

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GENİŞ BANT KABLOSUZ AĞLARDA SEMBOLİK MODÜLASYONLARIN
HATA ANALİZİ

İBRAHİM IŞIK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

MALATYA

TEMMUZ 2014

Tezin Başlığı : Geniş Bant Kablosuz Ağlarda Sembolik Modülasyonların Hata Analizi

Tezi Hazırlayan : İbrahim IŞIK

Sınav Tarihi : 21/07/2014

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Elektrik–Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jürisi Üyeleri :

Prof. Dr. M. Salih MAMİŞ
İnönü Üniversitesi

Doç. Dr. M. Emin TAĞLUK (Danışman)
İnönü Üniversitesi

Doç. Dr. Müslüm ARKAN
İnönü Üniversitesi

İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. Mehmet ALPASLAN

Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Geniş Bant Kablosuz Ağlarda Sembolik Modülasyonların Hata Analizi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

İbrahim IŞIK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GENİŞ BANT KABLOSUZ AĞLARDA SEMBOLİK MODÜLASYONLARIN HATA ANALİZİ

İbrahim IŞIK

İnönü Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

90+x sayfa

2014

Danışman: Doç. Dr. M. Emin TAĞLUK

Sayısal haberleşme sistemleri kod bölmeli çoğullama kullanarak çoklu erişime imkan tanıyan protokoller yardımıyla sayısal veriyi karşı tarafa minimum hata ile ileten sistemlerdir. Bu sistemlerde veri taşıyıcısının fazı, frekansı ve genliği belli bir kurala göre yüksek hızlarda anahtarlanarak (PSK, FSK ve ASK) sayısal veri kodunu temsil için semboller üretilir ve bu semboller iletişim kanalından karşı tarafa gönderilir. Daha sonrada alıcı tarafında tekrar sayısal veriye dönüştürmek suretiyle sembolik haberleşme gerçekleştirilir. Bu teknolojiye kısaca Geniş Bantlı Kod Bölmeli Çoklu Erişim -Wide Bant Code Division Multiple Access (W-CDMA)- sistemi denir. Bu sistemlerin veriyi karşı tarafa aktarımında seçilen sembolün, diğer bir değişle anahtarlama vasıtasıyla yapılan modülasyonun, iletim kanalında sahip olduğu performansa dair birçok çalışma yapılmış ve yapılmaktadır. Ayrıca iletim kanalında sinyale karışan gürültü oranı ve bu orana göre oluşan hata da merak konusudur. Bu çalışmada W-CDMA sistemi detaylı bir şekilde anlatılmış ve bu sistemde kullanılan BPSK PSK ve QAM gibi sembolik modülasyonların sinyalin gürültüye oranı (SNR) ile Gauss gürültü kanalında yapılan iletişim neticesinde meydana gelen bit hata oranı (BER) in değişimi incelenmiştir. Bu bağlamda elde edilen sonuçlar değerlendirilerek W-CDMA sisteminde sembolik modülasyona dair kapsamlı bir hata analizi yapılmıştır.

ANAHTAR KELİMELELER: W-CDMA, OFDM, BER, modülasyon, sembolik iletişim

ABSTRACT

Master Thesis

ERROR ANALYSIS OF SYMBOLIC MODULATION IN BROADBAND WIRELESS NETWORKS

İbrahim IŞIK

Inonu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering

90+x pages

2014

Supervisor: Doç. Dr. M. Emin TAĞLUK

Digital communication systems are those systems that transmits digital data from one point to another with a minimum error using code division multiplexing with particular protocols designed for multiple access. In these systems the phase, frequency and amplitude of carrier are keyed at higher frequencies to produce symbols that represent digital data codes and sends these symbols through communication channel. Afterward via resolving these symbols into digital codes symbolic communication is achieved. Shortly, this technology is called Wide Band Code Division Multiple Access (W-CDMA) system. Many studies have been performed and being executed on analyzing the performance of the symbol chosen, in other words the modulation carried out by keying, for transferring the data through the communication channel. Moreover the noise rate interfering to the signal through the communication channel and the error arose from this rate is being a matter of wonder. In this study W-CDMA system is expansively explained and the change of bit error rate (BER) with respect to signal to noise ratio (SNR) through communication channel was analyzed with regard to the symbolic modulations such as BPSK, PSK and QAM. From this point of view, the obtained results were evaluated and a comprehensive error analysis for symbolic modulation in W-CDMA system was accomplished.

KEYWORDS: W-CDMA, OFDM, BER, modulation, symbolic communication

TEŐEKKÖR

Bu tez alışmasının her aşamasında yardım, öneri ve desteklerini esirgemedenden beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Do. Dr. M. Emin TAĞLUK’a;

Tez hazırlık süreci boyunca bana hep destek olan çalışma arkadaşlarıma;

Ayrıca tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu çalışmalarım süresince de benden her türlü desteklerini esirgemeyen değerli AİLEM’e ve eşim Esme IŞIK’a

teőekkör ederim.

İÇİNDEKİLER

	ÖZET	i
	ABSTRACT	ii
	TEŞEKKÜR.....	iii
	İÇİNDEKİLER	iv
	ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
	TABLolar LİSTESİ.....	viii
	SİMGELER ve KISALTMALAR	ix
1.	GİRİŞ	1
2.	MATERYAL ve YÖNTEM.....	4
2.1.	Materyal	4
2.2.	Yöntem	4
3.	KABLOSUZ HABERLEŞMENİN TEMELLERİ	5
3.1.	Örnekleme	6
3.2.	Quantalama (Nicemleme).....	7
3.3.	Kodlama.....	8
3.3.1.	Kaynak kodlama.....	8
3.3.2.	Kanal kodlama.....	9
3.3.3.	Hat kodlama	10
3.4.	Modülasyon ve Demodülasyon	16
3.4.1.	Sürekli dalga modülasyonu	18
3.5.	Kanallar.....	21
3.5.1.	İleri yönlü kanallar	22
3.5.2.	Ters yönlü kanallar.....	24
4.	VEKTÖR, SİNYAL ve HİLBERT UZAYLARI.....	26
4.1.	Vektör Uzayı	26
4.2.	Sinyal Uzayı.....	29
4.3.	Hilbert Uzayı.....	30
4.3.1.	Hilbert Dönüşüm.....	31
5.	ÇOKLU ERİŞİM TEKNİKLERİ.....	33
5.1.	FDM.....	34
5.2.	OFDM.....	35

5.3.	FDMA.....	36
5.4.	TDM.....	37
5.5.	TDMA.....	38
5.6.	CDMA	39
5.7.	W-CDMA	43
5.7.1.	TDD-FDD.....	44
5.7.2.	Neden W-CDMA.....	49
5.7.3.	Yayılım spektrumu ve işlem kazancı	51
6.	SEMBOLİK İLETİŞİM	62
6.1.	Geçiş Bandı İletimi	63
6.1.1.	Genlik kaydırmalı anahtarlama (ASK).....	64
6.1.2.	Frekans kaydırmalı anahtarlama (FSK).....	64
6.1.3.	Faz kaydırmalı anahtarlama (PSK)	64
6.1.4.	BPSK	66
6.1.5.	QPSK.....	66
6.1.6.	QAM.....	71
7.	BENZETİM ÇALIŞMALARI	72
7.1.	Farklı Modülasyon Çeşitlerinde Bit Hata Oranı (BER) Hesaplamaları.....	72
7.2.	Benzetim Çalışması 1	73
7.3.	Benzetim Çalışması 2	78
7.4.	Tartışma ve Öneriler	83
8.	SONUÇLAR	85
9.	KAYNAKLAR.....	87
10.	EKLER.....	90

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Genel bir sayısal haberleşme sisteminin blok diyagramı.....	5
Şekil 3.2. Örnekleme işlemi (a) Analog sinyal, (b) Analog sinyalin örneklenmiş şekli [19]	7
Şekil 3.3. (a) Orijinal sinyal ile onun quantalanmış şekli, (b) Quntalama hatası [21]	8
Şekil 3.4. Hat kodlama	11
Şekil 3.5. Sıfıra dönen tek kutuplu hat kodlama için örnek grafik	11
Şekil 3.6. Sıfıra dönen kutupsal hat kodlama için örnek grafik	12
Şekil 3.7. Manchester hat kodlama için örnek grafik.....	13
Şekil 3.8. Diferansiyel manchester hat kodlama için örnek grafik	13
Şekil 3.9. Sıfıra dönen çift kuluplu hat kodlama için örnek grafik	14
Şekil 3.10. Farklı hat kodlarının birlikte gösterimi [25]	15
Şekil 3.11. Genlik modülasyonu işleminin gösterilmesi. (a) Temel bant sinyali $m(t)$, (b) tüm t değerlerinde $kam(t) < 1$ değeri için AM sinyali, (c) tüm t değerlerinde $kam(t) > 1$ değeri için AM sinyali [19]	19
Şekil 3.12. Frekans modülasyonu ile faz modülasyonu arasındaki farkın gösterilmesi. (a) Faz modülasyonu kullanılarak FM dalgasının üretilmesi, (b) Frekans modülasyonu kullanılarak PM dalgasının üretilmesi	21
Şekil 3.13. İleri ve ters yönlü kanallar [27].....	22
Şekil 3.14. İleri yönlü kanalların hücreler arasındaki bağıntısı ile gösterimi	23
Şekil 3.15. Ters yönlü kanalların gösterimi	25
Şekil 4.1. İki boyutlu bir sinyal vektörü [17]	28
Şekil 4.2. Hilbert uzayının vektörel gösterimi	30
Şekil 4.3. Çeşitli uzayların kümelenendirilmesi [31].....	30
Şekil 4.4. Hilbert dönüşümünün modülasyondaki rolü.....	31
Şekil 5.1. FDM blok diyagramı	35
Şekil 5.2. OFDM ile kazanılan bant genişliği	36
Şekil 5.3. FDMA	37
Şekil 5.4. TDM blok diyagramı [19].....	38
Şekil 5.5. TDMA.....	38
Şekil 5.6. CDMA	39
Şekil 5.7. CDMA tekniği ile girişimin kabul edilmemesi [33,35].....	42
Şekil 5.8. FDD ve TDD metotlarının genel gösterimi	44
Şekil 5.9. W-CDMA sistemlerinin zaman-frekans-kod uzayındaki bant genişliği tahsisi [37]	48
Şekil 5.10. Dijital haberleşme sistemlerindeki yayılım spektrumunun genel bir modeli [1]	52
Şekil 5.11. Yayılım sonucu oluşan bant genişliğindeki artış [35].....	52
Şekil 5.12. Doğrudan dizi yayılım spektrumu. a) veri sinyalinin spektrumu, b) sahte gürültü sinyalinin spektrumu, c) birleştirilmiş sinyalin spektrumu	54
Şekil 5.13. Doğrudan dizi yayılım spektrumu için bir örnek	55
Şekil 5.14. Doğrudan dizi yayılım spektrum sistemi	56

Şekil 5.15. Frekans atlamalı yayılım spektrumu [6]	56
Şekil 5.16. m-dizilerinin üretildiği 3 aşamalı doğrusal geri beslemeli kaymalı kaydedici [27]	57
Şekil 5.17. İki m-dizi çiftinin birleştirilmesi ile oluşturulmuş altın kod.....	58
Şekil 5.18. CDMA’da kullanılan kodlar arasındaki bağıntı.....	61
Şekil 6.1. İletişim Nesillerinin kronolojik gelişimi.....	62
Şekil 6.2. 0010110010 koduna sahip bir temel bant kod dizisi [27].....	65
Şekil 6.3. (a) Genlik kaydırmalı anahtarlama uygulanmış taşıyıcıyı, (b) Frekans kaydırmalı anahtarlama uygulanmış taşıyıcıyı, (c) Faz kaydırmalı anahtarlama uygulanmış taşıyıcıyı göstermektedir [27]	65
Şekil 6.4. Basit bir BPSK sistemi	66
Şekil 6.5. Basit bir QPSK sistemi	66
Şekil 6.6. Sekiz farklı sembolün kullanıldığı 8-PSK sistemi.....	67
Şekil 6.7. QPSK modülasyonun kutupsal formdaki gösterimi	70
Şekil 6.8. QPSK modülasyonun I ve Q kanalları kullanılarak yapılan dördün formdaki gösterimi.....	70
Şekil 6.9. Genlik ve fazın birlikte değiştiği 16-QAM sistemi	71
Şekil 7.1. MPSK, MFSK ve MQAM için örnek bir simülasyon modeli	72
Şekil 7.2. MPSK için BER-SNR oranı	74
Şekil 7.3. Coherent bir demodülasyon uygulanmış MFSK için BER-SNR oranı	74
Şekil 7.4. MQAM için BER-SNR oranı	75
Şekil 7.5. 4-PSK, 4-QAM, 8-PSK, 8QAM ve 16QAM için BER-SNR oranının karşılaştırılması	76
Şekil 7.6. M-PSK ve M-QAM için BER-SNR oranının karşılaştırılması	77
Şekil 7.7. Faz off-set=0 ve d=1 değerleri için sembollerin kompleks düzlemdeki gösterimi.....	79
Şekil 7.8. d=1, 2, 3 ve 4 değerleri için BER-SNR karşılaştırılması.....	79
Şekil 7.9. d=1 ve (a) Faz off-set=1 rad, (b) Faz off-set=2 rad, (c)Faz off-set=3 rad, (d) Faz off-set=4 rad değerleri için sembollerin kompleks düzlemdeki gösterimi.....	80
Şekil 7.10. Şekil 7.9’da tanımlanan farklı faz off-set değerleri için BER-SNR karşılaştırılması	81
Şekil 7.11. (a) Faz off-set=1 rad, d=1 (b) Faz off-set=2 rad, d=2 (c) Faz off-set=3 rad, d=3 (d) Faz off-set=4 rad, d=4 değerleri için sembollerin kompleks düzlemdeki gösterimi	82
Şekil 7.12. Şekil 7.1’de tanımlanan farklı faz off-set ve d değerleri için BER-SNR karşılaştırılması	83

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 5.1. Hücresel kablosuz sistemlerin gelişim süreci	44
Tablo 5.2. UTRA TDD ve FDD fiziksel katmanlarının karşılaştırılması [33]	45
Tablo 5.3. W-CDMA parametreleri [37]	47
Tablo 6.1. 2G, 3G ve 4G Teknolojilerinin karşılaştırılması [33]	63
Tablo 6.2. QPSK modülasyonda faz açısına göre sembollerin gösterilmesi [27]	69
Tablo 7.1. Artan bit sayısı ile bant genişliği verimi ve BER olasılığının karşılaştırılması	78

SİMGELER ve KISALTMALAR

AMI	Alternate Mark Inversion (Alternatif İşaret Tersleyici)
AMPS	Advanced Mobile Phone Service (Gelişmiş Mobil Telefon Hizmeti)
ASK	Amplitude Shift Keying (Genlik Faz Kaydırmalı Anahtarlama)
BER	Bit Error Rate (Bit Hata Oranı)
BP	Bant Geçiren Filtre
BPSK	Binary Phase Shift Keying (İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama)
BS	Base Station (Baz İstasyonu)
CDMA	Code Division Multiple Access (Kod Bölmeli Çoklu Erişim)
CMI	Alternate Code Inversion (Alternatif Kod Tersleyici)
DEM	Demodülasyon
DS-CDMA	Direct Sequence CDMA (Doğrudan Dizi CDMA)
EDGE	Enhanced Data Rates for Global Evolution (Küresel Evrim İçin Geliştirilmiş Veri Hızları)
FDD	Frequency Division Duplex (Frekans Bölmeli Çift Yönlü Haberleşme)
FDM	Frequency Division Multiplexing (Frekans Bölmeli Çoğullama)
FDMA	Frequency Division Multiple Access (Frekans Bölmeli Çoklu Erişim)
FH-CDMA	Frequency Hopping CDMA (Frekans Atlamalı CDMA)
FSK	Frequency Shift Keying (Frekans Kaydırmalı Anahtarlama)
GPRS	General Packet Radio Services (Genel Paket Radyo Servisi)
GPS	Global Positioning System (Global Konumlandırma Sistemi)
GSM	Global System for Mobile Communications (Mobil Haberleşme için Evrensel Sistem)
HS-DSCH	High-Speed Downlink Shared Channel (Yüksek Hızlı Downlink Paylaşım Kanalı)
IS-95	Interim Standard-95 (Ara Standart-95)
ITU	International Telecommunication Union (Uluslararası Telekomünikasyon Birliği)
LP	Düşük Geçiren Filtre
LTE	Uzun Vadeli Gelişim
MOD	Modülasyon
MS	Mobile Station (Mobil İstasyon)
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Ortogonal Frekans Bölmeli Çoğullama)
PN	Pseudo Noise (Sahte Gürültü)
PS	Packet Switched (Paket Anahtarlama)
PSK	Phase Shift Keying (Faz Kaydırmalı Anahtarlama)
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying (Karesel Faz Kaydırmalı Anahtarlama)
TACS	Total Access Communication System (Toplam Erişim Haberleşme Sistemleri)
TDD	Time Division Duplex (Zaman Bölmeli Çift Yönlü Haberleşme)

TDM	Time Division Multiplexing (Zaman Bölmeli Çoğullama)
TDMA	Time Division Multiple Access (Zaman Bölmeli Çoklu Erişim)
TD-CDMA	Time Division-Code Division Multiple Access (Zaman Bölmeli – Kod Bölmeli Çoklu Erişim)
TD-SCDMA	Time Division Synchronous CDMA (Zaman Bölmeli Eşzamanlı CDMA)
TIA	Telecommunications Industry Association (Amerikan Telekomünikasyon Endüstri Birliği)
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System (Evrensel Mobil Haberleşme Sistemi)
UTRA	UMTS Terrestrial Radio Access (UMTS Karasal Radyo Erişimi)
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network (UMTS Karasal Radyo Erişim şebekesi)
W-CDMA	Wideband-CDMA (Geniş Bant CDMA)
1G	First Generation (Birinci nesil haberleşme sistemleri)
2G	Second Generation (İkinci nesil haberleşme sistemleri)
3G	Third Generation (Üçüncü nesil haberleşme sistemleri)
4G	Fourth Generation (Dördüncü nesil haberleşme sistemleri)
3GPP	3G Partnership Project (Üçüncü Nesil Ortaklık Projesi)
GHz	Frekans birimi
dB	Desibel
Kbps	Data hız birimi
kHz	Frekans birimi
Mbps	Data hız birimi
Mcps	Bit hız birimi
MHz	Frekans birimi
Gbps	Data hız birimi

1. GİRİŞ

Sayısal haberleşme sistemlerinde bilgi, çeşitli kaynak ve kanal kodlamaları ile birlikte bazı özel protokoller kullanılarak karşı tarafa iletilir. Haberleşme teknolojileri Çok Geniş Ölçekli Tümleşim'in (VLSI) çiplerinin üretilmesi ve sinyal işleme algoritmalarının gelişmesi ile paralel olarak gelişme göstermiş ve nihai olarak bugün aktif olarak kullanılan Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA) sistemi geliştirilmiştir [1].

CDMA sisteminin geliştirilmesiyle kullanıcılara telefon hizmetlerinin yanı sıra multimedya hizmetleri de sunma imkanı oluşmuştur. Bu hizmeti sunmak için de çok yüksek hızlarda anahtarlama yapan, yani yüksek frekanslarda çalışan, donanımlara ihtiyaç doğmuştur. Çok yüksek hızlarda anahtarlama yapmak kolay olmadığından araştırmacılar yüksek hızlarda veri aktarımı için doğrudan sayısal veriyi iletmek yerine belli uzunluktaki sayısal kodları bir sembole yükleyerek sembolik (sembol bazlı) veri aktarımını gerçekleştirmişlerdir. Sayısal veri taşıyıcısı olan bu sembollerin aynı zamanda iletişim kanalında birbirine karışmaması gerekir. İşte böylesi özel olan bu sembolleri araştırmak ve daha da verimli olmasını sağlamaya (daha çok veriyi temsil etmesini sağlamak) çalışmak haberleşme sistemlerinin en önemli alanlarından biridir. Haberleşme sisteminde kullanılan sembollerin yapısı (modülasyon biçimi) sistemin verimini ve kalitesini belirler. Araştırmacılar iletişim sisteminin kalitesini daha çok veriyi mümkün olan en düşük bit hata oranı (BER) ile fazla elektriksel güç kullanmadan karşı tarafa iletilmesi olarak ifade etmişlerdir [2-15]. Bu bağlamda birçok araştırma yapılmış ve sinyal gürültü oranı (SNR)-BER değişimleri çeşitli modülasyonlar için karakterize edilmiştir [2-9]. Ancak birçok modülasyon çeşidi için SNR-BER değişimlerini bir arada sunan kaynak sıkıntısı halen mevcuttur. Bu bağlamda bu tez çalışmasında geniş bant CDMA sisteminin izahının yanı sıra bu sistemde kullanılan modülasyon çeşitlerinin (sembol çeşitlerinin) sistemin BER değerini çeşitli SNR değerleri için nasıl etkilediğini araştırma ve elde edilen sonuçları grafiklerle görselleştirilerek bir hata analizinin yapılması amaç edinilmiştir.

Sembol bazlı iletişimi sağlayan sistemlere yönelik birçok çalışma literatürde mevcuttur. Bunlardan T. K. Roy [8], Dik frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM) ile PSK

ve QAM modülasyon tekniklerinin kullanıldığı bir sistem analiz etmiştir. Yapılan analizde bu iki modülasyon teknikleri için sistemin bit hata oranı (BER) karşılaştırılmış ve sonuçta QAM'in daha iyi bir performansa sahip olduğu anlaşılmıştır. M. A. Masud et al. [9], D. Sharma ve H. Kaur [10] ise sembol başına düşen bit sayısı artırılarak PSK ve QAM'in 16PSK, 16QAM ve 32QAM gibi modülasyon çeşitleri için BER ve sembol hata oranı (SER) analizleri yapmışlardır. Fakat araştırmacılar artık QAM'in de mevcut geniş bant sistemlere yetmemesi ile farklı teknikler bulma çabası içerisine girmişlerdir. Bu bağlamda A. S. Babu et al. [7] QAM ve PSK teknikleri için farklı kanalları (AWGN, RAYLEIGH ve RICIAN) kullanarak sistemin BER olasılığı için analizler yapmışlardır. Yapılan bu analizler sonucunda en iyi performans veren kanalın AWGN kanalı olduğu anlaşılmıştır. P. Samundiswary [11] ise W-CDMA'de farklı kodlar (PN, Altın ve Walsh) kullanarak sistemin BER analizini yapmış ve bu analizlere göre sistemin performansını değerlendirmiştir. Bu değerlendirme sonucunda Walsh kodu kullanılarak tasarlanan sistemlerin en iyi performansı verdikleri gözlemlenmiştir.

Yapılan bu çalışmalar incelendiğinde W-CDMA bir sistemde AWGN bir kanal ve Walsh kodu ile kodlanmış sistemlerin daha iyi bir performansa sahip olduğu anlaşılmıştır. Bu sebeple yeni bir sistem tasarlanırken yapılan bu çalışmaların sonuçları dikkate alınarak farklı teknikler ile sistemin performansını arttırmaya yönelik çalışmaların yapılması gerektiği düşünülmektedir. Literatüre bakıldığında bu çalışmaların çoğunda bir sembol ile daha fazla verinin gönderilmesi amaçlanmıştır. Ancak mevcut sistemlerde fazla veri gönderimi verinin karşı tarafa daha fazla hata ile iletilmesine sebep olmaktadır; sistemin BER değeri arzu edilen değerin üstüne çıkmaktadır [5-15]. Ayrıca veri aktarım kapasitesi açısından da aktif olarak kullandığımız sistemler günümüz multimedya iletişim ihtiyacını yeterli bir şekilde karşılamamaktadır. Dolayısıyla sembol bazlı iletişim teknolojisi üzerinde daha çok çalışma yapılması gereği şüphesizdir.

Bu tez çalışmasında, öncelikle kablosuz haberleşmenin temelleri olan örnekleme, sinyal, vektör, hilbert uzayları, kodlama, çoklu erişim teknikleri, modülasyon ve kanallar ile ilgili bilgiler verilerek genel bir haberleşmenin nasıl yapıldığı açıklanmaya çalışılmış ve verilen bu bilgiler ışığında sembolik iletişim anlatılmıştır. Daha sonra sembol bazlı

iletişimin altyapısı ile beraber mevcut birçok sembol bazlı modülasyon çeşidi simüle edilerek araştırılmış ve performansları (SNR-BER) açısından karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Materyal

Kablosuz haberleşme ve sembolik iletişim konusunda yapılan bu çalışmada birçok yerli ve yabancı kaynak materyal olarak kullanılmıştır. Bu kaynaklarda sunulan bilgilerden maksimum düzeyde faydalana bilmek için derlenen bilgiler harmanlanarak bölümlere ayrıştırılmıştır.

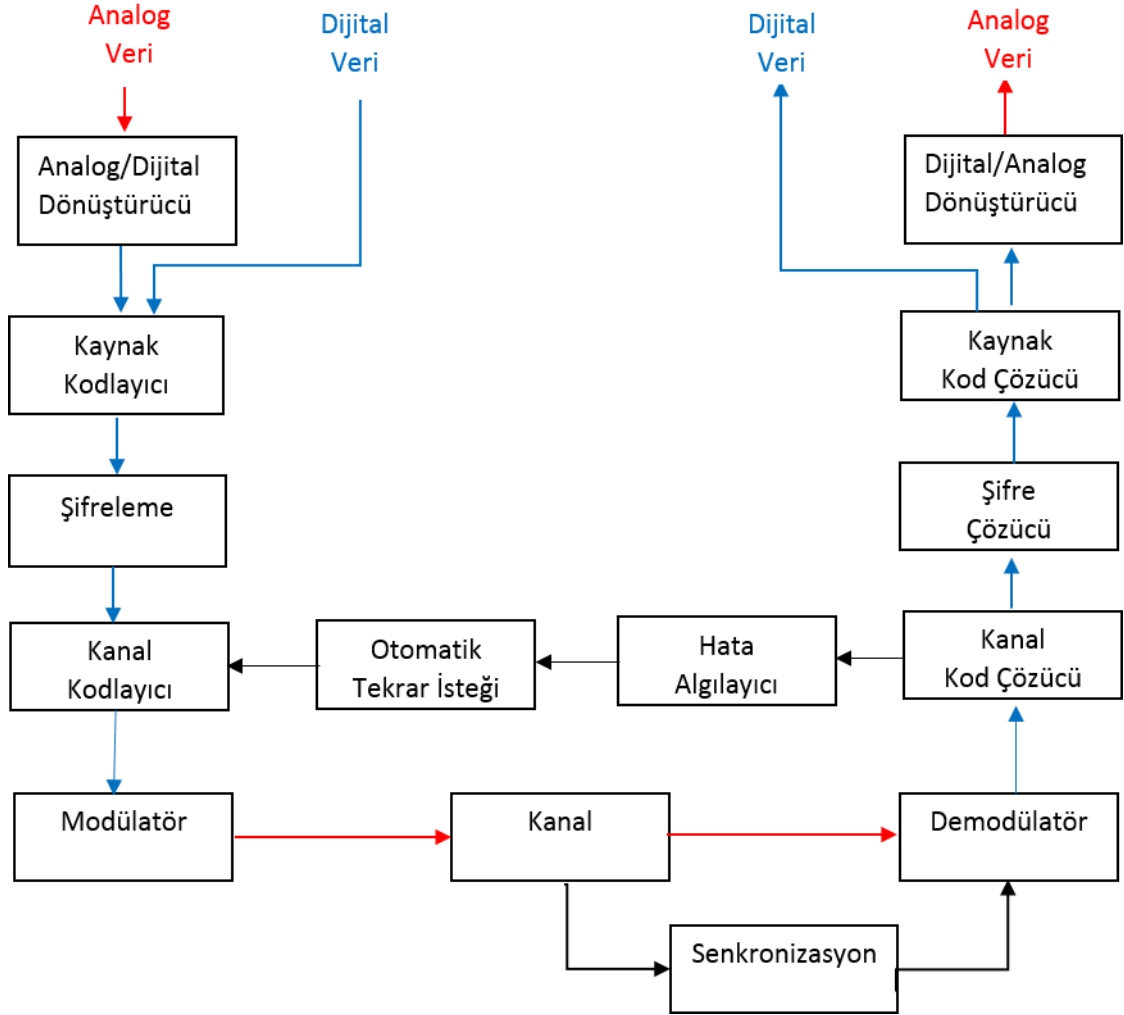
Ayrıca sembolik iletişim ile maksimum boyutlu verinin minimum hata ile gönderilmesi hedeflendiğinden tezin sonunda MATLAB/Simulink programı ile şu an kullanılmakta olan modellerin benzetim çalışması yapılmıştır. Bu benzetim çalışmalarının sonuçları ile mevcut teknikler bir kez daha incelenip karşılaştırılmıştır.

2.2. Yöntem

Giriş bölümünde de bahsedildiği gibi haberleşmenin daha hızlı ve kaliteli bir şekilde yapılabilmesi için birçok yöntem mevcuttur. Bunlardan ilki bir sembolle iki bitin gönderildiği BPSK, BASK ve BFSK sistemleridir. Daha sonra bu tekniklerin bazıları birleştirilerek ve daha fazla noktada faz anahtarlama yapmak suretiyle sembol başına düşen bit sayısı arttırılarak minimum hata ile daha hızlı veri iletiminin amaçlandığı birçok yöntem bulunmuştur [10-15]. Burada bu yöntemlerin hata analizleri SNR-BER bağlamında karşılaştırmalı olarak yapılmıştır.

3. KABLOSUZ HABERLEŞMENİN TEMELLERİ

Sembolik iletişim hakkında bilgi verilmeden önce aşağıda maddeler halinde kablosuz haberleşmenin yapısını oluşturan birimler ve bu birimler ile ilgili kısa açıklamalar yapılmıştır. Tipik bir sayısal haberleşme sisteminin blok diyagramı Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Genel bir sayısal haberleşme sisteminin blok diyagramı

Burada bulunan birimlerden bazıları aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Veri (mesaj sinyali): Karşı tarafa iletilmesini istediğimiz sinyaldir. Bu; ses, resim, müzik veya herhangi bir veri olabilir.

Analog/Dijital dönüştürücü: Eğer kaynağın ürettiği sinyal elektriksel bir sinyal değilse yani analog ise, ilk olarak sinyalin elektriksel sinyale (dijital) dönüştürülmesi gerekir. Bu ise analog/dijital dönüştürücü tarafından gerçekleştirilir.

Kaynak-Kanal kodlayıcı: Dijital sinyale dönüştürülen sinyalin semboller yardımıyla kodlanması işlemi burada gerçekleştirilir. Bu konu sonraki bölümlerde daha detaylı olarak anlatılmıştır.

Kanal: Yukarıdaki işlemler sonucunda dalga formuna dönüştürülen sinyalin vericiden alıcıya taşınması işlemini gerçekleştirir. Haberleşme sistemlerinde kablolu (ortak eksenli (coaxial) kablo ve son günlerde kullanımı yaygınlaşan, özellikle internetin veri hızını arttırmak için kullanılan, fiber optik kablo) ve kablosuz (radyo) olmak üzere iki çeşit kanal kullanılmaktadır.

Dijital/Analog dönüştürücü: Bu birim ise kanal tarafından alıcıya ulaşan sinyalin tekrar eski formuna yani dalga formuna (analog) dönüştürülmesini sağlar.

Sinyallerin analogdan dijitale veya dijitalden analoga dönüştürülmesinin temelinde örnekleme ve quantalama işlemleri bulunmaktadır.

3.1. Örnekleme

Örnekleme, iletilecek olan sürekli dalganın belirli bir periyotta örneğini alma işlemidir. Bu periyotun (T_s) süresi kısaltıkça yani alınan örneğin sayısı ne kadar artarsa, elde edilen dalganın orijinal dalgaya benzerliği de o oranda artar [17]. Örnekleme periyodunun belirlenmesi için Nyquist Teoremi (Denklem 3,1) kullanılmaktadır.

