



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme

Yeni Nesil Kablosuz Ağ Teknolojisi: Wimax Standardının İncelenmesi

Arafat ŞENTÜRK^{a,*}, Zehra KARAPINAR ŞENTÜRK^a, Meryem ŞENTÜRK^b, Metin ÇİFCİ^c,
Ekrem BAŞER^a

^a Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b Bilgisayar Mühendisliği ABD, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

^c Bilgisayar Mühendisliği ABD, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: arafatsenturk@duzce.edu.tr

ÖZET

Wimax (Worldwide Interoperability for Microwave Access) teknolojisi, Wimax Forum tarafından çeşitli standartları geliştirilen, geniş alanda iletişim sağlayan bir kablosuz ağ teknolojisidir. Çalışma boyunca Wimax hakkında bilgi verilmiştir. Wimax Standartları, Wimax Şebeke Yapısı, Wimax Katmanları, Wimax Hizmet Kalitesi ve Wimax Güvenlik konularına değinilmiştir

Anahtar Kelimeler: Wimax, NLOS, LOS, OFDM, OFDMA.

New Generation Wireless Technology: Investigation of Standards Wimax

ABSTRACT

Wimax (Worldwide Interoperability for Microwave Access) technology is a wireless technology whose standards are developed by Wimax Forum and which provides wide area communication. During the paper, information about Wimax is given. Wimax standards, network structure, layers, service quality, and security issues are mentioned.

Keywords: Wimax, NLOS, LOS, OFDM, OFDMA.

I. GİRİŞ

WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) olarak bilinen IEEE 802.16 kablosuz erişim standardı, yüksek bant genişliği ve uzun menzilli iletişim sağlar. 1998 yılında Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (The Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE), yüksek hızda bağlantı sağlamak için toplanmıştır [1]. Aynı zamanda, Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü (European Telecommunications Standard Institute - ETSI), HiperMAN'ı geliştirmiş ve Kore de WiBro'yu (Wireless Broadband) geliştirmiştir. Sonuç olarak bu üç ayrı grup birleştirilmiş ve Wimax (Worldwide Interoperability for Microwave Access) Forum'u oluşturulmuştur [1]. Wimax Forum, kablosuz ağ teknolojilerine öncülük eden ticari olmayan yüzlerce üyeye sahip bir organizasyondur ve bu organizasyon değişen koşullarla birlikte birçok Wimax standartları yayınlamıştır. Wimax standartlarının ana özellikleri şu şekildedir: Yüksek bant genişliği, hizmet kalitesi, güvenlik, ölçeklenebilirlik, düşük maliyet, kolay kurulum ve esnekliktir. Bu özellikleriyle birlikte Wimax teknolojisi, kablosuz iletişimi geniş bir alanda sağlamaktadır. Örneğin; eğitim, kampüs, banka ve şantiye ağları Wimax'in uygulama alanlarındandır.

İlk olarak, Wimax Forum tarafından 2001 yılında 10-66 GHz bant aralığında yüksek hızda iletişimi sağlamak için Wimax IEEE 802.16 yayınlanmıştır [2]. Ancak bu frekans aralığında görüş hattı (Line of Sight-LOS) çalıştırmayı gerektiriyordu. Bununla birlikte, 2003 yılında görüş aralığı gerektirmeyen (Non Line of Sight- Non - LOS) IEEE 802.16a, 2-11 GHz bant aralığında ek fiziksel katman özelliklerini sağlamak için yayınlanmıştır.

Tablo 1. Wimax standartları

Standart	IEEE 802.16	IEEE 802.16-2004	IEEE 802.16e	IEEE 802.16m
Standart yılı	2001	2004	2006	2011
Frekans Spektrumu	10-66 GHz	2-11 GHz	2-11 GHz –sabit 2-6 GHz -mobil	2.3-3.5 GHz
Haberleşme Özelliği	Doğrudan görüş hattı gerektirmektedir. (Line of Sight-LOS)	Doğrudan görüş hattı gerektirmemektedir. (Non Line of Sight-NLOS)	Doğrudan görüş hattı gerektirmemektedir. (Non Line of Sight-NLOS)	Doğrudan görüş hattı gerektirmemektedir. (Non Line of Sight-NLOS)
Modülasyon	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	OFDM 256, OFDMA, 64 QAM, 16 QAM, QPSK, BPSK	OFDM 256, OFDMA, 64 QAM, 16 QAM, QPSK, BPSK	OFDM 256, OFDMA, 64QAM, 16-QAM, QPSK
Hareketlilik	Sabit uygulamalar	Sabit ve taşınabilir uygulamalar	Hareketli ve mobil uygulamalar	Hareketli ve mobil uygulamalar
Kanal Bant Genişliği	20,25 ve 28 MHz	1.25-20 MHz arasında bant genişliği	1.25-20 MHz arasında bant genişliği	1.25-20 MHz arasında bant genişliği
Hücre Yarıçapı	1.6-5 km	5-8 km yükseklikte kurulu kule ile 50 km'lik mesafelere kadar kapsama	1.6-5 km	75 km
MIMO	Var	Var	Var	Var

