BEŞİNCİ NESİL AĞLARDA BİLİŞSEL RADYO HABERLEŞMESİNİN BAŞARIM ANALİZİ

Erhan Diril
141405101

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı
Danışman: Prof. Dr. Nihat Kabaoğlu

İstanbul
T.C. Maltepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Eylül, 2019

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

ERHAN DİRİL'ın "Beşinci Nesil Ağlarda Bilişsel Radyo Haberleşmesinin Başarım Analizi" başlıklı tezi 20.09.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Maltepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği" nin ilgili maddeleri uyarınca Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans/Doktora tezi oy birliğiyle/~~oy çokluğuyla~~, başarılı/~~başarısız~~ olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı. Adı ve Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	Prof. Dr. Nihat KABAOĞLU	.....
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Demir ÖNER	.....
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Eylem ERDOĞAN	.....

Prof. Dr. İlter BÜYÜKDIĞAN
Enstitü Müdürü

ŞEKİL ONAY SAYFASI

	ŞEKİL ONAY SAYFASI	Doküman No	FR-105
		İlk Yayın Tarihi	20.12.2017
		Revizyon Tarihi	10.12.2018
		Revizyon No	01
		Sayfa	1/2

ŞEKİL ONAY SAYFASI

21/10/2019

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE,

Aşağıda bilgileri bulunan lisansüstü öğrencinin tezi şekil yönünden tarafımca incelenmiş ve Enstitüye teslim edilmesi uygun bulunmuştur.

Anabilim Dalı Başkanı
Dr. Öğretim Üyesi Burhan Demir ÖNER
İmza

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
ADI SOYADI	ERHAN DİRİL
ÖĞRENCİ NUMARASI	141405101
ANABİLİM DALI	Elektrik-Elektronik Mühendisliği
PROGRAMI	(X) YÜKSEK LİSANS ( ) DOKTORA ( ) SANATTA YETERLİK
DANIŞMANI	Prof. Dr. Nihat KABAOĞLU
TEZ BAŞLIĞI	Beşinci Nesil Ağlarda Bilişsel Radyo Haberleşmesinin Başarım Analizi
SAVUNMA TARİHİ	20.09.2019
e-posta	erhandiril52@gmail.com

İç Kapak	Var ☐ Yok
Jüri Onay Sayfası	Var ☐ Yok
Etik İlke ve Kurallara Uyum Beyanı	Var ☐ Yok
İntihal Raporu	Var ☐ Yok
Teşekkür Sayfası	Var ☐ Yok
Öz (Başlık-Öz-Anahtar Sözcükler)	Var ☐ Yok
Abstract (Title-Abstract-Key Words)	Var ☐ Yok
İçindekiler	Var ☐ Yok
Çizelgeler Listesi	☐ Var Yok
Şekiller Listesi (varsa)	☐ Şekil yok Uygundur ☐ Uygun Değildir
Kısaltmalar Listesi	Var ☐ Yok
Tablolar Listesi (varsa)	Tablo yok ☐ Uygundur ☐ Uygun Değildir
Ekler Listesi (varsa)	Ek yok ☐ Uygundur ☐ Uygun Değildir
Özgeçmiş	Var ☐ Yok
Sayfa Genişliği	Uygundur ☐ Uygun Değildir
Yazı Tipi	Uygundur ☐ Uygun Değildir
Referans Kullanımı	Uygundur ☐ Uygun Değildir
Kaynakça Yazımı	Uygundur ☐ Uygun Değildir

Hazırlayan: İlgili Birim	Onaylayan: Kalite Yönetim Koordinatörlüğü

	ŞEKİL ONAY SAYFASI	Doküman No	FR-105
		İlk Yayın Tarihi	20.12.2017
		Revizyon Tarihi	10.12.2018
		Revizyon No	01
		Sayfa	2/2

Ekler (varsa)	Ek yok ☐ Uygundur ☐ Uygun Değildir

Hazar Akgül
İmza



Hazırlayan: İlgili Birim	Onaylayan: Kalite Yönetim Koordinatörlüğü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI

maltepe üniversitesi	ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI	Doküman No	FR-178
		İlk Yayın Tarihi	01.03.2018
		Revizyon Tarihi	
		Revizyon No	00
		Sayfa	1/1

ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI

02/09/2019

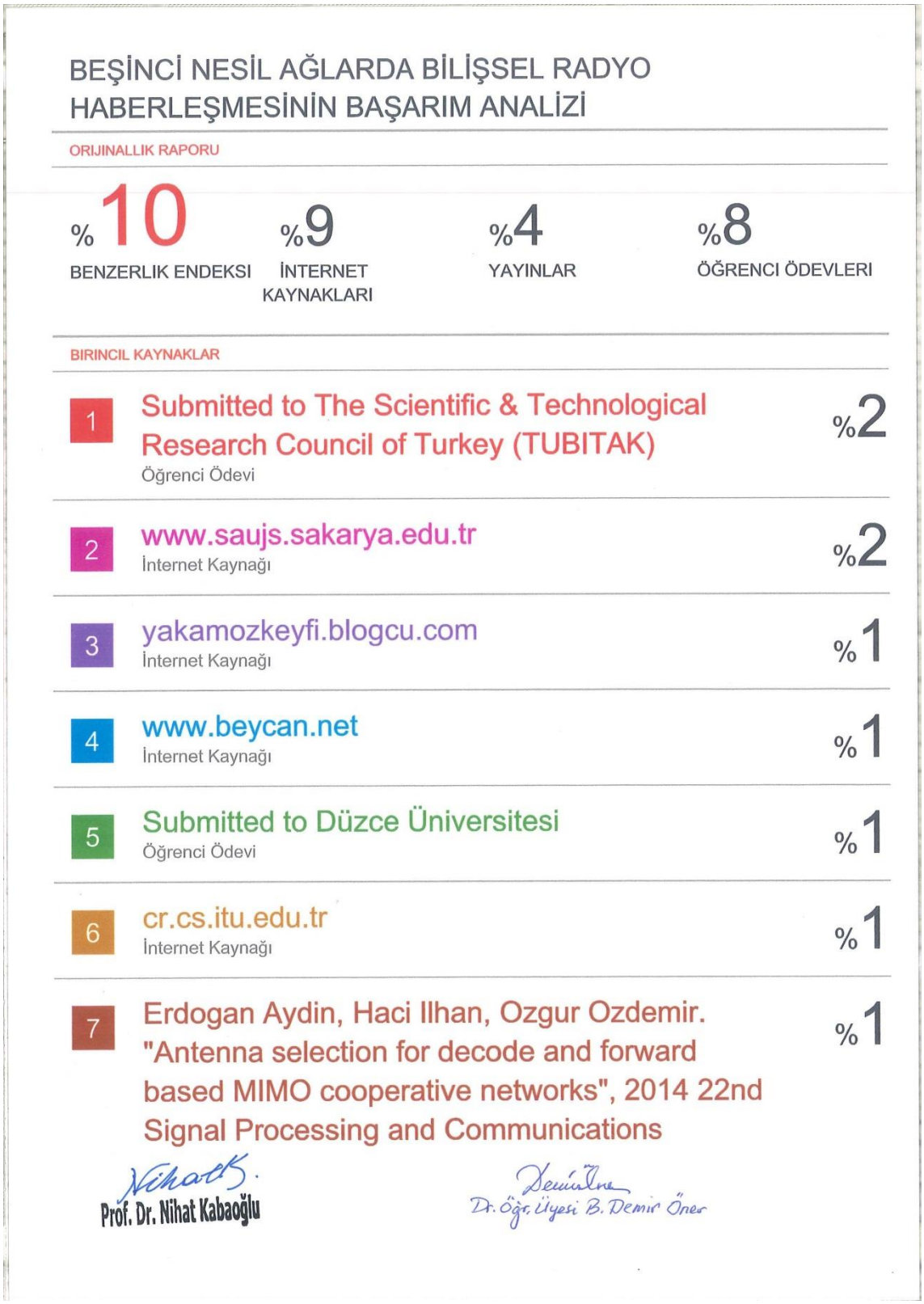
Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarından bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilmeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; çalışmanın Maltepe Üniversitesinde kullanılan "bilimsel intihal tespit programı" ile tarandığını ve öngörülen standartları karşıladığını beyan ederim.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

