için bant genişliği ister. Bağlantı başına tahsis (GPC) SS sınıfıyla, bir bağlantıya açık bir şekilde bant genişliği tahsis edilir ve ss tahsisi sadece bu bağlantı için kullanır. RLC ve diğer yönetim protokolleri, yönetim bağlantılarına açıkça paylaştırılmış bant genişliğini kullanır.

SS başına tahsis (GPSS) sınıfıyla, SS'lere tek bir tahsiste toplanmış bant genişliği tahsis edilir. GPSS SS'nin QoS mekanizmasını yönetmede daha akıllı olmalıdır. Bant genişliği, bant genişliğini isteyen bağlantıcı için kullanır, ancak her ikisi için kullanmaz. Örnek olarak, SS'deki QoS durumu gelen son talepten sonra değişmişse, SS daha düşük QoS bağlantısı tarafından çalınmış bu bant genişliğini değiştirmek isteyen bir istekle birlikte daha yüksek bir QoS verisini gönderme seçeneğine sahiptir. SS, çevresel şartların değişmesine hızlı cevap verebilmek için bant genişliğinin bir kısmını DBPC-REQ (Downlink burst profile change request – veri indirme patlamalı profili değişiklik talebi) gibi iletiler göndererek kullanabilir.

SS'nin iki sınıfı kolaylık ve verim arasında bir ödünleşmeye izin verir. RLC ve diğer istekler için açık bir şekilde ilave band genişliği tahsisiyle birlikte her SS için birden fazla giriş olasılığı GPC'yi GPSS'den daha az verimli ve daha az ölçeklenebilir yapar. Ek olarak, GPSS SS'nin PHY'nin ve bütün bu bağlantıların ihtiyaçlarına daha

hızlı yanıt verebilme kabiliyeti sistemin performansını arttırmaktadır. GPSS 10–66 GHz PHY'ye müsaade edilen tek sınıf GPSS'dir.

Her iki tahsis sınıfında da, IEEE 802.16 MAC bir teyit protokolü yerine kendi kendini düzelten bir protokol kullanır. Bu yöntem daha az bant genişliği kullanır. Ayrıca, teyit protokolü ilave zaman alabilir ve gecikme oluşturabilir. SS tarafından bağlantı için istenen bant genişliğinin mevcut olmamasının birkaç nedeni vardır:

- BS, iyileştirilemeyen PHY bit hataları yüzünden veya gizli bir mücadele-tabanlı şart yüzünden, talebi görmemiştir.
- SS iyileştirilemeyen PHY bit hataları yüzünden tahsisi görememiştir.
- BS kullanılabilir yeterli bant genişliğine sahip değildir.
- GPSS SS bant genişliğini başka bir amaç için kullanmıştır.

Kendi kendini düzelten protokolde de bütün bu istenmeyen durumlar aynı şekilde alınmıştır. Bağlantının QoS için uygun bir zaman aşımından sonra (veya bant genişliği SS tarafından başka bir amaç için çalınıyorsa hemen), SS tekrardan talep eder. Verimlilik için çoğu bant genişliği talepleri artımlıdır, yani SS bağlantı için her seferinde daha fazla bant genişliği ister. Bununla birlikte, kendi kendini düzelten bant genişliği talebi/tahsisi mekanizmasının doğru çalışması için bant genişliği taleplerinin ara sıra toplanması gerekmektedir, yani SS ihtiyacı olan toplam bant genişliği hakkında BS'ye bilgi verir. Bu, BS'ye bant genişliği tahsisinin yapılması için kullanılan karmaşık protokollere ihtiyaç duymadan SS'nin talebini sıfırlamasına imkân sağlar.

SS, yanıt veren mücadele-tabanlı tekli-yayın yoklama belirliliği ile istenmeyen bant genişliğinin verimini ve içerik tabanlı isteklerin yanıtını oldukça fazla sayıda isteme yollarına sahiptir. CBR T1/E1 verisi gibi sürekli bant genişliği isteği için SS talepte bulunmaz, BS onu tahsis eder.

Normal yoklama çevrimini kısa devre yapmak için UGS'yi çalıştıran bağlantı herhangi bir SS, başka bir bağlantıda band genişliği ihtiyaçları için BS'nin yoklaması gerektiğini bilmesi amacıyla tahsis yönetimi alt başlığında beni yokla bitini

kullanabilir. BS istenmeyen tahsis servislerini içeren SS'leri sadece beni-yokla bitini aktif hale getirdiklerinde yoklayarak bant genişliğinde tasarruf yapmayı seçebilir.

Bant genişliği talebi yapmanın daha geleneksel bir yolu bant genişliği istek başlığı içeren ve veri içermeyen bir bant genişliği isteği MAC PDU göndermektir. GPSS SS'ler bunu aldığı her hangi bir bant genişliği tahsisinde gönderebilir. GPC terminalleri bu birimi kendilerine ayrılmış bağlantılarının içinde talep aralığında veya veri tahsisi aralığında gönderebilir. Veri talep etmenin başka bir yöntemi de bir MAC PDU içinde aynı bağlantı için ek bant genişliği amacıyla bir tahsisi taşımak için bir tahsis yönetim başlığı kullanmaktır.

Özel SS'lerin yoklanmasına ek olarak, BS, yayın CID'sine (Connection Identifier – Bağlantı Belirleyicisi) bir talep aralığı tahsisi yaparak bir yoklaması yapabilir. Benzer şekilde standart, içerik-tabanlı yoklama üzerinden daha iyi bir kontrol için çoklu yayın grupları oluşturma amacıyla bir protokol sağlar. Çarpışmalar ve tekrar denemeden dolayı kaynaklanabilen belirli olmayan gecikmelerden ötürü, içerik-tabanlı talepler sadece mevcut düşük QoS sınıflı servisler için izin verilmiştir.

3.2.7. Kanal kazanımı

MAC protokolü, elle yapılan kurulumun ihtiyaçlarını ortadan kaldırmak için bir başlatma protokolü içerir. Kurulmdan sonra SS, çalışan bir kanal bulmak için kendi frekans listesini taramaya başlar. SS'ler her birisi için programlanabilir BS ID yayını olan özel bir BS'ye kayıt olmak üzere de programlanmış olabilir. Bu özellik, SS'nin, seçici sönmlemenin olmasından dolayı ikinci bir BS'yi dinlediği veya SS'nin BS yakınındaki bir antenin bir kenar lobunu aldığı yoğun yaymalarda faydalıdır.

Haberleşme için hangi kanalın veya kanal çiftinin kullanılacağına karar verildikten sonra, SS veri indirme bağlantısı periyodik çerçeve girişi bularak senkron olmaya çalışır. Fiziksel katman eş-zamanlandıktan sonra SS taşıyıcıda kullanılan modülasyon ve FEC yöntemlerini öğrenmesine imkan veren periyodik olarak yayınlanan DCD ve UCD yayın iletilerini arar.

3.2.8. SS'nin ilk sıralaması ve devretme yetenekleri

İlk sıralama iletimleri için hangi parametrelerin kullanılacağını öğrenmesinden sonra, SS her çerçevede bulunan UL-MAP iletilerini tarayarak ilk sıralama fırsatlarını arar. SS, bir sıralama iletilerinin gönderilmesinde hangi ilk sıralama bölümünün kullanılacağını belirlemek için kısaltılmış üstel bir back-off algoritması kullanır. SS en az güç ayarlarını kullanarak patlamayı gönderir ve sıralama iletileri cevabı alamazsa artarak yükselen iletim gücü ile tekrar dener.

İlk sıralama talebinin ulaşma zamanı ve işaretin ölçülen gücüne dayalı olarak, BS SS'ye gönderdiği sıralama cevabında zamanlama gelişmesini ve güç ayarlamasını yapmasını söyler. Cevap aynı zamanda SS'ye basit ve birincil yönetim CID'leri sağlar. SS iletimlerinin için zaman gelişmesi doğru olarak belirlendikten sonra, davet edilen iletimler kullanılarak gücün ince-ayarlanması amacıyla sıralama işlemi yapılabilir.

Bu noktaya kadarki bütün iletimler en sağlam ve dolayısıyla en az verimli patlamalı profili kullanılarak yapılır. Kapasitenin boşa kullanılmasını engellemek için SS, bir FDD sisteminde çift yönlü mü yoksa tek yönlü mü olduğunu belirtir ve desteklediği modülasyon ve kodlama yöntemlerini içeren PHY yeteneklerini rapor eder. BS kendi cevabı içinde SS tarafından rapor edilen herhangi bir yeteneğin kullanılmasını reddedebilir.

3.2.9. SS Yetkilendirme ve kayıt

Her SS üretici tarafından verilmiş ve fabrikada ayarlanmış X.509 sayısal sertifika ve üretici sertifikasını içerir. SS'nin 48 bit MAC adresi ile onun kamusal RSA anahtarı arasında bir bağlantı oluşturan bu sertifikalar, yetkilendirme talebi ve yetkilendirme bilgi mesajları içerisinde SS tarafından BS'ye gönderilir. Ağ, sertifikaları kontrol ederek SS'nin kimliğini doğrulayabilir ve bu nedenle SS'nin yetkilendirme seviyesini kontrol edebilir. Eğer SS ağa girmek üzere yetkilendirilse, BS SS'nin talebini SS'nin yerel anahtarı ile şifrelenmiş ve sonraki iletimleri güvence altına

almak için kullanılan bir yetkilendirme anahtarı içeren bir yetkilendirme kabulüyle yanıtlar.

Başarılı yetkilendirme sonrasında, SS ağı kayıtlı olacaktır. Bu, SS'nin ikincil yönetim bağlantısının kurulum ve bağlantı kurulumu ve MAC işlemleri ile alakalı yetenekleri belirler. İkincil yönetim bağlantısında kullanılacak IP türü de bu kayıt sırasında belirlenir.

3.2.10. IP Bağlanabilirliği

Kayıttan sonra, SS DHCP aracılığıyla üzerinden bir IP adresi elde eder ve internet zaman protokolü vasıtasıyla gün ve zaman bilgisini oluşturur. DHCP sunucusu, SS'nin kurulum dosyasını alabileceği TFTP sunucusunun adresini de sağlar. Bu dosya, üretici-özellikli kurulum bilgisi sağlamak için standart bir arayüz sağlar.

3.2.11. Bağlantı kurulumu

IEEE 802.16, paketlerin hem veri indirme hem de veri gönderme bağlantılarında tek yönlü iletiminin tanımlanması için servis akışları kavramını kullanır. Servis akışları, bekleme süresi ve sapma gibi parametreler içeren bir QoS parametre kümesi ile tanımlanmıştır. Bant genişliği ve hafıza gibi ağ kaynakları en verimli kullanmak için IEEE 802.16 özel bir servis akışına bağlanmış kaynağı, servis akış aktif edilene kadar, gerçekten bağlanmayan iki-fazlı aktivasyon modelini seçmektedir. Her giriş izni veya servis akışı, tek bir CID'ye sahip MAC bağlantısına dönüştürülür.