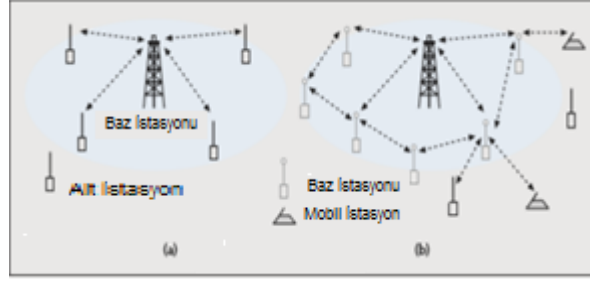
Daha sonra, sabit ve yavaş hareket eden kullanıcıları destekleyen IEEE 802.16d standardı çıkartılmıştır. Sabit Wimax adı verilen IEEE 802.16 - 2004 standardı sunulmuş ve bu standartta dikgen frekans bölmeli çoklama (OFDM) tabanlı fiziksel ara yüz kullanılmıştır. Sabit Wimax, IEEE 802.16/802.16a/ 802.16d yerine çıkarılan bir standarttır. Daha sonra, 2006 yılında Sabit Wimax'e hareketlilik özelliğinin eklenmesiyle IEEE 802.16e standardı yayınlanmıştır [3]. Son olarak da, 2011 yılında Wimax 2 olarak adlandırılan IEEE 802.16m standardı yayınlanmış ve Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (International Telecommunications Union, ITU) tarafından 4G standardı olarak kabul görmüştür [4].

Bu çalışma Wimax teknolojisine genel bir bakış sağlar. Çalışmanın devamında da Wimax'in şebeke yapısı, katmanları, hizmet kalitesi ve güvenliği ele alınacaktır.

II. WiMAX'IN ŞEBEKE YAPISI

Wimax şebeke yapısında mobil istasyon (Mobile Station - MS), erişim hizmet ağı (Access Service Network - ASN) ve bağlantı hizmet ağı (Connectivity Service Network - CSN) gibi çeşitli fonksiyonları sağlayan Wimax'e özgü başlıca fonksiyonel yapılar bulunmaktadır. Erişim Hizmeti Ağında birden fazla baz istasyonu ve birçok ağ geçidi (ASN Gateway – ASN - GW) bulunmaktadır. Erişim hizmet ağı (ASN), yönlendirmeyi, telsiz kaynak yönetimini ve anahtar şifreleme fonksiyonlarını sağlar. Bağlantı Hizmet Ağı (CSN) yüksek düzeydeki yönetimleri yaparken, erişim hizmet ağı (ASN) yalnızca Wimax telsiz yönetimini yapar. Bağlantı hizmet ağı (CSN), kullanıcı servislerinin ve diğer ağların Internet bağlantısını sağlar [5]. Bir diğer deyişle, bağlantı hizmet ağı (CSN), kullanıcıların Wimax'e erişimini sağlamak için gerekli olan protokolleri bulundurur [1].

Ortam erişim kontrolü (MAC) temelde iki mimariyi desteklemektedir: Tek noktadan çok noktaya (Point to Multipoint - PMP) ve örgülü (Mesh). PMP iletişim türünde, kullanıcı istasyonları (Subscriber Station - SS) baz istasyonu (Base Station - BS) ile iletişindedir. Geçen bütün haberleşme parametreleri baz istasyonu (BS) tarafından kontrol edilmektedir. PMP iletişim türünde baz istasyonları (BS) oldukça güçlüdür ve kullanıcı istasyonları (SS) baz istasyonlarının çok yönlü anten gruplarına sahip olduğu için yönlü antenlerden baz istasyonuna doğru yerleştirilir. Kanallar kullanıcı istasyonundan (SS) baz istasyonuna (BS) doğru yukarı yönlü (uplink) ve baz istasyonundan (BS) kullanıcı istasyonuna (SS) doğru (downlink) şeklindedir. PMP, kullanıcı istasyonlarının (SS) iletim alanında ve baz istasyonlarının (BS) da görüş açısında (LOS) olmasına gereksinim duyar. Örgü (Mesh) iletişim türünde, kullanıcı istasyonları (SS) birbirleriyle bağlantı halinde iken, baz istasyonları (BS) ile iletişim kurmamaktadırlar. Tek sekmeli (single - hop) ve çok sekmeli (multi - hop) yapılarını desteklemektedir. Kullanıcı istasyonu (SS), doğrudan tek bir sekme ile baz istasyonuna (BS) ulaştığında single - hop, kullanıcı istasyonu (SS), başka kullanıcı istasyonlarını (SS) kullanarak baz istasyonuna (BS) geçerse multi-hop olmaktadır. Şekil 1'de PMP ve örgü modeli gösterilmiştir. PMP modeline göre karşılaştırıldığında, örgü modelinin daha esnek ve altyapı dağılımında daha kolay kullanıldığı gözlemlenmektedir [2].