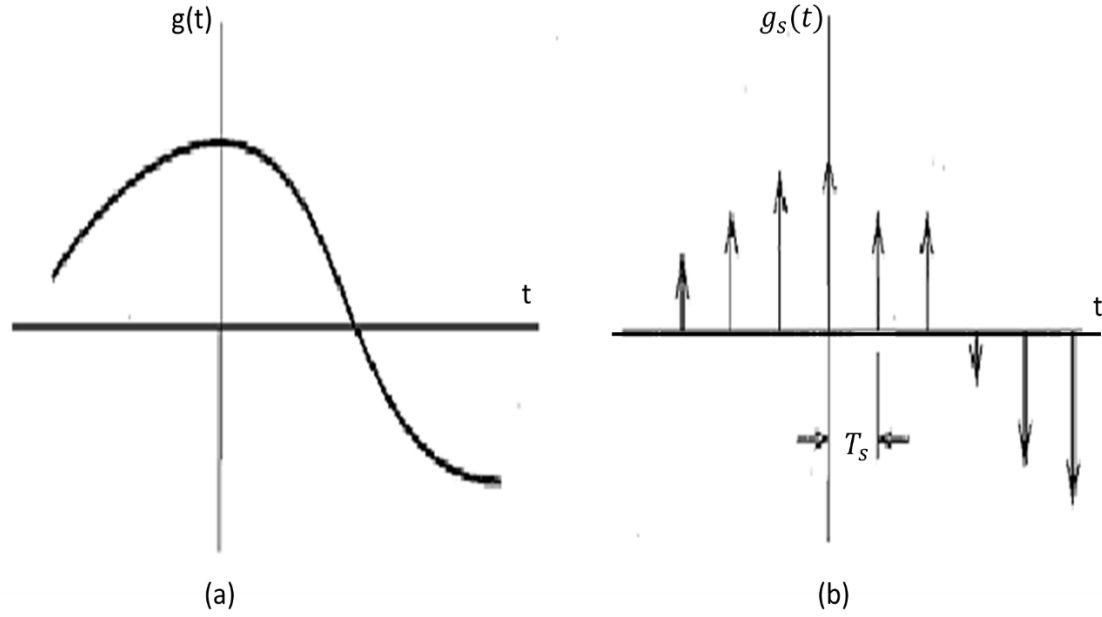
Bu teoreme göre, örnekleme frekansı ana sinyalin maksimum frekansının iki katı veya daha fazlası olmalıdır.

$$f_s \geq 2f_m \quad (3,1)$$

f_s : örnekleme frekansı

f_m : ana sinyal frekansı

Eğer bu şart sağlanmaz ise sinyalde bozulma meydana gelir [17-19].



Şekil 3.2. Örnekleme işlemi (a) Analog sinyal, (b) Analog sinyalin örneklenmiş şekli [19]

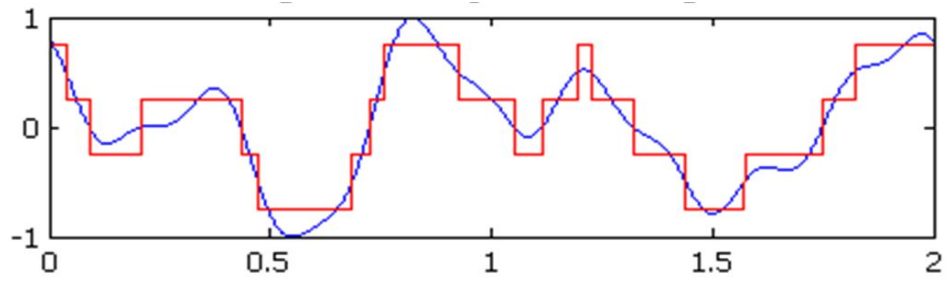
3.2. Quantalama (Nicemleme)

Quantalama, örnekleme ile elde edilmiş genlik bilgilerinin bölütlenerek seviyelendirme işlemidir. Bölütleme işlemi neticesinde analog sinyal tam olarak belirlenen seviye sayısına bölünemediğinden analog sinyal ile seviye arasındaki fark quantalama hatası olarak ifade edilmektedir [20,21]. Sinyalin quantalama hatasına oranı ise matematiksel olarak Denklem 3,2’de verilmiştir.

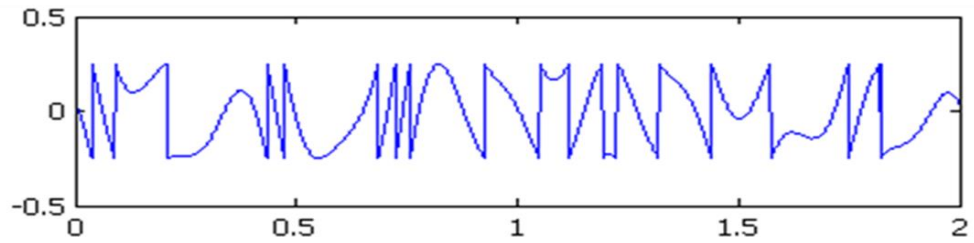
$$SQNR = 20 \log_{10}(2^Q) \approx 6.02 \times Q \text{ dB} \quad (3,2)$$

Q = Quantalanmış bitlerin sayısı

Quantalama işlemini göstermek açısından bir analog sinyal ve bu sinyalin seviyelendirilmiş hali Şekil 3.3 (a)’da ve bu iki sinyal arasındaki fark (hata sinyali) Şekil 3.3 (b)’de gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.3. (a) Orijinal sinyal ile onun quantalanmış şekli, (b) Quntalama hatası [21]

3.3. Kodlama

Quantalama neticesinde elde edilen seviyelendirilmiş sinyalin “0” ve “1” bit kombinasyonu ile ifade edilmesi eylemidir. Kodlama genel olarak kaynak kodlama, kanal kodlama ve hat kodlama olarak üç ayrı amaçla yapılmaktadır [17,22].

3.3.1. Kaynak kodlama

Bilginin kanala iletilmeden önce “0” ve “1” bitlerine dönüştürülmesi işlemine kaynak kodlama denir. Bu kodlama işlemi ise birçok farklı yoldan yapılabilir. Fakat en yaygın kullanılan kodlar ASCII ve huffman kodlarıdır [17]. Bu kodda alfabedeki her bir harf 7-bitlik kod kelimeleri ile ifade edilir ve iletim yapılırken bu kod kelimelerine göre yapılır.

3.3.2. Kanal kodlama

Kanal kodlama hata kontrol kodlaması olarak da bilinir. Kanal kodlama ile kanal girişindeki kaynak kodlarına belirli bir kurala göre başka kodlar eklenir ve kanal çıkışında bu kodlar kaynak kodlarından çıkartılır. Bu şekilde kaynaktaki hatalar bulunup düzeltilerek kanal çıkışına verilir. Kanal kodlamada da kaynak kodlamada olduğu gibi mesaj bitleri kod kelimeleri ile ifade edilir. Bu kodlama ise birçok yolla yapılabilir. En sık kullanılan ise blok kodlama tekniğidir [17]. Kanal kodlama ile mesaj bitleri bloklara ayrılır ve bu mesaj bit blokları kod kelimeleri ile ifade edilir. Aşağıda kodlama ile ilgili bir örnek verilmiştir [17,22].

Örnek: Bu örnekte kodların üretilmesi için G isimli bir matris seçilmiştir. Eğer mesaj biti olarak $M = [0 \ 1 \ 1]$ biti seçilirse,

$$\text{Kod üreten matris: } G = [I \ P] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Mesaj biti (M)	Kod Kelimeleri (K)
000	000000
001	001110
010	010101
011	011011
100	100011
101	101101
110	110110
111	111000

$$K = MG = [0 \ 1 \ 1] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} = [0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1]$$

G ve K matrisleri yukarıdaki gibi elde edilir. Burada sistemin lineer olduğu kabul edilerek işlemler modül 2'ye göre yapılmıştır.

İletimi yapılan kodda bir hata varsa bu nasıl bulunur?

$$\text{Kontrol matrisi: } H = [P^T \quad I]$$

Kod kelimeleri G matrisi tarafından üretildiği sürece $KH^T = 0$ şartı sağlanmalıdır.

Kod kelimeleri kanaldan geçtikten sonra R ile hata bitleri ise E ile ifade edilirse, hata sendromu S aşağıdaki gibi elde edilir.

$$R = K + E$$

$$\text{Hata sendromu: } S = RH^T = (K + E)H^T = KH^T + EH^T = EH^T$$

Eğer $S=0$ ise $R=K$ olur ve herhangi bir hata olmadığı fakat $S \neq 0$ ise bir hatanın olduğu anlaşılır.

Örneğin 011110 kod kelimesinin kanaldan geçtiği kabul edilirse

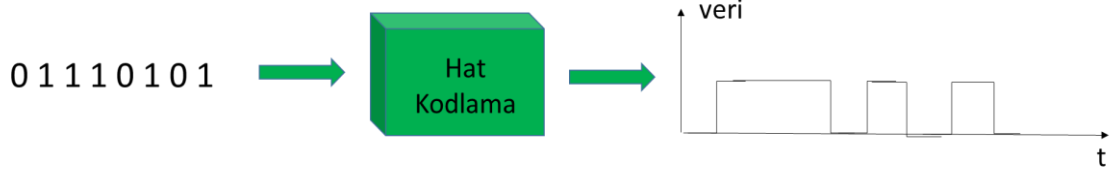
$$\text{Hata sendromu: } S = RH^T = [011110]H^T = [101]$$

$[101]$, H^T matrisinin 2. satırında olduğu için alıcıya ulaşan kod kelimesinin 2. bitinin hatalı olduğu anlaşılır ve doğru kod kelimesi 001110 olarak düzeltilir [22].

3.3.3. Hat kodlama

Örnekleme ve quantalama işleminden sonra elde edilen dijital işaretin yani ‘0’ ve ‘1’ bitlerinin kümesi sembol olarak ifade edilebilir. Sembolik iletişimin temelinde hat kodlama yani ‘0’ ve ‘1’ dizisinden oluşan sayısal veriyi sürekli zaman sembolik sinyaline dönüştürme işlemi bulunmaktadır. Hat kodlaması aynı zamanda iletilecek olan işareti iletim ortamının özelliklerine uygun biçime getirmek, işaretin iletişim ortamındaki gürültü, zayıflama, bozulma ve girişim gibi bozucu etkenlerden daha az etkilenmesini sağlama amacını da taşımaktadır. Hat kodlama, kullanılacak iletişim kanalının özelliklerine uygun şekilde yapılmalıdır. Örneğin metal kablolardan oluşan iletişim ortamları alçak frekans geçiren özellik gösterir. Bu tür ortamlarda yapılan iletişimlerde hat kodlaması genellikle iletişimden önce yapılan son işlemdir. Fiber optik

ya da radyo sistemleri gibi bant geçiren kanallar üzerinden yapılan iletişimlerde ise hat kodlaması ya iletişimden hemen önce yapılır ya da modülasyonla birlikte yapılır. Şekil 3.4'te hat kodlaması sonucunda oluşan sürekli zaman sinyali gösterilmiştir.

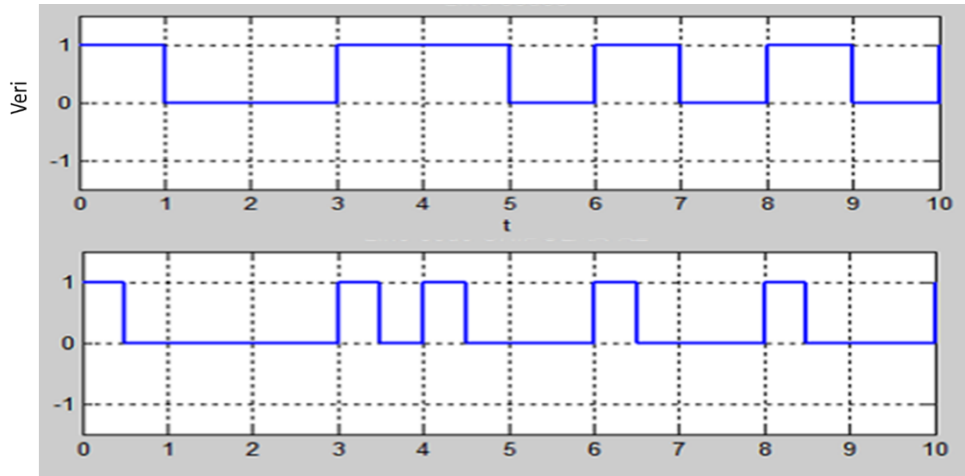


Şekil 3.4. Hat kodlama

Hat kodlamanın, genel olarak kutupsal, tek kutuplu, çift kutuplu ve çok kutuplu olmak üzere dört çeşidi bulunmaktadır. Yine bu kodlamalar da kendi içerisinde sıfıra dönen (RZ) ve sıfıra dönmeyen (NRZ) olarak ikiye ayrılır. Sıfıra dönen kodlamada Şekil 3.5'ten de görüldüğü gibi sinyal bit aralıklarında sıfır volt seviyesine gelirken, sıfıra dönmeyen kodlamada sıfır volt seviyesine gelmemektedir. Her bir hat kodun kendine özgü avantaj ve dezavantajları vardır. Bu kodlar aşağıda kısaca açıklanmıştır [23,24].

Tek kutuplu

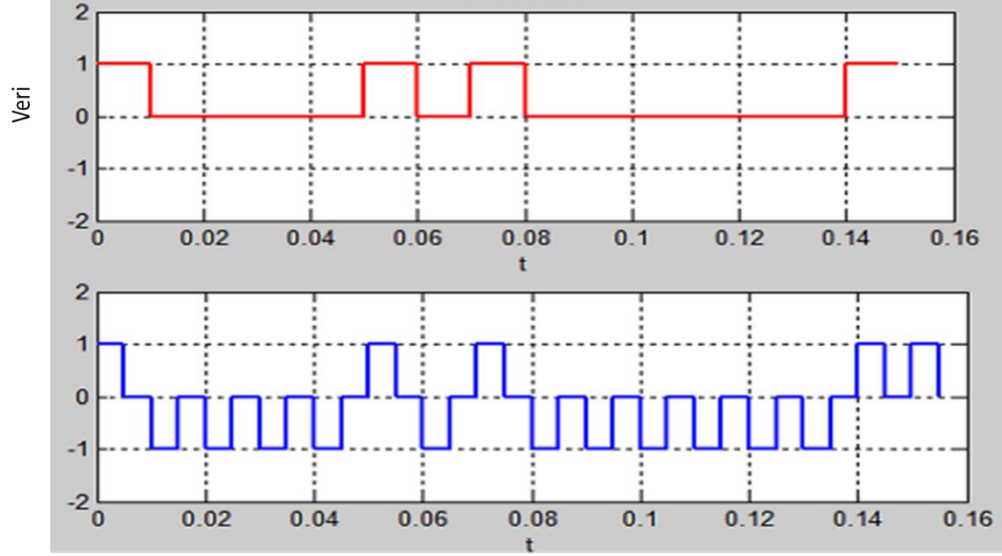
“1” bitinin pozitif voltaj seviyesi “0” bitinin ise sıfır voltaj seviyesi olarak kullanıldığı kodlama çeşididir. Bu kodlama çeşidi aynı zamanda on-off anahtarlama olarak da bilinir. Bu anahtarlama çeşidi Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Sıfıra dönen tek kutuplu hat kodlama için örnek grafik

Kutupsal

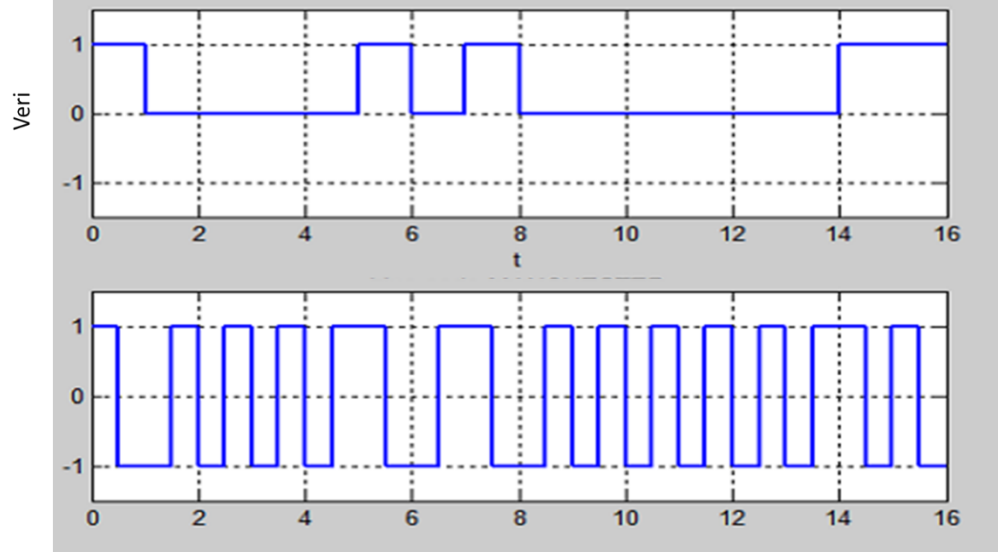
“1” ve “0” bitlerinin eşit değerdeki pozitif ve negatif voltaj seviyesi olarak kullanıldığı kodlama çeşididir. Bu kodlama çeşidi üç voltaj seviyesinin kullanıldığı pozitif ve negatif voltaj seviyeleri arasında geçişin yapılabildiği alternatif işaret tersleyici (AMI) kodlama olarak da bilinir. Bu anahtarlama çeşidi Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Sıfıra dönen kutupsal hat kodlama için örnek grafik

Manchester

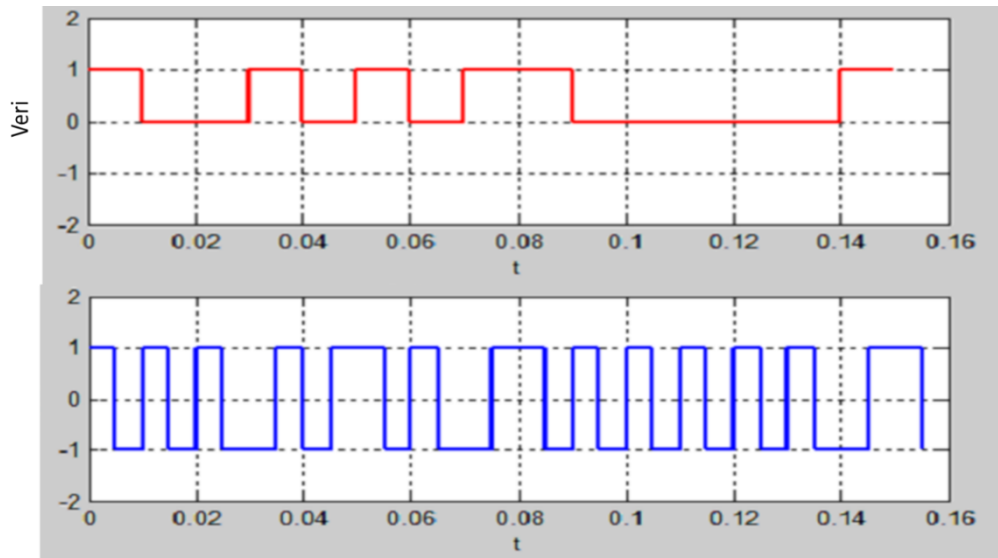
Her bir “1” biti için ilk olarak yarım periyotluk pozitif voltaj seviyesinin ardından negatif voltaj seviyesinin, “0” biti için ise ilk olarak yarım periyotluk negatif voltaj seviyesinin ardından pozitif voltaj seviyesinin kullanılarak gösterildiği kodlama çeşididir. Bu kodlama çeşidi de split-faz kodlama olarak bilinir. Bu anahtarlama çeşidi Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Manchester hat kodlama için örnek grafik

Diferansiyel manchester

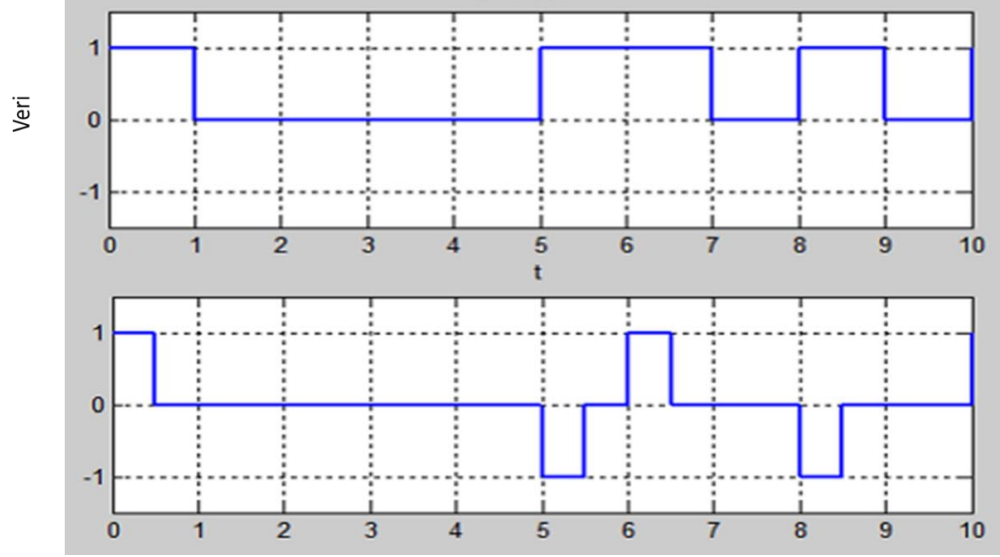
Bu kodlama çeşidinde diğer kodlamaların aksine alınan ‘0’ ve ‘1’ bitleri değil, bilginin önceki değeri ile benzerliğine bakılarak hat kodlaması yapılır. Diğer bir deyişle ‘0’ biti için bit aralığının hem başında hem de ortasında voltaj seviyesi değişikliği yapılırken, 1 biti için bit aralığının başında değişiklik yapmadan sadece ortasında değişiklik yapılarak kodlama yapılır. Bu anahtarlama çeşidi Şekil 3.8’de gösterilmiştir. [23].



Şekil 3.8. Diferansiyel manchester hat kodlama için örnek grafik

Çift kutuplu

“1” bitinin alternatif olarak pozitif veya negatif voltaj seviyesi olarak kullanıldığı, “0” bitinin ise sıfır voltaj seviyesi olarak kullanıldığı kodlama çeşididir. Bu anahtarlama çeşidi Şekil 3.9’da gösterilmiştir [23].

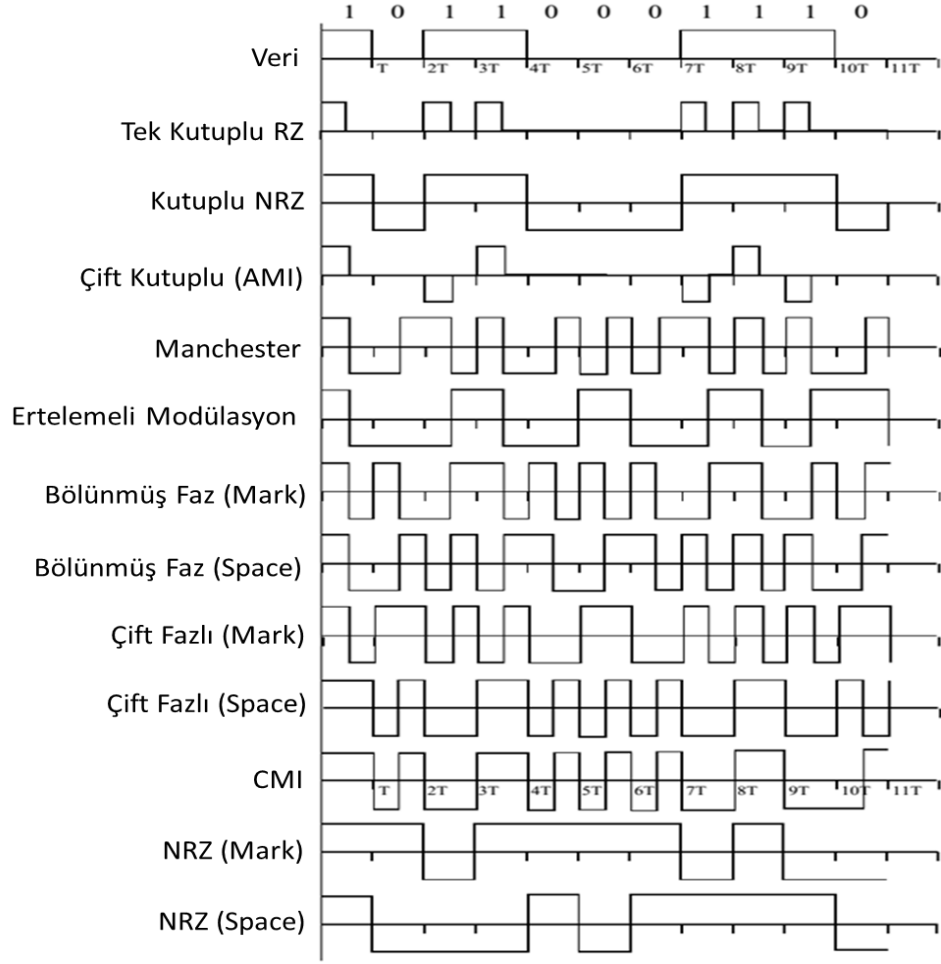


Şekil 3.9. Sıfıra dönen çift kutuplu hat kodlama için örnek grafik

Çok seviyeli

Çok seviyeli kodlama üç voltaj seviyesinden daha fazla voltaj seviyesinin kullanıldığı kodlama çeşididir [23].

Son olarak Şekil 3.10’da en sık kullanılan kodlama çeşitleri bir arada verilerek birbirleri arasındaki fark gösterilmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.10. Farklı hat kodlarının birlikte gösterimi [25]

RZ: Sıfıra dönen

NRZ: Sıfıra dönmeyen

AMI: Alternatif işaret tersleyici

CMI: Kod işaret tersleyiciyi

Sembolik iletişimde iletilecek olan işareti iletim ortamının özelliklerine uygun biçime getirmek, işaretin iletim ortamındaki gürültü, zayıflama, bozulma ve girişim gibi bozucu etkenlerden daha az etkilenmesini sağlamak amacı ile hat kodlama teknikleri geliştirilmiştir. Bu tekniklerin aralarındaki farklar grafikler ile detaylı bir şekilde gösterilmiştir. Ayrıca kullanacağımız hat kodlama tekniğinin,

- 1- İletim bant genişliğinin ve gücün mümkün olduğu kadar küçük

- 2- Hata bulma ve düzeltme
- 3- Uygun güç spektral yoğunluğu
- 4- Yeterince saydam

özelliklerini sağlaması tercih edilir.

Hat kodlama teknikleri haberleşme alanında büyük öneme sahip olmasına rağmen bu konuda yapılan literatür taramasında yeni hat kodlama tekniklerine pek rastlanmamıştır. Son zamanlarda yapılmış yayınlar ise daha çok var olan tekniklerin geliştirilmesine yönelik yapılan çalışmalardır. Örneğin K. Jain ve A. Goel [3] baud (bir iletişim bağlantısında bilgi gönderme hızı ölçüm birimi) oranını arttırmak için daha fazla veriyi daha az sayıdaki kodlanmış sembol ile göndermeye çalışmışlardır. Bunun için ise AMI ve 8B6T kodlama tekniklerini kullanmışlardır. Yine başka bir yayında I.J. Fair et al. [4] fiber optik kabloların kullanıldığı haberleşme sistemlerinde farklı hat kodlama teknikleri geliştirmişlerdir. Bu yayında guided scrambling tekniği [4] kullanılarak yüksek bit oranlarına sahip fiber optik kablolardaki iletim sağlanmaya çalışılmıştır.

Geliştirilen yeni teknolojiler ile paralel bant genişliği ihtiyacı da sürekli artmaktadır. Bir sembol ile daha fazla bitin gönderildiği yüksek bant genişliğine sahip sistemlerde ise gürültü ve bozulmalar daha fazla olmaktadır. Bunu önlemek için ise yeni kodlama tekniklerinin geliştirilmesi kaçınılmazdır.

3.4. Modülasyon ve Demodülasyon

Sembolik iletişimin anlaşılabilmesi için bilinmesi gereken konulardan bir tanesi de modülasyon kavramıdır. Modülasyon, verinin ortamda (iletişim kanalında) taşınması için uygun hale getirilmesine denir. Sinyallerin modüle edilmesi birçok yolla yapılabilir. Modülasyon işleminin genel formu $\tilde{s}(t) = R\{s(t)e^{j2\pi f_0 t}\}$ şeklindedir. Burada f_0 kanala uygun taşıyıcı sinyalin frekansını ifade etmektedir. Doğrusal dijital bir modülasyon ise Denklem 3,3'deki gibi tanımlanabilir [19].

$$s(t) = \sum_{k=1}^K s_k g_k(t) \quad (3,3)$$

Burada s_k bilginin taşındığı karmaşık iletim sembollerini, $g_k(t)$ ise ortonormal bazlı darbeleri ifade eder. Daha sonra ise karmaşık iletim sembolleri Denklem 3,4'deki gibi ifade edilebilir [19].

$$s_k = x_k + jy_k \quad (3,4)$$

İlk olarak sinyallerin modüle edilip taşınması işlemi matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir [24]:

Gücü P_s olan bir mesaj sinyali örnek olarak alınır, yayılım kod dizisinin, kod dizisi $g(t)$ sinyali ile çarpıldıktan sonra modüle edilmiş hali Denklem 3,5'deki gibi ifade edilebilir.

$$s(t) = \sqrt{2P_s}d(t)g(t) \quad (3,5)$$

Veri dizisinin yayılım dizisi ile çarpılması ilk modülasyon, daha sonra aynı dizinin bir taşıyıcı ile çarpılması ise ikinci modülasyon olarak tanımlanır. Eğer taşıyıcı olarak sinüzoidal analog bir sinyal alınır, bahsedilen veri dizisi Denklem 3,6'daki gibi yazılabilir.

$$s(t) = \sqrt{2P_s}d(t)g(t)\sin(2\pi f_c t) \quad (3,6)$$

Alıcı tarafında aynı sinyalin taşıyıcı ile tekrar çarpılması ile Denklem 3,7'deki ifade elde edilir.

$$alc(t) = \sqrt{2P_s}d(t)g(t)\sin^2(2\pi f_c t) \quad (3,7)$$

$$\sin^2(2\pi f_c t) = \frac{1 - \cos(4\pi f_c t)}{2} \quad (3,8)$$

Denklem 3,8 kullanılarak, alıcıya ulaşan $alc(t)$ ifadesi yeniden Denklem 3,9'daki gibi ifade edilebilir.

$$alc(t) = \sqrt{2P_s}d(t)g(t)\left(\frac{1 - \cos(4\pi f_c t)}{2}\right) \quad (3,9)$$

$4\pi f_c t$ ifadesi çift frekanslı ikincil terim olduğu için bu ifade filtrelenerek Denklem 3,10 elde edilir.

$$alc(t) = \sqrt{2P_s}d(t)g(t) \quad (3,10)$$

Son olarak ise sinyal ilk durumda olduğu gibi kod dizisi $g(t)$ ile çarpılır.

$$alc(t) = \sqrt{2P_s}d(t)g(t)g(t) \quad (3,11)$$

$g(t)$ fonksiyonunun kendisi ile ilintisi belirli bir sayısal değere eşit olduğu için bu değer mesaj sinyalinden kolay bir şekilde elimine edilir ve böylece mesaj sinyali Denklem 3,12'deki gibi elde edilmiş olur.

$$alc(t) = \sqrt{2P_s}d(t) \quad (3,12)$$

Modülasyon, taşıyıcının fazında, frekansında, genliğinde veya bu değerlerin birleşiminde ki değişimlerle bilginin haritalanması olarak da ifade edilebilir. Sürekli dalga modülasyonunda Denklem 3,5'te olduğu gibi taşıyıcı olarak sinüzoidal dalgalar kullanılır. Taşınacak veri taşıyıcı dalganın genliğine yüklendiğinde genlik modülasyonu, açısına yüklendiğinde açı modülasyonu olarak ifade edilir. Açı modülasyonu ile frekans modülasyonu (FM) ve faz modülasyonu (PM) olarak iki farklı modülasyon gerçekleştirilebilir. Ayrıca ayrı bir sinyal için darbe pozisyon ve darbe süre modülasyonu kullanan sistemler de mevcuttur. [19,24].