Genel olarak, IEEE 802.16 içindeki servis akışı önceden elde edilmiştir ve servis akışını kurulumu SS kurulumu sırasında BS tarafından yapılmıştır. Bununla birlikte, servis akışı ya BS yada SS tarafından dinamik olarak sağlanabilir. SS, bir ATM şebekesinden anahtarlamalı bir sanal bağlantı gibi sadece dinamik olarak işaretlenen bir bağlantı varsa servis akışlarını başlatır. Servis akışlarının bağlantısı, servis akış bağlantısı talebinin cevaplandırıldığı ve cevap bilgilendirilmesinin onaylandığı üç-yollu el-sıkışmalı bir protokol üzerinden yapılır.

Dinamik servis bağlantısına ek olarak, IEEE 802.16 servis akış parametrelerinin belirlendiği dinamik servis değişikliklerini destekler. Dinamik servis akışı bağlantısında olduğu gibi, servis akışı benzer yapıda 3-yönlü el-sıkışmalı bir protokol kullanır.

3.2.12. Gizlilik alt-katmanı

IEEE 802.16'nın gizlilik protokolü DOCSIS BPI+ sınıflandırmasının Gizlilik Anahtar yönetimi (PKM) protokolü temel alınarak tasarlanmıştır, fakat geliştirilerek IEEE 802.16 MAC protokolüne uyumluluk ve gelişmiş şifreleme standartları gibi daha güçlü şifreleme yöntemlerini desteklemek amacıyla iyileştirilmiştir.

3.2.12.1. Güvenlik birliği

PKM, güvenlik birliği kavramı çerçevesinde yapılmıştır. SA (Security Associations – Güvenlik birlikleri) bir şifreleme yöntemleri kümesidir ve hangi algoritmanın uygulanacağı, hangi anahtarın kullanılacağı (vb) gibi bilgiler içerir. Başlama sırasında, her SS en az bir SA ile bağlantı gerçekleştirir. Temel ve birincil yönetim bağlantıları haricindeki bütün bağlantılar, ya bağlantı kurulum zamanı esnasında ya da işlem sırasında dinamik olarak bir SA'ya dönüştürülür.

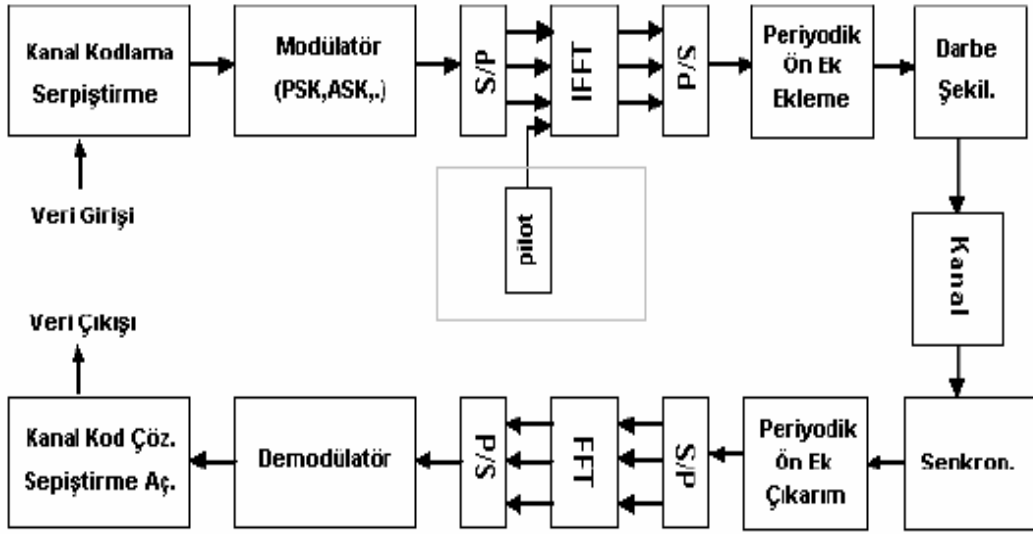
3.2.12.2. Şifreleme yöntemleri

PKM (Privacy Key Management – Gizlilik Anahtar Yönetimi) protokolü SS yetkilendirmesi ve yetkilendirme anahtar değişimi için X.509 sayısal sertifikası ile birlikte RSA kamusal anahtar şifrelemesini kullanır. Trafik şifrelemesi için, 56-bit anahtarlı şifreleme blok zinciri modunda çalışan DES (Data Encryption Standart - Veri şifreleme standardı) kullanılması zorunludur. CBC (Cipher Block Chainig - şifreleme blok zinciri) başlama vektörü, çerçeve yapısına bağlıdır ve çerçeveden çerçeveye değişiklik gösterir. Normal çalışma esnasında hesapsal açıdan yoğun kamusal anahtar işlemleri sayısının azaltmak 3DES yapısı kullanılarak iletim şifreleme anahtarları değiştirilir. Değiştirme anahtarı, yetkilendirme anahtarından elde edilmektedir.

PKM protokol mesajlarının kendileri, SHA-1’li HMAC (Hashed Message Authentication Code – Kısımlı Mesaj Belgeleme Kodu) protokolü kullanılarak yetkilendirilir. Ek olarak, önemli MAC fonksiyonlarında bağlantı kurulumu gibi mesaj yetkilendirmesi PKM protokolü tarafından sağlanır [5].

3.3. OFDM Tekniği

OFDM tekniği, yüksek bit hızlı bir veri akışını birkaç adet paralel düşük bit hızlı veri akışına bölen ve bu düşük bit hızlı veri akışlarını birkaç taşıyıcıyı modüle etmek için kullanan bir veri iletim tekniğidir. Toplam bant genişliğini dar bantlı alt kanallara bölerek, çoklu yol yayılımları yüzünden meydana gelebilecek gecikme yayılımları küçültülebilir. OFDM’in tercih edilme sebeplerinden biri frekans seçici sönmleme ya da dar bant girişime karşı direnci artırmasıdır. Ayrıca, birbirine dik olan alt taşıyıcılar, bant genişliğini olabildiğince verimli bir şekilde kullanmaktadırlar. OFDM tekniğinin sağladığı bu üstünlüklerin yanında, sistem tasarımında dikkate alınmadığında sistemin çalışmasını olumsuz yönde etkileyecek problemleri de bulunmaktadır. Tek taşıyıcılı bir sistem ile kıyaslandığında OFDM sisteminin en önemli sakıncalarından biri, zaman ve frekans eş-zamanlama hatalarına karşı olan hassaslığıdır. Zaman ve frekans hatalarına karşı sistemi korumak ve sistemin verimini artırmak için eş-zamanlama işlemine gerek vardır. OFDM sisteminde eğer alıcı ve verici aynı frekansları kullanıyorsa, OFDM alıcısı alt taşıyıcıları demodüle etmeden önce en azından iki eş-zamanlama işlemi gerçekleştirmek zorundadır. İlk olarak, sembollerin nerede başladığı belirlenmeli, ikinci olarak ise alınan işaretin taşıyıcı frekans kaymalarının tam olarak tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu zaman ve frekans eş-zamanlama hataları düzeltilmediği zaman semboller arası girişim (ISI – Inter-symbol Interference) ve taşıyıcılar arası etkileşim (ICI – Intercarrier Interference) meydana gelecek ve bunun sonucunda sistem doğru bir şekilde çalışmayacaktır. OFDM sisteminde eş-zamanlamayı sağlamak için verici tarafta pilot işaretler gönderilerek eş-zamanlama işleminin yapılması sağlanır.



Şekil 3.9. OFDM sistemi temel blok diyagramı

OFDM, çok sayıda modüle edilmiş alt taşıyıcı kullanarak veri iletiminin paralel olarak yapıldığı bir tekniktir. Bu alt taşıyıcılar (ya da alt kanallar), mevcut bant genişliğini böler, her bir alt taşıyıcı için yeterli frekans bandı ayrılarak taşıyıcıların birbirine dik olması sağlanır. Taşıyıcılar arasındaki dikgenliğin anlamı; her bir taşıyıcının bir sembol periyodu üzerinde tam sayı periyotlara sahip olmasıdır. Bu sayede her bir taşıyıcının spektrumu, sistemdeki diğer taşıyıcıların her birinin merkez frekansında sıfıra sahip olacaktır. Bunun sonucunda taşıyıcılar arasında spektral olarak kesişme olmasına rağmen herhangi bir girişim meydana gelmeyecektir. Taşıyıcılar arasındaki bu ayrıklık teorik olarak minimum olacak ve çok iyi bir şekilde spektral verimlilik sağlanacaktır. OFDM sistemleri, kablosuz ortamlarda genellikle frekans seçimli çoklu yolun oluşturduğu semboller arası girişim (ISI) problemine karşı da kullanılan bir tekniktir. Bir OFDM sisteminin temel blok diyagramı Şekil 3.8 'de görülmektedir. OFDM, giriş verisine ve kullanılan modülasyon işlemine bağlı olarak gereken spektrum seçilerek meydana getirilir. Ve kanalda meydana gelebilecek bozulmalara karşı kanal kodlaması ve serpiştirme yapılır. Gerekli olan taşıyıcı ve genlik fazı, modülasyon işlemine (tipik olarak BPSK, QPSK veya QAM) bağlı olarak hesaplanır. Daha sonrasında IFFT (Inverse Fast Fourier Transform – Ters Fast Fourier Dönüşümü), bu spektrumu zaman uzayı işaretine çevirir. FFT (Fast Fourier Transform - Fast Fourier Dönüşümü), zaman uzayındaki bir işareti frekans uzayındaki

bir işarete dönüştürür. IFFT/FFT vektörünün boyutu, çoklu yol kanalı tarafından ortaya çıkarılan hatalara karşı sistemin direncini belirler. Bu vektörün boyutu, alınan çoklu yol işaretindeki yankılanmaların maksimum gecikmesinden daha büyük olarak seçilmelidir.

BÖLÜM 4. SİSTEM UYGULAMASI, TEST VE OPTİMİZASYON

4.1. Gerçek Sistem Örnekleri

Önceki bölümlerde IEEE 802.16 standardının temelleri incelendi. Bu bölümde ise, gerçek bir sistem tasarlanıp temel bileşenleri pratiğe yansıtılacaktır. Şimdiye kadar incelenen tüm sistem tiplerine ait örnekler ve pratik uygulamalar bu bölümde işlenecektir. Ayrıca, tam bir kablosuz ağ kurabilmek için temel tasarım prensipleri ve ulaştırılması gerekli hedeflere değinilecektir.

4.1.1. Örnek 1: Kafeterya

Bu işletmenin sahibi, müşterilerine daha fazla hizmet sunabilmek için kahvehanelerinde ücretsiz ve kablosuz internet erişimi vermek istemektedir. İnternet erişimi, kahvehanede mevcut bir masaüstü bilgisayar üzerinden verilecek ve ek olarak dizüstü bilgisayarlar ve “PDA”lar için kablosuz internet yayını yapan bir donanım kullanılacaktır. İşletmenin fiziksel boyutları 500 x 1000 cm ve yüksekliği ise 2,5 metre. Alan bir taraftaki servis masası dışında tamamen açıktır. Tesis ve işletim maliyetleri en düşük seviyede olmalıdır. Çünkü verilecek hizmet ücretsiz sunulacaktır.