Şekil 1. (a) PMP Model (b) Örgü Model

III. WiMAX KATMANLARI

3.1. FİZİKSEL KATMAN

Bir geniş bant kablosuz erişim sistemi olan Wimax'de veriler elektromanyetik dalgalarla hızlı bir şekilde yayılmaktadır. Wimax fiziksel katmanı (PHY katmanı), bu yayılımı sağlamak amacıyla her iki taraf arasında aşağı (downlink) ve yukarı (uplink) yönde fiziksel bir bağlantı oluşturur. Wimax fiziksel katmanında 5 farklı ara yüz vardır: Wireless MAN SC, Wireless MAN OFDM, Wireless MAN OFDMA, Wireless MAN SCa ve Wireless HUMAN'dır. Bu ara yüzlerin özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Wimax arayüzleri [5]

Tasarım	Fonksiyon	Frekans	Çoklama	Görüş Çizgisi
Wireless MAN SC	Point-to-point (PTP)	10-66 GHz	TDD,FDD	LOS
Wireless MAN OFDM	Point-to-point (PTP)	2-11 GHz	TDD, FDD	NLOS
Wireless MAN OFDMA	Point-to-multipoint (PMP)	2-11 GHz	TDD, FDD	NLOS
Wireless MAN SCa	Point-to-multipoint (PMP)	2-11 GHz	TDD, FDD	NLOS
Wireless HUMAN	Point-to multipoint (PMP)	2-11 GHz	TDD	NLOS

3.1.1. Tek taşıyıcılı Fiziksel Katman (SC PHY)

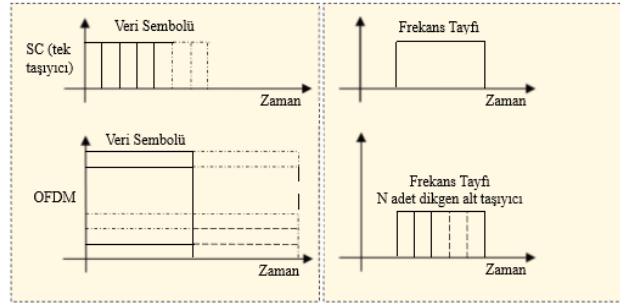
Bu fiziksel katman, 10-66 GHz frekans bandında uygun spektrumu kullanmak için TDD ve FDD'yi destekler. Yukarı yönlü ve aşağı yönlü vericiler için sistem yapısı benzerdir. Öncelikle veriler, rastgele hale getirilme (randomization), ileri yönlü hata doğrulama (Forward error correcting - FEC), modülasyon ve son olarak da vurum biçimlendirme aşamalarını geçer. Fiziksel katman, QPSK, 16-QAM ve 64-QAM modülasyonu desteklemektedir [9].

3.1.2. Dik Frekans Bölmeli Çoklama Fiziksel Katman (OFDM)

OFDM fiziksel katmanı OFDM modülasyonu tabanlıdır ve NLOS için tasarlanmıştır. OFDM yüksek veri hızı iletimini sağlamakla birlikte, görüntü ve ses iletişimini DSL, Wi-fi ve Wimax ile kaliteli bir şekilde sağlamaktadır. OFDM, 256 alt taşıyıcıya sahiptir. Bu alt taşıyıcılar şu şekilde gruplandırılır:

veri alt taşıyıcıları (veri iletimi için), rehber alt taşıyıcıları (kanal tahmini için) ve boş alt taşıyıcılar (doğru akım alt taşıyıcıları ve koruma bandı için) [9].

OFDM modülasyonunda her bir taşıyıcıya diğer bir taşıyıcıyla dik olacak şekilde taşıyıcı aralığı verilmiştir. OFDM tekniğinde, paralel sınırlı alt taşıyıcılarla veriler gönderilir. Böylelikle, frekans bandı verimli olarak kullanılmaktadır. OFDM tekniği, semboller arası girişimlere (inter symbol interference-ISI) ve frekans seçici sönmülemeye karşı dayanıklı olmasından dolayı geniş bantlı telsiz iletişim sistemleri için tercih edilir. OFDM sisteminde, veriler tabloda gösterilen şekilde ilerlemektedir [10].

