T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOK TAŞIYICILI-KOD BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM (MC-CDMA) SİSTEMLERİNDE ÇOK KULLANICILI SEZME TEKNİKLERİ

Tezi Hazırlayan
Metin ÇİÇEK

Tezi Yöneten
Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Ağustos 2008
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOK TAŞIYICILI-KOD BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM (MC-CDMA) SİSTEMLERİNDE ÇOK KULLANICILI SEZME TEKNİKLERİ

Tezi Hazırlayan
Metin ÇİÇEK

Tezi Yöneten
Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FBT-06-63 kodlu proje ile desteklenmiştir.

Ağustos 2008
KAYSERİ

Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR danışmanlığında **Metin ÇİÇEK** tarafından hazırlanan **"Çok Taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişim (MC-CDMA) Sistemlerinde Çok Kullanıcılı Sezme Teknikleri"** adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

29.08.2008

JÜRİ:

Başkan : Prof.Dr. Kerim GÜNEY

Üye : Prof.Dr.Necmi TAŞPINAR

Üye : Doç.Dr.Şaban ÖZER

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 05/09/2008 tarih ve 2008/28-08 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

05./09./2008

N. Ayyıldız

Prof. Dr. Nusret AYYILDIZ
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Tüm öğrenim hayatım boyunca en büyük desteği gördüğüm anneme ve babama, yüksek lisans öğrenimim boyunca gerek tez konusunda gerek diğer konularda samimi yardımlarını ve fikirlerini esirgemeyen Sayın Hocam Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR' a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu tez çalışmasına sağlamış olduğu maddi destekten dolayı Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi' ne teşekkür ederim.

ÇOK TAŞIYICILI-KOD BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM SİSTEMLERİNDE ÇOK KULLANICILI SEZME TEKNİKLERİ

Metin ÇİÇEK
Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2008
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR

ÖZET

3. nesil (3G) ve 4. nesil (4G) teknolojilerde tanımlanan multimedya servisler, genişband radyo kanallarda yüksek veri oranları gerektirmektedir. Bu uygulamaların gereksinimlerini karşılamak için, çoklu erişim teknikleri yüksek spektral verimlilik ve esneklik sağlamalıdır. UMTS ve IMT2000 için yayılı spektrum tekniği, Kod Bölmeli Çoklu Erişim (Code Division Multiple Access: CDMA) kullanımıyla gerçekleştirilir. Bunun yanında, yeni nesil iletişim sistemlerinde, Ortogonal Frekans Bölmeli Çoğullama (Orthogonal Frequency Division Multiplexing: OFDM) olarak adlandırılan çoklu taşıyıcılı sistemler bazı uygulamalar için ilgi çekmiştir. Bu iki teknik, Çok Taşıyıcılı-Kod Bölmeli Çoklu Erişim (MC-CDMA) modulasyonu adı altında birleştirilebilir. MC-CDMA; yüksek spektral verimlilik, çoklu erişim ve girişim engelleme gibi avantajlar sağlamaktadır. Fakat MC-CDMA sistemlerde, kullanıcı sayısının artması, alıcıda bit hata oranının yükselmesine sebep olmaktadır. Ayrıca, sistemin performansı kullanıcılar arasındaki güç seviyesi farklılıklarından etkilenmektedir. Bu tezde; MC-CDMA' de çok kullanıcılı alıcı yapıları incelenmiştir. Çok kullanıcılı sezme için bulanık mantık sistemli ve yapay sinir ağı alıcı yapıları önerilmiş ve tüm alıcı yapıları birbirleriyle kıyaslanmıştır. YSA alıcı ile güzel performans alınırken, MMSE ve ilişki çözücü alıcı ile yakın sonuçlar alınmıştır. Eşzamanlı toplanabilir beyaz Gaussian gürültü kanalında karar mekanizması olarak bulanık mantık kullanılmasıyla tek kullanıcı sınırına yakın bit hata oranı elde edilmiştir. Bulanık mantık alıcıda kuralların oluşturulması için geçen süre, YSA alıcının eğitilmesi için geçen süreye göre yok denecek kadar azdır. Ancak bu alıcı yapısında, yüksek kullanıcı sayılarından ötürü artan kural sayısı ile hesap karmaşıklığı aşırı derecede artmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çok taşıyıcılı-kod bölmeli çoklu erişim, çok kullanıcılı sezme, yapay sinir ağı, bulanık mantık.

MULTIUSER DETECTION TECHNIQUES IN THE MULTI CARRIER-CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS SYSTEMS

Metin ÇİÇEK
Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
M.Sc. Thesis, August 2008
Thesis Supervisor: Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR

ABSTRACT

The multimedia services defined in the third generation (3G) and fourth generation (4G) require high data rates over broadband radio channels. In order to meet the requirements of those applications, multiple access techniques should offer high spectral efficiency and flexibility. Spread spectrum has been adopted for the UMTS and IMT2000, by using the Code Division Multiple Access (CDMA). On the other hand, in the new generation systems, multi-carrier systems which is known as Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) has been receiving interest for the same applications. Two techniques can be combined, under Multi Carrier- Code Division Multiple Access (MC-CDMA) modulation. MC-CDMA benefits from the advantages of both schemes: high spectral efficiency, multiple access and interference rejection. However, in a MC-CDMA system, increasing with the number of users, receiver's bit error rate (BER) performance goes up. Also, the system's performance is effected by the power level differences among the users. In this thesis, multi-user receiver structures in the MC-CDMA has been researched. Fuzzy inference system (FIS) and Neural Network (NN) based receiver structures are being proposed for multiuser detection and all receiver strustures were compared. We have got good performance with the NN receiver, which is close to the MMSE and decorrelating detector. A bit error rate performance near the single user bound was obtained by using FIS as a decision device in the synchronous additive white Gaussian noise channel. The required time for making rules of the FIS is much lower than the training time of the neural network. But in this receiver structure, computational complexity increases excessively by the increasing rule number because of the bigger user numbers.

Keywords: Multicarrier-code division multiple access, multiuser detection, neural network, fuzzy logic.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY …… I
TEŞEKKÜR ……II
ÖZET……...III
ABSTRACT……IV
KISALTMALAR……...VII
TABLOLAR LİSTESİ……..……VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ……...……IX

1. BÖLÜM
GİRİŞ……1
1.1. Yeni Nesil Kablosuz İletişim Sistemleri……1
1.2. Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA)……1
1.3. Ortogonal Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM)……...2
1.4. 4G'nin gerçekleştirilmesi: MC-CDMA……..2
1.5. Çok Kullanıcılı Sezme (Multiuser Detection-MUD)……3

2. BÖLÜM
ÇOKLU ERİŞİM VE CDMA……5
2.1. Giriş……5
2.2. Çoğullama ve Çoklu Erişim Yöntemleri……6
2.2.1. Zaman Bölmeli Çoklu Erişim……..7
2.2.2. Frekans Bölmeli Çoklu Erişim……8
2.2.3. Kod Bölmeli Çoklu Erişim……10

3. BÖLÜM
DİKGEN FREKANS BÖLMELİ ÇOĞULLAMA……18
3.1. Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM)……18
3.2. OFDM' in Tarihsel Süreci……19
3.3. OFDM Teorisi……..21
3.4. OFDM Sistemlerde Dikgenlik……..23

4. BÖLÜM
MC-CDMA……..25
4.1. Giriş……..25
4.2. Çok-Taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişim ……..25

5. BÖLÜM
MC-CDMA' DA ÇOK KULLANICILI SEZME……...32
5.1. Giriş……..32
5.2. Uyumlu Filtre……...33
5.3. İlişki Çözücü Alıcı……41
5.4. Minimum Ortalamalı Karesel Hata (MMSE) Alıcı……..46
5.5. MC-CDMA Alıcılarının Kıyaslanması……54

6. BÖLÜM
YSA ALICI İLE ÇOK KULLANICILI SEZME……59
6.1. Giriş……..59
6.2. Yapay Sinir Ağları……59
6.3. Yapay Sinir Ağı Alıcısı……63

7. BÖLÜM
BULANIK MANTIK YÖNTEMİYLE ÇOK KULLANICILI SEZME…….70
7.1. Giriş……..70
7.2. Bulanık Mantık Sistemi……70
7.3. Bulanık Mantık Sistemli Alıcı……..71

8. BÖLÜM
SONUÇLAR VE ÖNERİLER…….80

KAYNAKLAR……82
ÖZGEÇMİŞ…….92

KISALTMALAR

CDMA	Kod Bölmeli Çoklu Erişim
FDMA	Frekans Bölmeli Çoklu Erişim
TDMA	Zaman Bölmeli Çoklu Erişim
MC-CDMA	Çok Taşıyıcılı-Kod Bölmeli Çoklu Erişim
WLAN	Kablosuz Yerel Alan Ağları
UMTS	Evrensel Gezgin Telekomünikasyon Sistemleri
IEEE	Uluslararası Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
DAB	Sayısal Ses Yayını
DVB	Sayısal Görüntü Yayını
OFDM	Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama
AWGN	Toplanabilir Beyaz Gauss Gürültüsü
MUD	Çok Kullanıcılı Sezme
MUI	Çok kullanıcı girişimi
MMSE	Minimum Ortalamalı Karesel Hata
PIC	Paralel Girişim Engelleyici
SNR	İşaret-Gürültü Oranı
BER	Bit Hata Oranı
NFR	Yakın-Uzak Oranı

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 3.1 OFDM' nin Tarihsel Süreci ……. 21

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Verici ve alıcı yapılarıyla çoğullama……7
Şekil 2.2 TDMA sisteminin zaman, frekans ve kod boyutlarında gösterilişi……8
Şekil 2.3 FDMA sisteminin zaman, frekans ve kod boyutlarında gösterilişi……9
Şekil 2.4 CDMA sisteminin zaman, frekans ve kod boyutlarında gösterilişi……..11
Şekil 2.5 CDMA sinyalinin elde edilişi……...12
Şekil 2.6 CDMA için verici yapısı……..14
Şekil 2.7 k. kullanıcı için CDMA alıcı yapısı……14
Şekil 3.1 OFDM kullanılarak sağlanan band genişliği tasarrufu……19
Şekil 3.2 OFDM alıcı ve verici yapısı……22
Şekil 4.1 Bir MC-CDMA vericisi……27
Şekil 4.2 İletilen sinyalin güç spektrumu……27
Şekil 4.3 MC-CDMA alıcı yapısı……27
Şekil 4.4 IFFT yapısının MC-CDMA vericisinde kullanımı……...29
Şekil 4.5 Rayleigh sönümlü kanalda MC-CDMA yapısı……30
Şekil 5.1 MC-CDMA alıcı şeması……...32
Şekil 5.2 Uyumlu filtre kullanarak sezmenin gerçekleştirilmesi……...34
Şekil 5.3 AWGN kanal için, 2 ve 5 kullanıcılı uyumlu filtre alıcıda
1. kullanıcının sinyal-gürültü oranına karşılık BER değeri…….35
Şekil 5.4 AWGN kanal için, uyumlu filtre alıcıda kullanıcı sayısına
karşılık 1. kullanıcının BER değerindeki değişim……36
Şekil 5.5 AWGN kanal için, uyumlu filtre alıcıda yakın-uzak oranına
karşılık 1. kullanıcının BER değerindeki değişim……38
Şekil 5.6 Rayleigh sönümlü kanal için, 2 ve 5 kullanıcılı uyumlu filtre alıcıda
1.kullanıcının sinyal-gürültü oranına karşılık 1.kullanıcının BER değeri…39
Şekil 5.7. Rayleigh sönümlü kanal için, uyumlu filtre alıcıda kullanıcı sayısına
karşılık 1. kullanıcının BER değeri……..39
Şekil 5.8 Rayleigh sönümlü kanal için, uyumlu filtre alıcıda yakın-uzak
oranına karşılık 1. kullanıcının BER değerindeki değişim……...40
Şekil 5.9 İlişki çözücü alıcı yapısı……...41
Şekil 5.10 AWGN kanal için, 5 ve 10 kullanıcılı İlişki çözücü alıcıda 1.
kullanıcının sinyal-gürültü oranına karşılık BER değeri…….42

Şekil 5.11 AWGN kanal için, ilişki çözücü alıcıda kullanıcı sayısına karşılık 1. kullanıcının BER değerindeki değişim……...43
Şekil 5.12 AWGN kanal için, ilişki çözücü alıcıda yakın-uzak oranına karşılık 1. kullanıcının BER değerindeki değişim……...44
Şekil 5.13 Rayleigh sönümlü kanal için, 5 ve 10 kullanıcılı ilişki çözücü alıcıda 1. kullanıcının sinyal-gürültü oranına karşılık 1.kullanıcının BER değeri ……...45
Şekil 5.14 Rayleigh sönümlü kanal için, ilişki çözücü alıcıda kullanıcı sayısına karşılık 1. kullanıcının BER değeri……46
Şekil 5.15 Rayleigh sönümlü kanal için, ilişki çözücü alıcıda yakın-uzak oranına karşılık 1. kullanıcının BER değerindeki değişim……..46
Şekil 5.16 *m* kullanıcı için MMSE doğrusal dönüşümü……...47
Şekil 5.17 MMSE doğrusal sezici……50
Şekil 5.18 AWGN kanal için, 5 ve 10 kullanıcılı MMSE alıcıda 1.kullanıcının sinyal-gürültü oranına karşılık BER değeri……...51
Şekil 5.19 AWGN kanal için, MMSE alıcıda kullanıcı sayısına karşılık 1.kullanıcının BER değerindeki değişim……..52
Şekil 5.20 AWGN kanal için, MMSE alıcıda yakın-uzak oranına karşılık 1.kullanıcının BER değerindeki değişim…….52
Şekil 5.21 Rayleigh sönümlü kanal için, 5 ve 10 kullanıcılı MMSE alıcıda 1. kullanıcının sinyal-gürültü oranına karşılık 1.kullanıcının BER değeri……...53
Şekil 5.22 Rayleigh sönümlü kanal için, MMSE alıcıda kullanıcı sayısındaki değişime karşılık 1. kullanıcının BER değerindeki değişim……...53
Şekil 5.23 Rayleigh sönümlü kanal için, MMSE alıcıda yakın-uzak oranına karşılık 1. kullanıcının BER değerindeki değişim……...54
Şekil 5.24 AWGN kanalda 5 kullanıcı için MC-CDMA sezicilerinin SNR-BER performansları……55
Şekil 5.25 AWGN kanalda 10 kullanıcı için MC-CDMA sezicilerinin SNR-BER performansları……55
Şekil 5.26 AWGN kanalda MC-CDMA sezicilerinin kullanıcı sayısına göre BER performansları…….56
Şekil 5.27 AWGN kanalda MC-CDMA sezicilerinin NFR ye göre

BER performansları ……56
Şekil 5.28 Rayleigh sönümlü kanalda 5 kullanıcı için MC-CDMA sezicilerinin SNR-BER performansları……57
Şekil 5.29 Rayleigh sönümlü kanalda 10 kullanıcı için MC-CDMA sezicilerinin SNR-BER performansları……57
Şekil 5.30 Rayleigh sönümlü kanalda MC-CDMA sezicilerinin kullanıcı sayısına göre BER performansları……...58
Şekil 5.31 Rayleigh sönümlü kanalda MC-CDMA sezicilerinin NFR ye göre BER performansları……58
Şekil 6.1 Yapay Sinir Ağı yapısı……60
Şekil 6.2 Yaygın kullanılan bazı aktivasyon fonksiyonları……60
Şekil 6.3 YSA yapısı (a) Tek nöronlu (b) Çok nöronlu ve çok katmanlı……61
Şekil 6.4 N giriş, L düğümlü gizli katman ve M adet çıkışa sahip yapay sinir ağı yapısı……...64
Şekil 6.5 N giriş, iki gizli katman ve tek çıkışa sahip YSA yapısı……..64
Şekil 6.6 YSA alıcı yapısı……65
Şekil 6.7 AWGN kanalda YSA alıcı yapısı ve diğer alıcı yapılarının SNR-BER performanslarının karşılaştırılması(kullanıcı sayısı=5)…….66
Şekil 6.8 AWGN kanalda YSA alıcı yapısı ve diğer alıcı yapılarının SNR-BER performanslarının karşılaştırılması(kullanıcı sayısı=15)…….66
Şekil 6.9 AWGN kanalda YSA alıcı yapısı ve diğer alıcı yapılarının kullanıcı sayısı-BER performanslarının karşılaştırılması……67
Şekil 6.10 AWGN kanalda YSA alıcı yapısı ve diğer alıcı yapılarının NFR-BER performanslarının karşılaştırılması……68
Şekil 6.11 Rayleigh sönümlü kanalda YSA alıcı yapısı ve diğer alıcı yapılarının SNR-BER performanslarının karşılaştırılması……..68
Şekil 6.12 Rayleigh sönümlü kanalda YSA alıcı yapısı ve diğer alıcı yapılarının kullanıcı sayısı-BER performanslarının karşılaştırılması……69
Şekil 6.13 Rayleigh sönümlü kanalda YSA alıcı yapısı ve diğer alıcı yapılarının NFR-BER performanslarının karşılaştırılması……... 69
Şekil 7.1 r kurallı, n girişli ve m çıkışlı bulanık mantık sisteminin temel yapısı……70
Şekil 7.2 Kural 1 ve n girişe bağlı olarak çıkış 1' i elde etmek için yapılan işlemler……..71

Şekil 7.3 n girişli, r kurallı sistemde 1 çıkışının elde edilişi……72
Şekil 7.4 Bulanık mantık sistemli alıcı yapısı……..72
Şekil 7.5 $\sigma = 2$ ve $y = 5$ için Gaussian fonksiyon……..73
Şekil 7.6 a=2, b=4, c=6 için üçgen fonksiyon……74
Şekil 7.7 AWGN kanalda bulanık mantık sistemli alıcı yapısı ve diğer alıcı yapılarının SNR-BER performanslarının karşılaştırılması……..75
Şekil 7.8 AWGN kanalda bulanık mantık sistemli alıcı ve diğer alıcıların kullanıcı sayısı-BER performanslarının karşılaştırılması……....76
Şekil 7.9 AWGN kanalda Bulanık mantık sistemli alıcı ve diğer alıcıların NFR-BER performanslarının karşılaştırılması……76
Şekil 7.10 Rayleigh sönümlü kanalda bulanık mantık sistemli alıcı ve diğer alıcıların SNR-BER performanslarının karşılaştırılması……....77
Şekil 7.11 Rayleigh sönümlü kanalda bulanık mantık sistemli alıcı ve diğer alıcıların kullanıcı sayısı-BER performanslarının karşılaştırılması……78
Şekil 7.12 Rayleigh sönümlü kanalda bulanık mantık sistemli alıcı ve diğer alıcıların NFR-BER performanslarının karşılaştırılması……78

1. BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Yeni Nesil Kablosuz İletişim Sistemleri

Son birkaç yılda kablosuz haberleşme sistemlerinde hızlı bir gelişme meydana gelmiştir. Bu gelişim mobil telefonlar ve kablosuz yerel alan ağlarından (WLAN) kaynaklanan büyük ihtiyaç dolayısıyla sağlanmıştır. Yeni nesil kablosuz sistemlerde (3,5-4G) mobil telefon teknolojisi, internet erişimi ve mevcut diğer multimedya uygulamalarının bütünleştirilmesi, bir arada yapılabilmesi düşünülmektedir. Sözü geçen uygulamaların ve servislerin çalışabilmesi ve bu taleplerin değerlendirilebilmesi için mevcut spektrumun artırılması ve daha verimli kullanılması zorunludur [1].

Son birkaç on yılda kablosuz iletişim servisleri üzerinde oldukça yoğun bir talebin oluştuğu gözlenmiştir. Örneğin 1994 tarihinden 2005' e kadar hücresel kullanıcıların sayısı ona yakın faktöre bağlı olarak değişmiştir. Bu eğilimin önümüzdeki yıllarda da devam etmesi beklenmektedir. Üstelik önümüzde ki birkaç yıl içinde kullanıcıların ses harici uygulamalara olan yoğun talebi, bu yöndeki eğilimin daha hızlı ve daha güvenilir kablosuz iletişim sistemleri gerektireceği öngörülebilir. Özellikle ses ve multimedya haberleşmesi üzerindeki talebin artması; yeni nesil kablosuz iletişim sistemlerinin Mbps hızlarında artış sağlamasını ve daha fazla sayıda kullanıcı için gerçekleşmesini gerektirmektedir. Bu konuda ümit vaat eden, şu anda kullanılan ve yine gelecekte iletişim sistemlerinde önemli rol oynayacağı düşünülen teknolojiler üzerinde kısaca duracağız.

1.2. Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA)

Kablosuz servislere olan talep artışını karşılamak için, yeni nesil iletişim sistemlerinin yüksek kapasite gerektiren yeni teknolojilerle kullanımı ortaya çıkmıştır. [2] ve [3] de

kod bölmeli çoklu erişim sistemlerinin (CDMA) zaman bölmeli çoklu erişime (TDMA) [4] ve frekans bölmeli çoklu erişim (FDMA) [5,11] sistemlerine göre daha yüksek enformasyon kapasitesi sağlandığı görülmektedir.

Üstelik CDMA temel haberleşme tekniğinin dar band girişimine karşı daha esnek olduğu gözlenmiştir. Bu sebeplerden dolayı, CDMA pek çok kablosuz standartlarda yer almış olup (örn: Universal mobile telecommunications system – UMTS [6-7], CDMA2000 [8] ve IS-95 [9]) gelecek nesil 3GPP2 standardı teknolojiler için de uygun olduğu düşünülmektedir[10].

1.3. Ortogonal Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM)

Geçtiğimiz yıllarda, OFDM tekniğini esas alan IEEE 802.11a, IEEE 802.11g, IEEE 802.16a, DAB [12] ve DVB [13] gibi pek çok protokol gerçekleştirilmiştir [14-17]. OFDM bir çok taşıyıcılı iletim tekniği olmakla birlikte yüksek hızda kablosuz veri iletimi için mükemmel bir metot olarak ümit vaat etmektedir. OFDM' in tarihi 1960' lara dayanmaktadır. Fakat daha çok, son yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Çünkü; yeteri derecede yüksek hızda sayısal işlemleri gerçekleştirebilen tümleşik devreler henüz mümkün olmuştur. OFDM, modüle edilmiş çoklu taşıyıcıların hepsini sıkıştırarak, gerekli band genişliğini azaltmakta; ancak bunu modüle edilmiş işaretlerin ortogonal olmasıyla sağlamaktadır. Böylece taşıyıcıların birbirleri arasındaki girişimleri önlenir. OFDM tekniğini esas alan haberleşme sistemlerine olan eğilim, aynı zamanda OFDM' in çok yollu kanallarda semboller arası girişime olan esnekliğinden kaynaklanmaktadır. TDMA ve CDMA gibi tek taşıyıcılı sistemler geniş band genişliği gerektirmektedir. Bu durum frekans sönümlüme için de hassasiyet göstermektedir. Bir başka deyişle; şiddetli darbeler arası girişime sebep olan kısa darbe süresiyle işlem gerektiren durumlarda, tek taşıyıcılı sistemler, yüksek hızda veri iletimi için zorluklar yaşamaktadır.

1.4. 4G' nin gerçekleştirilmesi: MC-CDMA

Ticari alanda 4G sistemlerinin yer almaya başlaması 2008-2012 tarihleri civarında olması beklenmektedir [18]. 4G sistemlerin, 3G sistemlere daha geniş uygulama aralığı ve evrensel erişim özelliği kazandıracağı düşünülmektedir. Nihayetinde 4G sistemlerin

dar band kablosuz servisler, yüksek tanımlı televizyon (HDTV) ve tüm ticari haberleşme sistemlerinin birbirini tanıması ve ara bağlantısı gibi kablosuz uygulamaları ihtiva edeceği düşünülmektedir. Bu durum; yüksek spektral verimliliği ve daha fazla sayıda kullanıcılı ve hızlı sistemleri gerektirmektedir.

Literatürde bu amaçla; CDMA ve OFDM tekniklerinin birleştirildiği bir sistem önerilmiştir. Bu teknik çok taşıyıcılı-CDMA (MC-CDMA) olarak bilinmektedir [19]. CDMA, yüksek hızda yayma dizisi ile her bir kullanıcı sembolünü modüle ederek, kullanıcıların verisini zamanda yayarken, MC-CDMA; genişçe bir band genişliğinde eşzamanlı olarak, her bir kullanıcı verisini çoklu alt taşıyıcılar üzerinden ileterek, kullanıcıya ait sembolleri yayar. MC-CDMA yapısında, iletilen sembollerin seçilebilirliğinin sağlanması; her bir kullanıcı sembolünün farklı yayma koduyla kodlanması ve her bir kullanıcı yayma kodunun birbirine ortogonal olması ile gerçekleştirilir. Bu anlamda MC-CDMA' nın CDMA' ya üstünlüğü; CDMA alıcısı (örneğin RAKE alıcısı [20]) alınan sinyale zaman domeninde işlem yaparken, MC-CDMA alıcısının frekans domeninde işlem yapmasıdır. AWGN kanal için zaman domeni ve frekans domeninde ki işlemenin benzer performans göstermesine [17] karşılık [19]' da belirtildiği üzere çok yollu kanallar için frekans domeninde işlemenin, zaman domeni işleme göre daha tercih edilebilir olduğu görülmektedir. Bu sebepten ötürü [21]' de bütün tek taşıyıcılı sistemler için çok taşıyıcılı sistemler önerilmiştir. CDMA ile OFDM' in harmanlaştırılmasıyla oluşturulan MC-CDMA yapısı, CDMA' in çok kullanıcılı olma ve yayma kodundan kazandığı veri iletim hızı avantajını kazanmış, OFDM' in de ortogonal frekans özelliğinden kaynaklanan gürbüz frekans seçici ve yüksek spektral verimlilik özelliklerini kazanmış ve tüm bu özelliklerinden ötürü yeni nesil kablosuz iletim sistemleri için teknik alt yapı hizmeti sunan temel bir teknik olarak ümit vermektedir [22,92].

1.5. Çok Kullanıcılı Sezme (Multiuser detection-MUD)

Çok kullanıcılı yapılarda alıcıda, her bir kullanıcının mesaj bilgisinin tekrar elde edilmesi çok kullanıcılı sezme olarak adlandırılabilir. İkisi de çok kullanıcılı yapı olan ve aynı yayma kodu tekniğine dayanan, CDMA ve MC-CDMA yapılarında alıcı-sezme teknikleri benzerlik gösterir.

Her bir kullanıcının ortogonal yayma koduyla çarpıldığı düşünüldüğünde; basit bir uyumlu filtre bankası klasik alıcı yapısını oluşturur [23-26]. Verdu, Uyumlu Filtre çıkışlarından sonra kullanılan Viterbi maksimum olasılık (maximum likelihood) detektörü ile optimum alıcı yapısını oluşturmuştur [23,24]. En klasik alıcı yapısı olan Uyumlu filtre alıcının çok kullanıcı girişimi (MUI) ve güç kontrolünde ki dayanıksızlığı yeni sezici yapıların geliştirilmesini sağlamıştır [26-32]. Lineer alıcı olarak oluşturulan sezici yapılarından, ilişki çözücü alıcı ve MMSE alıcı literatürde yer almıştır [23,26,33-46]. Klasik ve lineer alıcı yapılarının dışında lineer olmayan alıcı yapıları da gerçekleştirilmiştir. Bu anlamda literatürde yapay sinir ağlarıyla oluşturulmuş bir çok alıcı yapısı mevcuttur [47-55].

Yapay zeka tekniklerinden Bulanık Mantık tekniğini esas alan alıcı yapısı da çok kullanıcılı yapılar için kullanılmış ve literatürde yer almıştır. Jang ve arkadaşları önerdikleri bir bulanık mantıklı uyarlanabilir çok kullanıcılı detektörü [47] nolu kaynaktaki aynı simülasyon şartlarında deneyerek iyi bit hata oranı performansı elde etmişlerdir [56].

Bunların yanında, paralel girişim engelleyici (PIC) ve seri girişim engelleyici (SIC) alıcılar da literatürde kullanılmıştır [57,58]. Ayrıca, bulanık mantık ve yapay sinir ağı temelli PIC yapıları da oluşturulmuştur [59,60].

2. BÖLÜM
ÇOKLU ERİŞİM VE CDMA

2.1. Giriş

Kablosuz ve gezgin haberleşme sistemleri, 1990'lı yıllardan itibaren haberleşme ve elektronik endüstrisinin en hızlı büyüyen dallarından biri olmuştur. Tüketicinin haberleşme sektörüne olan talebi de bu büyümeye katkı sağlamıştır. Günümüzdeki kullanıcılar; ses bazlı telefon servislerinin yanında, veri ve video haberleşmesi gibi diğer servisleri de talep etmektedir. Artan bu taleplerle birlikte, band genişliğinin daha verimli kullanılmasını sağlayacak yöntemlerin geliştirilmesi, gerek haberleşme endüstrisinin gerekse akademik çevrelerin bu konuya olan ilgisini artırmıştır. 1990'lı yıllardan itibaren yürütülen araştırmalar, daha yüksek iletim hızlarının sağlanması, band genişliğinin daha verimli kullanılması ve servis sağlama çeşitliğinin artırılması gibi yaklaşımlarla artan kullanıcı talepleri karşılanmaya çalışılmıştır. Bunun yanında gezgin sistemlerin maliyet ve fiziksel büyüklüklerinin azaltılması, servis kalitesinin iyileştirilmesi gibi yenilikler de sağlanmıştır [61-63].

1980'li yıllarda oluşturulan birinci kuşak sistemler, tamamı ses verisi olan bir veri trafiğini sağlayan analog teknolojilere dayanmaktaydı. Birinci kuşak hücresel sistemler genelde analog frekans modülasyonu tekniklerini kullanır. İleri gezgin telefon sistemi (AMPS), birinci nesil sistemlerin en tanınmış olanıdır. Birinci nesil sistemlerin tümü hücrelerin içinde her kanala tek frekans bandı atanması şeklinde frekans bölmeli çoklu erişim (FDMA) prensibine dayanmaktadır.

Birinci nesil sistemlerinin yetersizliği ve kullanıcı talebindeki artış ikinci nesil hücresel sistemlerin gelişimini sağlamıştır. Kuantalama, sıkıştırma ve kodlama teknikleri ile sayısal teknolojinin birleştirilmesiyle ikinci nesil sistemler oluşturulmuştur. İkinci nesil sistemlerin tümünde sayısal modülasyon kullanılır. 1990'lı yıllarda hizmete sunulan

ikinci kuşak sistemlerin en belirgin standardı gezgin haberleşme için küresel sistem (GSM)'dir.

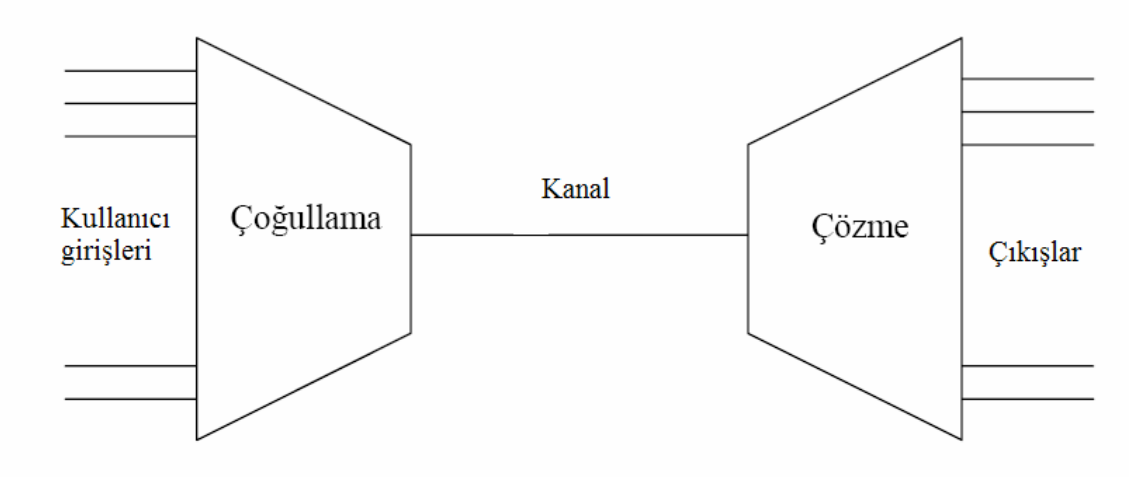
Üçüncü nesil hücresel sistemler sabit ağlarla aynı kalitede video ve yüksek kalitede görüntü iletimi, yüksek hızlı internet erişimi gibi hizmetleri genişbandla desteklemek için tasarlanmıştır. Üçüncü nesil sistemler ses, veri ve çoklu ortam trafiğinin desteklenmesini sağlayacak sayısal teknolojiye dayanmaktadır. Üçüncü nesil sistemler olarak adlandırılan uluslararası gezgin telekomünikasyon (IMT)-2000, geniş bir çoklu ortam servisi ile birlikte araçlar için en az 144 Kbps, bina dışından bina içine doğru 384 Kbps ve bina içinden piko hücreye doğru ise 2 Mbps olmak üzere düşük hızlı veri iletiminden yüksek hızlı veri iletimine kadar tüm talepleri desteklemeyi hedeflemektedir [64].
Birinci nesil gezgin sistemler, haberleşme alanındaki görevini yerine getirmiş durumdadır. İkinci nesil sistemler ise yaklaşık olarak 20 yıldan beri kullanılmakta olup, yerini hızla üçüncü nesil sistemlere bırakmaya başlamıştır [65].

2.2. Çoğullama ve Çoklu Erişim Yöntemleri

Çoğullamanın temel mantığı, birden fazla işaretin aynı haberleşme kanalını ortak kullanmasına dayanmaktadır. Aynı haberleşme kanalından birden fazla kullanıcıya ait işaret gönderildiğinde bu işaretlerin birbirine karışmasının önlenmesi veya en aza indirilmesi ve bu işaretlerin ayrıştırılarak, her bir alıcının istenen işareti tekrar alabilmesi önem kazanmaktadır. Bunların yanında; veri hızının mümkün olabilecek en yüksek hızda yapılması ve alıcıda sezmenin en az bit hata olasılığı ile yapılması önemlidir. Şekil 2.1, bir çoğullama yapısını göstermektedir.

Bu arada, literatürde çoğullama ve çoklu erişim kavramları sıkça geçmektedir. Bu iki sistemin benzerliklerinden ve farklılıklarından kısaca bahsedilmesinde fayda vardır. Çoğullama ve çoklu erişim aynı haberleşme yollarının veya kaynaklarının paylaşılarak birden fazla kullanıcı tarafından kullanılması anlamına gelmektedir. Bir çoğullama sisteminde sistem ihtiyaçları sabittir ve iletişim önceden belirlenen kurallara göre gerçekleşir. Ayrıca yerel bir noktada yapılan haberleşme kaynağı paylaşımı söz konusudur. Çoklu erişimde ise genelde haberleşme kaynaklarının paylaşım şekli, her kullanıcının anlık ihtiyacına göre belirlenmektedir. Çoğullama ve çoklu erişim

anlamları bakımından küçük farklar taşımasına rağmen, birden fazla kullanıcının benzer yapılardan faydalanarak haberleşme imkanı oluşturmaları ve iki yapıda da benzer yapıların kullanılabilmesi nedeniyle ikisi de birbirinin yerine kullanılabilmektedir.



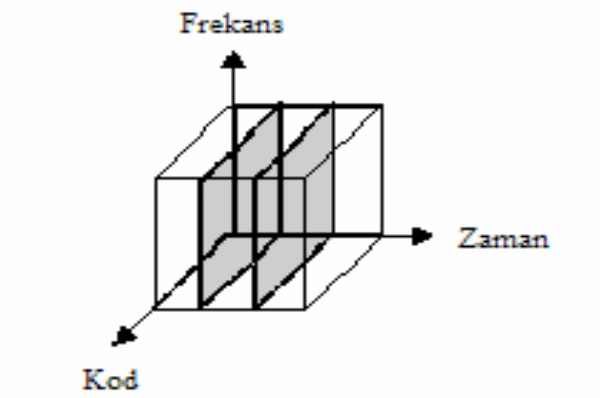
Şekil 2.1. Verici ve alıcı yapılarıyla çoğullama.