Sistemin tasarımı ile ilgili çalışmalar şu ihtiyaç ve çözümleri ortaya çıkarmaktadır: Kafe, kablosuz erişim sistemi kurmak istiyor. Bunun için “part 15” bir sistem gereklidir. Bunun yanında, ucuz bir çözüm olması için IEEE 802.11b, IEEE 802.11a veya IEEE 802.11g protokollerini kullanabilen bir sistem seçilmelidir. Bu seçim, müşterilerin kullanacağı beklenen dizüstü bilgisayarlara ve “PDA” lara uyumlu olması için, yaygın bir şekilde kullanılan IEEE 802.11b protokolü ile sınırlandırılmaktadır. Kullanım alanı küçüktür ve kullanıcılara sunulacak bant

genişliği ihtiyaçı minimum düzeydedir, bu yüzden tek bir IEEE 802.11 AP ihtiyaçı karşılamak için yeterlidir.

Temel ihtiyaçlara yönelik bu kısa özet, en uygun RF çözümünün IEEE 802.11b olduğunu göstermektedir. Şimdi diğer ihtiyaçlar gözden geçirilmelidir. Ortada herhangi bir ağ tesis edilmiş değildir. Yani bir şekilde kablolu ve kablosuz erişimi destekleyen bir ağ kurulması gereklidir. Servis hizmete verildiğinde herhangi bir ücretlendirmeye tabi olmayacağı için, güvenli bir ağ kurmaya ya da kullanıcı adı ve şife kontrolü için bir RADIUS kurmaya gerek yoktur. Bu ağ sadece gezici kullanıcılara hizmet verebilmesi için bir DHCP' ye ve çok sayıda IP numarası ihtiyaçı ortadan kaldırması için "Network Address Translation" (NAT) servisine ihtiyaçı duymaktadır. Sistem ayrıca hem kablolu hem de kablosuz erişimi sağlayabilmelidir.

Ağ ihtiyaçları basit bir 4 adet bağlantı noktası yönlendiricisi ile karşılanabilir. Aslında tümleşik Router/AP çözümü, ucuz maliyetli oluşu, düşürülmüş network karmaşıklığı ve kolaylaştırılmış kurulumu sebebiyle tercih edilebilir. Bu iş için seçilen D-Link dl614 cihazı, 4 adet bağlantı noktası yönlendiricisine sahip bir IEEE 802.11b AP, DHCP server, NAT server ve bu uygulama için önemsiz olan görüntüleme, filtreleme ve güvenlik sağlama özelliklerinin bir birleşimidir. Bu donanım herhangi bir yerel bilgisayar satıcısından 100 YTL civarında bir ücret karşılığında temin edilebilir.

Ağ, internet üzerinde gezinme ve elektronik posta alış verişi için, maksimum 5 kullanıcı tarafından aynı anda kullanılan bir sistem olacağından ağ üzerindeki trafik düşük olacaktır. Sistemin internet bağlantısı yerel Kablolu TV şirketinden ya da DSL sağlayıcısından alınabilir. Her ikisi de tek bir IP numarası ve en azından 256 Kbps hız sağlamalıdır. Bu örnekte düşük maliyetinden dolayı kablo modem temelli bir sistem seçilmiştir. (Türkiye'de ADSL daha ucuz ve yaygın. Türk Telekom ADSL hizmetini ayda 29 YTL karşılığında vermektedir)

Kullanılacak donanımın yerleşimi, yerel DSL ağının bina içindeki yapılandırmasına bağlıdır. Bu uygulamada, rastlantısal olarak kablolu arka köşelerden birinde,

kablolu erişim sağlayacak bilgisayara çok yakın bir noktada olduğu varsayılmıştır. Arayüzü kontrol ederek AP'nin çalışmasını kontrol edecek bir cihaz kafedeki bir masanın üstüne konmuştur. Arayüz testleri sırasında ortamda farklı bir AP nin çalıştığı ve kanal 6'ya ayarlanmış olduğu görülmüştür. Girişimin önlenmesi için AP'de kanal 11 seçilmiş ve yüklenmiştir. Sonuç olarak, internet kontrol edici (netstumbler) ile yapılan kontrolde tüm masalarda internet erişiminin sağlanmış olduğu görülmüştür. Bir miktar kuvvetlendirmenin, kapsama alanına zarar vermeyeceği düşünülerek donanım, meraklı müşterilerden korunmak için 150 cm yükseklikteki bir rafa yerleştirilmiştir. Kabloların, gözükmesini engellenmesi için ahşap bir koruma içine ve Router/AP de rafın üzerine yerleştirilmiştir.

Bu çözüm kullanıcının tüm ihtiyaçlarını çok iyi bir şekilde karşılamaktadır. Düşük maliyetli, kolay kurulabilir ve bakım yapılabilir ve kafeyi kablosuz erişimli diz üstü bilgisayarları ile ziyaret eden müşteriler için çok iyi çalışan bir sistemdir.

4.1.2. Ofis yerel ağı kurulumu

Bu senaryo kafe örneğindeki gibi dikkat çekici biçimde daha karmaşıktır. Bu örnekte, bir firma genişlemekte ve yeni açtıkları bir şubeye merkezden erişmelerini sağlayacak bir ağ çözümü aramakta olduğu varsayılmaktadır. Yeni fiziksel konum firmanın merkezinden ayrı, yaklaşık yarım kilometre uzaktadır. Yeni fiziksel konum bir binanın değişik katlarındaki toplam 120 metrekarelik bir alanı kapsamaktadır. Yeni şubede yaklaşık 200 bilgisayar olacaktır, ayrıca ana binadan gelen çalışanlar da buna eklenecektir. Çalışanlar, ağı elektronik posta gönderme/alma, internet erişimi ve merkez veritabanına erişmek için kullanacaktır.

İlk adım, ihtiyaçların ve beklentilerin, IT (Internet Technology – Internet Teknolojisi) bölümünün ve bu iş için ayrılan bütçenin daha iyi anlaşılması için, ihtiyaçların analiz edilmesidir. Bu bilgi toplama işlemi sonucunda yeni şubenin görüş alanı içinde olduğu, yani noktadan-noktaya bir sistem uygun olduğu anlaşılmıştır.

Ayrıca, çalışanların yoğunlukla masaüstü bilgisayarlar kullandığı ve yeni binada CAT5 (Category 5 Cable – Kategori 5 Kablo) kablolarının var olduğu

görülmüştür. Açıklığa kavuşturulması gereken diğer bir nokta ise gezgin (portable) bilgisayarlara sahip olan, CAT5 tabanlı bir ağ kullanan, yeni şubede tam anlamıyla gezginlik isteyen, ek olarak otellerde, hava alanlarında ve bulunabilecekleri diğer yerlerde mevcut kablosuz erişim imkânlarını kullanmak isteyen yönetim personelinin ihtiyaçlarıdır.

IT personeli, tam bir kablosuz çözüme sıcak bakmamaktadır. Onlara göre CAT5, uygun, pahalı olmayan ve masaüstü bilgisayar kullanan çoğunluk için güvenli bir seçenektir. Üstelik kablo altyapısı da hazır durumdadır. Ayrıca kablosuz ağın güvenliğinin sağlanması önemlidir. Son olarak, IT çalışanları acil durum önlemlerinin bir parçası olarak donanımları fiziksel olarak ayırmak için, donanımlarının bir kısmını yeni şubeye taşımayı planlamıştır. Bu da iki nokta arasındaki bağlantının istikrarlı, güvenli ve en az 100 Mbps çift yönlü bant genişliği sunması gerektiği anlamına gelmektedir.

Tüm proje, karmaşıklığı ve ihtiyaçların birbirinden ayrılıyor olması sebebiyle, üç alt projeye ayrılabilir. Binalar arası bağlantı, yeni fiziksel konumdaki kullanıcıların ağa erişimi ve ana binada kablosuz ağ tesis edilmesi.

İncelenen verilere göre iki bina arası iletişim yüksek hızlı, istikrarlı ve güvenli olmalıdır. Bu iletişim, binaların çatıları birbirini gördüğü için kablosuz olarak tasarlanabilir. Ya da Telekom servis sağlayıcısından bir hat alınabilir.

İlk olarak Telekom servis sağlayıcısından bir hat alma seçeneği değerlendirilmiştir. Telekom servis sağlayıcısı 100Base-T Ethernet çözümünü sunmaktadır. Sağlayıcı sadece standart uygulamaları olan T1, T3 ve OC3 çözümleri sunmaktadır. İhtiyaç duyulan hız nedeniyle birkaç ayrı T3 ya da tek bir OC3 çözümü tek seçenek olarak görülmektedir. Bu çözümlerin herhangi biri hazır değildir. Telekom servis sağlayıcısının sistemlerini hazırlaması altı ay sürecektir. OC3 çözümünün aylık maliyeti 7500 YTL olacaktır. Ek maliyetler olarak Telekom servis sağlayıcısının OC3 hattını 100Base-T protokolüne dönüştürmek için yönlendiricilere ihtiyaç duyulacağından ek maliyetler kaçınılmaz olacaktır.

Binalar arası iletişimin sağlanması için ikinci seçenek radyo dalgaları temelli bir çözüm olarak görülmektedir. Her ne kadar, bir aylık OC3 maliyetinden daha düşük bir fiyata, lisanssız ve 100Base-T ağına direkt bağlanabilir IEEE 802.11a kullanılabilir olsa da bu kablosuz çözümün gerekli bant genişliği ve güvenliğin sağlamadığı gözlemlenmiştir. Diğer bir seçenek olarak FCC Part 101 protokolleri kullanan lisanslı bir mikrodalga linki kullanılabilir. Bu çözüm gerekli bant genişliği ve güvenlik gerekliliklerini sağladığı gibi %99.999 çalışma garantisi vermektedir (yıllık 34 saniyeden az çalışmama). Ancak, bu çok daha maliyetli bir seçenektir. Birçok ürün incelenmiş ve bunların da birçoğunun T1 bağlantısının yanında 100Base-T bağlantısını da desteklediği görülmüştür. Bu ürünler ek olarak ses iletimi için PBX (Phone Box – Telefon Kutusu/Santral) santrallere de uyumlu olduğu için Telekom servis sağlayıcısına yapılacak aylık ödemeler konusunda da tasarruf sağlanacaktır. Bu seçeneğin eksikliği ise maliyetinin yüksek oluşudur. Sistem için lisans alınabilmesi için bir mühendislik çalışması yapılmalıdır ve Telekomünikasyon Kurumuna bir lisans başvurusu yapılmalıdır. Bu iş için donanım maliyeti yaklaşık 40.000 YTL'dir. Sistemlerin kurulumu için gerekli süre göz önünde bulundurulduğunda bu çözüm ile Telekom servis sağlayıcısından hat alınması çözümü aynı süre almaktadır. Ayrıca bu sistem, servis sağlayıcısı çözümündeki gibi aylık ödemeler gibi bir maliyete sahip değildir.