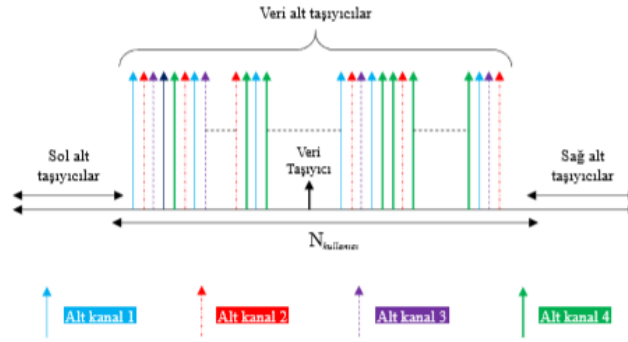


Şekil 1. Zaman ve frekans dağılımında tek taşıyıcı ve OFDM [10]

Sisteme gelen veriler öncelikle paralele çevrilmektedir (Serial to paralel - S/P). Kullanılacak bant genişliği paralel hat sayısını belirler. Veriler QAM kodlayıcı ile sayısala dönüştürülür. Sonra ters hızlı Fourier dönüşümü (Inverse fast fourier transform - IFFT) kullanılır. Daha sonra bu veriler sırasıyla seriye ve analog işarete çevrilir. Son olarak yüksek frekansa çıkarmak için modüle edildikten sonra iletim ortamına verilir [10].

3.1.3. Dik Frekans Bölmeli Çoklu Erişim Fiziksel Katmanı (OFDMA)

OFDM fiziksel katmanı gibi 11 GHz altındaki frekans bandında NLOS işlemi için tasarlanmıştır. Alt taşıyıcıların, farklı kanalların farklı kullanıcılara atandığı alt kanalları oluşturduğu metoda, çoklu erişim metodu OFDMA denilmektedir. OFDMA fiziksel katmanındaki hızlı fourier dönüşümü (Fast fourier transform-FFT) boyutu 128, 512, 1024 ya da 2048 olabilir. Bununla birlikte, 256 FFT boyutu OFDMA katmanında kullanılmamaktadır. Ayrıca, 1024 ve 512 FFT boyutları, IEEE 802.16e'de kullanılmaktadır. Böylelikle, FFT boyutu ve gelen sinyallerin kanal genişliğinin belirlenmesi gerekmektedir. OFDMA sisteminde, alt taşıyıcılar alt kanallara bölünmektedir. Yukarı yönlü bir bağlantıda, bir alt kanal farklı kullanıcılar tarafından kullanılır. OFDMA fiziksel katmanı QPSK, 16-QAM ve 64-QAM modülasyonlarını destekler [9, 11]. Bir verici yukarı yönde birçok alt kanal kullanabilir ya da aşağı yönde bir alt kanal farklı alıcılara ayrılmış olabilir. OFDMA'nın OFDM'den farkı, aynı kanalda belli bir zamanda çoklu erişime izin vermesidir. OFDMA'da zaman bölmeli çoklu erişim (TDMA) ve frekans bölmeli çoklu erişim (FDMA) kullanılmaktadır[1, 12, 13].



Şekil 2. OFDMA Prensipleri [5]

3.1.4. Çoklu Giriş-Çoklu Çıkış (MIMO)

MIMO, Wimax'ın etkinliğini 4 katına kadar çıkarabilen, birçok alıcı-verici kullanılan çoklu anten sistemidir. MIMO teknolojisi, kablosuz kanal performansını artırmak için kablosuz ortamlardan aldığı çoklu sinyalleri ve kablosuz ortama ilettiği çoklu sinyalleri kullanır. MIMO OFDM, 4G kablosuz sistemi gelişiminde önemlidir [14]. MIMO teknolojisi, kablosuz sistemlerde sistemin hızını, performansını ve güvenilirliğini artırmayı sağlamaktadır. Teorik olarak, kullanılan anten sayısının artmasıyla bu durum artmaktadır [4].

3.1.5. Çift Yönlü İletişim

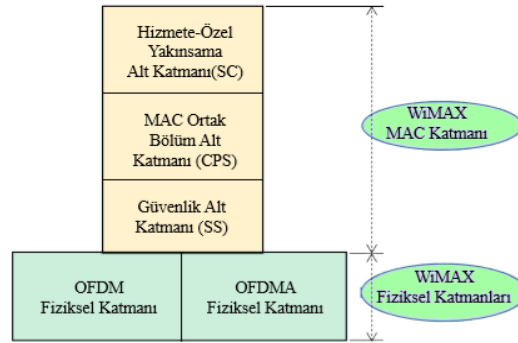
Wimax, PMP mimarisinde dolayı çoklu katılımcıları desteklemek için zaman bölmeli çoklama (time division duplexing - TDD) ve frekans bölmeli çoklama (frequency division duplexing - FDD) olmak üzere iki tekniği desteklemektedir [2]. Bu iki çoklama tekniğinden birinin seçilmesi fiziksel katman parametrelerini ve desteklenen özellikleri etkilemektedir.