3.4.1. Sürekli dalga modülasyonu

1-Genlik modülasyonu

Taşıyıcı genliğinin ana sinyale göre değişim gösterdiği modülasyona genlik modülasyonu denir. A_c ve f_c taşıyıcının genlik ve frekans değerlerini göstermek üzere, sinüzoidal bir taşıyıcı dalga,

$$c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) \quad (3,13)$$

şeklinde ifade edilebilir. Eğer ana sinyal $m(t)$ ve genlik hassaslık katsayısı ise k_a olarak ifade edilirse, zamana göre değişim gösteren genlik modülasyonlu bir dalga,

$$s(t) = A_c [1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t) \quad (3,14)$$

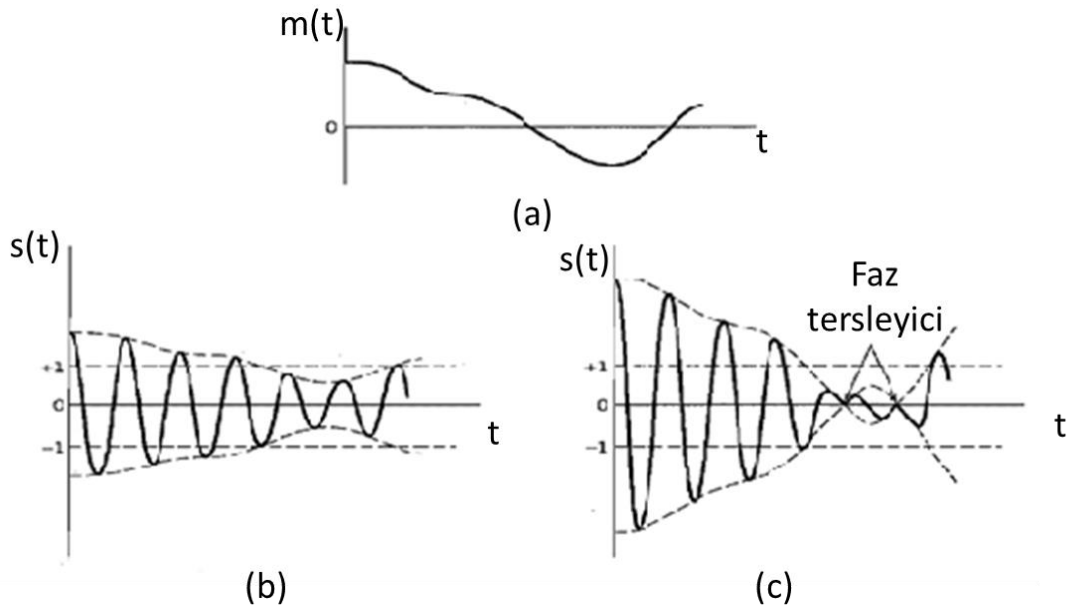
şeklinde ifade edilir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta hassaslık katsayısının tüm t değerleri için Denklem 3,15'deki koşulu sağlamasıdır.

$$|k_a m(t)| < 1 \quad (3,15)$$

Eğer bu koşul sağlanmazsa kosinüs çarpanı yani $s(t)$ dalgasının zarfı bozulmaya gider ve zarfın sıfıra gittiği her durumda taşıyıcının fazı yön değiştirir ve böylece aşırı (over) modülasyon denilen olay gerçekleşir. Bu durum Şekil 3.11’de gösterilmiştir.

Ayrıca taşıyıcı frekansının değeri her zaman ana sinyalin en büyük frekans değerinden yani sinyalin bant genişliği W ’den daha büyük olmalıdır. Aksi bir durumda dalganın zarfı yine bozulmaya uğrar.

$$f_c \gg W \quad (3,16)$$



Şekil 3.11. Genlik modülasyonu işleminin gösterilmesi. (a) Temel bant sinyali $m(t)$, (b) tüm t değerlerinde $|k_a m(t)| < 1$ değeri için AM sinyali, (c) tüm t değerlerinde $|k_a m(t)| > 1$ değeri için AM sinyali [19]

2-Açı modülasyonu

Taşıyıcı açısının ana sinyale göre değişim gösterdiği modülasyona açı modülasyonu denir. Eğer $\theta_i(t)$ taşıyıcının açısı ve A_c genliği olarak alınırsa, açı modülasyonlu dalga,

$$s(t) = A_c \cos[\theta_i(t)] \quad (3,17)$$

şeklinde ifade edilebilir. Açı modülasyonu kendi içerisinde faz ve frekans modülasyonu olarak ikiye ayrılır [19,24].

Faz modülasyonu (PM):

$\theta_i(t)$ açısının ana sinyal $m(t)$ ile lineer bir şekilde değiştiği modülasyon çeşididir.

$$\theta_i(t) = 2\pi f_c t + k_p m(t) \quad (3,18)$$

Burada $2\pi f_c t$ henüz modüle edilmemiş taşıyıcının açısını ve k_p ise modülatörün faz hassaslık katsayısını temsil eder. Böylece faz modülasyonlu dalga Denklem 3,19'daki gibi ifade edilebilir [19,24].

$$s(t) = A_c \cos[2\pi f_c t + k_p m(t)] \quad (3,19)$$

Frekans modülasyonu (FM):

Anlık frekans $f_i(t)$ 'nin ana sinyal $m(t)$ ile lineer bir şekilde değiştiği modülasyon çeşididir.

$$f_i(t) = f_c + k_f m(t) \quad (3,20)$$

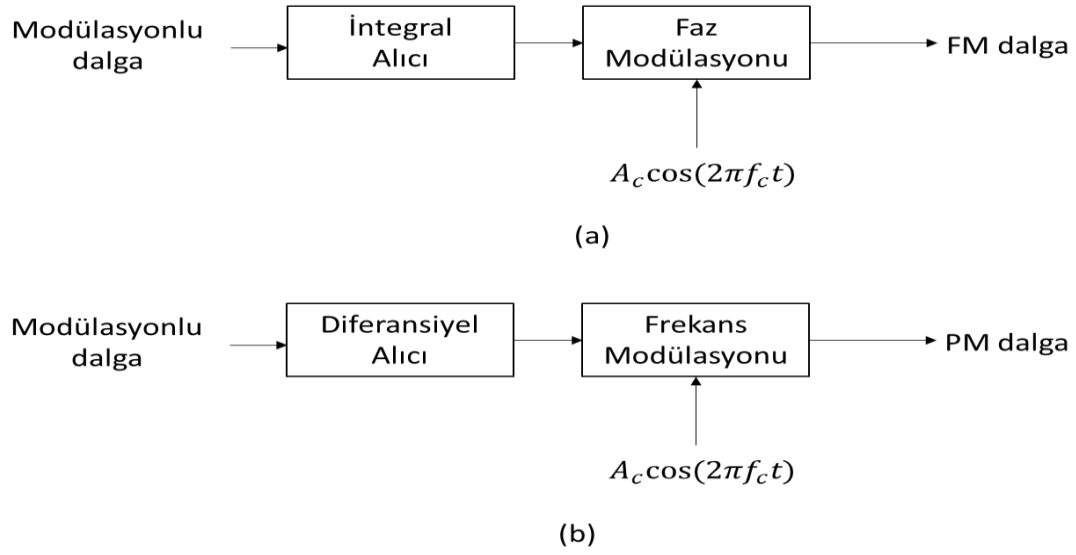
Denklem 3,20'de f_c henüz modüle edilmemiş taşıyıcının frekansını ve k_f modülatörün frekans hassaslık katsayısını temsil eder. Eğer Denklem 3,20'nin zamana göre integrali alınıp 2π ile çarpılırsa, taşıyıcının açısı,

$$\theta_i(t) = 2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(\tau) d\tau \quad (3,21)$$

şeklinde ifade edilebilir. Böylece frekans modülasyonlu dalga Denklem 3,22'deki gibi ifade edilebilir.

$$s(t) = A_c \cos[2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(\tau) d\tau] \quad (3,22)$$

PM ve FM dalgaların oluşum aşamaları Şekil 3.12'de gösterilmiştir [19].



Şekil 3.12. Frekans modülasyonu ile faz modülasyonu arasındaki farkın gösterilmesi. (a) Faz modülasyonu kullanılarak FM dalgasının üretilmesi, (b) Frekans modülasyonu kullanılarak PM dalgasının üretilmesi

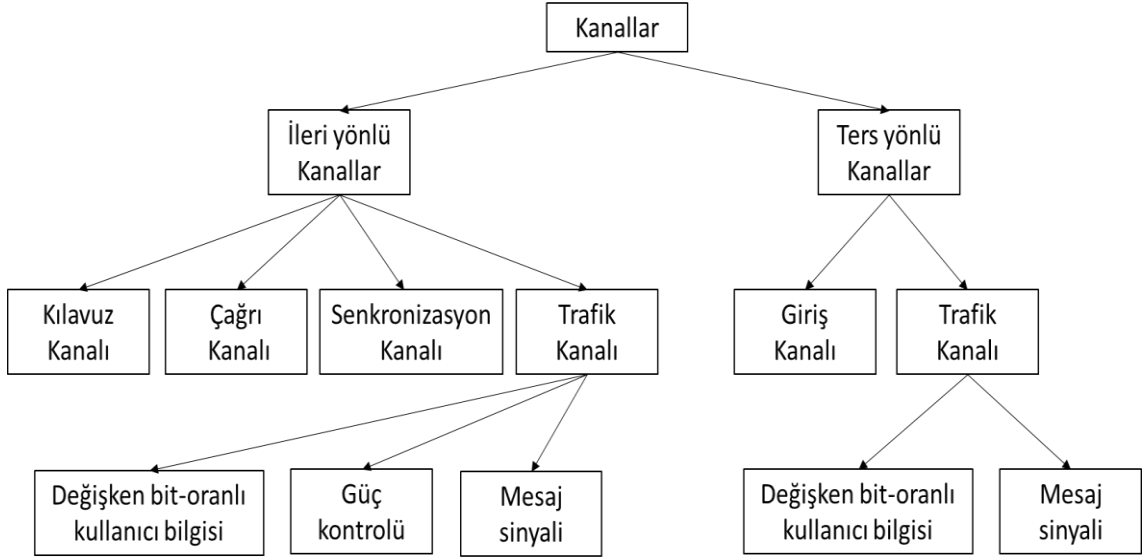
3.5. Kanallar

Mobil haberleşme sistemlerinde kullanılan iletişim kanalları ileri ve ters yönlü kanallar olmak üzere ikiye ayrılır. İleri yönlü kanallar yani baz istasyonundan gezgin cihaza doğru olan kanallar:

- Kılavuz kanalları
- Çağrı kanalları
- Senkronizasyon kanalları
- Trafik kanalları

Ters yönlü yani gezgin cihazdan baz istasyonu yönüne doğru olan kanallar:

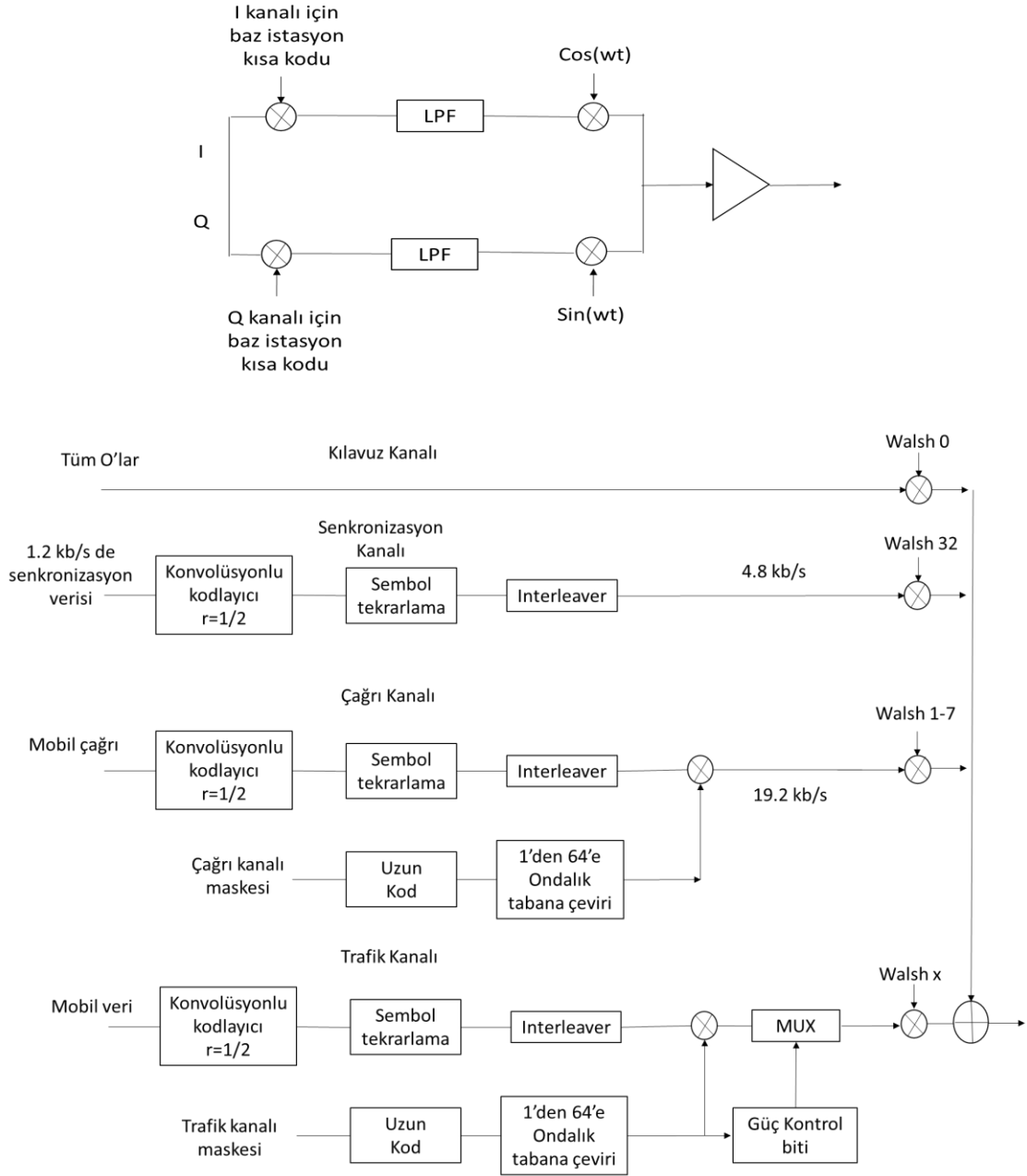
- Giriş kanalları
- Trafik kanalları



Şekil 3.13. İleri ve ters yönlü kanallar [27]

3.5.1. İleri yönlü kanallar

Bir baz istasyonunda, 1 kılavuz kanalı, 1 senkronizasyon kanalı, 8 çağrı kanalı ve gidiş gelişler için kullanılan trafik kanalları olmak üzere toplamda maksimum 64 kanal bulunmaktadır. Şekil 3.14 ileri yönlü kanalların kullanımını göstermektedir [27].



Şekil 3.14. İleri yönlü kanalların hücreler arasındaki bağıntısı ile gösterimi

İleri yönlü kanallar da kendi içerisinde dört başlık altında incelenir [27].

a)-Kılavuz kanalları:

Sıfırın Walsh kod [27] tarafından kılavuz kanallarda sürekli 0'ıncı kod sinyallerinin iletimi sağlanır. Böylece hepsi sıfırlardan oluşan uzun bir bit dizisi oluşur.

Buda kılavuz kanalların iyi bir sinyal gürültü oranına sahip olmasına ve gezgin cihazın baz istasyonunu kolay bir şekilde bulmasını sağlar.

b)-Senkronizasyon kanalları:

Sistemin zamanını, senkronizasyon kanallarının yerel konumlandırılmalı uydu (GPS) zamanının yardımı ile ölçülebilir. Sistem zamanı sistemin fonksiyonlarını senkronize etmek için kullanılır.

c)-Çağrı kanalları:

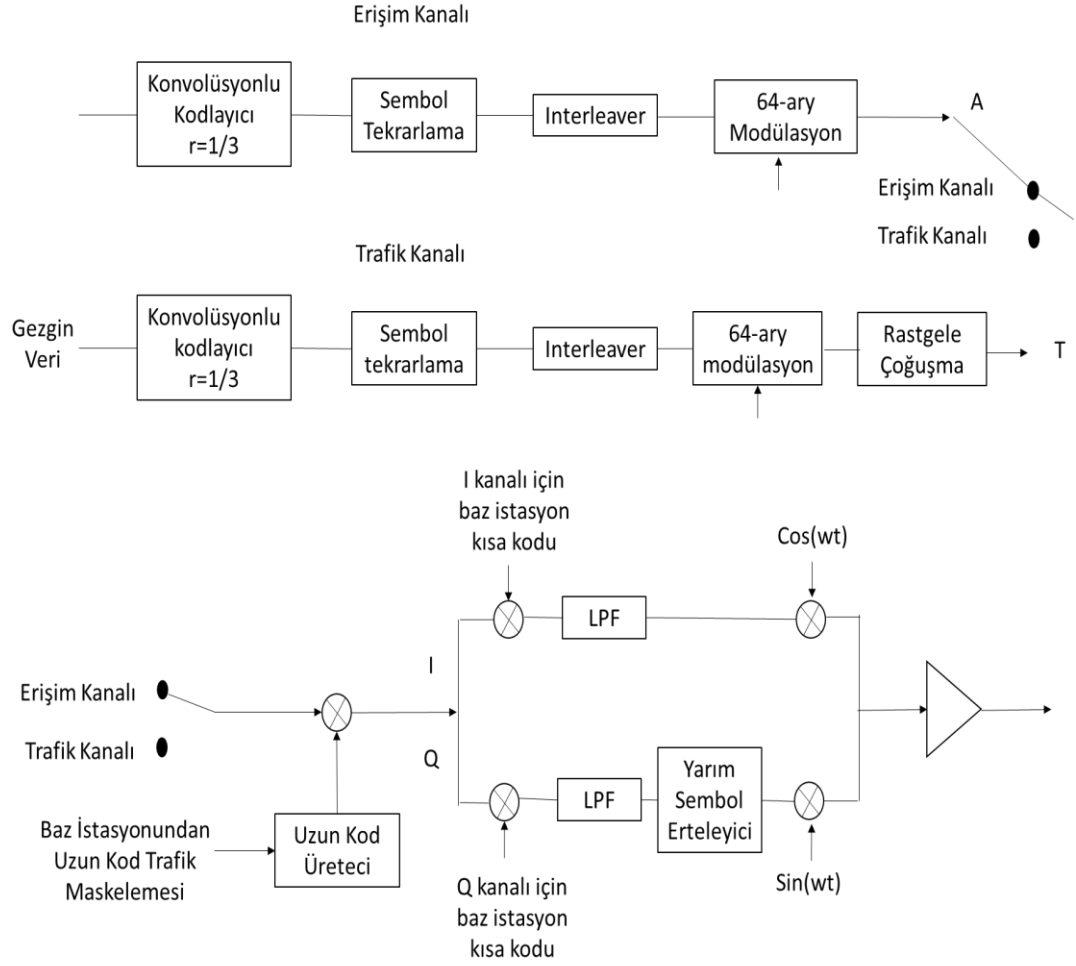
Çağrı kanalında mobil seri elektronik kimliklendirme numarası (ESIN) içeren ve aynı zamanda uzun kodları kapsayan veri, baz istasyonu tarafından gönderilir.

d)-Trafik kanalları:

Bugünkü teknoloji ile, baz istasyonları aynı zamanda 54 gezgin cihaza kadar trafik veri iletişimi sağlayabilir. Bu kanal ayrımı ise Walsh kodlar tarafından sağlanır. Bu ayrıca frekans temelli bir kanallama yerine kod bölmeli çoğullamadır. Walsh kodları sadece baz istasyonları tarafından kullanılır ve bu şekilde, ileri yönlü bağlantılarda eş zamanlı CDMA, ters yönlü bağlantılarda ise eş zamansız CDMA olur.

3.5.2. Ters yönlü kanallar

Ters yönlü kanallar giriş (erişim) ve trafik kanalları olmak üzere iki çeşittir. Kanal yapısı ileri yönlü kanallar ile kısmen benzerdir. Fakat ters yönlü kanallarda 64-ary modülasyonu bulunmaktadır. Şekil 3.15 ters yönlü kanalların kullanımını göstermektedir [27].



Şekil 3.15. Ters yönlü kanalların gösterimi

64-ary modülasyon:

Bu modülasyon çeşidi 64 farklı bit dizisinden oluşmaktadır ve dizilerin her birine birer Walsh kodu atanmıştır. Bu modülasyonun farklı bitlerin kullanımı ile oluşturulmuş başka çeşitleri de bulunmaktadır. Aslında sinyalin henüz taşıyıcı frekansına dönüşmediği düşünüldüğünde 64-ary modülasyonu bir modülasyon çeşidi olarak değil de, bir yayılım fonksiyonu olarak tanımlamak daha doğru olacaktır.

4. VEKTÖR, SİNYAL ve HİLBERT UZAYLARI

CDMA'nın yaygın olarak kullanılmasının ve sürekli geliştirilmesinin sebeplerinden biri de bu teknolojiye kullanılan iletim sinyallerin tümünün birbirine dik olmasıdır. Böylece sinyallerin iletim hattında birbirine karışması engellenmiş olur. Diklik kavramının anlaşılabilmesi için öncelikle vektör ve sinyal uzayı kavramlarının anlaşılması gerekir.

4.1. Vektör Uzayı

Sayısal iletişimi daha iyi analiz etmek ve tek seferde daha fazla ve daha hızlı bilgi aktarımı için sinyaller grafik ya da semboller ile ifade edilebilir. Diğer bir sayısal kodlama çeşidi olan sembolik kodlama ise sinyallerin vektörel boyuta dönüştürülüp iletildiği kodlama türüdür. Bu kodlama ile ayrık ve sürekli sinyaller vektörel boyuta dönüştürülerek sinyaldeki işe yaramayan gereksiz bilgiler çıkarılır ve daha kompakt bir sinyal elde edilir. Sinyalin vektörel boyuta dönüştürülmesi işlemi sinyal alanı denilen bir alanda meydana gelir ve sinyalin sinyal alanında incelenebilmesi için bazı özellikleri sağlaması gerekir.

İlk olarak n boyutlu bir " v " vektör uzayı ele alınırsa,

$$[v_1 \ v_2 \ \dots \ v_n] \quad (4,1)$$

eğer e_i birim veya baz vektörü olarak düşünülürse " v " vektörü Denklem 4,2'deki gibi ifade edilebilir [28].

$$v = \sum_{i=1}^n v_i e_i, \quad 1 \leq i \leq n \quad (4,2)$$

Bu özellikteki n boyutlu iki vektörün iç çarpımı (inner product) ise Denklem 4,3'teki gibi ifade edilir.

$$v_1 \cdot v_2 = \sum_{i=1}^n v_{1i} v_{2i} \quad (4,3)$$

Bu şekilde m tane vektör için bu vektörlerin dikliği ancak aşağıda verilen şartlarda gerçekleşir [28].

$$v_i \cdot v_j = 0 \quad (4,4)$$

$$1 \leq i, j \leq m, i \neq j \quad (4,4a)$$

Eğer bu vektörler birbirine dik ve her biri birim norma sahip ise bu m vektörün elemanları ortonormaldir. Ortonormal vektörlerin elde edilmesi için pratikte genellikle gram-schmidt yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemle göre rastgele seçilmiş bir v_1 vektörünün normalize edilmiş hali Denklem 4,5'deki gibi elde edilir [28].

$$u_1 = \frac{v_1}{\|v_1\|} \quad (4,5)$$

$\|v_1\|$, v_1 vektörünün normu olarak ifade edilir ve bir vektörün normu,

$$\|v\| = (v \cdot v)^{1/2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n v_i^2} \quad (4,6)$$

şeklinde ifade edilir.

u_1 vektörünü kullanarak v_2 vektörünün normalizasyonu,

$$u'_2 = v_2 - (v_2 \cdot u_1)u_1 \quad (4,7)$$

$$u_2 = \frac{u'_2}{\|u'_2\|} \quad (4,8)$$

şeklinde bulunur.

Aynı şekilde u_2 vektörü kullanılarak v_3 vektörünün normalizasyonu Denklem 4,9'daki gibi yazılabilir. Böylece bu işlemler yapılarak tüm ortonormal vektörlerin kümesi bulunabilir [28].

$$u'_3 = v_3 - (v_3 \cdot u_1)u_1 - (v_3 \cdot u_2)u_2 \quad (4,9)$$

$$u_3 = \frac{u'_3}{\|u'_3\|} \quad (4,10)$$

Haberleşme alanında kullanılan sinyaller genellikle karmaşık değerli sinyallerdir. Bu sebeple birbirine dik olan sinyalleri tanımlarken bu sinyallerin karmaşık değerlikte olduğu düşünülerek diklik kavramı yeniden aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\langle x_1(t), x_2(t) \rangle = \int_a^b x_1(t)x_2^*(t)dt \quad (4,11)$$

Denklem 4,11'deki $x_1(t)$ ve $x_2(t)$ sinyallerinin birbirine dik olması için iç çarpımları sıfıra eşit olmalıdır.

Herhangi bir $x(t)$ sinyalinin normu ise Denklem 4,12'deki gibi tanımlanır.

$$\|x(t)\| = (\int_a^b |x(t)|^2 dt)^{1/2} \quad (4,12)$$

Haberleşme alanında kullanılan sinyalleri vektörel olarak ifade etmek için herhangi bir lineer $x(t)$ sinyali, fourier seri teoremi kullanılarak aşağıdaki gibi yazılabilir [17,29]:

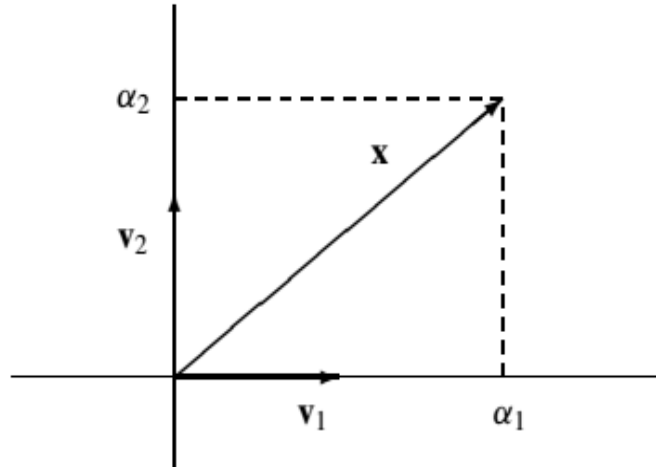
$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos\left(2\pi \frac{k}{T} t\right) - \sum_{k=1}^{\infty} b_k \sin\left(2\pi \frac{k}{T} t\right) \quad (4,13)$$

Kosinüs ve sinüs dalgalarının genlikleri aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T \cos\left(2\pi \frac{k}{T} t\right) x(t) dt \quad (4,14a)$$

$$b_k = -\frac{2}{T} \int_0^T \sin\left(2\pi \frac{k}{T} t\right) x(t) dt \quad (4,14b)$$

Burada kosinüs ve sinüs dalgaları bilgi sinyalinin bazı (temeli) olarak düşünülebilir ve her sinyal Denklem 4,13'e göre bu bazın bir parçasıdır. Bu sinüs ve kosinüs sinyalleri Şekil 4.1'deki gibi gösterilebilir. Şekilden de görüldüğü gibi v_1 ve v_2 birbirine dik olan kosinüs ve sinüs sinyallerini ifade etmektedir [17,29].



Şekil 4.1. İki boyutlu bir sinyal vektörü [17]

4.2. Sinyal Uzayı

Vektör uzayı için geçerli olan kuralların çoğu sinyal uzayı için de geçerlidir. Sonlu enerjiye sahip Denklem 4,15'deki gibi bir $s(t)$ sinyali ele alınırsa,

$$\int_{-\infty}^{\infty} |s(t)|^2 dt < \infty \quad (4,15)$$

bu sinyalin de vektör uzayının sahip olduğu iç çarpım ve toplama gibi özelliklere sahip olduğu görülür. Denklem 4,16'daki gibi $s(t)$ ve $r(t)$ sinyallerinin iç çarpımı 0'a eşit ise bu sinyallerin birbirine dik olduğu söylenebilir.

$$\langle s, r \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} s^*(t)r(t)dt \quad (4,16)$$

Sonlu enerjiye sahip $s(t)$ sinyali ortonormal bir baz içerisinde aşağıdaki gibi ifade edilebilir [17]:

$$s(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \alpha_k v_k(t) \quad (4,17)$$

$$\alpha_k = \langle v_k, s \rangle \quad (4,18)$$

$v_k(t)$: ortonormal baz sinyali

α_k : $s(t)$ vektörünün, baz vektörü $v_k(t)$ yönündeki bileşeni

Sinyal uzayı da yine gram-schmidt yöntemi kullanılarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

Sonlu enerjiye sahip sinyal kümesinden $\{s_i(t), i = 1, 2, \dots, M\}$ ortonormal bir küme oluşturulursa, ilk sinyal olan $s_1(t)$ sinyalinin ortonormal şekli aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$f_1(t) = \frac{s_1(t)}{\sqrt{\varepsilon_1}} \quad (4,19)$$

ε_1 : $s_1(t)$ sinyalinin enerjisi

İkinci eleman ise $s_2(t)$ ve $f_1(t)$ sinyalleri kullanılarak,

$$c_{12} = \int_{-\infty}^{+\infty} s_2(t)f_1(t)dt \quad (4,20)$$

$$f_2'(t) = s_2(t) - c_{12}f_1(t) \quad (4,21)$$

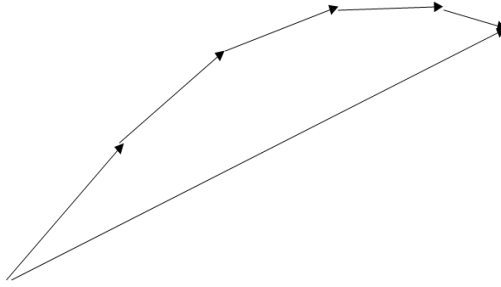
şeklinde gösterilebilir. Eğer ε_2 , $f_2'(t)$ 'nin enerjisini ifade ederse sinyalin ortonormal şekli Denklem 4,22'deki gibi elde edilir.

$$f_2(t) = \frac{f_2'(t)}{\sqrt{\varepsilon_2}} \quad (4,22)$$

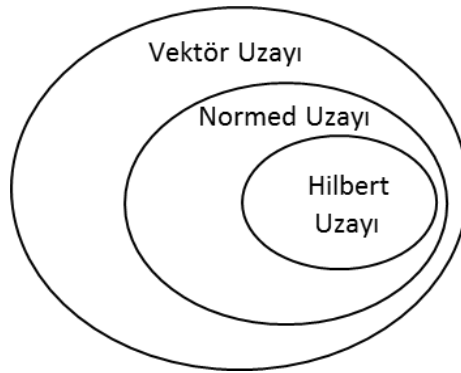
Bu işlemler yardımıyla tüm ortonormal sinyaller (bazlar) elde edilebilir.