Her ne kadar 40.000 YTL'lik bir çözüm, lisanssız kablosuz çözüme göre çok pahalı görünse de lisanssız çözümün bazı kısıtlamaları vardır. İlk olarak, bir IEEE 802.11a sistemi maksimum 54 Mbps trafığe izin vermektedir. Oysa 100Base-T çözümü toplamda 200 Mbps bant genişliğini sağlayabilmektedir (her iki yönde 100 Mbps). Diğer bir deyişle aynı bant genişliğini sağlaması için her iki binanın çatısına da dörder adet radyo verici-alıcı yerleştirilmeli ve bu ayrı bağlantıları birleştirmek için ek donanıma ihtiyaç duyulmaktadır. Sistemin bir üstünlüğü, kullanılacak yeterli sayıda kanal olması ve sadelik sağlamasıdır.

Yani gerçekte 4000 YTL'lik IEEE 802.11 çözümü, 14.000 YTL'lik çatı üzerinde kurulacak, diğer kullanıcılar 5 GHz bandına geçtiğinde performans garantisi olmayan bir çözüme dönüşmektedir. Ek olarak IT personelinin talep ettiği güvenlik ölçütleri,

IEEE 802.11a çözümü için uygun değildir. IEEE 802.11a çözümünü kullanabilmek için, şifreleme donanımı gerekli olduğundan ek maliyet oluşmaktadır.

Proje için, tüm bant genişliği ve güvenlik ihtiyaçlarını karşıladığı ayrıca ses trafiği için tasarruf sağladığı ve diğer kullanıcıların kullanabileceği bantlardan etkilenmeyeceği için lisanslı çözüm benimsenmiştir.

Şimdi de binalar arası bağlantı ile birlikte yeni şubedeki bağlanabilirlik (connectivity) üzerine yoğunlaşmanın zamanı gelmiştir. IT personeli, kullanılacak bilgisayarların çoğunluğu masaüstü bilgisayarlar olduğu ve CAT5 kabloları hazır olduğu için kablolu bir çözüm üzerinde karar kılmıştır. Kablosuz erişim, sadece dizüstü bilgisayarı olan ve kablosuz erişime ihtiyaç duyan, tüm sistemin %20 sini oluşturan kullanıcılar için sınırlandırılmıştır. Bu da, gezgin kullanıcılara her iki binada da aynı koşulları sağlayabilmesi için ana binaya da kablosuz erişim sisteminin kurulması anlamına gelmektedir.

Otellerde ya da hava alanlarındaki “kablosuz internet erişim noktalarını kullanacak kullanıcıların arzusu ve cihazların yeteneği doğrultusunda kablosuz erişim IEEE 802.11b protokolü ile sınırlandırılmıştır.

Ağın donanımına daha fazla dikkat edilmelidir. Çözümün, esnek ve harici antenlere ve güç kontrol cihazlarına olanak tanıyacak şekilde olması, ayrıca IT personelinin tüm AP leri izleyebilmesi ve gerektiğinde müdahale edebilmesi için uzaktan erişime uygun olması gerekmektedir. IEEE 802.11x çözümü olan bir çok ucuz donanım bulunmasına rağmen bunların çoğunun uzaktan erişim yada anten/güç yetenekleri bulunmamaktadır. Bu ihtiyaçlar nedeniyle donanım seçenekleri kurumsal cihazlarla sınırlandırılmış durumdadır.

Hem Proxim AP2000 hem de Cisco Aironet 1200 çözümlerinin merkezden yönetim, anten bağlantıları ve IEEE 802.11 a, b ve g desteği mevcuttur.

Bir sonraki hedef, hizmet verilecek alanda hangi standardın daha kullanışlı olduğunun belirlenmesidir. Alanın hesaplanması çalışmaları alanın kare bir

geometriye sahip olduğunu göstermiştir. Merkezde bir asansör boşluğu bulunmaktadır, duvarlarla ayrılmış ofisler ve toplantı odaları vardır. Yeni şube dört kattan oluşuyor ve her kat 30 metre karedir. İlerleyen zamanlarda aynı bina da başka katlara da genişlenilmesi planlanmaktadır. Farklı standartların, ortam için kapsama alanları incelenirken farklı standartları destekleyen bir AP kullanılmıştır.

Test işleminde ilk olarak, farklı bantlardaki işaretleri tespit edebilmek için bir spektrum analizör kullanılmıştır. 2.4 GHz bandında birçok kablosuz telefon işareti tespit edilmiştir. Kablosuz telefon sistemleri güçleri, bandın alt basamaklarında yoğunlaşmış, bant içerisinde değişen frekanslara sahip sistemler olarak görülmüştür. Ek olarak farklı binalarda kullanılmakta olan birçok IEEE 802.11b işaretine rastlanmıştır. Diğer IEEE 802.11b sistemleri hakkında daha fazla bilgi edinmek için “AirMagnet” cihazı kullanılmıştır. Toplam 13 ayrı SSID (Service Set Identifier – Servis Açma Belirleyicisi) tespit edilmiştir. Altı sistem kanal 6’yı, üç sistem kanal 1’i, dört sistem kanal 11’i, ve bir sistem de kanal 4’ü kullanmaktaydı. Bu sistemlerin ölçülen RSSI leri -87 dB ile taban gürültü arasında değişmiştir. En güçlü işaretler belirli bazı pencere önleri ile bazı ofisler etrafında tespit edilmiştir. 5 GHz frekansında ise herhangi bir işaret tespit edilmemiştir.

2,4 GHz ve 5,6 GHz frekanslarında çalışan AP lerin kapsama alanları farklı yerler için farklı antenler kullanılarak tespit edilmiştir. Birinci test, dışarıda tavan yüksekliğindeki bir köşeye monte edilmiş ve AP’ye binanın merkezine yönlendirilmiş şekilde ve 90 derece açı ile bağlanmış bir beamwidth antenle yapılmıştır. Tabanda kapsama alanı ölçülmüştür. Ek olarak, katların altında, üstünde ve istenmeyen alanlardaki işaret sızmaları belirlenmiştir. İkinci test, asansör odası ile ofislerin arasındaki bir tarafı açık alanın merkezindeki bir levhaya monte edilmiş AP’ye bağlanmış bir çok yönlü anten ile yapılmıştır. Tabandaki kapsama alanı tekrardan ölçülmüş ve katların altındaki, üstündeki ve dışarıdaki ölçümler gerçekleştirilmiştir.

4.1.2.1. 2.4 GHz RF kapsama alanı sonuçları

Yapılan ölçümler 2.4 GHz de çalışan bir AP'nin (IEEE 802.11b veya g yi destekleyen) açık alanda mükemmel bir kapsama alanı sağladığı, diğer noktalara göre ofislere ve konferans salonuna daha iyi girişim sağladığı görülmüştür. Köşeye monte edilmiş 90 derecelik anten açık alandaki en iyi kapsama alanını sağlamaktadır ve binanın dışındaki park alanında da işareti minimize etmiştir. Fakat duvarlardan dolayı işaretin ulaştığı yerlerdeki işaret seviyesi açık alandaki işaret gücüne göre oldukça düşüktür. Çoklu-konum kapsama alanı da iyidir fakat asansör motorunun oluşturduğu alan yüzünden açık alanda biraz zayıflama ölçülmüştür. Ofislerdeki ve konferans salonundaki işaret gücü bu yerlerin camlarına baktığı için çoklu anten tekniği ile iyileştirilebilir, fakat çoklu anten tekniği ile oluşturulan işaret bina dışındaki birçok yerden görülebilir. Çünkü yönlü anten sadece binanın içine doğru işareti yayarken çoklu-anten bütün yönlere doğru işareti yaydığından bu beklenen bir durumdur. Bu aynı zamanda işaretin daha iyi olmasının da sebebidir. Burada bir sınırlama ortaya çıkmaktadır: Minimum araçla kapalı alandaki istenilen işaret seviyesini oluşturmak mı önemlidir yoksa güvenlik sorununun oluşmaması için işaret sızmalarını engellemek mi önemlidir?

4.1.2.2. 5.6 GHz RF kapsama alanı sonuçları

AP'ler IEEE 802.11a cihazları gibi 5.6 GHz bandında çalıştırdığından aynı noktalardaki kapsama alanları değişiklik göstermiştir. Kullanılabilir kapsama alanı her iki noktada da düşmüştür. Köşe noktası, ofislerin içinde hiç kapsama alanı oluşturmamış ve açık alandaki kapsama alanı da yarı yarıya düşmüştür. Dışarıdaki kapsama alanı en küçük seviyededir. Merkeze yerleştirilmiş çoklu-yönlü AP biraz daha iyidir. Açık alandaki kapsama alanı iyidir ve ofislerde bağlantı yapacak kadar yeterli seviyede işaret oluşacaktır. Fakat bu 54 Mbps hızında olmayacaktır. Açık alandaki kapsama alanı 2.4 GHz durumu ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde (> 15 dB) azalmıştır. Bitişik katlardaki işaret seviyesi de 5.6 GHz durumunda düşmüştür.

4.1.3. Örnek 2: Küçük bir alandaki topluluk için yerel ağ kurulumu

Bu topluluk, ağırlıklı olarak evlerin bulunduğu bir alanda kurulmuştur. Ölçüm yapılacak alan yaklaşık bir kilometre-karelik bir alandır ve 300 ev içermektedir. Bölgede başka bir geniş-bant imkânı bulunmamaktadır, bu yüzden bölgeye kablosuz sistem ilk olarak ve sadece geniş-bant internet erişimi sağlamak için kurulacaktır.

4.1.3.1. Cihaz seçimi

Cihaz seçimi ve uygulama kararının verilmesi bu genişlikteki bir alana servis yapmak istendiğinde oldukça önemlidir. Geleneksel düşük güçlü IEEE 802.11 ürünleri kullanılacaksa, yüksek kazançlı antenler kullanılarak ve cihaz sayısı artırılarak yüksek noktalara konulmaları durumunda bile bu tür çevreler için tasarlanmış ürünler kadar verimli olamayacaklardır. Yüksek güçlü ve akıllı antenler ile yapılan çözümler (Vivato ürünleri gibi) kapsama alanında gelişme sağlayacaktır. Alan, bölümlerine göre iki veya dört Vivato ürünleri kullanılarak kapsama alanı içine alınabilir. Fakat Vivato ürünleri IEEE 802.11 tabanlıdır ve IEEE 802.11 teknolojisinin sınırlamaları geçerlidir.