FDD çoklama tekniği birçok mobil haberleşme sistemi tarafından kullanılan en yaygın tekniktir. Filtreleri aracılığıyla yukarı ve aşağı yönlü sinyalleri kolayca ayırabilmektedir ve bu özelliği bu tekniğin yaygın kullanılmasını sağlamaktadır. Yukarı ve aşağı bağlantı için farklı frekans bantları kullanan FDD çoklama tekniğinde, gönderme ve alma işlemi aynı anten üzerinden gerçekleşmektedir. Bununla birlikte, çoklayıcı kullanılmaktadır ve çoklayıcı sayesinde yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı frekans bantları birbirinden ayrılmaktadır. TDD çoklama tekniğinde baz istasyonu ve terminal aynı radyo frekansı kanalını kullanarak farklı zaman dilimlerinde sinyal iletirler. TDD'de aşağı yönlü ve yukarı yönlü bağlantı için aynı frekans bandını kullanılmaktadır ve FDD'den ayıran bu özelliği sayesinde spektrum ayrılmasında esneklik sağlanmaktadır. TDD sistemlerde yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı sinyalleri zamana göre ayrıldığı için çoklayıcıya ihtiyaç duyulmaz [5].

3.2. ORTAM ERİŞİM KONTROL KATMANI (MAC)

Wimax sistemi, bağlantı tabanlı bir tek noktadan çok noktaya sistemdir. Wimax MAC katmanı, fiziksel katmandan sonra gelen bağlantıların kontrolünü ve çoğullamasını sağlayan, ekle, değiştir ve sil gibi fonksiyonları olan, dinamik olarak biçimlendirilebilen bir protokoldür. Esnek QoS servislerini önermektedir [16]. Wimax MAC katmanı OFDM ve OFDMA fiziksel katmanlarını kullanmakla birlikte, video servislerinde en az gecikmeyi sağlayan gerçek zamanlı seçim servisini desteklemektedir. Bunun yanı sıra, hizmet kalitesini artırmak için değişik modülasyon yöntemleri ve

ileri yönlü hata doğrulama sistemi (forward error correcting - FEC) kullanır. Wimax, MAC katmanında 3 alt katman vardır: Yakınsama alt katmanı (convergence sublayer - CS), ortak bölüm alt katmanı (common part sublayer - CPS) ve güvenlik alt katmanı (security sublayer - SS). Yakınsama alt katmanında, veri paketleri MAC servis veri birimleri (SDU - service data unit) olarak alınır, MAC protokol veri birimlerine (protocol data unit - PDU) dönüştürülür ve çeşitli bilgilere göre sınıflandırılır. Daha sonra her paket bir bağlantı için ayrılır. Paketler ortak bölüm alt katmanında bant genişliğini verimli kullanmak amacıyla birleştirilir ya da parçalanır. Bu katmanda otomatik tekrar talebi (automated repeat request – ARQ) kullanıldığında oluşan herhangi bir hata iletilir. Aşağı yönlü ve yukarı yönlü bağlantı için paketler servis kalitesi ihtiyacına göre planlanır. Son olarak da veri paketleri içinde taşınacak olan çerçeve bu katmanda hazırlanmaktadır. Güvenlik alt katmanında ise paketler şifrelenmektedir [17].



Şekil 3. Wimax MAC Katmanı ve OFDM-OFDMA Fiziksel Katmanı [17]

IV. WiMAX HİZMET KALİTESİ

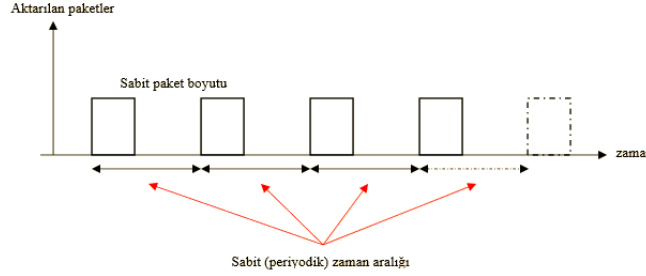
Servis kalitesi parametreleri, kullanıcıların servisleri kaliteli bir şekilde almalarını sağlayan ve kullanılan servislere göre değişim gösteren parametrelerdir. Wimax ile geniş bant aralığını ve farklı uygulamaları desteklemek amacıyla MAC programlayıcıları tarafından sağlanan servis sınıfları şu şekildedir: Talep edilmeden verilen servis (unsolicited grant services- UGS), gerçek zamanlı seçim servisi (real - time polling services- rtPS), gerçek zamanlı olmayan seçim servisi (non - real - time polling service NrtPS), en iyi efor servisi (best - effort service- BE) ve uzatılan gerçek zamanlı değişken oran (extended real - time variable rate - ERTVR) şeklindedir [1].

