

WiMAX Standartları

Haluk Tanrikulu
haluk@ieee.org

Ocak 2008

İçindekiler

- 1. Giriş**
- 2. WiMAX Teknolojisine Genel Bir Bakış**
- 3. WiMAX Standartları**
- 4. WiMAX Şebekesine Erişim**
- 5. Çok Taşıyıcılı Modülasyon**
- 6. Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama**
- 7. Sonuç**

Kaynaklar



1.Giriş

Bu çalışma WiMAX adı ile bilinen kablosuz geniş band erişimi standartlarına genel bir bakış sağlamak için hazırlanmıştır. Çalışmada WiMAX'ın kısa bir tarihçesi, standartları, WiMAX şebekesine erişim tipleri ve WiMAX'ın modülasyonu ile ilgili bilgiler yer almaktadır.

IEEE Standartlar Bürosu 1999 yılında WirelessMAN adı ile bilinen dünya genelinde kablosuz metropol alan ağını yaygınlaştıracak çalışmaları yürütmesi için IEEE 802.16 çalışma grubunu kurdu. Bu çalışma grubu (IEEE 802 LAN/MAN Standartları Komitesi olarak bilinir) 802.16 standartların belirleyecek ancak üretilen ürünlerin testlerini yapmayacaktı. Bu tesleri yapacak ve şirketler arasında işbirliğini artıracak WiMAX Forum adı altında bir endüstriyel bir çalışma grubu 2001 nisan ayında kuruldu. WiMAX , “Worldwide Interoperability for Microwave Access” kelimelerinin kısaltmasından oluşmaktadır.

WiMAX Forumun¹ amacı IEEE 802.16 standartlarını destekleyen geniş bant kablosuz iletişim cihazlarının birlikte çalışabilirlik yeteneklerini sertifikalaştırmak ve bu teknolojinin gelişmesi için katkı sağlamaktır. Bu nedenledir ki bu geniş bant kablosuz iletişim teknolojisi IEEE 802.16 ismi ile değilde WiMAX ismi ile daha çok anılmaktadır [1].

2. WiMAX Teknolojisine Genel Bir Bakış

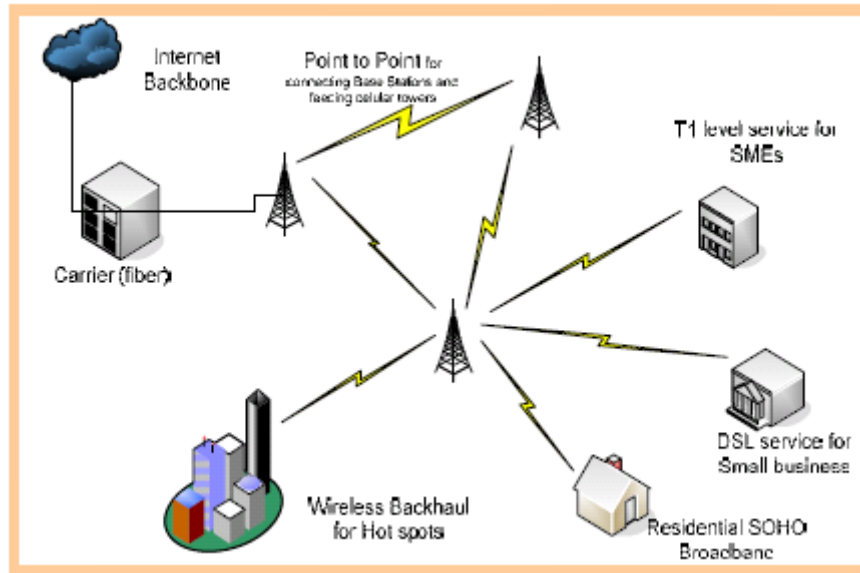
IEEE'nin 802.16 WirelessMAN grubu IEEE 802.16-2001, ilk standardı, Aralık 2001 kabul etti ve Nisan 2002'de 10-66 GHz frekans bandı olarak yayınladı. Bu yayınlanmış standart kablosuz erişim teknolojinin metropol alanlarda kullanılması öngörüyordu.

