

Yüksek Hızda Veri İletişimi Sağlayan Mobil Şebeke Erişim Teknolojilerinin Analizi ve Kıyaslanması

Seyhun Barbaros YABACI^{1,4}, Erkan İŞLER^{2,4}, Turgut İKİZ³

¹ Turkcell İletişim Hizmetleri A.Ş., Adana, barbaros.yabaci@turkcell.com.tr

² Turkcell İletişim Hizmetleri A.Ş., Adana, erkan.isler@turkcell.com.tr

³ Çukurova Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Adana, tikiz@cu.edu.tr

⁴ Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, EEM, Adana

1 Özet

Günümüzde genişbant veri erişim teknolojisi pahalı altyapı yatırımı gerektiren sabit hatların kullanımından çok düşük maliyetli kablosuz genişbant sistemlerin kullanımına doğru kaymaktadır. Kullanılan genişbant data erişiminin amacı artık sadece kullanıcıların internete erişiminin ötesinde, bir kapsama alanı içindeki bütün cihaz ve sistemlerin bir kablosuz ağ sistemine bağlanarak yönetim ve bilgi akışını sağlamasıdır. Bu kapsama alanı bütün bir ülke, şehir veya bina olarak tanımlanabilmektedir.

Yüksek hızda veri iletişimi için günümüzde mevcut olarak kullanılan başlıca teknolojiler, IEEE 802.11 Wireless LAN (Kablosuz Yerel Ağ Şebekesi-Wi-Fi), IEEE 802.16 Wimax (Worldwide Interoperability for Microwave Access - Global Operatörlerarası Mikrodalga Erişim Sistemi) and 3G-UMTS (Universal Mobile Telecommunications System - Evrensel Mobil Haberleşme Sistemi) sistemleridir. Bu teknolojilerin herbiri değişik altyapı sistemleri baz alınarak oluşturulmuş olup esas olarak ana kullanım amaçları açısından benzer özellikleri barındırmaktadır.

2 Giriş

UMTS 3. nesil mobil radyo şebeke teknolojisidir, hava arayüzü üzerinde erişim teknolojisi olarak WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access – Genişbant Kod Bölmeli Çoklu Erişim) kullanılmaktadır. Bu teknoloji mevcut kullanılmakta olan geniş kapsama alanına sahip ikinci nesil GSM (Global System for Mobile Communications – Küresel Mobil Haberleşme sistemi) radyo şebekesinden evrimleşmiştir. Kullanılan veri iletişim protokolü değişik güncelleme sürümleri ile evrim geçirerek günümüzde kullanılan HSPA (High Speed Packet Access-Yüksek Hızda Veri Erişimi) sistemine kadar geliştirilmiştir. 3G UMTS sisteminde en üst standart olarak HSPA+ protokolü kullanıma sunulmuştur.

802.11 Wi-Fi (Wireless Fidelity) sayısal cihazların kablosuz olarak internete erişimi için tasarlanmış bir yerel ağ şebeke sistemidir. IEEE 802.11 standartlarına göre düzenlenmiştir. Wi-Fi

fiziksel arayüzünde bu standartlara göre tanımlanmış ve sürümlere göre değişen çeşitli radyo erişim teknikleri kullanılmaktadır. Wi-Fi hava arayüzünde en son sürümlerde OFDM teknolojisi kullanımına geçilmiştir. Halen mevcut Wi-Fi sistemleri havaalanları, oteller ve bina içi sistemlerde yoğun erişim noktalarında kullanıcılara kablosuz internet erişimi sağlamaktadır.

WiMAX temel olarak son kullanıcıya DSL (Digital Subscriber Line – Sayısal Abone Hattı) ve kablo internet erişimlerine alternatif olarak tasarlanmış bir genişbant data erişim teknolojisidir. WiMAX için fiziksel katmanda OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – Ortogonal Frekans Bölmeli Çoklama) teknolojisi kullanılmakta olup IEEE 802.16 standardına göre düzenlenmiştir. WiMAX temelde veri haberleşmesi için tasarlanmış bir sistemdir. WiMAX sistemleri Wi-Fi erişim noktalarının internete yüksek erişim hızlarında bağlanması ve kısmen mobil veri uygulamaları için kullanılmak üzere düzenlenmiştir.

Bu çalışmanın amacı özetle mevcut 3G-UMTS, Wi-Fi ve WiMAX sistemlerinin teknolojik altyapılarının özellikle hava arayüzünü oluşturan fiziksel katman kapsamında incelenerek bu sistemlerin karşılaştırmalı analizinin yapılmasıdır. Bu analizler sonucu oluşan verilerle bu teknolojilerin başlıca avantaj ve dezavantajları belirlenerek karşılaştırma yapılacak ve sonuçların özeti tablo halinde sunulacaktır.