Erhan DİRİL

Hazırlayan: İlgili Birim	**Onaylayan:** Kalite Yönetim Koordinatörlüğü

İNTİHAL RAPORU



BEŞİNCİ NESİL AĞLARDA BİLİŞSEL RADYO HABERLEŞMESİNİN BAŞARIM ANALİZİ

ORIJINALLIK RAPORU

%10	%9	%4	%8
BENZERLIK ENDEKSI	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCI ÖDEVLERI

BIRINCIL KAYNAKLAR

1	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	%2
2	www.saujs.sakarya.edu.tr İnternet Kaynağı	%2
3	yakamozkeyfi.blogcu.com İnternet Kaynağı	%1
4	www.beycan.net İnternet Kaynağı	%1
5	Submitted to Düzce Üniversitesi Öğrenci Ödevi	%1
6	cr.cs.itu.edu.tr İnternet Kaynağı	%1
7	Erdogan Aydin, Haci Ilhan, Ozgur Ozdemir. "Antenna selection for decode and forward based MIMO cooperative networks", 2014 22nd Signal Processing and Communications	%1

Prof. Dr. Nihat Kabaoğlu

Dr. Öğr. Üyesi B. Demir Öner

TEŞEKKÜR

Tez dönemimde bana desteğini eksik etmeyen eşime, sevgisiyle neşe kaynağım olan oğluma, sabrı ve emeği için tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Nihat Kabaoğlu'na, yardımını eksik etmeyen Sayın Dr. Eylem Erdoğan'a, hayatıma yön veren ve bana emek veren öğretmenlerime, bütün zorluklara rağmen beni yetiştiren ve okutan aileme sonsuz şükranlarımı sunuyorum.

Erhan Diril

Eylül, 2019

ÖZ

BEŞİNCİ NESİL AĞLARDA BİLİŞSEL RADYO HABERLEŞMESİNİN BAŞARIM ANALİZİ

Erhan Diril
Yüksek Lisans Tezi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı
Danışman: Prof. Dr. Nihat Kabaoğlu
Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019

Bu tezde beşinci nesil ağlarda bilişsel radyo haberleşmesinin başarım analizi ve teknolojisi anlatılmıştır. Birinci bölümde bilişsel radyo, spektrum kavramı ve beşinci nesil haberleşmeden kısaca bahsedilmiş ve bu alandaki çalışmaların günümüzde ne aşamada olduğuna değinilmiştir. Teknolojinin birinci nesil haberleşmeden (1G), beşinci nesil haberleşmeye (5G) hangi evrelerden geçtiğini anlatılmıştır. İkinci bölümde, bilişsel radyoda 5G uygulamalarına değinilmiştir. Üçüncü bölümde, bilişsel radyoda anten ve röle seçimi incelenmiş aynı zamanda kesinti ve hata olasılıkları anlatılmıştır. Son bölümde ise bu çalışmaların benzetim sonuçları, grafikler dahilinde analiz edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: 1. Bilişsel radyo; 2. 5.Nesil ağlar; 3. Anten seçimi; 4. Röle seçimi.

ABSTRACT

SUCCESS ANALYSIS OF COGNITIVE RADIO COMMUNICATION IN 5G NETWORKS

Erhan Diril
Master Thesis
Department of Electrical and Electronics Engineering
Electrical and Electronics Engineering Programme
Advisor: Prof. Dr. Nihat Kabaoğlu
Maltepe University Science and Engineering Graduate School, 2019

In this thesis, performance analysis of cognitive radio communication in fifth generation networks is explained. In the first part, cognitive radio, spectrum concept and fifth generation communication are briefly mentioned. The stages of the technology from first generation to fifth generation communication are explained. In the second part, fifth generation applications in cognitive radio are discussed. In the third part, antenna and relay selection in cognitive networks are examined, and also outage and error probability are explained. In the last section, simulation results are analyzed with graphs.

Keywords: 1. Cognitive radio; 2. 5G networks; 3. Antenna selection; 4. Relay selection.

İÇİNDEKİLER

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI ii
ŞEKİL ONAY SAYFASI iii
ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI v
İNTİHAL RAPORU vi
TEŞEKKÜR vii
ÖZ viii
ABSTRACT ix
İÇİNDEKİLER x
ŞEKİLLER TABLOSU xii
KISALTMALAR xiii
ÖZGEÇMİŞ xvi
BÖLÜM 1. BİLİŞSEL RADYO 1
1.1 Bilişsel Özelliği 2
1.2 Bilişsel Radyo Yapısı 5
1.3 IEEE 802.22 Kablosuz Bölgesel Alan Ağları 5
(WRAN, Wireless Regional Area Network) 5
1.4 Spektrum 6
1.4.1 Radyo frekans spektrumu 6
1.4.2 Spektrum değeri 7
1.4.3 Spektrum sezme 7
1.5 Kanal Seçme 10
BÖLÜM 2. 5G TABANLI BİLİŞSEL RADYO UYGULAMALARI 11
2.1 1G'den 5G'ye Giden Yol 13
2.2 5G için Önerilen Çözüm: BR Tabanlı 5G 14
2.2.1 5G ile BR'nin benzerlikleri 15
2.3 5G Terminali Bir BR Terminalidir 16
2.4 5G ve Bilişsel Radyo Teknolojisi 18
2.4.1 Bilişsel radyo ağı 18
2.4.2 WISDOM paylaşımlı içerik: Zorluklar 19