Tablo 3. Hizmet kalitesi

Servis Sınıfı	Özellikleri	Uygulama Örnekleri
UGS	Maksimum sürdürülebilir hız, Maksimum gecikme toleransı, Seğirme (jitter) toleransı	VoIP
rtPS	Maksimum sürdürülebilir hız, Maksimum gecikme toleransı, Trafik önceliği, Minimum rezerve edilmiş hız	Ses ve video kesintisiz iletimi, Kodlanmış MPEG
nrtPS	Maksimum sürdürülebilir hız, Trafik önceliği, Minimum rezerve edilmiş hız	FTP
BE	Maksimum sürdürülebilir hız, Trafik önceliği	Web tarama, veri transferi
ertPS	Maksimum sürdürülebilir hız, Maksimum gecikme toleransı, Trafik önceliği, Seğirme (jitter) toleransı	VoIP (Aktivite algılama ile VoIP)

4.1. TALEP EDİLMEYEN VERİLEN SERVİS (UGS)

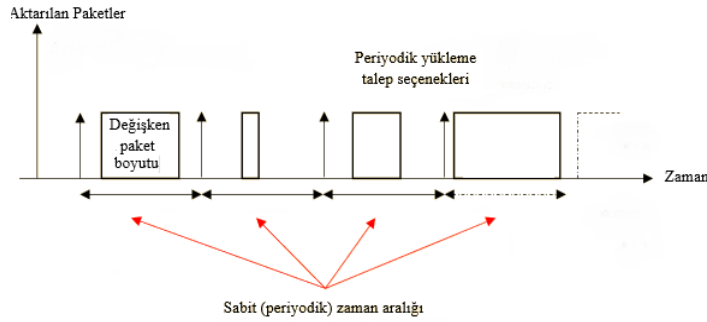
Bu servis, sabit bit oranını (constant bit rate - CBR) desteklemek için tasarlanmıştır. Periyodik bir şekilde sabit bant genişliği ayırmaktadır.



Şekil 4. UGS'nin yapısı

4.2. GERÇEK ZAMANLI SEÇİM SERVİSİ (rtPS)

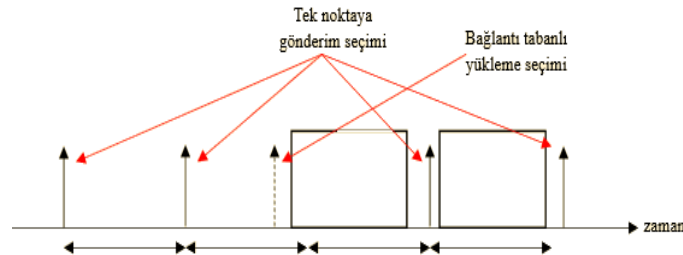
Bu servis, periyodik olarak değişen değişken boyutlu veri paketlerini yöneten MPEG gibi gerçek zamanlı servis akışlarını desteklemek için tasarlanmıştır.



Şekil 5. rtPS'nin yapısı

4.3. GERÇEK ZAMANLI OLMAYAN SEÇİM SERVİSİ (NrtPS)

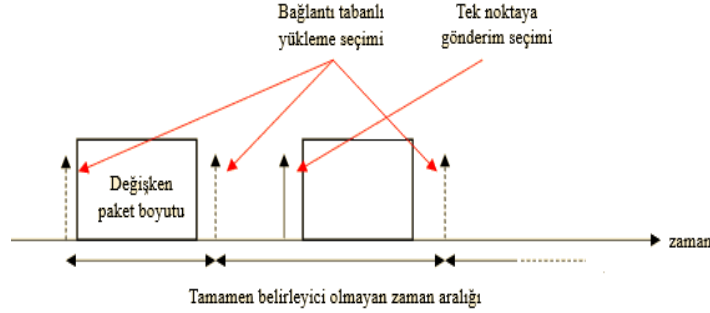
Bu servis, onaylanmış minimum oranda değişken boyutlu verilere ihtiyaç duyan Dosya İletim Protokolü (File Transfer Protocol - FTP) gibi gecikme toleranslı veri akışını desteklemek için tasarlanmıştır.



Şekil 6. nrtPS'nin yapısı

4.4. EN İYİ EFOR SERVİSİ (BE)

Bu servis minimum servis seviyesinin onaylamamış Web tarayıcısı gibi veri akımlarını desteklemek için tasarlanmıştır. Asıl amacı veri transferidir.