4.3. Hilbert Uzayı

Hilbert uzayına verilebilecek en uygun örnek öklid uzayıdır. Bu uzayda skaler çarpımlar kullanılır ve öklid uzayının bu skaler çarpımlarının sahip olduğu özellikleri de sağlaması gerekir. Skaler çarpım kuralları sağlanarak iki vektörün çarpılmasına ise iç çarpım denir. Bu sınırlı boyuta sahip vektörlerin çarpılması ile oluşmuş iç çarpım uzayı aynı zamanda hilbert uzayıdır (Şekil 4.2) [30]. Ayrıca vektör uzayı, normed uzayı ve hilbert uzayı Şekil 4.3'deki gibi kümelendirilebilir.



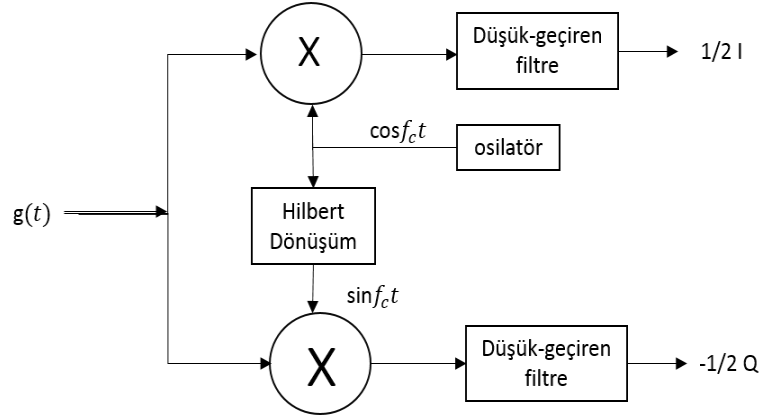
Şekil 4.2. Hilbert uzayının vektörel gösterimi



Şekil 4.3. Çeşitli uzayların kümelendirilmesi [31]

4.3.1. Hilbert Dönüşüm

Dijital sinyal işlemede sıklıkla verilen gerçel sinüsoidal bir sinyalin kendisine dik sanal bileşeni (Quadrature part) türetilmek istenir. Bu dönüşümü gerçekleştiren işleme Hilbert Dönüşümü denir. Hilbert Dönüşümü böylece herhangi bir gerçel sinyali analitik forma dönüştürür. Bu dönüşümü gerçekleştiren donanım Şekil 4.4'te verilmiştir [27]. Bu donanım ile elde edilen sinyal aslında OFDM teknolojisinde kullanılan sinyaldir.



Şekil 4.4. Hilbert dönüşümün modülasyondaki rolü

Şekil 4.4'te görüldüğü gibi Hilbert Dönüştürücü, kosinüs taşıyıcısından bir de buna dik sinüs taşıyıcısını üretmektedir. Bu işlemi, verilen kosinüs sinyalini bir kapasitans vasıtasıyla -90° kaydırarak yapmaktadır. Yazılımsal olarak Hilbert dönüşümü verilen bir kosinüs veya herhangi bir lineer sinyali özel bir fonksiyon olan $\frac{1}{\pi t}$ ile konvolv edilerek kendisine dik sanal kısmı elde edilmektedir (Denklem 4,23).

Herhangi bir $g(t)$ sinyalinin Hilbert Dönüşümü matematiksel olarak Denklem 4,23'deki gibi ifade edilebilir [32].

$$H[g(t)] = g(t) * \frac{1}{\pi t} = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{g(\tau)}{t-\tau} d\tau = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{g(t-\tau)}{\tau} d\tau \quad (4,23)$$

Bu denklemde kullanılan $\frac{1}{\pi t}$, sinyalde bulunan sinüs harmoniklerin kosinüsünü kosinüs harmoniklerinin sinüsünü üretme amaçlı özel bir fonksiyondur. Frekans domeninde ise $\frac{1}{\pi t}$ fonksiyonunun fourier dönüşümü Denklem 4,24'te verildiği gibi

harmoniklerin fazlarını 90° kaydırma işlemini gerçekleştirir [27]. Bu işlem ile gerçel bir sinyal analitik forma dönüşmüş olur.

$$F\left(\frac{1}{\pi t}\right) = -j \operatorname{sgn}(f) \quad (4,24)$$

Böylece $g(t)$ fonksiyonunun frekans domeninde ki Hilbert Dönüşümü aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\hat{G}(f) = -j \operatorname{sgn}(f) G(f) \quad (4,25)$$

Hilbert Dönüşümün Özellikleri:

1- Frekansın işaretine bağlı olarak spektral bileşenlerin fazının değiştirildiği özel bir filtre çeşididir.

2-Sinyalin 90° kaydırılması onu asıl sinyale dik yapar.

3-Sinyalin sadece fazında değişiklik olduğu için Hilbert Dönüşüm ile sinyalin genliğinde ve enerjisinde hiçbir değişiklik olmaz.

Hilbert Dönüşüm ile ilgili detaylı bilgiye [27,32] kaynaklarından ulaşılabilir.

5. ÇOKLU ERİŞİM TEKNİKLERİ

Birden fazla kullanıcının ortak haberleşme kanalını paylaşması veya paylaşmak istemesi nedeniyle karşılaşılan karışım gibi bazı problemleri gidermek ve mevcut kanal kapasitesinin kullanıcılara nasıl tahsis edileceğini belirlemek için çoklu erişim teknikleri geliştirilmiştir. Bu teknikler ile yapılan düzenlemeler her kullanıcının ortak kanala erişiminde izleyeceği çoklu erişim protokol kurallarını içermektedir. Çoklu erişim tekniklerinin anlaşılması için öncelikle modülasyon ve çoğullama kavramlarının bilinmesi gerekir. Modülasyon, daha önce de bahsedildiği gibi taşıyıcının fazında, frekansında, genliğinde veya bu değerlerin birleşiminde ki değişimlerle bilginin haritalanmasıdır. Çoğullama ise iletişim kanalının birden çok veri kanalı tarafından paylaşılması olarak tanımlanabilir.

Çoklu erişim teknikleri geçmişten günümüze kadar genel olarak FDMA (Frekans Bölmeli Çoklu Erişim), TDMA (Zaman Bölmeli Çoklu Erişim) ve CDMA (Kod Bölmeli Çoklu Erişim) olarak sıralanabilir. Bu tekniklerin dışında da birçok teknik kullanılmıştır fakat tez içerisinde sadece yaygın olarak kullanılan çeşitlerinden bahsedilecektir. 1G hücresel sistemlerinde çoklu erişim tekniği olarak sadece FDMA kullanılırken, 2G sistemlerinde FDMA'nın yanı sıra TDMA ve CDMA teknolojileri kullanılmaktadır. 3G sistemlerinde ise, 2G platformuna çoklu-ortam yeteneği kazandırılıp 144 kbit/sn'den 2 Mbit/sn'ye kadar yüksek veri hızı desteği sunulabilmektedir. 3G sistemlerinde kullanılan teknolojilere örnek olarak CDMA2000 ve UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) verilebilir [33].

FDMA veya TDMA ile yapılan kanal ayırımında, frekans kanalları arasında artık spektrum ve zaman kanalları arasında da artık zaman olduğundan, bu sistemler orta kalitede bir sistem kapasitesine sahiptir. FDMA, kullanıcılara farklı frekans dilimleri tahsis ederken TDMA, kullanıcılara farklı zaman dilimleri tahsis eder. Diğer taraftan CDMA sistemi, tüm kullanıcılara bütün frekans bandını tahsis eder ve kullanıcıları, benzersiz PN (Pseudo Noise-sahte gürültü) dizileri kullanarak işaretlerini modüle etmek kaydıyla ayırır. CDMA sisteminde kodlar arasında artık boşluklar bulunmadığından, kanal kapasitesi diğerlerine göre daha yüksektir [33]. Buna ilaveten CDMA, yayılım

spektrum tekniğini kullanan çoklu erişim teknolojisi olduğundan geniş bantlıdır ve bundan dolayı da dar bantlı sistemlerin bazı istenmeyen özelliklerinden kurtulmaktadır.

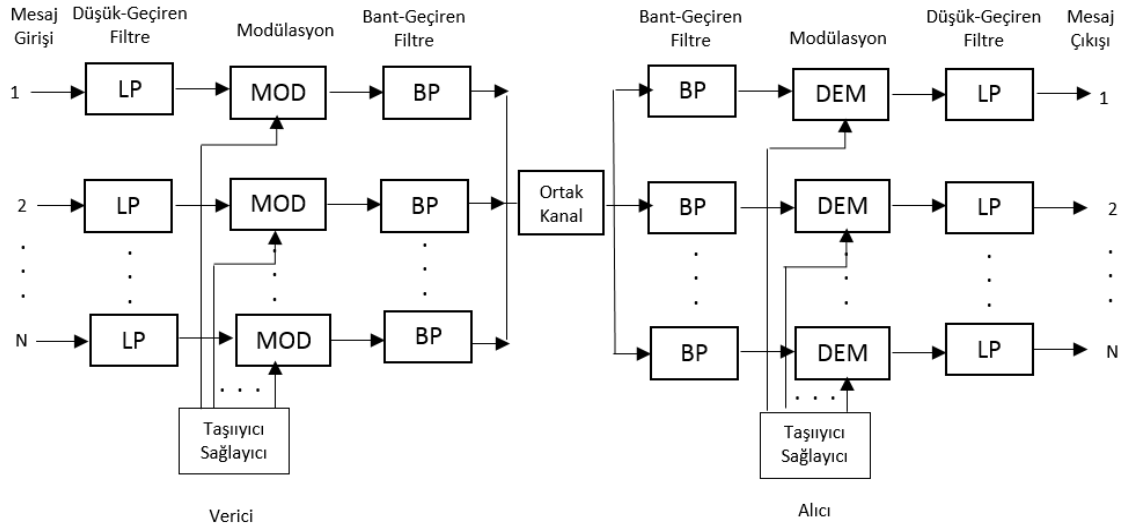
OFDM ise frekans seçimli kanallarda sinyal iletimi için yaygın bir şekilde kullanılan tekniktir. Temel olarak bu teknikte, kanal bant genişliği bölünerek her bir taşıyıcı için tahsis edilen frekanslarda düşük hızlardaki taşıyıcıların çoğullanması sağlanır. Bant genişliğinden daha fazla yararlanmak için ise dik frekans bölmeli çoğullama tekniği önerilmiştir. OFDM, genel olarak veri akışını düşük hızlı alt taşıyıcılara bölerek paralel kanallarda ileten bir modülasyon ve çoğullama tekniğidir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan 3G ve 4G sistemleri ağırlıklı olarak çoklu erişim teknolojilerinden OFDM ve Geniş Bant CDMA (W-CDMA) protokollerini kullanmaktadır. Dolayısıyla bu iki yapı tezin akışı içerisinde detaylı bir şekilde incelenecektir. Herhangi bir çoklu erişim protokolünün sahip olması gereken özellikleri şu şekilde sıralamak mümkündür:

- Sistemdeki kullanıcılara, ortak iletim kanalının paylaşılmasını sağlamak.
- Protokol, kullanıcıların kanala erişimde kurallara itaat edip etmediklerinin kontrolünü yapmalıdır. Kanal kapasitesinin kullanıcılara tahsisinin kontrolü protokolün sorumluluğunda olmalıdır.
- Protokol, iletim olanaklarının verimli kullanılmasını sağlayarak bunları tahsis etme işlemini yapmalıdır. Verimlilik çoğunlukla, kanal net çıkış verimi ve iletimde gecikme ile ölçülür.
- Protokol ses veya veri gibi farklı trafik tiplerine imkan verecek esneklikte olmalıdır.

5.1. FDM

Çoklu erişim teknikleri kullanılarak sinyallerin birleştirilmeden önce frekanslarına ya da zamanlarına göre birbirinden ayrılması ile birbirine karışmaması engellenir. Bu ayrılma frekans boyutunda olursa buna FDM (frekans bölmeli çoğullama) denir. Şekil 5.1 FDM tipi bir çoğullamanın genel yapısını göstermektedir [17]. Şekilden de görüldüğü gibi ilk olarak sinyal, alçak geçiren bir filtreden (LP) geçirilerek yüksek frekanslı bileşenleri sinyalden çıkarılır. Bu şekilde sinyal istenmeyen gürültülerden arındırılır. Daha sonra sinyalin istenilen frekans aralığında tutulması için frekans

oranları, modülasyon (MOD) yardımı ile kaydırılır. Modüle edilen sinyal son olarak bant geçiren bir filtreden (BP) geçirilerek, sinyalin tam olarak istenilen bant aralığında olması sağlanır. Aynı bant aralığına sahip olan sinyaller ortak bir kanalda birleştirilerek iletim sağlanır. Alıcı tarafında ise vericide gerçekleşen işlemler ters yönde gerçekleştirilerek, yani ilk olarak bant geçiren filtre sonrasında demodülasyon (DEM) ve en son olarak alçak geçiren bir filtreden geçirilen sinyaller ilk durumlarına dönüştürülür [19].

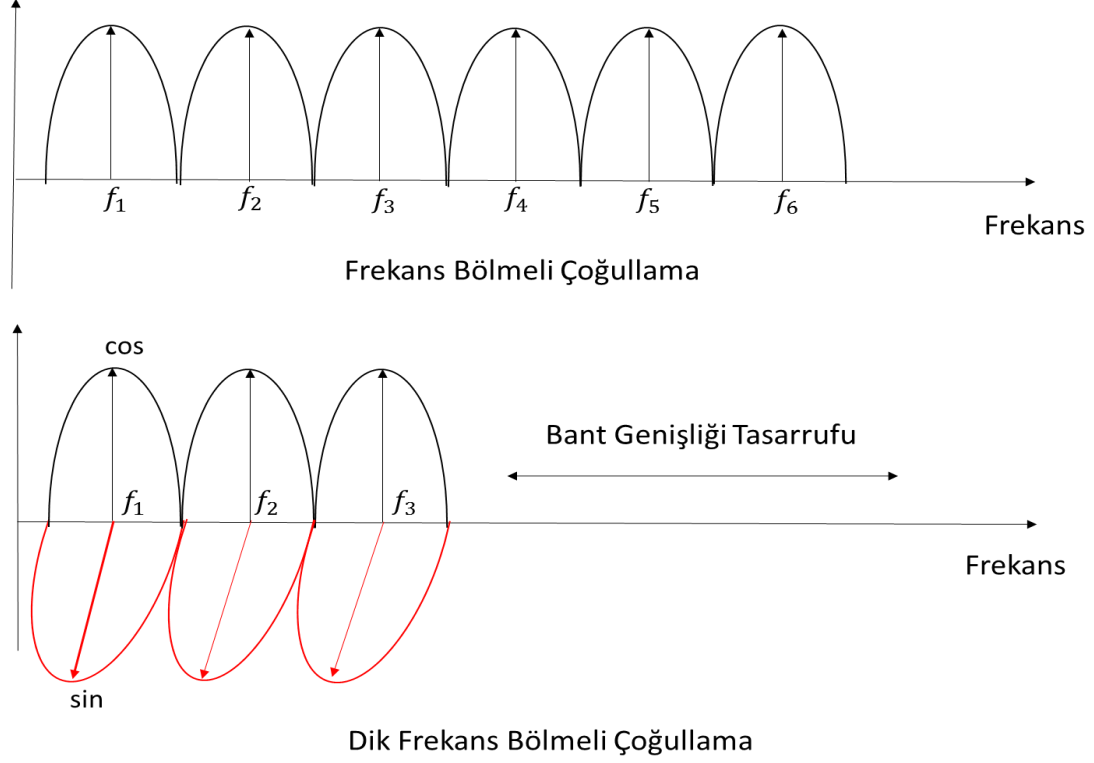


Şekil 5.1. FDM blok diyagramı

5.2. OFDM

Çoklu erişim tekniklerinde sinyallerin iletilmesi için kullanılan radyo dalgalarının sınırlı bant genişliği ve kanal sayısına sahip olması, OFDM tekniğinin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. OFDM, FDM teknolojisinin özel bir çeşididir. OFDM ile FDM arasındaki en temel fark; OFDM sisteminde taşıyıcı spektrumları birbiri üzerine binmekte ve bu taşıyıcıların birbirlerine dik olması sayesinde spektral verimlilik elde edilmektedir. Bu durum Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Diğer çoklu erişim tekniklerinde olduğu gibi OFDM’de de dijital verinin dalgalar üzerine bindirilerek iletilmesi esası vardır. Fakat diğer tekniklerin aksine OFDM de sinyaller frekanslarına göre alt sinyallere bölünerek paralel olarak iletim sağlanır. FDM’den farklı olarak ise taşıyıcılar

birbirine diktir. Böylece bant genişliğinden tasarruf edilmiş olunur [27]. Bu durum Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi iletim sinyali birbirine dik olan kosinüs ve sinüs dalgaları ile taşınarak bant genişliği tasarrufu sağlanmıştır.

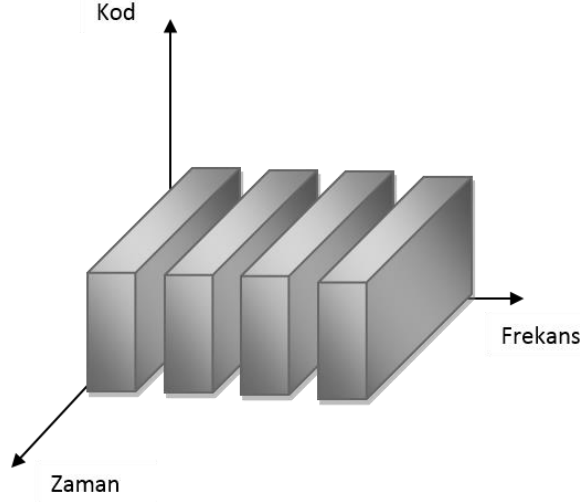


Şekil 5.2. OFDM ile kazanılan bant genişliği

5.3. FDMA

FDMA tekniğinde sistem için tahsis edilmiş bant genişliği, kanal olarak adlandırılan belli sayıda dilimlere ayrılır. Konuşma boyunca her bir kullanıcıya bu kanallardan biri tahsis edilir ve tahsis edilen her bir kanal için bir frekans bandı ayrılır. Bu kanalın farklı bir kullanıcı tarafından kullanılabilmesi için ilk kullanıcının görüşmesinin bitmiş olması gerekir. FDMA tekniği sembolik olarak Şekil 5.3’de gösterilmiştir. Bu teknik birinci nesil analog hücresel sistemlerden, TACS (Toplam Erişim Haberleşme Sistemleri - Total

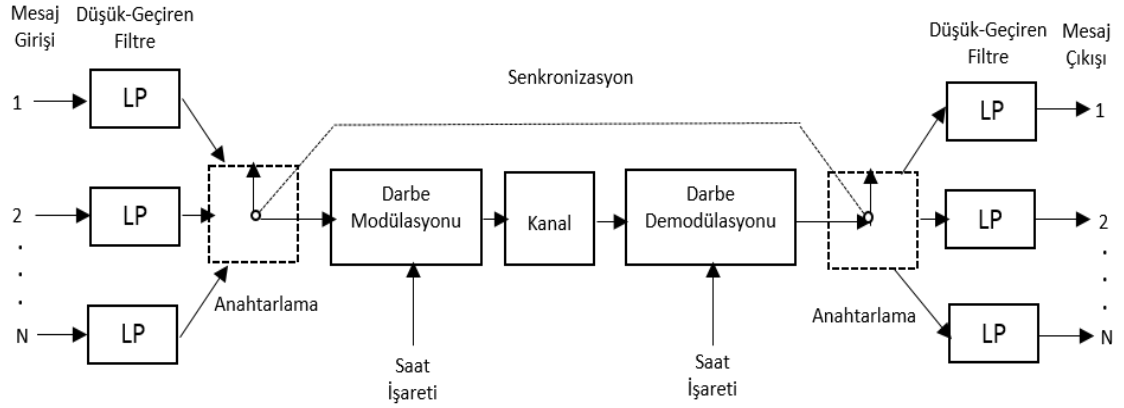
Acces Communication System) ve AMPS (Gelişmiş Mobil Telefon Hizmeti - Advanced Mobile Phone Service) tarafından kullanılmıştır [19].



Şekil 5.3. FDMA

5.4. TDM

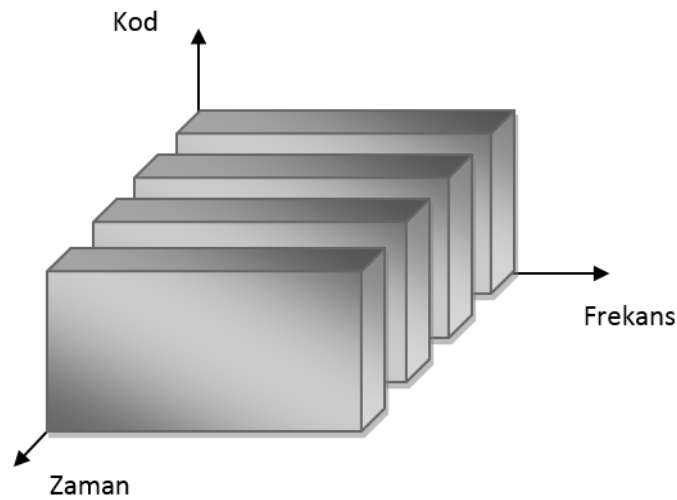
Sinyallerin belli bir kurala göre zamansal olarak bölütlenerek karıştırılması sonucu tek kanaldan iletilmesi eylemine TDM (Zaman Bölmeli Çoğullama) denir. Alıcı tarafında yine aynı kural ile karıştırılan sinyalleri ayırıştırma eylemine ise zaman bölmeli ayırıştırma (demultiplexing) denir. Şekil 5.4 zaman bölmeli bir çoğullamanın genel yapısını göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi frekans bölmeli çoğullamada olduğu gibi sinyaller ilk olarak alçak geçiren bir filtreden (LP) geçirilerek, sinyaldeki istenmeyen gürültüler çıkarılır. Frekans bölmeli çoğullamanın aksine, sinyallerin modüle edilmeden önce elektronik bir anahtarlama biriminden geçirilerek kanalda iletimi sağlanır. Böylece giriş sinyallerinden daha küçük aralıklarda örnek alınmış, diğer bir deyişle bant aralığı daraltılmıştır. Son olarak modüle edilen sinyal kanalda iletilmesi için uygun şekle getirilir. Frekans bölmeli çoğullamada olduğu gibi kanalda iletimi sağlanan sinyal alıcı tarafına geçmeden önce, tanımında ifade edildiği gibi, uygulanan işlemlerin tersi uygulanarak sinyal tekrar elde edilir [19].



Şekil 5.4. TDM blok diyagramı [19]

5.5. TDMA

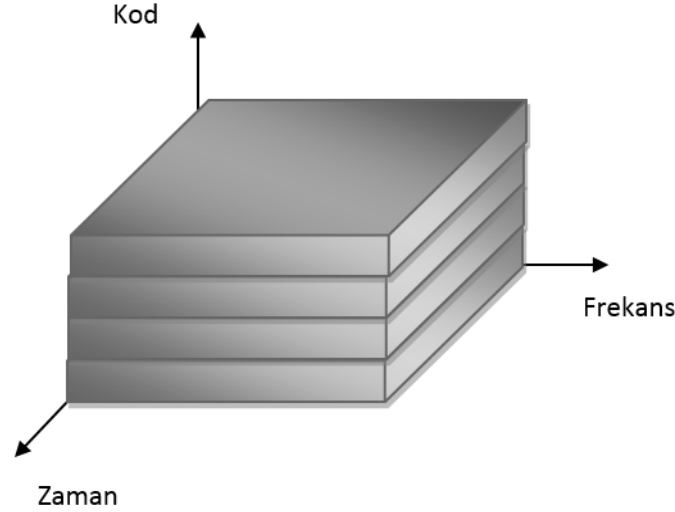
FDMA'nin aksine kullanıcılarının aynı frekans kanalını kullanmalarına izin verildiği çoklu erişim tekniğidir. Bu çoklu erişim tekniğinde ise kullanıcı sinyallerinin zamanlarına göre bölünmesi söz konusudur. Her kullanıcı kendisine ayrılan zaman bölmesini kullanır. Şekil 5.5'te TDMA sembolik olarak gösterilmiştir. TDMA aslında TDM'nin bir çeşididir. Fakat ikisi arasındaki en önemli fark TDM de bir alıcı ve bir verici kullanılmasına rağmen TDMA de birden çok verici sürece katılabilir. TDMA sistemleri yaygın olarak 2G sistemlerinde kullanılmaktadır [19].



Şekil 5.5. TDMA

5.6. CDMA

CDMA, farklı kullanıcıların aynı fiziksel ortamı yani aynı zaman ve frekans bant aralığını paylaştığı çoklu erişim teknolojisidir. Diğer çoklu erişim tekniklerinin aksine kullanıcıların kodlara göre birbirinden ayrımı söz konusudur. Bu ayrımın yapılabilmesi için ise yayılım spektrumu denilen bir teknik geliştirilmiştir.



Şekil 5.6. CDMA

CDMA Sistemlerinde Güç Kontrolü

CDMA sistemleri her bir gezginin (mobilin) güç seviyesini, onun baz istasyonuna yakınlığı ve uzaklığına göre gerekli miktarda ve aynı oranda olacak şekilde ayarlarlar. Bu, CDMA sistemlerinin güç kontrolünde ne kadar öneme sahip olduğunu göstermektedir. Aşağıda IS-95 ve CDMA2000 sistemlerinde güç kontrolünün nasıl gerçekleştiğinden kısaca bahsedilmiştir.

IS-95 sistemlerinde güç kontrolü açık ve kapalı çevrim olmak üzere iki şekilde yapılır. Açık çevrimde baz istasyonu ile herhangi bir haberleşme olmadan, ileri ve ters yönlü bağlantılardaki frekans farkı kullanılarak güç kontrolü yapılır. Kapalı çevrimde ise baz istasyonu gezgin cihazdan gelen sinyale göre güç seviyesini ölçerek, seviyenin azaltılması veya artırılmasına göre komut üretir. Kapalı çevrimde ayrıca harici bir güç

kontrol metodu kullanılmaktadır. Bu metotta ise gezgin cihaz ve baz istasyonunun çerçeve hata oranı (FER) ölçülerek, güç kontrolü yapılır.

Haberleşme sistemlerinde güç kontrolü şu şekilde açıklanabilir. Baz istasyonuna çok yakın bir gezgin terminali düşünelim, eğer uygun ölçümler alınmamışsa ve gezgin terminal onun maksimum gücüyle iletim yapıyorsa, diğer kullanıcıların sinyali doğal olarak daha düşük güç ile alıcıya ulaşacaktır ve tam bir iletişim sağlanamayacaktır. Bu sorun literatürde yakın-uzak etkisi olarak bilinir.

Yukarıdaki örnekten de anlaşıldığı gibi iletişimin düzgün ve doğru bir şekilde yapılabilmesi için yukarı bağlantıdaki tüm sinyallerin baz istasyonundan eşit güç ile alınması gerekir. Bu özellik, amacı sinyallerin iletim seviyelerini ayarlamak olan ve güç kontrolü olarak bilinen mekanizma sayesinde gerçekleştirilir. Ayrıca zayıf bir güç kontrolü kapasitede önemli azalmalara sebep olur.

Güç kontrolü yukarı bağlantıda olduğu kadar aşağı bağlantıda da büyük öneme sahiptir. Fakat genelde aşağı bağlantıda yukarı bağlantıda olduğu gibi güç kontrolü yapmaya gerek kalmamaktadır. Çünkü yukarı bağlantı ile çoğu kullanıcı aynı zamanda tek bir baz istasyonuna iletim yapmakta ve bu kullanıcıların baz istasyonuna olan uzaklıkları girişime neden olmaktadır. Aşağı bağlantıda ise verinin tek bir baz istasyonundan kullanıcılara ayrı ayrı dağıtımı söz konusu olduğu için sorun olmamaktadır.

CDMA sistemlerinde kapasite yani girişim seviyesi hesaplamaları aşağıda verilmiştir [17,27]:

$$I = C(M - 1) \quad (5,1)$$

M : sistemdeki kullanıcı sayısı

I : toplam girişim gücü

C : taşıyıcı gücü

Taşıyıcı/Girişim oranı:

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{C(M-1)} = \frac{1}{(M-1)} \quad (5,2)$$

İstenilen servis kalitesini elde etmek için girişim kadar sinyal gürültü oranı da önemlidir.

Sinyal Gürültü Oranı (SNR)

Sinyal gürültü oranı ise genelde E_b/I_0 (her bir bilgi bitinin enerjisinin girişim spektral yoğunluğuna oranı) olarak ifade edilir (Denklem 5,3) [34].

$$\frac{E_b}{I_0} = \frac{C/R}{I/W} = \frac{W}{R} \frac{C}{I} = \frac{W}{R} \frac{1}{M-1} \quad (5,3)$$

Burada W sinyalin chip oranını, R ise bilgi kaynağının bit oranını ifade etmektedir. İfade sadeleştirildiğinde ise W/R oranının taşıyıcı girişim oranı ile çarpımı elde edilmektedir. W/R oranı ise ilerde bahsedilecek olan işlem kazancı i_k 'dir.

Sonuçta hücrede hizmet verebilecek kullanıcı sayısı M , Denklem 5,4'deki gibi ifade edilebilir.

$$M \cong \frac{W}{R} \frac{1}{\frac{E_b}{I_0}} \quad (5,4)$$

Yukarıdaki formüllerden de görüldüğü gibi sistemin kapasitesi, sinyal gürültü oranı E_b/I_0 'a göre kazanç faktörünün bir fonksiyonudur. Denklem 5,4'ten de anlaşıldığı gibi düşük bir E_b/I_0 oranı sistemin kapasitesini arttıracaktır. Burada dikkat edilmesi gereken diğer bir konu ise tüm kullanıcıların aynı güç seviyesine sahip olduğu düşünülerek girişimleri toplanmıştır. Eğer kullanıcıların güç seviyelerinin eşit olmadığı düşünülürse C/I oranı geçerli olmaz.

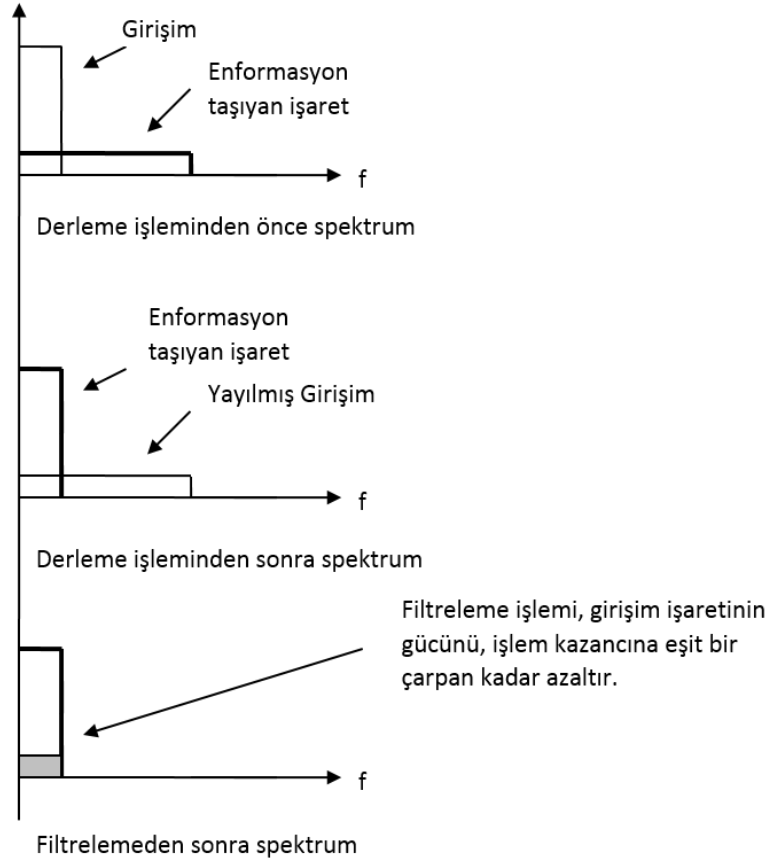
Yayılım işlemi ikili '0' ve '1' veri sinyallerinin, yayılım kodları ile birleştirildikten sonra iki sinyalin çarpımı ile oluşur. Kaynak sinyal üretmeyi bıraktığında, teorik olarak harcanan güç sıfırdır [34].