2.4.3 Bağlam duyarlı bilişsel radyo 20
2.4.4 WISDOM'de izleme ve adaptasyon: Bilişsel radyo çözümleri 20
2.4.5 WISDOM / 5G'deki başarımı artırma: BR çözümleri 23
2.5 BR Tabanlı 5G: Ticari Sorunlar 27
2.5.1 Spektrum bazlı fiyatlandırma 27
2.5.2 Güvenlik 27
2.6 5G Tabanlı BR'de Akıllı Şehir Perspektifi 28
BÖLÜM 3. ÇOK GİRİŞLİ ÇOK ÇIKIŞLI KANALDA TEK GİRİŞLİ ÇOK ÇIKIŞLI KANALDA ANTEN SEÇİMİ YAPAN VE ÇOK RÖLELİ AĞLARDA RÖLE SEÇİMİ YAPAN BİLİŞSEL RADYO 31
3.1 Çok Girişli Çok Çıkışlı ve Röleli Kanalda Anten Seçimi 31
3.1.1 Başarım analizi 33
3.1.2 Ortalama hata olasılığı 34
3.2 Tek Girişli Çok Çıkışlı Kanalda Anten Seçimi Yapan Bilişsel Radyo 36
3.3 Çok Röleli Ağlarda Röle Seçimi Yapan Bilişsel Radyo 37
3.3.1 Başarım analizi 38
3.4 Tek Giriş Tek Çıkış Durumu için Kesinti ve Hata Olasılığı 43
3.4.1 Kesinti olasılığı 43
3.4.2 Hata olasılığı 43
BÖLÜM 4. BENZETİM SONUÇLARI 45
4.1 Anten Seçimi Benzetim Sonuçları 45
4.2 Röle Seçimi Benzetim Sonuçları 48
4.3 Kesinti Olasılığı Benzetim Sonuçları 52
4.4 Hata Olasılığı Benzetim Sonuçları 53
SONUÇ 55
KAYNAKÇA 56

ŞEKİLLER TABLOSU

Şekil 1 - Bilişsel radyonun yetenekleri 3
Şekil 2 - Geleneksel iletişim ağı ile 5G iletişim ağı mimarisinin karşılaştırılması..... 15
Şekil 3- Bilişsel radyo yapısı 17
Şekil 4 - Akıllı şehir ağı alt yapısı (Eberechukwu Paulson, 2017). 30
Şekil 5 - Anten seçimi ve bilişsel spektrum paylaşımı blok diyagramı (Eylem Erdoğan, 5 Mayıs 2017). 32
Şekil 6 - Tek girişli çok çıkışlı kanalda anten seçimi 36
Şekil 7 - Çok röleli bilişsel ağ sistem modeli (Vo Nguyen Quoc Bao, 2013). 37
Şekil 8 - İkincil sistemde röleli iletişim 41
Şekil 9 - Tek giriş tek çıkış durumu blok diagramı. 43
Şekil 10 – Eşik değeri =1dB için anten seçim grafiği..... 45
Şekil 11 – Eşik değeri =3dB için anten seçim grafiği..... 46
Şekil 12 – Eşik değeri =6dB için anten seçim grafiği..... 47
Şekil 13 – Eşik değeri =10dB için anten seçim grafiği..... 48
Şekil 14 – Eşik değeri =1dB için röle seçim grafiği 49
Şekil 15 – Eşik değeri =3dB için röle seçim grafiği 50
Şekil 16 – Eşik değeri =6dB için röle seçim grafiği 51
Şekil 17- Eşik değeri =10dB için röle seçim grafiği..... 52
Şekil 18 - Farklı eşik değerleri için kesinti olasılığı grafiği 53
Şekil 19 - Hata olasılığı & Sinyal Gürültü Oranı eğrisi grafiği 54

KISALTMALAR

1G : 1. Nesil

2G : 2. Nesil

3G : 3. Nesil

4G : 4. Nesil

5G : 5. Nesil

AB : Avrupa Birliği (European Union (EU))

ABD : Amerika Birleşik Devletleri

ARIB : Radyo Endüstri ve İşletmeler Birliği
(Association of Radio Industries and Businesses)

AWGN : Toplanır Beyaz Gauss Gürültüsü(Additive White gaussian noise)

BR : Bilişsel Radyo

BRN : Bilişsel Radyo Ağı

BK : Birincil Kullanıcı

BTK : Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu

CDMA : Kod Bölmeli Çoklu Erişim

CR : Cognitive Radio

DSE : Dinamik Spektrum Erişimi

FCC : ABD Telekomünikasyon Komisyonu
(Federal Communications Commission)

FFT : Hızlı Fourier Dönüşümü

FPGA : Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri

GSM : Mobil İletişim için Küresel Sistem
(Global System for Mobile Communications)

İK : İkincil Kullanıcı

IEEE : Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (Institude of Electrical and Electronic Engineers)

IMT-2000 : Uluslararası Mobil Telekomünikasyon 2000 (International Mobile Telecommunications 2000)

ITU : Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (International Telecommunication Union)

ITU-R : ITU Uluslararası Radyokomünikasyon Sektörü (ITU Radiocommunications Sector)

LAN : Yerel Alan Ağları (Local Area Networks)

LTE : Uzun Vadeli Evrim (Long Term Evolution)

MAC : Ortak Erişim Kontrolü (Media Access Control)

MIMO : Çok Girişli Çok Çıkışlı (Multiple Input Multiple Output)

OECD : Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (Organization for Economic Co-operation and Development)

OFDMA :Ortogonal Frekans Bölmeli Çoğullamalı Erişim

RF : Radyo Frekansı

KO : Kesinti Olasılığı

OSI : Açık Sistem Arabağlantı

PU :Birincil Kullanıcı (Primary User)

PS :Birincil Sistem (Primary System)

SMS : Kısa Mesaj Hizmeti (Short Massage Service)

SNR : Sinyal Gürültü Oranı

SNIR : Sinyal Gürültü ve Girişim Oranı

SU :İkincil Kullanıcı (Secondary User)

TV : Televizyon

WISDOM : Dinamik Çalışan Büyük Haberleşme için Kablosuz Yenilikçi Sistem (Wireless Innovative System for Dynamic Operating Megacommunication)

WLAN : Kablosuz Yerel Alan Ağları (Wireless Local Area Network)

WRAN : Kablosuz Bölgesel Alan Ağları (Wireless Regional Area Networks)