3 Hücresel Mobil Sistemler ve Veri Erişim Teknolojileri

Günümüzde LTE (Long Term Evolution – Uzun Dönemli Evrimleşme) olarak adlandırılan 4. nesil sistemlerine kadar gelişimine devam etmekte olan hücresel mobil sistemler, teknolojik olarak gösterilen ilerlemeyi ifade etmek amacıyla ile nesil tanımlamaları ile sınıflandırılmaktadırlar.

İlk nesil sistemler analog sistemler olup temelde sadece konuşma bilgisi taşımak amacıyla kullanılan sistemlerdir. Bu sistemlerde hücreden hücreye iletişim kesilmeden geçiş (Handover) özelliği bulunmamaktadır. İkinci nesil sistemler ise ülkemizde de kullanılmakta olan GSM sistemi gibi sayısal olarak ses bilgisinin taşınmasından ötürü

iletişimi sekteye uğratmadan hücreden hücreye geçiş özelliği taşımaktadırlar.

İkinci nesil sistemlerde ses iletimine ek olarak veri iletim hizmetleri de kullanıcılara sağlanabilir duruma gelmiştir. GPRS (General Packet Radio Service- Genel Paket Radyo Hizmeti) olarak adlandırılan bu servis sayesinde ses bilgisi taşınan mevcut radyo kaynakları kullanılarak veri iletişimi sağlanmaktadır. Kullanılan modülasyon tekniklerinin geliştirilmesi ile bu servisin veri hızları da oldukça arttırılmıştır.

2. nesil GSM sistemlerinde TDMA (Time Division Multiple Access - Zaman Bölmeli Çoklu Erişim) ve FDMA (Frequency Division Multiple Access - Frekans Bölmeli Çoklu Erişim) beraber kullanılmaktadır.

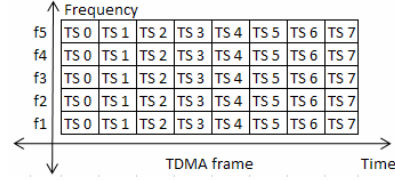
3. nesil sistemler radio erişim teknolojisi olarak WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access - Geniş Band Kod Bölmeli Çoklu Erişim) sistemini kullanılmaktadır. 3. Nesil sistemleri ile beraber artık hücresel mobil şebeke erişiminin odağı veri iletişimine doğru kaymaktadır. Kullanılan modülasyon tekniklerinin daha da geliştirilmesi ile beraber HSPA (High Speed Packet Access - Yüksek Hızlı Paket Veri Erişimi) özellikli UMTS sistemlerinde oldukça yüksek veri transfer hızlarına ulaşılabilmektedir.

Hücresel Sistemler Veri Erişim Teknolojileri:

2. ve 3. nesil hücresel mobil şebekelerde veri erişim teknolojisi devre anahtarlamalı (Circuit Switched) altyapıya uyarlanarak desteklenebilmektedir.

GSM sistemi hava arayüzü tam çiftyönlü kanal (Full Duplex) kullanımını FDD (Frequency Division Duplex – Frekans Bölmeli Çiftyönlüleme) kullanarak sağlamaktadır. GSM sisteminde kullanıcılara çoklu erişim sağlamak amacı ile TDMA (Time Division Multiple Access - Zaman Bölmeli Çoklu Erişim) ve FDMA (Frequency Division Multiple Access – Frekans Bölmeli Çoklu Erişim) metotları birlikte kullanılmaktadır. Bu iki metodun beraber kullanımı ile ilk nesil sistemlere göre tahsis edilmiş frekans spektrumunun daha etkin kullanımı sağlanmaktadır. FDMA sisteminde frekans ayırımı aralığı 200 kHz olarak belirlenmiştir. TDMA sisteminde ise her frekans 8 zaman bölümüne (Time Slot-TS) ayrılmıştır.

	Uplink Band	Downlink Band	# of RF channel	Channel Seperation	Duplex space
GSM 900	890-915	935-960	124	200 Khz	45 Mhz
GSM 1800	1710-1785	1805-1880	374	200 Khz	95 Mhz
GSM 850	824-849	869-894	124	200 Khz	45 Mhz
GSM 1900	1850-1910	1930-1990	299	200 Khz	80 Mhz



Tablo 1: GSM 900-1800-1900 sistemlerinin fiziksel katmanı FDMA ve TDMA yapıları

Her bir frekansın üzerindeki her bir zaman bölümü bir fiziksel kanal olarak tanımlanarak GSM mantıksal kanalları bu kanallar aracılığı ile hava arayüzünde taşınmaktadır. GSM mantıksal kanalları ise sinyalleşme bilgilerini taşıyan kontrol kanalları ve kullanıcı verilerini taşıyan trafik kanallarından oluşmaktadır.