Dolayısı ile IEEE 802.16 standardı ve uygulanan teknoloji WiMAX ile yüksek veri iletim hızlarında büyük kapsama alanlarında çok sayıda kullanıcıya hizmet verilmesi hedeflenmektedir. Böylece mevcut DSL (sayısal abone hattı), kablo ve Wi-Fi teknolojilerine alternatif olarak kırsal alanlarda kapsamanın oluşturulamadığı ve /veya zayıf olduğu bölgeler ile gelişmekte olan bölgelere yüksek hızlarda telsiz haberleşme imkanı sağlanacaktır. Mevcut telsiz teknolojilerle WiMAX teknolojisinin rekabeti gerçek yüksek hızlarda haberleşme ve haberleşme menzilinün büyümesi olarak gözükmektedir [3].

Ancak bu frekans aralığı için doğrudan görüş hattı (LOS) gerektiğinden, görüş hattı sağlanamayan ihtiyaçlara cevap veren IEEE 802.16a versiyonu Nisan 2003'te yayınlanmış ve bu versiyondaki frekans aralığı 2-11 GHz'e düşerek lisanslı ve lisanssız olarak kullanılabilir hale gelmiştir.

Bu standart, sabit uygulamalar için kablosuz metropol alan ağ teknolojisine odaklanmıştır. Bu teknoloji bir dış anten yardımı ile noktadan çok noktaya (PMP) erişim altyapısını kullanmaktadır. Bu uygulama bant genişliğini 70 Mbps'den en yuğsek noktası olan 268 Mbps kadar ulaşılacak bir veri hızını sağlamaktadır [1].

IEEE'de WiMAX için halihazırda kullanılan standart versiyonu, Haziran 2004'de onaylanan ve IEEE 802.16-2004 olarak da bilinen IEEE 802.16d ve WiMAX'e mobilite özelliğini kazandırmak amacıyla Aralık 2005'de onaylanarak yayınlanan IEEE 802.16e şeklinde bilinmektedir. ETSI ise 2-11 GHz frekans bandı için Avrupa'daki kablosuz şebeke iletişimini tanımlayan ve 802.16 ile aynı olan standardını Kasım 2003'te onaylayarak yayınlamıştır. Sabit, göçebe, taşınabilir ve mobil erişimleri destekleyen WiMAX, 1.25 MHz'den 20 MHz'e kadar bant genişliklerini desteklemektedir. 802.16d versiyonu ile 20 MHz bant genişliğinde 75 Mbps hıza ulaşırken, mobilite özelliğinin eklendiği 802.16e versiyonu ile de 10 MHz bant genişliğinde 30 Mbps hıza ulaşabilmektedir.



şekil – 1 : Geniş Bant Kablosuz İletişim [5]

İleri hata düzeltme yeteneği, mesafeyi ve kapasiteyi artırmak için kullanılan gelişmiş anten teknikleri desteği, geleneksel TDM (Zaman Bölmeli oklama) ses trafiği veya Voice over IP (VoIP, IP üzerinden ses aktarımı) ile video'da ideal taşıma ve veri trafiğinin önceliği gibi gecikme duyarlıklđ hizmetler için düşük gecikme süresi sağlamaktadır. Ayrıca kişisel güvenlik ve şifreleme özellikleri ile güvenli iletim desteklenmekte ve kimlik denetimi ile veri şifrelemesi sağlanabilmektedir.