WRC : Dünya Radyotelekomünikasyon Konferansı (World Radiotelecommunication Conference)

YTR : Yazılım Tanımlı Radyo

OFDM : Dikey Frekans Bölmeli Çoğullama

QAM : Dörtlü Genlik Modülasyonu

QOS : Servis Kalitesi

ÖZGEÇMİŞ

Erhan Diril

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Eğitim

Derece	*Yıl Üniversite, Enstitü, Anabilim Dalı*
Lisans	2012 Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Lise	2007 Ünye Yabancı Dil Ağırlıklı Lise

İş/İstihdam

Yıl	*Görev*
02.2018- Devam	Elektrik-Elektronik Mühendisi. ZEG Elevator
03.2017 – 05.2017	Elektrik-Elektronik Mühendisi. Onair Medya
08.2013- 02.2017	Uzman Yardımcısı. TÜBİTAK

Kişisel Bilgiler

Doğum yeri ve yılı : KULA, 1989 Cinsiyet: Erkek

Yabancı diller : İngilizce (YDS :51)

GSM / e-posta : 05070347689 / erhandiril52@gmail.com

BÖLÜM 1. BİLİŞSEL RADYO

BR, kendi ortamının bilincinde olan ve güvenilir bir iletişim ağı sağlama ve kıt spektrumun verimli bir şekilde kullanılması hedefleriyle çalışmalarını, alınan RF uyarılarının istatistiksel varyasyonlarına, dinamik olarak adapte edebilen akıllı bir iletişim sistemidir. Bu teknolojinin temel avantajı diğer tüm kablosuz teknolojilerle uyum sağlama ve iş birliği yapma yeteneğidir. BR, biliş yoluyla sistemin birlikte çalışabilirliğini ve iletişim sisteminin entegrasyonunu önerir. Sistem birlikte çalışabilirliği farklı iletim özelliklerine sahip farklı sistemler ve ağ mimarileri arasında bir arada bulunmayı ve iş birliğini gerektirir. Artan toplumsal talepler iletişim sistemlerinin bütünleşmesini kaçınılmaz kıldı. Bilişsel radyo, herhangi bir kablosuz ağ türünü birbirine bağlamak ve zaman başına en iyi parametreleri kullanmak için yapılandırma parametrelerini ve OSI protokollerini dinamik olarak uyarlayarak bütünleşme kavramını kablosuz ortama sunar. Son kullanıcıların ihtiyaçları doğrultusunda, özel veya acil durumları başarılı bir şekilde ele alıp, bu durumları uygun maliyetle gerçek zamanlı uygulamak kablosuz iletişimde mümkündür. Bilişsel radyo tabanlı bir kablosuz iletişimde, bilişsel radyo kullanıcısı iletişim ihtiyaçları için en uygun birincil ağı seçebilir.

Kablosuz haberleşme teknolojileri, her birine yeni, sabit bir spektrum atama yöntemiyle bugüne değin hazırlanmış ve uygulanmıştır. Bu durumun neticesinde, spektrumun önemli çoğunluğu atandığı için kullanılabilir boş spektrum alanı azalmıştır. Yine de atanmış olan spektrumlar gözlemlendiğinde atanan frekans aralıklarının dolmadığı, sebebinin ise frekans aralıklarının dinamik ve başarılı bir şekilde değerlendirilmemesidir.

Frekans aralıklarının etkin kullanılmasıyla alakalı ilk çözüm önerisi 1999 yılında Joseph Mitola tarafından bilişsel radyo adıyla ortaya atılmıştır. Daha sonra dinamik spektrum erişimi adıyla adlandırılan bu kavram bilimsel çalışmalarda oldukça ilgi uyandırdı. Sonrasında ise bununla alakalı çokça çalışma gerçekleşmiştir.

Bilişsel Radyo (Cognitive Radio): Çevresindeki boşta olan ve kullanılan spektrum alanlarını algılayabilen, bunlarda gerçekleşebilecek değişimleri aktif olarak

sezip çalışma parametrelerini yazılımsal ya da donanımsal olarak buna göre uyarlayabilen bir radyodur (Çiçek, 2011).

1.1 Bilişsel Özelliği

Dinamik spektrum erişimi teknikleri, BR'nin en uygun kanalı seçmesine olanak sağlamaktadır. Bunun yapılabilmesi için bilişsel radyoda aşağıdaki işlevlerin yerine getirilmesi gerekir.

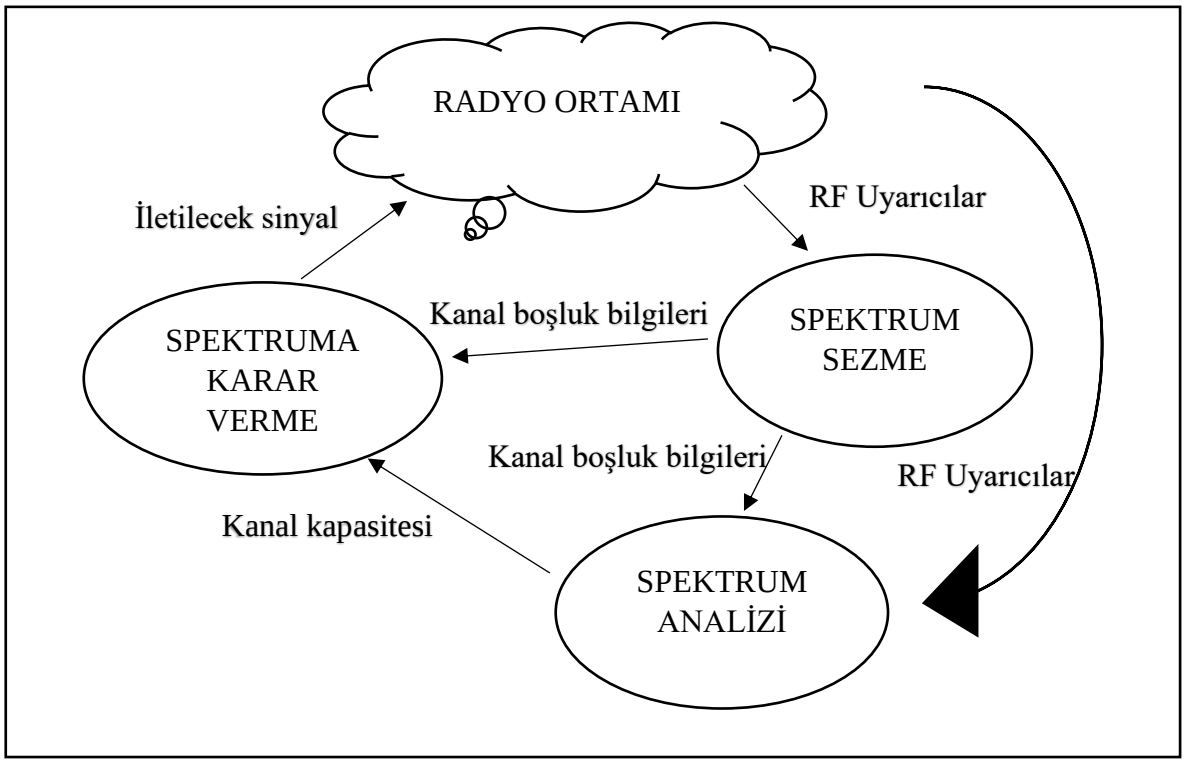
1. Spektrum Sezme: Kullanılmayan spektrumu saptayabilmeli ve bu spektrumu zararlı çakışmalara sebep olmadan diğer kullanıcılarla paylaşabilmeli.