Haberleşmede çoğullama amaçlı üç temel yaklaşım kullanılmaktadır. Bunlar ; Zaman Bölmeli Çoklu Erişim, Frekans Bölmeli Çoklu Erişim ve Kod Bölmeli Çoklu Erişimdir [66]. Bu yöntemler aynı iletim ortamından birden çok bilginin iletilmesi için gerekmektedir. Aynı iletim ortamı kablo olabileceği gibi çoğunlukla hava olmaktadır. Havadan yapılan telsiz haberleşme de çok farklı amaçlarla yapılabilmektedir. Ancak konuya bakış açımız genellikle hücresel haberleşme uygulamaları bakımından olacaktır. FDMA 1. nesil analog hücresel haberleşmede, TDMA 2. nesil sayısal hücresel haberleşmede, CDMA da 3. nesil haberleşme sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. CDMA diğer yöntemlere göre daha karmaşık olmakla birlikte, esnek kanal kapasitesi, çok yollu zayıflamaya karşı dayanım, güvenlik, bütün spektrumun bütün kullanıcılar tarafından kullanılması, darband girişim dayanımı, hücreler arasında yumuşak geçiş kolaylığı, az güç sarfiyatı gibi avantajlara sahiptir .

2.2.1. Zaman Bölmeli Çoklu Erişim

Zaman Bölmeli Çoklu Erişim yaklaşımı; iletimin her bir kullanıcıya ait işaretlerin gönderilmesinin zaman farklılığının kullanılması ile açıklanmaktadır. Ortak kullanılacak olan haberleşme kaynaklarından her bir kullanıcının bilgileri, o kullanıcıya ait zaman diliminde gönderilir. Şekil 2.2'de Zaman Bölmeli Çoklu Erişim sistemi

gösterilmektedir. Görüleceği üzere TDMA sisteminde zaman boyutu, bir çok zaman dilimine ayrılmıştır. Her bir kullanıcının sinyalleri bu ayrılan zaman dilimlerinde gönderilmektedir. Her kullanıcı sinyalinin farklı zaman dilimlerinde gönderilmesiyle hem ortak tek haberleşme kanalı kullanılmış olur hem de kullanıcı işaretlerinin birbirine karışması önlenmiştir.



Şekil 2.2. TDMA sisteminin zaman, frekans ve kod boyutlarında gösterilişi.

Bir TDMA sisteminde teorik olarak her bir zaman dilimindeki işaretlerin birbirine karışmadığı kabul edilir. Ancak bazı durumlarda zaman dilimleri arasında dolayısıyla da işaretler arasında girişim olabilmektedir. Böyle durumlar için zaman dilimleri arasında boşluklar bırakılabilir veya koruyucu aralıklar oluşturulabilir.

TDMA sisteminde her bir kullanıcıya ait zaman dilimi sayısı, iletim hızlarına bağlı olarak, performansın artırılması düşünülerek değiştirilebilir. Yine filtre kullanımında esnek olması bu sistemin belirgin avantajlarıdır. Bunun yanında TDMA sistemleri, değişken bit hızı iletimine uygundur. Ancak eşzamanlamada yaşanan problemlerin yanında oluşabilecek zamanlama hataları veya oluşabilecek gecikmeler de söz konusudur. Her ne kadar çeşitli güvenlik süreleri ve güvenlik bitleri kullanılsa da sistem performansı düşebilmektedir. Bu durumlar da TDMA sisteminin dezavantajları olarak sayılabilir.

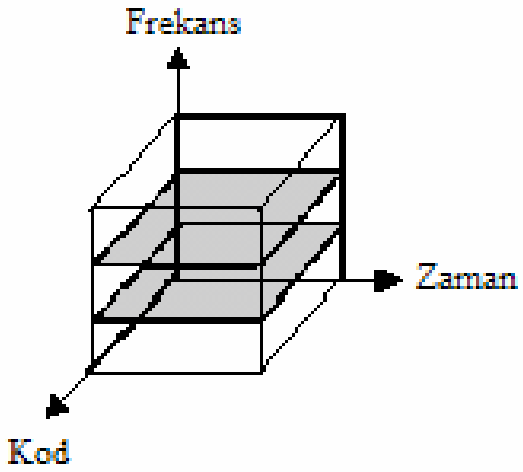
2.2.2. Frekans Bölmeli Çoklu Erişim

Frekans Bölmeli Çoklu Erişim yaklaşımı; iletimin, her bir kullanıcıya ait işaretlerin gönderilmesinde farklı frekansların kullanılması ile açıklanmaktadır. Ortak kullanılacak

olan haberleşme kaynaklarından her bir kullanıcının bilgileri, o kullanıcıya ait frekans diliminde gönderilir. Bütün kullanıcılara ait frekans bandı bölünerek her bir kullanıcıya belirli bir frekans dilimi ayrılır. Böylece her bir kullanıcı aynı zamanda fakat farklı frekans bantlarında iletim sağlarlar.

Şekil 2.3'de Frekans Bölmeli Çoklu Erişim sistemi gösterilmektedir. Görüleceği üzere FDMA sisteminde frekans boyutu, bir çok frekans dilimine ayrılmıştır. Her bir kullanıcının sinyalleri bu ayrılan frekans dilimlerinde (bantlarında) gönderilmektedir. Her kullanıcı sinyalinin farklı frekans dilimlerinde gönderilmesiyle hem ortak tek haberleşme kanalı kullanılmış olur hem de kullanıcı işaretlerinin birbirine karışması önlenmiştir.

FDMA' de frekans bandının bölüştürülmesi, kullanıcıların iletim ihtiyacına göre belirlenir. Her bir kullanıcıya ayrılan frekans bantlarında işaretlerin birbirine karışmadan geri ayrıştırılabilmesine olanak sağlayan güvenlik bantları bırakılabilir. Böylece işaretlerin örtüşmesi veya girişime karşı tedbir alınmış olur.



Şekil 2.3. FDMA sisteminin zaman, frekans ve kod boyutlarında gösterilişi.

Frekans Bölmeli Çoklu Erişim sisteminde, zaman paylaşımı söz konusu değildir, tüm süre tek bir işaretin iletimine ayrılmıştır. Bu durum, sayısal modülasyon tekniklerine uygun olup, ISI' nın daha az etkin olduğu söylenebilir. Yine bu sistemde iletim sürekli olduğundan, eşzamanlama TDMA sistemlerine göre daha kolaydır. Eşzamanlama için

gerekli olan kontrol bilgileri de oldukça azdır. FDMA sistemlerinin bu avantajlarının yanında, tasarımının kolay olması ve basit bir yapı olması da söz konusudur.

FDMA sistemlerinde girişimin azaltılması için kullanılan güvenlik bantlarının frekans spektrumunda büyük israfa yol açması ve ortak haberleşme kaynaklarının paylaşım biçiminin kolayca değiştirilememesi FDMA sisteminin bu konularda esnek olmadığını göstermektedir. Güvenlik bantlarının dar tutulabilmesi için yüksek maliyetli dar bantlı süzgeçlere ihtiyaç duyulması söz konusudur [66]. Bununla birlikte frekans spektrumunda bırakılması gereken güvenlik bantları haberleşme kaynaklarının israfına yol açar. Bunların dışında frekans boyutunda çalışmanın zorluğu olarak; ilgili kullanıcıların frekans bantlarının ayrıştırılmasında kullanılacak filtrelerin keskin olmasının gerekmesi ve bunun pratik olarak çok zor ve pahalı olması FDMA sistemlerinin dezavantajlarıdır.

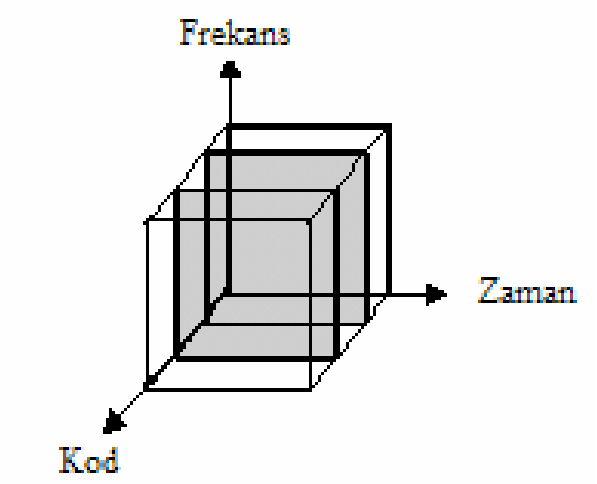
2.2.3. Kod Bölmeli Çoklu Erişim

Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA), ilk olarak 2. Dünya Savaşı sırasında ABD tarafından askeri amaçlar için kullanılmaya başlanmıştır. 1990'lı yılların ortasında ABD menşeli Qualcomm şirketi CDMA teknolojisini ikinci kuşak bir haberleşme şebekesi olan CDMAOne olarak da bilinen IS-95 standardıyla ticari olarak kullanıma sunmuştur [67].

CDMA2000 ABD'den TIA, Japonya'dan ARIB ve TTC, Çin'de CCSA ve Kore'de TTA adlı düzenleme kurumlarının katılımıyla oluşturulan 3GPP Ortaklık Projesi tarafından ITU'ya teklif etmiştir. CDMA2000, yeni frekans tahsisi gerektirmeksizin 2G şebeke işletmecilerinin 3G'ye geçişi için en uygun seçenek olarak ortaya çıkmaktadır. CDMA, askeri ve sivil uygulamalarda kullanılan bir çoklu erişim yöntemidir. Bu metot sayesinde tüm kullanıcılar aynı frekans bandını kullanabilirler. Her kullanıcıya ait bilgi yine o kullanıcı için sözde rastgele olarak üretilmiş bir kod diziyle çarpılarak tüm bant boyunca yayılır. İlk olarak Kuzey Amerika ve Asya Pasifik bölgelerinde kullanılmaya başlanmış ve şu anda tüm dünyada kullanılan bir teknolojidir [68,69].

Kod Bölmeli Çoklu Erişim sisteminde kullanıcılar, ilgili bant genişliğinin tamamında ve iletim zamanının tümünde etkindir. Yukarıda FDMA 'de kullanıcıların frekans bandının

belli kesimlerinde ve yine TDMA' in de ilgili zamanın belli kısımlarında iletim imkanına sahip oldukları ifade edildi. Ancak CDMA, ifade edilen özelliği ile FDMA ve TDMA yapılarından farklıdır. CDMA sisteminde kullanıcılara ait sinyaller aynı frekans bandında ve aynı zamanda iletilerken, farklılıkları kod boyutunda ortaya çıkmaktadır. Her kullanıcı farklı kodlarla gönderildiğinden sinyallerin karışması engellenmiş olur. Bu durum, alıcıda da sezme açısından rahatlık sağlar. Zira alıcıda kullanıcıların ne zaman farklılıklarından ne de frekans farklılıklarından faydalanarak sezme yapılır. Vericide oluşturulan kod boyutundaki farklılık, alıcıda gerçekleştirilen sezmenin temelini oluşturur. Bir CDMA sisteminin Frekans-Zaman-Kod boyutunda gösterimi Şekil 2.4.' de verilmiştir.

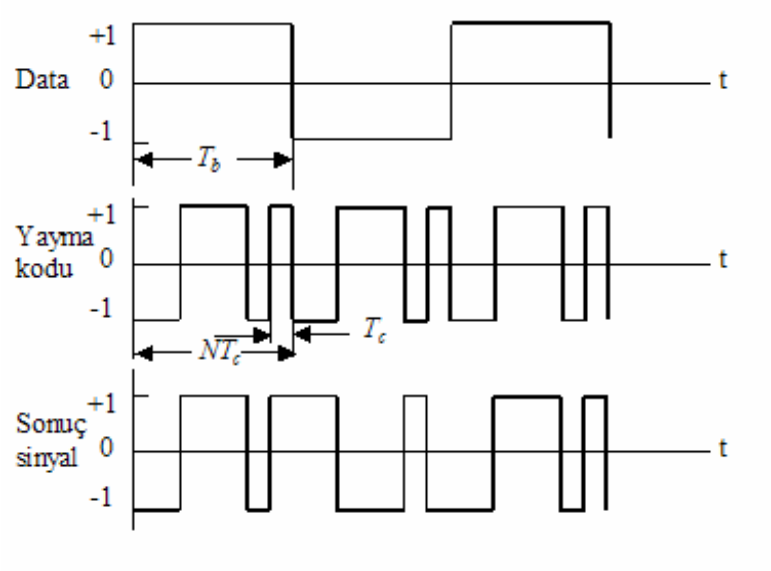


Şekil 2.4. CDMA sisteminin zaman, frekans ve kod boyutlarında gösterilişi.

CDMA sisteminde her bir kullanıcı bilgisi kendisine ait bir yayma koduyla çarpılarak kanala verilir. Kanalda bütün kullanıcılara ait CDMA sinyali toplanarak gürültü benzeri sinyali oluşturur. Alıcı tarafta, gürültüyle de toplanmış olan bütün kanalların bilgisini içeren toplam CDMA sinyali her bir kullanıcıya ait kod ile tekrar çarpılarak kullanıcı bilgileri tekrar elde edilir. Bir kullanıcı için bilginin yayma koduyla çarpılarak CDMA sinyalinin elde edilişi Şekil 2.5'de görülmektedir.

CDMA sisteminde kullanıcılar arasında kodlar sayesinde ayırt edicilik sağlanır. Her kullanıcıya gürültü benzeri bir kod atanırken bu kod yayma kodu olarak isimlendirilir. Bu kod, diğer kullanıcıların kodlarına dikgendir(ortogonaldir). Bu kod, MAI olarak

isimlendirilen çoklu erişim girişimini (Multiple Access Interference) yaklaşık sıfır yapan çapraz ilinti özelliğine sahiptir.



Şekil 2.5. CDMA sinyalinin elde edilişi.

Gürültü benzeri kod, bilgi işaretine uygulanır ve böylece bilgi işareti diğer kullanıcılar tarafından gürültü benzeri bir işaret olarak algılanır. Alıcıda da ilgili kullanıcıya ait kodun aynısı kullanılır ve alıcısı bu kodu toplam CDMA sinyalinden kendi bilgi işaretini seçmek için kullanır. Bu durumda sadece ilgili kullanıcı işareti çözebildiği için mesajın gizliliği sağlanmış olur. Gürültü benzeri kodun yayma kodu olarak da isimlendirilmesinin sebebi iletim gerçekleşmeden önce orijinal işaretin çok yüksek bir bant genişliğine yayılmasıdır.

CDMA sinyalinin elde edilmesinin ve CDMA sinyalinden tekrar bilginin elde edilmesinin daha detaylı olarak bit gösterimiyle yapılması uygun olur. Şekil 2.5'de görülen bilgi [1 –1 1] bitleri, yayma kodu da [–1 –1 1 1 1 –1 1] bitleridir. Bir bit bilgi periyodu T_b , bir bitlik kod periyodu (chip) ise T_c ile gösterilmektedir. Her bir bilgi biti N tane kod bitiyle ifade edilmekte, böylece bilgi daha geniş bir spektrumda iletilmektedir. [1 –1 1] bilgisiyle, [–1 –1 1 1 1 –1 1] kodunun çarpılması sonunda [–1 –1 1 1 1 –1 1 1 1 –1 –1 –1 1 –1 –1 –1 1 1 1 –1 1] dizisi elde edilir. Alıcı tarafta alınan dizi kod uzunluğu kadar bölümler halinde aynı kod ile çarpılıp toplanarak ve eşik ile kıyaslama yapılarak bilgi tekrar elde edilir. Alınan dizi kod ile çarpılıp toplandığında [7

–7 7] bilgisi elde edilir. Kıyaslama işleminden sonra da [1 –1 1] bilgisinin doğru olarak tekrar elde edildiği görülür. Birden çok kullanıcı durumunda da CDMA sinyalinin oluşumunu 3 bit uzunluklu kodlarla Örnek 1'de açıklayalım.

Örnek.1:

Vericide 2 kullanıcının olduğunu varsayalım. Her bir kullanıcıya ait bilgi ve yayma kodu bitleri de aşağıda verildiği gibi olsun:

1. kullanıcı bilgisi [1 –1 1], kullanıcı kodu [1 1 1] olsun,

2. kullanıcı bilgisi [1 –1 –1], kullanıcı kodu [1 1 –1] olsun.

Bu durumda,

1. kullanıcının CDMA sinyali [1 1 1 –1 –1 –1 1 1 1],

2. kullanıcının ise [1 1 –1 –1 –1 1 –1 –1 1] olacaktır.

Toplam CDMA sinyali de

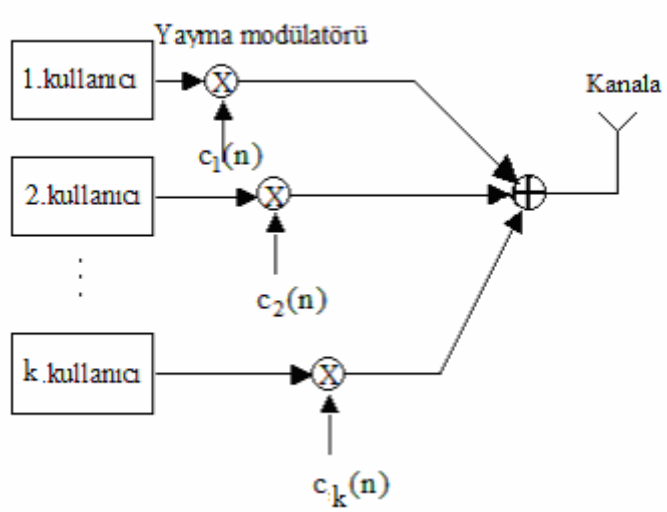
(1+1) (1+1) (1-1) (-1-1) (-1-1) (-1+1) (1-1) (1-1) (1+1) = [2 2 0 –2 –2 0 0 0 2] olur.

Bu örnekte ele alınan CDMA sisteminin verici yapısı blok olarak Şekil 2.6' da verilmiştir [70]. Toplam CDMA işareti böylece elde edilmiş olur. Bu işaret daha sonra kanala verilir. Alıcıda kanaldan alınan bu işaretin bazı bitleri bozulacaktır. Ancak bu örnekte kanalın toplam CDMA sinyali üzerinde bozucu etkisinin olmadığını varsayalım. Böylece yukarıdaki toplam CDMA sinyalinin alıcıda aynen alındığını kabul edelim.

Alıcıda her bir kullanıcının yayma kodu ile işaret çarpılarak yani geri yayma işlemi yapılarak, sonuç kıyaslama işlemine tabi tutulacaktır.

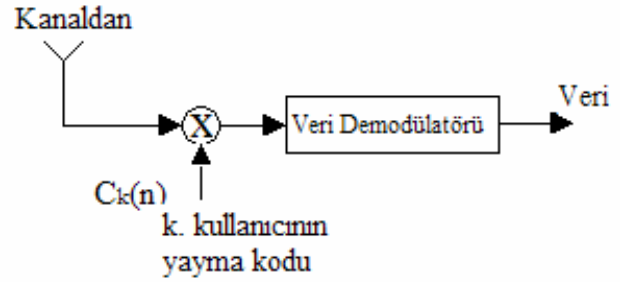
Toplam CDMA sinyalinin 1. kullanıcı koduyla çarpılarak toplanması sonucunda

((2x1)+(2x1)+(0x1)) ((-2x1)+ (-2x1)+ (0x1)) ((0x1)+ (0x1)+ (2x1)) = [4 –4 2] elde edilir ve bu değerler de kıyaslama işlemine tabi tutulursa [1 –1 1] olarak 1. kullanıcı bilgisi elde edilir. Dikkat edilirse 1. kullanıcı için bilgi bitleri doğru olarak elde edilmiş olur.



Şekil 2.6. CDMA için verici yapısı.

Aynı şekilde 2. kullanıcı için de 2. kullanıcı koduyla çarpma işleminden sonra ((2x1)+(2x1)+(0x-1)) ((-2x1)+ (-2x1)+ (0x-1)) ((0x1)+ (0x1)+ (2x-1)) = [4 –4 –2] elde edilir ve bu değerler de kıyaslama işlemine tabi tutulursa [1 –1 –1] olarak 2. kullanıcı bilgisi elde edilir. Dikkat edilirse 2. kullanıcı için de bilgi bitleri aynen 1. kullanıcıda olduğu gibi doğru şekilde elde edilmiş olur. Burada alıcı için kullanılan CDMA yapısı Şekil 2.7' de gösterilmektedir.



Şekil 2.7. k. kullanıcı için CDMA alıcı yapısı.

Yukarıdaki örnekte görüldüğü gibi 2 kullanıcılı yapı için aynı iletim ortamında CDMA sistemiyle bilgi iletimi doğru olarak yapılabilmektedir. Ancak CDMA sisteminde aktif kullanıcı sayısı arttığında yada kullanıcılardan birinin sinyal gücü fazla olduğunda zayıf olan sinyale sahip kullanıcının bilgi iletiminde hatalar olmaktadır. Güç farklılıklarından (istasyona olan uzaklık farklılıklarından dolayı) kaynaklanan hatalı iletim durumu yakın-uzak problemi olarak anılmaktadır. Bu sebeple CDMA sisteminde alıcı girişinde

bütün kullanıcı sinyallerinin eşit olmasını sağlayan güç kontrolü büyük önem taşımaktadır. Ortogonal kodlar kullanılması durumunda bu problem olmamakta, ancak sistemde kullanıcı sayısı çok olduğunda yeterince ortogonal kod olmadığından, pratikte geçerli bir problem olmaktadır. Kullanıcı sayısının artması durumunda da çoklu erişim girişimi (MAI) artmakta ve hatalı iletim artmaktadır. Kullanıcı sayısının artışıyla artan MAI sonucunda hata oluşumunu aşağıdaki örnekte açıklayalım.

Örnek.2:

Bir CDMA sisteminde, vericide 4 kullanıcı olduğunu kabul edelim. Bu kullanıcıların bilgi bitleri ve yayma kodları da aşağıda verildiği gibi olsun, aşama aşama toplam CDMA sinyalini ve kullanıcı bilgilerini geri elde edelim:

1. kullanıcı bilgisi [1 –1 1], kullanıcı kodu [1 1 1],

2. kullanıcı bilgisi [1 –1 –1], kullanıcı kodu [1 1 –1],

3. kullanıcı bilgisi [–1 –1 1], kullanıcı kodu [–1 1 1],

4. kullanıcı bilgisi [–1 1 –1], kullanıcı kodu da [1 –1 –1],

Bu durumda her bir kullanıcının CDMA sinyalini oluşturursak,

1. kullanıcının CDMA sinyali [1 1 1 –1 –1 –1 1 1 1],

2. kullanıcının CDMA sinyali [1 1 –1 –1 –1 1 –1 –1 1],

3. kullanıcının CDMA sinyali [1 –1 –1 1 –1 –1 –1 1 1],

4. kullanıcının CDMA sinyali [–1 1 1 1 –1 –1 –1 1 1],

Her bir kullanıcının CDMA sinyali oluşturulduktan sonra bu sinyaller toplanarak toplam CDMA sinyalini elde ederiz. Toplam CDMA sinyali de:

(1+1+1-1) (1+1-1+1) (1-1-1+1) (-1-1+1+1) (-1-1-1-1) (-1+1-1-1) (1-1-1-1) (1-1+1+1) (1+1+1+1) = [2 2 0 0 –4 –2 –2 2 4] olarak bulunur.

Vericide toplam CDMA sinyali antenle kanala verilir. Kanaldan geçen sinyalin bozulmadan alıcıda alındığını kabul edersek, alıcıda toplam CDMA sinyali her bir kullanıcıya ait yayma kodu ile tekrar çarpılarak kıyaslama işlemine tabi tutulur:

Toplam CDMA sinyalinin 1. kullanıcı koduyla çarpılarak toplanması sonucunda ((2x1)+(2x1)+(0x1)) ((0x1)+ (-4x1)+ (-2x1)) ((-2x1)+ (2x1)+ (4x1)) = [4 –6 4] elde edilir ve bu değerler de kıyaslama işlemine tabi tutulursa [1 –1 1] olarak 1. kullanıcı bilgisi doğru şekilde elde edilir.

Toplam CDMA sinyalinin 2.kullanıcı koduyla çarpılarak toplanması sonucunda ((2x1)+(2x1)+(0x-1)) ((0x1)+ (-4x1)+ (-2x-1)) ((-2x1)+ (2x1)+ (4x-1)) = [4 –2 –4] elde edilir. Bu değerler de kıyaslama işleminden geçirilirse [1 –1 –1] olarak 2. kullanıcı bilgisi doğru şekilde elde edilir.

Toplam CDMA sinyalinin 3. kullanıcı koduyla çarpılarak toplanması sonucunda ((2x-1)+(2x1)+(0x1)) ((0x-1)+ (-4x1)+ (-2x1)) ((-2x-1)+ (2x1)+ (4x1)) = [0 –6 8] elde edilir. Bu değerler de kıyaslama işleminden geçirilirse [? –1 1] olarak 3. kullanıcı bilgisi yanlış şekilde elde edilir.

Toplam CDMA sinyalinin 4. kullanıcı koduyla çarpılarak toplanması sonucunda ((2x1)+(2x-1)+(0x-1)) ((0x1)+ (-4x-1)+ (-2x-1)) ((-2x1)+ (2x-1)+ (4x-1)) = [0 6 -8] elde edilir. Bu değerler de kıyaslama işleminden geçirilirse [? 1 –1] olarak 4. kullanıcı bilgisi yanlış şekilde elde edilmiş olur.

Görüldüğü gibi sinyal güçleri aynı olmasına rağmen 3. ve 4. kullanıcılarının bilgi iletiminde belirsizlik, yani hata oluşmaktadır. Aslında bu durumda da hata oluşmayacak şekilde kod seçilebilirdi, ama pratikte her zaman ideal kod seçimi mümkün olmadığından MAI hataya yol açmaktadır. Gerçekte hatalı duruma sebep olan, 3. ve 4. kullanıcı kodlarının çapraz ilişkisinin sıfırdan uzaklaşmasıdır.

Dikkat edilirse, daha fazla kullanıcı sayısı için alıcıda MAI' nın da etkisiyle toplam CDMA sinyalinden kullanıcı bitlerinin sezilmesinde yanlış sonuç bulma olasılığı artmaktadır. Özellikle kanalda bu işarete gürültünün de eklenmesiyle ifade edilen olasılık daha da artacaktır.

CDMA diğer yöntemlere göre daha karmaşık olmakla birlikte, esnek kanal kapasitesi, çok yollu zayıflamaya karşı dayanım, güvenlik, bütün spektrumun bütün kullanıcılar tarafından kullanılması, darband girişim dayanımı, hücreler arasında yumuşak geçiş kolaylığı, az güç sarfiyatı gibi özelliklere sahiptir [71].

3. BÖLÜM

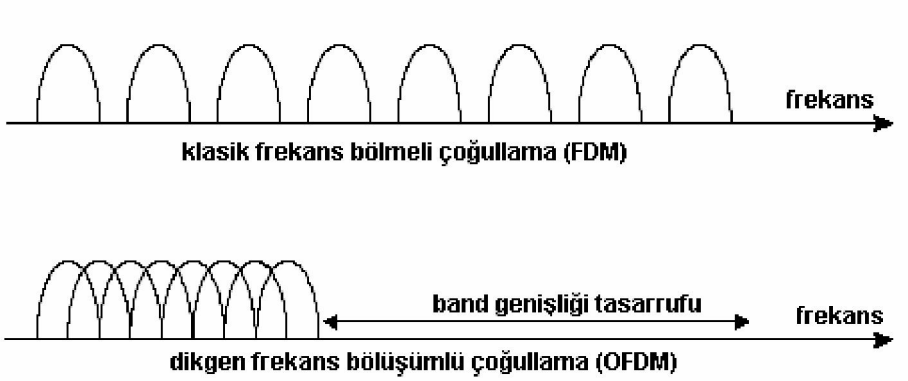
DİKGEN FREKANS BÖLMELİ ÇOĞULLAMA

3.1. Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM)

Frekans Bölmeli Çoğullama (FDM), frekans seçimli kanallarda sinyal iletimi için yaygın şekilde kullanılan bir tekniktir. Temel olarak bu teknikte, kanal band genişliği belli sayıda alt bandlara bölünerek, her bir alt-taşıyıcı için tahsis edilmiş frekanslarda düşük hızlarda ki taşıyıcıların çoğullanması sağlanır. Alıcı tarafta sinyalleri birbirinden ayırmak için taşıyıcı frekans boşluklarının birbiri üzerine binmemesi gerekmektedir. Bu zorunluluk, frekans spektrumundan tam olarak verim alınmasını engellemektedir. Band genişliğinden daha fazla yararlanma ihtiyacıyla birlikte, bu probleme karşı dikgen frekans bölmeli çoğullama tekniği (OFDM) önerilmiştir [72-81]. OFDM, genel olarak veri akışını düşük hızlı alt-taşıyıcılara bölerek paralel kanallarda ileten bir modülasyon tekniğidir ve son zamanlarda çoğullama amaçlı sistemlerde yaygın kullanılan bir tekniktir. OFDM ile FDM arasındaki en temel fark; OFDM sisteminde taşıyıcı spektrumları birbiri üzerine binmekte ve bu taşıyıcıların birbirlerine dikgen olması sayesinde spektral verimlilik elde edilmektedir. Bu sayede elde edilen band genişliği tasarrufu, Şekil 3.1' de görülmektedir. Bu teknikte; sinyalin düşük hızlarda iletilmesinden dolayı sinyal periyodu uzun bir şekilde kalacak ve semboller arası girişim problemi azalacaktır. Ayrıca bu sistemdeki alt-taşıyıcıların düşük hızlı olmaları, kanalda çoklu yolun meydana getireceği olumsuz etkilere karşı daha fazla gürbüzlük sağlayacaktır.

OFDM, aynı zamanda kanalın etkisiyle çerçevede oluşan simgeler arası girişimi(ISI) yok edebilme özelliğine sahiptir [76]. Bunun için en uygun yöntem, ardarda gelen OFDM çerçeveleri arasına periyodik ön ekin (CP) kanal gecikmesinden (delay spread) büyük olacak şekilde seçilerek ilave edilmesidir. Ayrıca OFDM de ters ayrık Fourier

dönüşümü kullanılmakta ve bu sayısal işaret işleme tekniği sayesinde sistemdeki alt-taşıyıcıların birbirlerine dikgen olması sağlanmaktadır [73,78].



Şekil 3.1 OFDM kullanılarak sağlanan band genişliği tasarrufu.

3.2. OFDM' in Tarihsel Süreci

Son yıllarda dikgen frekans bölmeli çoğullama (OFDM) sistemlerine olan ilgi, bu tekniğin hem kablosuz hem de kablolu haberleşme uygulamalarında yüksek hızlarda veri aktarımına olanak sağlamasından ve aktarımda meydana gelebilecek olan veri kayıplarının azlığından dolayı her geçen gün artmaktadır. Bu tekniğin gerek kablolu gerekse kablosuz haberleşmede IEEE ve ETSI kuruluşları tarafından standardizasyonu yapılmaktadır [82,83].

OFDM ortaya çıkış itibariyle eskidir. İlk olarak yüksek frekanslı askeri uygulamalarda kullanılan çok taşıyıcılı modülasyon tekniklerine bağlı olarak 60lı yılların son zamanlarında ortaya çıkarılmıştır [72]. Ortaya çıktıktan sonra uzun yıllar boyunca popüler olmamıştı, çünkü bu sistemlerin alıcı tarafında evre uyumlu demodülatörler ve büyük dizili sinozoidal üreteçlere ihtiyaç duyulmaktaydı. O zamanın teknolojisi gereği pratik uygulamalar için bu sistemler çok pahalı ve karmaşıktı. Çok sayıdaki alt taşıyıcılar için paralel sistemlerdeki evre uyumlu demodülatör ve sinozoidal üreteç gereksinimi, sistemi hem karmaşık hem de pahalı hale getirmekteydi. Alıcıda, kullanıcılar arasındaki çapraz karışmanın kabul edilebilir boyutlarda olabilmesini sağlamak için demodüle edilmiş taşıyıcıların fazının tam olarak bilinmesi gerektiğinden, 1971 yılında Weinstein ve Ebert, semboller arası girişim (ISI) ve taşıyıcılar arası girişim (ICI) dan korumak için koruma aralığı eklemesini ve etkin bir şekilde OFDM

fonksiyonu sağlamak için IFFT/FFT kullanımını önermiştir [83]. Bu önerilen kullanımlar OFDM nin yeni yapısını oluşturmuştur.

OFDM uygulamalarının bir örneği, yüksek frekanslı radyolar için değişken veri hızlı modem türü olan AN/GSC-10 (KATHRYN) dir. Bu modem türünde, frekansı çoğullanmış alt taşıyıcı kümeleri ile PSK modülasyonu kullanarak 34 taneye kadar paralel düşük hızlı kanal üretilmiştir. Dikgen biçimdeki sinyal elemanları arasında koruma arasını sağlamak için 82 Hz kanal boşluğu kullanılmıştır. Genel olarak o yıllarda OFDM, KINEPLEX ve ANDEFT modem türlerinde olduğu gibi yüksek frekanslı askeri uygulamalarda kullanılmıştır.

1980 lerde OFDM yüksek hızlı modemler, sayısal iletişim sistemleri ve yüksek yoğunluklu kaydedicilerde kullanılmıştır. Hirosaki, DFT yi kullanarak çoğullanmış QAM için OFDM tekniklerini araştırmış ve aynı zamanda çoğullanmış QAM kullanarak 12.9 kbps' lik ses veri modemi tasarlamıştır. Bu sistemde taşıyıcıyı dengede tutmak ve saat frekans kontrolü için bir pilot ton kullanılmış ve istenen taşıyıcı-gürültü oranını azaltmak için kafes kodlama kullanılmıştır. Bu yıllarda değişik hızlı modemler, telefon ağları için tasarlanmıştır.

1990 larda OFDM, yüksek bit hızlı asimetrik sayısal kullanıcı hattı (HDSL), çok yüksek hızlı asimetrik kullanıcı hattı (VHDL), dijital ses yayıncılığı (DAP), sayısal görüntü yayıncılığı (DVBT) gibi genişband veri haberleşme uygulamaları için uygulamaya başlanmıştır.

Bu teknik her geçen gün daha fazla ilgi çekmiş ve daha fazla kullanım alanına sahip olmuştur ve günümüzde de sayısal ses yayıncılığı (DAP) ve sayısal görüntü yayıncılığında (DVB) de standart haline gelmiştir [83]. OFDM tekniklerinin günümüze gelinceye kadar ki tarihi ve uygulama alanları Tablo 3.1' de yer almaktadır. Geçtiğimiz birkaç yıl öncesinde kablosuz yerel alan ağlarda (WLAN) geniş bir kullanım alanına sahip olmuştur. OFDM tekniği, Kuzey Amerika' da IEEE 802-11 ve Avrupa' da Hiperlan/2 olarak kablosuz yerel ağ standartlarına uyarlanmıştır [84].

Önümüzdeki yıllarda da yeni nesil iletişim sistemlerinde büyük oranda teknik altyapı hizmeti vereceğinin düşünüldüğü OFDM tekniği, özellikle geniş band spektrum bilgi iletiminde yaygın kullanılacağı tahmin edilmektedir. Literatürde geniş oranda yer bulan

ve dünyada uygulamaları yeni yeni başlayan Wi-Max sistemlere de katkısı bulunan OFDM adından daha çok söz ettirecektir. Wi-Max sistemlerde kablosuz olarak geniş band internet veri aktarımı gerçekleştirilirken, özellikle dağlık ve kablo yerleştirilme zorluğunun yaşandığı arazilere de internet hizmeti sunmak kolaylaşacaktır. Literatürde, Wi-Max iletim için iletim hızının yaklaşık 70 Mbit/sn olacağı ve kapsama alanınında düz arazide yaklaşık olarak 35-40 km olacağı tahmini yapılmaktadır. Uygulamada bu değerler yakalanamasa da, sistemin sağlayacağı kolaylık düşünüldüğünde, ileriki yıllarda OFDM üzerine daha çok çalışma yapılacağı aşikardır.