IP tabanlı bir teknoloji olması sayesinde de hem fiber optik bağlantılar, kablolu modemler kullanan koaksiyel sistemler ve DSL bağlantılar gibi kablolu şebekelere,

hem de 3G şebekelere entegre olabildiğinden çeşitli şekillerdeki hizmet ve şebekelerin yakınsamasını da desteklemektedir. Bu da her zaman her yerde uygun erişimle, kullanıcıların bilgi, eğlence ve multimedya iletişim taleplerinin karşılanması anlamına gelmektedir [2]. Ayrıca wi-fi ile entegrasyonu ile ev-büro içerisinde tam bir kablosuz erişim sağlamaktadır. Telkolar WiMAX teknolojisini son noktadaki kullanıcıları için tercih etmektedirler. Çünkü uzak mesafedeki bu son noktadaki kullanıcılara geniş bant hizmetini ancak kablosuz bir iletişim ile verebilirler. Mobil operatörler ise WiMAX göz ardı edemezler. Mobil operatörler kendi iç ağlarında WiMAX'e entegre olmaya çalışacaklardır. WiMAX IP sürüm 6'yı desteklemektedir. Bu da kablosuz olarak IP olarak çalışan ev – büro cihazlarının uzaktan kontrol edilmesine olanak sağlayacaktır [6].

WiMAX, hem zaman bölmeli çiftleme (TDD) hem de frekans bölmeli çiftleme (FDD) tekniklerini kullanabilirken, 802.16d versiyonunda dikey frekans bölmeli çoklama (OFDM), 802.16e versiyonunda ise ölçeklenebilir dikey frekans bölmeli çoklama (SOFDM) tekniği kullanılmaktadır.

WiMAX teknolojisinin en önemli özelliklerinden biri olan, tüm ekipmanların birbiriyle çalışabilirliğini teminen, halihazırda İspanya/Malaga'daki laboratuvar testleri sonucunda verilen WiMAX Forum sertifikasyonu işlemi ise Temmuz 2005'de başlamıştır [2].

Şu anda aktif standartlar farklı gruplar tarafından yürütülmektedir. Aşağıda yürütülen çalışmalar sıralanmıştır [1]:

1 . Aktif Standartlar

- a. IEEE 802.16e-2005
- b. 802.16f – Yönetimsel Bilgi Tabanı

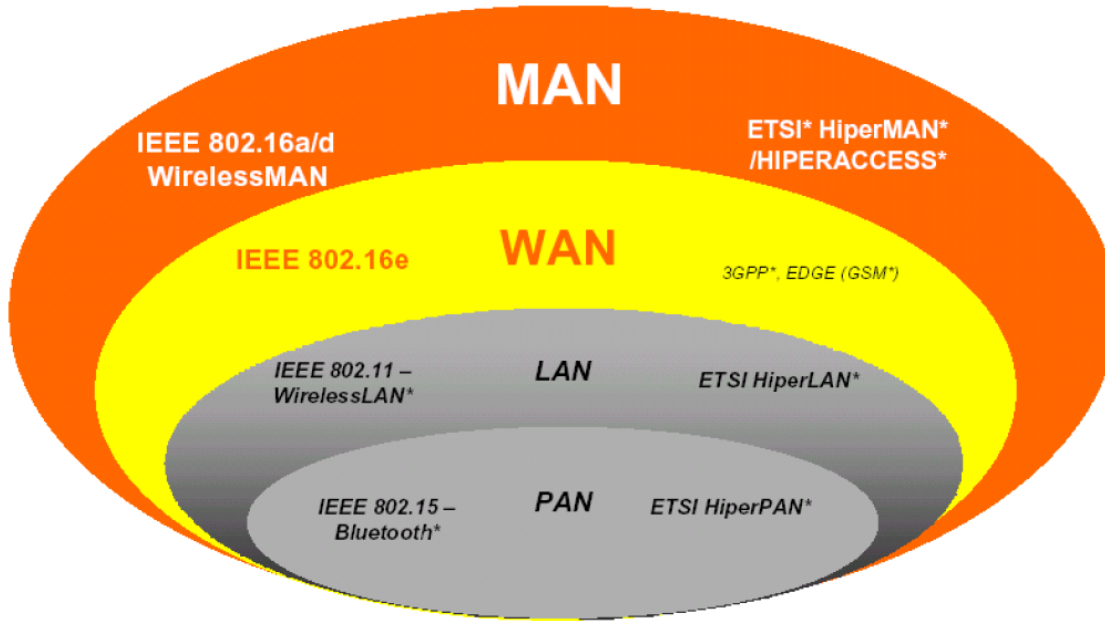
2. Geliştirme Aşamasındaki Standartları

- a. 802.16g – Yönetimsel İşlevler ve Servisler
- b. 802.16k- Köprüleme
- c. 802.16h- Lisansız Erişim İşlemleri için Bir arada çalışma mekanizmasının geliştirilmesi