GSM veri erişim teknolojisi GPRS (General Packet Radio Service – Genel Paket Radyo Servisi) ve geliştirilmiş özellikleri ile EDGE (Enhanced GPRS – Arttırılmış GPRS) teknolojisinden oluşmaktadır. Her iki sistemde de veri taşıma sırasında mevcut trafik kanalları kullanılmaktadır. Radyo koşullarına göre uyumlu olarak düzenlenen kodlama şemaları ve birden fazla trafik kanalının paralel kullanımı ile gprs teknolojisi 80 Kbps altbant (İstasyondan Kullanıcıya Doğru) ve 40 Kbps üstbant (Kullanıcıdan İstasyona Doğru) veri taşıma hızlarına ulaşabilmektedir. EGPRS teknolojisinde ise modülasyon tekniği geliştirilerek standart GMSK (Gaussian Minimum-shift Keying – Gauss Dağılımlı Minimum Kaymalı Kodlama) modülasyonuna ek olarak 8 PSK (Phase Shift Keying – Faz Kaymalı Kodlama) modülasyon tekniği kullanılarak 236.8 Kbps veri hızlarına ulaşabilmektedir.

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System – Evrensel Mobil Haberleşme Sistemi) 3. nesil hücresel mobil iletişim teknolojisi olarak GSM sisteminin ardıl teknolojisidir. UMTS, GSM gibi tam çiftyönlü iletişim ve FDD özelliklerine ek olarak TDD (Time Division Duplex – Zaman Bölmeli Çiftyönlü Kanal Kullanımı) için tahsis edilmiş frekans bantlarına sahiptir. UMTS fiziksel katmanında (hava arayüzünde) WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access - Genişbant Kod Bölmeli Çoklu Erişim) teknolojisi kullanılmaktadır. Bu teknolojiye kullanıcı bilgisi tahsis edilmiş olan bütün bant genişliğine ortogonal kodlar ile çarpılarak yayılmakta ve bu şekilde kullanıcıların farklı kodlar ile şebekeye erişimi sağlanmaktadır.

Frequency Band	Mode	# of Carrier	Carrier BW
1900-1920	TDD	4	5 MHz
1920-1980	FDD-UL	12	5 MHz
2010-2025	TDD	3	5 MHz
2110-2170	FDD-DL	12	5 MHz

Tablo 2: UMTS fiziksel katmanı için tahsis edilen frekans bantları.

Daha üst katmanlar tarafında üretilen veriler UMTS sisteminde fiziksel kanallara atanmış iletim (Transport) kanalları tarafından hava arayüzü kullanılarak taşınmaktadır. UMTS sistemi de öncülü GSM gibi devre dolaşımı bir sistem olduğu için her kullanıcıya istediği servis türüne göre atanmış bir kanal tahsis edilmektedir. Kullanıcı verileri ek olarak genel kanallar üzerinden taşınabilmektedir. R99 sürümü standartlarına göre bir kullanıcı kod başına 480 kbps veri transfer hızlarına ulaşabilmektedir. Gene GSM'e benzer şekilde 6 adet'e kadar paralel kodların kullanımı ile 2.8 Mbps veri hızı R99 sürümünün tavan veri iletim hızını belirlemektedir.

Artan veri hızı talebinin karşılanabilmesi amacı ile UMTS sistemi yapılan geliştirmeler ile günümüzde kullanılmakta olan Release 6 sürümüne ulaşmıştır. Bu sistemde veri iletimine uygun olarak mevcut UMTS özelliklerine geliştirmeler getirilmiştir. HSPA teknolojisinde kullanıcılara ayrı kanalların tahsis edilmesi yerine tek bir veri taşıma kanalı üzerinden kullanıcılara veri dağıtılması yöntemi kullanılmaktadır. Buna ek olarak 16 QAM (Quadrature Amplitude Modulation – Dörtlü Seyive Modülasyonu) modülasyon teknolojisinin ve paralel kodların 15 adede kadar kullanımı ile 14,40 Mbit'e kadar veri transfer hızı sağlanabilmektedir.

HSPA teknolojisinin geliştirilmiş versiyonu olan HSPA+ sürüm 7 ile kullanıma sunulmuştur. 64 QAM modülasyonu ve 2*2 MIMO (Multiple In Multiple Out – Çoklu Giriş Çoklu Çıkış Sistemi) kullanımı ile 28 Mbit tavan veri iletim hızlarına ulaşabilmektedir.

4 WiMAX Genişbant Veri Erişim Teknolojisi

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access – Global Operatörlerarası Mikrodalga Erişim Sistemi) teknolojisi günümüzde baskın olarak kullanılan kablolu genişbant erişim sistemlerine(standart telefon hatlarından taşınan xDSL ve koaksiyel kablo gibi) alternatif olarak geliştirilmiş bir kablosuz genişbant erişim teknolojisidir.