CDMA İle Gönderilmiş Bir Verinin Demodülasyonu (Derlemesi)

Bilgi taşıyan sinyalin alıcı tarafında elde edilebilmesi için alınan sinyal kullanıcılara atanan aynı $m(t)$ kodu ile çarpılır. Bu işleme derleme denir. Derleme işleminin

yapılabilmesi için $m(t)$ kodunun alıcı tarafında da bilinmesi gerekir. Ayrıca ilk başta kullanılan $m(t)$ kodu iletimde kullanılan kod ile senkronize edilmelidir.

İletilen sinyal üzerindeki dar bantta bir girişim yani bozulmanın olduğu düşünülürse, böyle bir durumda derleme işlemi ile bozucu etkiye sahip olan kod sistemden çıkarılır ve bilgi kurtarılmış olur. Fakat aynı zamanda girişim sinyali, yüksek bit chip oranına sahip bir dizi ile çarpılır. Bu, bant genişliğinin artmasına güç spektral yoğunluğunun ise azalmasına neden olur. Derleme olayı Şekil 5.7’de grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekildeki düşük geçiren filtrenin kullanılmasının sebebi bilgi taşıyan sinyalin kurtarılması ve girişim sinyalinin gücünün, işlem kazancının değerinde düşürülmesidir [35].



Şekil 5.7. CDMA tekniği ile girişimin kabul edilmemesi [33,35]

Yukarıda verilmiş olan örnek geniş bantlı girişimler için de geçerlidir. Fakat geniş bantlı işaret termik gürültü seviyesinden aşağıda olabileceğinden, yayma kodunu

bilmeden işaretin tespiti zordur. Bu nedenle, bu sistemlerin ilk çıkışı askeri uygulamalara dayanmaktadır.

Herhangi bir kanal bant genişliğinde, kullanıcı bit hızının düşük olması durumunda yüksek, kullanıcı bit hızının yüksek olması durumunda ise düşük işlem kazançları elde edilir. 2 Mbit/sn'lik kullanıcı veri hızlarında işlem kazancı 2'den küçüktür ($3.84 \text{ Mchip/sn} \div 2 \text{ Mbit/sn} = 1.92$ veya 2.8 dB). Böylece CDMA dalga şeklinin girişime karşı sağlamlığından açıkça ödün verilmiş olur [33].

W-CDMA CDMA'nin artık günümüz teknolojisinin ihtiyaçlarını karşılayamaması ile bant genişliği arttırılarak oluşturulmuş geniş bantlı bir çoklu erişim tekniğidir ve CDMA'nin tüm özelliklerini taşımaktadır.

5.7. W-CDMA

W-CDMA sistemleri CDMA'nin geniş bantlı versiyonu olarak birçok ülkenin (Avrupa, Japonya, Kore, Amerika ve Çin) ortaklığı ile 3GPP (üçüncü nesil ortaklık projesi) adı altında ortaya çıkarılmıştır. 3GPP de W-CDMA, UTRA FDD (Evrensel Karasal Radyo Erişimi Frekans bölmeli çiftlemesi) ve UTRA TDD (Evrensel Karasal Radyo Erişimi Zaman bölmeli çiftlemesi) olmak üzere iki şekilde adlandırılır. 3G'ye geçişte GSM temelli şebekelerin desteklenmesi amacıyla geliştirilmiştir. W-CDMA Avrupa'da, Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemleri (UMTS) olarak da bilinir [33].

CDMA ve sonrasında W-CDMA'nin de bulunması ile artık ikinci nesilden (2G) üçüncü nesile (3G) tam olarak geçiş sağlanmıştır. 3G teknolojisi, kablosuz haberleşmede kullanılan ses iletişiminin yanında yüksek hızlarda multimedia, veri ve video iletişimi yapılabilmesi için çıkarılmış bir teknolojidir. 3G sistemlerinin tasarım amaçlarından birisi de kanal kullanımını yani bant genişliğini 5 MHz'a sınırlamaktır. Daha sonra mevcut erişim teknolojilerinin birleştirilmesiyle, farklı erişim teknolojileri de elde edilmeye çalışılmıştır. Bunlara örnek olarak, W-CDMA ile TDMA teknolojilerinin birleştirildiği zaman-kod bölmeli çoklu erişim (TD-CDMA) veya Evrensel Mobil Telekomünikasyon-Zaman Bölmesi (IMT-TC) verilebilir. Kablosuz hücresel sistemlerin gelişimi ve bir saniyedeki veri iletişim hızları Tablo 5.1'de verilmiştir [36].

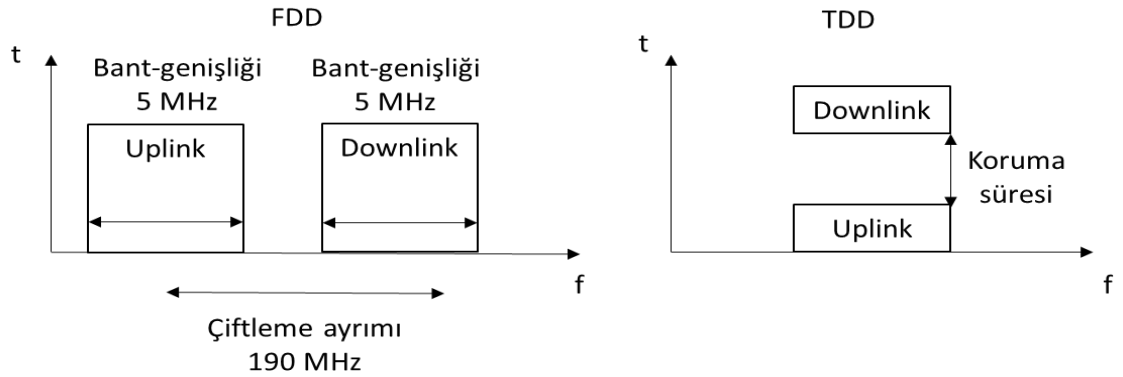
Tablo 5.1. Hücresel kablosuz sistemlerin gelişim süreci

	1G	2G	2.5G	3G	3.5G	4G
Kullanılan Teknoloji	AMPS	IS-95 GSM	CDMA2000	UMTS	HSDPA	LTE
Hız	≤ 10 kbps	9.6-64 kbps	64-144 kbps	384 kbps- 2 Mbps	384 kbps- 20 Mbps	≥ 20 Mbps

5.7.1. TDD-FDD

Haberleşme sistemlerinde üç farklı çiftleme metodu kullanılır. Bunlar; TDD (zaman bölmeli çiftleme), FDD (frekans bölmeli çiftleme) ve SDD (boşluk bölmeli çiftleme) teknikleridir.

FDD metodunda diğer metotların aksine yukarı ve aşağı bağlantı için ayrı frekans bandına ihtiyaç duyulur. TDD metodunda aynı frekans bandı kullanılmasına rağmen iletim yönü zamanla değişir. SDD ise daha çok yol göstericili antenlerin kullanıldığı sabit noktalı iletimlerde kullanılır. Şekil 5.8 FDD ve TDD metotlarının çalışma prensiplerini göstermektedir. Buradaki aşağı bağlantı (Downlink), baz istasyonundan gezgin cihaza olan iletişimi, yukarı bağlantı (Uplink) ise gezgin cihazdan baz istasyonuna olan iletişimi göstermektedir.



Şekil 5.8. FDD ve TDD metotlarının genel gösterimi

Haberleşme sistemlerinde UMTS radyo ara yüzü 3GPP tarafından UTRA ağı (UTRAN) olarak isimlendirilmiştir. UTRA TDD metodu özet olarak, CDMA bileşenlerinin TDMA'ye eklenmesi ile oluşur. Bu sebeple TD/CDMA olarak da bilinir. Farklı kullanıcı sinyallerinin zaman ve kod eksenlerinde birbirinden ayrımı söz konusudur. Tablo 5.2 UTRA'nın fiziksel katmanları, FDD ve TDD arasındaki farkı özetlemektedir.

Tablo 5.2. UTRA TDD ve FDD fiziksel katmanlarının karşılaştırılması [33]

Parametre	UTRA TDD	UTRA FDD
Çoklu erişim teknolojisi	TDMA, CDMA	CDMA
Çiftleme metodu	TDD	FDD
Kanal boşluğu	5 MHz/1.66 MHz	5 MHz
Taşıyıcı çift oranı	3.84 Mcps/1.28 Mcps	3.84 Mcps
Zaman dilimi yapısı	15/14 dilim/çerçeve	15 dilim/çerçeve
Çerçeve uzunluğu	10 ms	10 ms
Çoklu-oran konsepti	Çoklu kod, çoklu dilim ve OVSF (dik değişkenli yayılım faktörü)	Çoklu kod ve OVSF
Modülasyon	QPSK/8PSK	QPSK
Çoğuşma çeşidi	Trafik çoğuşması, rastgele erişim ve senkronizasyon çoğuşması	Uygulanmıyor
Demodülasyon	Eş evreli	Eş evreli
İntra frekans-handover	Sert handover	Yumuşak handover
İnter frekans-handover	Sert handover	
Yayılım faktörü	1.....16	4.....512

W-CDMA sistemlerinin bant genişliği 5 MHz'dir ve bu değer iletişim teknolojilerinin geliştirilmesi ile sürekli olarak artış göstermektedir. Fakat bütün önerilerde nominal bant genişliği 5 MHz olarak verilmiştir. Bunun birkaç nedeni vardır:

İlki, 144 kbps ve 384 kbps'lik veri hızları makul kapasitede 5 MHz bant genişliği ile sağlanır. Sınırlı şartlarda 2 Mbps'lik hıza da ulaşılabilir. İkincisi, mevcut ikinci nesil sistemlerin bulunduğu frekans bandında kurulum zorluğu ile karşılaşıldığında minimum tahsis gerekmesidir. W-CDMA, kullanıcı verisini 5 MHz'lik bant içinde yayan yaygın spektrum tekniğini kullanır. Yaygın bant genişliği W-CDMA içinde yayma ve çözme süreçlerinden oluşmakta olup, 2G sistemleri ve onların gelişmiş sürümleri üzerinde kapasitenin artmasını sağlar. Yaygın bant genişliği taşıyıcıları (ya da kanalları) nedeniyle W-CDMA kullanımı için yeni bir spektruma ihtiyaç duyulmakla birlikte yeni baz istasyonu ve kullanıcı cihazları da gerekir [33].

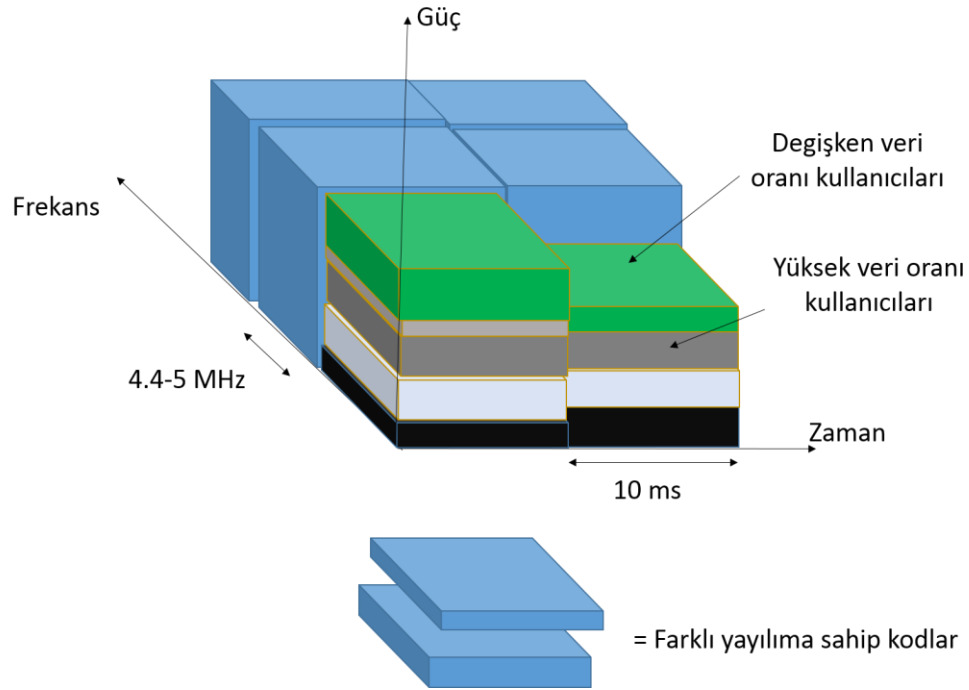
Aşağıda maddeler halinde W-CDMA hava ara yüzü ile ilgili olarak bazı özellikler belirtilmiştir [33,37].

- W-CDMA aslında Geniş Bant DS-SS (Doğrudan Dizi-Kod Bölmeli Çoklu Erişim) sistemi olarak bilinir ve kullanıcı bilgi bitleri CDMA yayılım kodlarından elde edilen bitler ile çarpılarak geniş banda yayılım sağlanır. 2 Mbps'e kadar olan yüksek bit oranlarının desteklenmesi için değişken yayılım faktörü ve çoklu kod bağlantıları desteklenmiştir. Bunun bir örneği Şekil 5.9'da gösterilmiştir.
- 3,84 Mcps'lik (c =chip) chip oranı yaklaşık olarak 5 MHz'lik bant genişliğine sahip bir taşıyıcıya öncülük etmektedir. IS-95 gibi 1 Mhz band genişliğine sahip DS-SS sistemleri genelde dar bant SS sistemlerine tercih edilir. W-CDMA'nın geniş bant özelliği yüksek kullanıcı veri oranlarını destekler. Ayrıca bu sistemlerin arttırılmış çoklu yol çoğullama gibi kesin performans faydaları da vardır. Network operatörü kapasiteyi arttırmak için birçok 5 MHz'lik taşıyıcıyı hiyerarşik hücre tabakalarının şekline göre dağıtabilir. Şekil 5.9'da bu özellik gösterilmiştir. Asıl taşıyıcı boşluğu, taşıyıcılar arasındaki girişime bağlı olarak 4.4 ve 5 MHz arasında 200 kHz'lik şebekeden seçilir.
- W-CDMA çok değişkenli kullanıcı veri oranlarını desteklemektedir. Her 10 ms çerçevede, kullanıcı veri oranı sabit tutulmuştur. Fakat kullanıcılar arasındaki veri kapasitesi çerçeveden çerçeveye değişebilir.

- W-CDMA FDD ve TDD olmak üzere iki temel operasyon modelini desteklemektedir. FDD modda yukarı ve aşağı bağlantıda iki farklı 5 MHz'lik taşıyıcı frekansı kullanılırken, TDD modda yukarı ve aşağı bağlantıda 5 MHz'lik zaman paylaşımli sadece bir taşıyıcı kullanılır.
- W-CDMA sistemleri asenkron özellikteki baz istasyonlarının çalıştırılmasını desteklemektedir. Böylece senkron özellikteki IS-95 sistemlerinden farklı olarak GPS gibi bir zaman referanslı yerel sisteme ihtiyaç yoktur. GPS işaretinin alımına gerek duyulmadığı için kapalı ve mikro baz istasyonların yayılımı daha kolaydır.
- W-CDMA, kılavuz semboller veya genel kılavuzların kullanımı ile yukarı ve aşağı bağlantı üzerinde uyumlu bir demodülasyon işlemi yürütür.
- W-CDMA, GSM sistemi ile birlikte çalıştırılacakmış gibi tasarlanmıştır. Bu sebeple, W-CDMA sisteminin takdiminde GSM kapsamasının kullanılacağı düşünülürse, GSM ve W-CDMA arasındaki aktarmalar desteklenmelidir. Tablo 5.3'te W-CDMA sisteminin parametreleri genel olarak verilmiştir.

Tablo 5.3. W-CDMA parametreleri [37]

Çoklu erişim metodu	DS-CDMA
Çiftleme metodu	FDD/TDD
Baz istasyonu senkronizasyonu	a-senkronizasyon işlemi
Çip oranı	3.84 Mcps
Çerçeve uzunluğu	10 ms
Servis çoğullaması	Farklı kalitedeki servis ihtiyaçlarının bir bağlantıda çoğullanması ile çoklu servisler
Çoklu oran konsepti	Değişken yayılım faktörü ve çoklu kod
Demodülasyon	Kılavuz sembol veya genel kılavuzlar kullanılarak uyum
Çoklu kullanıcı demodülasyonu	Standartlar tarafından desteklenmiştir



Şekil 5.9. W-CDMA sistemlerinin zaman-frekans-kod uzayındaki bant genişliği tahsisi [37]

W-CDMA Sistemlerinin Kapasitesi

CDMA sistemlerinde kullanıcıların farklı sinyallerinin farklı kodlar kullanılarak birbirinden ayrıldığı daha önce belirtilmişti. Teoride bu sinyaller arasında girişim olmadığı kabul edilir. Pratikte ise yayılım koşulları, kullanılan dizilerin dik olma özelliğini azaltır. Sonuçta iletim sayısı girişimden dolayı sınırlanmıştır.

Birinci ve ikinci nesil sistemlerin aksine kaynaklar üzerinde, taşıyıcı sayısı zaman dilimi gibi önceden belirlenen bir sınırlama yoktur. Yeni bir arama, girişim seviyesi istenilen seviyeye gelmediği sürece kabul edilemez. Girişim seviyesinden dolayı meydana gelen kapasite sınırlamasına şöyle bir örnek verilebilir. İki farklı çift birbirleriyle normal bir ses tonunda konuştuğunda arka plandaki gürültü bu kişilerin birbirini anlamasını zorlaştırabilir. Bu çiftler farklı dillerde yani farklı kodlarla konuşursa ise birbirlerini anlayabilirler (çiftlerin konuşulan dili bildikleri kabul edilmiştir). Fakat bu çiftlerden biri kendisini daha iyi duyurabilmek için yüksek ses

tonuyla konuşmaya başlarsa girişim denilen yani diğer kullanıcıların iletişimini engelleyen durum gerçekleşir. Bu nedenle gerekenden fazla güç kullanımının hücrelerin kapasitesini etkilediği açıkça görülmektedir [33,35].

5.7.2. Neden W-CDMA

W-CDMA beraberinde pek çok yeni özelliği ve faydayı sunan bir ara yüz teknolojisidir. W-CDMA teknolojisinin faydaları aşağıdaki gibi özetlenebilir [38].

a) Esnek oluşu:

W-CDMA her biri 5 MHz genişliğindeki taşıyıcı bantlarının yardımı ile saniyede 8 kbit'ten 2 Mbit'e kadar veri iletimi sağlayan çeşitli servisleri destekleyebilmektedir. W-CDMA aynı anda hem devre anahtarlama hem de paket anahtarlama teknikleriyle çalışan servisleri aynı frekans bandı üzerinde destekleyebildiğinden tek bir cihaz yardımıyla, kullanıcı multimedya uygulamalarından ve devre anahtarlama bağlantı uygulamalarından aynı anda yararlanabilmektedir [38].

b) Frekans spektrumunun etkin kullanımı:

W-CDMA radyo teknolojisi mevcut 200 kHz'lik frekans spektrumunu etkin şekilde kullanabilecek yeteneğe sahiptir. W-CDMA'nın yanında HCS (Hiyerarşik Hücre Yapısı – Hierarchical Cell Structure) ve Coherent (eş zaman ve frekanslı) demodülasyon teknikleri de mevcut network kapasitesini artırabilmektedir.

3G sistemler için tasarlanan şebeke yapısında her bir hücre katmanı 10 MHz'lik bir frekans bandına ihtiyaç duyduğundan 2 veya 3 katmanlı şebekede 30 MHz'lik bir frekans bandında çalışabilir [38].

c) Şebeke kapasitesinin artırılması:

W-CDMA radyo frekans (RF) alıcı vericileri dar bant alıcı vericilere göre 8 kat daha etkin bir şekilde ses trafiğini yönetebilir. Böylece her bir RF taşıyıcısı ile 80 adet eşzamanlı ses çağrısını veya 50 adet veri uygulamasını gerçekleştirebilir [38]. Daha büyük bir bant genişliğinde yapışık demodülasyon ve hızlı güç kontrol tekniğinin kullanımı hem aşağı hem de yukarı bağlantıda veri iletiminde avantaj sağlamaktadır.

Şebeke kapasitesinin artırılmasına yönelik olarak kullanılan tekniklerden biri de hiyerarşik hücre yapısıdır. HCS, W-CDMA taşıyıcıları arasında mobil yardımcı ara frekansı olarak adlandırılan yeni bir yöntem kullanmaktadır [38].

d) Ses trafiği kapasitesinin artırılması:

W-CDMA tekniği, ses trafik spektrumunun etkin kullanımı ile desteklenir. Böylece 30 MHz'lik bir frekans bandında her bir hücre için en az 192 ses çağrısını aynı anda gerçekleştirir [38].

e) Çeşitli servislere aynı anda erişebilme:

W-CDMA tekniği, 3G sistemler için kullanılacak bant genişliğinin yardımıyla hem devre anahtarlama hem de paket anahtarlama servislerinin desteklenebilmesini sağlamaktadır. Bu servisler de mevcut bant genişliği içerisinde rastgele dağıtılmaktadır. Bu dağıtımda göz önünde bulundurulacak tek parametre uygulamanın ihtiyaç duyduğu servis kalitesi (QoS) seviyesidir. Böylece her bir W-CDMA terminali (mobil telefon, PDA gibi) ses çağrıları yaparken aynı anda faks, e-mail gönderimi gibi servislerden de yararlanabilmektedir [38].

f) Hızlı servis erişimi:

4G servisler için hem multimedya servislerine erişilebilmesi hem de saniyede 384 kbit veri iletim oranına ihtiyaç duyan paket veri servislerinden yararlanılabilmesi için bir rastgele erişim prosedürü geliştirilmiştir [38]. Bu prosedürde bir mobil kullanıcı ile baz istasyonu arasında bağlantının kurulabilmesi için sadece birkaç mili saniyeye ihtiyaç duyulmaktadır.

g) Eş zamansız radyo erişimi:

W-CDMA, radyo baz istasyonlarının senkronize bir şekilde çalışabilmesini sağlamaktadır. Kendine özgü bir haberleşme altyapısına sahip olarak farklı bir sistemle senkronize çalışma zorunluluğundan kurtulmuştur. W-CDMA'nın sahip olduğu bu fonksiyon şu şekilde açıklanabilir. CDMA/IS-95 sistemi bazı uygulamaları gerçekleştirebilmek için GPS sistemi ile senkronize çalışmak zorundadır. Böyle bir zorunluluk ise hem uygulamanın yönetilebilmesini zorlaştırmakta hem de pahalı bir hale getirmektedir [38].

h) Ekonomi:

W-CDMA sisteminin 2G dijital bir hücreli şebekeye adapte edilmesi ve hem 2G hem de 3G şebeke arasında sorunsuz bir çalışma ortamının oluşturulması bu işlemler için geliştirilen çekirdek şebeke tarafından sağlanmaktadır. Pek çok uygulama için 2G baz istasyonları sisteminin de kullanılmasına müsaade etmektedir.

W-CDMA şebekesi ile çekirdek şebeke arasındaki bağlantılar ise ATM (Eş zamansız İletim Modu - Asynchronous Transfer Mode) adaptasyon katmanı 2 (AAL2) tarafından sağlanır. Bu ara yüz veri paketlerinin yönetilmesini etkin bir şekilde sağlamakta ve iletim maliyetlerini düşürmektedir [38].

i) Sorunsuz erişim:

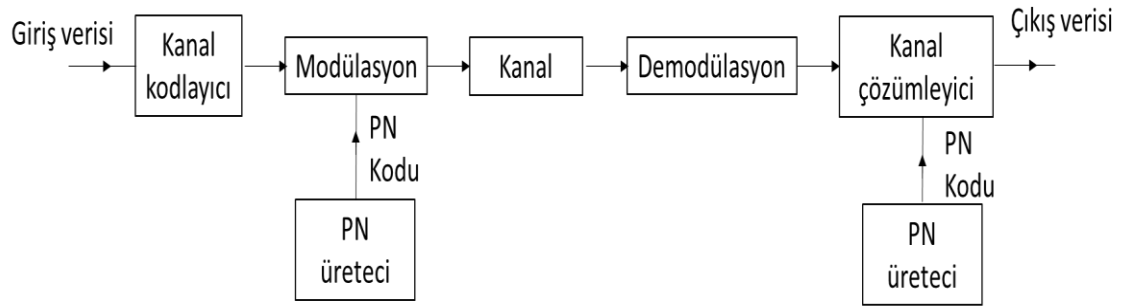
Hem 2G hem de 3G içerisinde çalışabilen dual modlu (hem GSM hem de Wi-Fi üzerinden telefon konuşması yapmaya yarayan bir sistem) terminaller yardımıyla kullanıcılar her iki sistemi destekleyen şebekeler arasında sorunsuz bir şekilde dolaşabilmekte ve veri servislerinden rahatlıkla yararlanabilmektedir. 3G sistemler için Avrupa'da Japonya'da ve GSM operatörlerine sahip ülkelerde W-CDMA erişim tekniğinin seçilmesi ile yeni nesil servisler için küresel bir standardın oluşturulması amaçlanmıştır [38].

CDMA için diğer çoklu erişim tekniklerinin aksine kullanıcıların kodlara göre birbirinden ayrılabilmesi için yayılım spektrum tekniği geliştirilmiştir. Bu teknikten ve W-CDMA teknolojisinde kullanılan önemli kodlardan aşağıda kısaca bahsedilmiştir.

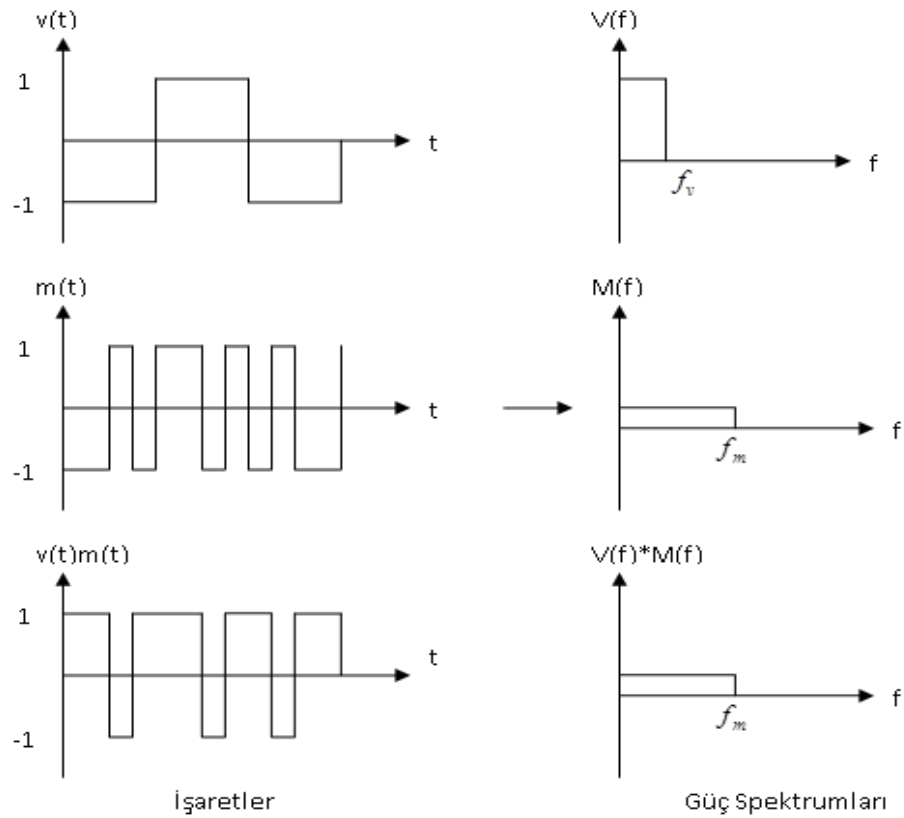
5.7.3. Yayılım spektrumu ve işlem kazancı

Yayılım spektrumu tekniği ilk olarak askeri uygulamalarda gönderilen mesajların düşman tarafından çözülmemesi için bulunmuştur. Daha sonra bu teknoloji ileride kablolu haberleşmenin çağ atlamasına sebep olacak CDMA'nin temellerini oluşturmuştur. Yayılım spektrumu, iletilen sinyalin daha geniş bir bantta sahip ortamda yayılımı sağlanarak iletilmesi esasına dayanmaktadır. Bu şekilde sinyalin bozucu etkilerden minimum şekilde etkilenmesi sağlanmıştır. Yayılım spektrumu uygulanan sinyalin bant genişliği artarken güç spektral yoğunluğu ise azalmaktadır. Şekil 5.10'da

yayılım spektrumu için kullanılan genel bir model verilmiştir. Bant genişliğindeki yayılımın etkisi ise Şekil 5.11’de gösterilmiştir [33,35].