Önceden de tartışıldığı gibi, sisteme girişi paylaşmak için IEEE 802.11 CSMA/CA'yı kullanır. Çünkü IEEE 802.11, LAN yerleşimleri için tasarlanmış olup, bütün kullanıcıların birbirlerini duyabilmelerine dayalıdır. Örnekteki topluluk düşünüldüğünde bu beklenememektedir. Verimli olarak tasarlanmış bir sistemde, kablosuz erişim terminaline bağlı ve birbirlerini duymayan birçok kullanıcılar vardır. Ek olarak, IEEE 802.11'de güç kontrolü olmadığından bu problem kablosuz erişim terminaline çok yakın kullanıcılar ile uzaktaki diğer kullanıcılar düşünüldüğünde bu problem önemli olmaktadır.

Ayrıca ev içindeki IEEE 802.11 istemci kartlı bir bilgisayarın doğrudan bu servisi kullanmasını beklemek gerçekçi olmayacaktır. Fakat bu durumun mümkün olduğu evler olabilir (özellikle kablosuz erişim terminaline çok yakın evler). Bu durumda daha fazla noktada daha fazla cihaz ihtiyacı doğuracaktır. Ayrıca yerleştirme, işletme ve bakım maliyetleri de artacaktır.

Göz önünde bulundurulması gereken bir husus daha vardır. Sistemin kapsama alanı, hat içindeki en düşük performanslı radyo donanımınıniki kadar iyi olacaktır. Yüksek güçlü bir AP'ye sahip olmak düşük performanslı bir CPE (Customer Premise Equipment – Müşteri Arabirimi) cihazının eksikliğini gidermez. Kapsama alanını oluştururken yüksek güçlü bir AP kullanıldığında, bütün kullanıcıların da bu AP'ye uygun güç ve alıcı hassasiyetine sahip CPE'ler kullandığından emin olmak gereklidir. Aksi halde, performans ve kapsama alanı düşecektir.

Daha iyi bir çözüm, eğer bölgedeki anlaşmalar ve sınırlamalar izin veriyorsa (Codes, Covenants and Restrictions CC&R – Kodlar, Gözlemler ve Sınırlama), müşterilerin evlerinin dışına monte edilmiş CPE radyo cihazları aracılığıyla kablosuz erişim terminali ile bağlantı sağlamaktır. CPE radyo cihazları çatının uygun bir yerine ve kablosuz erişim terminaline doğru yerleştirilmelidir. Bu, her kablosuz erişim terminali için istemci tarafına kazanç ekleyecek ve bağlantı yolunun yol kaybı karakteristiğini geliştirecektir.

IEEE 802.11 teknolojisinin uygun bir çözüm olmadığı durumlarda, diğer teknolojiler kullanılabilir. Bu örnek için tasarlanabilecek birkaç tane çözüm mevcuttur. IEEE 802.16 standardı da bu tür çevreler için tasarlanmıştır. IEEE 802.16 standardının MAC ve PHY katmanları, CSMA/CA'nın sınırlamalarını ve IEEE 802.11 standardının yakınlık-uzaklık problemini ortadan kaldırmamaktadır.

Bir görüş açısından IEEE 802.16 veya başka bir çözüm ile uygulama yapılması IEEE 802.11 uygulamasından pek de farklı değildir. Çalışma frekansının, çıkış gücünün, alıcı duyarlılığının ve her kablosuz erişim terminali ve istemci için anten kazançlarının bilinmesi gerekmektedir. Bu bilgiler ile uygun yol kaybı ve düşünülen kapsama alanı oluşturulabilir.

4.1.3.2. Sistem planlama

Donanımsal bir çözüme karar verildikten sonra yapılması gereken cihazların en iyi verimle çalışmasını sağlamak için yerleştirilmeleri gereken konumları tespit etmektir. Yüksek yerler veya kapsanacak alanı çevreleyebilecek noktalar tespit edilmelidir.

Dağınık alanların bulunduğu bölgeye anten yerleştirmek yüksek performans elde edilmesinde faydalı olacaktır.

Bu alanlar belirlendikten sonra, bir iletim modeli çalıştırılmalı ve hangi noktaların daha iyi olduğu belirlenmelidir. Sıralanmış bir liste oluşturulmalı ve inceleme başlatılmalıdır. İnceleme, verilmesi istenilen özellikleri ve özelliklerin uygunluğunun belirleme, sınırlama getirmek istenilen bölgeleri belirleme ve diğer sağlayıcılardan (Superonline, Türk Telekom, Borusan Telekom vs.) daha yüksek bir internet bağlantısının olması istenilen bölgenin tespiti için gereklidir. Böyle bir bağlantının olmaması durumunda hedeflenen bölgedeki bağlantı kadar iyi bağlantıya sahip başka alanlar da belirlenmelidir. Bu alanlar, diğer bölgelere trafik taşımak için kullanılabilir.

4.1.4. Örnek 3: Kentsel veya yöresel alanları ticari kullanıcılara sunma

Bu örnekte yoğunluklu olarak ticari kullanıcıların bulunduğu ofisler, teknoparklar, kentsel ticari alanlar göz önüne alınacaktır.

Sistem, binalara yüksek hızda bağlantı imkânı sağlayacaktır (> 10 Mbps). Binalar içindeki kullanıcılara bant genişliğinin dağıtılması, bilinen bir CAT5 kablolarla oluşturulmuş ağ ile gerçekleştirilecektir. Yüksek bant genişliği ihtiyacından dolayı, sistem kablolu olarak yüksek hızlı erişim imkânı da sunacaktır. En önemli seçenek ise bir binanın mevcut bir fiber optik ağa bağlanabilir olmasıdır.

Bu durumdaki kablosuz ağ, binalardaki fiber omurgası ile yapılan bağlantıyı fiber optik kablo döşenmesinin çok maliyetli olduğu yerlere de genişletmek amacıyla kullanılacaktır. Kentsel birçok yerlerde, bu tür bir fiber optik genişlemenin maliyeti kilometre başına 10000 YTL mertebesindedir. Fiber optik ağın yüksek maliyeti bu tür alanlar için kablosuz iletişimin cazip hale gelmesine neden olmaktadır.

4.1.4.1. Spektrum analizi

Sistem ticari yarar, güvenlik, güvenilirlik ve zaman kazancı sağladığından dolayı herhangi bir müşteri odaklı internet erişim sisteminden daha hassas ve kritik elemanlara ihtiyaç duymaktadır.

Bu durumda IEEE 802.16 protokolü noktadan çoklu noktaya ağ olarak kullanılabilir. Özel noktadan noktaya özel mikrodalga bağlantılar da işe yarayabilir. Aslında, her binanın ihtiyacı olan bant genişliğine göre iki çözümün birleştirilmiş şekli de uygulanabilir.

5 GHz frekansının altında uygun lisanslı spektrum azdır. Mikrodalga bağlantıları için 18 GHz ve 23 GHz frekanslarının lisanslarının hazırlanması çalışmalarına devame edilmektedir. 38 GHz frekans spektrumunun sahibi birkaç firmanın da katılımıyla bu frekansı 3. parti ağlar için kullanılabilir hale gelecektir.

18 GHz ve 23 GHz frekanslardaki bağlantıların bazı sınırlamaları olacaktır. Bu frekanslar için LOS gereklidir ve noktadan-noktaya bağlantılarda, sayıları hızla artan ayrı ayrı antenler kullanılmalıdır. Yağmur, frekans arttıkça radyo yolları boyunca zayıflamalara neden olacaktır. Güvenirliğin sağlanabilmesi için bağlantılar kısa tutulmalıdır (alana ve frekansa bağlı olarak birkaç km). Aslında, bu bağlantıların LOS yapıda olması ve mesafeden kaynaklanan yol kaybından dolayı, bu tür sistem araçlarını üreten firmalar sistemi kurmak istediğiniz alana göre ortalama bir bağlantı uzunluğu hakkında yardım etmektedirler. Mevsimsel olarak, yağmurun etkisi doğrultusunda, bağlantı uzunlukları değişiklik göstermektedir. 10 GHz üstünde, işaretteki zayıflamalardan dolayı yağmur ciddi bir tasarım sorunu olmaktadır. Yağmurun sebep olduğu zayıflamanın miktarı yağmurun yoğunluğuna (saatte düşen cm) ve yağmur yağma süresine bağlıdır. Dünya çapında bu tür hava hareketlerinin karakteristiklerinin oluşturulması mümkündür. Oluşturan hava karakteristik tabloları ile sistemin tasarlanacağı alanda yağmurdan dolayı bağlantının etkilenme miktarı tespit edilebilir ve bu doğrultuda bağlantı iyileştirmesi yapılabilir.

Diğer taraftan, bu frekanslarda kanal bant genişliği miktarı oldukça fazla olup, aşırı derecede yüksek bant genişliği (650 Mbps üzeri) sağlanabilir.

18 ve 23 GHz bantları noktadan-noktaya bağlantı için sınırlandırılmıştır. Bu sınırlamalardan dolayı IEEE 802.16 sisteminin tasarlanmasında kullanılamayacaktır. 38 GHz spektrum kuralları, noktadan-çoklu noktaya sistem tasarımını desteklediğinden, IEEE 802.16 protokolünü 38 GHz bandında uygulamak mümkündür.

4.1.4.2. Tasarım fikirleri

Yukarıda anlatılanlardan da görüleceği gibi, spektrumun kullanılabilirliği ve bu spektrumdaki yönetimsel kurallar teknolojinin seçimine göre şekillenmektedir. Son kullanıcılar için bant genişliği gereklilikleri ağda kullanılacak metodu belirlemektedir. Örneğin, bütün binaların çok büyük bant genişlikleri ihtiyaçları varsa, bir göbek ve birbirleri ile konuşan ağlardan oluşan noktadan-noktaya bir ağ çok daha başarılı olabilecektir. Çünkü, bu yapı maksimum bant genişliği imkânı sağlayacaktır. Bazı ağlarda da, donanımsal bir hatanın servis kesintilerine sebep vermemesi için radyo donanımlarının fiziksel olarak fazla miktarda bulundurulması gerekebilmektedir. Bu kolaylıkla başarılabilir; ancak maliyet artacaktır.

Eğer tek bir radyo kapasitesinin paylaşılması ile birkaç binanın bant genişliği ihtiyacı giderilecekse, noktadan-noktaya ve halka yapısında bir ağ düşünülebilir. Bu halka topolojisinin üstünlüğünü kullanmak hata durumlarında her iki yönde de trafiğin akması sonucunda kesintiyi engelleme bakımından maliyeti düşürecektir. Tek bir kesinti hiçbir kullanıcıyı etkilemeyecek, fakat sorun giderilinceye kadar ağın kapasitesi düşecektir. Bu “yol fazlalığı”ndan dolayı, halka yapısı her düğümde yedek almak için kurulması gereken teçhizatlara ihtiyaç duymayacaktır. Bunun yerine, sadece fazladan radyo bağlantısına ve bu zinciri göbek noktasına bağlama ihtiyacı olacaktır.