WiMAX hava arayüzü IEEE 802.16 standartlarına göre düzenlenmiştir. IEEE 802.16-2004 ve IEEE 802.16e-2005 standartları WiMAX fiziksel katmanının (physical layer) ve ortam erişim katmanının (MAC – Medium Access Layer) özelliklerini belirlemektedir.

İlk olarak belirlenen standartlarda(802.16) radyo erişimi tek noktadan çok noktaya, LOS (Line of

Sight - Doğrudan Görüş) prensibi ile düzenlenmiştir. 802.16a ile OFDMA tabanlı fiziksel katman ve NLOS (Non Line of Sight – Doğrudan Görüş Olmadan) uygulama desteği standartlara eklenmiştir. Daha da geliştirilen 802.16e-2005 ile mobil NLOS uygulamalar da standartlara dahil edilmiştir.

Başta gelen WiMAX fiziksel katman özellikleri aşağıdaki şekilde listelenebilir;

- OFDM bazlı fiziksel katman: WiMAX fiziksel katmanı OFDM tabanlıdır. Bu sayede NLOS ve LOS uygulamalarda enterferans hassasiyeti en az düzeye indirgenmektedir. OFDM genişbant kablosuz erişim için gelişmiş sistemlerde büyük oranda arayüz olarak tanımlanmaktadır.
- Yüksek tavan veri hızları: Tanımlanan standartlara göre WiMAX çok yüksek teorik tavan veri hızlarına sahiptir. Veri hızı 20 Mhz bantgenişliğinde hücre başına altbant yönünde 74 Mbps'ye kadar çıkabilmektedir.
- Ölçeklenebilir bantgenişliği ve veri hızı desteği: WiMAX tahsis edilebilen spektruma göre ölçeklenebilen fiziksel katman mimarisine sahiptir. Bu ölçekleme OFDMA modu kullanıldığında FFT (Fast Fourier Transform – Hızlı Fourier Dönüşümü) ölçeklemesinin değiştirilmesi ile sağlanmaktadır.
- Uyumlu modülasyon ve kodlama: WiMAX sinyal kirlilik oranına göre uyumlu olarak değişebilen modülasyon ve kodlama şemalarına sahiptir. Bu sayede ortam şartlarına bağlı olarak kullanıcılara en yüksek veri hızları sağlanabilmektedir.
- TDD ve FDD desteği: Wimax standartları FDD ve TDD modlarını aynı anda desteklemektedir. WiMAX arayüzünde TDD modu özellikle asimetrik data uygulamalarında sağladığı avantaj sebebi ile tercih edilmektedir.
- OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access – Ortogonal Frekans Bölümlemeli Çoklama): WiMAX çoklu erişim tekniği olarak OFDMA kullanılmaktadır. Bu şekilde farklı kullanıcıların değişik altkanallar kullanarak aynı anda sisteme erişimi mümkün olmaktadır.
- QoS (Quality of Service: Servis Kalitesi Desteği) WiMAX MAC katmanı ses ve multimedya uygulamaları dahil olmak üzere değişik uygulamaları destekleyen bağlantı odaklı bir mimariye sahiptir. Sistem sabit ve değişken bit hızları ile standart paket veri iletimine ek olarak gerçek zamanlı ve gerçek zamanlı olmayan trafik akışlarını desteklemektedir.
- Mobilite desteği: Mobil WiMAX artık güvenli kesintisiz hücrelerarası geçiş(handover) özelliği ile VOIP gibi uygulamaları desteklemektedir.

- IP (Internet Protocol : Internet Protokolü) bazlı mimari: WiMAX referans network mimarisi tamamen IP bazlı olarak düzenlenmiştir. IP bazlı mimari sayesinde WiMAX, maliyet odaklı ve diğer networkler ile bütünleşmekte avantajlı bir yapıya sahiptir. Ek olarak bu yapı sayesinde mevcut geliştirilmiş IP bazlı uygulamaların avantajları da kullanılabilir.

WiMAX fiziksel katmanı:

Wimax fiziksel katmanının en önemli özelliği OFDM tabanlı olmasıdır. OFDM olarak bir çoktaşıyıcı modülasyon tekniğidir. (Multicarrier Modulation). Bu teknikte yüksek hızda verilen bir veri akışı birden fazla paralel işleyen daha düşük hızda veri akışına bölünür. Daha sonra bu veri akışlarının herbiri ayrı bir taşıyıcı üzerine module edilir. Bu taşıyıcıların herbirine alttaşıyıcılar (subcarriers) denir. Çoktaşıyıcı modülasyon sistemlerinde sembol zamanı yeterince büyük tutularak ISI (Intersymbol Interference-Sembollerarası Girişim: Ardıl sembollerin birden fazla erişim (multipath) veya filtre etkisi ile kendi kendini bozması) en az seviyeye indirgenir. Ek olarak OFDM spectral olarak da etkili bir çoktaşıyıcı sistemdir. Bir sembol zamanı içinde alttaşıyıcıların herbiri ortogonal olarak seçilerek taşıyıcılar arası girişim de engellenmektedir.