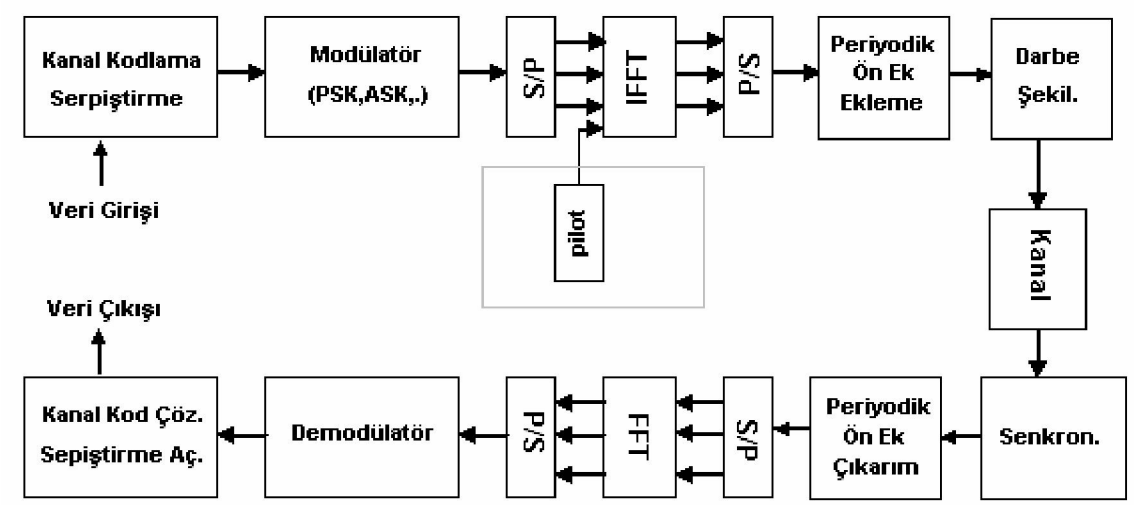
Tablo 3.1. OFDM' in tarihsel süreci

1957	Kineplex tarafından çok taşıyıcılı yüksek frekanslı modem tasarımı.
1966	R.W.Chang Bell Lab.OFDM patenti.
1971	Weinstein&Ebert tarafından FFT ve koruma aralığı kullanımı önerimi.
1985	Cimini, gezgin haberleşme için OFDM yi önerdi.
1987	Alard&Ebert sayısal yayıncılık için OFDM yi önerdi.
1995	İlk olarak sayısal ses yayıncılığında OFDM ETSI tarafından standart hale getirildi.
1997	OFDM sayısal video yayıncılığına (DVB-T) uyarlandı.
1997	OFDM asimetrik sayısal kullanıcı hattı (ADSL) genişband internet uygulamalarına uyarlandı.
1998	Kablosuz ağlar için OFDM modemleri kullanıldı.
1999	IEEE 802-11a ve HIPERLAN/2 kablosuz ağlara uygulandı.
2000	Sabit kablosuz işlemler için vektör OFDM kullanıldı.
2001	OFDM IEEE 802-11g ve IEEE 802-16 standartlarına uyarlandı.

3.3. OFDM Teorisi

OFDM, çok sayıda modüle edilmiş alt taşıyıcı kullanarak veri iletiminin paralel olarak yapıldığı bir tekniktir. Bu alt taşıyıcılar (yada alt kanallar) mevcut band genişliğini böler ve her bir taşıyıcı için yeterli bir şekilde frekans ayrılarak bu alt taşıyıcıların dikgen

olması sağlanır. Taşıyıcılar arasındaki dikgenliğin anlamı; her bir taşıyıcının bir sembol periyodu üzerinde tam sayı periyotlara sahip olmasıdır. Bu sayede her bir taşıyıcının spektrumu, sistemdeki diğer taşıyıcıların her birinin merkez frekansında bir sıfıra sahip olacaktır. Bunun sonucunda taşıyıcılar arasında spektral olarak üst üste binme olmasına rağmen herhangi bir girişim meydana gelmeyecektir [74]. Taşıyıcılar arasındaki bu ayrılık teorik olarak minimum olacak ve çok iyi bir şekilde spektral verimlilik sağlanacaktır. OFDM sistemleri, kablosuz ortamlarda genellikle frekans seçimli çoklu yol tarafından oluşturulan semboller arası girişim (ISI) problemine karşı da kullanılan bir tekniktir. Her bir alt taşıyıcı sembolü, kanal darbe cevabından daha uzun oluşturularak düşük veri hızlarında modüle edilir. Bu yolla ISI azaltılabilir. Daha da fazlası, eğer ardışıl OFDM sembolleri arasında koruma aralığı yerleştirilirse ISI etkisi tamamiyle ortadan kaldırılır [76]. Kullanılacak koruma aralığı, çoklu yol gecikmesinden daha uzun olmalıdır. Her bir alt taşıyıcı düşük veri hızlarında çalışmasına rağmen, fazla miktarda alt taşıyıcı kullanılarak toplamda yüksek veri hızları elde edilebilir. Semboller arası girişim etkisi (ISI), çok küçük yada OFDM sisteminin çalışmasını etkilemeyecek yapıda olmalı ve bu sayede alıcı tarafta bir dengeleyiciye gerek duyulmaması gerekmektedir. Bir OFDM sisteminin temel olarak blok diyagramı Şekil 3.2' deki gibidir.



Şekil 3.2. OFDM alıcı ve verici yapısı.

OFDM, giriş verisine ve kullanılan modülasyon işlemine bağlı olarak gereken spektrum seçilerek meydana getirilir ve kanalda meydana gelebilecek bozulmalara karşı kanal

kodlaması ve serpiştirme yapılır. Üretilecek her bir taşıyıcı, iletim için tahsis edilir. Gerekli olan taşıyıcı ve genlik fazı, modülasyon işlemine (tipik olarak BPSK, QPSK ve QAM) bağlı olarak hesaplanır. Daha sonrasında IFFT, bu spektrumu zaman domeni sinyaline çevirir. FFT, periyodik zaman domeni sinyali kendisinin karşılığı olan frekans spektrumu sinyaline dönüştürür. Karşılık dalga şeklini bularak dikgen sinozoidal parçaların genlik ve fazı zaman domeni sinyalinin frekans spektrumunu gösterir.

OFDM sistemlerinde ters hızlı Fourier dönüşümü (IFFT) yada hızlı Fourier dönüşüm (FFT) algoritmaları, sinyalin modülasyonu ve demodülasyonunda kullanılır. IFFT/FFT vektörünün boyutu, çoklu yol kanalı tarafından ortaya çıkarılan vektörünün boyutu, çoklu yol kanalı tarafından ortaya çıkarılan hatalara karşı sistemin direncini belirler [13-18]. Bu vektörün zaman aralığı, alınan çoklu yol sinyalindeki yankılamaların maksimum gecikmesinden daha büyük olarak seçilmelidir.

3.4. OFDM Sistemlerinde Dikgenlik

OFDM ismindeki dikgenlik kavramı, sistemde yer alan taşıyıcı frekansları arasındaki matematiksel ilişkiyi anlatmak için kullanılmaktadır. Normal bir frekans bölmeli çoğullama işleminde (FDM) bazı taşıyıcılar, klasik filtreler ve demodülatörler kullanılarak sinyalin alınmasını sağlar. Bu tür alıcılarda koruma bandı, farklı taşıyıcılar arasında yer alması gerekmektedir ve frekans domenindeki bu koruma aralığı kullanımı spektrum verimliliğinin azalmasına neden olmaktadır [12].

Bir OFDM sinyalinde taşıyıcılar üst üste binmesine rağmen herhangi bir şekilde ardışık taşıyıcıların arasında girişim meydana gelmemektedir. Bu olayı sağlamak için bu taşıyıcıların matematiksel olarak birbirine dikgen olmaları gerekmektedir.

Matematiksel olarak kümedeki *p.* elemanın ψ_p olduğu ψ sinyal kümelerine sahip olduğumuzu farzedelim. Eğer;

$$\int_a^b \psi_p(t)\psi^*(t)\,dt = \begin{cases} K & p = q \\ 0 & p \neq q \end{cases} \tag{3.1}$$

ise sinyaller birbirine dikgendir. Bu ifadede; '*' kompleks eşlenik işlemini

göstermektedir ve *[a,b]* arası, sembol periyodudur. Oldukça basit bir matematiksel ifade $-\pi$ ile π aralığında *m=1,2,...* için *sin(mx)* serisinin dikgen olduğunu kanıtlamaktadır.

Birbirlerine dikgen olan taşıyıcıların kullanılması, alt taşıyıcı spektrumlarının üst üste binmesini sağlayacak ve sistemden elde edilecek spektral verimlilik artacaktır. Sinyaller üst üste binmesine rağmen alt taşıyıcılar arasında oluşan dikgenlik sayesinde alt taşıyıcıları yeniden elde etmek mümkündür [75].

OFDM sisteminin niteliksel tanımlanmasından sonra modülasyon sisteminin matematiksel olarak tanımlanması gerekmektedir. Bu sayede sinyalin nasıl üretildiği, alıcının nasıl çalışması gerektiği ve iletim kanalında meydana gelebilecek olumsuz durumlar daha iyi anlaşılacaktır. Öncesinde anlatıldığı gibi OFDM, frekans domeninde birbirine çok yakın olarak yerleştirilmiş fazla miktarda dar bandlı taşıyıcıları iletmektedir. OFDM sisteminde çok sayıda modülatörden, alıcılardaki filtrelerden ve alıcıdaki demodülatörlerden kaçınmak için hızlı Fourier dönüşümü (FFT) gibi modern sayısal sinyal işleme teknikleri kullanılmaktadır [78].

Matematiksel olarak her bir taşıyıcı bir kompleks dalga olarak aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

$$S_c(t) = A_c(t)e^{j[w_c t+\phi_c(t)]} \tag{3.2}$$

$S_c(t)$ ' nin reel kısmı gerçek sinyaldir. Taşıyıcının genliği $A_c(t)$ ve fazı $\phi_c(t)$, sembolden sembole göre değişiklik gösterebilir. Parametre değerleri, τ sembol periyodu üzerinde sabittir.

OFDM, birden fazla taşıyıcıdan meydana gelmektedir. Bunun için $S_s(t)$ kompleks sinyali aşağıdaki şekilde ifade edilir[93]:

$$S_s(t) = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} A_n(t)e^{j[\omega_n t+\phi_n(t)]} \tag{3.3}$$

4. BÖLÜM
MC-CDMA

4.1. Giriş

Önceki bölümde sözü edildiği üzere; son yıllarda çok taşıyıcılı haberleşme teknikleri üzerine büyük araştırmalar yapılmış, bu konuya olan ilgi artmıştır. CDMA ve OFDM sistemlerinin birleştirilmesi esasına dayanan MC-CDMA yapısı son yıllarda ilgi odağı haline gelmiştir.

Bu bölümde, yeni nesil iletişim sistemlerine (4G), teknik alt yapı hizmeti sunacağı düşünülen Çok Taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişim sistemi açıklanacaktır.

4.2. Çok Taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişim

Daha önceki bölümde OFDM sistemlerinin yapısı ve özelliği üzerinde duruldu. OFDM yapıları, kanalın frekans seçiciliğine karşı uygulanan oldukça etkili bir tekniktir. CDMA yapısı da, gezgin haberleşmede kullanılan güçlü bir sistemdir. Çünkü; gezgin haberleşmede eşzamansız haberleşmede etkili bir çözüm yolu olma özelliği gösterir. Ayrıca TDMA ve FDMA gibi bilinen erişim şemalarına göre daha yüksek kapasite sağlar. Kod Bölmeli Çoklu Erişimde yayılmanın sebep olduğu işlem kazancı, çok kullanıcılı girişime karşı dayanıklılık sağlar. Ancak bilinen CDMA; veri iletiminin saniyede yüz mega bitlere kadar çıkması durumunda çok da dayanıklı olmaz. Bunun sebebi hızlı veri iletiminin eşzamanlılaştırılmasındaki zorluk ve yüksek seviyedeki ISI değerleridir.

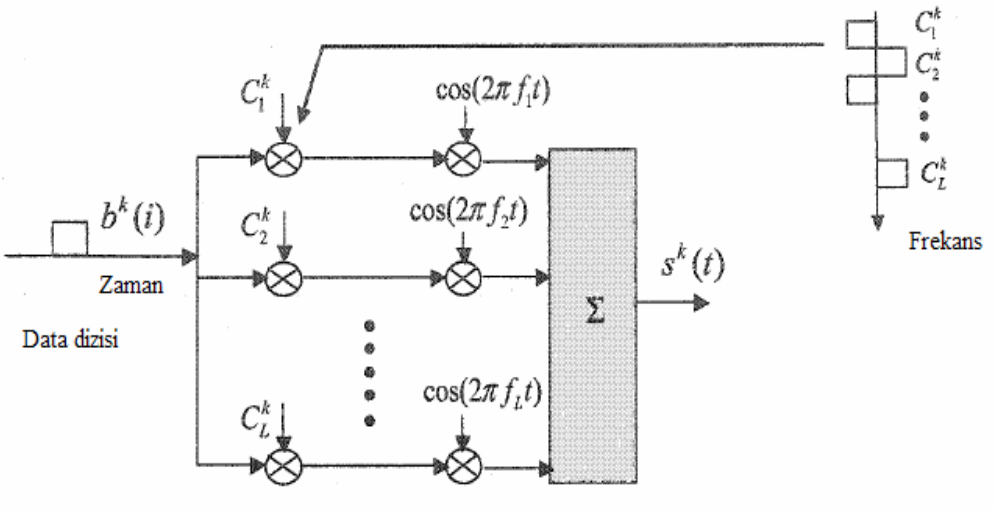
Özellikle son yıllarda bu konular üzerinde çalışan araştırmacılar, CDMA ve OFDM prensiplerini birleştirerek, hem CDMA hem de OFDM tekniklerinin pek çok avantajlarını koruyan ve mevcut spektrumu verimli bir şekilde kullanan bir yapı

geliştirdiler. OFDM' in özelliğinden faydalanarak, eğer alt taşıyıcılar arasındaki mesafeler ve alt taşıyıcı sayıları yaklaşık olarak seçilirse, tüm taşıyıcıların büyük bir sönümde olması söz konusu olamaz ve böylece frekans çeşitlemesi sağlanmış olur. OFDM ve CDMA' nın harmanlaştırılmasıyla oluşturulabilecek bu yapı 4G teknolojileri için oldukça faydalı bir teknik olacaktır.

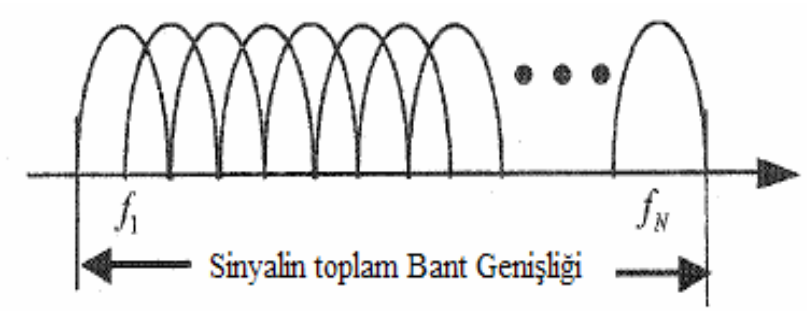
MC-CDMA yapısına göre; orijinal verinin yayılmasından sonra her bir alt taşıyıcı bir yonga tarafından modüle edilir. Böylelikle, yayma kodunun yapısına bağlı olan sembolün bir kısmı farklı alt taşıyıcılar tarafından iletilir. Yani, CDMA sinyali pek çok taşıyıcıya yayılır. Bu da, bir veri sembolünün pek çok dar bant alt taşıyıcı üzerinde iletimi ile sağlanır.

Çoklu Erişimde, farklı kullanıcıların aynı alt taşıyıcı yapıları ile iletimi mümkündür. Ancak yayma kodlarının farklı olması gerekir. Yani bu kodlar, diğer kullanıcıların kodlarına göre ya ortogonal olmalıdır veya çok düşük çapraz-korelasyona sahip olmalıdırlar. Eşzamanlı bir haberleşme kanalında en optimum kod olarak genellikle Walsh-Hadamard kodlarını kullanırız. Çünkü; bu durumda yayma kodlarının otokorelasyon karakteristikleri önemli değildir [19]. Böylece burada iki çeşit ortogonal durumdan söz edebiliriz: alt taşıyıcıların birbirine ortogonal olduğu durum ve ayrıca yayma kodlarının ortogonal olduğu durum. Bu yapıda CDMA farklı bir çok kullanıcının çoğullanmasında kullanılır. Fakat dalga formları OFDM prensibine bağlı olarak seçilir. İletilen sinyal N adet dar bant sinyalden oluşmuştur. Eğer bu *N* adet dar bant sinyalin her birinin sembol süresi gecikme yayılımından daha fazla ise, sistemde ICI ve ISI oluşmayacaktır.

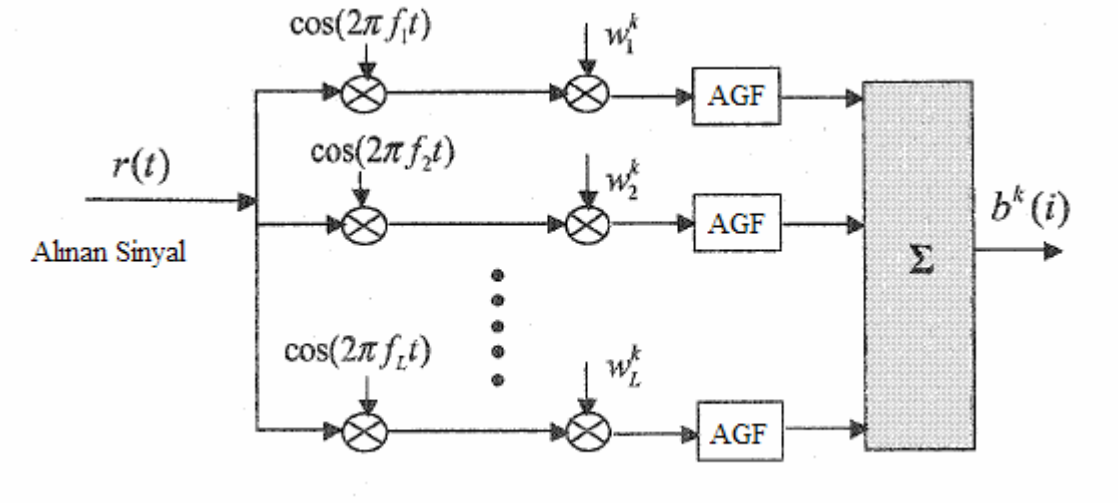
Şekil 4.1' de basit bir MC-CDMA vericisi gösterilmektedir. k. kullanıcıya ait MC-CDMA yapısında, önce mesaj bilgisi, o kullanıcıya ait yayma kodu ile çarpılır. Daha sonra yayma kodu ile aynı uzunluğa sahip IFFT fonksiyonuna tabi tutulur. Daha sonra paralel bu işaretler seriye dönüştürülerek, bütün kullanıcıların sinyalleriyle eş zamanlı olarak toplanır ve kanala verilir. Şekil 4.2' de bu sistemden iletilen sinyalin güç spektrumu görülmektedir. MC-CDMA sinyali, OFDM sistemlerin bir avantajını kazanmış, yüksek spektral verimliğe sahiptir. Görüleceği üzere; birbirinin içine girmiş alt taşıyıcılar geniş spektrum aralığı kazandırmışlardır. Şekil 4.3' de MC-CDMA sistem için alıcı yapısı gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Bir MC-CDMA vericisi.



Şekil 4.2. İletilen sinyalin güç spektrumu.



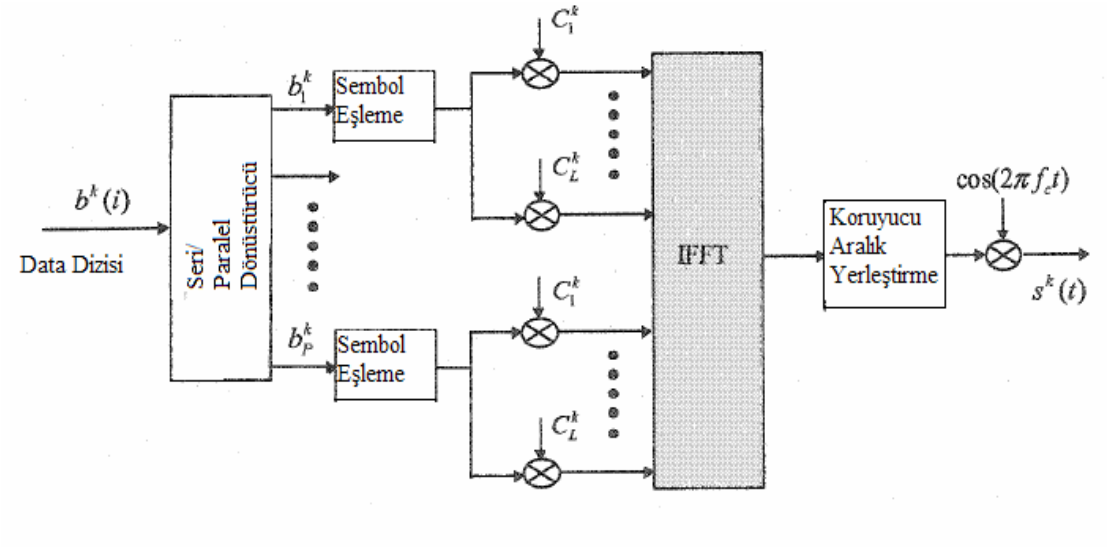
Şekil 4.3. MC-CDMA alıcı yapısı.

Yukarıdaki şekillerde alt taşıyıcıların sayısının işlem kazancına eşit olduğu kabul edilmiştir*(N=L)*. Buradaki w_l, $l=1,...N$ katsayıları , birleştirmeden önceki alt kanal sinyallerinin geri-yayma ve ağırlıklandırma maksatlı taşıyıcı dengeleme katsayılarıdır.

Alt taşıyıcılar arasındaki ortogonalliğin korunması için alt taşıyıcılar, F/T_s kadar birbirinden ayrılır. Burada F bir tamsayı ve T_s de iletilen sembol süresini ifade etmektedir. Eğer $F=1$ olursa, alt taşıyıcılar arasındaki olabilecek en yakın boşluk, $1/T_s$ elde edilir. Böylelikle en yüksek bant genişliği verimliliği de elde edilmiş olur (bit/s/Hz). Bununla birlikte $F=1$ durumu, spektral verimlilik durumudur. Bu durum belirli kanal şartları için uygun olmayabilir, özellikle bant genişliğinin minimum alt taşıyıcı aralığı olan $1/T_s$ değerinden geniş olduğunda. Bu koşullarda, bu durum için sayısal olarak; bir alt taşıyıcının kaybının bütün taşıyıcıların bant genişliğinde kaybolması anlamına gelmesi muhtemeldir. Daha geniş bir alt taşıyıcı aralığı, dolaysıyla daha geniş bir F değeri arzulanabilir. Bu durumda spektral verimlilik ile her bir alt taşıyıcının sönümlemeden bağımsızlığı arasında ters orantılı bir ilişki vardır [85].

MC-CDMA iletiminde, her bir alt kanal üzerinde frekans seçici olmayan sönüm oldukça büyük önem taşımaktadır [19]. Bu yüzden, eğer orijinal sembol hızı; frekans seçici sönüme bağlı olacak kadar yüksek olursa; işaret frekans boyutuna yayılmadan önce seri-paralel dönüşümüne ihtiyaç duyar. Bu durum, iletilen sembol süresinin artmasına neden olur. İhtiyaç duyulan alt taşıyıcıların toplam sayısı; işleme kazancı (L) ve paralel yolların sayısının (P) bir sonucu olacaktır.

OFDM de olduğu gibi, MC-CDMA sistemleri, IFFT ve FFT işlemleri kullanılarak oluşturulur. Ayrıca; kanalın çok-yollu yayılımının etkilerinin hafifletilmesi için bir koruyucu aralık iletimden önce her bir sembol arasına yerleştirilir. Şekil 4.4' de bir MC-CDMA verici yapısı, P veri dizisinin dalları ile birlikte gösterilmektedir. Burada her bir dizi yayılmıştır ve bütün yonga sinyalleri OFDM ile modüle edilmiştir.



Şekil 4.4. IFFT yapısının MC-CDMA vericisinde kullanımı.

Yukarıdaki şekilde koruyucu aralık yerleştirme durumu da gösterilmektedir. OFDM' de kullanılan bu yapı MC-CDMA yapısında da kullanılabilmektedir.

Şimdi bir MC-CDMA yapısının çıkışını matematiksel olarak tanımlayalım:
K kullanıcılı ve *L* alt taşıyıcılı bir MC-CDMA sisteminde toplam çıkışı *r(t)* olarak alırsak, çıkışı şu şekilde ifade edebiliriz [86,94]:

$$r(t) = \sum_{k=1}^{K} A_k b_k \sum_{l=1}^{L} S_k(t) e^{jw_l t} + n(t), \quad t \in [0,T] \tag{4.1}$$

Burada *T* veri oranının tersi,
$S_k(t)$, *k.* kullanıcıya tahsis edilmiş deterministik yayma kodudur ve normalizedir. Bu sebepten dolayı birim enerjiye sahiptir.

$$S_k(t) = \sum_{n=0}^{N-1} a_k(n) h(t - nTc) \ , \quad 0 \le t \le T \tag{4.2}$$

N: kodun bit uzunluğu

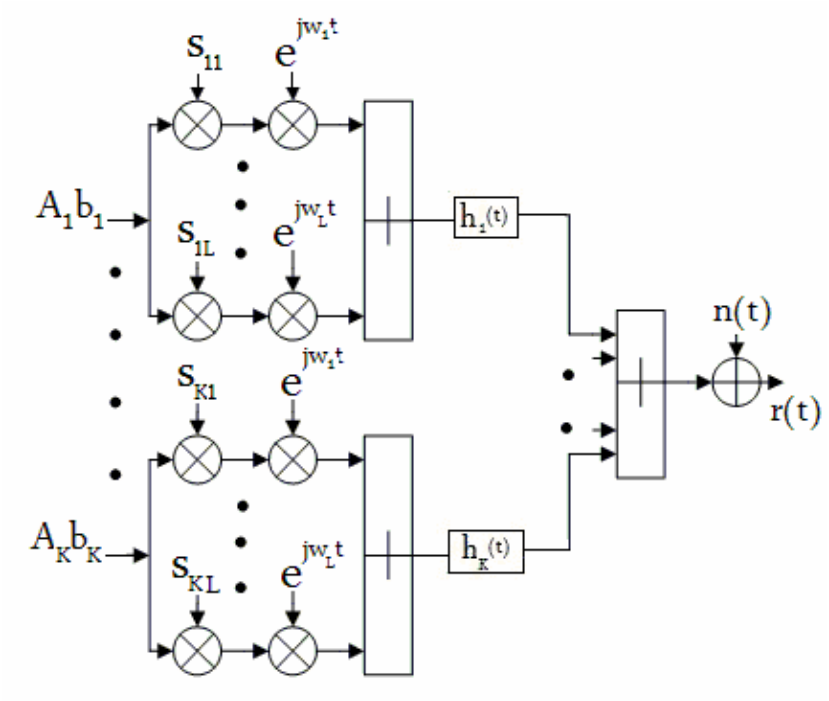
$$\|S_k\|^2 = \int_0^T S_k(t)\, dt = 1 \tag{4.3}$$

[0,T] aralığının dışında kodun sıfır olduğu kabul edilir ve bu yüzden sembol girişimi olmayacaktır.

A_k , *k.* kullanıcının genliğidir. A_k^2 , *k.* kullanıcının enerjisi olarak alınır.

$b_k \in \{-1, +1\}$, *k.* kullanıcının gönderdiği veri bitidir.

n(t), birim güç spektral yoğunluğa sahip beyaz Gaussian gürültüdür.



Şekil 4.5. Rayleigh sönümlü kanalda MC-CDMA yapısı.

$S_k(t)$ yayma kodlarına ait çapraz ilişki şöyle tanımlanır:

$$\rho_{ij} =< s_i\, s_j >= \sum_{k=1}^{N} s_i(k) s_j(k) \tag{4.4}$$

Burada *N*, kodun bit sayısını göstermektedir.

Çapraz ilişki matrisi şöyle tanımlanır:

$$\mathbf{R}=\{\rho_{ij}\} \tag{4.5}$$

$$\mathbf{R}=\begin{bmatrix} \rho_{11} & \rho_{12} & \cdots & \rho_{1k} \\ \rho_{21} & \rho_{22} & \cdots & \rho_{2k} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \rho_{k1} & \rho_{k2} & \cdots & \rho_{kk} \end{bmatrix} \tag{4.6}$$

Yukarıda Denklem 4.1 de ifade edilen çıkış işareti AWGN kanal ele alınarak oluşturulmuş ifadedir. Rayleigh sönümlü kanallar için toplam MC-CDMA çıkış ifadesini, Şekil 4.5 ile birlikte ifade edecek olursak;

$$r_r(t) = \sum_{k=1}^{K} A_k b_k \sum_{l=1}^{L} S_k(t) h_{kl} e^{jw_l t} + n(t), \quad t \in [0,T] \tag{4.7}$$

Çıkış ifadesi $r_r(t)$, Rayleigh kanal çıkışını ifade etmek üzere, (4.1) ifadesindeki *r(t)* den farklı olarak her bir kullanıcıya ait Rayleigh kanal etkisini ifade eden, bir kompleks katsayıdan ibaret olan $h_{k,l}$ terimi bulunmaktadır.

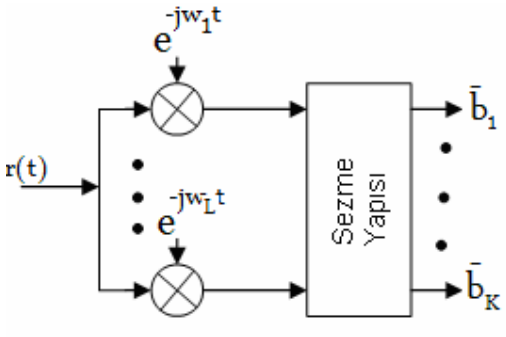
5. BÖLÜM

MC-CDMA' DA ÇOK KULLANICILI SEZME

5.1. Giriş

Bu bölümde, MC-CDMA yapılarında çok kullanıcılı sezme amaçlı alıcı yapıları ele alınmıştır. Şekil 5.1' de MC-CDMA için sezme yapısına ait işlem gösterilmektedir.

Şekilde görüldüğü üzere, kanaldan alınan sinyal *L* sayıda paralel kanala kopyalanarak, bu paralel sinyal FFT işlemine tabi tutulmaktadır. Daha sonra FFT çıkışları sezme yapısına aktarılmaktadır.



Şekil 5.1. MC-CDMA alıcı şeması.

Sezme yapısı olarak MC-CDMA sistemlerde klasik anlamda uyumlu filtre kullanılmaktadır. Bunun dışında lineer çok kullanıcı yapıları olarak MMSE sezici ve ilişki çözücü alıcı yapıları kullanılmaktadır.

Bu bölümde MC-CDMA alıcı sistemleri için uyumlu filtre, ilişki çözücü ve MMSE alıcı yapıları, bilgisayar simülasyonu ile AWGN kanal ve Rayleigh sönümlü kanalda ayrı ayrı oluşturulmuş, bu alıcı yapıları üzerinde farklı kullanıcı sayıları için 1. kullanıcının bit hata oranı (BER) performansı, kullanıcı sayısına karşılık 1. kullanıcının BER değeri

ve sistemin yakın-uzak problemine karşı göstermiş olduğu performansı belirlemek için, NFR değerine karşılık 1. kullanıcının BER değeri gibi performansı incelenmiştir.

Alıcı yapıları için ilk önce sistemde belirli sayıda aktif kullanıcı olduğu ve kullanıcıların yakın-uzak probleminden etkilenmedikleri dolayısıyla aynı güçte iletişim gerçekleştirdikleri kabul edilerek, alıcıda sezme sonucunda sadece 1. kullanıcının veya rastgele seçilen herhangi bir kullanıcının bit hata performansı incelenmiştir. İkinci olarak, sistemdeki aktif kullanıcı sayısı giderek artırılmış, her kullanıcı sayısı değerinde alıcıda seçilen herhangi bir aktif kullanıcının bit hata performansı belirlenmiştir. Üçüncü analiz türünde, sistemdeki belirli aktif kullanıcı sayısı için NFR (near-far ratio: yakın-uzak oranı) değeri giderek artırılmış, her NFR değeri için alıcıda 1. kullanıcının bit hata oranı elde edilmiş ve sistemin yakın-uzak problemine karşı dayanıklılığı araştırılmıştır. Simülasyonlarda SNR_1 ve NFR_k değerleri:

$$SNR_1 = \frac{İşaret \quad gücü}{Gürültü \quad gücü} = \frac{A_1^{\,2}}{2\sigma^2} \tag{5.1}$$

ve

$$NFR_k = k.\ kullanıcının\ gücü / 1.\ kullanıcının\ gücü \tag{5.2}$$

olarak tanımlanmıştır.