Şekil 5.10. Dijital haberleşme sistemlerindeki yayılım spektrumunun genel bir modeli [1]



Şekil 5.11. Yayılım sonucu oluşan bant genişliğindeki artış [35]

$v(t)$: veri işareti

$m(t)$: kullanıcıya verilen kod

$V(f)$ ve $M(f)$: güç spektral yoğunlukları

$(*)$: fonksiyonlar arasındaki ilinti (konvolüsyon)

Şekil 5.12’de yayılım spektrumu sonucunda oluşan bir sinyalin işlem kazancı grafiksel olarak gösterilmiştir. Birinci şekilde bit genişliği T ve veri oranı $1/T$ olan bir sinyalin spektrumunu yani frekans dağılımını, ikinci şekilde Pseudo Noise (PN) sinyalin spektrumunu ve son şekilde ise PN ile veri sinyalinin birleştirildikten sonraki spektrumu görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere mesaj sinyali bant genişliği daha büyük bir sinyal ile (PN sinyali) birleştirildikten sonra iletimi sağlanmaktadır. Bu birleşme sonucu oluşan bant genişliğindeki artış, işlem kazancı (i_k) ile ifade edilir. İşlem kazancı, iletilen işaretin bant genişliğinin (f_m) veri işaret bant genişliğine (f_v) oranıdır. Artan bant genişliği matematiksel olarak,

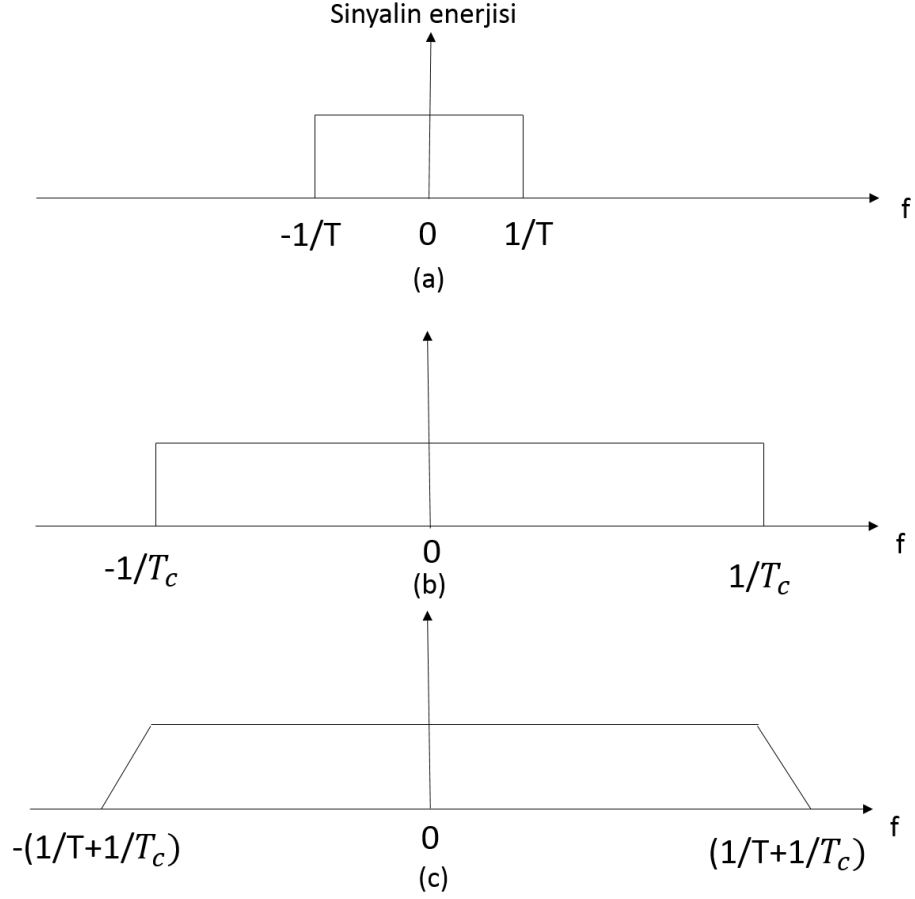
$$i_k = \frac{f_m}{f_v} \quad (5,5)$$

şeklinde ifade edilir.

f_m : mesaj sinyalinin bant genişliği

f_v : yayılım spektrum sinyalinin bant genişliği

i_k : işlem kazancı



Şekil 5.12. Doğrudan dizi yayılım spektrumu. a) veri sinyalinin spektrumu, b) sahte gürültü sinyalinin spektrumu, c) birleştirilmiş sinyalin spektrumu

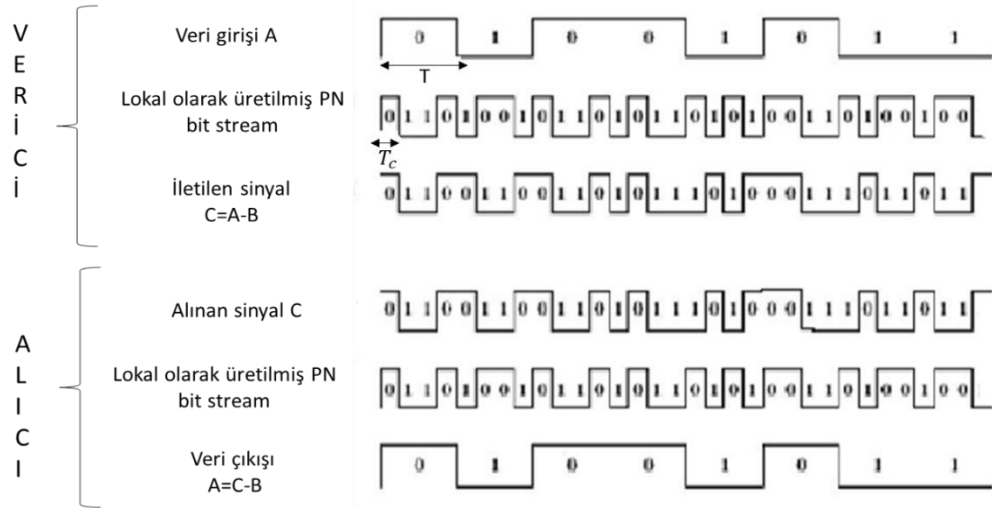
Yayılım bloklarını besleyen, verilmiş bir biti temsil eden chip sayısına yayılım faktörü denir. UMTS sisteminde bu faktör, farklı kullanıcı sinyallerini ayırt etmek için kullanılan dizilerin uzunluğuna denk gelir. İşlem kazancı ve yayılım faktörü birbiri ile karıştırılmamalıdır. Örneğin hata doğrultma kodları gibi kodlar işlem kazancı ile incelenirken, yayılım faktöründe kullanıcıları birbirinden ayırmak için sinyallerin diziler ile çarpımı gibi yayılım işlemleri incelenir. İşlem kazancı CDMA'deki girişimlerin azaltılması ile ilişkilendirilirken, yayılım faktörü mevcut dizilerin sayısı ile ilişkilendirilir. Böylece aktif olan kullanıcıların sayısı kontrol edilebilir [33,35].

Yayılım spektrumunun birçok alanda farklı uygulamaları kullanılmaktadır. Fakat burada sadece kablosuz haberleşmede en çok kullanılan çeşitlerinden bahsedilecektir.

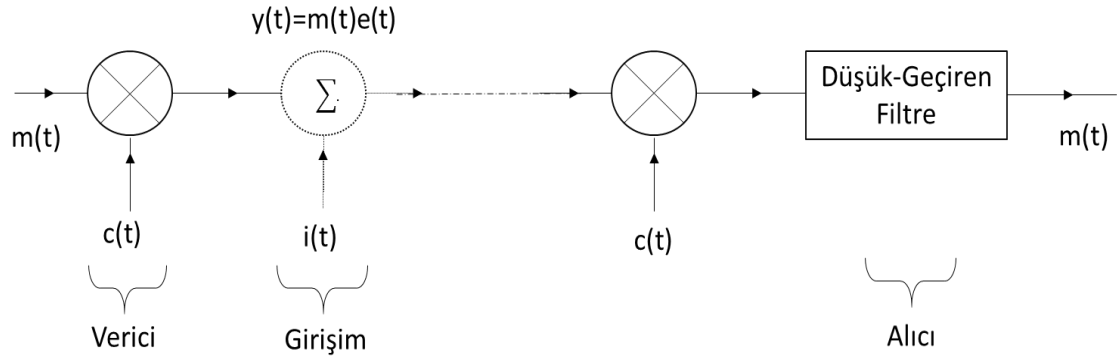
Kablosuz haberleşmede kullanılan yayılım spektrumları, doğrudan dizi yayılım spektrumu (DSSS) ve frekans atlamalı yayılım spektrumu (FHSS) olarak ikiye ayrılır.

1-Doğrudan dizi yayılım spektrumu (DSSS):

Bu iletim yönteminde vericinin verisi, rasgele olarak belirlenmiş bir bit dizisi ile XOR işlemine tabi tutulur. Şekil 5.14'te doğrudan dizi yayılım spektrumunun genel yapısı gösterilmiştir [24]. Şekil 5.13'te ise doğrudan dizi yayılım spektrumu için bir örnek verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi vericideki kullanıcı verisi, rastgele üretilen bit dizisi (pseudo random) ile XOR işlemine sokulmuştur. Rastgele bit dizisinin birim zamana düşen bit sayısı (data rate) daha fazladır, yani bit oranı daha fazladır. Bu nedenle XOR işlemi sonucunda üretilen verinin de bit oranı daha fazla olur ve bu da gönderilecek olan işaretin bant genişliğini artırır, yani gönderilmek istenen işareti daha geniş bir frekans aralığına yayar (frequency spreading). Alıcı tarafından alınan verinin anlamlı olarak elde edilebilmesi için vericide kullanılan rastgele bit dizisi tekrar kullanılır ve alıcı tarafında veri tekrar elde edilir. Gönderilen işaretin geniş frekans bölgesine yayılması işaretin birim bant genişliğine düşen enerjisini azaltır ve gönderilen işaret sistemde mevcut olan gürültünün gerilim seviyesinin bile altına düşer ve vericiden yollanan işarete bakıldığında sanki bir gürültüymüş gibi görülür [39].



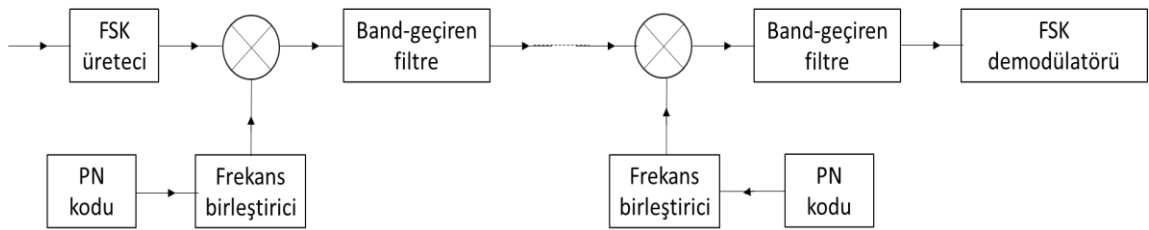
Şekil 5.13. Doğrudan dizi yayılım spektrumu için bir örnek



Şekil 5.14. Doğrudan dizi yayılım spektrum sistemi

2-Frekans atlamalı yayılım spektrumu (FHSS):

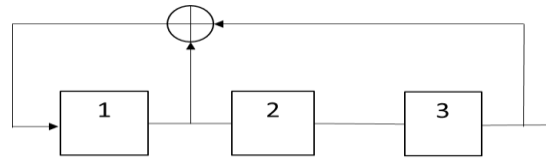
Bu yöntemde verici yollayacağı bilgiyi, geniş frekans aralığının bölünmesiyle oluşmuş birçok alt frekans aralığından yollar. Verici verileri farklı frekans aralığından iletir ve bu iletim belirli bir kurala göre yapılır. Verinin hangi kanaldan yollanacağı bir parametre ile belirlenir ve vericinin frekans aralığını seçmede kullandığı bu parametre alıcı tarafında da bilinir ve bu şekilde iletim gerçekleşir. FHSS'nin DSSS'e göre bazı avantajları vardır. Bunlardan en önemlisi FHSS sonucunda oluşan sinyal bant genişliğinin DSSS sonucunda oluşan sinyal bant genişliğinden daha büyük olmasıdır [24]. Sistemin çalışma mantığı blok diyagramlarla Şekil 5.15'de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, sinyal ilk olarak frekans kaydırmalı anahtarlama (FSK) yöntemi ile üretilen PN koduna göre kaydırılarak üretilir. Daha sonra bant geçiren filtre ile sinyal istenilen frekans aralığına getirilir ve bu şekilde veri iletilmiş olur. Yayılım spektrumu ile ilgili detaylı bilgiye [1,17,24,39] kaynaklarından ulaşılabilir [24,39].



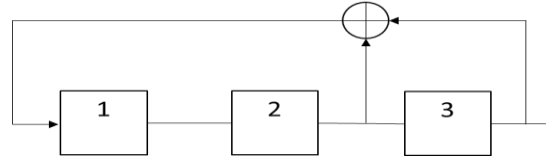
Şekil 5.15. Frekans atlamalı yayılım spektrumu [6]

Şekil 5.15'ten görüldüğü üzere yayılımı sağlayan kodların üretilmesi PN ya da sahte gürültü jeneratörü denilen birim tarafından gerçekleştirilir. Yine aynı kodlar alıcı tarafında tekrar üretilir ve bu şekilde PN sinyali mesaj sinyalinden çıkarılmış olur.

PN jeneratöründe kodlar belirli bir kurala göre üretilir. Bu üretilen kodların bazı özellikleri sağlaması gerekir. Bu özellikleri sağlayan kod dizilerine maksimum uzunluktaki dizi anlamındaki m-dizileri denir. Bu diziler Şekil 5.16'da görüldüğü gibi tek bir kaymalı kaydedici kullanılarak elde edilebilir [27].



(a)



(b)

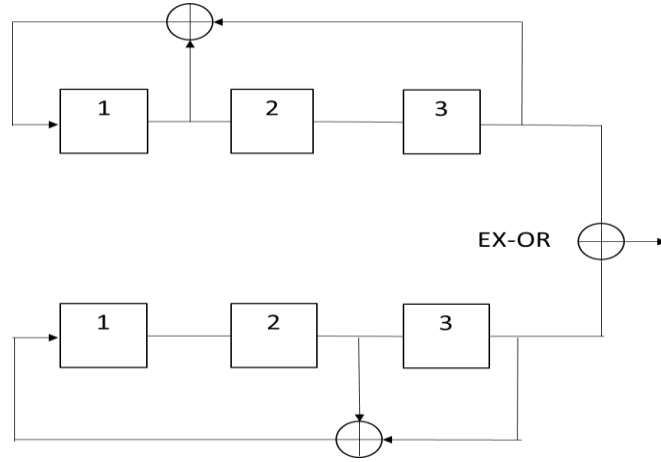
Şekil 5.16. m-dizilerinin üretildiği 3 aşamalı doğrusal geri beslemeli kaymalı kaydedici [27]

Şekil 5.16'de üç tane doğrusal geri beslemeli kaymalı kaydedici kullanılarak iki farklı bağlantı ile m-dizilerinin üretilmesi gösterilmeye çalışılmıştır. Şekil 5.16 (a)'da 1. ve 3. bağlantılar Şekil 5.16 (b)'de ise 2. ve 3. bağlantılar kullanılarak m-dizileri üretilmeye çalışılmıştır. Bu şekilde N kaydedici kullanılarak oluşturulan her bir şekil 2^N uzunluğunda farklı bir dizi oluşturur. Her bir şekildeki bağlantı noktaları değiştirilerek aynı uzunlukta farklı diziler elde edilebilir. Ayrıca m-dizileri ile gürültü arasındaki çapraz korelasyon oldukça küçüktür buda gürültünün alıcıda kolay bir şekilde filtrelenmesine imkan tanır. Çapraz korelasyonun bu düşük değeri, alıcı tarafında farklı m-dizileri tarafından üretilmiş kullanıcı sinyallerini ayırmak için kullanılabilir.

m-dizileri, her bir mesaj sinyaline uygulanan kodlar olarak düşünülebilir. Mesaj sinyalinin her bir biti bu kod dizileri tarafından değişim gösterir. Kod dizilerinin bu yayılım biçimi CDMA sistemlerinin farklı aşamalarında kullanılabilir [27].

Altın kodlar

İki m-dizinin birleştirilmesiyle oluşmuş kod dizileridir. Bu kodlar eş zamanlı olmayan CDMA sistemlerinde kullanılır. Bu sebeple bu diziler, iletimin eş zamansız bir şekilde gerçekleşmesine imkan sağlarlar. Altın dizileri, üç değerli oto korelasyon fonksiyonlarına sahip ilerde bahsedilecek olan uzun dizilerin oluşumunu sağlarlar. Alıcı altın dizilerinin oto korelasyon özelliğini kullanarak, sistemi eş zamanlı hale dönüştürebilir. Ayrıca altın dizileri dik olmayan CDMA sistemleri için de oldukça kullanışlıdır [27].



Şekil 5.17. İki m-dizi çiftinin birleştirilmesi ile oluşturulmuş altın kod

Uzun kodlar

Bu kodlar ise sinyallerin yayılımı ve şifrenmesi için kullanılır. Uzun kodlar 2^{42} bit uzunluğunda ve 1.2288 Mb/s hızındadır. Genel ve özel olmak üzere iki çeşit uzun kod geliştirilmiştir [27]. Genel uzun kodlar mobil cihazların baz ile haberleşmesi esnasında kullanılır, özel uzun kodlar ise sadece bir aramaya özel olarak üretilir ve o arama bittikten sonra diğer aramalar için kullanılmamaktadır.

Kısa kodlar

Kısa kodlar ise $2^{15}-1=32,767$ uzunluğundadır. Bu kodlar ileri ve geri yönlü bağlantıların senkronizasyonunda kullanılır. Ayrıca bu kodlar ileri yönlü bağlantılarda hücre/baz istasyonu tanımlamalarında da kullanılır. Kısa kodlar her 26,666 mili saniyede bir kendini tekrar eder böylece kod dizileri her 2 saniyede 75 defa tekrar edilmiş olur. Bir mobil cihazın baz istasyonunu bulma süresi maksimum 2 saniyedir, eğer bu süre içerisinde herhangi bir mobil cihaz baz istasyonu alıcı network sinyalleri içerisine girerse iletişim gerçekleşir.

Her bir baz istasyonuna bu kodların sadece bir tanesi atanmıştır. Örneğin eğer kısa kodlar belirli bir diziye sahipse ve bütün istasyonlara bu kod dizisinin atanması gerekiyorsa bu işlem kod dizilerinin dönüşümlü olarak kaydırılması ile gerçekleşebilir. Böylece her bir istasyona aynı kısa kod dizisinin kaydırılmış versiyonu diğer bir deyişle farklı fazları atanmış olur. Bu faz kayması ise PN-Offset olarak bilinir. Örneğin, ibrahim kelimesi herhangi bir kullanıcı için kısa kod olarak atanırsa diğer kullanıcılara sırasıyla mibrah, imibrah ve himibra ... kelimeleri atanır ve her bir kullanıcıya kendi kimliğine göre kod kelimeleri atanmış olur. Böylece eğer herhangi bir kullanıcıya kimliğinin iki olduğu söylenirse o kullanıcının kısa kodu mibrah olmuş olur.

m-dizilerinin özelliklerinden dolayı, bu dizilerin kaydırılmış versiyonları çok küçük bir çapraz korelasyona sahiptir ve bu kaydırılmış dizilerin her biri bağımsız bir kod dizisi olur. CDMA için bu kayma her bir komşu istasyonda 512 chiptir.

Her bir baz istasyonunda iki farklı kısa kod kullanılmaktadır. Bunlardan biri CDMA teknolojisinde kullanılan sinyallerin gerçel ve sanal kanallarının dördül yayılımında diğeri ise toplanmasında kullanılan kodlardır.

Walsh kodu

IS-95 sistemlerinde 64 tane walsh kodu kullanılır ve bu kodlar baz istasyonunda 64 kanalın oluşturulmasına imkan tanır. CDMA2000'de ise bu sayı 256'dır. Walsh kodlar Haddamard matris denilen bir matris çeşidinin yardımı ile oluşturulur. Walsh kodların en önemli özellikleri, kullanılan kodlarının tümünün birbirine dik olması ve 1.25 Mhz bant aralığında kanallama yapılmasıdır. Aşağıda örnek olarak bazı matrisler

gösterilmiştir. Bu matrislerin boyutu aynı zamanda kodun uzunluğuna eşittir. Örneğin ilk şekilde $H1$ kodunun uzunluğu iki, ikinci şekilde $H2$ kodunun uzunluğu ise dördür.

Walsh kodların en önemli kullanım sebebi, hücrelerde kullanıcılar arasındaki dikliği sağlamasıdır. Buradaki diklikten kasıt Walsh kodları arasındaki çapraz korelasyonun sıfıra eşit olmasıdır. Fakat Walsh-Hadamard kod kelimelerinin oto korelasyonu iyi bir karakteristiğe sahip değildir. Diğer bir deyişle kod kelimeleri bir tepeden daha fazla değere sahip olabilir ve buda harici bir senkronizasyon olmadan alıcının aynı kod kelimelerini elde etmesini güçleştirmektedir.

$$H1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

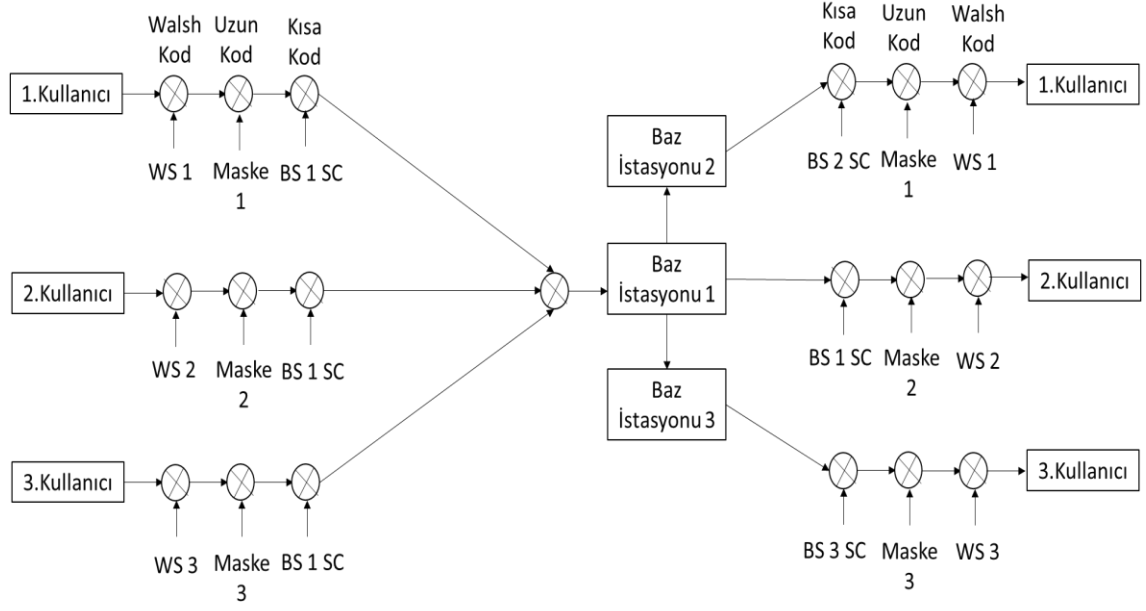
$$H2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$H3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Şekil 5.18’de ise yukarıda bahsedilen kodların kullanımı ile ilgili bir örnek verilmiştir.

Şekilde her bir hücrede üç kullanıcının olduğu ve tüm bu kullanıcıların başka birileriyle haberleştiği düşünülerek örnek bir çalışma verilmiştir. Bu örnekte 1. kullanıcının alıcı tarafında 2. hücredeki biriyle haberleşmek istediği kabul edilirse, ilk olarak 1. kullanıcının 1. baz istasyonu (BS 1) tarafından kullanıcıya atandığı Walsh kodu (WS) ile işleme girdiği görülmektedir. Aynı baz istasyonu 2. ve 3. kullanıcılara da farklı Walsh kodlarını atamaktadır. Böylece 1. baz istasyonu tüm kullanıcılara birbirinden farklı ve aynı zamanda birbirlerine dik olan Walsh kodlarını atar. Daha sonra, baz

istasyonu tarafından atanmış rastgele sayılara göre gezgin cihaz uzun kod maskeleri üretir ve her bir kullanıcı bu maskeleme ile ayrı bir kimliğe sahip olur. Maskelemenin başlangıcında sinyal uzun kod tarafından çarpılır. Daha sonra ise aynı sinyal baz istasyonu 1 tarafından üretilmiş kısa kod (SC) ile çarpılır [27].



Şekil 5.18. CDMA'da kullanılan kodlar arasındaki bağıntı

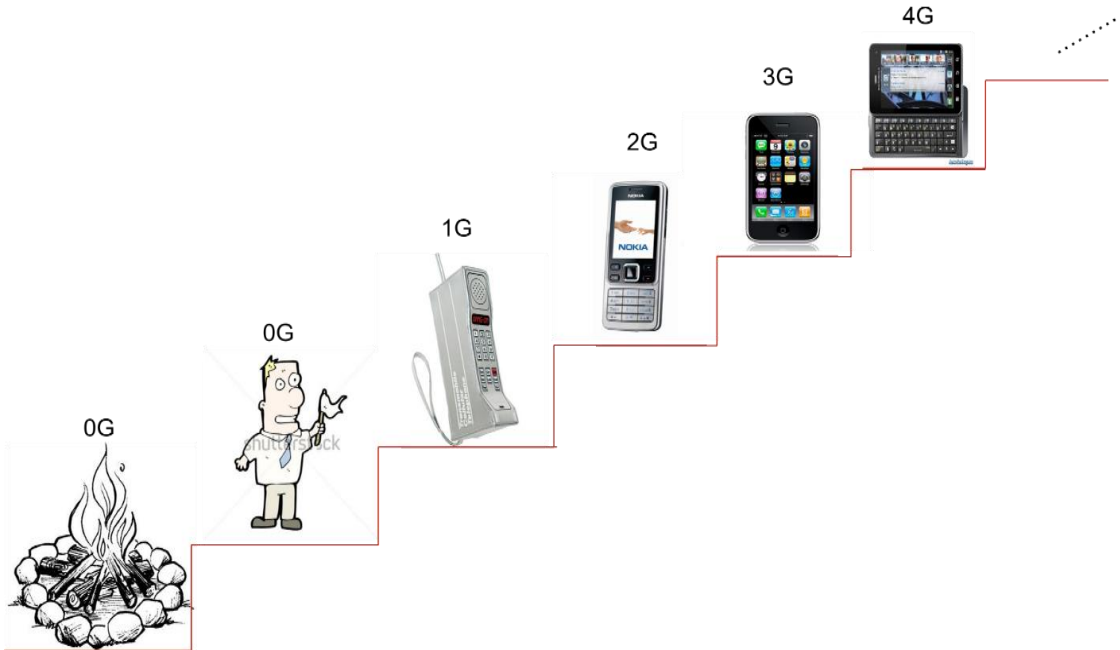
Alıcı bu sinyali aldığı zaman, sinyaldeki uzun kodu okuyabilir ve böylece mesaj sinyalinin baz istasyonu 2'ye gitmek istediğini anlar. Böylece 1. kısa kod çıkarılır yerine 2. baz istasyonunun kısa kodu eklenir ve sinyal alıcı tarafında ilk olarak 2. baz istasyonunun kısa kodu ile çarpılır. 2. Baz istasyonunun kısa kodu ile işleme konulan sinyal sonrasında verici tarafında uygulanan aynı uzun kod ile işleme konulur.

Baz istasyonunun ürettiği rastgele sayılara göre her bir kullanıcı için uzun kod maskeleme yapılır ve bu maskelemeye göre bir kimlik verilir böylece baz istasyonu bu kullanıcının uzun kodunu bilebilir. Bu şekilde alıcı arama sırasında kullanıcıya yapılan uzun kod maskelemeye göre kendi rastgele sayılarını bulabilir. Son olarak ise sinyal Walsh kod dizisi ile işleme konur ve böylece veri iletilmiş olur [27].

6. SEMBOLİK İLETİŞİM

Daha önce de değinildiği gibi sembolik iletişimin temelinde taşıyıcı sinyalin genlik frekans ya da fazını sayısal veri kodu ile modüle etme işlemi bulunmaktadır. Bu modülasyon işlemi ile “0” ve “1” den oluşan sayısal veri kodları hem analog sinyale dönüşmekte hem de kanala uygun yüksek frekansa taşınmış olmaktadır. Sembolik iletişimin sağladığı fayda ise bitlerin tek tek taşınması yerine birden fazla bit dizilerinin belirli bir kurala göre sembollere yüklenerek daha fazla veriyi iletim bandına sığdırmak ve dolayısıyla multimedya gibi devasa veri akışını kolaylıkla minimum hata ile gerçekleştirmektir.

Kablosuz sembolik iletişim insanlığın doğuşuyla birlikte başlamıştır. Örneğin, geçmişte insanlar birbirleri ile kablosuz iletişim kurmak için ateş, duman ve bayrak gibi birtakım araçlar kullanmışlardır. Bu araçlarla yapılan iletişim biçimi sembolik iletişim olarak da değerlendirilebilir. Günümüzde kullanılan dijital iletişim cihazlarında (2G, 3G ve 4G) da büyük oranda sembolik iletişim (veriler sembollere dönüştürülüp iletişim kanalına verilerek) mantığı kullanılmaktadır. İnsanlığın doğuşundan günümüze kadar geliştirilen bu iletişim nesilleri Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. İletişim Nesillerinin kronolojik gelişimi

Geliştirilen bu nesillerin gelişim yılları, hız ve kullanılan teknolojiler ise Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1. 2G, 3G ve 4G Teknolojilerinin karşılaştırılması [33]

Süre	Nesiller	Uygulamalar	Kullanılan Teknoloji	Hız
2000’e kadar	2G	• Telefon • E-mesaj • SMS	AMPS GSM	10 Kbps
2001-2002	2.5G	• Gezgin Bankacılık • Sesli mesaj, Web • Gezgin Ses Çalıcı • Sayısal Gazete Yayını • Sayısal Ses Dağıtımı • Gezgin Radyo • Lokasyon Tabanlı hizmetler, İnteraktif şehir Haritaları	GPRS EDGE	64-144 Kbps
2003 - 2009	3G	• Gezgin video konferans • Görüntülü Telefon / Mesaj • Gezgin TV • Şehir rehberi • Sayısal Ses/Görüntü Dağıtımı	UMTS	144 kbps - 2 Mbps
2009-	4G	• 2G, 2.5G ve 3G’nin sağladığı tüm olanaklara daha yüksek hızlarda sahip • Anında haberleşme desteği • Yüksek çözünürlüklü televizyon	LTE	100 Mbps-1 Gbps

6.1. Geçiş Bandı İletimi

Kaynak tarafından üretilmiş mesaj sinyalleri temel bant sinyalleri olarak ifade edilmektedir. Bu sinyallerin taşıyıcı ile modüle edildikten sonraki haline ise geçiş bandı

(bandpass) sinyalleri denir. Bu sinyallerin bant genişliği genellikle taşıyıcının bant genişliğinden daha küçüktür. Geçiş bandı sinyalleri üç şekilde ifade edilirler. Bunlar; genlik ve faz, quadrature (dördül) veya gerçek/sanal ve karmaşık zarf gösterimleridir.

Modülasyon işleminde taşıyıcı olarak sinüzoidal sinyaller kullanılır. Bir sinüzoidal sinyalin üç değişkeni vardır. Bunlar; genlik, faz ve frekanstır. Bu değişkenler kullanılarak geçiş bandı iletimi üç ana gruba ayrılır [19,24,27]. Bunlar;

- 1- Genlik Kaydırmalı Anahtarlama (ASK)
- 2- Frekans Kaydırmalı Anahtarlama (FSK)
- 3- Faz Kaydırmalı Anahtarlama (PSK)

6.1.1. Genlik kaydırmalı anahtarlama (ASK)

Genlik kaydırmalı anahtarlama taşıyıcının frekans ve fazı sabit tutulup genliği değiştirilerek anahtarlama yapılır. Genlik değişimleri ise ‘‘1’’ ve ‘‘0’’ bitleri kullanılarak gösterilir. Bu anahtarlama aynı zamanda on-off keying (açık-kapalı anahtarlama) olarak da bilinir.