Eğer uygun bir spektrum varsa, IEEE 802.16 sistemi veya basit bir noktadan-çoklu noktaya sistemi düşünülebilir. Bu ağ, basit olarak göbek ile konuşan ağ arasında

kurulacaktır. Bütün pratik kullanımlar için, her iki çözümün mimarisi de özeldir: her ikisi de en uzaktaki istasyon sayısına göre oluşturulur. Bu iki yapı arasındaki tek fark kullanılan anten tipindedir. Noktadan-çoklu noktaya yapıda belirlenen her bağlantı için bir anten kullanılmasına rağmen, IEEE 802.16 sisteminde göre sadece bir anten ile çoklu uzak istasyon bağlama çözümleri oluşturulabilir. Bu antenler ihtiyaca göre çok-yönlü veya tek-yönlü olarak tasarlanabilir. Kullanılacak anten seçimi bağlantıda gerekli olan kazanca, kapsanacak alana ve kapsanacak alandaki kapasite ihtiyaçlarına göre yapılmalıdır.

RF tasarımı durumu basite indirgenebilir, çünkü yapılması gereken tek şey birkaç uzak istasyon uyumluluğunu sağlamaktır. Bu da, yağmur zayıflatma oranı ve LOS etkisi bilinen alanlar için çok da zor değildir.

Tasarım sırasında, seçilen binaların LOS yollarının olup olmadığı veya ihtiyaç anında tekrarlayıcı noktaları olarak kullanmak için LOS yapıda yolları olan ara istasyonlar oluşturulup oluşturulamayacağına da bakmak gereklidir.

4.1.5. Örnek 4: Müşteriler ve ticari kullanıcılar için küçük şehir çözümü

Bu örnek önceki iki örneğin genişletilmiş halidir. Türkiye’de birçok küçük il ve ilçede sınırlı geniş-bant bağlantısı kullanılmaktadır. Bu tür yerlerde, bir kablosuz ağ aynı kalitede bağlantı sağlayabilir. Bu yerleşim alanlarında hem konut hem de işyeri kullanıcıları bulunduğu ve her birinin özel bağlantı ihtiyaçlarının olduğu bir önceki kısımda anlatılmıştı.

Bu IEEE 802.16 ağlarının ideal bir çözüm olduğu başka bir uygulamadır. QoS katmanlarına (Quality of Service) uygun yapısı ve hız çeşitliliğinin sağlanabilmesi, örnekte bahsedilen topluluktaki DSL bağlantısının uygun olduğu konut kullanıcıları ve istikrarlı bir eşik değeri olan bağlantı arayan ticari kullanıcılar için uygun bir çözüm olmasını sağlamaktadır. Hem lisanslı hem de lisanssız spektrumda çalışan bir sistem tasarlanabilir. Ancak, lisanslı bant donanımlarının yüksek çıkış gücünden dolayı daha büyük alanlara yayın yapabilme imkânı vardır.

Bu tip bölgeler için düşünülebilecek birkaç tescilli çözüm de mevcuttur. Motorola Canopy™ çözümü ve Proxim Tsunami™ çözümü lisanssız spektrumu kullanan iki uygun çözümdür. Navini RipWave™ donanımı hem lisanslı hem de lisanssız spektrumda uygulanabilecek uygun bir çözümdür.

Maliyet açısından uygun bir kapsama alanı oluşturmak için çevrede en iyi LOS yollarını kullanmaya izin veren noktaların belirlenmesi gerekmektedir. Civardaki yüksek binalar veya tepeler bu noktalara örnek olabilir. İletim modeli ve site araştırması en uygun çözümü bulmada yardımcı olacaktır. Ağdan çıkış, kablosuz veya kablolu yöntemlerin hangisini daha ucuz olduğu belirlendikten sonra kablolu veya kablosuz olarak tasarlanabilir. [3]

4.1.6. Lisans-dışı IEEE 802.16 Standardı çözümü ve Bursa iline uygulanması

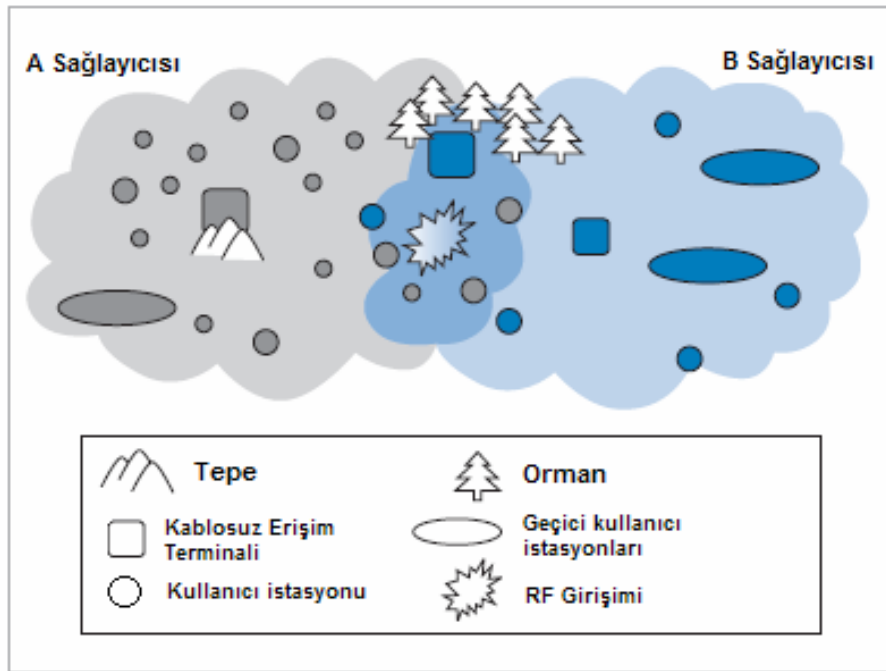
Lisanslı ve Lisans-dışı IEEE 802.16 standardı çözümlerine idari, alt yapısal ve girişim (gürültü) probleminde karşılaşılmaktadır. Lisanslı çözümler daha kararlı ve güvenli olmasına rağmen lisans-dışı çözümler de çevre şartlarına göre daha geliştirilebilir bir yapıya sahiptir.

Lisans-dışı WIMAX çözümlerinin başlıca özellikleri maliyetlerinin düşük olması, yeni sağlayıcıların sisteme kolayca giriş yapabilmeleri ve ortaya çıkan sorunların etkin bir şekilde çözülmesine olanak vermeleridir. Kolay giriş ve maliyet unsuru birçok servis sağlayıcısını bu çözümleri sunmaya yönlendirmektedir. Bu çözümlerin fazla miktarda kullanılması RF yayınlarının artmasına ve dolayısıyla da RF gürültünün artmasına neden olmaktadır.

Şekil 5.1.'de iki servis sağlayıcısının (A ve B servis sağlayıcıları) kırsal alana yönelik sunduğu bir lisans-dışı WIMAX çözümü gösterilmektedir. Birbirlerine yakın yerlerde çözümlerini uygulamaktadırlar. Şekil 4.1.'de iki sağlayıcının birbirlerini etkilediği bazı noktalar belirtilmektedir.

A ve B sağlayıcılarının ikisi de aynı bant genişliğini kullanmaktadır. A servis sağlayıcısı yüksek bir dağın tepesine, B servis sağlayıcısı ise sık bir ormanın

kenarına kablosuz erişim terminallerini yerleştirmişlerdir. A servis sağlayıcısının kablosuz erişim terminali yerleşimindeki üstünlüğünden dolayı RF girişiminden B servis sağlayıcısına göre daha az etkilenmektedir. Burada B servis sağlayıcısı yine de kullanıcılarına hizmet verebilmekte, ancak A sağlayıcısının kullanıcıları RF gürültüsünden daha az etkilenmekte, bu da iki sağlayıcı arasında kapsama alanları ve bant genişliği kullanımında farklılıklara neden olmaktadır.



Şekil 4.1. Birbirine yakın yerleşmiş iki sağlayıcısının sunduğu lisans-dışı WIMAX çözüm gösterimi

Bir lisans-dışı ağda doğru ağ tasarımı ve altyapı yerleştirme işlemi oldukça önemlidir. Gürültüyü azaltmak ve servis kalitesini artırmak için Şekil 4.2.'deki yapı oluşturulmalı ve aşağıda belirtilen yöntem izlenmelidir.

- Kullanıcı Tarafı:

Kullanıcı istasyonu profesyonelce kurulmalı, daha fazla bilginin toplanması (bölgedeki RF aktivitesi gibi) için ön çalışmanın yapılmalı ve en uygun anten türleri belirlenmelidir.

- Antenler(2):

Fazladan bağlantılar ve doğru anten açıları, sıra, farklılık kazancını ve optimum RF kalitesini artıracaktır.

a) Sıra Kazancı:

Çoklu antenler kullanılarak sıra kazancı artırılabilir.

b) Farklılık Kazancı:

Çoklu-yol tekniği kullanılarak farklılık kazancı artırılabilir. Bu sayede işaretin bir yoldan kesilmesi toplam performansı etkilemeyecektir. Etkin olarak, farklılık kazancı kablosuz işaret ortamında alınan işaretin sürekliliğini artırarak performansın gelişimini sağlar.

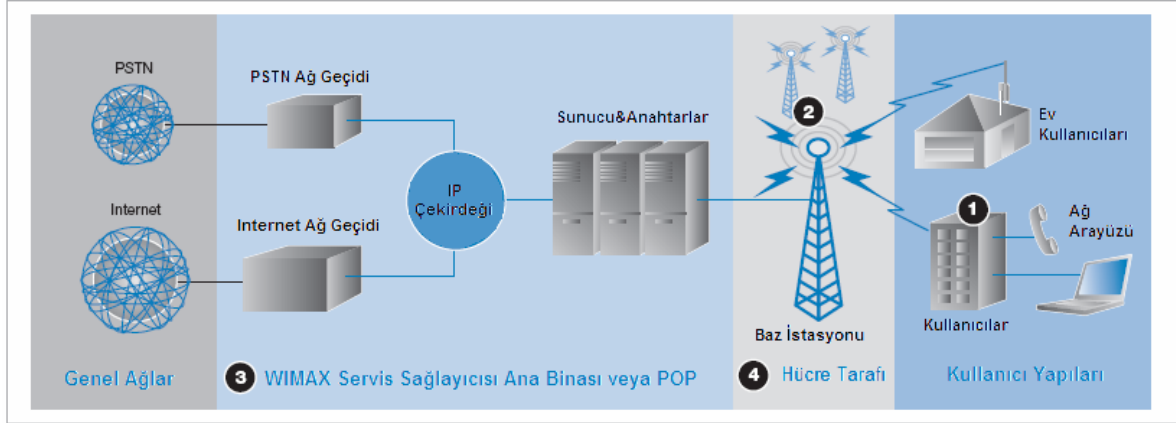
c) Merkez Ofis (CO) veya POP noktası (3):

CO veya POP, sağlayıcının ağ operasyon merkezidir. Doğru tasarlanmış bir operasyon merkezi şunları içerir:

- Kullanıcı ihtiyaçları belirleme ve karşılama
- Uygun açılarla ve profesyonelce yerleştirilmiş kablosuz erişim terminali ve antenler.
- Her kullanıcıya en az 1 Mbps bant genişliğinin sağlanması
- Doğru olarak ağ omurgasına bağlanabilme
- Ses taşıma alt yapısına bağlanabilme
- Trafik kontrolü, yönlendirici ve güvenlik duvarlarının yönetilmesi
- Ağ istatistiklerinin tutulması

d) Kablosuz erişim terminali veya hücreler (4)

24/7 bağlantının sağlanabilmesi için RF bağımlı ve çevre şartlarından yalıtılmış (gürültüyü azaltmak ve servis kalitesini artırmak için) bir yapı oluşturulmalıdır.