5.2. Uyumlu Filtre

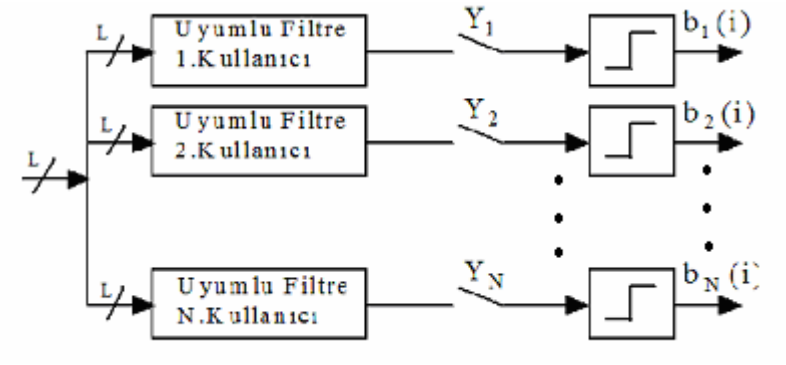
Klasik alıcı olarak kullanılan uyumlu filtrede, alıcıda her bir kullanıcıya ait verinin elde edilmesi için hızlı Fourier dönüşümü sonrası toplam sinyal her bir uyumlu filtrede o kullanıcıya ait kod ile çarpılır. Her bir kanalın uyumlu filtre çıkışında eşik durumuna göre veriye karar verilir. Bu yapı Şekil 5.2' de görülmektedir. Uyumlu filtre çıkışı şöyle ifade edilir:

$$y(t) = \sum_{k=1}^{K} A_k b_k \tag{5.3}$$

kabulü ile , *k.* uyumlu filtre çıkışındaki karar istatistiği aşağıdaki gibi verilir:

$$y_k = \int_0^T y(t) s_k(t) dt \tag{5.4}$$

Denklem (5.3), (5.4)'de yerine konursa:



Şekil 5.2. Uyumlu Filtre kullanarak sezmenin gerçekleştirilmesi.

$$y_k = \int_0^T \left\{ \sum_{j=1}^{K} A_j b_j s_j(t) + n(t) \right\} s_k(t) dt \tag{5.5}$$

elde edilir. Bu ifade düzenlenirse

$$y_k = A_k b_k + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^{K} A_j b_j \rho_{jk} + n_k \tag{5.6}$$

elde edilir. (5.6)' daki 2. terim MAI' dır. Uyumlu filtre MAI' ya tıpkı beyaz gürültü gibi davranır. Uyumlu filtre çıkışındaki gürültü varyansı (değişimi) aşağıdaki gibidir:

$$E(n_k^2) = E\left[\int_0^T n(t) s_k(t) dt \int_0^T n(s) s_k(s) ds \right] = \int_0^T \int_0^T E[n(t)n(s)] s_k(s) s_k(t) dt ds$$

$$= \int_0^T \int_0^T N_o \delta(t-s) s_k(s) s_k(t) dt ds = \int_0^T N_o s_k^2(t) dt = N_o \tag{5.7}$$

Benzer şekilde, gürültü kovaryansı

$$E(n_i n_j) = N_o \rho_{ij} \tag{5.8}$$

Buradan gürültü kovaryans matrisi

$$E[\mathbf{n}\mathbf{n}^T] = \{N_o \rho_{ij}\}_{ij} = N_o \mathbf{R} \tag{5.9}$$

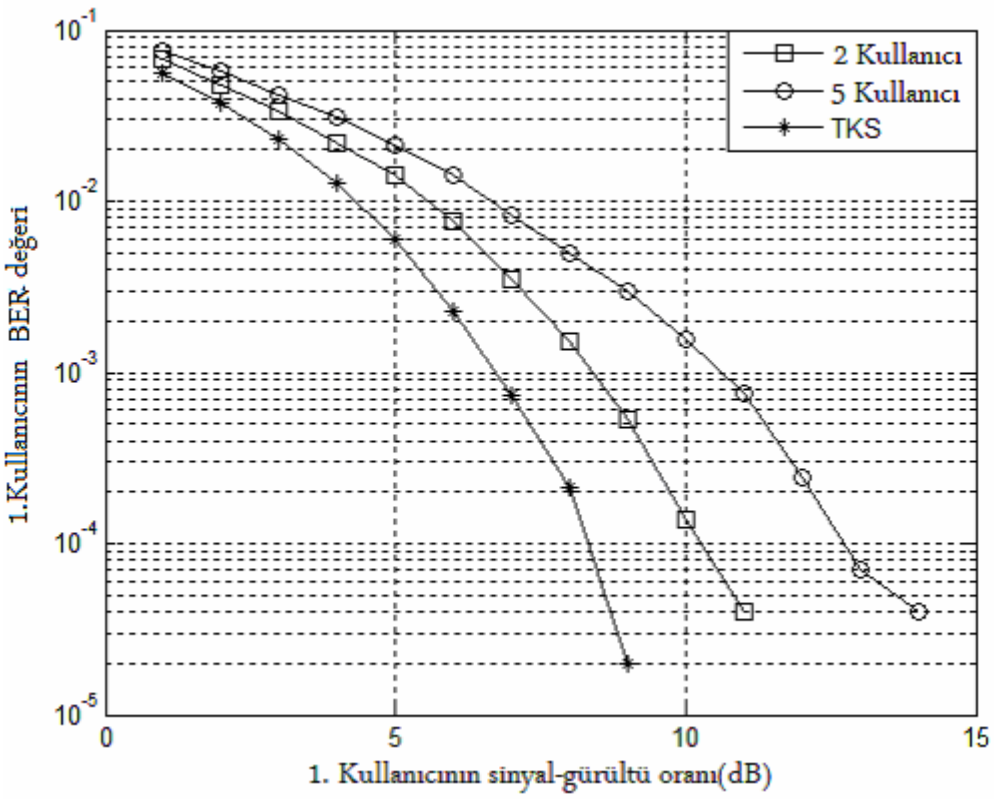
olarak tanımlanabilir. Buradaki **R** denklem (4.6)' da verilmiştir ve $n = [n_1, n_2 \ldots\ldots, n_k]^T$' dir. Denklem (5.6), bütün kullanıcılar için şu hale getirilir:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho_{11} & \rho_{12} & \cdots & \rho_{1k} \\ \rho_{21} & \rho_{22} & \cdots & \rho_{2k} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \rho_{k1} & \rho_{k2} & \cdots & \rho_{kk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & A_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & A_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_k \end{bmatrix} \tag{5.10}$$

Matris notasyonu:

$$Y=RAb+n \tag{5.11}$$

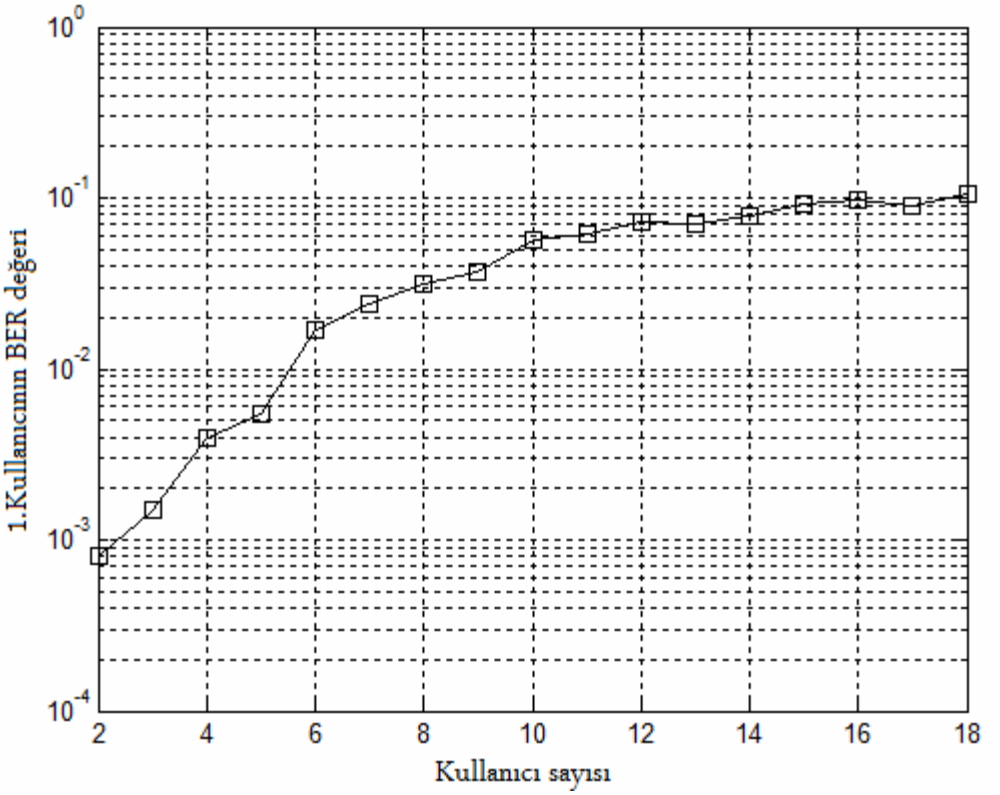
Uyumlu filtre alıcı yapısında Şekil 5.3'de görüldüğü gibi kullanıcı sayısı arttıkça rastgele seçilen kullanıcılardan birinin bit hata oranı kötü performans göstermektedir. 2 kullanıcı için sinyal-gürültü oranı (SNR) arttıkça bit hata oranı (BER) azalmakta, 5 kullanıcı için ise aynı SNR artışına karşılık BER yeterince azalmamaktadır. Bunun sebebi, uyumlu filtre alıcının çoklu erişim girişimini (MAI) gürültü olarak görmesidir.



Şekil 5.3. AWGN kanal için, 2 ve 5 kullanıcılı uyumlu filtre alıcıda 1. kullanıcının sinyal-gürültü oranına karşılık BER değeri.

Şekil 5.4' de uyumlu filtreli alıcı yapısı için kullanıcı sayısının artması durumunda birinci kullanıcının bit hata oranının değişimi görülmektedir. Görüldüğü üzere kullanıcı

sayısının artması, birinci kullanıcının performansını kötü etkilemektedir. AWGN kanal kullanılarak oluşturulan bu simülasyonda Sinyal-Gürültü Oranı (SNR) değeri 8 dB olarak alınmıştır.



Şekil 5.4. AWGN kanal için, uyumlu filtre alıcıda kullanıcı sayısına karşılık 1. kullanıcının BER değerindeki değişim.

Görüldüğü gibi bozucu kullanıcı genliğinin artışı, yani yakın-uzak oranının artışı da BER performansını kötüleştirmektedir. Bu durum Şekil 5.5' de yakın-uzak oranı değişimine karşılık BER değişiminin incelenmesiyle daha açık bir şekilde görülmektedir. Bu problemi iki kullanıcılı durum için denklem (5.6)' ı inceleyerek açıklayalım. İki kullanıcı için denklem (5.6),

$$y_1 = A_1 b_1 + A_2 b_{2j} \rho_{12} + n_1 \tag{5.12}$$

olarak elde edilir. Birinci kullanıcı için bit hata olasılığı aşağıdaki gibidir:

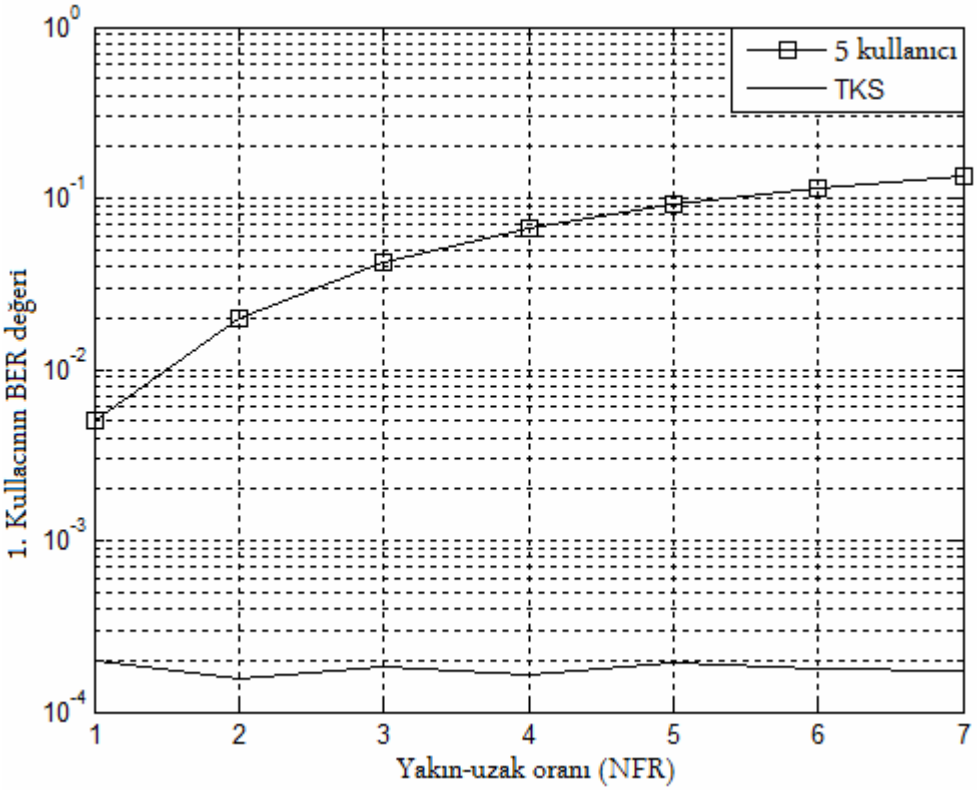
$$P_{s1} = \frac{1}{2}\left\{Q\left(\frac{A_1 + A_2\rho_{12}}{N_o}\right) + Q\left(\frac{A_1 - A_2\rho_{12}}{N_o}\right)\right\} \tag{5.13}$$

Bit hata olasılığı üst sınırı aşağıdaki gibi verilir:

$$P_{s1} \le \frac{1}{2}Q\left(\frac{A_1 - A_2|\rho_{12}|}{N_o}\right) \tag{5.14}$$

Q' nun monoton olarak azalması sebebiyle, fonksiyon üst sınırı elde etmek için kullanılmıştır. Bozucu baskın değilse; örneğin, $A_2\rho_{12} < A_1$ ise bit hata olasılığı ½'den daha az olur. Fakat karışan baskın ise (yakın-uzak problemi) örneğin , $A_2\rho_{12} > A_1$ ise sınır ½'den daha büyük olur. Sistemde gürültü olmadığı (örneğin, No=0) ve bozucu baskın olduğu durumu göz önünde tutunca, denklem (5.14)' de $P_{s1} = \frac{1}{2}$ olur. Bu, birinci kullanıcıya ait olan b_1 biti için b_1 ' den ziyade b_2 'ye göre karar verildiğini gösterir. Yani uyumlu filtre alıcı yazı tura atarak çıkış bitlerine karar veren bir mekanizma gibi çalışır. Bu klasik sezicinin istenilmeyen bir özelliğidir (gürültü varlığında gürültü yokluğundan daha iyi performans gösterebilir).

Uyumlu filtre alıcıda kullanıcıların yakın-uzak oranının değişimine karşılık, birinci kullanıcıdaki bit hata oranındaki değişim Şekil 5.5'de gösterilmektedir. Dikkat edileceği üzere; yakın-uzak oranın artmasıyla, kullanıcıların BER performansı düşmektedir. Yüksek güçlü kullanıcıların bilgileri, toplam MC-CDMA sinyalinde baskın özellik taşır ve düşük sinyalli kullanıcıların bilgilerinde bit hataları oluşmasına neden olur. Bu durum uyumlu filtre alıcıda özellikle daha bariz hissedilir. Şekil 5.5' de yapılan simülasyon AWGN kanalda ve SNR=8 dB değeri için oluşturulmuştur. 5 kullanıcı olarak oluşturulan sistemde, herhangi bir kullanıcının bit hata oranı hesaplanırken, tek kullanıcılı yapı için bit hata oranı da belirlenmiş, tek kullanıcı sınırı oluşturularak kıyaslama imkanı sağlanmıştır.

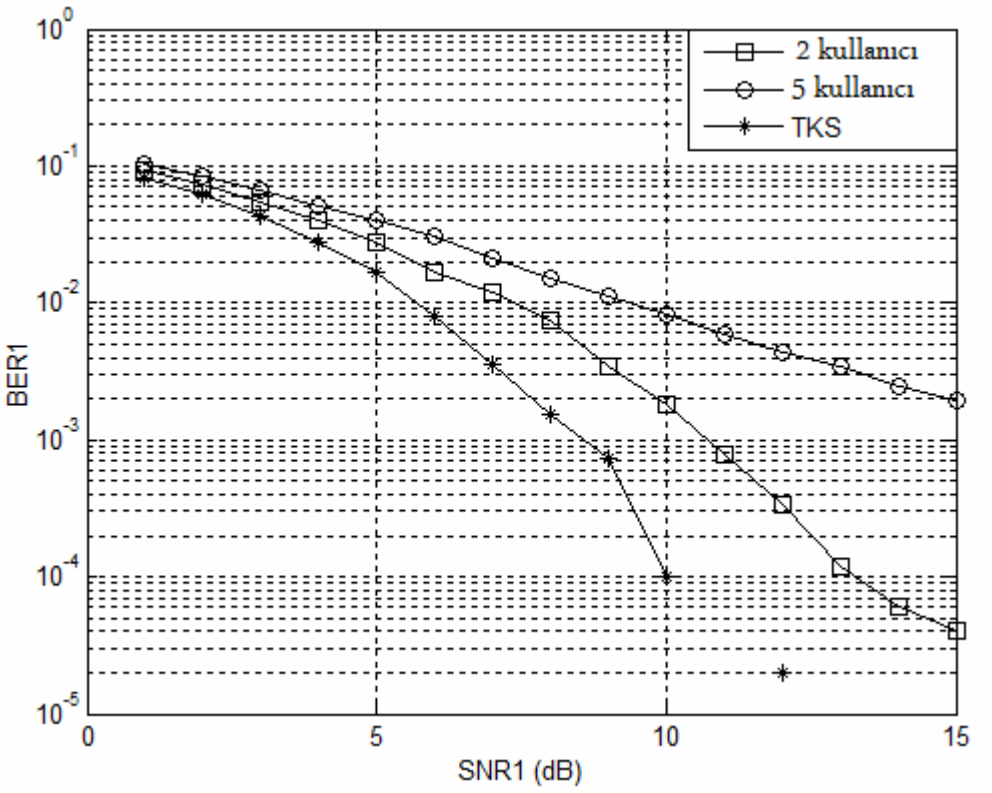


Şekil 5.5. AWGN kanal için, uyumlu filtre alıcıda yakın-uzak oranına karşılık 1. kullanıcının BER değerindeki değişim.

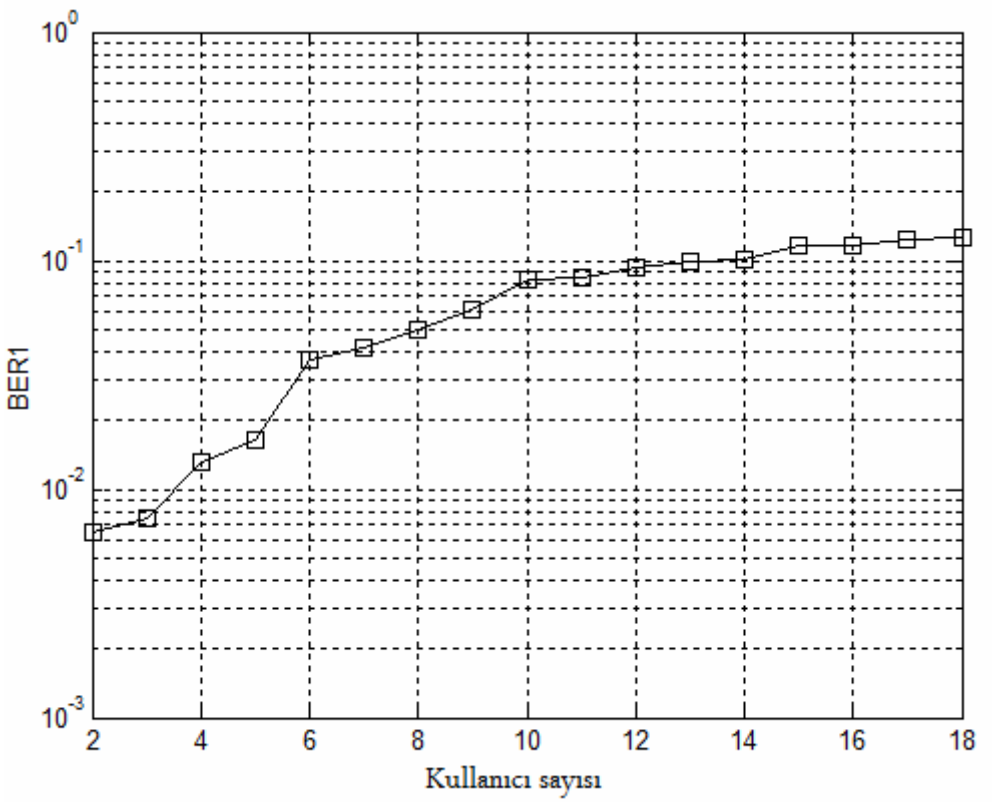
Şekil 5.6' da Rayleigh sönümlü kanal ortamında uyumlu filtre alıcısı kullanarak 2 kullanıcılı ve 5 kullanıcılı yapıların SNR oranına karşılık birinci kullanıcının BER performansı elde edilmiş, tek kullanıcı sınırı da oluşturularak kıyaslama imkanı sağlanmıştır.

Şekil 5.7' de Rayleigh sönümlü kanalda uyumlu filtre alıcısı kullanılmış, kullanıcı sayısı dikkate alınarak birinci kullanıcının BER değerleri elde edilmiştir. Yine Şekil 5.8' de aynı Rayleigh sönümlü kanalda uyumlu filtre alıcı yapısı kullanılarak, NFR oranının uyumlu filtre alıcıda 1. kullanıcının BER değerlerinde nasıl değişim sağladığı görülmüştür.

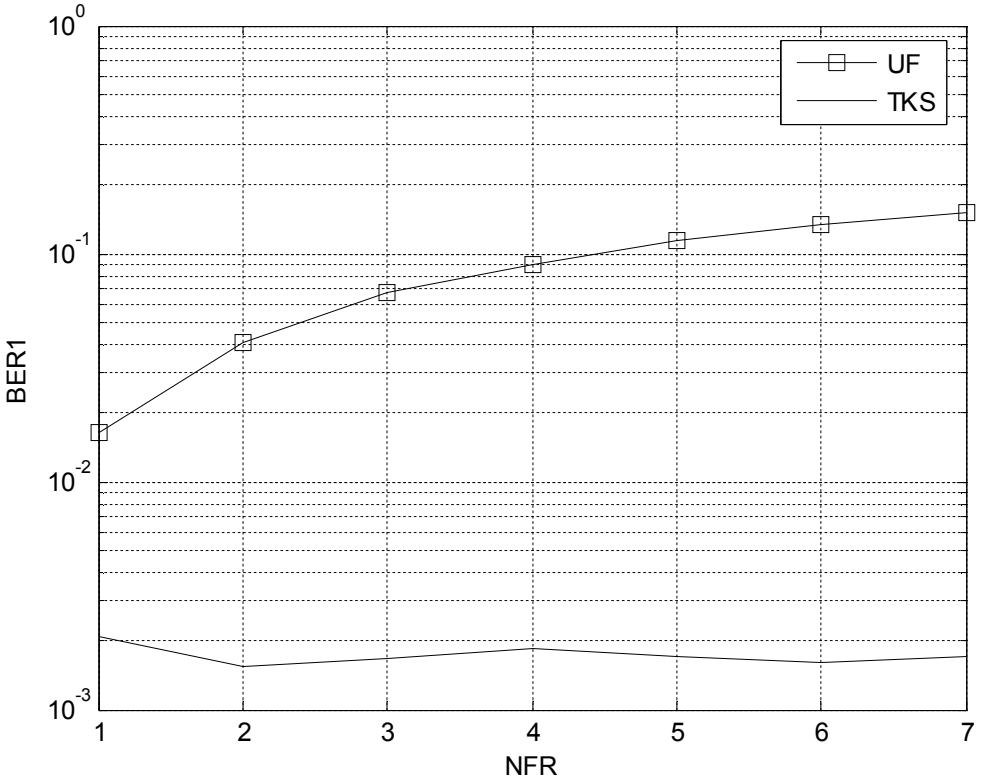
Uyumlu filtre alıcının yakın-uzak oranına daha az dirençli olduğu görülmektedir. Dikkat edileceği üzere; uyumlu filtrenin Rayleigh kanalda, AWGN kanala göre gürültü ve işaretler arası girişime karşı direncinin daha zayıf olduğu görülmüştür. Oldukça normal karşılanacak bu durum; uyumlu filtre alıcıda daha bariz görülmektedir.



Şekil 5.6. Rayleigh sönümlü kanal için, 2 ve 5 kullanıcılı uyumlu filtre alıcıda 1. kullanıcının sinyal-gürültü oranına karşılık 1.kullanıcının BER değeri.



Şekil 5.7. Rayleigh sönümlü kanal için, uyumlu filtre alıcıda kullanıcı sayısına karşılık 1. kullanıcının BER değeri.



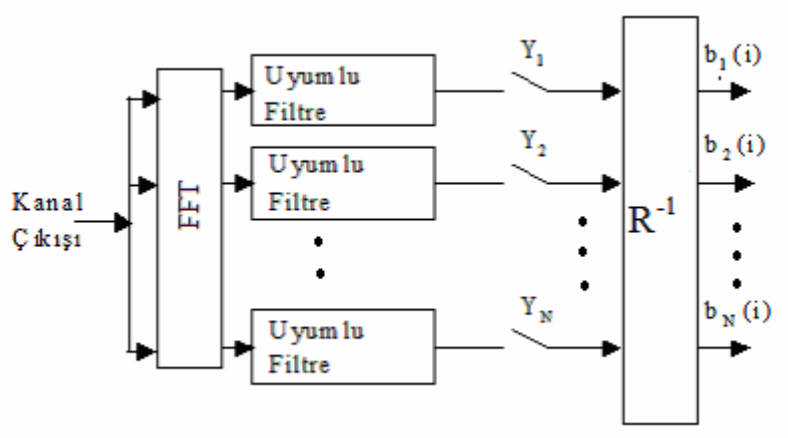
Şekil 5.8. Rayleigh sönümlü kanal için, uyumlu filtre alıcıda yakın-uzak oranına karşılık 1. kullanıcının BER değerindeki değişim.

Uyumlu filtre alıcı yakın-uzak oranı problemine ve aktif kullanıcı sayısındaki artışa karşı dayanıklı değildir, her iki durumda da BER performansı kötüleşmektedir. Çünkü uyumlu filtre alıcı gerçekte çok kullanıcılı alıcı değildir, her kullanıcı bilgisini elde etmek için sadece o kullanıcıya ait giriş değerlendirilmektedir. Bu sebeple, istenen kullanıcı bilgisini elde etmek için aktif bütün kullanıcı girişlerini değerlendiren, yakın-uzak oranı ve aktif kullanıcı sayısı değişimine dayanıklı çok kullanıcı yapıları geliştirilmiştir.

Genellikle bütün çok kullanıcılı alıcı yapıları uyumlu filtreden sonra karar mekanizmasında kullanılmaktadır. Uyumlu filtre alıcıda girişin kullanıcılara ait kod ile çarpılmasından sonra sadece bir eşik ile kıyaslamadan sonra çıkış bitine karar verilirken, diğer yöntemlerde kod ile çarpma işleminden sonra, bütün kullanıcılara ait uyumlu filtre çıkışları bir karar cihazına uygulanarak istenen çıkışlar elde edilir. Karar cihazının türüne bağlı olarak da alıcılar isimlendirilir.

5.3. İlişki Çözücü Alıcı

İlişki çözücü alıcıda uyumlu filtreden sonra karar cihazı olarak (4.6) denkleminde verilen çapraz ilişki matrisinin tersiyle çarpma işlemi kullanılır. İlişki çözücü alıcı yapısı Şekil 5.9' da görülmektedir.



Şekil 5.9. İlişki çözücü alıcı yapısı.

İlişki çözücü sezici çıkışı şöyle verilir:

$$\hat{\mathbf{b}} = \text{sgn}(\mathbf{R}^{-1}(\mathbf{RAb} + \mathbf{n})) \tag{5.15}$$

$$\hat{\mathbf{b}} = \text{sgn}(\mathbf{Ab} + \mathbf{R}^{-1}\mathbf{n}) \tag{5.16}$$

Gürültüsü yokken, örneğin N_0=0 durumunda

$$\hat{\mathbf{b}} = \text{sgn}(\mathbf{Ab}) \tag{5.17}$$

$$\hat{\mathbf{b}} = \mathbf{b} \tag{5.18}$$

elde edilir. Görüldüğü gibi, ilişki çözücü filtrede sinyal genliğinin bilinmesine gerek yoktur ve gürültü olmadığı durumda mükemmel performans gösterir. Uyumlu filtreden farklı olarak yayma kodlarının çapraz ilişkisi de dikkate alındığından, yakın-uzak oranı ve aktif kullanıcı sayısının artışında dahi çok iyi performans gösterir. İki kullanıcılı durumu göz önüne alırsak,

$$R=\begin{bmatrix} 1 & \rho \\ \rho & 1 \end{bmatrix}$$

elde edilir. Burada ρ , 1.kullanıcı ve 2.kullanıcının normalize edilmiş yayma kodları arasındaki çapraz ilişkidir.

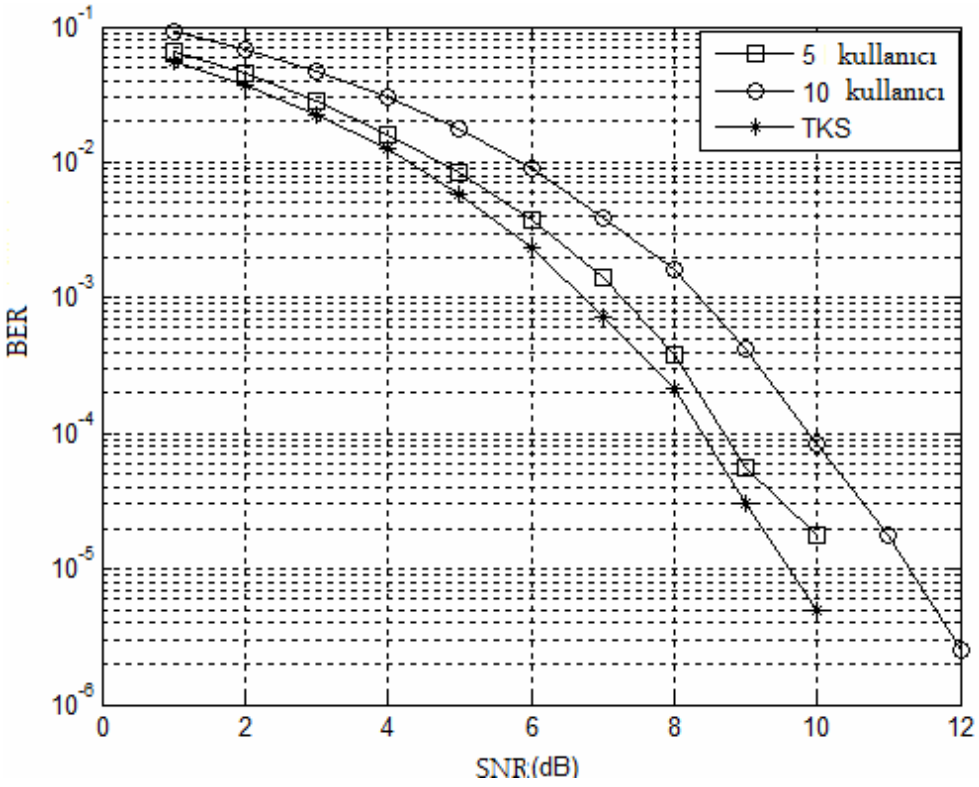
Çözülen bitler denklemde şöyle verilmektedir:

$$\hat{\mathbf{b}} = \text{sgn}(\mathbf{R}^{-1}\mathbf{y}) \tag{5.19}$$

$$\hat{\mathbf{b}} = \text{sgn}\left(\frac{1}{1-\rho^2}\begin{bmatrix} 1 & -\rho \\ -\rho & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix}\right) \tag{5.20}$$

$$\hat{\mathbf{b}} = \text{sgn}\left(\begin{bmatrix} \frac{1}{1-\rho^2}y_1 & -\frac{1}{1-\rho^2}y_2 \\ -\frac{1}{1-\rho^2}y_1 & \frac{1}{1-\rho^2}y_2 \end{bmatrix}\right) \tag{5.21}$$

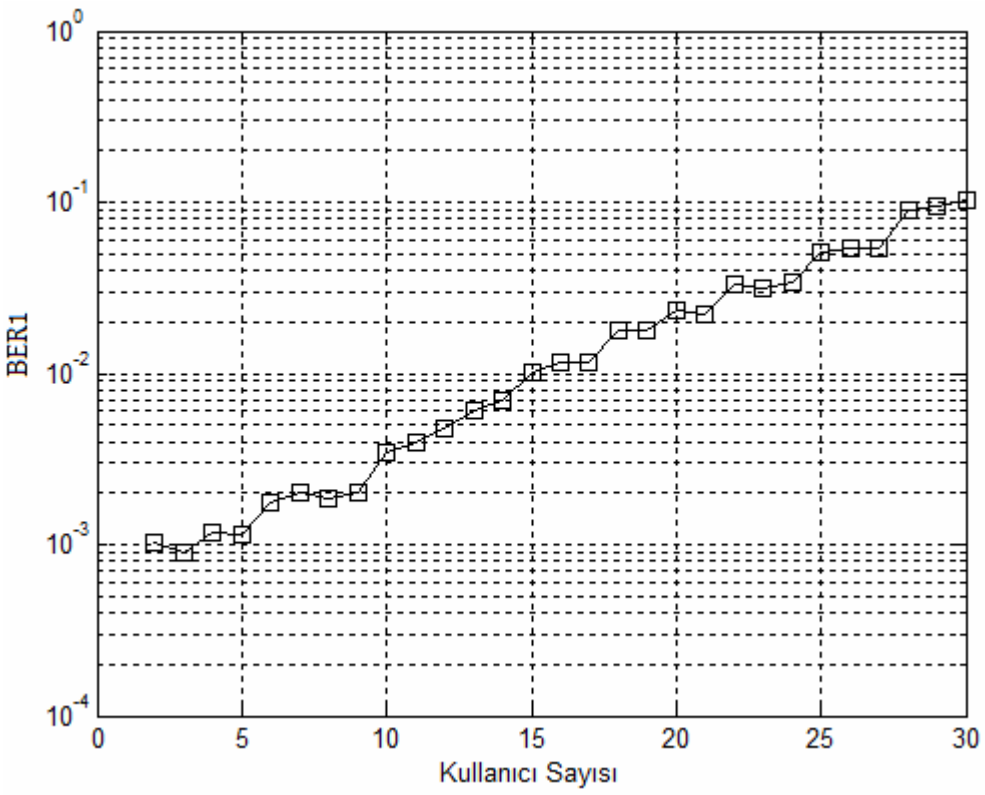
İlişki çözücü sezici alınan **y** istatistiğindeki sadece doğrusal işlemleri gerçekleştirir ve bundan dolayı da bir doğrusal sezicidir. İlişki çözücü sezicinin optimal olduğu üç kriter altında kanıtlanmaktadır: En küçük kareler, yakın-uzak rezistansı ve maksimum olasılık.



Şekil 5.10. AWGN kanal için, 5 ve 10 kullanıcılı ilişki çözücü alıcıda 1. kullanıcının sinyal-gürültü oranına karşılık BER değeri.

Şekil 5.10' da, ilişki çözücü alıcı yapısı kullanılarak oluşturulan 5 kullanıcılı ve 10 kullanıcılı sistemlerde 1. kullanıcıya ait BER değerleri, SNR değerlerine karşılık olarak elde edilmiştir. AWGN kanal kullanılarak yapılan simülasyonların sonuçlarından da görüleceği üzere, ilişki çözücü alıcının performansı Şekil 5.3' deki uyumlu filtre alıcıya kıyasla oldukça üstündür.

Bu üstünlük, kullanıcı sayısına göre, BER değeri simülasyonunda daha açık gözükecektir. Şekil 5.11'da ilişki çözücü alıcı yapısında 7 dB lik SNR oranına sahip AWGN kanalda kullanıcı sayısına göre, 1. kullanıcıya ait bilgideki BER değeri görülmektedir. Uyumlu filtre ile kıyaslandığında, ilişki çözücü alıcıda 10^{-1} lik BER değerine 30 kullanıcıda ulaşılırken, uyumlu filtrede 15 kullanıcıda ulaşılmaktadır.

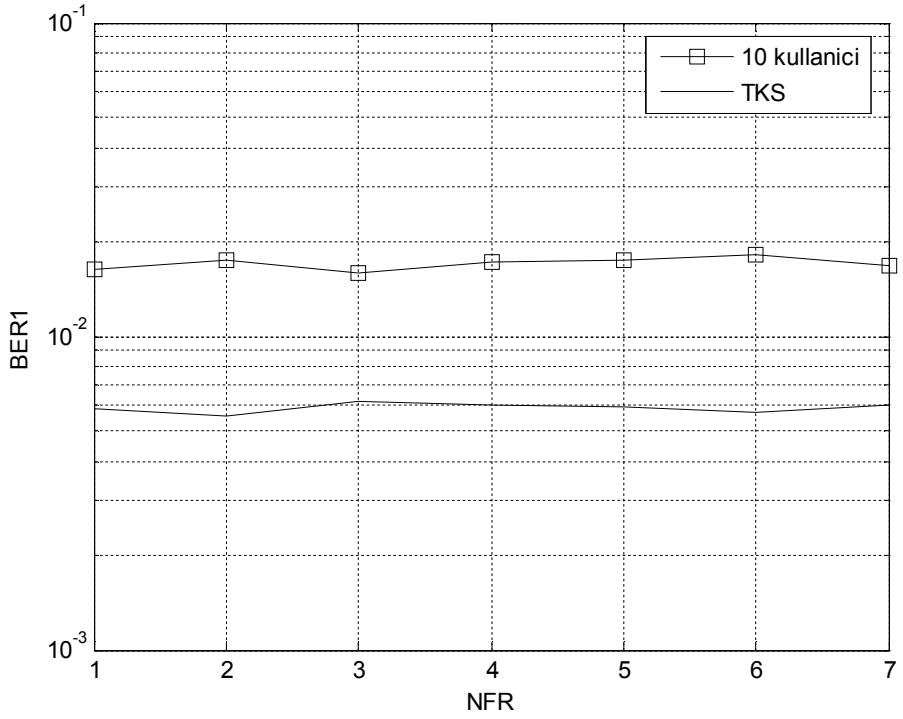


Şekil 5.11. AWGN kanal için, ilişki çözücü alıcıda kullanıcı sayısına karşılık 1. kullanıcının BER değerindeki değişim.

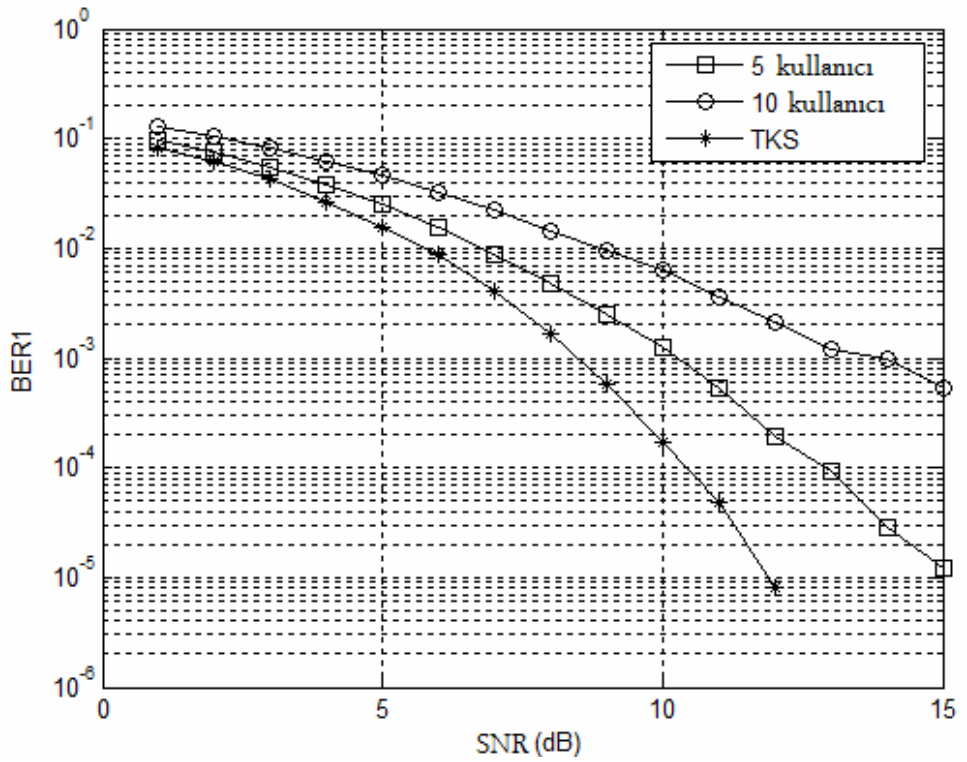
İlişki çözücü alıcı yakın-uzak problemine karşı oldukça yüksek direnç gösterir. Şekil 5.12 'de ilişki çözücü alıcının yakın-uzak problemine karşı dayanıklılığı gösterilmektedir. SNR değeri 5 dB olan AWGN kanalda 10 kullanıcılı sistem için

değişik NFR değerleri için 1. kullanıcının BER değerleri belirlenmeye çalışılmıştır. Tek kullanıcı sınırı ile birlikte 10 kullanıcının kıyaslaması yapılan simülasyonda, ilişki çözücünün performansı barizdir.