3. Ön çalışmaları Yapılan Projeler

- a. 802.16i – Mobil Yönetimsel Bilgi Tabanı
 - b. 802.16j- Mobil Çokkatlamalı Geçikme
-

Kısaca WiMAX doğrudan görüş hattı içerisinde bulunmayan (NLOS) alıcı-verici arasında büyük miktarlarda veriyi büyük mesafelere ileten telsiz geniş bantlı haberleşme standardında çalışan sistemdir. Kablo altyapısının olmadığı bütün bölgelerde çalışabilir ve uygulanabilir olmasının yanı sıra mevcut hücreli haberleşme sistemleri ve Kablosuz Ağ (Wi-Fi) sıcak noktaları ile uyumlu çalışması hedeflenmektedir. WiMAX'in uyumlu çalışması hedeflenen telsiz haberleşme standartları Şekil-2'de verilmektedir [3].



Şekil -2: WiMAX Standartları [4]

3. WiMAX Standartları

Yeni üretilen teknolojiler için standartların geliştirilmesi, teknolojinin pratik kullanımı, mevcut sistemlerle birlikte çalışılabilirliği ve uyumu düşünülerek gerçekleştirilmektedir [3]. Başlangıçta WiMAX için geliştirilmiş IEEE 802.16 standardı sabit geniş bantlı telsiz erişim sistemleri için geliştirilmiş yukarıda bahsi geçen çalışmalar ile mobil erişimide içine alacak şekilde genişletilmiştir. Aşağıda sıra ile bu standartlar anlatılmaktadır.

WiMAX Standartları ve Özellikleri

802.16 a: 2-11GHz frekans aralığını kullanan, sabit bilgisayarlar arasında telsiz internet erişimini sağlayan standart olarak geliştirilmiştir. KabloNET ve DSL'in ulaşamadığı noktalar için uygulanma alanı bulmuştur. Haberleşme için alıcı-verici sistemler arasında doğrudan görüş (LOS) koşullarına gerek duymaz. Söz konusu standart 2.5GHz, 3.5GHz ve 5.8GHz frekanslarının kullanılması ile 50km uzaklıklarda bile 70Mb/s bant genişliğinde internet erişimine olanak tanımaktadır.

802.16 b: Kullanılan spektrum artırılarak 5-6GHz frekans bandına çıkarılmıştır. QoS desteği sağlanmıştır. Böylece WiMAX'in gerçek zamanlı ses ve video uygulamalarında yüksek performansla çalışması mümkün olmaktadır.

802.16 c: 10-66GHz frekans aralığında çalışan WiMAX standardıdır. Farklı üreticilere ait sistemlerin bir arada çalışmasına olanak tanır.

802.16 d: 2003 yılında hazırlanan bu standart 802.16 a standardının eksik (802.16-2004) özelliklerini tamamlamak üzere geliştirilmiştir. Bu standartla alıcı-verici haberleşmesi için doğrudan görüş hattının gerektiği ve gerekmediği koşullarda haberleşme mümkün olmaktadır. Standart OFDM çoğullama tekniğini kullanmaktadır. OFDM hakkında detaylar aşağıdaki konu başlıklarında anlatılmıştır.