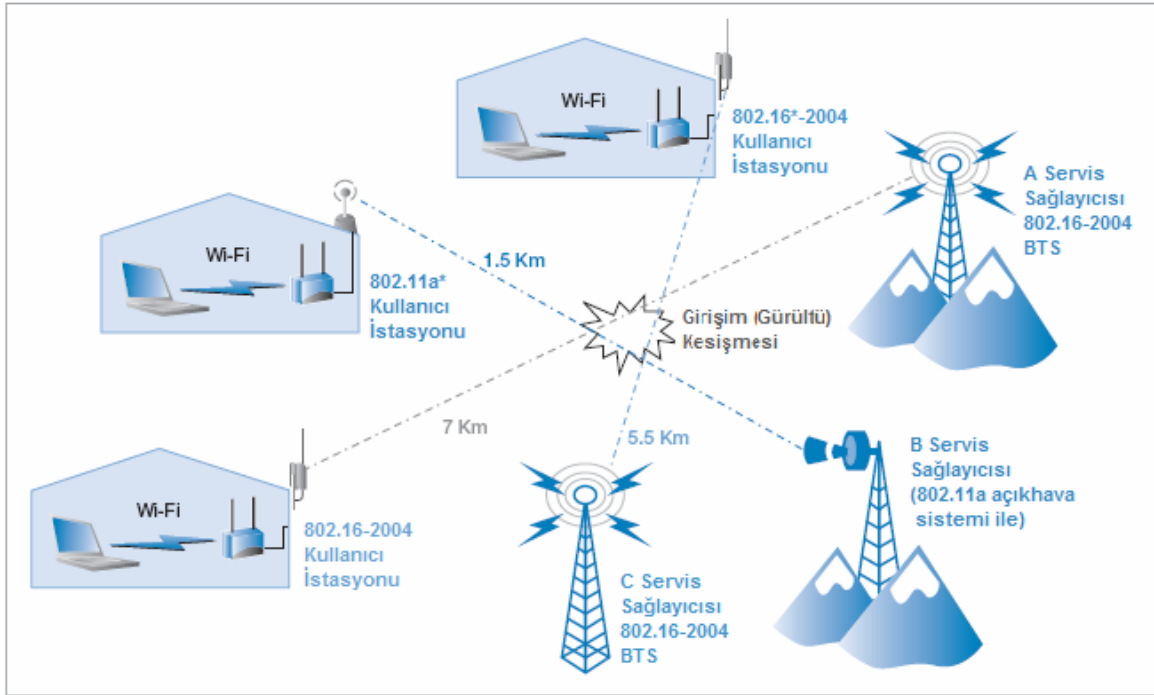


Şekil 4.2. Doğru olarak tasarlanmış bir lisans-dışı WIMAX çözümü

4.1.6.1. Birden fazla lisans-dışı kablosuz ağın bir arada bulunması durumu

Wi-Fi'nin yaygınlığı birçok Wi-Fi kablosuz internet bağlantı noktası ve WLAN ağlarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu genişleme sonrasında bazı servis sağlayıcıları WIMAX ve Wi-Fi'nin çözümlerini bir arada sunmaya başlamışlardır. Lisans-dışı WIMAX çözümü ile Wi-Fi ağının birbirlerine yakın olarak oluşturulması için doğru ağ tasarım metotları kullanılması gerekir. WIMAX şehir içindeki kullanıcılara daha ekonomik, Wi-Fi ağlardan daha kapsamlı ve geliştirilebilir çözümler sunabilmektedir.

Bugün uygulanan Wi-Fi ağlarının çoğunluğu 2.4 GHz IEEE 802.11bg* standardına dayalı çözümler olduğundan aynı frekans aralığında işletilen lisans-dışı WIMAX çözümlerine bir etkisi bulunmamaktadır. Ancak, bazı servis sağlayıcıları IEEE 802.11a* standardı temelli çözümler sunmakta ve bu çözümlerin 5 GHz spektrumu kullanmasından dolayı Şekil 4.3 de görüldüğü gibi WIMAX yayını yapılan çevrelerde sisteme gürültü eklenebilmektedir.



Şekil 4.3 Ağların bir arada olması durumu

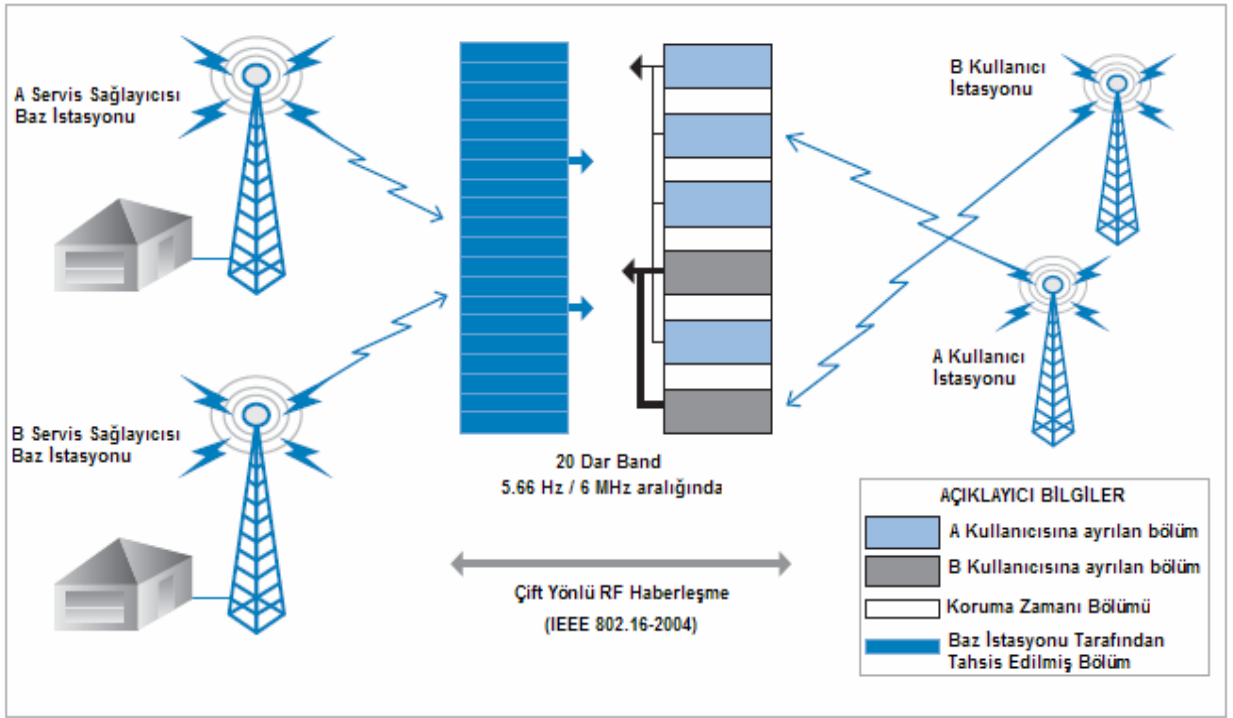
WIMAX ağları 2.4 GHz (IEEE 802.11bg) frekansında aralığında işletilmediğinden, 2.4 GHz frekansında iletim yapılmamaktadır. Bununla beraber, 5 GHz (IEEE 802.11a) frekansında çalışan Wi-Fi ağları WIMAX ağlarına bir gürültü oluşturabilmektedir. Genellikle Wi-Fi CCA yapısı WIMAX iletimini anlayamamakta ve bu işaretleri bir gürültü olarak kabul etmektedir. Oluşan gürültü sadece kablosuz erişim terminalinin birbirlerine yakın olduğu durumlarda sistemi etkilemektedir. (birkaç metreden daha az mesafede)

4.1.6.2. Anten teknolojileri kullanılan lisans-dışı WIMAX çözümleri

Anten teknolojileri iletimi iyileştirmek için iki yol kullanılabilir. Bunlar; farklılık tekniklerinin kullanılması ve gelişmiş anten sistemleriyle ve anahtarlama sistemleri kullanılmasıdır. Şekil 4.4'de lisans-dışı WIMAX çözümü gösterilmektedir.

- Farklılık teknikleri:

Çoklu antenler, alıcılar veya vericiler gibi farklılık teknikleri işaret için farklı yollar sunarak zayıflamayı engellemeye çalışır. Sistem uygulanan tekniğe göre uygun alıcı ve vericileri kullanır. Uygun uzay-zamanlı kodlar en uygun yolu bulmak için kullanılabilir. Alternatif yolların kullanılabilmesi ağın esnekliğini artırmaktadır.



Şekil 4.4. Akıllı anten teknolojilerinin kullanılması ile esnekliğin sağlanması

- Gelişmiş anten sistemleri ve anahtarlama:

Bu yöntem ışık demetinin açısını, yolunu ve genişliğini değiştirebilen ışın biçimlendirme ve yönlendirme tekniğini kullanır. Bir noktadaki ışın demetinin gücü ve RF miktarı yoğunlaştırılarak işaretin kalitesi artırılabilir.

İletimin iyileştirilmesi amacıyla anten teknolojilerinin kullanılması ile ilgili örnekler aşağıdadır:

- Örnek 1:

WIMAX, yayının kablosuz erişim terminalinden kontrol ve koordine edilmesine izin vererek yayın kontrolünü merkezileştirmektedir. Bu sayede kapsama alanını ve güvenilirliği artırmak için çoklu-anten teknolojileri kullanılabilir. IEEE 802.16.-2004 standardı Alamouti STC, AAS, akıllı antenler ve MIMO sistemler gibi tercihe bağlı farklı çoklu-anten tekniklerini desteklemektedir. Alamouti STC yayını veriyi iki kablosuz erişim terminali anteni üzerinden iletmektedir. Yayınların ardına gönderilmesi ile bilgiyi zaman ve uzay içerisinde iletmekte ve iletim farklılık kazancını en büyük yapmaktadır. Periyodik gecikme farklılığı, WIMAX sistemlerinde kullanılan başka bir iletim farklılık tipidir. Her iki tip de kablosuz erişim terminalinde uygulanabildiği için (çoklu-antenlerin RF cihazlarının yüksek maliyetinden dolayı) elverişlidir.