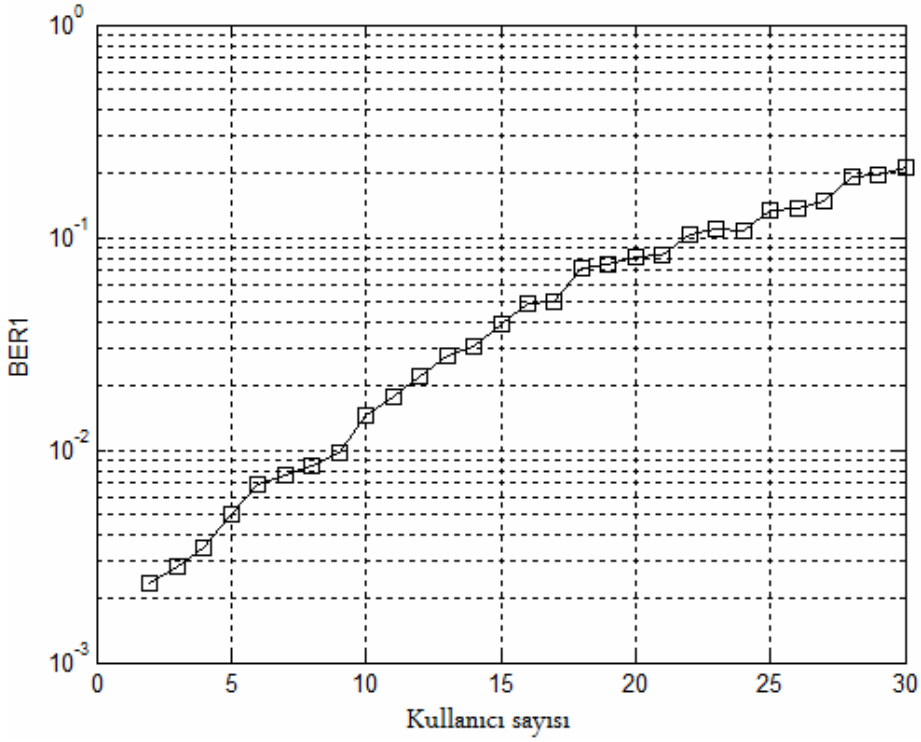
İlişki çözücü alıcının Rayleigh sönümlü kanalda SNR-BER performansı Şekil 5.13' de ele alınmıştır. Rayleigh kanalda da, AWGN kanalda olduğu gibi uyumlu filtre alıcıya üstünlüğü söz konusudur. Şekil 5.13' deki ilişki çözücü alıcı devresinde hem 5 kullanıcı hem de 10 kullanıcı için ayrı ayrı sezme işlemi gerçekleştirilip, karşılaştırma imkanı sağlanmıştır.



Şekil 5.12. AWGN kanal için, ilişki çözücü alıcıda yakın-uzak oranına karşılık 1. kullanıcının BER değerindeki değişim.



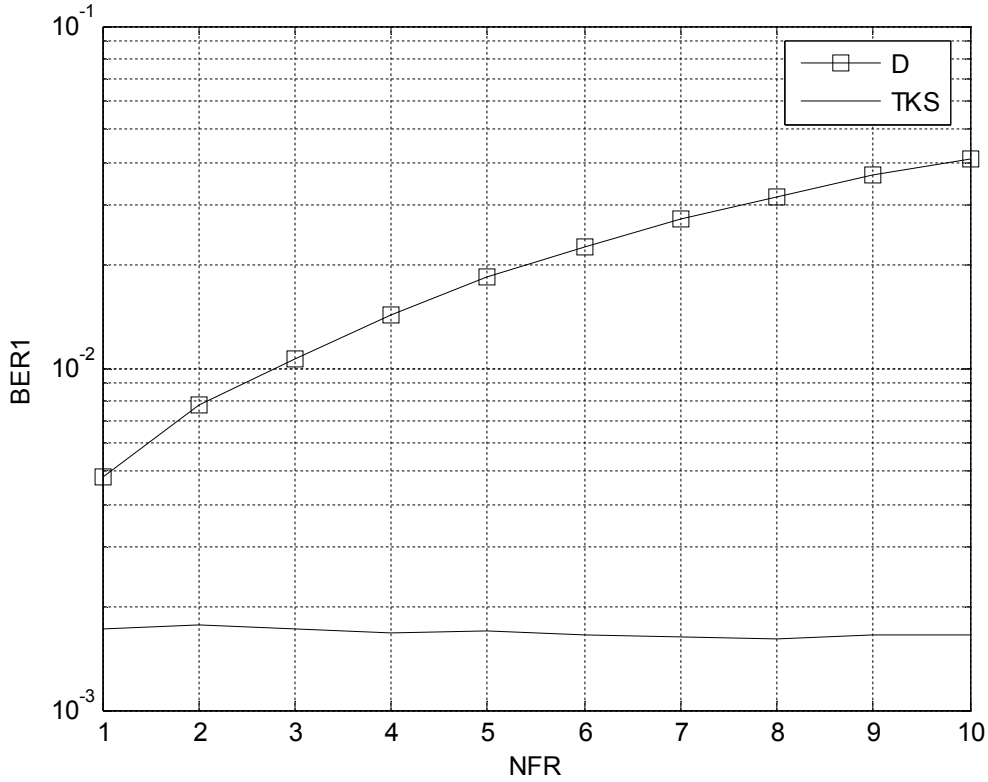
Şekil 5.13. Rayleigh sönümlü kanal için, 5 ve 10 kullanıcılı ilişki çözücü alıcıda 1. kullanıcının sinyal-gürültü oranına karşılık 1.kullanıcının BER değeri.



Şekil 5.14. Rayleigh sönümlü kanal için, ilişki çözücü alıcıda kullanıcı sayısına karşılık 1. kullanıcının BER değeri.

Rayleigh sönümlü kanalda, ilişki çözücü alıcının NFR-BER performansı Şekil 5.15' de 5 kullanıcı için gösterilmektedir. Rayleigh kanalda ilişki çözücü alıcının yakın-uzak problemine göstermiş olduğu direnç AWGN kanala göre çok düşüktür.

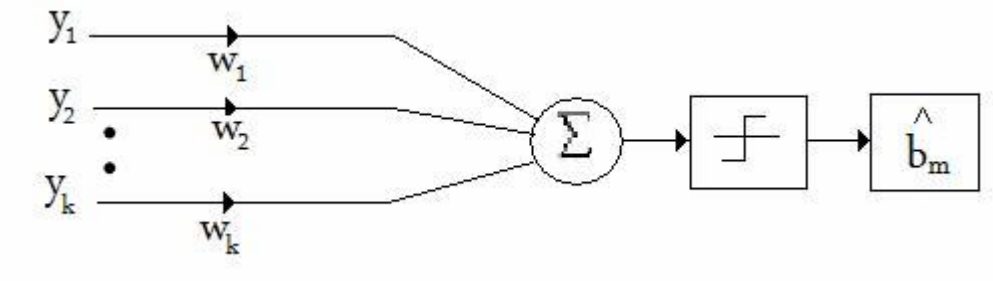
İlişki çözücü alıcının gerek AWGN gerekse Rayleigh sönümlü kanalda MC-CDMA sezici olarak uyumlu filtreye üstünlüğü görülmüştür. Rayleigh kanalın özelliği gereği, sezme işleminde performans düşüklüğü yaşansa da ilişki çözücü alıcı yapısı hem CDMA hem de MC-CDMA yapılarında çok kullanıcılı sezme işlemi için yaygın şekilde kullanılan lineer sezicilerdendir.



Şekil 5.15. Rayleigh sönümlü kanal için, ilişki çözücü alıcıda yakın-uzak oranına karşılık 1. kullanıcının BER değerindeki değişim.

5.4. Minimum Ortalamalı Karesel Hata (MMSE) Alıcı

İlişki çözücü sezici gibi doğrusal bir sezici olan MMSE alıcı, karar istatistiğini oluşturmak için alınan ***y*** istatistiğini bir ağırlık vektörü **w** ile değerlendirir. *m* kullanıcılı alıcı yapısı Şekil 5.16' da gösterilmiştir.



Şekil 5.16. *m* kullanıcı için MMSE doğrusal dönüşümü.

MMSE sezicide optimal ağırlıkların belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Optimal ağırlıklar şöyle belirlenir:

1 kullanıcı için MMSE doğrusal sezici, $c_1(t)$ ve alınan sinyal y(t) arasındaki ilişki ve iletilen bit arasında MSE hatasının minimize edildiği bir $c_1(t)$ dalga formunu belirler. Amaç fonksiyon (bu durumda ortalama karesel hata) şöyle tanımlanır:

$$\Psi(c1) = E\left\{\left(b_1 - \langle c1, y\rangle\right)^2\right\} \tag{5.22}$$

Sonlu boyutlu ifadede denklem (5.22) şöyle ifade edilebilir:

$$\Psi(W_1, W_2, ..., W_k) = E\left\{\left(b_1 - \sum_{i=1}^{K} W_i y_i\right)^2\right\} \tag{5.23}$$

Burada $\{W_1, W_2, ..., W_k\}$, alınan $\{y_1, y_2, ..., y_k\}$ istatistiğinde ağırlık işlemidir. Denklem (5.23)'ü yoğunlaştırılmış ve uygun bir matris notasyonunda ifade ederek

$$\Psi(w) = E\left\{\left(b_1 - w^T y\right)^2\right\} \tag{5.24}$$

Beklenen değerin doğrusallığı kullanılarak:

$$\Psi(w) = E\left(b_1^2\right) - E\left(2b_1 w^T y\right) + E\left\{\left(w^T y\right)\left(w^T y\right)^T\right\} \tag{5.25}$$

Kullanıcı bitleri eşit olasılıklı olduğundan $E(b_1^2) = 1$ dir. Bundan dolayı:

$$\Psi(w) = 1 - 2w^T E\left(b_1 y\right) + E\left\{w^T y y^T w\right\} \tag{5.26}$$

$$\Psi(w) = 1 - 2w^T E(b_1 y) + w^T E\{yy^T\} w \tag{5.27}$$

Denklem (5.11)' de aşağıdaki formülü belirlemiştik:

$$Y = RAb + n \tag{5.28}$$

$$E(b_1 y) = E(b_1 RAb + b_1 n) \tag{5.29}$$

$$= RAE\left(b_1 \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_K \end{bmatrix} \right) + E(b_1 n) \tag{5.30}$$

$$= RA\left(\begin{bmatrix} E(b_1^2) \\ E(b_1 b_2) \\ \vdots \\ E(b_1 b_K) \end{bmatrix} \right) + E(b_1 n) \tag{5.31}$$

1. kullanıcı bitleri eşit olasılıklı olduğu ve diğer kullanıcı bitleri ile ilişkilenmediğinde şu ifade yazılabilir.

$$E(b_1 b_K) = \begin{cases} 0 & , i \neq j \\ 1 & , i = j \end{cases} \tag{5.32}$$

Denklem (5.32) ve gürültünün sıfır ortalamalı oluşu (yani E(n=0)) kullanılarak denklem (5.31) aşağıdaki gibi olur.

$$E(b_1 y) = RA[1\ 0\ 0 \cdots 0]^T \tag{5.33}$$

Denklem (4.6) ve (5.20) ' den A ve R ifadeleri kullanılarak,

$$E(b_1 y) = \begin{bmatrix} \rho_{11} & \rho_{12} & \cdots & \rho_{1k} \\ \rho_{21} & \rho_{22} & \cdots & \rho_{2k} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \rho_{k1} & \rho_{k2} & \cdots & \rho_{kk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & A_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & A_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \tag{5.34}$$

$$E(b_1 y) = \begin{bmatrix} \rho_{11} A_1 \\ \rho_{21} A_1 \\ \vdots \\ \rho_{K1} A_1 \end{bmatrix} \tag{5.35}$$

Şimdi denklem (5.30)' daki ikinci beklenen terimi göz önüne alırsak:

$$E\{yy^T\} = E\{(RAb)(RAb)^T\} + E(nn^T) \tag{5.36}$$

$$E\{yy^T\} = E\{RAbb^T A^T R^T\} + N_o R \tag{5.37}$$

A ve R' nin simetrik matrisler oluşu kullanılarak, aşağıdaki denklem elde edilmektedir.

$$E\{yy^T\} = RAE\{bb^T\}AR + N_o R \tag{5.38}$$

$$E\{yy^T\} = RA^2 R + N_o R \tag{5.39}$$

Denklem (5.35) ve (5.39) denklem (5.27)' de yerine konularak,

$$\Psi(w) = 1 - 2w^T [\rho_{11} A_1 \quad \rho_{21} A_1 \cdots \quad \rho_{K1} A_1]^T + w^T (RA^2 R + N_o R) w \tag{5.40}$$

elde edilir.

Eşitlik (5.40), MMSE kriterine göre minimize edilmesi gereken amaç fonksiyonu (MSE' yi) verir. Denklem (5.40)' da bir türev alma işlemi gerçekleştirilerek aşağıdaki ifade elde edilmektedir:

$$\nabla_w \Psi(w) = -2[\rho_{11} A_1 \quad \rho_{21} A_1 \cdots \quad \rho_{K1} A_1]^T + 2(RA^2 R + N_o R) w \tag{5.41}$$

Denklem (5.41)' i elde etmek için (RA^2R+NoR)' nin bir simetrik matris oluşu kullanılmıştır. MSE' yi minimize eden optimum ağırlıklar $\nabla_w \Psi(W)$ ' nin sıfıra eşitlenmesi ile elde edilebilir. Bundan dolayı,

$$-2[\rho_{11} A_1 \quad \rho_{21} A_1 \cdots \quad \rho_{K1} A_1]^T + 2(RA^2 R + N_o R) w_{opt} = 0 \tag{5.42}$$

Denklem (5.42) çözülerek optimal ağırlıklar şöyle elde edilir:

$$W_{opt} = (RA^2R + N_oR)^{-1}[\rho_{11}A_1 \quad \rho_{21}A_1 \ldots \rho_{k1}A_1]^T \tag{5.43}$$

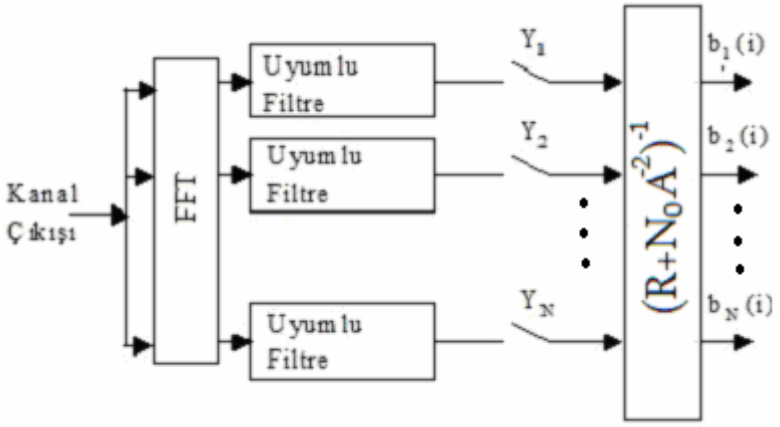
m kullanıcı için optimal ağırlıkları hesaplamak için, sadece tüm i için ρ_{i1}, ρ_{im} ile ve A_1, A_m ile denklem (5.43)' de yer değiştirilir. Denklem (5.43) daha genel ve yoğunlaştırılmış bir biçimde aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$W_{opt} = \left(R + N_oA^{-2}\right)^{-1} \tag{5.44}$$

Burada

$$N_oA^{-2} = \text{diag}\left\{\frac{N_o}{A_1^2}, \frac{N_o}{A_2^2}, \cdots, \frac{N_o}{A_K^2}\right\} \tag{5.45}$$

Denklem (5.44) alıcı işlemini ifade eder. Alıcı sadece W_{opt} ile alınan istatistiği değerlendirir ve Şekil 5.17' de gösterildiği gibi bir karar verir.



Şekil 5.17. MMSE doğrusal sezici.

MMSE alıcının performansı ilişki çözücü alıcıya benzerdir. Şekil 5.18' de AWGN kanal için MMSE alıcı yapısı kullanarak 5 ve 10 kullanıcı için 1. kullanıcıya ait BER değerleri görülmektedir. Görüleceği üzere SNR-BER performansı açısından ilişki çözücü alıcıya nazaran benzer sonuçlar alınırken, uyumlu filtre alıcıya üstünlüğü barizdir.

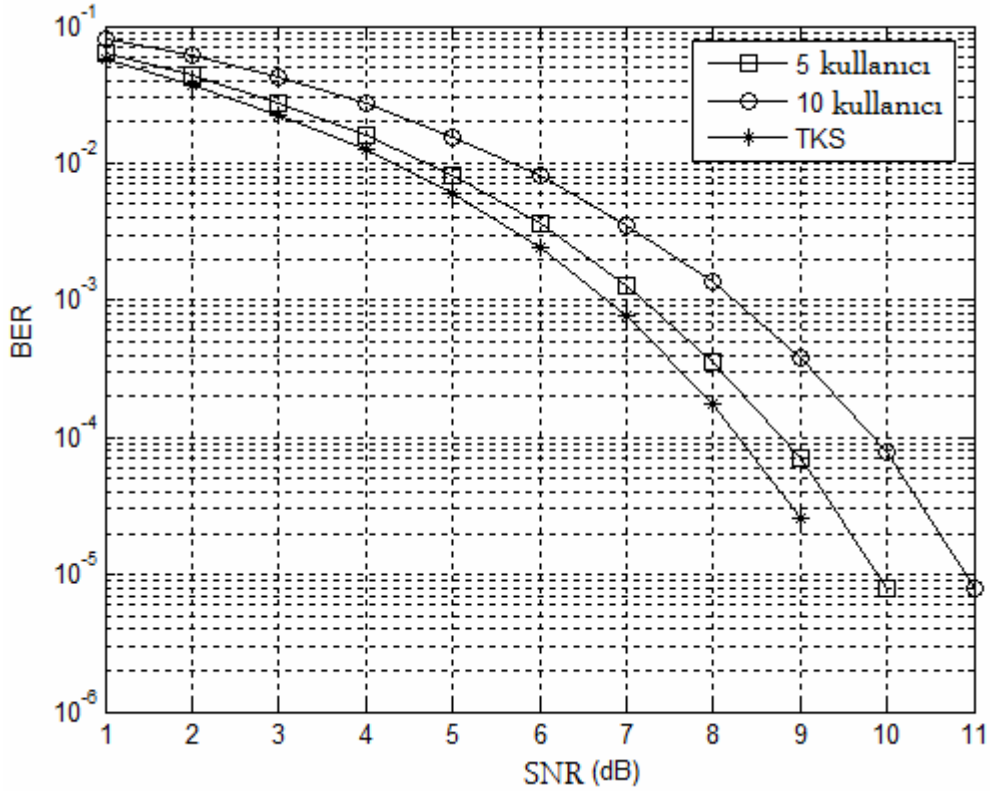
Kullanıcı sayısına göre 1. kullanıcıya ait BER grafiği Şekil 5.19' da verilmektedir. Görüleceği üzere 5 kullanıcılı sistem için MMSE alıcı neredeyse tek kullanıcı sınırına

yakın bir performans göstermektedir. MC-CDMA sezicilerinde çok kullanıcı sezme için uyumlu filtre alıcıya nazaran üstünlüğü söz konusu olduğundan literatürde de yaygın şekilde kullanılan alıcı yapısı olmuştur.

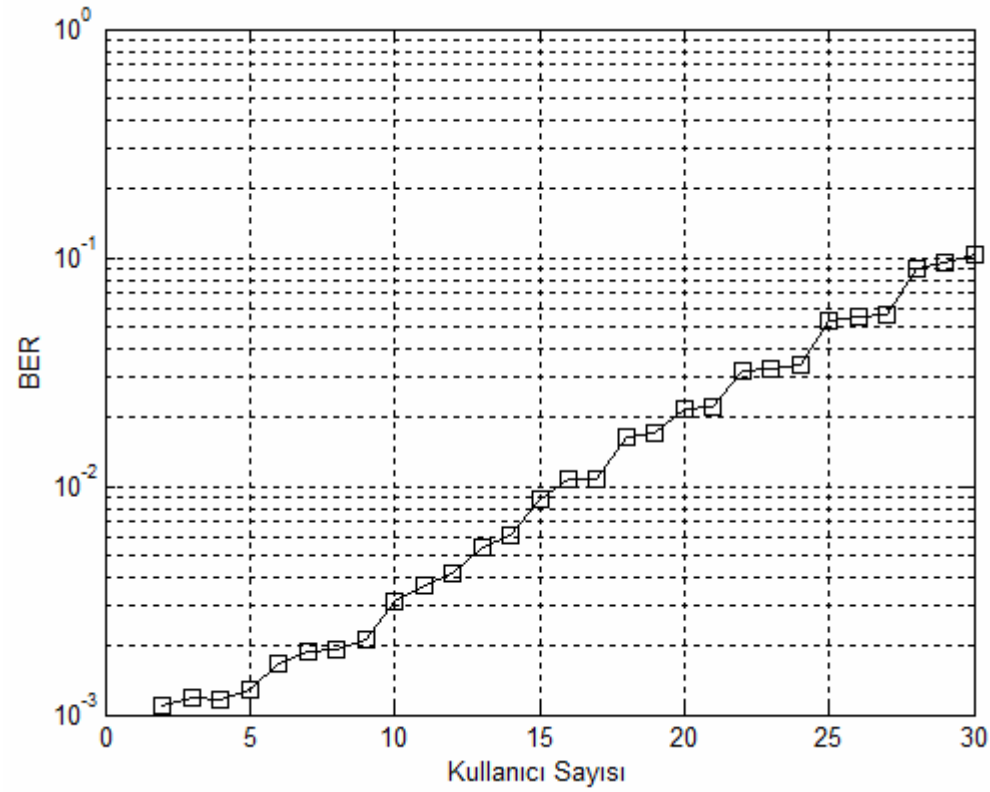
MMSE alıcının 25 kullanıcı için AWGN kanalda yakın-uzak problemine göstermiş olduğu performans Şekil 5. 20' de görülmektedir.

Yukarıdaki AWGN kanal için yapılan MMSE alıcı simülasyonları aynen Rayleigh kanal için de gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.21' de MMSE alıcının Rayleigh sönümlü kanalda hem 5 kullanıcı hem de 10 kullanıcı için SNR-BER değişimi görülmektedir.

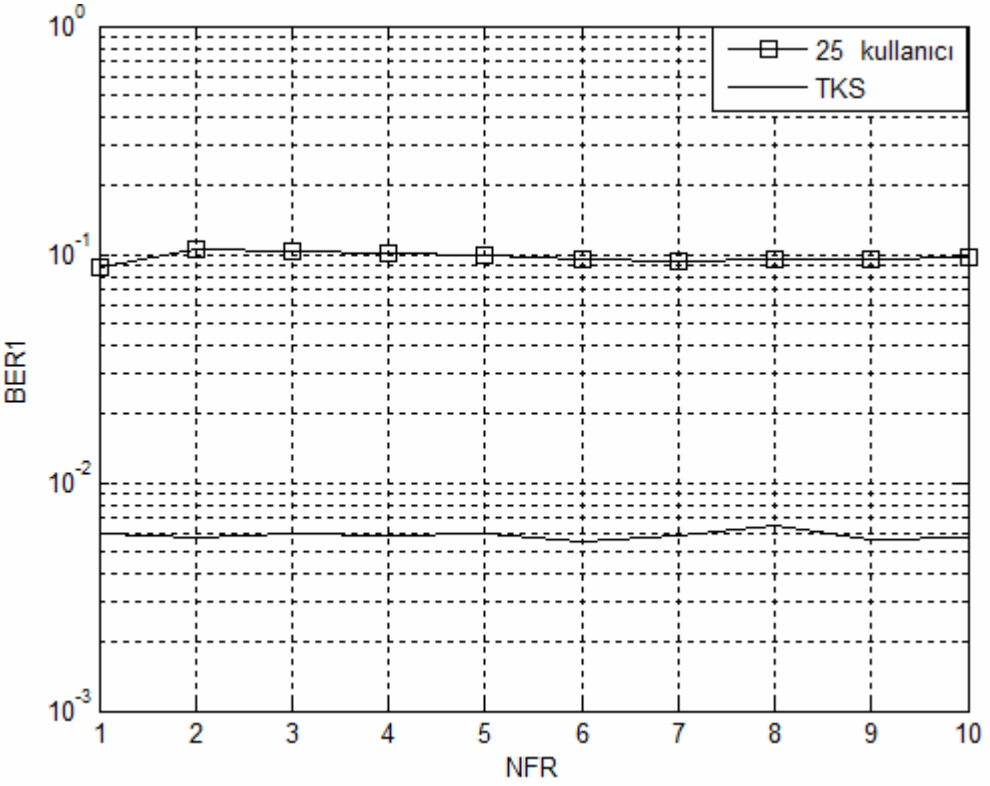
Şekil 5.22' de aynı alıcı yapısının kullanıcı sayısına göre performansı belirlenmiş, 1 kullanıcının BER değerleri bulunmuştur.Şekil 5.23' de de aynı alıcının Rayleigh sönümlü kanalda yakın-uzak problemine göstermiş olduğu iyileştirme görülmektedir.



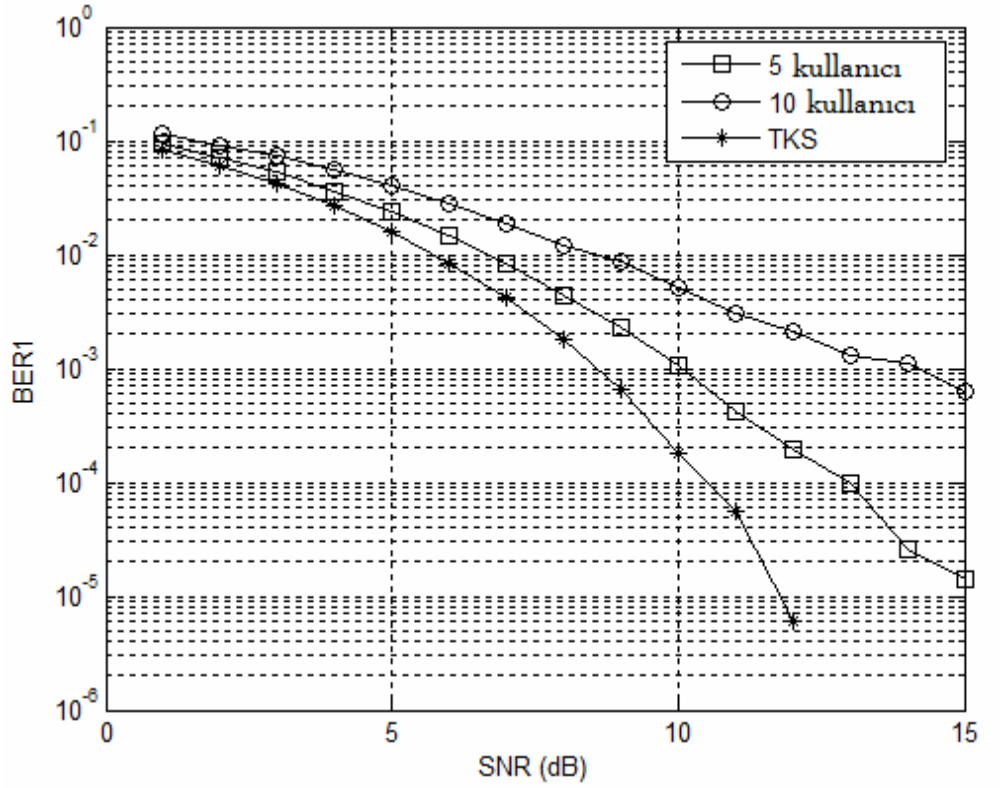
Şekil 5.18. AWGN kanal için, 5 ve 10 kullanıcılı MMSE alıcıda 1. kullanıcının sinyal-gürültü oranına karşılık BER değeri.



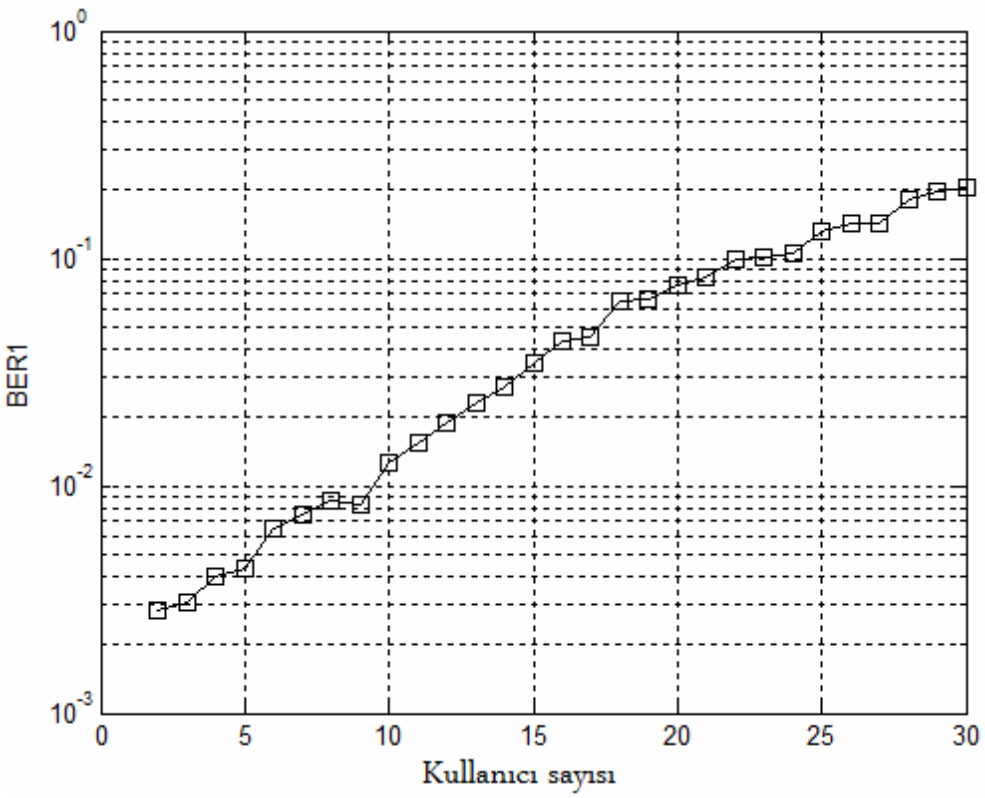
Şekil 5.19. AWGN kanal için, MMSE alıcıda kullanıcı sayısına karşılık 1. kullanıcının BER değerindeki değişim.



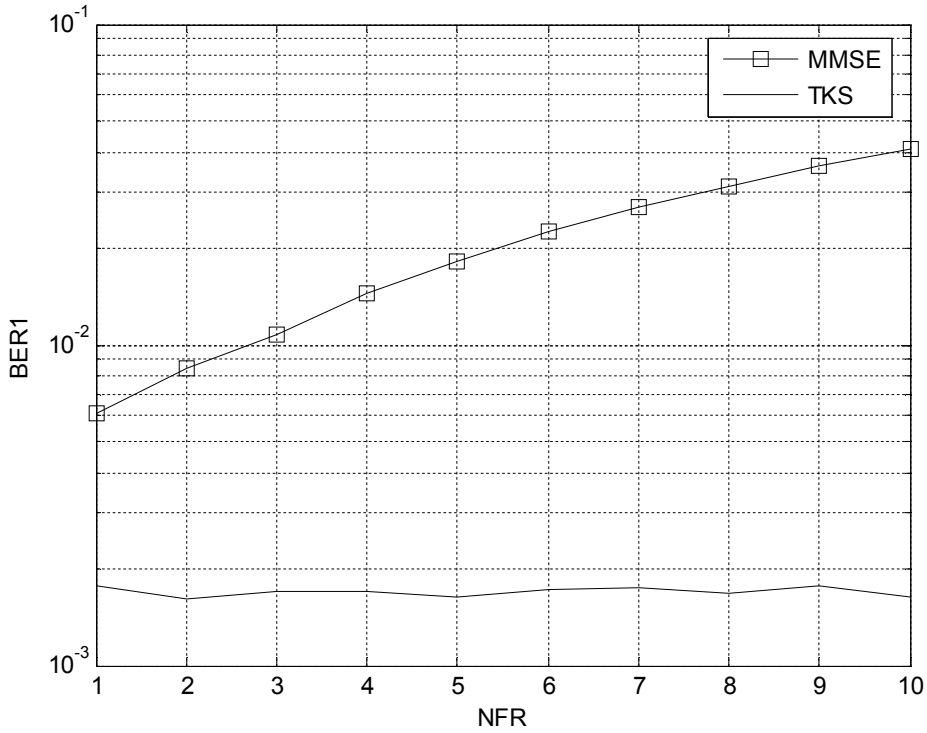
Şekil 5.20. AWGN kanal için, MMSE alıcıda yakın-uzak oranına karşılık 1. kullanıcının BER değerindeki değişim.



Şekil 5.21. Rayleigh sönümlü kanal için, 5 ve 10 kullanıcılı MMSE alıcıda 1. kullanıcının sinyal-gürültü oranına karşılık 1.kullanıcının BER değeri.



Şekil 5.22. Rayleigh sönümlü kanal için, MMSE alıcıda kullanıcı sayısındaki değişime karşılık 1. kullanıcının BER değerindeki değişim.



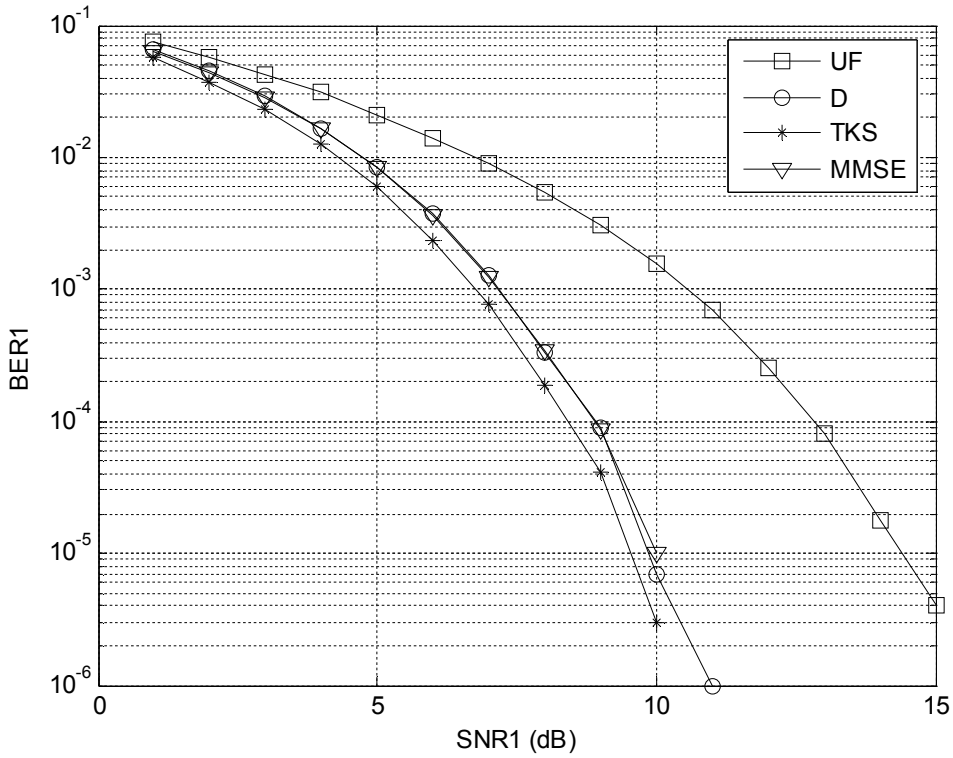
Şekil 5.23. Rayleigh sönümlü kanal için, MMSE alıcıda yakın-uzak oranına karşılık 1. kullanıcının BER değerindeki değişim.