2. Spektrum Yönetimi: Kullanıcı iletişim gereksinimlerini karşılamak için en uygun spektrumu ele geçirebilmeli.

3. Spektrum Değiştirme: Daha iyi iletişim sağlayabilmek için gerektiğinde çalışma spektrumunu değiştirebilmeli.

4. Spektrum Paylaşma: Aynı Spektrum bandını kullanan ikincil kullanıcılar arasında adil bir paylaşım sağlanabilmeli.

Buradan da anlaşılacağı üzere bilişsel radyo, çeşitli platformlarla haberleşme durumunda olabilen ve farklılık arz eden durumlara göre haberleşme parametrelerini ayarlayabilen radyodur. Bilişsel radyonun bu tarifinden faydalanarak iki ana karakteristiğini aşağıdaki gibi verebiliriz (Çiçek, 2011).



Şekil 1 - Bilişsel radyonun yetenekleri

1. Bilişsel Kabiliyeti: Etkin ve değişken radyo ortamına uyabilmek amacıyla bulunduğu çevreyi anbean izleyebilme ve doğru haberleşme seçeneklerine karar verebilme kabiliyetidir. Spektrum döngüsünün ana adımları aşağıdaki gibidir:

Spektrum Sezme: Bilişsel radyo spektrum boşluklarını kullanabilmek amacıyla uygun spektrum alanlarını takip edebilmeli ve spektrum bandlarıyla haberleşebilmeli

Spektrum Analizi: Spektrumun algılanmasıyla öğrenilen spektrum boşluklarının durumu değerlendirilir.

Spektruma Karar Verme: Elde edilen ve analiz edilen spektrumun durumuna göre, kullanıcıların ihtiyacına en uygun spektrum seçilir.

2. Tekrar Ayarlanabilirlik Özelliği: Donanımsal olarak hiçbir değişiklik yapılmadan değişen frekanslarda çalışabilme özelliğini otomatik kullanabilme yeteneğidir. Tekrar ayarlanabilen parametreler:

Radyo Çalışma Frekansı: Bilişsel radyolar çalışma frekansını, seçtiği en ideal frekans kanalını kullanarak değiştirebilir.

Modülasyon: Bilişsel radyo kullandığı modülasyon tekniğini, kullanıcı ihtiyaçları ve kanal durumuna göre değiştirebilir. Bu sebeple spektrum verimi yüksek olacak ve bit hata oranı ise daha az olacaktır.

Haberleşme Teknolojisi: Bilişsel radyo çeşitli haberleşme sistemleriyle beraber ve uyumlu çalışabilmeli.

İletim Gücü: Müsaade edilen güç dahilinde iletim gücü değiştirilebilir. Aynı spektrumdaki kullanıcılar arasında çakışma olasılığını düşürmek için iletim gücü azaltılabilir.

Lisanslı Kullanıcı (Birincil Kullanıcı): Ücretini ödeyip lisansı kullanmayı hak eden kullanıcıdır. Lisanslı radyo çalışmaya başladığında, lisanssız radyo hızlıca o banttan çıkmalıdır. Lisanssız kullanıcılar bilişsel radyo vasıtasıyla kendilerinden haberi olmayan lisanslı kullanıcılara zarar vermemelidir. Lisanslı kullanıcı sinyalleri WRAN sisteminde kablosuz mikrofon ile DTV bandında bulunur (Çiçek, 2011).

Lisanssız Kullanıcı (İkincil Kullanıcı): Frekans bantlarını yalnızca boşken kullanabilen, lisanslı kullanıcıyı fark ettiğinde spektrumu terk eden kullanıcıdır. Buradaki en büyük problem lisanslı kullanıcının doğru fark edilip en kısa sürede ortamın gerçek lisans sahibine bırakılmasıdır. Birincil kullanıcı hiçbir şekilde zarar görmeden bu iletimin sağlanması şarttır. IEEE 802.22 standardında “kanal bırakma süresi 2 saniyeden az olmalıdır” şeklinde bir sınır vardır. Gelecek nesil ağlarda önerilen üç farklı erişim yöntemi mevcuttur:

1. Bilişsel (xG) Ağ Erişimi: İkincil kullanıcılar kendi baz istasyonlarına lisanslı ve lisanssız bandlardan erişebilirler.

2. xG Ad-hoc Erişimi: İkincil kullanıcılar, ad-hoc (MANET) bir ağda lisanslı ve lisanssız spektrum bantlarını kullanarak iletişim kurabilir ve birbirlerine erişebilirler.

3. Birincil Ağ Erişimi: Lisanssız kullanıcılar lisanslı bandları kullanarak birincil baz istasyonlarına da erişebilirler. (Çiçek, 2011)

1.2 Bilişsel Radyo Yapısı

BR, sayısal radyo ve YTR teknolojisini kullanarak spektrumu dinamik kullanmayı mümkün kılar. YTR bir radyo çeşididir. Bu tip radyonun dalga formlarının özellikleri ve uygulamaları bir yazılım tarafından yönetilir. YTR, tekrar programlanabilir ve kapasitesi artırılmak için güncellenebilir.

BR, yazılım tabanlı radyo teknolojini temel edinmiştir. BR teknolojisi bir nevi yapay zekaya sahiptir. Bilişsel fonksiyonların işlevine müsaade eder. Boş spektrumları tespit ederek, kullanılmasını sağlayarak daha güçlü haberleşme imkânı sağlar. BR'lar çalışma ortamlarını fark edebilir ve bilişsel özelliklerini bu duruma göre ayarlayabilirler. Protokoller BR içerisinde yazılım cihazlarının gömülü bulunduğu bir makinanın içine yüklenir. Bundan dolayı radyo ortamı analiz edebilir ve akıllı olabilir. Mesela, bilişsel radyo kullanıcıların televizyon bandındaki verilere göre spektrumda boş olan veya kullanılmayan kanalları sezebilir. Ayrıca telefon ağında ve LAN'da müsait alanları bulabilir (Çiçek, 2011).