WiMAX OFDM parametreleri:

WiMAX'ın sabit ve mobil versiyonları OFDM fiziksel katmanı üzerinde farklı parametrelere sahiptir. Sabit WiMAX IEEE 802.16-2004 standartlarına göre 256 FFT tabanlı OFDM fiziksel katmanı kullanırken, mobile WiMAX 802.16e-2005 standardına göre ölçeklenebilir OFDMA tabanlı fiziksel katman kullanılmaktadır. Mobile WiMAX FFT ölçüsü 128 ile 2048 bit arasında değişmektedir.

	Sabit	Mobile			
FFT ölçüsü	256	128	512	1024	2049
Alttaşıyıcı sayısı	192	72	360	720	1440
Pilot taşıyıcı sayısı	8	12	60	120	240
Koruma bandı taşıyıcı sayısı	56	44	92	184	368
Kanal bant genişliği(Mhz)	3.5	1.25	5	10	20
Alttaşıyıcı frekans ayrımı(khz)	15.625	10.94			
Sembol zamanı	64	102.9			
OFDM sembol zamanı	72	48			

Tablo 3: Sabit ve mobil wimax parametreleri

Altkanal Ayrımı (Subchannelization), OFDMA:

WiMAX fiziksel katmanında mevcut alttaşıyıcılar altkanallar denilen gruplara bölünebilirler. Sabit WiMAX yalnızca üstbant yönünde altkanal gruplamasına imkan vermektedir. Mobil WiMAX ise hem uplink hem downlink

yönünde altkanallama imkanı sağlamaktadır. Bu altkanallar bir baz istasyonu tarafından kullanılan bir frekans birimi olarak ayırt edilmektedir. Uplink yönünde ise farklı altkanallar kullanılması OFDM fiziksel katmanına çoklu erişimi özelliğini sağlamaktadır (OFDMA). WiMAX 5 mhz için 15 ve 17, 10 mhz için 30 ve 35 altkanal kullanılmaktadır.

Wimax diğer radyo şebeke erişim teknolojilerine benzer şekilde çeşitli ortama göre uyumlu modülasyon ve kodlama teknikleri kullanılmaktadır. QPSK, 16 QAM ve 64 QAM modülasyonları şebeke kalitesine bağlı olarak değişik kodlama oranlarında (1/2 – 5/6 oranları arasında) fiziksel katman üzerinde kullanılabilir.

Wimax fiziksel katmanı veri iletim hızları:

Wimax standartlarına göre oldukça değişken bir fiziksel katman yapısına sahiptir. Bu yüzden operator ihtiyaçları ve tahsis edilen frekans bandına göre erişilebilen veri iletim hızları oldukça değişkenlik göstermektedir. Ekteki tabloda verilen hızlar 3:1 TDD kullanım oranında bütün kullanıcılar tarafından paylaşımlı olarak kullanılacak bileşik veri iletim hızlarını göstermektedir. Tabloda verilen mobile wimax parametreleri PUSC (alttaşıyıcı kısmi kullanımı – partial usage of subcarriers) koşullarına göre verilmektedir.

Kanal Bantgenişliği	Fixed Wimax		Mobile Wimax				
	3.5 Mhz		5 Mhz		10 Mhz		
Fiziksel Katman modu	256 OFDM		512 OFDM		1024 OFDM		
Modülasyon	Code Rate	DL	UL	DL	UL	DL	UL
BPSK	1/2	0,95	0,33	NA	NA	NA	NA
QPSK	1/2	1,88	0,65	1,58	1,14	6,34	4,6
QPSK	3/4	2,82	0,98	4,75	3,43	9,5	7,06
16 QAM	1/2	3,76	1,31	6,34	4,57	12,67	9,41
16 QAM	3/4	5,65	1,96	9,5	6,85	19,01	14,11
64 QAM	1/2	5,65	1,96	9,5	6,85	19,01	14,11
64 QAM	2/3	7,53	2,61	12,67	9,14	25,34	18,82
64 QAM	3/4	8,47	2,94	14,26	10,28	28,51	21,17
64 QAM	5/6	9,41	3,26	15,84	11,42	31,68	23,52

Tablo 4: Sabit ve mobil WiMAX parametreleri ve kodlama şemalarına göre değişen veri hızları.

Aşağıdaki tabloda ise 10 Mhz kanal genişliğinde MIMO kullanımı ile artan veri hızları özetlenmektedir. 2x2 MIMO kullanımı ve 1:0 TDD kullanım oranında DL yönündeki hız 63 Mbit değerlerine ulaşmaktadır.