Çoklu-anten teknolojilerinin tekli-anten teknolojilerine göre avantajları aşağıda sıralanmıştır:

- Uygun anten sistemi (AAS–Adaptive Antenna System) antenlerin yönsel özelliklerini işleten bir teknik olan SDMA’i (Space Division Multiple Access – Uzay Bölmeli Çoklu Erişim) kullanarak üst üste bindirilmiş işaretlerin iletilmesine olanak sağlar. Uygun modülasyon tipi, ortamdaki SNR oranına göre en iyi spektral yoğunluğuna sağlayarak modülasyonu bağlantı şartlarına göre belirler. AAS gibi çoklu-anten teknolojileri çoklu alım yollarını birleştirerek SNR oranının iyileşmesini sağlar.

- Tekrar iletim için ARQ (Automatic Repeat Request – Otomatik Tekrar İsteği) protokolünün kullanılması bir hata oluşması durumunda alıcının tekrar-iletim isteği göndermesine olanak vermesinden dolayı sistem performansının artmasında önemli bir rol oynar.

- FEC kodlaması, RF girişiminin olduğu durumlarda kesinliği ve güvenilirliği orijinal bilginin tekrar iletilmesine gerek kalmadan sağlamaktadır.

- Genlik ve faz modülasyon yapmaya izin verecek şekilde tasarlanması, sağlayıcıya ağdaki gecikmelere karşı dayanıklılık kazanmasında yardım eder. Lisanslı veya lisans-dışı WIMAX ağları ile ilgili istatistik veritabanı oluşan problemlerin giderilmesinde sağlayıcıya gerekli bilgileri verir.

- Örnek 2:

WIMAX 5 GHz bandında DFS tekniğini destekler. DFS radar sistemlerinin sisteme olan girişimlerini engellemek için tasarlanmıştır. Bazı üreticiler DFS tekniğini kanalları otomatik veya manuel olarak değiştirmek için aktifleştirmektedir.

- Örnek 3:

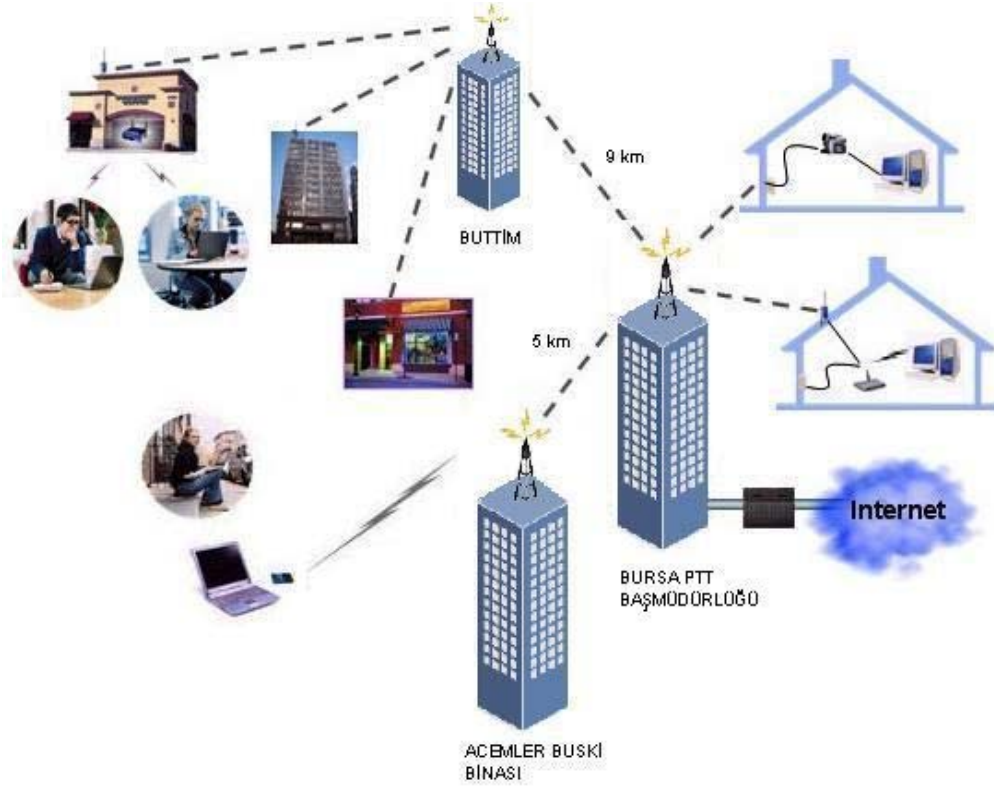
Spektrum kuralları DFS ve TPC (Turbo Decoded Product Code – Turbo Kodlanmış Ürün Kodu) için tesis edilmiştir. DFS için kanalın doluluğunun kontrol edilmesinde ve eğer dolu ise boş başka bir kanalın bulunmasında, TPC için ise sadece yeterli kadar gücün kullanılması amacıyla kullanılmaktadır.

- Örnek 4:

Dar bantların kanallara bölünmesi ağ içerisindeki esnekliği artırmaktadır. Daha fazla dar bantların kullanılması ile meydana gelen girişimler daha kolay tespit edilir ve giderilebilir. Dar bandın kanallara bölünmesi tek bir kullanıcı için bant genişliğini azaltsa da toplam sistemin esnekliğini artırmaktadır [1][4].

4.1.6.3. Bursa ili için tasarlanmış WIMAX çözümü

Bursa ilinde nüfusun yoğun olduğu, ev ve iş kullanıcılarının büyük bir kısmını kapsayan bölgede kablosuz geniş bant internet ve haberleşme imkanı sağlanması amacıyla Şekil 4.5. de görüldüğü gibi bir yapı oluşturulmuştur.



Şekil 4.5. IEEE 802.16 standardının Bursa ili merkezine uygulanması

Şekil 4.5.'de görüldüğü gibi çok-yönlü antenler şehrin yüksek binalarına konuşlandırılmış ve birbirleri ile haberleşmesi sağlanmıştır. Bursa PTT Başmüdürlüğünün bulunduğu bina internet hizmetinin alınacağı Türk Telekom merkez santraline yakın olduğu için seçilmiştir. Çevre şartlarının sisteme etkilerini en aza indirmek için kablosuz erişim terminali arasındaki mesafe 10 km.nin altında tutulmuştur. Toplama noktalarındaki kablosuz erişim terminali için Redline Communications firmasının ürünü olan Redmax AN-100 U cihazı seçilmiştir. Kablosuz erişim terminallerinden yayın yapmak amacıyla kullanılacak çoklu-yönlü anten için ise HyperLink Technologies firmasının HG5412U modeli seçilmiştir. Kullanıcıların sayısı ve ihtiyaçlarına karşılayacak şekilde gerekli olan toplam bant-genişliğine göre Türk Telekom'un sunduğu en uygun çözüm kullanılarak kullanıcılara geniş bant internet erişimi sunulmaktadır. İlk etapta 5 Mbps hızında metro-ethernet hizmeti uygun görülmüştür. Kullanıcıların WIMAX yayını alabilmeleri için de Redline Communications firmasının Redmax SU-O veya Redmax SU-I modelleri kullanılabilir. Bu iki modelin seçilmesinde kullanılacak

noktanın kablosuz erişim terminallerine olan mesafe dikkate alınmalıdır. Uzak mesafelerde SU-O modeli tercih edilmelidir.



a)



b)



c)



d)

Şekil 4.6. IEEE 802.16 standardı donanım malzemeleri

- a) Redmax SU-I, b) Redmax AN100-U, c) Redmax SU-O [7],
d) Hyperlink HG5412U [6]

4.1.7. Özet

Yukarıda verilen örneklerde kablosuz ağ tasarımı için birkaç seçeneği olan çözümler anlatılmıştır. Sistemdeki minimum düzeyler müşterilerin ve ticari kullanıcıların ihtiyaçları göz önünde bulundurularak belirlenmelidir. Mevcut teknolojik çözümler

düşük maliyetli çözümlerdir, ancak sistem işletme maliyetinin fazla olması toplam maliyeti artırmaktadır. Diğer çözümlerde daha ucuz ve uygun kablosuz erişim terminali cihazları kullanılabilir bu kez ise son kullanıcının kullandığı cihazlar pahalı olmaktadır. Sonuç olarak, sınırlamaların belirlenmesi için müşterilerin ve ticari kullanıcıların cihazlarının kapasitelerinin iyi ayarlanması gerekmektedir. Birçok durumda kendisine özgü hataları ve faydaları olan verimli çalışan sistemler tasarlanabilir. Diğer sistem tasarımcılarının ne tür sistemler kullandığının araştırılması fikir edinme bakımından faydalı olacaktır. Birkaç farklı firma tarafından özel bir çözümün kabul edilmesi, bu çözümün güzel bir nedeninin olduğunu göstermektedir.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan incelemelerden, günümüzde giderek artan ve hareketi destekleyen geniş bant haberleşme ihtiyacının, standartları belirlenmiş IEEE 802.11, IEEE 802.16 gibi protokollerin gerçekleştirilmesi ile karşılanacağı görülmektedir. WIMAX standardını destekleyen ürün yelpazesinin artması ve çevre şartlarına olan bağımlılığın azalması durumunda kablosuz ağların daha da verimli kullanılacağı açıktır. Ülkemizde şu ana kadar sınırlı sayıda haberleşme firması IEEE 802.16 standardını deneme amaçlı çalışmalar yapmıştır. Teknik ekipmanların artması, yetkilendirme sürecinin tamamlanması ve uygulama alanlarının belirlenmesi sonrasında IEEE 802.16 standardının uygulamaları her geçen gün artacaktır. Gelecekte IEEE 802.20 standardının da uygulama alanlarının artması, mevcut kablosuz geniş bant ihtiyacının giderilmesinde etkili olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Deploying Licence-Exempt WIMAX solutions (intel white paper)
- [2] IEEE standard for local and metropolitan area networks
- [3] RON OLEXA Implementing 802.11, 802.16 ve 802.20 Wireless Networks (Planning, troubleshooting ve operations)
- [4] WIMAX forum white papers
- [5] IEEE Standard 802.16: A Technical Overview of The WirelessMAN Air Interface for Broadband Wireless Access
- [6] HYPERLINK TECHNOLOGIES Innovative Solutions for Wireless Communication
- [7] REDLINE COMMUNICATIONS Advanced Broadband Wireless

ÖZGEÇMİŞ

İbrahim Hakkı Saltabaş, 23.12.1979'da Erzurum'da doğdu. İlk orta ve lise eğitimini Erzurum'da tamamladı. Erzurum Aziziye Lisesi'nden mezun oldu. 1997 yılında başladığı İstanbul Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünü 2001 yılında bitirdi. 2003 – 2005 yılları arasında İSBAK A.Ş. şirketinde AR&GE mühendisi olarak çalıştı. Şu anda Bursa İl Telekom Müdürlüğü'nde Özel Kablolar Şef Mühendisliği'nde mühendis olarak görev yapmaktadır.