1.3 IEEE 802.22 Kablosuz Bölgesel Alan Ağları (WRAN, Wireless Regional Area Network)

IEEE 802.22 standardı, TV yayın bantlarının spektrum boşluklarında çalışan BR tekniklerini kullanarak geliştirilen ilk standarttır. IEEE 802.22 sistemleri, kullanılmayan televizyon spektrumlarını geniş alan haberleşmesinin zor olduğu kırsal alanlarda girişim olmayacak şekilde paylaştırmaktadır. IEEE 802.22 standardı, alt yapı tabanlı geniş alan ağlarda fiziksel ve ortam erişim kontrol katmanının fonksiyonlarını belirlemektedir. Bu standarda göre baz istasyonu BR kullanıcıları arasında haberleşmeyi kontrol etmektedir. Bu standarttaki bilişsel fonksiyonlar, dinamik kanal yönetimi prensibine dayanmaktadır (Ko, Franklin, You, PAK, Song, & Kim, 2010).

Kablosuz yerel alan ağları ve ad-hoc ağlar gibi geleneksel ağlarda, kanal yönetimi sadece kaynak kullanımı ve servis kalitesiyle ilgilenmektedir. BR ağlarında ise kanal yönetimi aynı zamanda birincil kullanıcıların iletimlerinin güvenliğinden de sorumludur. Birincil kullanıcıları korumak amacıyla yapılan ortam sezme, kanal yönetiminin en önemli görevlerindendir. IEEE 802.22 cihazları, televizyon kanallarının

özelliklerine bağlı olarak karakter vermek için BR'nin yeteneklerinden faydalanmaktadır. Televizyon kanallarının durumu, harici bir veri tabanından veya spektrum sezme yöntemi ile elde edilebilmektedir. Elde edilen bilgilere göre, kullanılabilir kanalların listesi oluşturulmaktadır.

IEEE 802.22 işlemleri için kanal uygunluğu birincil kullanıcıların faaliyetlerine bağlı olarak dinamik bir şekilde değişkenlik göstermektedir. IEEE 802.22 sistemi birincil kullanıcıların iletimlerini garanti altına almak için, mevcut kanalı birincil kullanıcı kullanmak istediğinde kullanılmayan yeni bir kanalı seçmektedir. Kanal IEEE 802.22 cihazı tarafından kullanılmadan önce, dikkat edilmesi gereken birçok durum bulunmaktadır. Yeni bir kanal kararı verilmeden önce, IEEE 802.22 sistemi bilişsel radyo işlemleri için kullanılabilir kanalların listesine sahip olmalıdır. IEEE 802.22 sisteminde hem baz istasyonunun hem de bilişsel radyo kullanıcılarının birincil kullanıcı varlığını tespit edebilmelerine rağmen, kanal yönetimi kararları sadece baz istasyonu tarafından verilmektedir (Ko, Franklin, You, PAK, Song, & Kim, 2010).

1.4 Spektrum

Spektrum, elektronik haberleşme amacıyla kullanılan, frekansı 9 kHz – 3000 GHz arasında olan ve uluslararası düzenleme yapılması halinde 3000 GHz 'in üzerindeki frekanslar da dâhil olmak üzere elektromanyetik dalgaların frekans aralığıdır. Kullanıldıkça tükenmeyen doğal kıt kaynak olmasının yanında telsiz haberleşmenin vazgeçilmez unsurudur (Çiçek, 2011).

1.4.1 Radyo frekans spektrumu

Radyo frekans spektrumu, gama ışınları, x ışınları, mor ötesi yayınım, görünebilir ışık, kızılötesi yayınım ve radyo dalgaları gibi birçok yayınım çeşidini içeren elektromanyetik spektrumdur. Radyo spektrumu çok önemli, ulusal bir kaynaktır. Birçok iş alanında, birçok servis radyo spektrumu kullanılarak verilmektedir. Bu servislerin çeşitliliği ve servislere olan talep gün geçtikçe daha da artmaktadır.

Radyo frekans spektrumuna olan talebin yüksek olması, çoğu zaman aynı frekansların birden fazla kullanıcı tarafından paylaşılmasını ya da yeniden

kullanılmasını gerektirmektedir. Yerel bir yayım istasyonu tarafından kullanılan VHF bandındaki bir frekans, ülkenin başka bir yerinde başka bir yayım istasyonunda birden fazla kullanıcı tarafından kullanılabilir (Ko, Franklin, You, PAK, Song, & Kim, 2010).

1.4.2 Spektrum değeri

Kablosuz haberleşme hizmetlerine yönelik giderek artan talep kıt kaynak durumundaki radyo spektrumunun değerini artırmaktadır. Dünya geneli mobil telefon, internet kullanıcı ve mobil geniş bant abone sayıları hızla yükselmektedir. Mobil teknolojilere olan talepteki artış da daha fazla spektrumun bu teknolojilere tahsis edilmesi ihtiyacını doğurmaktadır (Çiçek, 2011).

1.4.3 Spektrum sezme

BR'de bilişsel süreç RF ortamının sezilmesiyle başlamaktadır. BR'nin mevcut fırsatları iyi bir şekilde değerlendirebilmesi için zaman, frekans ve uzay bilgilerinin tamamının belli aralıklarla sezilmesi gerekmektedir. Literatürde spektrum sezme çalışmaları geliştirilmeye devam etmektedir. Spektrum sezmeyle ilgili farklı teknikler kullanılmaktadır (Çiçek, 2011).

1. Verici Sezme: BR kullanıcısının yerel gözlemleri sonucu birincil verilerden gelen zayıf bir sinyalin tespitine dayanmaktadır. Verici sezme tekniği dört ana başlık altında incelenir: Uyumlu filtreleme, enerji sezme, dalga şekli tabanlı sezme, döngüsel durağan özellik sezme
2. İşbirlikçi Sezme: Farklı teknolojileri kullanan radyolar spektrumda frekans ya da zaman kullanımı hakkında bilgi alışverişinde bulunurlar. Literatürde iş birliği işlevi gürültü belirsizliği sönümleme ve gölgeleme nedeniyle spektrum seziminde ortaya çıkan problemlere bir çözüm olarak ele alınmaktadır.
3. Girişim tabanlı sezme: FCC, girişim sıcaklığı kavramını, girişim tarafından işgal edilen bant genişliği ve gücün bir ölçüsü olarak tanımlar. Buna göre bir banttaki herhangi bir iletim diğer iletimler için girişim sıcaklığı sınırının üstünde bir gürültü seviyesi oluşturduğunda zararlıdır. Bu nedenle herhangi bir anda lisanssız iletimde bulunan ikincil kullanıcı, lisanslı alıcıda girişim sıcaklığı

sınırını aşmamalı daha az güç harcayarak ve birincil kullanıcıya zarar vermeyecek şekilde iletimi yapmalıdır (Eyüp Tuna, 2012).