	DL/UL oranı	DL/UL oranı						
		1:0	3:1	2:1	3:2	1:1	0:1	
User Peak Rate	SIMO (1x2)	DL	31,68	23,04	20,16	18,72	15,84	0
		UL	0	4,03	5,04	6,05	7,06	14,11
	MIMO 2x2	DL	63,36	46,08	40,32	37,44	31,68	0
		UL	0	4,03	5,04	6,05	7,06	14,11
Sector Peak Rate	SIMO 1x2	DL	31,68	23,04	20,16	18,72	15,84	0
		UL	0	4,03	5,04	6,05	7,06	14,11
	MIMO (2x2)	DL	63,36	46,08	40,32	37,44	31,68	0
		UL	0	8,06	10,08	12,10	14,12	28,22

Tablo 5: MIMO kullanımı ve değişik DL/UL TDD kullanımı oranlarında elde edilen veri hızları.

5 802.11 Wi-Fi Genişbant Veri Erişim teknolojisi:

IEEE 802.11 Wi-Fi teknolojisi LAN (Local Area Network – Yerel Ağ Şebekesi) teknolojisinin kablosuz alternatifi olarak geliştirilmiştir. IEEE 802.11 standartları ile tanımlanmaktadır. Günümüzde evlerde ve yoğun kullanım noktalarında yerel ağ şebekesinin kablosuz son erişim noktası olarak kullanılmaktadır. 802.11 standardı IEEE standartlarından 802 yerel ağ şebekesi standartlar ailesi bünyesinde yer almaktadır. 802.11 ailesi bu katmanlar içinde fiziksel katman standartlarını ifade etmektedir. Radyo dalgalarının fiziksel katman olarak kullanılması ve frame'lerin hava arayüzünde transfer edilmesi oldukça karmaşık bir yapı gerektirmektedir.

802 Genel yapı ve mimari	802.1 Yönetim	802.2					Data link layer
		802.3 MAC PHY	802.5 MAC PHY	802.11			MAC sublayer
				802.11	802.11a	802.11b	Physical Layer

Tablo 6: IEEE 802 standart ailesi

Wi-Fi Fiziksel Katman Yapısı ve Özellikleri

Wi-Fi fiziksel katmanı frekans bandı olarak IEEE 802.11 standartlarına göre 2450 MHz and 5800 MHz ISM(Industrial, Scientific and Medical – Endüstriyel, Bilimsel ve Medikal cihazlar için

ayrılmış serbest çalışma bandı) bantlarında çalışmaktadır. ISM bandını kullanan cihazlar lisanssız çalıştıklarından dolayı güç ve kapsama alanı açısından kısıtlamalara tabii bulunmaktadır. Bu yüzden 802.11 standartlarında baştan itibaren fiziksel katman planlanırken enterferans hassasiyetine karşı önlem olarak yayılmış spektrum (Spread Spectrum) teknolojileri kullanılmaktadır. 802.11 standardı başlangıç olarak FH (Frequency Hopping - Frekans Atlaması) ve DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum – Doğrudan Sıralı Yayılmış Spektrum) ve erişim tekniklerini kullanılmaktadır. 802.11a standartları ile OFDM erişim tekniği olarak kullanılmaya başlanmış ve 802.11g,n,y standartlarında da kullanılmaktadır.

Wi-Fi Fiziksel katmanında kullanılan modülasyon teknikleri de artan veri hızını karşılayacak şekilde gelişen standartlarla beraber değişim göstermekte ve 64QAM'e kadar artan modülasyon teknikleri kullanılmaktadır. Ek olarak 802.11n standartlarında MIMO özelliği de kullanılarak 300 mbit hıza ulaşmak mümkün olmaktadır.

Standart	Max. Veri Hızı	Frekans Bandı	Max. Mesafe(m)	Spreading Method	Modülasyon
802.11	2 Mbps	2.4 Ghz	30	FH-DSSS	GFSK, DPSK, DQPSK
802.11a	54 Mbps	5 Ghz	30	OFDM	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
802.11b	11 Mbps	2.4 Ghz	90	DSSS, HR-DSSS	DPSK, DQPSK
802.11g	54 Mbps	2.4 Ghz	90	OFDM-DSSS	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
802.11n	300 Mbps	2.4 / 5 Ghz	182	OFDM-DSSS	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
802.11y	54 Mbps	3.7 Ghz	5000	OFDM	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM

Tablo 7: 802.11 fiziksel katmanı özellikleri.

6 SONUÇ:

Veri Erişim Teknolojilerinin Fiziksel Katman Özellikleri Açısından Bazında Kıyaslanması:

İncelenen teknolojilerin fiziksel katman veri hızları, efektif kullanım alanları ve bazı teknolojik özellikleri aşağıdaki tabloda özet olarak

verilmektedir. Ancak burada verilen değerler mevcut verilere göre bağlı olup, her an değişen teknolojik şartlara göre kesinlik taşımamaktadır.