5.5. MC-CDMA Alıcılarının Kıyaslanması

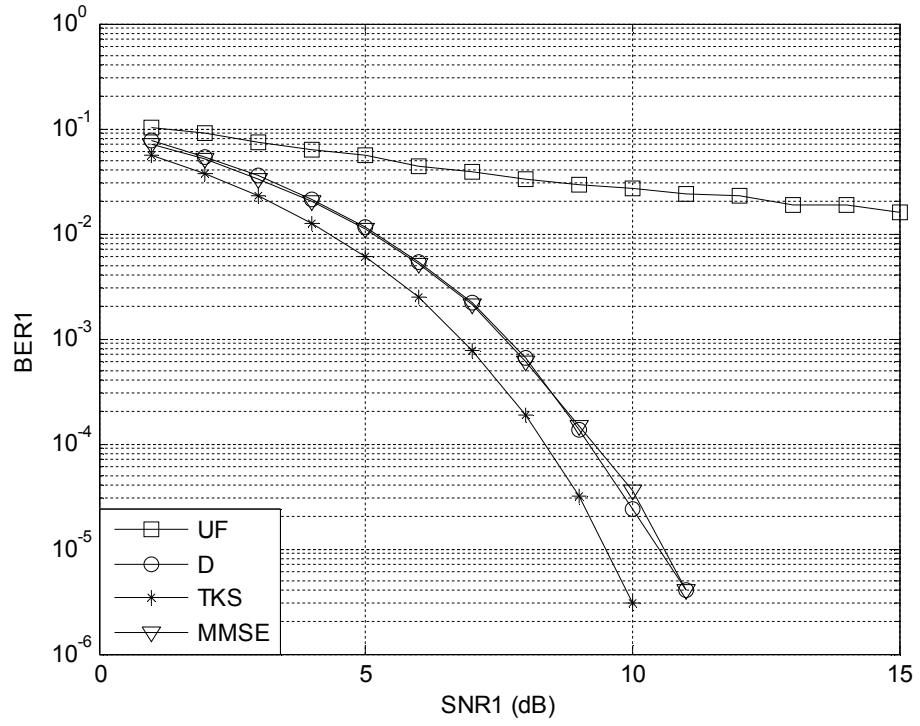
Yukarıdaki bölümlerde her bir alıcı ayrı ayrı simüle edilerek, çok kullanıcılı sezme amaçlı performansları incelenmiştir. Bu bölümde, bütün sezici yapıları birbirleriyle karşılaştırılmaktadır. AWGN kanal ve Rayleigh sönümlü kanal için ayrı ayrı yapılan simülasyonlardan Şekil 5.24' de AWGN kanal için 5 kullanıcı için sezme tekniklerinin kıyaslaması yapılırken, Şekil 5.25' de yine AWGN kanal için 8 kullanıcı için sezme yapılarının kıyaslaması yapılmaktadır. Şekil 5.26' da AWGN kanal için üç sezicinin kullanıcı sayısına göre BER performansı, Şekil 5.27' de NFR-BER performansları verilmiştir.

Rayleigh kanalda, MC-CDMA sezicilerin simülasyon sonuçları Şekil 5.28, Şekil 5.29, Şekil 5.30 ve Şekil 5.31' de verilmiştir.

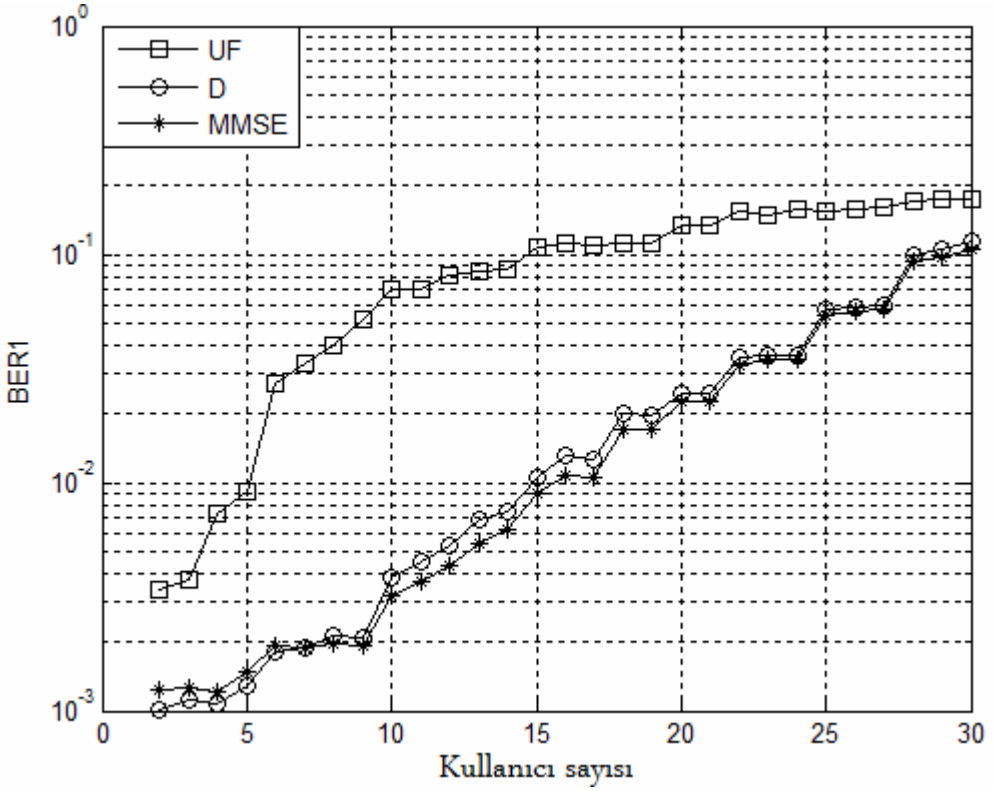
Tüm grafiklerden görüleceği üzere; klasik alıcı yapısı olarak kullanılan uyumlu filtreye nazaran ilişki çözücü alıcı ve MMSE alıcının performansları üstünken, bu iki alıcının performansları birbirine yakındır.



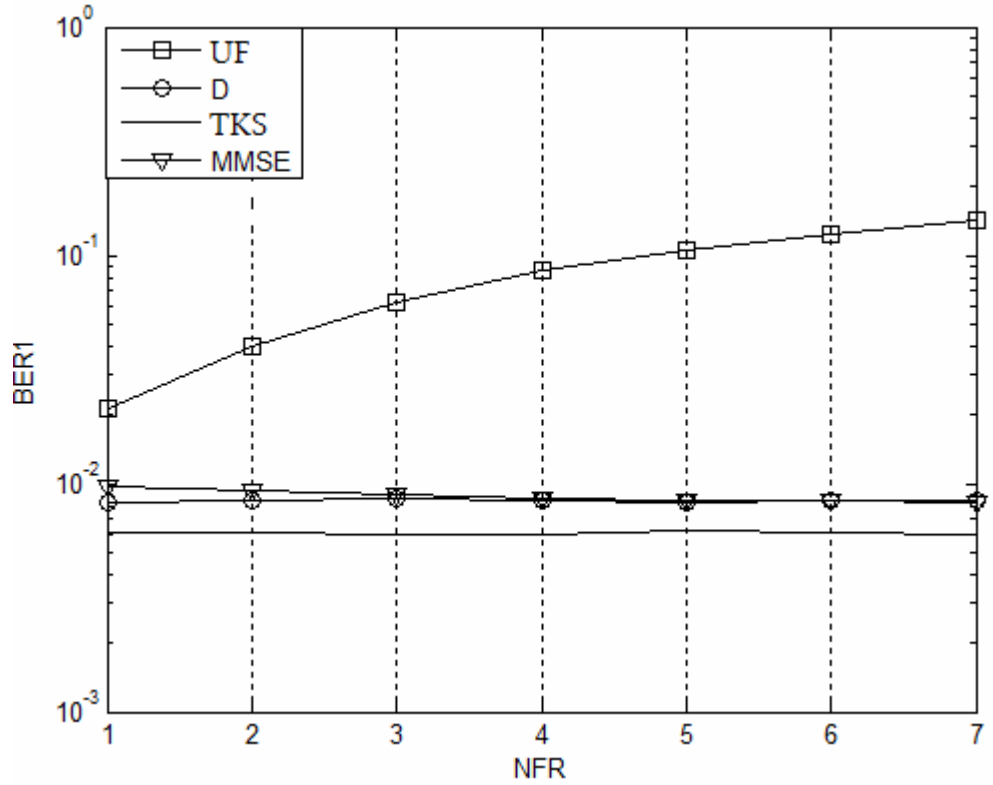
Şekil 5.24. AWGN kanalda 5 kullanıcı için MC-CDMA sezicilerinin SNR-BER performansları.



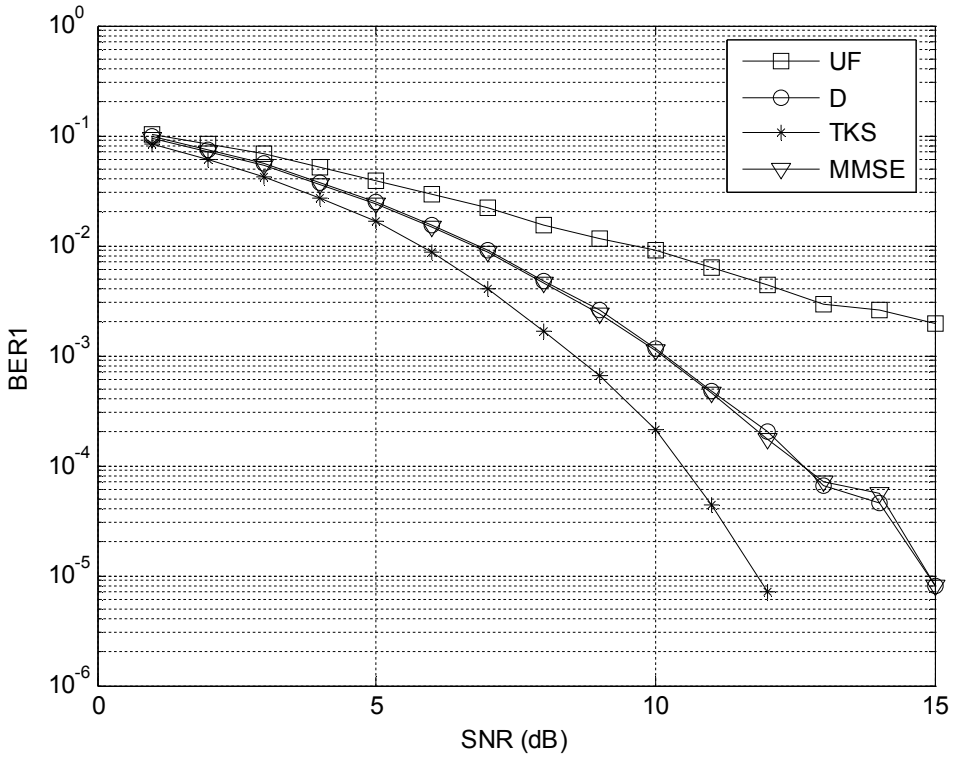
Şekil 5.25. AWGN kanalda 10 kullanıcı için MC-CDMA sezicilerinin SNR-BER performansları.



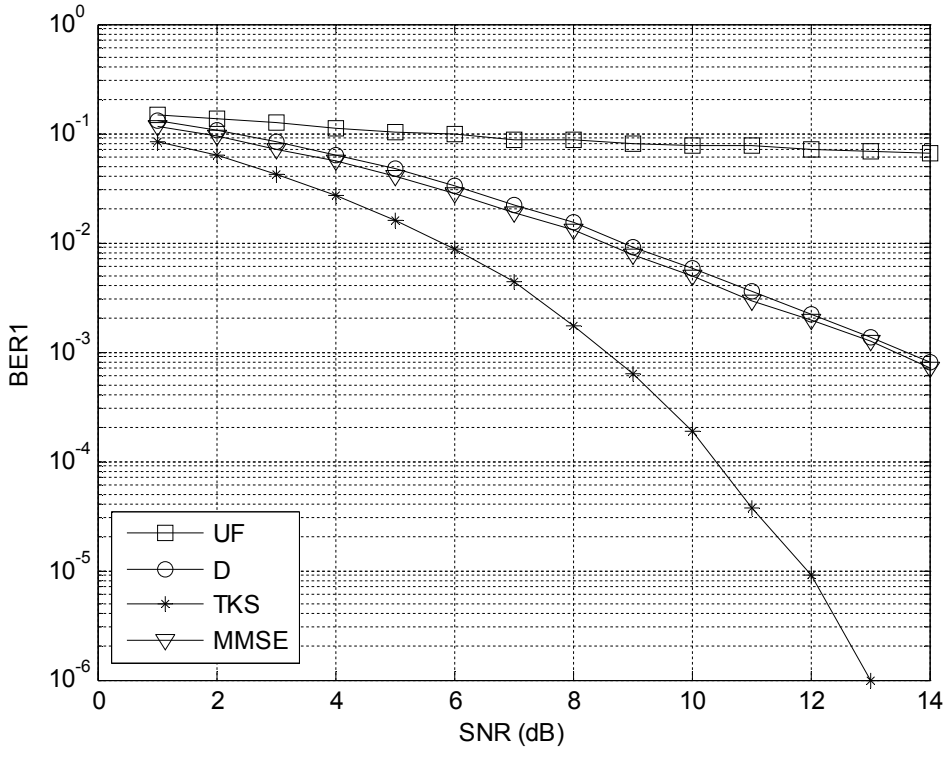
Şekil 5.26. AWGN kanalda MC-CDMA sezicilerinin kullanıcı sayısına göre BER performansları (SNR=7dB)



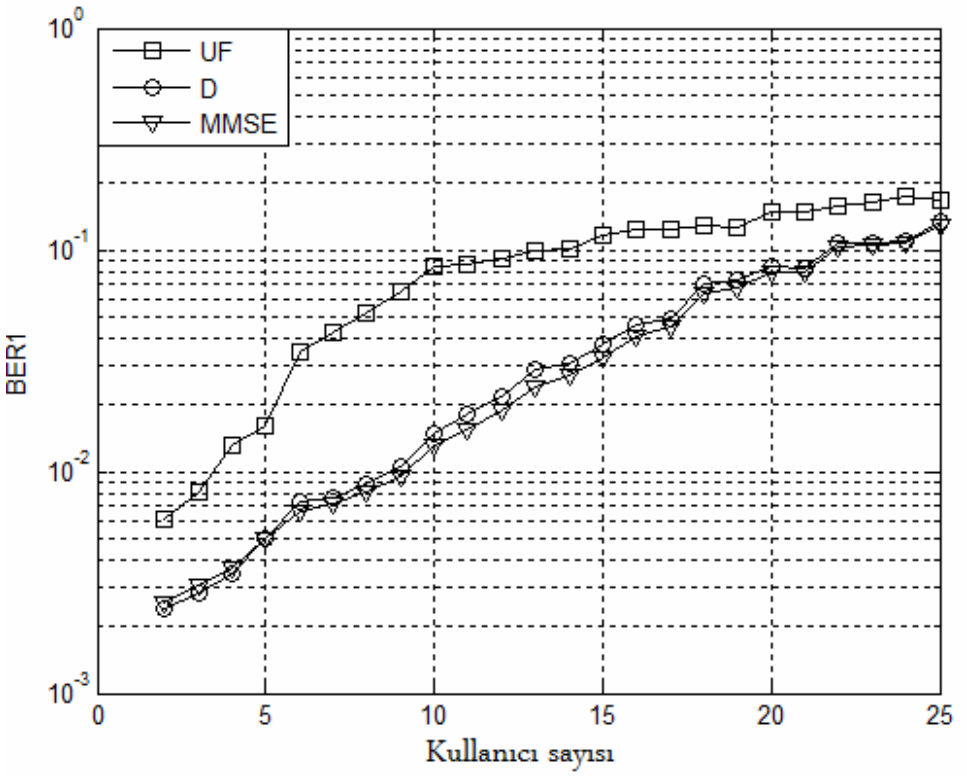
Şekil 5.27. AWGN kanalda MC-CDMA sezicilerinin NFR ye göre BER performansları. (SNR=5dB, kullanıcı sayısı=5)



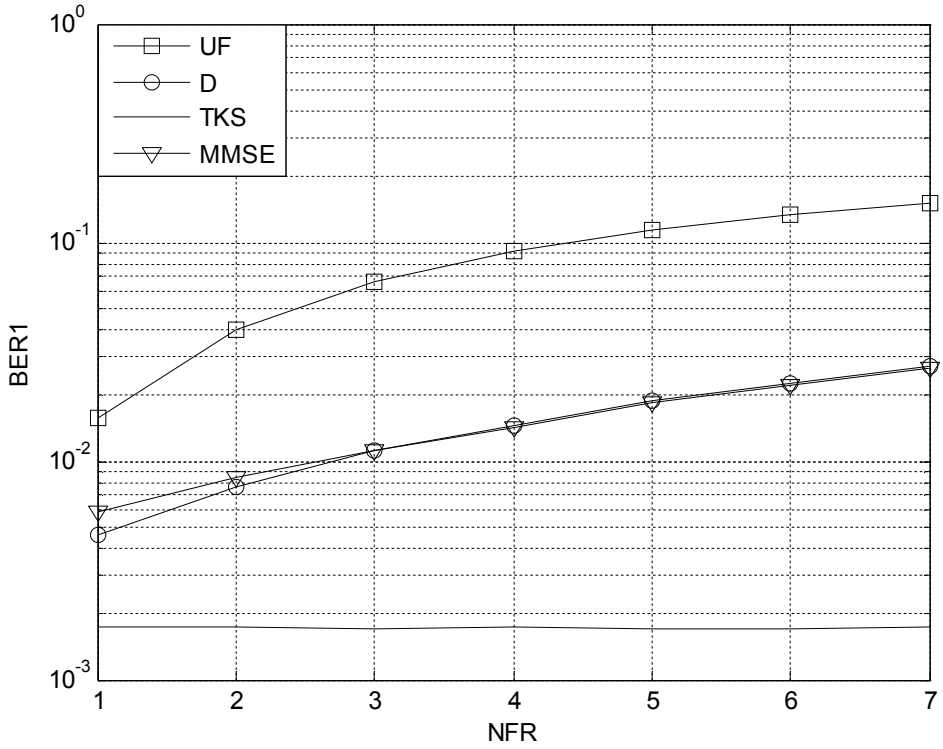
Şekil 5.28. Rayleigh sönümlü kanalda 5 kullanıcı için MC-CDMA sezicilerinin SNR-BER performansları.



Şekil 5.29. Rayleigh sönümlü kanalda 10 kullanıcı için MC-CDMA sezicilerinin SNR-BER performansları.



Şekil 5.30. Rayleigh sönümlü kanalda MC-CDMA sezicilerinin kullanıcı sayısına göre BER performansları. (SNR=8dB)



Şekil 5.31. Rayleigh sönümlü kanalda MC-CDMA sezicilerinin NFR ye göre BER performansları. (SNR=8dB, kullanıcı sayısı=5)

6. BÖLÜM

YSA ALICI İLE ÇOK KULLANICILI SEZME

6.1. Giriş

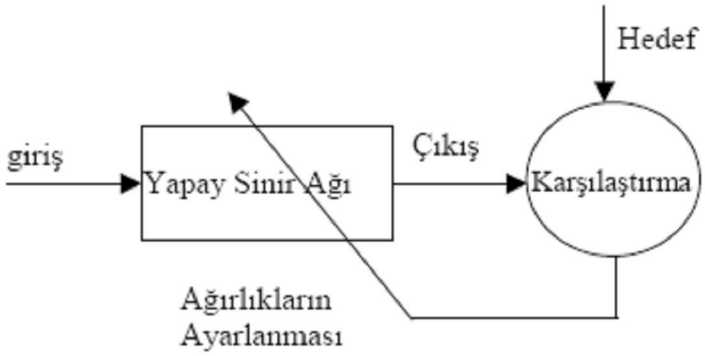
Bu bölümde Yapay sinir ağı (YSA) yapısı hakkında bilgi verildikten sonra, ağın ileri beslemeli çok katmanlı perseptron tarzında çok kullanıcılı alıcı yapısında kullanışları incelenecektir. Eşzamanlı kanalda, AWGN ve Rayleigh sönümlü kanal durumları için, sadece kullanıcılardan baz istasyonuna doğru olan iletişim dikkate alınmıştır. YSA alıcı yapılarının sonuçları, uyumlu filtre, MMSE alıcı, ilişki çözücü alıcı ve tek kullanıcı sınırı ile kıyaslanmıştır.

6.2. Yapay Sinir Ağları

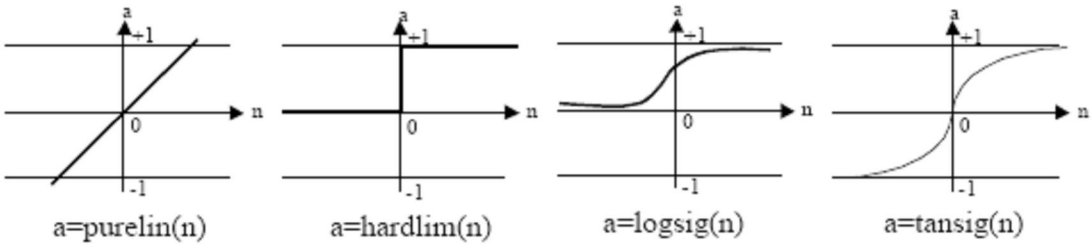
Yapay sinir ağları (YSA) birbirine ağırlıklarla bağlanmış, paralel çalışan pek çok işlemci elemanlardan oluşmaktadır. Bu elemanlar biyolojik sinir sisteminden esinlenerek oluşturulmuştur. Ağın işlevi, büyük oranda elemanlar arasındaki bağlantılarla belirlenir. Ağın elemanları arasındaki ağırlıkların ayarlanmasıyla ağa belirli bir işlem yaptırılabilir. Ağırlıkların ayarlanması işlemi ağın eğitilmesi olarak adlandırılır. Böylece ağın belirli bir girişe karşılık belirli bir çıkış vermesi sağlanır. Bu durum Şekil 6.1' de görülmektedir. Söz konusu giriş için gerekli çıkış elde edilene kadar ağırlıklar değiştirilir. Bu şekilde eğitme işlemine danışmanlı eğitme denir. Hedef çıkışın belirtilmediği yöntem ise danışmasız eğitmedir ve genellikle doğrudan tasarım işlemlerinde kullanılır.

Yapay sinir ağları içinde problemle ilişkili olarak istenen miktarda giriş sayısı, girişlerin bağlandığı nöronlar ve gerekli miktarda ara katman sayısı oluşturulabilir. Çıkış sayısı bir olabileceği gibi birden fazla da olabilir. Ağırlıkların etkisiyle birlikte çıkışı

belirleyen keskin sınırlayıcı (hardlim), doğrusal (purelin), logsigmoid, tanjant sigmoid, yokuş (ramp), karekök, softmax, exponansiyel gibi değişik aktivasyon fonksiyonları kullanılır. Yaygın kullanılan bazı aktivasyon fonksiyonları Şekil 6.2' de verilmiştir. Yapay sinir ağları kullanılan aktivasyon fonksiyonuna, yapılan nöron ve bağlantı düzenlemesine ve kullanılan eğitim algoritmasına bağlı olarak değişik isimler almaktadır. En yaygın yapay sinir ağı yapı ve algoritmaları olarak, ileri beslemeli çok katmanlı perseptron, merkezi esaslı (radial basis), öz düzenlemeli (self organizing), geribeslemeli (recurrent), Hopfield ve Elman sayılabilir. Bütün bu farklı yapay sinir ağları değişik problemlerde farklı performanslar göstermektedir. Dolayısıyla, probleme uygun YSA modelinin seçilmesi büyük önem taşımaktadır. CDMA ve MC-CDMA' da çok kullanıcılı sezme işlemi için pek çok farklı algoritmalar denenmiştir. Bir nöronlu yapay sinir ağı ile çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı yapısı Şekil 6.3' de görülmektedir.



Şekil 6.1. Yapay Sinir Ağı yapısı.



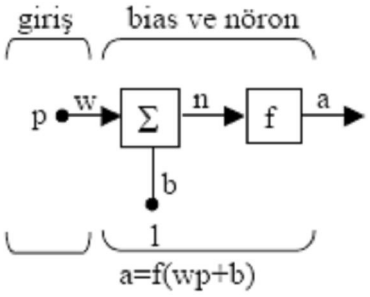
Şekil 6.2. Yaygın kullanılan bazı aktivasyon fonksiyonları.

Skaler giriş *p* bağlantı noktasına skaler büyüklük olan *w* ile çarpılarak aktarılır. Eğer bias kullanılmıyorsa ağırlıklandırılmış giriş (*wp*=*n*), *f* transfer fonksiyonuyla *a* çıkışını

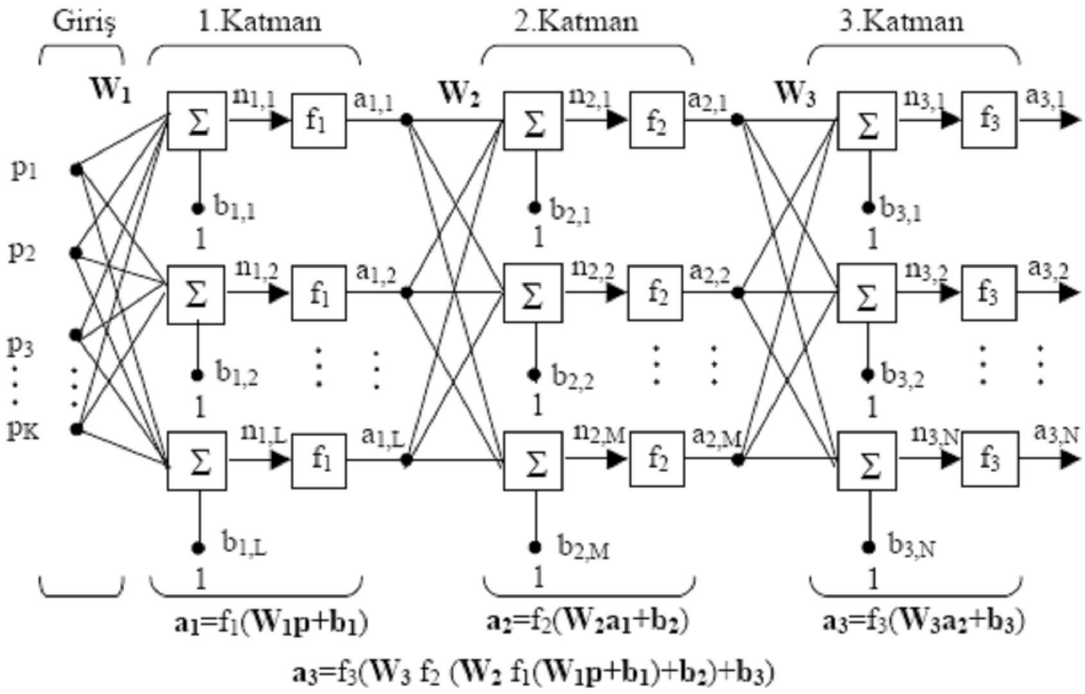
üretir. Eğer bias varsa, ağırlıklandırılmış giriş ve biasın toplamı ($wp+b=n$), f transfer fonksiyonuyla a çıkışını oluşturur. Aynı bağlantı noktasında K sayıda giriş varsa, her birinin ağırlığı ağın eğitimi esnasında ayarlanır ve bu durumda ağ çıkışı a, f transfer fonksiyonuyla şöyle belirlenir:

$$a = f(w_1 p_1 + w_2 p_2 + ... + w_K p_K + b) \tag{6.1}$$

Ağın Şekil 6.3.(b)' de görülen 3 katmanlı durumunu ele alırsak, bütün katman çıkışları matrisel formda şöyle gösterilir:



(a)



(b)

Şekil 6.3. YSA yapısı (a) Tek nöronlu (b) Çok nöronlu ve çok katmanlı.

$$a_1 = f_1(W_{1p} + b_1) \tag{6.2}$$

$$a_2 = f_2(W_2 a_1 + b_2) \tag{6.3}$$

$$a_3 = f_3(W_3 a_2 + b_3) = f_3(W_3 f_2(W_2 f_1(W_1 p + b_1) + b_2) + b_3) \tag{6.4}$$

Burada W_1 ,W_2 ve W_3 matrisleri şöyle tanımlanır:

$$W_1 = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{1K} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & w_{2K} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ w_{L1} & w_{L2} & \cdots & w_{LK} \end{bmatrix} \tag{6.5}$$

$$W_2 = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{1L} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & w_{2L} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ w_{M1} & w_{M2} & \cdots & w_{ML} \end{bmatrix} \tag{6.6}$$

$$W_{31} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{1M} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & w_{2M} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ w_{N1} & w_{N2} & \cdots & w_{NM} \end{bmatrix} \tag{6.7}$$

W_1 ,W_2 ve W_3 ağırlık matrisleri ağın eğitimi esnasında belirlenir ve eğitimden sonra ağın çıkışları p girişleri için Denklem (6.4)' e göre belirlenir.

Ağılıkların belirlenmesi esnasında değişik eğitim algoritmaları kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında, hızlı olası sebebiyle yaygın olarak kullanılan Levenberg-Marquardt algoritması kullanılmıştır.

Levenberg-Marquardt algoritması [88, 89] Hessian matrisini hesaplamak zorunda olmaksızın ikinci derece eğitim hızına yaklaşmak için tasarlanmıştır. Performans

fonksiyonu tipik olarak ileri beslemeli ağların eğitiminde olduğu gibi karelerin toplamı formunda olduğunda, Hessian matrisi şöyle yazılabilir:

$$H = J^T J \tag{6.8}$$

Gradyan şöyle hesaplanır:

$$g = J^T e \tag{6.9}$$

Burada J ağırlıklar ve biaslara göre ağ hatalarının ilk türevlerini içeren Jacobian matrisi ve e bir ağ hataları vektörüdür. Jacobian matrisi Hessian matrisini hesaplamaktan daha az kompleks olan standart bir geri yayılım tekniğiyle hesaplanabilir.

Levenberg-Marquardt algoritması şu güncelleme fonksiyonunu kullanır:

$$\Delta w = -(J^T J + \mu I)^{-1} J^T e \tag{6.10}$$

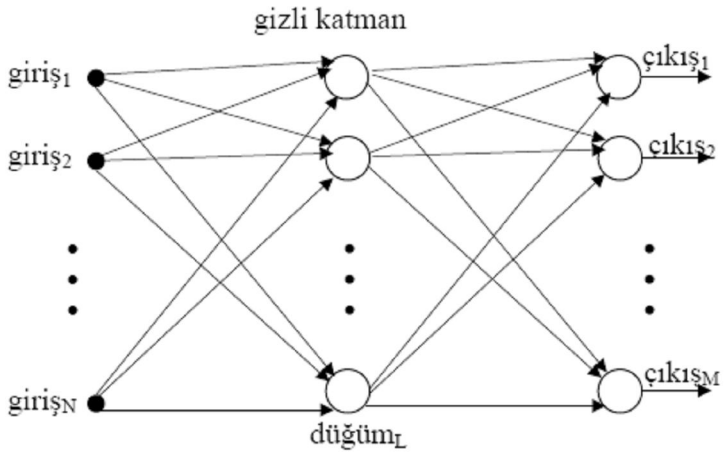
Levenberg-Marquardt formülündeki ilk terim doğrusallaştırılmış kabul olan bir ikinci derece gradyan iniş adımını gösterir. Kontrol parametresi μ bu iki yaklaşımın bağıl etkisini kontrol eder. Levenberg-Marquardt algoritması hatanın azaltılması sınırının aşıldığı her bir anda, kontrol parametresini 10 faktörüyle azaltır. Bu doğrusal kabulü ve doğrudan minimuma geçiş teşebbüsünü güçlendirir. Hatayı azaltamadığı her bir anda ise gradyan iniş adımına daha fazla etki vererek ve adım boyutunu küçülterek kontrol parametresini 10 faktörüyle artırır.

6.3. Yapay Sinir Ağı Alıcısı

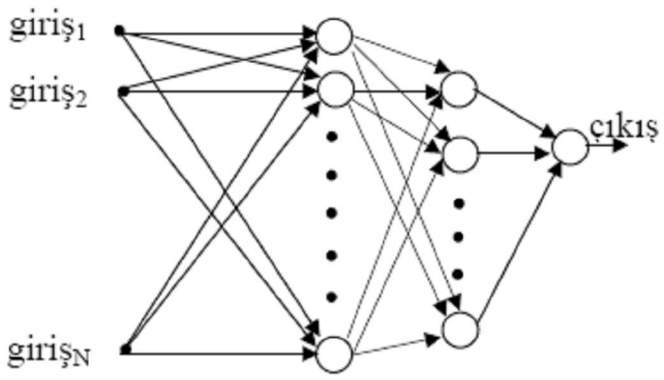
Yapay sinir ağı alıcısında, uyumlu filtreden sonra karar cihazı olarak yapay sinir ağı (YSA) kullanılmaktadır. YSA istenen katman ve düğüm sayısında belirlenebilmekte, değişik algoritmalarla eğitilebilmektedir. Yapay sinir ağının eğitimi sırasında düğümler arasındaki ağırlıklar seçilen hedefe göre değiştirilmekte, eğitim tamamlandığında en az hatayla doğru sonuç alınabilmektedir. YSA ile yapılan alıcıda hesap karmaşıklığı az olmakta ve esnek yapısından dolayı değişimlere kolaylıkla uyarlanabilmektedir. Hızlı Fourier dönüşümü sonrası uyumlu filtreye paralel olarak uygulanan işaretler, uyumlu filtre sonrasında da YSA' nın giriş değerleri olarak alınmış ve çıkış olarak kullanıcılara

ait bit tahminleri yapılmıştır. Giriş ve gizli katmandaki düğüm sayısı değişik değerlerde olabilmekle birlikte çıkış düğüm sayısı kullanıcı sayısı kadar seçilmektedir. N giriş düğüm sayısına, L düğümlü gizli katmana ve M çıkışa sahip olan yapay sinir ağı yapısı Şekil 6.4' de görülmektedir. Ancak istenirse Şekil 6.5' de görüldüğü gibi çıkışta sadece bir kullanıcı çıkışı olacak şekilde ağ oluşturulabilir ve eğitme işlemi ona göre yapılabilir[53].

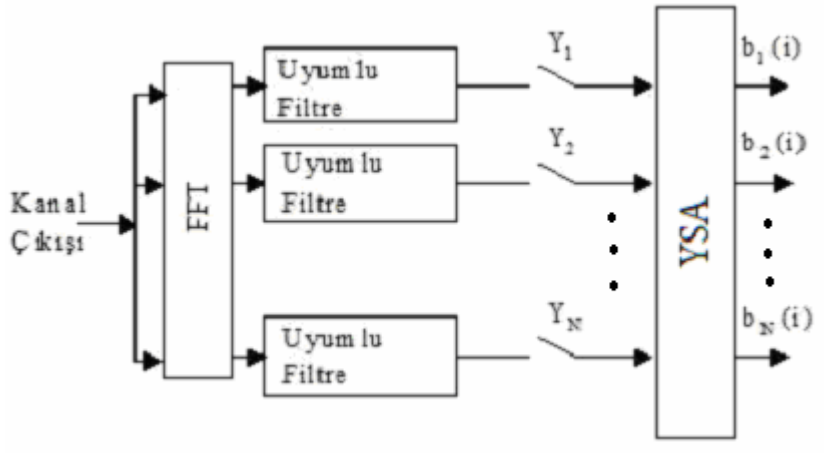
Her iki kanal durumunda da ileri beslemeli çok katmanlı perseptron YSA öncelikle belli sayıdaki eğitim verisi kullanılarak eğitilir. Eğitim esnasında YSA' ya giriş olarak uyumlu filtre çıkışları, hedef olarak da bu uyumlu filtre çıkışlarının üretilmesi için kullanılan veri setinden sadece birinci kullanıcının bitlerini tahmin etmek üzere eğitilmiş olur. YSA alıcı yapısının MC-CDMA alıcısında kullanılması blok olarak Şekil 6.6' da verilmiştir.



Şekil 6.4. N giriş, L düğümlü gizli katman ve M adet çıkışa sahip yapay sinir ağı yapısı.