Standart	802.16	802.16 a/REVd	803.16 e
Standart Yılı	Eylül 2001	802.16a Haziran 2003 802.16REVd Eylül 2004	2005
Frekans Spektrumu	10-66GHz	<11GHz	<6 GHz
Haberleşme Özelliği	Doğrudan görüş hattı gerektirmekte	Doğrudan görüş hattı gerektirmemekte	Doğrudan görüş hattı gerektirmemekte
Bant Genişliği	28MHz'de 32-134Mbps	20MHz'de 75Mbps	5MHz'de 15Mbps'a kadar çıkabilir
Modülasyon	QPSK,16QAM, 64QAM	OFDM 256, OFDMA, 64QAM,16QAM, QPSK, BPSK	OFDM 256, OFDMA, 64QAM,16QAM, QPSK, BPSK
Hareketlilik	Sabit uygulamalar	Sabit ve taşınabilir uygulamalar	Hareketli uygulamalar
Kanal Bant Genişliği	20,25 ve 28MHz	1.25-20MHz arasında seçilebilir bant genişliği	1.25-20MHz arasında seçilebilir bant genişliği
Hücre Yarıçapı	1.6-5 km	5-8 km Kule yüksekliği, verici gücü ve anten kazancına bağlı olarak 50km'ye kadar hizmet verebilir.	1.6-5 km

Şekil-3: WiMAX Standartlarının Özellikleri [3]

802.16 e: Önümüzdeki birkaç yıl içinde hazır olması ve ticari olarak kullanıma sunulması planlanan bu standartla, sabit ve hareketli sistemler arasında haberleşme

mümkün olacaktır. Hareketli sistemler arasında haberleşmenin sürekliliğinin sağlanabilmesi için hızlı aktarma teknikleri bu standartla sağlanmış olacaktır. Söz konusu standartta belirlenen çalışma aralığı 2.3GHz ve 2.5GHz'dir. Diğer taraftan bu standartla hareket halinde otobüs, tren vb. koşullarda dizüstü bilgisayarlar ve PDA (kişisel asistanlar) ile internet erişimi hedeflenmektedir.

Yukarıda belirtilen standartlar arasından belgelendirilerek ticari kullanıma sunulacak olanlar IEEE 802.16d ve 802.16e standartlarıdır. Bir başka deyişle WiMAX farklı kullanıcı taleplerini karşılayabilmek için sabit erişim ve hareketli erişim olmak üzere iki farklı standartla kullanıma sunulacaktır. Standartların haberleşme özellikleri açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi şekil-3'de verilmektedir.

4. WiMAX Şebekesine Erişim

WiMAX şebekesine erişim

- Sabit Noktadan Erişim,
- Göçebe Erişim,
- Taşınabilir Erişim,
- Yarı-Gezgin Erişim,
- Tam Gezgin Erişim

olmak üzere 5 farklı şekilde mümkün olacaktır.

Sabit Noktadan Erişim:

Sabit noktada bulunan kullanıcı cihazı ile WiMAX şebekesi üzerinden haberleşmek mümkün olmaktadır. Sabit noktada yer alan cihaz en güçlü sinyali aldığı WiMAX baz istasyonunu seçerek haberleşecektir. Kullanıcının sinyal seviyesindeki azalma sonucu haberleşmenin kesilmesini önlemek için kullanıcı şebeke tarafından bir başka baz istasyonu/sektör üzerinden haberleştirilecektir.

Göçebe Erişim:

Kullanıcının hareket halinde şebeke ile bağlantısını koparmadan haberleşmesinin mümkün olduğu erişim türüdür. Kullanıcı baz istasyonu/sektör değiştirdiğinde yeni bir oturum(session) otomatik olarak açılacaktır.

Taşınabilir Erişim:

Kullanıcının cihazı ile birlikte sınırlı kapsama alanı içinde yaya hızıyla hareket ederek WiMAX şebekesi üzerinden haberleşmesinin sağlandığı erişim şeklidir. Bu erişim türünde hareket halinde hücre/sektör değişiminde aktarma gerçekleşir.

Yarı-Gezgin Erişim :

Kullanıcının kapsama alanı içinde hareketi sırasında gerçek zamanlı olmayan uygulamalar için aktarmanın gerçekleştiği erişim şeklidir. Tam gezgin erişim özelliği olan “yumuşak aktarma” özelliği geçerli olmadığı için gerçek zamanlı uygulamalarda istenilen performans elde edilemez.