Şekil 7. BE'nin Yapısı

4.5. UZATILAN GERÇEK ZAMANLI DEĞİŞKEN ORAN (ertPS)

Bu servis, onaylanmış veri oranına ve geciktirmeye ihtiyaç duyan, farklı veri oranlarına sahip, VoIP gibi gerçek zamanlı uygulamaları desteklemek için tasarlanmıştır. Bu servis, yalnızca IEEE 802.16e-2005'de tanımlanmıştır [1, 15].

V. WiMAX GÜVENLİK

Wimax ağ yapısındaki güvenlik ihtiyaçları şu şekildedir:

- Gizlilik: Wimax ağ çevresinde, kötücül kişilerin iletişimi gizlice dinleyebilmesi ihtimali sebebiyle farklı istasyonlar arasında gezen bilgileri korumak için gizlilik önemlidir.
- Kimlik Doğrulama: Diğer sistemler gibi Wimax'te de bir iletişimde kötücüllerden korunmak için kimlik doğrulama tekniği katılımcıların kimliklerini doğrulamaktadır.
- Bütünlük: Bütünlük bilginin beklenmedik bir yolla değişmediğini kontrol etmektedir.
- Erişebilirlik: Bir kablosuz ağda, kötücüllerin kullanıcının ağa erişimini engelleyen denial-of-service (DoS) saldırısını gerçekleştirmesinden dolayı erişebilirlik temel güvenlik konularından biridir [2].

Wimax kablosuz iletişim yapısında güvenliği sağlamak amacıyla, MAC katmanında güvenlik alt katmanında (Security Sublayer- SS) sağlanmaktadır. MAC güvenlik alt katmanı güvenlik fonksiyonellerini ve uygulamalarını belirlemektedir. Güvenlik alt katmanının görevleri şu şekilde sıralanmaktadır:

- Ağa giren kullanıcı kimliğini doğrulamak,
- Ağ servis sağlayıcısı tarafından kullanıcıya yetki vermek,
- Veri trafiği ve anahtar iletimi için gerekli şifrelemeyi sağlamaktır [18].

Wimax güvenlik yapısı özel anahtar yönetimi (Privacy Key Management - PKM) protokolüne dayandırılarak geliştirilmiştir. Öncelikle PKMv1 protokolü geliştirilmiştir; ancak bu protokolda sahte baz istasyonu gibi güvenlik sorunları çıkmış ve daha sonra bu protokol geliştirilerek IEEE 802.16e'de kullanılan PKMv2 protokolü sunulmuştur. PKMv2 mobil istasyon (MS) ve bağlantı hizmet ağı (CSN) arasında kullanıcı ve cihaz kimliği doğrulamayı sağlamaktadır. Hem mobil Wimax'te hem de sabit Wimax'te kullanılan iki protokol vardır:

- Veri şifrelemesi ve kimlik doğrulama algoritması için kapsülleme protokolü,
- Baz istasyonundan (BS) mobil istasyona (MS) anahtarlanmış verilerin güvenli dağılımını sağlayan bir anahtar yönetim protokolü (PKMV2).

Mobil istasyon (MS) baz istasyonuna (BS) RNG-REQ mesajı gönderir daha sonra baz istasyonu (BS) karşılık olarak frekans, zaman ve güç kaydırması hakkında bilgi içeren RNG-RSP mesajını gönderir. Sonrasında sırasıyla genişletilebilir kimlik doğrulama protokolü tabanlı kimlik doğrulama (Extensible Authentication Protocol-EAP), yetkilendirme, güvenlik birimi (Security Association-SA) ve güvenli veri transferi adımları gerçekleşmektedir. Mobil istasyon (MS) her bir hizmet için güvenlik birimi (SA) yayınlamaktadır. Her bir güvenlik birimi, baz istasyonunun (BS) verileri şifrelemek için aşağı yönlü ve yukarı yönlü iletim şifreleme anahtarı (TEK) sağlamaktadır. Mobil Wimax ağı üzerinden bütün kullanıcı verilerini korumak için 3-DES (Data Encryption Standard) ya da AES (Advanced Encryption Standard) kullanılmaktadır. TEK periyodik olarak baz istasyonu (BS) tarafından yenilenmektedir. MAC kontrol mesajları AES - tabanlı CMAC (Cipher based Message Authentication Code) ya da MD5 - tabanlı HMAC (Message Digest based Hashed MAC) şemaları kullanılarak korunmaktadır. Multicast broadcast service (MBS) iletişimlerini korumak için, baz istasyonları (BS) mobil istasyonlara (MS) tek yönlü mesajlarla grup anahtarı şifreleme anahtarı (group key encryption key- GKEK) ve grup trafik şifreleme anahtarı (group traffic encryption key- GTEK) iletir [19].