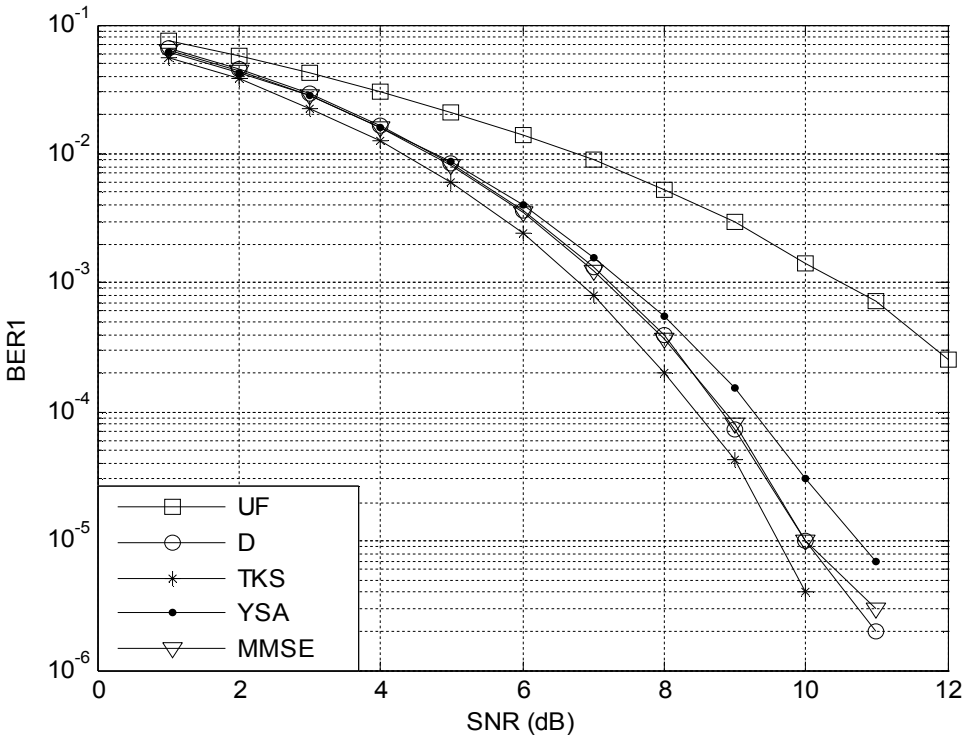
Şekil 6.5. N giriş, iki gizli katman ve tek çıkışa sahip YSA yapısı.



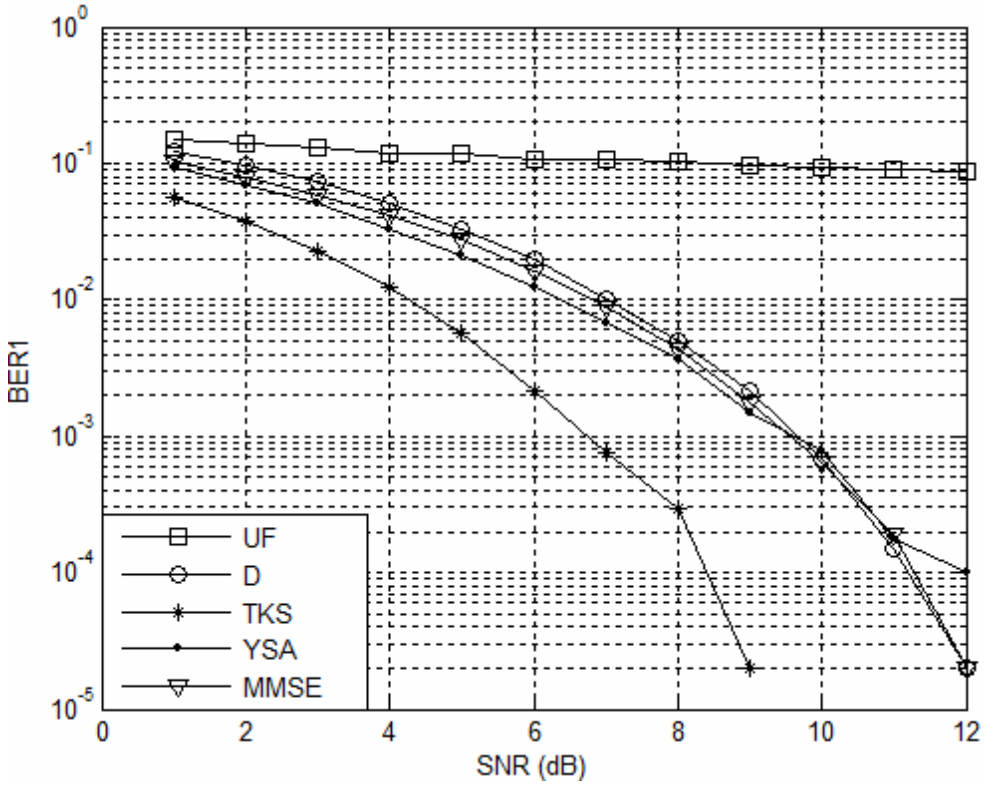
Şekil 6.6. YSA alıcı yapısı.

Simülasyonlarda yapay sinir ağı yapısı oluşturulurken, kullanıcı sayısı kadar giriş, kullanıcı sayısı kadar düğüme sahip bir gizli katman ve 1 çıkış dikkate alınmıştır. Gizli katmanda tanjant sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılırken, çıkış katında saf doğrusal aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. YSA her bir kullanıcı için 1000 bit içeren veri seti kullanılarak eğitilmiştir. SNR değişimine karşılık BER değişiminin ve kullanıcı sayısının değişimine karşılık BER değişiminin incelendiği simülasyonlarda yakın-uzak etkisinin olmadığı (NFR=1) kabul edilmiştir. Bu simülasyonlarda YSA' nın eğitimi sırasında da bütün kullanıcı güçlerinin eşit olduğu kabul edilmiştir. Eğitim danışmanlı olarak Levenberg-Marquardt algoritması kullanılmış, eğitim 0,001 minimum ortalamalı hata (MSE) elde edilinceye kadar sürdürülmüştür. Kullanıcı sayısı değişimine karşılık BER değişiminin incelendiği simülasyonlarda YSA her kullanıcı sayısı için tekrar eğitilmiştir.

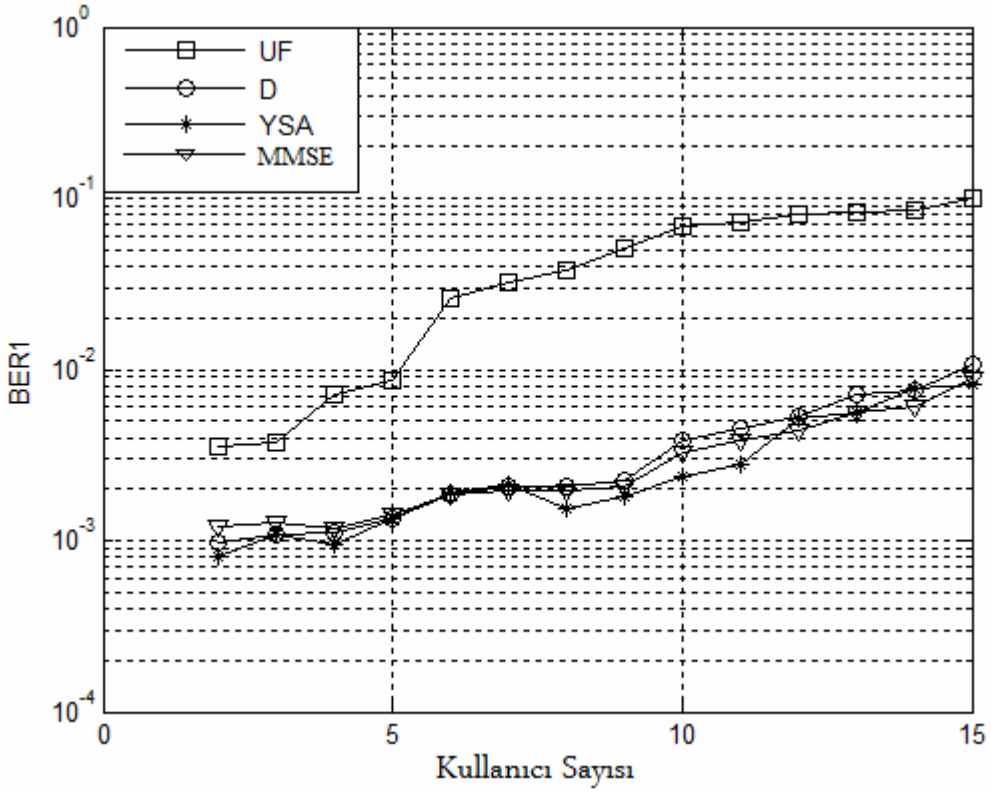
AWGN kanalda yapılan YSA alıcı çalışmalarından; Şekil 6.7' de 5 kullanıcılı sistem için alıcıların SNR-BER performansları kıyaslanmıştır. 5 kullanıcı sistem için, YSA alıcı uyumlu filtre alıcıya göre çok bariz üstünlük gösterirken, MMSE ve ilişki çözücü alıcılarla nerdeyse benzer performans göstermiştir.



Şekil 6.7. AWGN kanalda YSA alıcı yapısı ve diğer alıcı yapılarının SNR-BER performanslarının karşılaştırılması. (Kullanıcı sayısı =5)



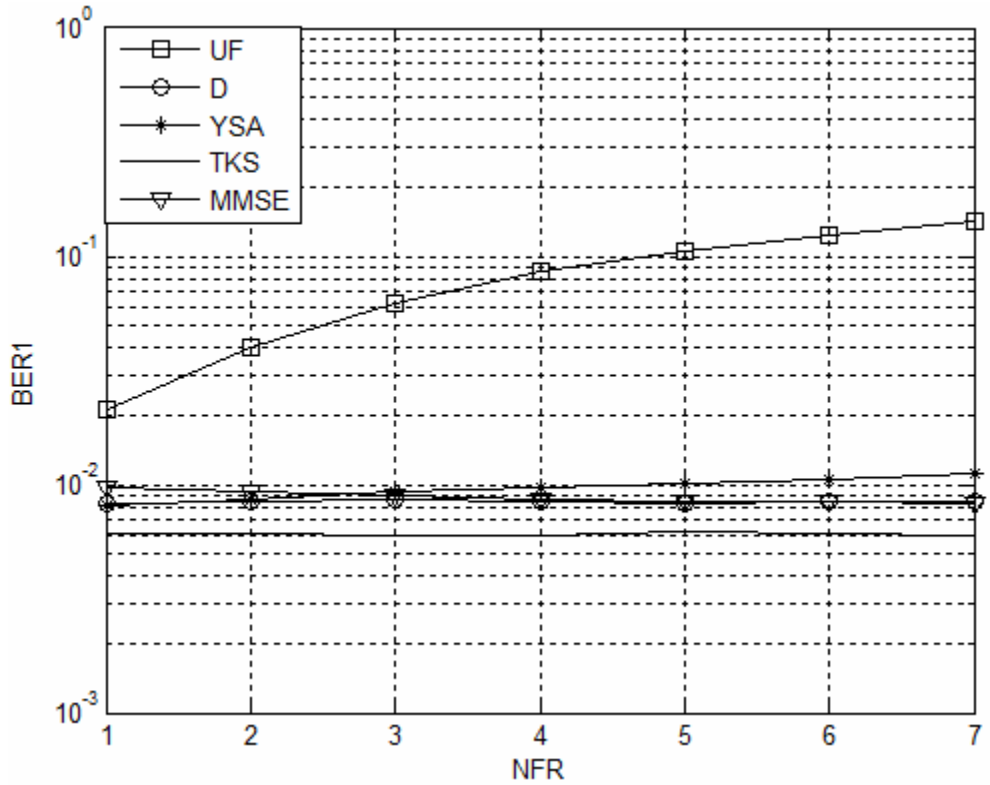
Şekil 6.8. AWGN kanalda YSA alıcı yapısı ve diğer alıcı yapılarının SNR-BER performanslarının karşılaştırılması. (Kullanıcı sayısı =15)



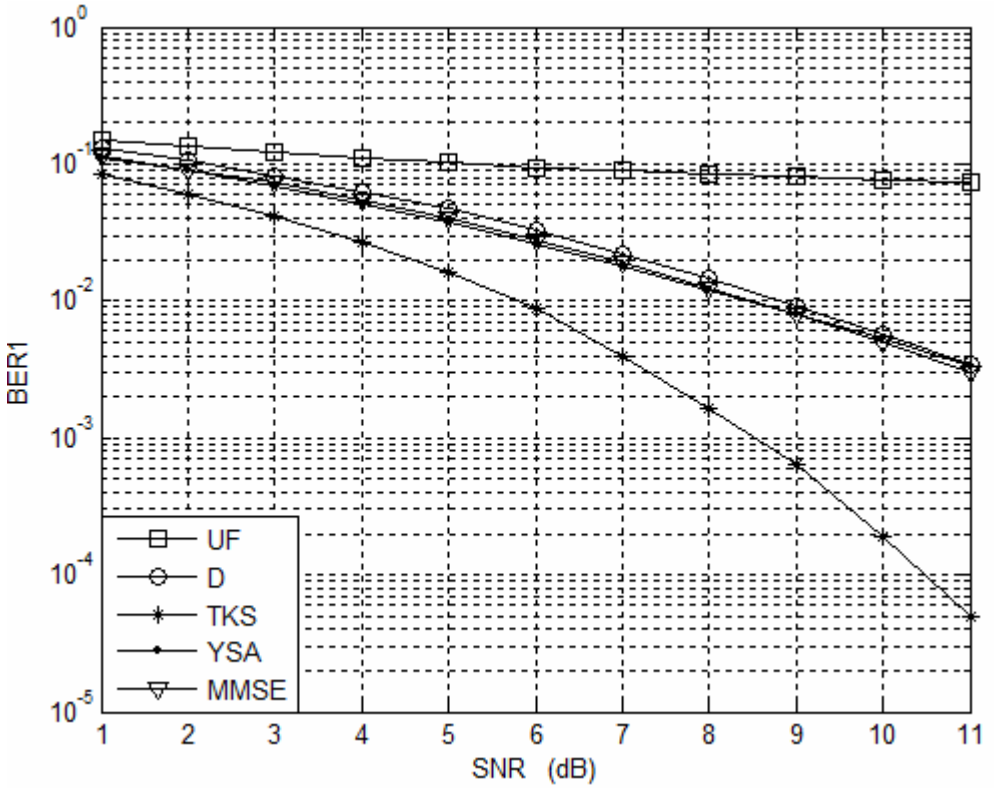
Şekil 6.9. AWGN kanalda YSA alıcı yapısı ve diğer alıcı yapılarının kullanıcı sayısı-BER performanslarının karşılaştırılması. (SNR=7dB, NFR=1)

Şekil 6.8' de ise tüm alıcı yapılarının 15 kullanıcı için SNR-BER performansları incelenmiş, YSA alıcının özellikle 10 dB' den düşük SNR değerlerinde daha üstün olduğu görülmüştür. Şekil 6.9' da verilen kullanıcı sayısı-BER değişimine göre, YSA alıcının her üç alıcıdan daha iyi BER değerleri sağladığı görülmüştür. YSA alıcısı, NFR-BER değişimi bakımından, Şekil 6.10' da görüldüğü gibi; MMSE alıcı ve ilişki çözücü alıcı ile 5 kullanıcı için yaklaşık olarak aynı BER değerini göstermektedir.

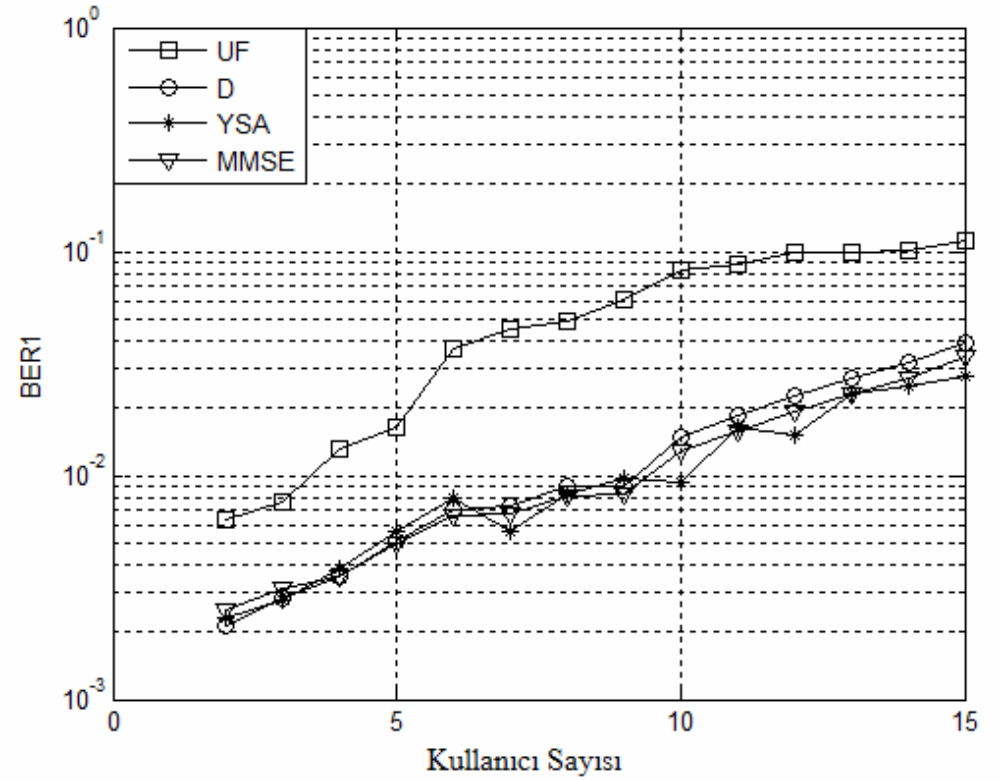
Şekil 6.11' de 10 kullanıcı için Rayleigh sönümlü kanaldaki SNR-BER performansları görülmektedir. YSA alıcının MMSE ve ilişki çözücü alıcıyla nerdeyse aynı performansı gösterdiği görülmekle birlikte, yine de içlerinde TKS' a en yakın ve en yüksek performanslı alıcı olduğu anlaşılmaktadır. YSA alıcısının bu özelliği Şekil 6.12' de ki kullanıcı sayısı-BER grafiğinde de görülebileceği gibi, Şekil 6.13' de ise yine Rayleigh sönümlü kanalda NFR-BER değişimine göre YSA alıcısının dört alıcı içerisinde en yüksek performanslı alıcı olduğu çok az farkla da olsa görülmektedir.



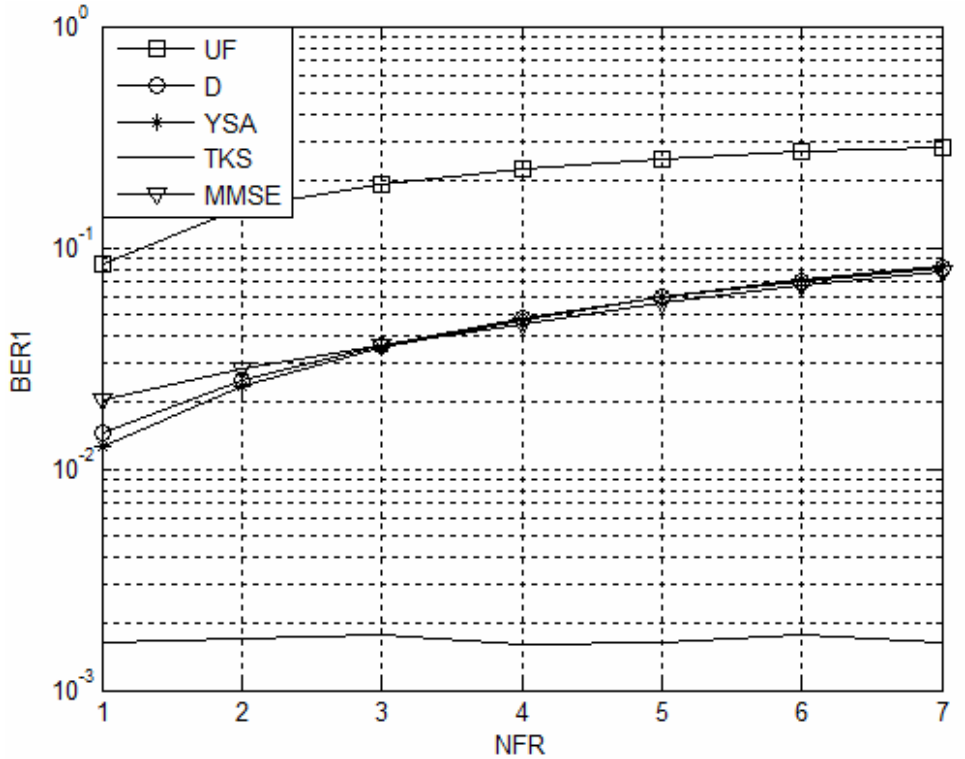
Şekil 6.10. AWGN kanalda YSA alıcı yapısı ve diğer alıcı yapılarının NFR-BER performanslarının karşılaştırılması. (Kullanıcı sayısı=5, SNR=5dB)



Şekil 6.11. Rayleigh sönümlü kanalda YSA alıcı yapısı ve diğer alıcı yapılarının SNR-BER performanslarının karşılaştırılması. (Kullanıcı sayısı =10)



Şekil 6.12. Rayleigh sönümlü kanalda YSA alıcı yapısı ve diğer alıcı yapılarının kullanıcı sayısı-BER performanslarının karşılaştırılması. (SNR=8dB, NFR=1)



Şekil 6.13. Rayleigh sönümlü kanalda YSA alıcı yapısı ve diğer alıcı yapılarının NFR-BER performanslarının karşılaştırılması. (Kullanıcı sayısı=10, SNR=8dB)

7. BÖLÜM

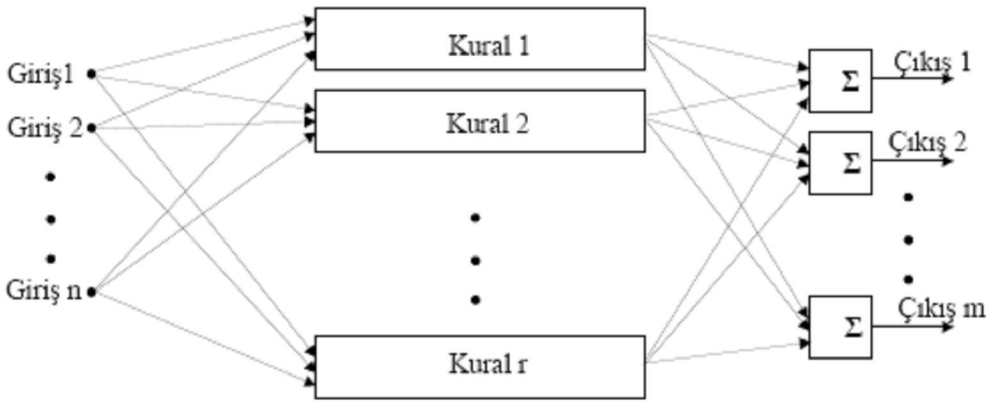
BULANIK MANTIK YÖNTEMİYLE ÇOK KULLANICILI SEZME

7.1. Giriş

Bu bölümde Bulanık Mantık sistemler hakkında bilgi verilecektir. Yapılan simülasyonlarda eşzamanlı kanalda, AWGN ve Rayleigh sönümlü kanal durumları için, sadece kullanıcılardan baz istasyonuna doğru olan iletişim dikkate alınmıştır. Bulanık mantık sistemli alıcı yapıların sonuçları, uyumlu filtre, MMSE alıcı, ilişki çözücü alıcı, tek kullanıcı sınırı ve bir önceki bölümde incelenen yapay sinir ağı alıcılar ile kıyaslamaları yapılmıştır.

7.2. Bulanık Mantık Sistemi

Bulanık mantık (BM) sistemi giriş değerlerini daha önceden belirlenmiş kurallara göre değerlendirerek çıkışları oluşturur. Bir bulanık mantık sisteminin temel yapısı Şekil 7.1' de görülmektedir [90].



Şekil 7.1. r kurallı, n girişli ve m çıkışlı bulanık mantık sisteminin temel yapısı.

Bulanık mantık süreci beş kısımdan oluşmaktadır: Giriş değişkenlerinin bulanık değerlere ayarlanması, ayarlanan değerlere bulanık mantık operatörlerinin uygulanması (VE veya VEYA), ön değerlerden son değerleri elde etme, kurallara göre elde edilenlerin değerlendirilmesi ve bulanık mantık değerlerinden geri dönüşüm. İlk adım, girişlerin alınması ve üyelik fonksiyonları vasıtasıyla her birini ait oldukları mantık setine göre derecelendirmektir. Girişlerin bulanık mantık değerleri belirlendikten sonra bu değerlerin her bir kural için uygunluk derecesi bilinir. Eğer bir kural için verilen değerler birden çoksa probleme bağlı olarak onlara VE veya VEYA işlemi uygulanır. Sonra bu değer çıkış fonksiyonuna uygulanır. Bulanık mantık operatörüne uygulanan değerler birden çok olabilir, ancak çıkış tek değerdir. Her bir kuralın ağırlığı belirlenir ve geçiş yöntemi uygulanır. Elde edilen değer üyelik fonksiyonuyla gösterilen bir bulanık mantık setidir. Dönüşüm işlemi için bir değer olmakla birlikte çıkış bir bulanık mantık setidir. Kural 1 ve n girişe bağlı olarak çıkış 1' i elde etmek için bu işlemler Şekil 7.2' de gösterilmektedir.



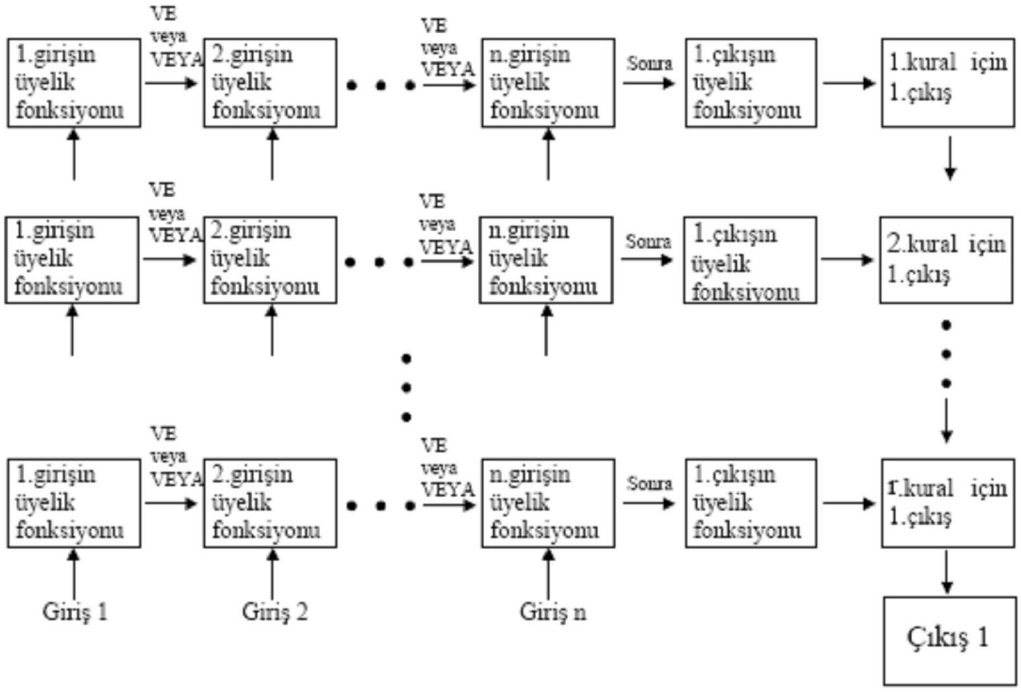
Şekil 7.2. Kural 1 ve n girişe bağlı olarak çıkış 1' i elde etmek için yapılan işlemler.

Bulanık mantık sistemi içinde kararlar bütün kuralların test edilmesine bağlı olduğundan, karar vermek için kurallar bir yöntemle birleştirilmelidir. Her bir kuralın çıkışını gösteren bulanık mantık setleri tek set haline getirilir. Son olarak da bu sete bağlı olarak çıkış değeri belirlenir. Bu işlemler Şekil 7.3' de görülmektedir.

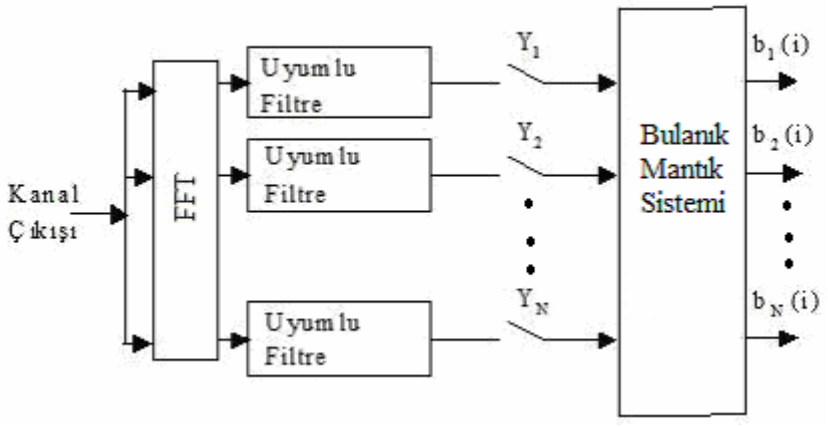
7.3. Bulanık Mantık Sistemli Alıcı

Önerilen bulanık mantık (BM) sistemli alıcı yapısı eşzamanlı kanal için Şekil 7.4' de görülmektedir. Bulanık mantık sistemli alıcıda verileri elde etmek için uyumlu filtreden sonra kullanılmaktadır. Bu tezde Sugeno tipi bulanık mantık sistemi kullanılmakta ve

üyelik fonksiyonlarının karakteristikleri, alıcıda oluşturulan eğitim verisine göre kullanıcıların uyumlu filtre çıkışlarındaki değerlerine göre belirlenmektedir. Bu alıcıda bütün giriş üyelik fonksiyonları Gaussian, çıkış üyelik fonksiyonları üçgen tipi olup, girişler arasında VE operatörü kullanılmıştır [91].



Şekil 7.3. n girişli, r kurallı sistemde 1 çıkışının elde edilişi.



Şekil 7.4. Bulanık mantık sistemli alıcı yapısı.

Gaussian formüle sahip giriş üyelik fonksiyonu şöyle tanımlanmaktadır:

$$f_{kj}(x;\sigma,y_{kj}) = e^{\frac{-(x-y_{kj})^2}{2\sigma^2}} \qquad k=1,2,\ldots,K, \quad j=1,2,\ldots,J \tag{7.1}$$

Burada K kullanıcı sayısı, J bit sayısı $(J = 2^K)$, x giriş uzayının elemanı, σ standart sapma, y_{kj} bulanık mantık üyelik fonksiyonlarının merkezidir ve uyumlu filtre çıkışına göre belirlenmektedir.

Gaussian fonksiyonu $\sigma = 2$ ve $y = 5$ için Şekil 7.5' de görülmektedir.



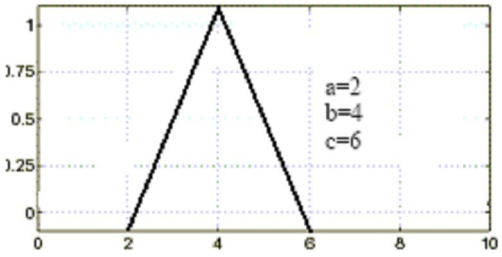
Şekil 7.5. $\sigma = 2$ ve $y = 5$ için Gaussian fonksiyon.

Üçgen formdaki çıkış üyelik fonksiyonları şöyle tanımlanmaktadır:

$$f(x;a,b,c) = \begin{Bmatrix} 0, & x \le a \\ \dfrac{x-a}{b-a} & a \le x \le b \\ \dfrac{c-x}{c-b} & b \le x \le c \\ 0, & c \le x \end{Bmatrix} \tag{7.2}$$

Önerilen alıcıda bu katsayılar "1" için a=0, b=5, c=10 ve "-1" için a=-10, b=-5, c=0 olarak kabul edilmiştir.

Üçgen fonksiyon a=2, b=4, c=6 için Şekil 7.6' de görülmektedir.



Şekil 7.6. a=2, b=4, c=6 için üçgen fonksiyon.

Kurallar kullanıcı sayısına bağlı olarak uyumlu filtre çıkışlarındaki değerlere göre belirlenmektedir. K kullanıcı için 2^K kural kullanılmakta ve bu maksatla 2^K bit eğitim verisi yeterli olmaktadır. Her bir kullanıcı için çıkış verisi bu 2^K kurala göre belirlenmektedir. K kullanıcı için bu kurallar şöyle belirlenebilir [95]:

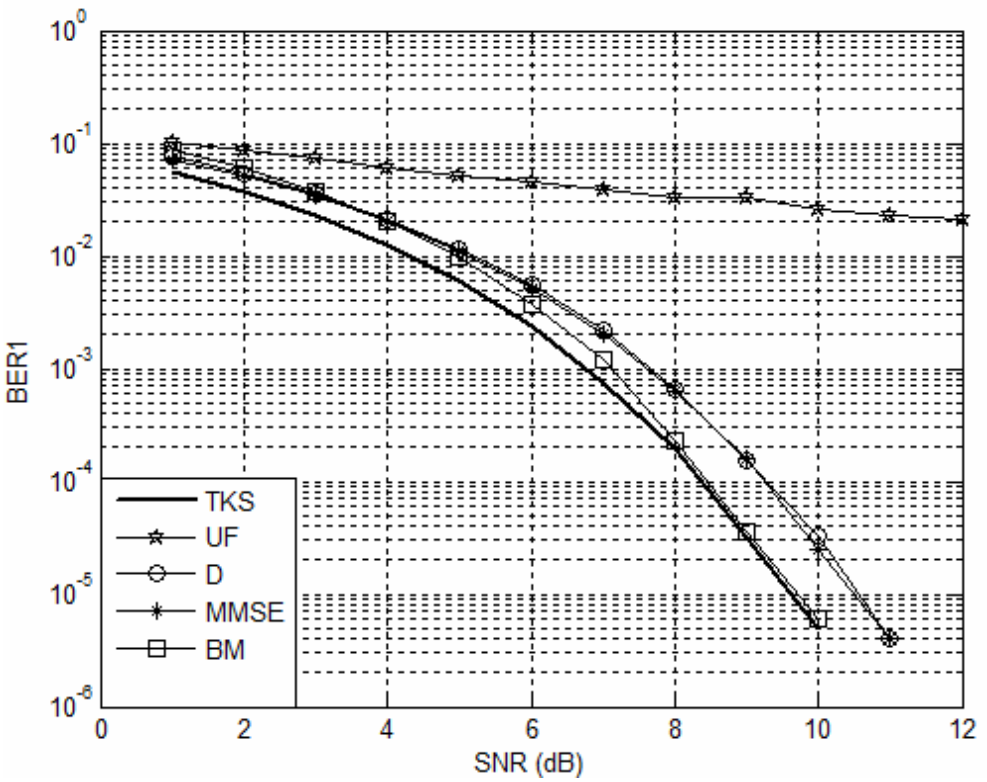
$$\text{Kural}(j)\text{: EĞER } y_1 = y_1(j) \text{ ve } y_2 = y_2(j) \text{ ve ....ve } y_K = y_K(j) \text{ İSE çıkış}_k(j) = b_k(j) \tag{7.3}$$

Burada k=1,2,…,K (K kullanıcı sayısı), j=1,2,…,J (J bit sayısı, J= 2^K), y uyumlu filtre çıkışı, $y_k(j)$ j. bit için k. kullanıcının uyumlu filtre çıkışı, $b_k(j)$ k. kullanıcının verisinin j. biti ve $b_k \in \{1,-1\}$ dir.

Bu bölümde de diğer bölümlerde olduğu gibi, alıcıların performansları üç farklı şekilde incelenmiştir. Şekil 7.7' de AWGN kanal için hazırlanmış bulanık mantık sistemli alıcı yapısı ve diğer alıcı yapılarının SNR-BER performansları karşılaştırılmıştır. Aktif kullanıcı sayısının 8 olarak alındığı sistem simülasyonları sonucunda, bulanık mantık sistemli alıcının optimum detektöre göre 10^{-5} lik BER değeri için 1 dB lik iyileşme sağladığı ve tek kullanıcı sınırına çok yaklaştığı görülmektedir. Bu haliyle bulanık mantık sistemli alıcının diğer alıcılara olan üstünlüğü barizdir.