Tam Gezgin Erişim :

Yumuşak aktarma özelliği dolayısı ile yüksek araç hızlarında bile gerçek zamanlı uygulamaların yapılabildiği erişim şeklidir.

Erişim Özelliği	Kullanılan Cihaz	Konum/Hız	Aktarma Özelliği	802.16-2004	802.16 e
Sabit Noktadan Erişim	Bilgisayar	Tek/Sabit	Yok	Var	Var
Göçebe Erişim	Bilgisayar/Dizüstü Bilgisayar	Çoklu/Sabit	Yok	Var	Var
Taşınabilir Erişim	Dizüstü Bilgisayar	Çoklu/Yaya Hızında	Sert Aktarma	Yok	Var
Yarı-Gezgin Erişim	Dizüstü Bilgisayar/ Kişisel Asistan(PDA)	Çoklu/Düşük Araç Hızında	Sert Aktarma	Yok	Var
Tam-Gezgin Erişim	Dizüstü Bilgisayar/ Kişisel Asistan(PDA)	Çoklu/Yüksek Araç Hızında	Yumuşak Aktarma	Yok	Var

Şekil - 4 : Erişim Şekilleri

5. Çok Taşıyıcı Modülasyon

Son yıllarda gerek ses ve görüntü iletimi, gerekse yüksek hızlı internet uygulamalarında olduğu gibi büyük band genişliği gerektiren uygulamalarda yüksek veri hızlarında iletme ihtiyacı duyulmaktadır. Ayrıca kullanılacak band genişliği sınırlı olduğu için aynı iletim ortamından birden fazla kullanıcının aynı anda iletilmesi gerekmektedir. Bu gereksinimden dolayı, aynı hattı birden fazla kullanıcının kullanması için çoğullama yöntemleri kullanılır. Son yıllarda hem yüksek hızlı iletme cevap vermesi, hem de iletim hattını verimli bir şekilde kullanarak hatta meydana gelebilecek girişimlere ve çoklu yol kayıplarına karşı olan verimliliğinden dolayı Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM) tekniği yaygın olarak kullanılmaktadır.

6. Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM)

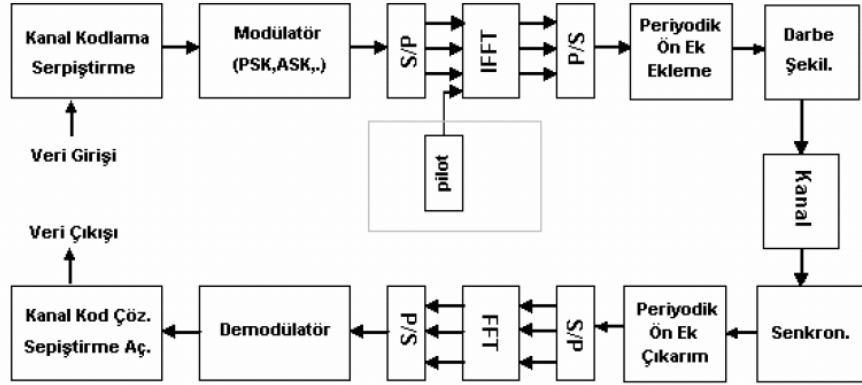
OFDM tekniği, yüksek bit hızlı bir veri akışını birkaç adet paralel düşük bit hızlı veri akışına bölen ve bu düşük bit hızlı veri akışlarını birkaç taşıyıcıyı modüle etmek için kullanan bir veri iletim tekniğidir [7]. Toplam band genişliğini dar