1.4.3.1 Uyumlu filtreleme (Matched filtering)

İletilen işaret biliniyorsa işaretin sezilmesindeki en iyi metot olarak bilinmektedir. Bu tekniğin temel üstünlüğü, "yanlış alarm" olasılığının belirlenmesinin kısa sürede gerçekleşmesidir. Ancak işaretin alıcıda demodüle edilmesi gerektiğinden bant genişliği, çalışma frekansı, modülasyon türü ve derecesi, darbe şekli, çerçeve yapısı gibi birincil kullanıcıya ait işaretleşme bilgilerinin bilinmesi gerekir. BR' nin bütün işaret türlerini alabilecek bir alıcısı olmalıdır. Bu yöntemin güç tüketimi fazladır (Çiçek, 2011).

1.4.3.2 Döngüsel durağanlık tabanlı sezme

Döngüsel durağanlık özelliği sezme, alınan işaretin döngüsel durağanlık özelliği kullanarak birincil kullanıcının sezilmesini sağlayan bir metottur. Bu teknik gürültüyü birincil kullanıcnın sinayallerinden ayırabilir. Bu açıdan döngüsel durağan sinyal dedektörü, enerji dedektöründen daha iyi bir başarım gösterir. Diğer taraftan uzun gözlemleme zamanı gerektirmesi ve hesaplama karmaşıklığının olması bu yöntemin olumsuz özelliğini oluşturmaktadır (Eyüp Tuna, 2012).

1.4.3.3 Enerji algılama tabanlı sezme

Radyometri veya peryodogram olarak da bilinen enerji algılama tabanlı sezme metodu işlem ve hesaplama karmaşıklığının düşük olması sebebiyle en yaygın kullanılan metottur. Bununla birlikte işaret alıcısının birincil kullanıcının işaretini bilmesine gerek duymaması dolayısıyla oldukça genel bir tekniktir. İşaretin sezilmesi, enerji sezicinin çıkışı ile gürültü seviyesine bağlı olarak belirlenen bir eşik değerin karşılaştırılması yoluyla gerçekleştirilir. Ancak enerji algılama tabanlı sezme metodu CDMA ve MC-CDMA gibi yayılı spektrum işaretlerinin sezilmesinde etkin bir teknik değildir (Çiçek, 2011) (Çiftlikçi, Tuncer, & Özşahin, 2008).

1.4.3.4 Radyo tanıma

Spektrum karakteristiğini belirlemenin en iyi yolu birincil kullanıcının kullandığı iletim teknolojisini tanımayla olur. Bu tür bir tanıma bilişsel radyonun oldukça yüksek doğrulukta çalışmasını sağlar. Bu alanda TRUST adı altında bir proje yürütülmektedir. Projenin amacı bazı bilinen teknolojilerin varlığının tanınması ve bu teknikler üzerinden iletim yapılabilmesidir (Çiftlikçi, Tuncer, & Özşahin, 2008).

1.4.3.5 Diğer sezme teknikleri

Diğer sezme teknikleri, zaman-frekans analizli sezme, Hough dönüşümü, çoklu dal spektral kestirim, dalgacık tabanlı kestirim ve birincil kullanıcının iletim teknolojisini tanımaya yönelik diğer tekniklerdir. Çoklu dal algoritması geniş bantlı işaretler için en büyük olabilirlikli güç spektral yoğunluğu kestirimcisine yaklaşmaktadır. Ayrıca bu metodun karmaşıklığı en büyük olabilirlik kestirimcisine göre daha azdır. Alınan işaretin rastgele Hough dönüşümü radar dalgalarının varlığının belirlenmesi için kullanılmıştır. Bu metot periyodik örüntüleri olan herhangi bir işaretin sezilmesi için uygulanabilir. Geniş bant bir kanalda güç spektral yoğunluğunun kenarlarının belirlenmesi için dalgacık dönüşümü kullanılmıştır (Çiftlikçi, Tuncer, & Özşahin, 2008).

1.4.3.6 Spektrum sezme metodolojisi

BR'de spektrum sezme teknikleri belirli metodoloji dikkate alınarak gerçekleştirilmektedir. Spektrum sezme tekniklerinde üç tip metodoloji bulunmaktadır:

Özerk (stand alone) sezme, herhangi bir öncül bilgi veya veri tabanından yoksun olarak sadece radyo tarafından yapılan sezmedir. Sezme yeteneklerinin gömülü olduğu özerk terminalin, daha esnek yollarla pratik çözümler gerçekleştirebilecek yeterli "geri alma (backup) yeteneği" ne sahip olduğu değerlendirilmektedir.

Yönlü (oriented) sezme, belirlenen kullanım durumlarına yönelik başarımı ve güvenilirliği geliştiren herhangi bir öncül bilgi veya veri tabanı yardımıyla gerçekleştirilir.

İşbirlikçi (cooperative) sezme, belirli bir coğrafi bölgeye yayılmış terminal gurubu ve/veya sadece söz konusu göreve yönelik sezme düğümlerini içermektedir. İlgili veri kaynaklarından elde edilen veriler ile vericilere ilişkin daha hassas tanımlamalar yapılabilmektedir (Çiçek, 2011).

1.5 Kanal Seçme

Dinamik spektrum yönetiminin en önemli noktalarından birisi de spektrum kanallarının ikincil kullanıcılar arasında paylaştırılmasıdır. Paylaştırılacak spektrumun değerli olması, bu kaynakların verimli kullanılmak istenmesi ve ikincil kullanıcıların iletişimde gecikmelerinin ve zaman kayıplarının önlenmesi açısından önem arz etmektedir. İkincil kullanıcı için, bağlantı sırasında hizmet aldığı kanala birincil kullanıcının gelme ihtimali olan kanalın atanması, gereksiz kanal geçişine sebep olacak, böylelikle ifade edilen parametreler bakımından başarım düşüklüğü gözlemlenecektir. Kanal seçme işlemi ile kullanılabilir kanalların mevcut ikincil kullanıcılar arasında dağıtılması görevi BR sistemlerin gelişimi süresince güncelliğini koruyan bir optimizasyon problemi olarak durmaktadır (Çiçek, 2011).