Şekil 7.8' de AWGN kanalda bulanık mantık alıcı yapısı ve diğer alıcı yapılarının kullanıcı sayısı-BER performansları karşılaştırılmıştır. Simülasyon maksimum 10 kullanıcı için oluşturulmuş, bulanık mantık sisteminin hızlı çalışması amaçlanmıştır. 7 dB lik işaret-gürültü oranına sahip kanal ortamı için oluşturulmuş yapıda, dikkat edileceği üzere bulanık mantık sistemli alıcı en iyi performansı göstermiştir. Sistemdeki

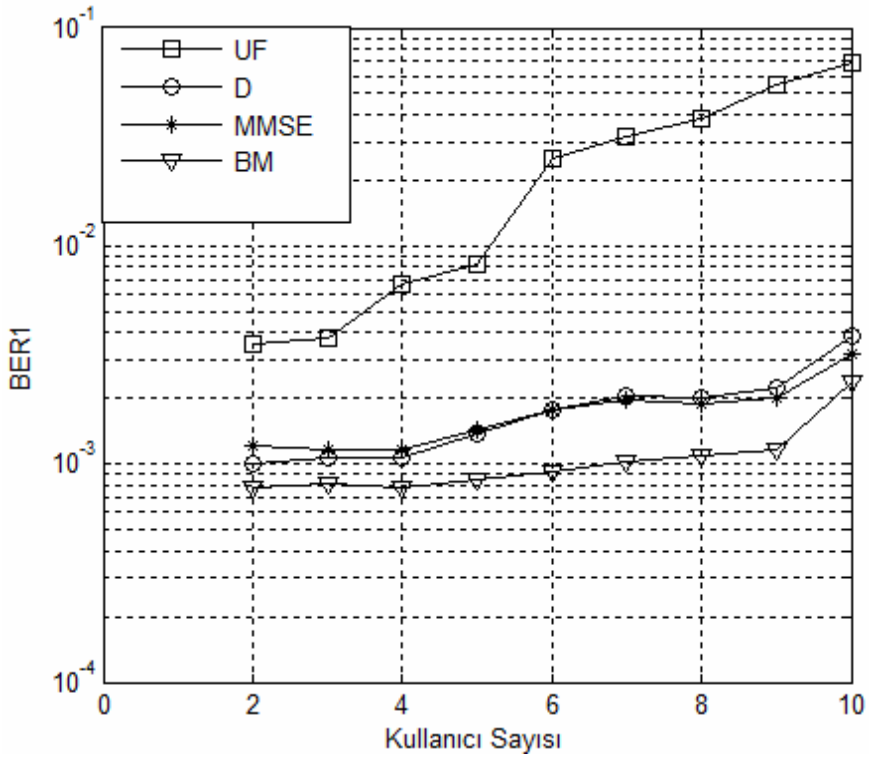
tüm kullanıcı sayıları için en düşük BER değerini, bulanık mantık sistemli alıcı ile sağlanmıştır.



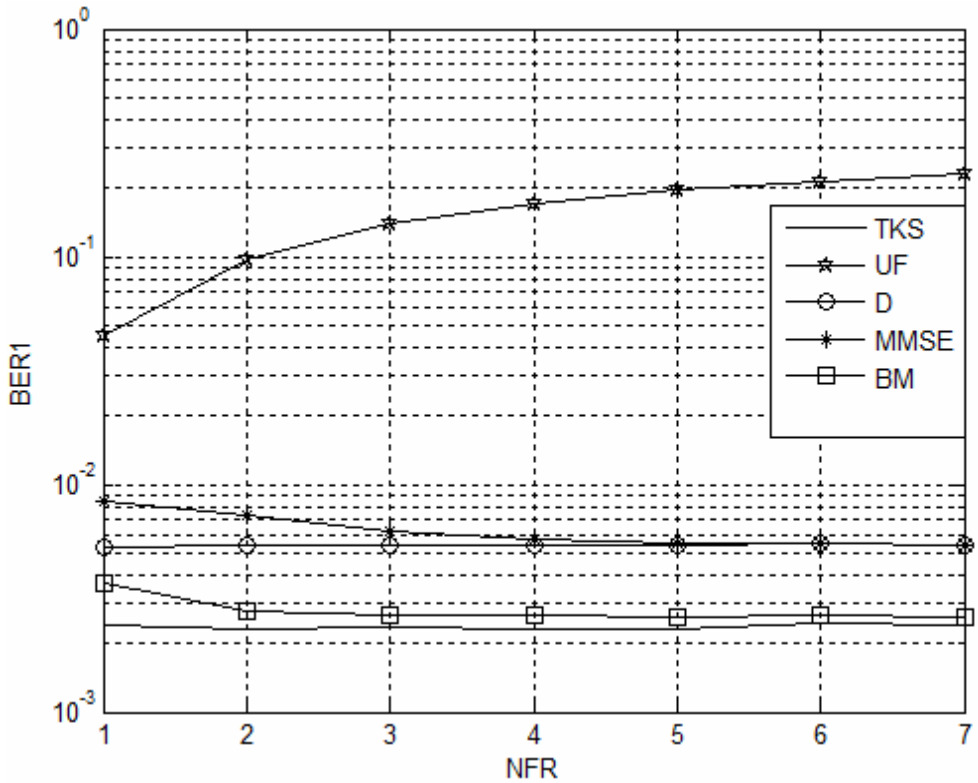
Şekil 7.7. AWGN kanalda bulanık mantık sistemli alıcı yapısı ve diğer alıcı yapılarının SNR-BER performanslarının karşılaştırılması. (Kullanıcı sayısı =8)

Şekil 7.9' da AWGN kanalda bulanık mantık sistemli alıcı yapısı ile diğer alıcı yapılarının NFR-BER performansları görülmektedir. Aktif kullanıcı sayısının 8 olduğu ve 6 dB lik işaret-gürültü oranına sahip kanal ortamında gerçekleştirilen bu simülasyon sonucunda bulanık mantık sistemli alıcının performansının diğer alıcılara göre çok üstün performans gösterdiği ve tek kullanıcı sınırına çok yakın olduğu görülmektedir.

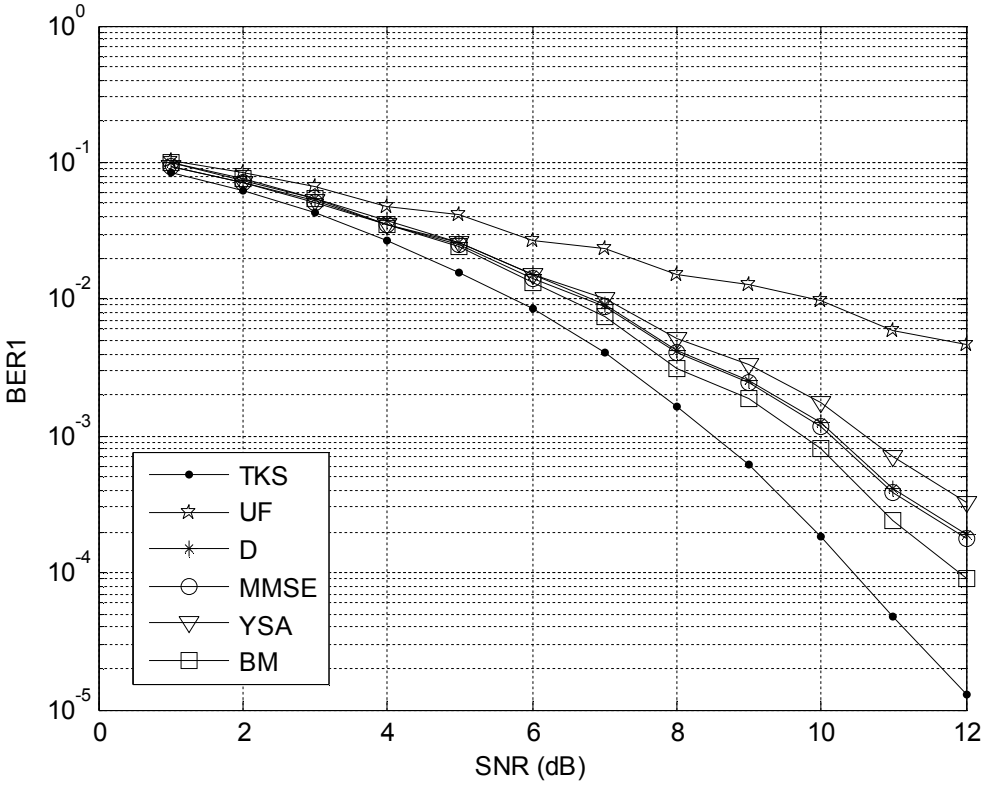
Şekil 7.10' da 5 kullanıcı için oluşturulmuş sistemde bulanık mantık sistemli alıcı ve diğer alıcıların SNR-BER performansları gösterilmektedir. Rayleigh sönümlü kanalda oluşturulmuş simülasyonların sonuçlarına göre en üstün performansı bulanık mantık sistemli alıcı göstermektedir. Bulanık mantık sistemli alıcının, Rayleigh sönümlü kanalda gösterdiği performans, AWGN kanala göre düşük olsa da, yine de SNR-BER performansı açısından en üstün alıcı olduğu barizdir.



Şekil 7.8. AWGN kanalda bulanık mantık sistemli alıcı ve diğer alıcıların kullanıcı sayısı-BER performanslarının karşılaştırılması. (SNR=7dB)



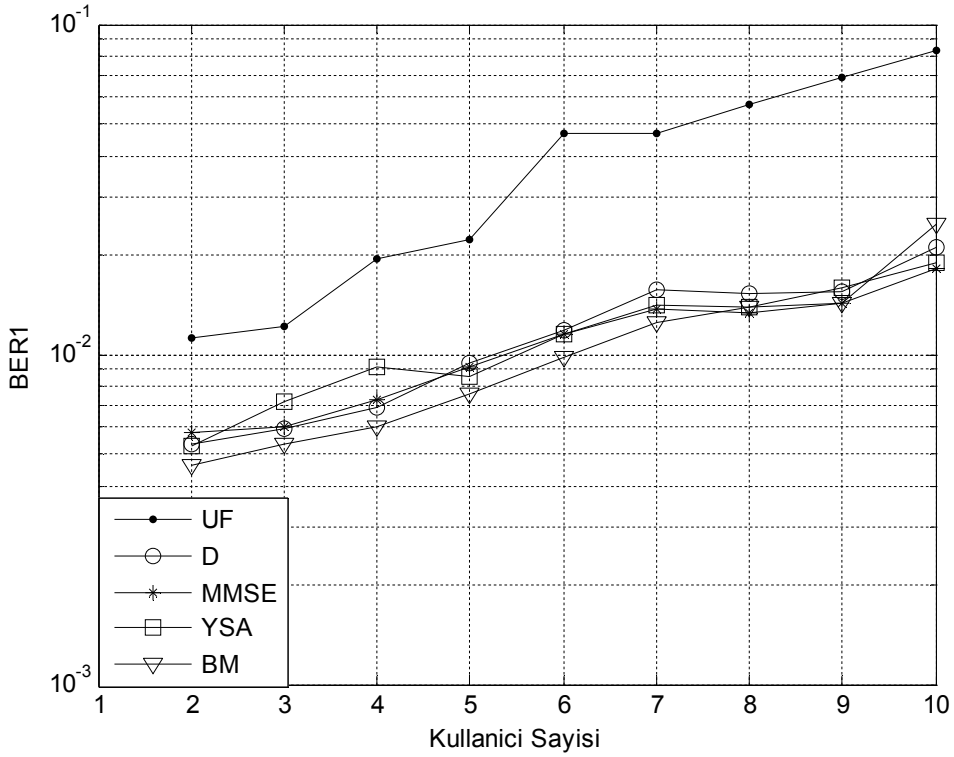
Şekil 7.9. AWGN kanalda bulanık mantık sistemli alıcı ve diğer alıcıların NFR-BER performanslarının karşılaştırılması. (Kullanıcı sayısı=8, SNR=6dB)



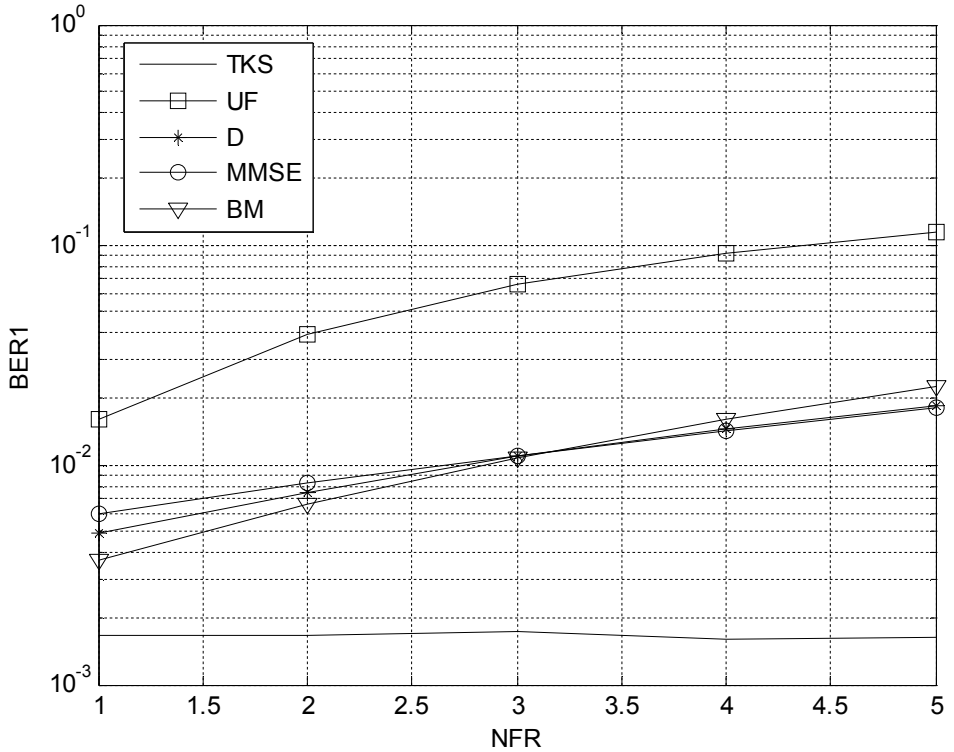
Şekil 7.10. Rayleigh sönümlü kanalda bulanık mantık sistemli alıcı ve diğer alıcıların SNR-BER performanslarının karşılaştırılması. (Kullanıcı sayısı =5)

Şekil 7.11' de Rayleigh sönümlü kanalda 7 dB lik SNR değeri için oluşturulmuş sistemde bulanık mantık sistemli alıcı ve diğer alıcıların kullanıcı sayısı-BER performansları karşılaştırılmaktadır. Bulanık mantık sistemli alıcının, 10 kullanıcıya kadar diğer alıcılara göre daha düşük BER değeri gösterdiği, 10 kullanıcı ve üzerindeki kullanıcı sayıları için performansının kötüleştiği anlaşılmaktadır.

Şekil 7.12' de Rayleigh sönümlü kanalda 8 dB lik SNR değerine sahip kanal durumunda gerçekleştirilen simülasyonda, bulanık mantık sistemli alıcının ve diğer alıcıların NFR-BER performanslarının karşılaştırılması yapılmıştır. Aktif kullanıcı sayısının 5 alındığı bu simülasyon sonuçlarına göre bulanık mantık sistemli alıcı yapısı NFR değerinin 3 olduğu duruma kadar diğer alıcı yapılarına göre üstün performans sergilerken, bu değerden yüksek NFR değerleri için performansı kötüleşmektedir.



Şekil 7.11. Rayleigh sönümlü kanalda bulanık mantık sistemli alıcı ve diğer alıcıların kullanıcı sayısı-BER performanslarının karşılaştırılması.



Şekil 7.12. Rayleigh sönümlü kanalda bulanık mantık sistemli alıcı ve diğer alıcıların NFR-BER performanslarının karşılaştırılması.

Bulanık mantık sistemli alıcı, AWGN kanal şartlarına göre diğer alıcı yapılarına göre üstünlüğü barizdir. Gerek sistemdeki aktif kullanıcı sayısı gerekse güç kontrolü probleminden kaynaklanan yakın-uzak etkisi durumlarında bulanık mantık sistemli alıcının performansı gerçekten çok üstündür. Ancak Rayleigh kanal şartlarında diğer alıcı yapılarına göre genelde güzel performans göstermesine rağmen, yine de AWGN kanala nazaran ciddi performans düşüklüğü barizdir.

8. BÖLÜM
SONUÇLAR VE ÖNERİLER

CDMA ve MC-CDMA çoğullama sistemlerinde, alıcılar yakın-uzak probleminden ve çoklu erişim girişiminden etkilendiği için bit hata oranı artmaktadır. Optimum çok kullanıcılı alıcı yapısıyla çok iyi sonuç alınmakla birlikte bu yapı pratik olarak uygulanamayacak kadar hesap karmaşıklığına sahiptir. Bu sebepten dolayı çok kullanıcılı alıcı yapıları üzerine yapılan çalışmalar bit hata oranı azaltmakla birlikte hesap karmaşıklığını azaltan altoptimal yöntemler geliştirmek üzerine olmaktadır.

Tezde, MC-CDMA sistemlerde klasik ve lineer çok kullanıcılı sezme tekniklerinin yanında, YSA ve bulanık mantık sistemli alıcı yapıları da önerilmiş ve bu alıcı yapılarının performansları kıyaslanmıştır.

Yapay sinir ağında artan gizli katman ve düğüm sayıları performansı küçük miktarda iyileştirirken hesap karmaşıklığını fazlasıyla artırmaktadır. Bu sebeple tezde kullanılan yapay sinir ağında, sadece bir gizli katman ve her bir katmanda kullanıcı sayısı kadar düğüm kullanılmıştır. Simülasyonlarda yapay sinir ağının eğitim setinin belirlenmesi ile ilgili olarak da değişik eğitim setleri kullanılmıştır. Eğitim setinin büyüklüğü, kullanılan yapay sinir ağına ve kanal tipine göre değişik değerlerde alınmıştır. Eşzamanlı kanalda, 10 kullanıcıdan az kullanıcı sayıları için 3000 bitlik eğitim verisi kullanılırken, daha fazla kullanıcı değerleri için, hesap karmaşıklığı ve işlem hızı açısından 1000 bitlik eğitim verisi kullanılmıştır.

Bulanık mantık sistemli alıcıda üyelik fonksiyonlarının karakteristikleri alıcıda oluşturulan eğitim verisine göre kullanıcıların uyumlu filtre çıkışlarındaki değerlerine göre belirlenmektedir. Bu süreçte kullanıcı sayısı için mümkün olan bütün kombinasyonların dikkate alındığı gürültüsüz veri seti kullanılmaktadır. Bulanık mantık sistemli alıcı özellikle büyük sinyal-gürültü oranı değerlerinde tek kullanıcı

performansına çok yakın performans göstermiştir. Üyelik fonksiyonu karakteristiklerinin belirlenmesi esnasında gürültünün de sisteme ilave edilmesi tanımlanacak olan kural sayısını artıracağından gürültüsüz tanımlama kullanılmıştır. Bu alıcının hesap karmaşıklığı yapay sinir ağı alıcıya göre daha fazladır. Ancak YSA alıcıda belli bir zaman gerektiren eğitim süresi bu alıcı için yok denecek kadar kısadır. Rasgele genlik değişimi sağlayan sönümlü kanalda alınan uyumlu filtre çıkış değerleri tanımlanan kural aralıklarını geçtiğinden dolayı, bu alıcının sönümlü kanaldaki performansı AWGN kanaldaki kadar iyi değildir.

Daha sonraki yapılacak çalışmalarda bu yapıların uyarlanabilir tarzda gerçekleştirilmesi düşünülebilir. Bunun yanında, ileri aşamalarda tabu araştırma, genetik, karınca koloni gibi algoritmalar kullanılarak, daha iyi bit hata performans değerleri sağlamak amaçlı çalışılabilir.

KAYNAKLAR

1. Verdu, S., Wireless bandwidth in the making, IEEE Communications Magazine, 53-58, July 2000.

2. Viterbi, A.J., CDMA : Principles of Spread Spectrum Communication (Addison-Wesley Wireless Communications). Pearson Education, 1995.

3. Ash, R.B., Information Theory, Courier Dover Publications, 1990.

4. Glisic, S.G., Gilsic, S., Leppanen, P.A., Wireless Communications: TDMA Versus CDMA, Kluwer Academic Publishers, 2004.

5. Proakis ,J. G., Digital Communications, 3rd ed. McGraw-Hill, 1995.

6. Bekkers, R., Mobile Telecommunications Standarts: GSM, UMTS, Tetra and Ermes, Artech House, 2001.

7. Walke, B.H., Seidenberg, P., Althoff, M.P., Seidenberg, P., Althoff, M.P., UMTS: The Fundamentals. Wiley, John and Sons, 2001.

8. Korowajczuk, L., Korowajczuk, C., DaSilva, L.A., Filho, A.M.F., Riberio, L.Z., Design CDMA 2000 Systems, Wiley, John and Sons, 2004.

9. Harte, L. J., McLaughlin, D., Kikta, R., Hoenig, M., CDMA IS-95 for Cellular and PCs: Technology, Applications and Resourse Guide. McGraw-Hill Companies, 2000.

10. Wang, J., Advances in 3G Enhanced Technologies for Wireless Communications, Artech House, 2002.

11. Viterbi, A.J., Error bounds for convolutional codes and an asymptotically optimum decoding algorithm., IEEE Trans. Inform. Theory, 13, 260-269, 1967.

12. Hoeg, W., Lauterbach, T., Digital Audio Broadcasting: Principles and Applications of Digital Radio. Wiley, John and Sons, 2003.

13. Reimers, U., Digital Video Broadcasting. Springer-Verlag New York, LLC, 2004.

14. Hanzo, L., Munster, M., Choi, B.J., Keller, T., OFDM and MC-CDMA for Broadband Multi-User Communications, WLANs and Broadcasting. John Wiley and IEEE Pres, 2003.

15. Bingham, J., "Multicarrier modulation for data transmission: An idea whose time has come", IEEE comm. Mag., 5-14, 1990.

16. Weinstein, S., Ebert, P., Data transmission by frequency-division multiplexing using the discrete Fourier transform, IEEE Transactions on Communications Technology, 19,628-634, 1971.

17. Richard van Nee, D., Prasad, R., OFDM for Wireless Multimedia Communications, 1st ed., Artech House, 2003.

18. Hara, S., Prasad, R., Wysocki, R.K., Multicarrier Techniques for 4G Mobile Communications., Artech House, 2003.

19. Hara, S., Prasad, R., Overview of multicarrier CDMA , IEEE Commun. Mag., 35, 126-133, 1997.

20. Korhonen, J., Introduction to 3G Mobile Communications., Artech House, 2003.

21. Natarajan, B., Nassar, C.R., Multi-carrier implementation of single-carrier wireless systems for enhanced performance and throughput, CIIT, 2003.

22. Prasad R., Hara, S., An Overview of multi-carrier CDMA, Proc. IEEE 4th Int. Symposium of Spread Spectrum Techniques and Applications, 107-114, Mainz, 1996.

23. Verdu, S., Multiuser detection, Cambridge University Pres, 1998.

24. Brunel, L., Multiuser detection techniques using maximum likelihood sphere decoding in multicarrier CDMA systems, IEEE Trans. On Wireless Comm., 949-957, 2004.

25. Verdu, S., Minimum Probability of Error for Asynchronous Gaussian Multiple-Access Channels, IEEE Trans. Inform. Theory, 32(1), 85-96, 1986.

26. Lupaz, R., Verdu, S., Linear multiuser detectors for synchronous code-division multiple-access channels, IEEE Trans. Inform. Theory, 1(35), 123-136, 1989.

27. Duel-Hallen, J. Holtzman, Z.Zvonar, Multiuser detection for CDMA systems, IEEE Personal Comm., 46-58, 1995.

28. Honig, M., Madhow, U., Verdu, S., Blind Adaptive multiuser detection, IEEE Trans. Info. Theory, 4(41), 944-960, 1995.

29. Honig, M., Tsatsanis, M. K., Adaptive techniques for multiuser CDMA receivers, IEEE Signal Processing Magazine, 49-61, 2000.

30. Wang, X., Poor, H. V., Blind multiuser detection: A subspace approach, IEEE Trans. On Inform. Theory, 2(44), 677-690,1998.

31. Wang, X., Poor, H., Space-time multiuser detection in multipath CDMA channels, IEEE Trans on Signal Processing, 9(47), 2356-2374, 1999.

32. Wang, X., Poor, H.V., Iterative (turbo) soft interference cancellation and decoding for coded CDMA, IEEE Trans. On Comm., 7(47), 1046-1061, 1999.

33. Lupas, V., Verdu, S., Near-Far Resistance of Multiuser Detectors in Asynchronous Channels, IEEE Trans. On Commun., 38(4), 495-508, 1990.

34. Xie, Z., Short, R.T., Rushforth, C.K., A Family of Suboptimum Detectors for Coherent Multiuser Communications, IEEE J. Sel. Areas in Commun., 8(4), 683-690, 1990.

35. Lokio, J., Suboptimal Multiuser Detectors, Licentiate Course on Signal Processing in Commun., Helsinki University of Technology, Networking Laboratory, Department of Electrical and Communications Engineering, 1997.

36. Kovintavewat, P., Kiranantawat T., A., MMSE Linear Multiuser Detection for a DS-CDMA System, Technical Report, Georgia Institue of Technology, Atlanta, 2000.

37. Chen, S., Samingan, A.K., Mulgrew, B. Hanzo, L., Adaptive Minimum-BER Linear Multiuser Detection for DS-CDMA Signals in Multipath Channels, IEEE Transactions on Signal Processing, 49(6), 1240-1247, 2001.

38. Lavta-Aho, M., Juntti, M., Modified Adaptive LMMSE Receiver for DS-CDMA Systems in Fading Channels, Proc. of the 8. IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC'97), 2, 554-558, 1997.

39. Li-Chung, C., Mitra, U., Trellis-Based Multiuser Detection for DS-CDMA Systems in Mismatched Asynchronous Flat-Fading Chanels, Proc. of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 3, 1134-1138, 1999.

40. Elders-Boll, H., Schotten, H.D., Busboom, A., Implementation of Linear Multiuser Detectors for Asynchronous CDMA Systems by Linear Multi-Stage Interference Cancellation, Proc. of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing , 6, 3225-3228, 1998.

41. Mitra, U., Poor, H.V., A Projection Based Decorrelating Detector for Syncronous CDMA Communication, Proc. of the 28. Annul Conference on Information Sciences, Princeton, 1004-1009, 1994.

42. Sayeed, A.M., Sendonari, A., Aazhang, B., Multiuser Detectors for Fast-Fading Multipath Channels, Conference Record of the Thirty-First Asilomar Conference on Signal, Systems&Computers, 1, 603-608, 1997.

43. Shakkottai, S., Waghollkar, S., Performance of Linear Multiuser Receivers with Random and Optimal Spreading Sequences for Spread-Spectrum Systems, Technical Report, Electrical and Computer Engineering, University of California, Santa Barbara, 2000.

44. Kalofonos, D.N., Stojanovic, M., Proakis, J.G., On the performance of adaptive MMSE detectors for a MC-CDMA system in fast fading Rayleigh channels, Proc. of the 9. IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC'98), Boston, 1309-1313, 1998.

45. Heard, J.F., Baudais, J.Y., Citerne, J., Linear MMSE detection technique for MC-CDMA, Electronic Letters, 3(665-666), 2000.

46. Yİ, S.J., Tsimenidis, C.C., Hinton, O.R., Sharif, B.S., Computationally efficient adaptive MMSE receiver for synchronous MC-CDMA, Electronic Letters, 1539-1541, 2003.

47. Aazhang, B., Paris, B.P., Orsak, G.O., Neural Networks for Multiuser Detection in Code-Division Multiple-Access Communications, IEEE Trans. on Commun., 40(7), 1211-1222, 1992.

48. Mitra, U., Poor, H.V., Neural network Techniques for Multiuser Demodulation, Proc. of, IEEE International Conference on Neural Networks, 3, 1538-1543, 1993.

49. Mitra, U., Poor, H.V., Neural network techniques for adaptive Multiuser Demodulation, IEEE J.Sel. Areas in Commun., 12(9), 1460-1470, 1994.

50. Mitra, U., Poor, H.V., Adaptive Receiver Algorithms for Near-Far Resistant CDMA, IEEE Trans. on Communications, 43(2), 1713-1724, 1995.

51. Chen D.C., Sheu, B.J., Berger, T.W., A Compact Neural Network Based CDMA Receiver for Multimedia Wireless Communication, Proc. of IEEE International Conference on Computer Design:VLSI in Comuters and Processors (ICCD'96), 99-103, 1996.

52. Yoon, S.H., Rao, S.S., High Performance Neural Network Based Multiuser Detector in CDMA, Proc. of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP-97), 4, 3357-3360, 1997.

53. Işık, Y., Taşpınar, N., Kod Bölmeli Çoklu Erişim Sisteminde Çok Kullanıcı Sezme İşleminin Yapay Sinir Ağı ile Gerçekleştirilmesi, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO'2002), Bursa, 212-216, Aralık 18-22, 2002.

54. Weng, J.F., Leung, S.H., Lau, W.H., Bi, G.G., A New Neural Network Based Multiuser Detector in Impulse Noise, Proc. of IEEE Int. Conf. on Communications (ICC'96),1, 541-545, 1996.

55. Taşpınar, N., Çiçek, M., Işık, Y., Multiuser detection on neural network for multicarrier code division multiple access systems, 6 th Int., Conference on Elect. Engineering (ICEENG), Cairo, Egypt, 27-29 May, 2008.

56. Jang, J., Ha, K., Seo, B., Lee, S., Lee, C.W., A Fuzzy Adaptive Multiuser Detector in CDMA Communication Systems, Proc. of IEEE International Conference on Communications (ICC'98), 3, 1784-1788, 1998.

57. Park, H.K., Kim, E.B., Lee, Y., Tchah, K.H., Multi-carrier CDMA system with paralel interference cancellation for multipath fading channels., Proc. of the 9. IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2, 513-517, Boston, 1998.

58. Huang, Y.F., Performance of partial paralel interference cancellation for multi-carrier CDMA systems., Proc. of the IEEE Internaional Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS' 2003), 775-780, Awaji Island, 2003.

59. Wen, J.H., Huang Y.F., Fuzzy-Based Adaptive Partial Parallel Interference Canceller for CDMA Communication Systems Over Fading Channels, Proc. of the IEEE Communications, 149, 111-116, 2002.

60. Huang, Y.F., Performance of adaptive Multistage Fuzzy-based partial parallel interference canceller for multi-carrier CDMA systems., IEICE Trans., Commun.,134-140, 2005.

61. Korhonen, J., Introduction to 3G Mobile Communications, Artech House, 2003.

62. Feher, K., Wireless Digital Communications-Modulation and Spread Spectrum Applications, Prentice-Hall, 1995.

63. Prasad, K.V., Principle of Digital Communication Systems and Computer Networks, Charles River Media, 2004.

64. Karim, M.R., Sarraf, M., W-CDMA and CDMA2000 for 3G Mobile Networks, McGraw-Hill, 2002.

65. Develi, İ., Kablosuz ve Gezgin Haberleşme, Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ders Notları, 2007.

66. Lathi, B.P., Modern Digital and Analog Communication Systems, Holt-Rinehart & Winston Inc., Chicago, 1989.

67. Glisic, S.G., Leppänen, P.A., Code Division Multiple Access Communications, Kluwer Academic Publishers, London, 1995.

68. Filiz, M., Başlangıç Evre Optimizasyonlu Gürültü Benzeri Kod Dizilerinin Kullanıldığı ÇGÇÇ-KBÇE Sistemlerin Başarım Analizi, Y. Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2007.

69. Şener, S., Çokyollu Nakagami-M Sönümlü Kanallarda Genelleştirilmiş ÇT DD-KBÇE Sisteminin Performans Analizi, Y. Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2007.

70. Haykin S., Digital Communications, John Wiley and Sons, 1988.

71. Glover I., Grant P., Digital Communications, Prentice Hall, 1997.

72. Chang R.W., Synthesis of Band-Limited Orthogonal Signal for Multichannel Data Transmission, Bell System Tech., J., 45(2), 1775-1796, 1966.

73. Weinstein S.B., Ebert P.M., Data Transmission by Frequency Division Multiplexing Using the Discrete Fourier Transform, IEEE Transactions on Communication Technology, 19(3), 628-634, 1971.

74. Cimini L. J., Analysis and Simulation of Digital Mobile Channel Using Orthogonal Frequency Division Multiplexing, IEEE Transactions on Communications, 42(2), 2908-2914, 1994.

75. Van Nee R., Prasad R., OFDM for Wireless Multimedia Communications, Artech House, London, Publishers, 2000.

76. Yücek T., Self Interface Handling in OFDM Based Wireless Communication Systems, MSc. Thesis, University of South Florida, U.S.A., 2003.

77. Laurenti N., Implementation Issues in OFDM Systems, Ph.D. Thesis, Ingegneria Elettronica e Dele Telecommunicazioni, Italy, 1995-1998.

78. Sadat A., Mikhael W. B., Fast FourierTransform For High Speed Wireless Multimedia System, IEEE Transactions on Signal Processing, 65(3), 938-942, 2001.

79. Wan L., Dubey, V.K., BER Performance of OFDM System Over Frequency Nonselective Fast Rician Fading Channels, IEEE Communications Letters, 5(1), 19-21, 2001.

80. Banelli P., Cacorpadi, S., Theoretical Analysis and Performance of OFDM Signals in Nonlinear AWGN Channels, IEEE Transactions on Communications, 48(3),430-441, 2000.

81. D'Andrea, A.N. Lottici, V., Regiannini, R., Nonlinear Predistortion of OFDM Signals Over Frequency-Selective Fading Channels, IEEE Transactions on Communications, 49(5), 837-843, 2001.

82. ETSI Standart ES 201 744, Digital Video Broadcasting (DVB): Framing Structure Channel Coding and Modulation for Digital Terrestrial Television, 2001.

83. Norbert, J., Systems for Broadcasting and Receiving Digital Data Receiver and Transmitter for Use in Such Systems, United States Patent, No.5,550,812, August, 1996.

84. Onizawa, T., et al, A Fast Synchronization Scheme of OFDM Signals for High Rate Wireless LAN, IEICE Transactions on Communications, E82-B(2), 455-463, 1999.

85. Yee, N., Linnartz, J.P., Fettweis, G., Multi-carrier CDMA wireless radio Networks, IEICE Trans. on Commun., 7, 900-904, 1994.

86. Wang, X., Mao, Z., Multiuser Detection for MC-CDMA Systems Using an RQP Approach, IEICE Trans. Commun., 11, 4394-4397, 2005.

87. Hagan, M.T., Demuth, H.B., Beale, M., Neural Network Design, PWS Publishing Company, 1996.

88. Levenberg, K., A Method for the Solution of Certain Problems in Least Squares, Quart. Appl. Math., 2, 164-168, 1944.

89. Marquardt, D., An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters, SIAM Journal on Appl. Math., 11, 431-441, 1963.

90. Sugeno, M., Industrial Applications of Fuzzy Control, Elsevier Science Pub. Co. 1985.

91. Işık, Y., Taşpınar, N., Realization of the Multi-User detection in CDMA by Fuzzy Inference System, The 13. Turkish smphosium on Artificial Intelligence and Neural Networks (TAINN'2004), İzmir, 155-164, June 10-11, 2004.

92. Hijazi, S.L., Multiuser Detection for Multicarrier Communication Systems, Ph. D. Thesis, Kansas State University, Kansas, 2006.

93. Seyman, M.N., Dikgen Frekans Bölüşümlü Çoğullama Sistemlerinde Senkronizasyon Teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2005.

94. Kafle, P.L., Channel coding, Multiuser Detection and Space-Time Diversity for Multicarrier CDMA Systems, Ph.D. Thesis, The University of Galgary, Alberta, 2003.

95. Işık, Y., Kod Bölmeli Çoklu Erişim Sistemlerinde Çok Kullanıcılı Sezme İçin Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Mantık Kullanımı, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2006.

ÖZGEÇMİŞ

Metin ÇİÇEK 1981 yılında Erzincan' da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ankara' da, lise öğrenimini Yozgat Şehitler Fen Lisesinde tamamladı. 2000 yılında kazandığı Erciyes Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Bölümünü 2005 yılında bitirdi. Aynı yıl E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.

Adres : Telekomünikasyon Kurumu, ANKARA
e-mail : mcicek@tk.gov.tr