bandlı alt kanallara bölerek, çoklu yol yayılımları yüzünden meydana gelebilecek gecikme yayılımları minimize edilebilir. OFDM'in tercih edilme sebeplerinden biri frekans seçici sönmüleme ya da dar bant girişime karşı direnci artırmasıdır [8]. Ayrıca dikgen alt taşıyıcılar, band genişliğini olabildiğince verimli bir şekilde kullanmaktadırlar. OFDM tekniğinin sağladığı bu avantajların yanında sistem tasarımında dikkate alınmadığında sistemin çalışmasını olumsuz yönde etkileyecek problemler bulunmaktadır. Tek taşıyıcılı bir sistem ile kıyaslandığı zaman OFDM sisteminin en önemli sakıncalarından biri, zaman ve frekans senkronizasyon hatalarına karşı olan hassaslığıdır. Zaman ve frekans hatalarına karşı sistemi korumak ve sistemin verimini artırmak için senkronizasyon işlemine gerek vardır. OFDM sisteminde eğer alıcı ve verici aynı frekansları kullanıyorsa, OFDM alıcısı alt taşıyıcıları demodüle etmeden önce en azından iki senkronizasyon işlemi gerçekleştirmek zorundadır [9-10]. İlk olarak sembollerin nerede başladığı belirlenmeli ve ikinci olarak ise alınan sinyalin taşıyıcı frekans kaymalarının tam olarak tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu zaman ve frekans senkronizasyon hataları düzeltilmediği zaman semboller arası girişim (ISI) ve taşıyıcılar arası girişim (ICI) meydana gelecek ve bunun sonucunda sistem doğru bir şekilde çalışmayacaktır. OFDM sisteminde senkronizasyonu sağlamak için verici tarafta pilot tonlar gönderilerek senkronizasyon işleminin yapılması sağlanır.

OFDM, çok sayıda modüle edilmiş alt taşıyıcı kullanarak veri iletiminin paralel olarak yapıldığı bir tekniktir. Bu alt taşıyıcılar (yada alt kanallar), mevcut band genişliğini böler ve her bir taşıyıcı için yeterli bir şekilde frekans ayrılarak bu alt taşıyıcıların dikgen 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 üst üste binme olmasına rağmen herhangi bir girişim meydana gelmeyecektir [11]. Taşıyıcılar arasındaki bu ayrıklık teorik olarak minimum olacak ve çok iyi bir şekilde spektral verimlilik sağlanacaktır. OFDM sistemleri, kablosuz ortamlarda genellikle frekans seçimli çoklu yol tarafından oluşturulan semboller arası girişim (ISI) problemine karşı da kullanılan bir tekniktir. Bir OFDM sisteminin temel blok diyagramı Şekil-5'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, bu spektrumu zaman domeni sinyaline çevirir. FFT, periyodik zaman domeni sinyalini kendisinin karşılığı olan frekans spektrumu sinyaline dönüştürür. IFFT/FFT vektörünün boyutu, çoklu yol kanalı tarafından ortaya çıkarılan hatalara karşı sistemin direncini belirler [12, 13]. Bu

vektörün zaman aralığı, alınan çoklu yol sinyalindeki yankılanmaların maksimum gecikmesinden daha büyük olarak seçilmelidir.



Şekil - 5 : OFDM sistemi temel blok diagramı.

7. Sonuç

IEEE 802.16 standardına göre 10-66GHz frekans aralığında haberleşecek olan WiMAX sistemleri yönlendirilmiş antenlerle yüksek hızda paket veri haberleşmesinin mümkün olduğunca ucuz yapılabilmesi için geliştirilmektedir. WiMAX haberleşmesi yeni bir standart olarak 2001 yılında önerilmiş olduğundan mevcut bir standardın devamı/geliştirilmiş uygulaması olarak sunulmamıştır. Bunun sonucu olarak halen mevcut olan değişik standartlardaki haberleşme sistemleriyle uyumlu çalışması hedeflenmektedir.