VI. SONUÇ

Wimax Forum, geniş alanda yüksek bant genişliği, hizmet kalitesi, güvenlik, ölçeklenebilirlik, düşük maliyet, kolay kurulum ve esneklik sağlayan Wimax standardını geliştirmiştir. Böylelikle, yeni bir kablosuz ağ iletişimi ortaya çıkmıştır. Bant genişliğinin verimli kullanılması, güvenliliğin etkili olması, servis kalite parametrelerini sağlaması, NLOS yayın yapması, sabit ve hareketlilik olanakları sunması Wimax teknolojisinin temel avantajlarıdır. Bu çalışmada, Wimax standartları, avantajları, ağ yapısı, katmanları, çoklama teknikleri ve güvenliği gerekli literatürler araştırılarak incelenmiştir. Bu açıklamalar çerçevesinde bundan sonra bu alanda yapılacak olan çalışmalar için ön bilgi olması sağlanmaktadır. Sonraki çalışmada ise, Wimax teknolojisi ile diğer teknolojilerin karşılaştırılması yapılabilir.

VII. KAYNAKLAR

- [1] J. G. Andrews, A. Ghosh, R. Muhamed, *Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking*, Prentice Hall, (2007).
- [2] K. Lu ve K. Qian, H.H. Chen *IEEE Communications Magazine* **15(4)**(2007) 124-130.
- [3] I. Adhichandra, *WiMAX Femtocell, Department of Information Engineering, The University of Pisa, Italy*, (2009) 5-11.

- [4] F. Wang, A. Glosch, C. Sankaran, P.J. Fleming, F. Hsieh, S.J. Benes (2009) **DOI: 10.1109/MCOM.2008.4644118.**
- [5] L. Nuaymi, *WiMAX: Technology for Broadband Wireless Access*, John Wiley & Sons. (2007).
- [6] S. More, D. K. Mishra, *4G revolution: WiMAX technology*, **Internet (AH-ICI) Third Asian Himalayas International Conference**, Burhanpur, India, (2012) 1 – 4.
- [7] C. Eklund, B. M. Roger, L. Kenneth (2002) **DOI: 10.1109/MCOM.2002.1007415**
- [8] H. Zerrouki ve M. Feham, *A physical layer simulation for WiMAX MIMO-OFDM system*, **Multimedia Computing and Systems (ICMCS)**, Marrakech, (2014) 757 – 764.
- [9] M. Wang, *WiMAX physical layer: specifications overview and performance evaluation*, **2nd IEEE CCNC Research Student Workshop**, (2011) 10 – 12.
- [10] M. Morelli, *Timing and Frequency Synchronization for the Uplink of an OFDMA systems*, **Trans. on Commun.**, (2004) 296-306.
- [11] R. B. Moawad, *IPTV over WiMAX: overview on the video path from the server to the WiMAX end-user*, **Lebanon Communications Workshop**, Beirut, (2008) 17 – 23.
- [12] F. Ohrtman, *WiMAX Handbook Building 802.16 Wireless Networks*, McGraw-Hill, (2005).
- [13] S. Shepard, *WiMAX Crash Course*, McGraw-Hill, (2006).
- [14] M. Patidar, R. Dubey, N. K. Jain, S. Kulpariya, *Performance analysis of WiMAX 802.16e physical layer model*, **Wireless and Optical Communications Networks (WOCN)**, Indore, (2012) 1 – 4.
- [15] R.K. Jha, U.D. Dalal, *Location based radio resource allocation (LBRRA) in WiMAX and WLAN network*, **Information and Communication Technologies (WICT)**, Mumbai, (2011) 399 – 406.
- [16] I. V. Uilecan, C. Zhou, G. E. Atkin, *Framework for delivering IPTV services over WiMAX wireless networks*, **IEEE International Conference on Electro/Information Technology**, (2007) 470 - 475.
- [17] F. E. Retnasothie, M. K. Özdemir, T. Yücek, H. Celebi, J. Zhang, R. Muththaiah, *Wireless IPTV over WiMAX: challenges and applications*, **Wireless and Microwave Technology Conference**, Clearwater Beach, FL, (2006) 1 – 5.
- [18] P. Rengaraju, C. H. Lung, A. Srinivasan, *An analysis on mobile WiMAX security*, **Proc. of IEEE Toronto Int'l Conf. on Science and Tech. for Humanity**, (2009) 439-444
- [19] P. Rengaraju, C. H. Lung, A. Srinivasan, *Measuring and analyzing WiMAX security and QoS in testbed experiments*, **Communications (ICC)**, Kyot, (2011) 1 – 5.