6.1.2. Frekans kaydırmalı anahtarlama (FSK)

Bu anahtarlama çeşidinde ise taşıyıcının frekansı değiştirilerek anahtarlama yapılır. Yine ikili (binary) yani ‘‘0’’ ve ‘‘1’’ bitleri kullanılarak örnek verilebilir. Frekansı f_1 olan herhangi bir sinüzoidal sinyal 1 bitini, frekansı f_2 olan sinyal ise 0 bitini gösterirse, FSK modülasyonu aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

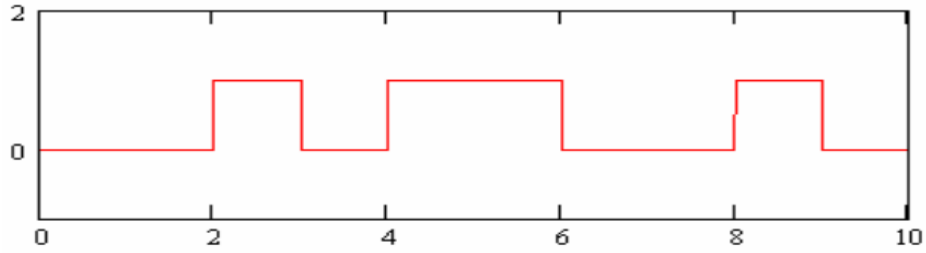
$$FSK(t) = \begin{cases} \sin(2\pi f_1 t) & 1 \text{ biti için} \\ \sin(2\pi f_2 t) & 0 \text{ biti için} \end{cases} \quad (6,1)$$

6.1.3. Faz kaydırmalı anahtarlama (PSK)

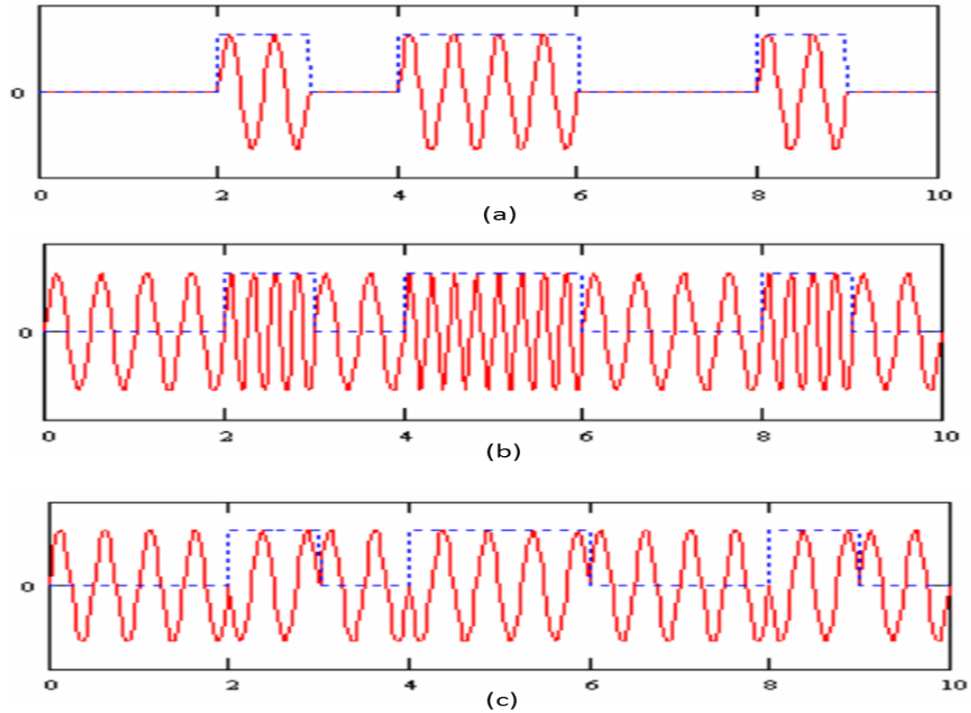
Taşıyıcının fazının değiştirilip genlik ve frekansı sabit tutularak yapılan anahtarlama çeşididir. Yine ‘‘0’’ ve ‘‘1’’ bitleri kullanılarak taşıyıcı sinyalinin fazı 180° kaydırılarak anahtarlama yapılabilir (Denklem 6,2).

$$PSK(t) = \begin{cases} \sin(2\pi ft) & 1 \text{ biti için} \\ \sin(2\pi ft + \pi) & 0 \text{ biti için} \end{cases} \quad (6,2)$$

Şekil 6.3’de temel bant bir kod dizisi Şekil 6.4’de ise bu kod dizisi kullanılarak taşıyıcı sinyalin genlik, frekans ve faz kaydırmalı anahtarlama kullanılarak nasıl değişim gösterdiği gösterilmeye çalışılmıştır. Şekildeki noktalı çizgiler temel bant sinyalini düz çizgiler ise taşıyıcı sinyali temsil etmektedir.



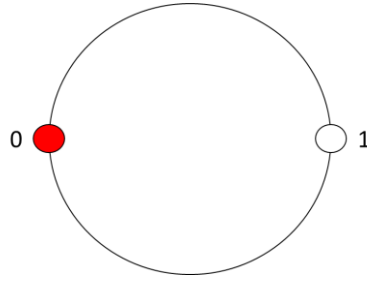
Şekil 6.2. 0010110010 koduna sahip bir temel bant kod dizisi [27]



Şekil 6.3. (a) Genlik kaydırmalı anahtarlama, (b) Frekans kaydırmalı anahtarlama, (c) Faz kaydırmalı anahtarlama uygulanmış taşıyıcıyı göstermektedir [27]

6.1.4. BPSK

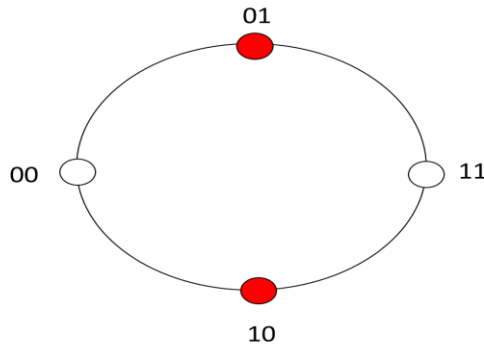
Yukarıda bahsedildiği gibi kaydırmaların sadece ‘0’ ve ‘1’ bitlerinin kullanılması ile yapılan anahtarlama ikili faz kaydırmalı anahtarlama (BPSK) denir. BPSK’da her bir sembole sadece bir bit yüklenebilir. Oysa haberleşme sistemlerinde her bir sembole mümkün olduğunca fazla bit yüklenmek istenir. BPSK sistemi Şekil 6.4’de gösterilmiştir [19,24,27].



Şekil 6.4. Basit bir BPSK sistemi

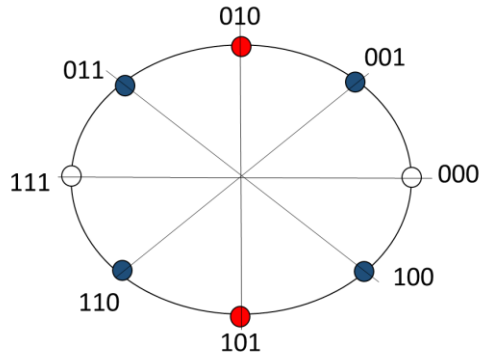
6.1.5. QPSK

Dördül Faz Kaydırmalı Anahtarlama (QPSK) sistemleri de BPSK sistemleri gibi düşünülebilir. Bu anahtarlama da ise dört farklı durum söz konusudur. Her sembol ile iki bit temsil edilebilmektedir. QPSK iki boyutlu bir sistem olduğundan kullanıcılara iki kat hız sağlamaktadır. Bu sistem Şekil 6.5’deki gibi gösterilebilir.



Şekil 6.5. Basit bir QPSK sistemi

Eğer sembol sayısı 8'e çıkartılırsa her bir sembol ile 3 bit, 16'ya çıkartılırsa her bir sembol ile 4 bit gönderilebilir. Bu sistemler 8-PSK ve 16-PSK olarak adlandırılmıştır. Şekil 6.6'da 8-PSK modülasyonu gösterilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta BPSK hariç bütün PSK modülasyonlarının iki boyutlu olduğudur. Değişen sadece faz açılarıdır. BPSK de 180° için faz kaydırması yapılırken, QPSK de 90° 180° -90° ve -180° olmak üzere dört farklı durum için faz kaydırması yapılır [19,24,27].



Şekil 6.6. Sekiz farklı sembolün kullanıldığı 8-PSK sistemi

Sonuç olarak M-PSK modülasyona sahip bir sistem matematiksel olarak Denklem 6,3'deki gibi ifade edilebilir.

$$s_i(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \cos\left(2\pi f_c t + \frac{2\pi i}{M}\right) \quad i = 0, 1, \dots, M-1 \quad (6,3)$$

Denklemdeki $\sqrt{\frac{2E_s}{T}}$ sabit bir genliği, $2\pi f_c t$ zamanla değişen açı bileşenini ve $\frac{2\pi i}{M}$ ifadesi ise mesaja bağlı olarak değişen açıyı ifade etmektedir. Denklem 6,3 daha açık bir şekilde,

$$\cos(A + B) = \cos A \cos B - \sin A \sin B \quad (6,4)$$

$$s_i(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \cos\left(2\pi f_c t + \frac{2\pi i}{M} + \frac{\pi}{4}\right)$$

$$= \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \left[\cos\left(\frac{2\pi i}{M} + \frac{\pi}{4}\right) \cos(2\pi f_c t) - \sin\left(\frac{2\pi i}{M} + \frac{\pi}{4}\right) \sin(2\pi f_c t) \right] \quad (6,5)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Denklem 6,5’de faz başlangıç açısı olarak 45° alınmıştır. f_c ’nin 0 değeri için 4 tane temel bant sinyali elde edilir. Daha önce taban fonksiyonu olarak birbirine dik olan kosinüs ve sinüs sinyallerinin kullanıldığı ifade edilmişti. Bu sinyaller:

$$\phi_1(t) = \cos w_c t \quad (6,6)$$

$$\phi_2(t) = \sin w_c t \quad (6,7)$$

Bu taban fonksiyonları kullanılarak I ve Q gibi birbirine dik olan iki kanal,

$$I = \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \cos(2\pi f_c t) \quad (6,8)$$

$$Q = \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \sin(2\pi f_c t) \quad (6,9)$$

şeklinde tanımlanabilir. Bu kanallar Denklem 6,3’deki açı bileşenleri ile çarpılırsa, son I ve Q değerleri aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$I = \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \cos(2\pi f_c t) \left(\cos\left(\frac{\pi}{4}\right) \text{ veya } \cos\left(\frac{3\pi}{4}\right) \text{ veya } \cos\left(\frac{5\pi}{4}\right) \text{ veya } \cos\left(\frac{7\pi}{4}\right) \right) \quad (6,10)$$

$$Q = \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \sin(2\pi f_c t) \left(\sin\left(\frac{\pi}{4}\right) \text{ veya } \sin\left(\frac{3\pi}{4}\right) \text{ veya } \sin\left(\frac{5\pi}{4}\right) \text{ veya } \sin\left(\frac{7\pi}{4}\right) \right) \quad (6,11)$$

Denklem 6,3’de $\frac{2\pi i}{M}$ ifadesinde sırasıyla i ’nin 0, 1, 2 ve 3 değerleri için hesaplama yapılmıştır. Ayrıca QPSK modülasyonu düşünüldüğü için $M=4$ alınmıştır. Son olarak modülasyon denklemi daha genel bir ifade ile Denklem 6,12’deki gibi yazılabilir.

$$s(t) = \underbrace{\sqrt{\frac{2E_s}{T}} \cos(\theta(t))}_{\text{genlik}} \cos(2\pi f_c t) - \underbrace{\sqrt{\frac{2E_s}{T}} \sin(\theta(t))}_{\text{genlik}} \sin(2\pi f_c t) \quad (6,12)$$

Denklem 6,12 aynı zamanda modülasyon denkleminin dördül yani karesel halidir. Denklemden de görüldüğü gibi artık sinyalin genliği de sabit bir sayı değil faz açısıyla değişen bir değişkendir. Modülasyon denklemindeki sinyaller yani I ve Q bileşenleri x ve y yönündeki iki vektör bileşeni olarak da tanımlanabilir [24,27].

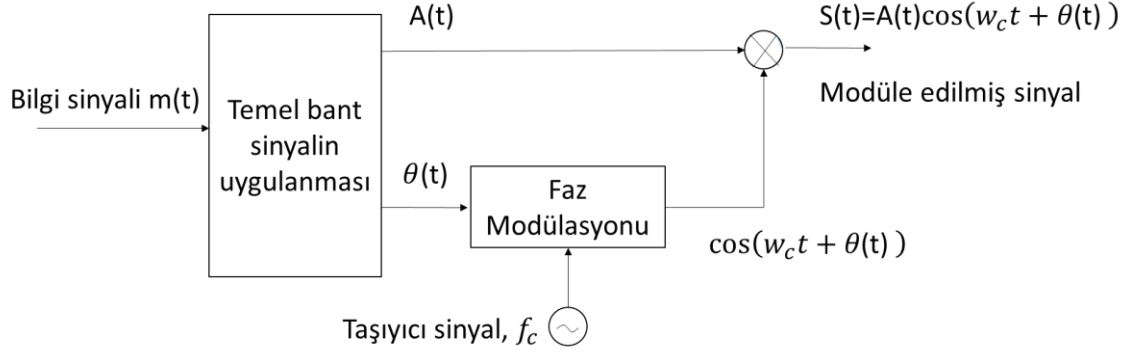
QPSK de her biri iki bitlik 4 sembol kullanılmaktadır. Yukarıda anlatılan denklemler özet olarak Tablo 6.2’de verilmiştir.

Tablo 6.2. QPSK modülasyonda faz açısına göre sembollerin gösterilmesi [27]

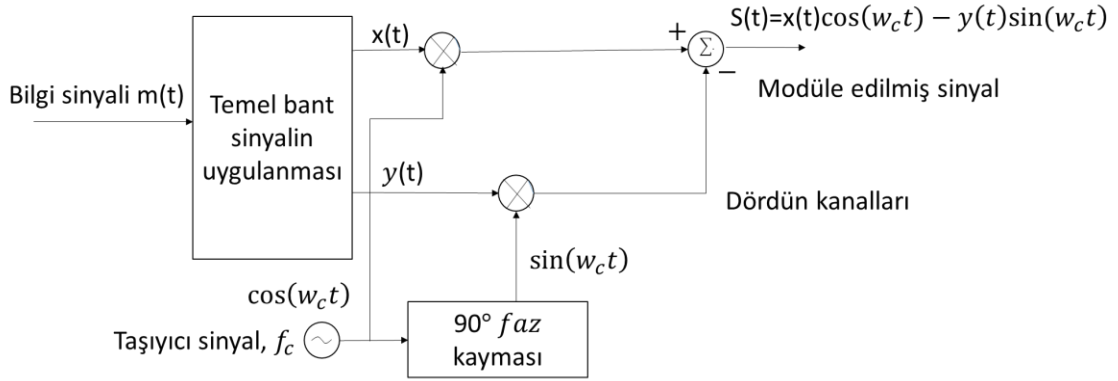
Sembol	Bitler	$s(t)$	Faz açısı	I	Q
S1	00	$\sqrt{\frac{2E_s}{T}} \cos\left(2\pi f_c t + \frac{\pi}{4}\right)$	45	1	1
S2	01	$\sqrt{\frac{2E_s}{T}} \cos\left(2\pi f_c t + \frac{3\pi}{4}\right)$	135	-1	1
S3	11	$\sqrt{\frac{2E_s}{T}} \cos\left(2\pi f_c t + \frac{5\pi}{4}\right)$	225	-1	-1
S4	10	$\sqrt{\frac{2E_s}{T}} \cos\left(2\pi f_c t + \frac{7\pi}{4}\right)$	315	1	-1

Tabloda faz açısı 45° den başlatılıp 90° değiştirilerek faz kaydırması yapılmıştır. I ve Q değerleri ise $\sqrt{\frac{2E_s}{T}} = \sqrt{2}$ ve $f_c = 0$ alınarak hesaplanmıştır.

Aşağıda QPSK modülasyonu şekil üzerinde blok diyagramlarla gösterilmiştir. Şekil 6.7 kutupsal koordinatlardaki modülasyonu, Şekil 6.8 ise I ve Q bileşenleri kullanılarak yapılan dördün yapıdaki bir modülasyonu göstermektedir [27].



Şekil 6.7. QPSK modülasyonun kutupsal formdaki gösterimi

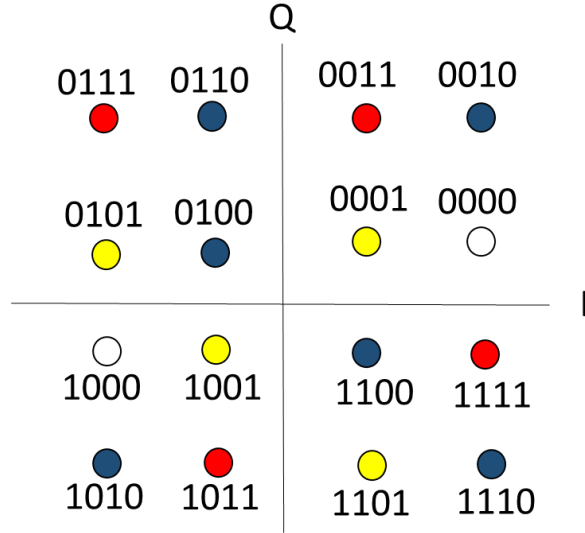


Şekil 6.8. QPSK modülasyonun I ve Q kanalları kullanılarak yapılan dördül formdaki gösterimi

PSK modülasyonunun QPSK, 8-PSK ve 16-PSK gibi çeşitlerinin olduğundan daha önce bahsedilmişti. Fakat 16-PSK'dan sonra bu artış durmuştur. Bir sembol ile daha fazla bit gönderilmesini sağlayan 32-PSK ve 64-PSK gibi sistemler tercih edilmemektedir. Çünkü 16-PSK ve sonrasındaki sistemlerde BER olasılığının çok fazla arttığı görülmüştür. Buda haberleşme sistemlerinde istenmeyen bir durumdur. Böylece hem daha dayanıklı bir sistem oluşturmak hem de BER oranını düşürmek için genlik ve faz kaydırmalı anahtarlamının birleştirildiği QAM sistemleri geliştirilmiştir [19,24,27].

6.1.6. QAM

Karesel Genlik Modülasyonu (QAM) genlik, faz ve frekans kaydırmalı anahtarlamanın güncel haberleşme sistemlerindeki ihtiyaçları karşılayamaması üzerine bulunmuş bir modülasyon çeşididir. Bu modülasyon çeşidinde hem genlik kaydırmalı anahtarlama kullanılarak, taşıyıcı dalganın genlikleri hem de faz kaydırmalı anahtarlama kullanılarak, taşıyıcı dalganın fazları değiştirilerek anahtarlama yapılır. Şekil 6.9’da görüldüğü gibi QAM sistemlerinde bitlerin yerleşimi genelde kare şeklinde olduğu için bu sistemler karesel (quadrature) olarak isimlendirilmiştir. Diğer anahtarlama çeşitlerinde olduğu gibi QAM’inde zamanla 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM gibi çeşitleri bulunmuştur.



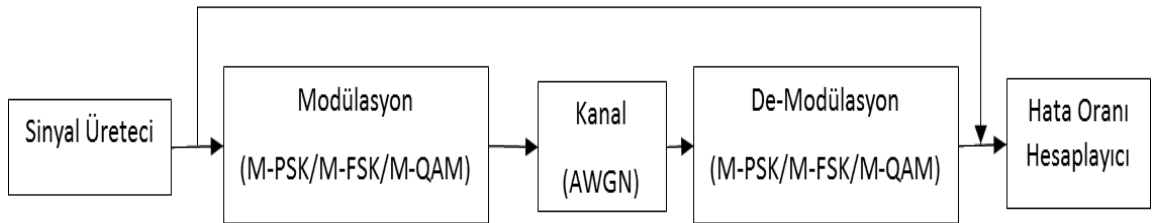
Şekil 6.9. Genlik ve fazın birlikte değiştiği 16-QAM sistemi

7. BENZETİM ÇALIŞMALARI

Dijital haberleşme sistemlerinde asıl amaç, kaynaktan çıkan bilginin kullanıcıya minimum hata ile ulaştırılmasıdır. Bu sebeple herhangi bir sistem tasarlanırken bu hata olasılığı dikkate alınarak yapılmaktadır. Bu olasılık haberleşme sistemlerinde bit hata olasılığı (BER) veya sembol hata oranı (SER) olarak tanımlanmıştır. Son dönemlerde birçok yayında [5-15] farklı modülasyon teknikleri için BER hesaplamaları yapılmıştır. Bu çalışmaların büyük bir kısmını içine alan kapsamlı bir hata analizi çalışması, farklı modülasyon teknikleri kullanan sistemlerin benzetimi yoluyla burada yeniden yapma gereği duyulmuştur. Elde edilen benzetim sonuçlarının grafikleri karşılaştırma amaçlı çizilmiştir.

7.1. Farklı Modülasyon Çeşitlerinde Bit Hata Oranı (BER) Hesaplamaları

Bu bölümde, daha önce teorik olarak anlatılmış olan anahtarlama çeşitlerinin kullanıldığı sistemlerin simülasyon modelleri kurulmuştur. Bu modeller kullanılarak sistemlerin SNR oranına göre BER değerinin değişimi elde edilmiştir. Burada aynı zamanda teorik değerler ile simülasyon ile elde edilen değerlerin karşılaştırması da yapılmıştır. Simülasyon için Şekil 7.1’de verilen temel bir model kullanılmıştır [12-15]. Modülasyon ve Demodülasyon modüllerinde M-PSK, M-FSK ve M-QAM anahtarlama modellerinin her biri için ayrı ayrı hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 7.1. MPSK, MFSK ve MQAM için örnek bir simülasyon modeli

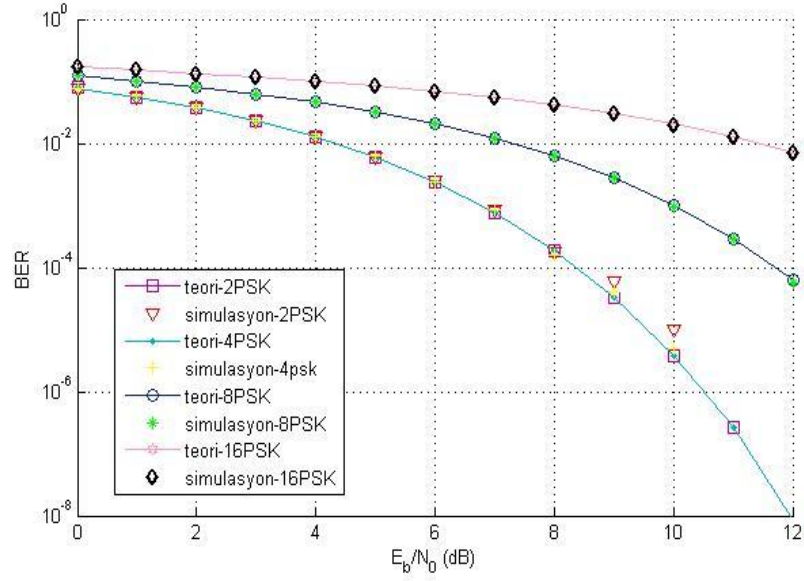
Bu benzetim çalışmasında gray kodlama tekniklerine göre üretilmiş kod dizileri kullanılmıştır. Şekilden de görüldüğü gibi modülasyon yapılırken anahtarlama çeşidine

göre PSK, FSK veya QAM'den biri seçilmiştir. Daha sonra her bir sembolde gönderilecek bit sayısına göre M sayısı belirlenmiştir. Buradaki simülasyon örneğinde kanal gürültüsü için beyaz gauss gürültüsü - Additive White Gauss Noise (AWGN) kullanılmıştır. Kanal çıkışında sinyal, anahtarlama çeşitlerinden biriyle tekrar modüle edilerek hata oranı hesaplayıcıya iletilmiştir. Burada ise sinyal kanala girmeden önceki durumu ile karşılaştırılarak hata oranı hesaplanmıştır.

7.2. Benzetim Çalışması 1

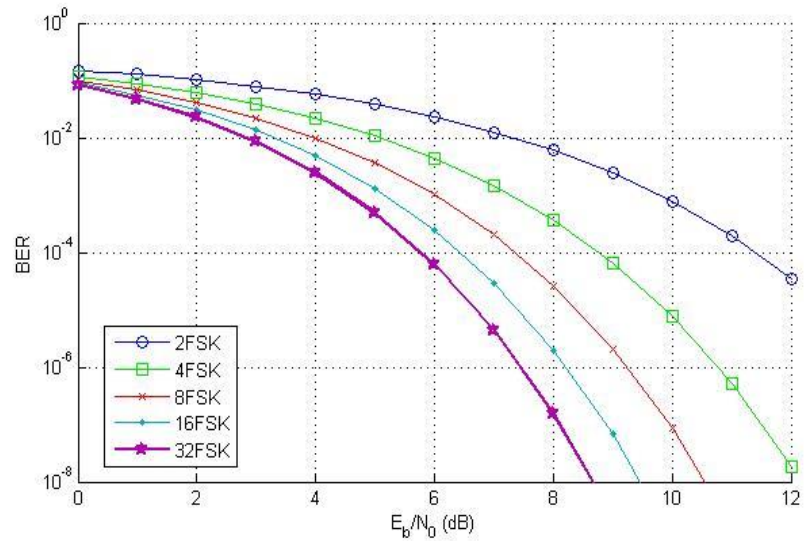
İlk olarak BPSK, 4PSK, 8PSK ve 16PSK modülasyonu için AWGN kanaldaki sinyal gürültü oranına (SNR) göre BER değişimi elde edilmiş ve Şekil 7.2'de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi tüm PSK çeşitlerinde hem teori hem de simülasyon durumu için SNR oranı arttıkça BER oranı azalmıştır. Ayrıca aynı SNR değerinde bir sembolde gönderilecek bit sayısı M arttıkça BER değerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni ise sinyal uzayında artan sembol sayısı, faz diyagramında birim çember üzerindeki sembollerin birbirine yaklaşmasıdır. Böylesi sistemlerde verilerin algılanması sırasında daha fazla kestirim hatası oluşmaktadır. [12,15] kaynaklarında PSK ile ilgili yapılan simülasyon çalışmalarının neticesinde PSK modülasyonunda her sembole yüklenen bit sayısının artması ile sistemin kanal kapasitesi açısından avantaj sağlanırken aynı zamanda BER değerinde artış olması da dezavantaj olarak ifade edilmiştir. Burada yapılan çalışmada (Şekil 7.2) tıpkı [12,15] referanslarında olduğu gibi BPSK ve 4PSK modülasyonu için hem teorik hem de simülasyon sonuçlarının birbirine çok yakın BER değerlerine sahip olduğu gösterilmiştir.

Şekil 7.2'de verilen grafik incelendiğinde 4PSK'ya kadar SNR değerlerine göre BER değişiminin birbirine çok yakın olduğu daha fazla sinyalin fazı anahtarılandığında (yani sembole yüklenen bit sayısı arttığında) ise BER değerlerinde ciddi bir artış olduğu görülmektedir. Dolayısıyla eğer veri gönderme sürecinde hata oranından çok gönderilen verinin miktarı önemliyse o zaman 8,16 ve 32PSK gibi sistemler tercih edilebilir, ancak gönderilen verinin yüksek kalitede, yani bozulmasız olması, isteniyorsa mevcut şartlarda 4PSK'nın üstüne çıkılmaması gerekir.



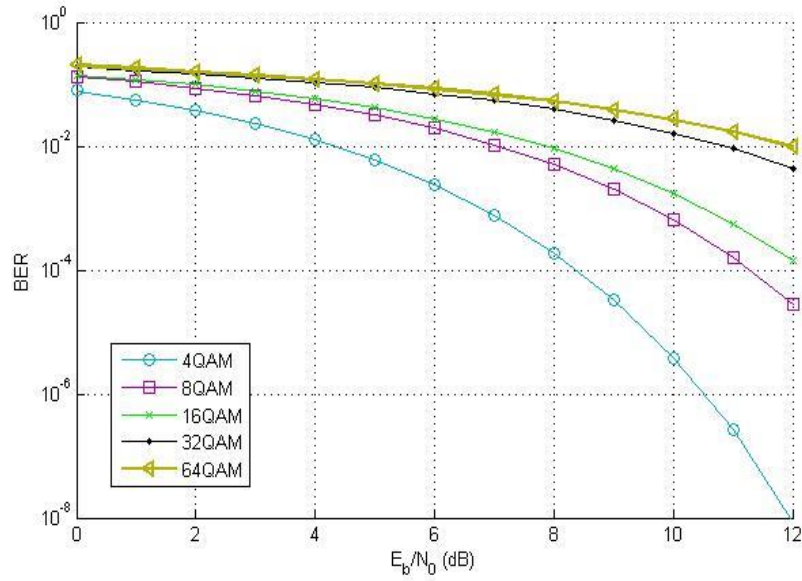
Şekil 7.2. MPSK için BER-SNR olasılığı

Şekil 7.3'te ise coherent bir demodülasyon (derleme) uygulanmış AWGN bir kanaldaki MFSK'nin $M=2, 4, 8, 16, 32$ değerleri için BER-SNR oranları gösterilmiştir [41]. Burada da yine artan SNR oranına karşın BER oranının azaldığı görülmektedir. Fakat diğer modülasyon tekniklerinin aksine aynı SNR değerinde M sayısı artmasına karşın BER oranı azalmaktadır.



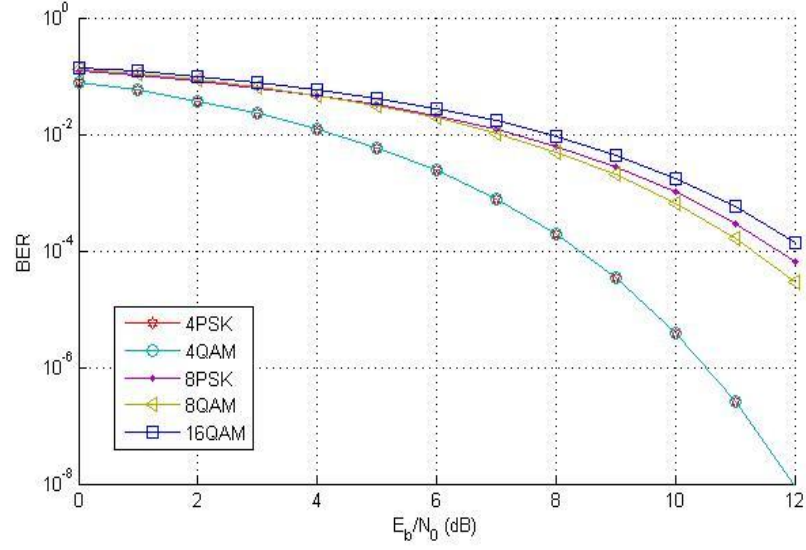
Şekil 7.3. Coherent bir demodülasyon uygulanmış MFSK için BER-SNR olasılığı

QAM modülasyonda da diğer modülasyonlardaki gibi M sayısı ile birlikte BER oranı da artmaktadır. Şekil 7.4'te bu durum açık bir şekilde görülmektedir. MQAM'ın M=4, 8, 16, 32, 64 değerleri için elde edilen grafikler gösterilmiştir. MQAM'de MPSK ile aynı değişimleri gösterse de aslında aynı oranda değişim göstermedikleri burada verilen grafiklerin karşılaştırılması ile anlaşılmaktadır.



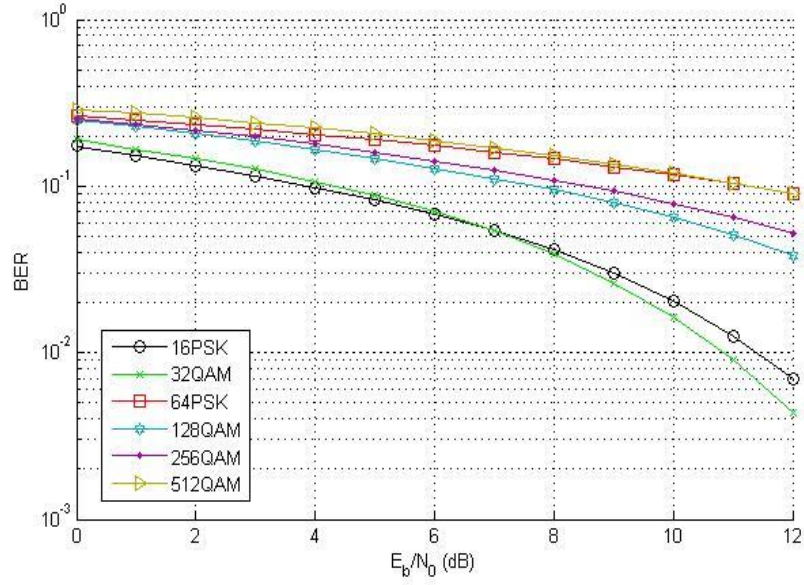
Şekil 7.4. MQAM için BER-SNR olasılığı

Şekil 7.5'te 4QAM, 4PSK, 8QAM, 8PSK ve 16QAM için hata oranları karşılaştırılmıştır. Grafikten de görüldüğü üzere artan SNR oranı ile BER oranı M'nin tüm değerlerinde azalma göstermiştir. Grafikten 4PSK ile 4QAM'ın aynı hata oranında değiştikleri M'nin 4'ten büyük değerlerinde ise QAM'ın PSK'ya oranla daha az hata oranı verdiği gözlemlenmiştir. Aynı SNR oranı için BER oranı kıyaslandığında küçükten büyüğe doğru 4PSK=4QAM<8QAM<8PSK<16QAM şeklinde bir sıralama yapmak mümkündür [12,13].