WiMAX standartlarında gezginlik kavramı 802.16e standardıyla tanımlanmıştır. Buna karşılık 2. nesil hücreli gezgin haberleşme sistemleri (GSM) geliştirilerek uygulanan 3. nesil sistemler hem gezgin haberleşmeyi mümkün kılmakta hem de yüksek veri hızlarına ulaşılmaktadır. WiMAX sistemleri mevcut haliyle devre anahtarlama sistemleri desteklememektedir. WiMAX haberleşmesi ses, veri ve video sinyallerinin paket anahtarlama ortamında gönderilmesi ile gerçekleşir. Bunlara ek olarak WiMAX sistemlerinde gerçek zamanlı gezgin haberleşme için gerekli aktarma teknikleri geliştirilmelidir. WiMAX haberleşmesinde ulusal şebekeler arasında uyum ve birlikte çalışılabilirliğin yanı sıra uluslararası şebekelerde de haberleşmenin sağlanması gerekliliktir. Diğer yandan şebekeler arasında haberleşme için SIM kartı benzeri bir uygulama henüz olmadığından haberleşme sistemlerindeki güvenlik açıkları dikkate alınmalıdır. Sonuç olarak WiMAX standardı mevcut telsiz haberleşme sistemlerinin rakibi değil tamamlayıcısı olarak gelişmektedir.

KAYNAKLAR:

- [1] WiMAX Standards and Security, S.Ahson, M. Ilyas, CRC Press,2007
- [2] Kablosuz Haberleşme Teknolojisi WiMAX'de Dünyadaki Durum, Küçükünsal, J., Baysal, Y.,2005.
- [3] Geniş Bantta Telsiz Erişim: WiMAX, Kavas,A., Elektrik Mühendisliği Dergisi,2005
- [4] WiMAX-The Future Of Broadband, V.A.Abdi, Secretary, Internet Service Providers Association of Pakistan,2004
- [5] Microwave Access Forum, "IEEE 802.16a Standard and WiMAX Igniting Broadband Wireless Access".
- [6] Insight Analysis into WI-MAX Standard and its trends, H. Córdova , P. Boets¹ L. Van Biesen, 2004.
- [7] Seyman, M.N., Dikgen Frekans Bölüşümlü Çoğullama Sistemlerinde Senkronizasyon Teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2005
- [8] Sadat A., Mikhael W. B., Fast Fourier Transform For High Speed Wireless Multimedia System, IEEE Transactions on Signal Processing, 65(3), 938-942, 2001.
- [9] Heiskala, J., Terry, J., OFDM Wireless LANs: A Theoretical and Practical Guide, Sams Publishing, 2001.
- [10] Morelli M., Timing and Frequency Synchronization for the Uplink of an OFDMA Systems, IEEE Transactions on Communications, 52(2), 296-306, 2004.
- [11] ETSI Standart ES 201 744, Digital Video Broadcasting (DVB): Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Terrestrial Television, 2001.
- [12] Weinstein S. B., Ebert P.M., Data Transmission by Frequency Division Multiplexing Using the Discrete Fourier Transform, IEEE Transactions on Communication Technology, 19(3), 628-634, 1971.
- [13] Schmidl T. M., Cox D. C., Low Overhead Low Complexity (Burst) Synchronization for OFDM Transmission, IEEE International Conference on Communications (ICC` 96), vol.3, pp. 1301-1306, 23-27 June 1996.
- [14] M. N. Seyman, N. Taşpınar, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 22(1-2) 75-82 (2006)

¹ - İletişim ürünleri ve teçhizatında dünyanın önde gelen şirketleri, kablosuz genişbant erişim cihazlarının birlikte işlenebilirliğini ve uyumluluğunu sağlamak amacıyla, kar amacı gütmeyen WiMAX isimli bir oluşum altında toplandılar. Intel'in öncü şirketler arasında bulunduğu teknoloji şirketleri topluluğu, yeni bir kablosuz genişbant teknolojisine geçiş öngörüyor. Intel Corporation, Airspan Networks, Alvarion Ltd., Aperto Networks, Ensemble Communications Inc., Fujitsu Microelectronics America, Nokia, OFDM Forum, Proxim Corporation ve Wi-LAN Inc. gibi teknoloji devlerinin üyelikleri ile kurulan WiMAX; Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü'nün belirlediği 802.16 teknik standardına bağlı bir şekilde, kablosuz genişbant ekipmanlarının piyasaya girişini hızlandırmada yardımcı olarak, genişbantın tüm dünyaya yayılmasını hızlandıracak.