Parametreler	Sabit Wimax	Mobile Wimax	3G HSPA+	Wi-fi
Standartlar	IEEE 802.16	IEEE 802.16e	3GPP Rel 7	IEEE 802.11
Tavan altbant veri hızı	9.4 Mbps, 3:1 DL/UL TDD ratio	46 Mbps, 3:1 DL/UL TDD oranı ile 2*2 MIMO	28 Mbit 15 paralel kod kullanımı 2*2 MIMO	300 Mbit using 802.11n, 2*2 MIMO
Tavan üstbant veri hızı	6.5 Mbit 1:1 DL/UL TDD ratio	14 Mbps with 1:1 DL/UL ratio, 10 Mhz BW , 2*2 MIMO	11.5 Mbps, 7.sınıf terminal kullanımı	
Bant genişliği	3.5 Mhz - 7 Mhz	3.5 Mhz - 10 Mhz ölçeklenebilir	5 Mhz	1.25 Mhz
Modulation	QPSK, 16 QAM, 64QAM	QPSK, 16 QAM, 64QAM	QPSK, 16 QAM, 64QAM	BPSK, QPSK, 16 QAM, 64QAM
Multiplexing	TDM	TDM/OFDMA	TDM/CDMA	CSMA
Duplexing	TDD,FDD	TDD	FDD	TDD
Frekans	3.5 Ghz - 5.8 Ghz	2.5 Ghz - 3.5 Ghz	900-1800-2100 Mhz	2.4 Ghz, 5 Ghz
Kapsama(yaklaşık)	5 km	3 km	5 km	50 m indoor, 100 m outdoor
Mobilite	Yok	Hız sınırlı	Tam mobil	Yok

Tablo 8: Veri Erişim Teknolojilerinin Fiziksel Katman Parametreleri Bazında Karşılaştırılması.

Burada verilen maximum veri hızlarının baz alınması ile tipik olarak elde edilen veri hızları üzerinde bir karara varmak için çok yetersiz gelmektedir. Örneğin DL yönünde HSPA+ teknolojisi ile 28 Mbit'e ulaşılması ancak çok ideal radyo girişim koşullarında gürültüye oldukça hassas 64QAM modülasyonu ile mümkün olabilmektedir. Bütün diğer teknolojiler için de aynı koşullar geçerli olup tavan veri hızlarına ulaşılması gerçek koşullar altında imkânsız görünmektedir. Altbant yönünde kullanıcı sayısı arttıkça bu kapasite bölüneceğinden dolayı sistem kapasitesi hücrelerin kapsama alanına ve kullanıcı sayısına bağlı olarak değişmektedir.

Wireless Broadband sistemlerinin yakınsaması:

Günümüzde 3G sistemi halen kullanıcılara veri transferi için ayrılmış (Dedicated) kanalları kullandığı için paket veri, devre anahtarlamalı sistem üzerinden giydirilmiş olarak taşınmaktadır. Bu özellik özellikle R99 sürümünde daha da belirgindir. R99 sürümünden daha sonraki sürümlerde HSPA uygulamalarında 3G hava arayüzünün çekirdek özelliklerinden (soft handover - power control) vazgeçilerek veri iletim performansı artırılmıştır. Ancak bu şekilde hücre planlama yapılması bu iki teknik özellikle çelişir

görünmekte olduğu için sistemin verimini hücre planlama açısından kısıtlanmaktadır. Bu yüzden örneğin ülkemizde Turkcell şebekesinde hava arayüzünde çift taşıyıcı kullanılmakta ve veri taşınması ses ve video taşınmasından ayrı bir kanal kullanılmaktadır. 4. Nesil hücresel ağlar ile artık tamamen veri iletişimine uyumlu IP tabanlı, OFDM erişimli, esnek bantgenişliğine sahip (WiMAX özelliği), MIMO teknolojisi destekli ve yüksek bantgenişliğine sahip (20 mhz'e kadar) fiziksel katman kullanımına geçilmektedir. Bu evrim sonucunda veri hızları teorik olarak altbant yönünde 300 Mbit'lere kadara ulaşabilecek şekilde yükselmektedir.

Wimax sistemi ise tamamen IP bazlı bir mimariye sahip olarak veri transferine uygun bir fiziksel katmana sahiptir. Wimax fiziksel katmanı ayrıca daha gelişmiş spectrum kullanımı için OFDMA erişimi ve data erişimi için daha kullanışlı altbant-üstbant için TDD ayrımı kullanılmaktadır. Bu yüzden veri hızı olarak daha yüksek hızlara ulaşabilmektedir. Ancak wimax sistemleri temelde veri taşıma için tasarlandığı için henüz ses/video taşınması için mevcut sistemlerle rekabet edememektedir. En önemli sıkıntılardan biri de mobilite geçişlerinde yaşanmakta olup sistemin yapısı gereği kesintisiz şekilde (aynı anda iki erişim noktası ile iletişim yapılarak) iletişim mümkün

olmadığı için henüz wimax sistemlerinin mobilitesi 3G (UMTS) veya 2G (GSM) sistemleri ile kıyaslanabilir düzeyde bulunmamaktadır.