Şekil 7.5. 4-PSK, 4-QAM, 8-PSK, 8QAM ve 16QAM için BER-SNR olasılıklarının karşılaştırılması

Diğer bir karşılaştırma ise Şekil 7.6'da yüksek M değerleri için modülasyon çeşitlerinin hata olasılıkları karşılaştırılarak yapılmıştır. Grafikte 16PSK ile 32QAM'in hemen hemen aynı BER değerine sahip olduğu 64PSK'nin ise 128-256-512QAM'den daha fazla BER değerine sahip olduğu görülmüştür. Buda M'nin 4'ten büyük değerleri için QAM'in PSK'ya göre tercih edilmesi gereken bir modülasyon olduğunu göstermektedir [12].



Şekil 7.6. M -PSK ve M -QAM için BER-SNR olasılıklarının karşılaştırılması

Haberleşme sistemlerinde gerekli bant genişliği ve bant genişliği verimi de en az hata oranı kadar önemli konulardır. Aşağıda bant genişliği ve bant genişliği verim değerlerinin hesaplanması ile ilgili bilgiler verilmiş ve yukarıda değinilen modülasyon çeşitleri için karşılaştırma yapılmıştır.

ASK/PSK/QAM için bant genişliği:

$$B_{ASK/PSK/QAM} = 2R_s = \frac{2}{b} R_b = \frac{2R_b}{b=\log_2 M} \quad (7,1)$$

Bant genişliği verimi:

$$\frac{R_b}{B_{ASK/PSK/QAM}} = \frac{b=\log_2 M}{2} \quad (7,2)$$

Coherent FSK için bant genişliği:

$$B_{coh,FSK} = 2R_s + (M-1) \frac{R_s}{2} = \frac{(M+3) \frac{R_b}{\log_2 M}}{2} \quad (7,3)$$

Bant genişliği verimi:

$$\frac{R_b}{B_{coh,FSK}} = \frac{2 \log_2 M}{M+3} \quad (7,4)$$

R_b : Veri bit oranı

R_s : Veri sembol oranı

b : Her bir semboldeki bit sayısı

Tüm modülasyon çeşitleri için 8 dB SNR değerinde, artan bit sayısı ile BER ve bant genişliği verimi aşağıda tablo halinde verilmiştir. BER değerlerinin daha net görülebilmesi için SNR değeri 8 dB seçilmiştir. Diğer tüm SNR değerleri için de aynı sonuç çıkmaktadır.

Tablo 7.1. Artan bit sayısı ile bant genişliği verimi ve BER olasılığının karşılaştırılması

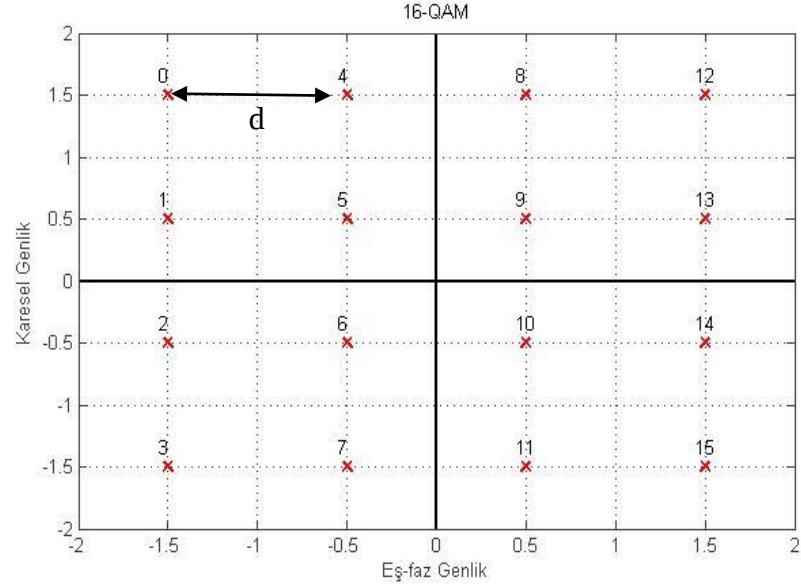
	Bant Genişliği Verimi			$\frac{E_b}{N_0} = 8 \text{ dB}$ için BER		
b	PSK	FSK	QAM	PSK	FSK	QAM
1	0.5	0.4000	×	$10^{-3.8}$	$10^{-2.3}$	×
2	1	0.5714	1	$10^{-3.8}$	$10^{-3.4}$	$10^{-3.8}$
3	1.5	0.5455	1.5	$10^{-2.4}$	$10^{-4.6}$	$10^{-2.5}$
4	2	0.4211	2	$10^{-1.4}$	$10^{-5.8}$	$10^{-2.1}$
5	2.5	0.2857	2.5	$10^{-1.1}$	$10^{-6.8}$	$10^{-1.4}$
6	3	0.1791	3	$10^{-0.8}$	×	$10^{-1.3}$
7	3.5	0.1069	3.5	×	×	10^{-1}
8	4	0.0618	4	×	×	$10^{-0.9}$

(×) = Deneyi yapılmayan kısımları göstermektedir.

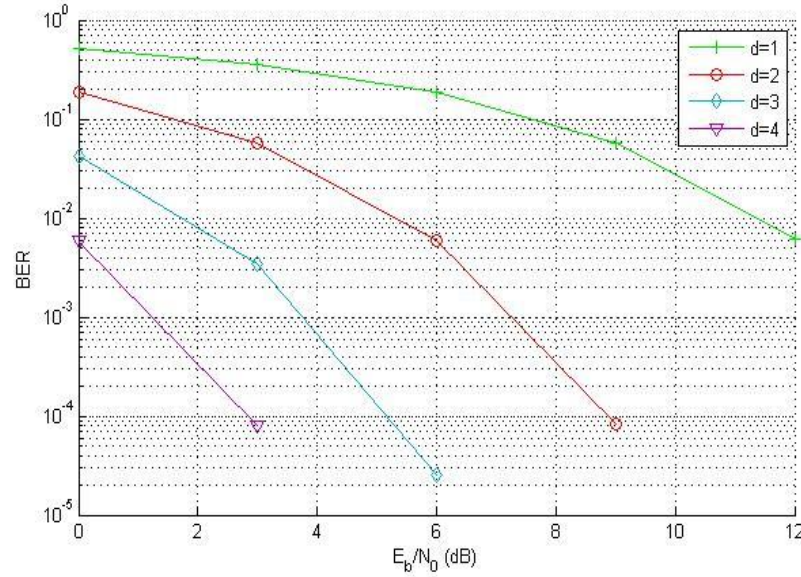
7.3. Benzetim Çalışması 2

Benzetim çalışması 2’de ise semboller arası uzaklık ile BER değerinin değişimi incelenmiştir. İki sembol arasındaki uzaklık $d=1,2,3,4$ birim için (Şekil 7.7) 16QAM sistemi kullanılarak bir benzetim çalışması yapılmış ve elde edilen SNR-BER grafikleri Şekil 7.8’de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi faz uzayında semboller arası uzaklık

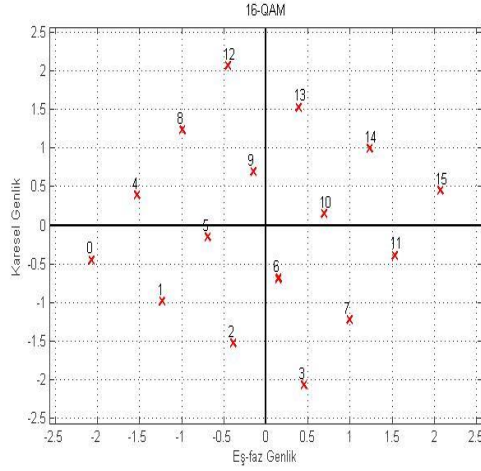
(Öklid uzaklığı) arttıkça BER değeri düşmektedir. Ancak QAM sisteminde semboller arasındaki uzaklığı arttırmak sinyal genliğini arttırmak demektir. Buna da bir yere kadar müsaade edilebilir. Çünkü yüksek genlikli sinyalleri yüksek frekanslarda anahtarlamak tabii olarak bugünkü şartlar ve teknoloji ile mümkün görülmemektedir.



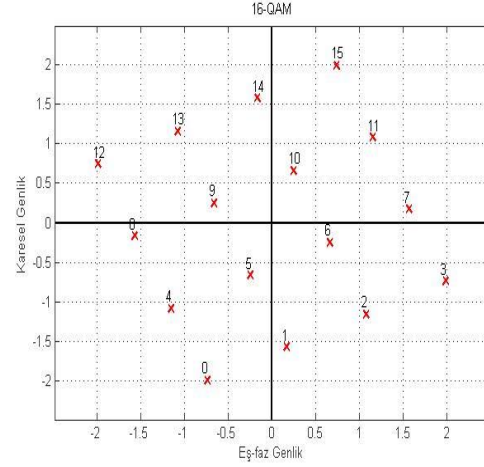
Şekil 7.7. Faz off-set=0 ve $d=1$ değerleri için sembollerin kompleks düzlemdeki gösterimi



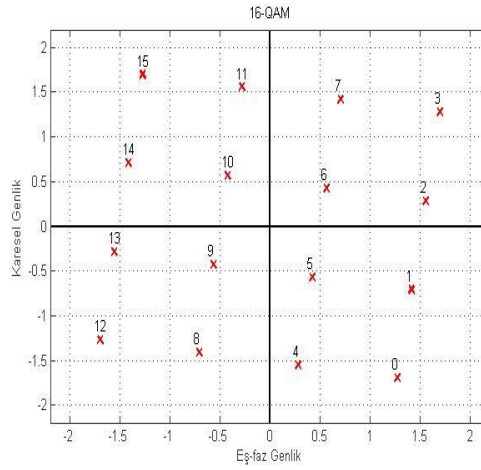
Şekil 7.8. $d=1, 2, 3$ ve 4 değerleri için BER-SNR karşılaştırılması



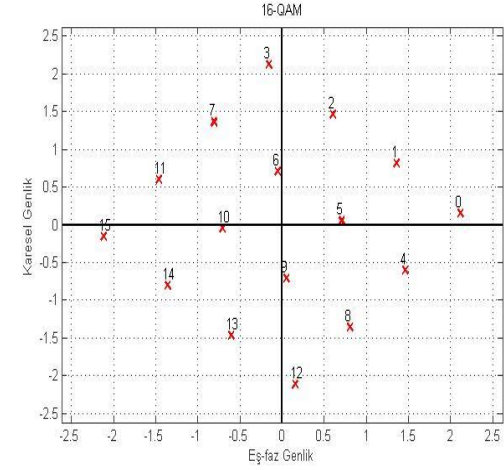
(a)



(b)



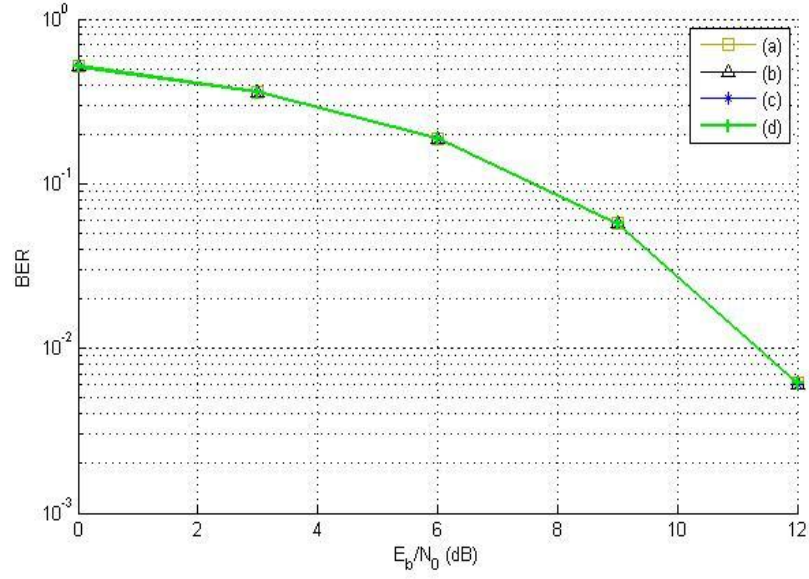
(c)



(d)

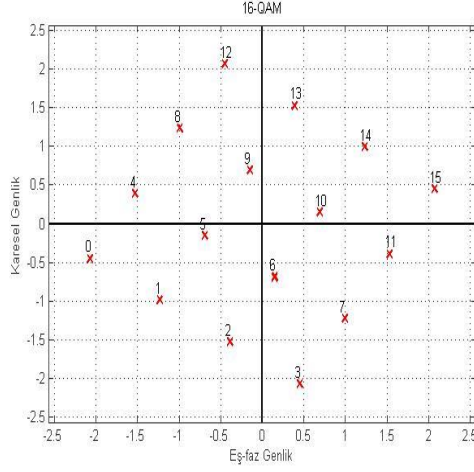
Şekil 7.9. $d=1$ ve (a) Faz off-set=1 rad, (b) Faz off-set=2 rad, (c)Faz off-set=3 rad, (d) Faz off-set=4 rad değerleri için sembollerin kompleks düzlemdeki gösterimi

Ayrıca aynı genlik değerinde farklı faz değerleri için 16QAM sistemi Şekil 7.9'daki gibi tanımlanmıştır. Bu grafik ile BER değerlerinde bir değişme olmadığı gözlemlenmiş ve Şekil 7.10'da bu durum gösterilmiştir. Bu da doğal bir sonuçtur.

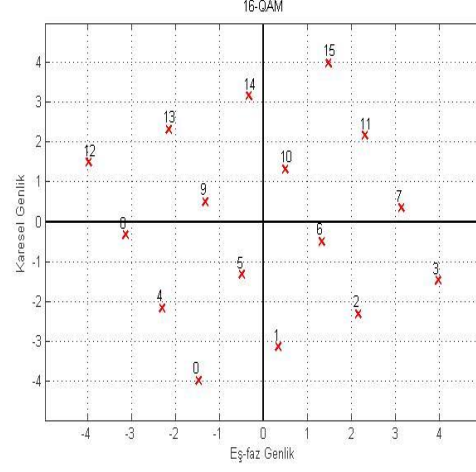


Şekil 7.10. Şekil 7.9’da tanımlanan farklı faz off-set değerleri için BER-SNR karşılaştırılması

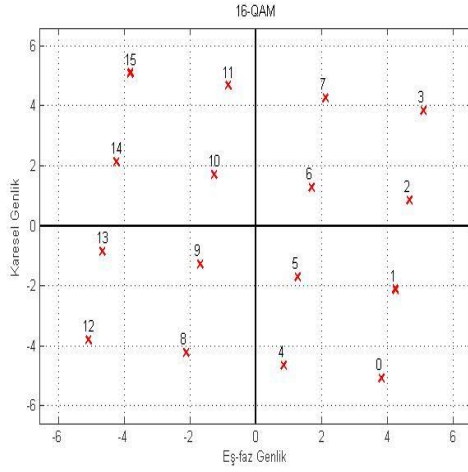
Son olarak genlik ve faz değerleri aynı oranda arttırılarak 16QAM sistemi için bir çalışma yapılmıştır. Şekil 7.11’de faz off-set ve d ’nin 1, 2, 3, 4 değerleri için kompleks düzlemde semboller gösterilmiş ve bu değerlere göre Şekil 7.12’de hata oranları karşılaştırılmıştır. Şekilden hem faz değerleri hem de genlik değerleri beraber değiştiğinde sistemin BER değerlerinin aynı M değeri için sadece genliğe bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir.



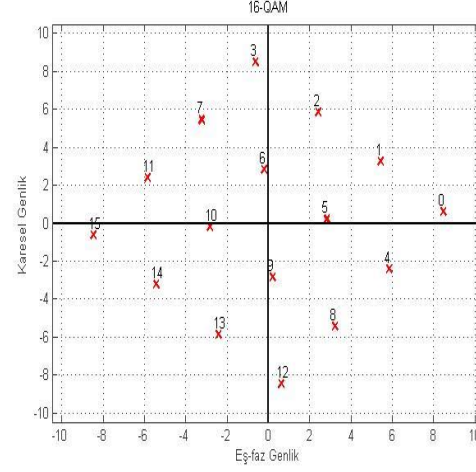
(a)



(b)

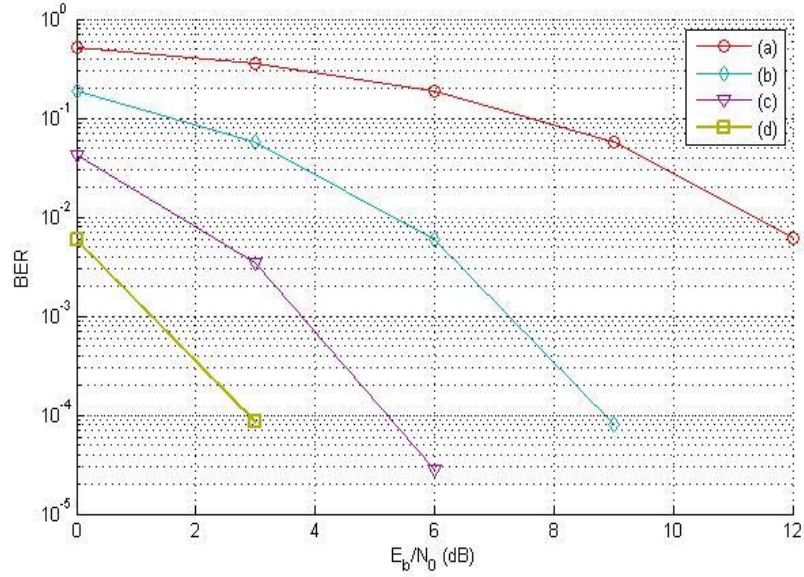


(c)



(d)

Şekil 7.11. (a) Faz off-set=1 rad, $d=1$ (b) Faz off-set=2 rad, $d=2$ (c) Faz off-set=3 rad, $d=3$ (d) Faz off-set=4 rad, $d=4$ değerleri için sembollerin kompleks düzlemdeki gösterimi



Şekil 7.12. Şekil 7.1’de tanımlanan farklı faz off-set ve d değerleri için BER-SNR karşılaştırılması

Sonuç olarak, gerek simülasyon gerekse de teorik sonuçlardan şu gözlemler yapılmıştır.

- 1- Modülasyon türü ve M sayısı ne olursa olsun SNR oranı arttıkça BER oranı azalmaktadır.
- 2- PSK ve QAM modülasyonu için aynı SNR oranında artan M sayısı ile BER oranı da artmaktadır. Fakat FSK modülasyonu için tam tersi bir sonuç elde edilmiştir.
- 3- Farklı modülasyon türlerinde M sayısı aynı olmasına karşın BER oranı farklı olabilmektedir.
- 4- Bant genişliği verimi PSK ve QAM’de artan bit sayısı ile aynı oranda artmaktadır. Fakat FSK’de daha öncede bahsedildiği gibi artan bit sayısı ile bant genişliği verimi düşmektedir.

7.4. Tartışma ve Öneriler

Yapılan benzetim çalışmalarında FSK dışındaki tüm modülasyon çeşitlerinde bir sembol ile gönderilen bit sayısı arttıkça BER’in de arttığı gözlemlenmiştir. Daha az hata ile daha çok verinin gönderildiği FSK sistemlerinde ise fazla frekans aralığı kullanımı bant genişliğini de arttıracığından pek tercih edilmemektedir. Çünkü fazla bant genişliği

maliyet açısından düşünülduğünde pek de avantajlı olmamaktadır. Bu sebeple en iyi performans gösteren modülasyon çeşidinin QAM olduğu sonucuna varılmıştır. Fakat artan bant genişliği ihtiyacının QAM modülasyonu tarafından da artık karşılanamadığını görmekteyiz. Bu sebeple kullanılan sistemlerin optimize edilmesi gerekir ya da farklı modülasyon teknikleri araştırılıp geliştirilmelidir. Ayrıca yapılan benzetim çalışmasında semboller kompleks (faz) düzleminde farklı faz açılar ve uzaklıklarda yerleştirilerek sistemin performansı incelenmiş ve elde edilen grafikler sonucunda sadece genliğin artırılmasının BER oranını düşürdüğü, sadece faz açısının değiştirilmesinin ise BER oranını etkilemediği gözlemlenmiştir. Hem aradaki uzaklığın hem de faz açısının beraber değiştirilmesinin ise BER değişiminin (M sabit kalması şartı ile) sadece genlik değişiminden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak, tüm grafikler genel anlamda incelendiğinde BER oranını düşürmek için M sayısının değiştirilmesinin pek de olumlu sonuçlar vermediği gözlemlenmiştir. Bu sebeple modülasyonun yapısını değiştirmek yerine diğer yapıların, örneğin sinyal üretici veya kanal yapısı değiştirilerek daha iyi performansa sahip sistemler elde edilebilir. Örneğin P. Samundiswary et. al [11] farklı yayılım kodlarını kullanarak W-CDMA'nin performansı ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada PN, Altın ve Walsh kodları kullanılarak sistemin hata olasılığı ile ilgili bir simülasyon çalışması yapılmıştır. Bu sonuçlardan en düşük bit hata olasılığının Walsh kodu kullanılarak yapılan W-CDMA sistemlerinde olduğu gözlemlenmiştir. Sistemdeki modülasyon için BPSK tekniği kullanılmıştır. Fakat yeni modülasyon teknikleri bulunduktan sonra bu modülasyon teknikleri ve farklı yayılım kodları kullanılarak yapılmış bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu yöntemler ile daha iyi performansa sahip sistemler elde edilebilir. Bu bağlamda bu konu araştırılması ve geliştirilmesi gereken bir konudur.

Ayrıca yine yapılan çalışma sırasında OFDM ve MC -CDMA sistemlerinde, düşük SNR'a sahip ve derin sönümlü kanallarda alıcı ve verici arasında verinin doğru iletiminin mümkün olmadığı görülmüştür. Bu problemin üstesinden gelmek için Otomatik Tekrar İsteği (ARQ) hata kontrol tekniğinin çok etkili bir yöntem olduğu ifade edilmiştir [40]. Dolayısıyla bu tür sistemlerde de bit hata olasılığının araştırılmasına ihtiyaç olduğu düşünülebilir.

8. SONUÇLAR

Sinyallerin iletilmeden önce analogdan dijitale veya dijitalden analoga dönüştürülmesi gerekir. Bu dönüştürme işlemi örnekleme ve qantalama ile gerçekleştirilmektedir. Dönüştürülen bu sinyallerin vericiden alıcıya taşınması işlemi ise kanal tarafından gerçekleştirilir. Sinyallerin kanal tarafından taşınması için önce verici biriminde modüle edilip taşıma işlemi bittiğinde ise alıcı biriminde demodüle edilerek önceki haline getirilmesi gerekir.

Modülasyon işleminde taşıyıcı olarak sinüzoidal sinyaller kullanılır. Bu sinüzoidal sinyallerin genlik, faz ve frekans değişkenleri kullanılarak geçiş bandı iletimi ASK, FSK ve PSK olarak üç ana gruba ayrılır. Mevcut modülasyonlar daha sonra geliştirilerek, taşıyıcı sayısına göre MASK, MPSK, MFSK ve MQAM gibi daha karmaşık yapılar bulunmuştur.

Sinyallerin iletim hattında karışmasını önlemek ve aynı zamanda bir sembolle daha fazla veri gönderilmesini sağlamak için sinyaller semboller ile temsil edilebilir. Sinyallerin semboller ile temsil edilebilmesi için ise kullanılan bu sinyallerin birbirine dik olması gerekir. Diklik kavramının temelinde vektör, sinyal ve hilbert uzayları bulunmaktadır.

Sembolik iletişim ile verilerin alıcıya maksimum verim (bir sembolün en az hata ile taşıyabileceği en fazla veri) ile ulaştırılması amaçlanmaktadır. Hem bu çalışmada yapılan benzetim sonuçlarından hem de daha önce yapılmış çalışmaların sonuçları incelendiğinde QAM tekniğinin mevcut tekniklerin en iyisi olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca sistemin veriminin sadece modülasyonlar ile değil farklı kodlama çeşitleri (Walsh, Altın, PN) ve farklı kanallar (AWGN, RAYLEIGH, Rician) ile de değişebileceği gözlemlenmiştir [7,9]. Bu konuda yapılan çalışmalardan edinilen bilgiler ışığında QAM ile anahtarlanmış sistemlerin Walsh kodu ile kodlanıp AWGN bir kanaldan geçirilince en iyi performansa sahip olduğu anlaşılmıştır.

Sembolik iletişimin temelini oluşturan diğer bir konu ise çoklu erişim teknikleridir. Kablosuz haberleşmede birden fazla kullanıcının aynı iletim kanalını paylaşmasıyla oluşan karışıklığı önlemek için geliştirilmiş bir teknolojidir. Çoklu erişim teknikleri

genel olarak FDMA, TDMA ve CDMA olarak sıralanabilir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan 3G ve 4G sistemleri ağırlıklı olarak çoklu erişim teknolojilerinden OFDM ve W-CDMA protokollerini kullanmaktadır.

9. KAYNAKLAR

- [1] D. Tse, P. Viswanath, *Fundamentals of Wireless Communication*, Cambridge, New York, p. 128-155, 2005.
- [2] S. Mahajan, G. Singh, *BER Performance of Reed-Solomon Code Using M-ary FSK Modulation in AWGN Channel*, **International Journal of Advances in Science and Technology**, Vol. 3, No.1, 2011.
- [3] K. Jain, A. Goel, *A new line code based on overlapping of block of bits*, International Conference on Emerging Trends in Communication, Control, Signal Processing & Computing Applications (**C2SPCA**), 2013.
- [4] I.J. Fair, W.D. Grover, R.I. MacDonaldt, *Guided Scrambling: A New Line Coding Technique For Optical Fiber Communication Systems*, IEEE Pacific Rim Conference on Communications, **Computers and Signal Processing** Haziran 1st - 2nd, 1989.
- [5] T. Youssef, E. Abdelfattah, *Performance evaluation of different QAM techniques using Matlab/Simulink*, Systems, **Applications and Technology Conference**, IEEE Long Island, sayfa: 1 – 5, 2013.
- [6] S.H.O. Salih, A. Al-Refai, M. Suliman, A. Mohammed, *Implementation of adaptive modulation for broadband wireless access networks using cognitive radio approaches*, International Conference on Computing, Electrical and Electronics Engineering (**ICCEEE**), sayfa: 345, 2013.
- [7] A. S. Babu, K.V. S. Rao, *Evaluation of BER for AWGN, Rayleigh and Rician Fading Channels under Various Modulation Schemes*, **International Journal of Computer Applications**, Volume 26– No.9, July 2011.
- [8] T. K. Roy, *Comparative BER Performance Analysis of OFDM System Using M-PSK and M-QAM Modulation Schemes over AWGN Channel*, **IJCCNet**, Volume 1, Issue 4, Ağustos 2012.
- [9] M. A. Masud, M. Samsuzzaman, M. A.Rahman, *Bit Error Rate Performance Analysis on Modulation Techniques of Wideband Code Division Multiple Access*, **Journal of Telecommunications**, Volume 1, Issue 2, Mart 2010.
- [10] D. Sharma, P. Srivastava, *OFDM Simulator Using MATLAB*, **International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering**, Volume 3, Issue 9, Eylül 2013.
- [11] P. Samundiswary, V. Kalyan, *Performance Analysis of WCDMA using Different Spreading Codes*, **International Journal of Computer Applications** (0975 – 8887), Volume 38– No.10, January 2012.

- [12] R. Suthar, S. Joshi, N. Agrawal, *Performance Analysis of Different M-ARY Modulation Techniques in Cellular Mobile Communication*, IP Multimedia Communications A Special Issue from IJCA.
- [13] H. Kaur, B. Jain, A. Verma, *Comparative Performance Analysis of M-ary PSK Modulation Schemes using Simulink*, **IJECT**, Vol. 2, Issue 3, 2011.
- [14] <http://www.mathworks.com/help/comm/ug/bit-error-rate-ber.html>
- [15] I. Ali, *Bit-Error-Rate (BER) Simulation Using MATLAB*, **International Journal of Engineering Research and Applications**, Vol. 3, Issue 1, January -February 2013, pp.706-711.
- [16] <http://www.acorn.net.au/telecoms/commtheory/communicationtheory.html>
- [17] H. Schulze, C. Lüders, *Theory and Applications of OFDM and CDMA*, John Wiley & Sons, p. 1-304, 2005.
- [18] A. M. Tulino, S. Verdu, *Random Matrix Theory and Wireless Communications*, Foundations and Trends in Communications and Information Theory, 2004.
- [19] S. Haykin, *Communication systems*, New York, p. 88-512, 2001.
- [20] K. C. Pohlman, *Principles of Digital Audio*, 2nd Edition, Sams, p. 60, 1989.
- [21] [http://en.wikipedia.org/wiki/Quantization_\(signal_processing\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Quantization_(signal_processing))
- [22] http://db.math.ust.hk/notes_download/elementary/number/ne_N6.pdf
- [23] http://akademik.maltepe.edu.tr/~nihatkabaoglu/ELK318/Kisim_3.pdf
- [24] B. P. Lathi, *Modern Digital and Analog Communication Systems*, Oxford, New York, p. 14-245, 1998.
- [25] S. S. Suthersan, *Mobile Communications Handbook*, Boca Raton: CRC Press LLC, 1999.
- [26] N. Çetinkaya, *Kablosuz Haberleşmede Kod Bölmeli Çoklu Erişim*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2007.
- [27] <http://complextoreal.com/>
- [28] <http://wits.ice.nsysu.edu.tw/course/pdfdownload/9611/DC-04-Signal&System.pdf>
- [29] M. Tao, *Principles of Communications*, Shanghai Jiao Tong University, 2013.
- [30] http://en.wikipedia.org/wiki/Hilbert_space
- [31] <http://cnx.org/content/m10759/latest/>
- [32] <http://www.comm.utoronto.ca/frank/papers/hilbert.pdf>
- [33] B. Ş. Tümer, *Üçüncü Nesil Mobil Telekomünikasyon Sistemlerinin Gelişimi ve Radyo Yükleme Stratejileri*, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya, 2010.

- [34] B. A. Forouzan, S. C. Fegan, *Data Communications and Networking*, Fourth Edition, New York 10020, 2007.
- [35] F. Muratore, *UMTS: Mobile Communications for the Future*, John Wiley & Sons Ltd, Telecom Italia Group, Italy, 2000.
- [36] W. Stallings, *Wireless Communications and Networks*, Second Edition, Upper Saddle River, NJ, p. 159-231, 2005.
- [37] H. Holma, A. Toskala, *Radio Access for Third Generation Mobile Communications*, England, p. 47-73, 2004.
- [38] <http://mysystem.org/elektronik/r.htm>
- [39] B. Walke, P. Seidenberg, M. P. Althoff, *UMTS The Fundamentals*, Weil Der Stadt Germany, 2003.
- [40] S. AKKAYA, *Kablosuz Haberleşmede Kullanılan Karma Arq Sistemleri*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Erciyes, 2012.
- [41] <http://www.dsplog.com/>
- [42] E. Alexander, D. Poularikas, B. Raton, *The Handbook of Formulas and Tables for Signal Processing*, CRC Press LLC, 1999.

10. EKLER

Özgeçmiş

Kişisel Bilgiler:

Ad Soyad: İbrahim IŞIK

Doğum Yeri ve Tarihi: Şanlıurfa / 1987

Adres: İnönü Üniversitesi, Merkez/Malatya

E-Posta: ibrahim.isik@inonu.edu.tr

Eğitim Bilgileri:

Lisans : Gaziantep Üniversitesi - Elektrik-Elektronik Mühendisliği / 2012

Yüksek Lisans : İnönü Üniversitesi - Elektrik-Elektronik Mühendisliği / 2014

Tez Konusu : Geniş Bant Kablosuz Ağlarda Sembolik Modülasyonların Hata Analizi

Mesleki Deneyim :

12/2012- İnönü Üniversitesi-Malatya / Arş.Gör.

10/2012-12/2012 Gaziantep Meslek Yüksekokulu-Gaziantep / Öğr. Gör.