Son olarak 802.11 Wi-Fi teknolojisi ise kendi alanındaki ihtiyaçlar için en uygun şekilde çözüm sağlamaktadır. Ethernet alternatifi olacak şekilde kablosuz en son dağıtım noktası olarak günümüzde yaygın olarak kullanılmakta olup, yoğun kullanım noktaları ile birçok bina içi merkezde kullanımı bulunmaktadır. Kısa mesafede çalıştığından ve ISM bandını kullanan cihazların güç sınırlandırılmasına tabi olmasından dolayı performans problemleri açısından Wi-Fi sistemlerinde sorun yaşanmamaktadır.

Ticari yaklaşım olarak ilk nesilden itibaren hücresel haberleşme sistemleri ses haberleşmesi üzerinden şekillenmiştir. Bu şekilde kurulan şebekeler ülkeler çapında geniş kapsama alanları ile PSTN (Public Switched Telephone Network – Genel Anahtarlama Telefon Şebekesi) şebekesine alternatif olarak gelişmiş ve günümüzde mobil haberleşme modern yaşamın vazgeçilemez bir parçası haline gelmiştir. Operatörler frekans bantları ve altyapı için büyük yatırımlarda bulunmuşlar ve gelişen 2G-3G sistemleri ile hücresel iletişim teknolojisi bugünkü düzeyinde 4. Nesil standartlarına kadar uzanmaktadır. 3. nesilden itibaren ile hücresel sistemler ülke çapında kapsama ağı ile veri iletişimi için gerekli altyapıları oluşturmaya başlamışlardır.

4. nesil standartlarına göre hücresel haberleşme teknolojisi veri iletişimine doğru yakınsama göstermekte ve daha önce WiMAX'de bulunan OFDM arayüzü, IP bazlı fiziksel katman ve TDD kullanımı gibi özellikleri kapsamaktadır. WiMAX ise benzer şekilde mobil veri iletim talebini karşılamak için mobile WiMAX ile OFDMA frekanslarının altkanal yapısı ile tekrar kullanımı ve hücrelerarası geçiş özelliklerini içinde barındırmakta ve bu şekilde mobil şebekeye yakınsama göstermektedir. Her iki teknoloji alanında da lisanslı frekans kullanımı ve geniş bir hücresel şebeke kapsama alanı gerektiğinden iki teknoloji arasında benzerleşme ve kullanım alanlarının örtüşmesi gittikçe artmaya devam edeceği anlaşılmaktadır.

Bu alanda göz ardı edilmemesi gereken bir konu da geriye doğru uyumluluk özellikleridir. 4. Nesil

LTE sistemleri için kullanılan mobil cihazlar UMTS ve GSM şebekelerinde de uyum sorunu bulunmadan çalışabilmekte ve bu açıdan mevcut geniş bir kapsama alanı avantajından faydalanabilmektedirler.

802.11(Wifi) sistemleri ise ISM bandında lisanssız olarak çalıştıkları için ticari model olarak her iki teknolojiye alternatif olarak görünmemekte ve kendi kullanım alanı içinde gelişimini devam ettireceği öngörülebilir.

7 Kaynaklar

- [1] Harri Holma and Antti Toskala, WCDMA FOR UMTS – HSPA EVOLUTION AND LTE, John Wiley & Sons Ltd, 2007
- [2] Harri Holma and Antti Toskala, LTE for UMTS – OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access, John Wiley & Sons Ltd, 2009
- [3] Harri Holma and Antti Toskala, WCDMA FOR UMTS Radio Access for Third Generation Mobile Communications, 2004
- [4] Pejman Roshan, Jonathan Leary, 802.11 Wireless LAN Fundamentals, Cisco Press, 2003
- [5] Matthew Gast, O'Reilly, 802.11® Wireless Networks: The Definitive Guide, April 2002
- [6] Jeffrey G. Andrews, Arunabha Ghosh, Rias Muhamed, Fundamentals of WiMAX : Understanding Broadband Wireless Networking / 2007 Pearson Education, Inc.
- [7] 802.16 IEEE Standard for Local and metropolitan area Networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems June 2004 IEEE-SA Standards Board
- [8] Mustafa Ergen, Mobile Broadband, Including WiMAX and LTE Springer Science+Business Media, LLC 2009
- [9] Mobile WiMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation August, Wimax Forum, 2006