BÖLÜM 2. 5G TABANLI BİLİŞSEL RADYO UYGULAMALARI

5G'nin ve BR'nin özelliklerine baktığımızda her iki teknoloji arasında birçok benzerlikler vardır. Her ikisinde sistem olarak temel benzerlik, diğer sistemler ya da ağlarla çalışabilme yeteneğine sahiptir olmalarıdır. Yeni ve esnek protokollerle çalışabilmelerinin yanında ayrıca adaptasyon yeteneğine sahipler. Her iki katmanla ilişkili fiziksel ve MAC katmanları ileri düzeydedir. Teknolojide kullanılan terminal gelişmiş ve kaynak yönetimi yeteneğine sahiptir. Teknoloji yeni gelişme aşamasında olduğundan güvenlik sorunları hem 5G'de hem de BR'de önemli bir konudur. Özetle 5G, çeşitli kablosuz teknolojilerin entegrasyonuna bakar, bilişsel radyo ise çeşitli telsiz alanlarda kendi kendine entegrasyon yapabilen güçlü bir araçtır. Bu nedenle, BR 5G terminali olarak kullanım için çok uygun ve idealdir. 5G terminali farklı tip telsiz sistemlerle çalışma ve aynı paradigmalarla farklı paradigmalara geçiş yapma kabiliyetine sahip olan bir terminaldir. BR teknolojisi 5G ile etkili geliştirme yöntemleri sağlar. BR'daki farklı gelişim yöntemleri, genetik algoritmalar, parçacık sürüsü optimizasyonu ve diğer biyolojik tabanlı algoritmaları çeşitli yöntemler ve algoritmalar kullanan bilişsel motor tasarımına bağlı olarak değişecektir. Bilişsel motor tasarımında istatistiksel öğrenme teknikleri de kullanılabilir. Bunların dışında bilişsel motor tasarımı bazı gelişmiş yöntemler kullanarak da gerçekleştirilebilir. FPGA, FFT işlemciler MIMO teknolojisi ve nano ölçekli işleme bilişsel motorun uygulamasında kullanılabilecek ileri tekniklerden bazılarıdır (Badoi, Prasad, Croitoru, & Prasad, 2010).

5G teknolojisi kişiselleştirmiş hizmetler sunmayı vadetmektedir. Bu hizmetleri sunabilmek için kimlik, konum ve gizlilik konularının ele alınması gerekir. Bilişsel telsiz 5G terminali olarak kullanıldığında ve teknolojiler arası spektrum transferi gerçekleştiğinde bu bu konuların ele alınması zorlaşır. Bu sorunlara çözüm bulma yolunda içerik bilinçli BR'ler kullanılacak. Bu BR'ler kişisel ve çevresel gözlemler ile spektrum ve teknoloji ile ilgili tercihler gibi çeşitli bilgileri paylaşma yeteneğine sahiptir. 5G teknolojisindeki izleme ve uyarlama özellikleri bilişsel radyo ağlarıyla birleştirilmiştir. 5G ağlarındaki ana odak büyük veri hızlarında etkileşimler için gerekli kablosuz iletişim alt yapısına sahip sistemler oluşturmaktır. Oluşturulan mimari esnek olmalı ve dinamik olarak çalışabilmelidir. Böyle bir sistemi elde etmek için BR teknolojisi en iyi yoldur. BR tarafından edinilen biliş, 5G şebekelerinin sistemleri

uygulamasına olanak sağlayacaktır. Bu tür sistemler her zaman ve her yerde bağlantı, iş birliği içerik ve yakınsama sağlama yeteneğine sahiptir. 5G'de BR'nin varlığı telli ve telsiz paradigmaları bir araya getirmeye çalışacak ve küresel bir ortam sağlamaya çalışacaktır.

Farklı teknolojilerin birbirine bağlanması 5G teknolojisinde kilit unsurken, birbirine bağlı ağlara uyum sağlama yeteneği BR'nin temel özelliğidir. Ayrıca 5G ve BR'nin özelliklerinde pek çok benzerlik bulunur. Ortak özelliklere dayanarak BR işlevselliğini kullanan 5G ağı önerilmiştir. İşlevsellik 5G terminali olarak BR terminalini kullanmaya dayanmaktadır. Böyle bir 5G ağı farklı kablosuz ağ paradigmalarını bütünleştirmek ve birbirine bağlamak için güçlendirilmiştir. Ayrıca ağda BR bazlı protokollerin varlığının başarımı artırdığı da görülmüştür. Her ne kadar BR terminali telsiz ortamda kendini iyi adapte etse de esnekliği ve telli ağlara bağlanma kabiliyeti zor bir iştir. Ayrıca erişim düzeyinde BR teknolojisini kullanırken 5G şebekelerinde maksimum veri hızlarının elde edilmesi iyileştirme için kapsam gerektiren başka bir alandır. Bu tür anlaşmazlıklara rağmen 5G'de BR'nin kullanılmasının çeşitli iletişim teknolojileri ve çeşitli ağ tipleri arasında birlikte çalışabilirlik ve bağlantı sağlama yolunda ilk adım olduğu sonucuna varılmıştır. Gerçek bir 5G ağı kurma arayışı içinde BR tabanlı 5G mevcut düzenlemeleri geride bıraktığı tespit edilen gelişen bir birleşmedir (Badoi, Prasad, Croitoru, & Prasad, 2010).

Hem BR hem de 5G teknolojisini geleceğin teknolojisi olarak addedebiliriz. Bir taraftan BR, BK'ların kullanmadıkları spektrum boşluklarını İK'ların akıllı bir şekilde kullanmasını sağlıyor, diğer taraftan 5G çok yüksek dataları kaliteli servis uygulamalarıyla birlikte dünyadaki kablosuz bütün ara bağlantılarını sağlıyor. Bu çalışmada 5G ve BR teknolojisi birleştirilmiştir. Bu iki gelişmiş fikirle amaçlanan WISDOM konsepti için seçilen 5G terminali, BR terminali ve BR teknolojisidir. Böylece 5G, BR teknolojisine esneklik ve uyum sağlayarak ticari anlamda ilk somut adımlar atılmış olur.

Son yıllarda bilişsel radyo teknolojisi artan spektrum kullanımı için iyi bir çözüm olarak öngörüldü. Yeni bir radyo çeşidi olan ve BR olarak adlandırılan bu teknoloji lisanslı kullanıcılar tarafından kullanılmayan spektrumların kullanılmasına olanak sağlayan akıllı bir sistemdir. BR teknolojisiyle birlikte yeni nesil bir mobil

iletişim ağı (5G) tartışılmaktadır. 5G, dünya çapında telli ve telsiz ağ içindeki yüksek başarımlı tüm internet protokollerinin iletişim tekniklerini bir araya getirmek için ileri sürülmüştür. 5G tabanlı BR çalışmasındaki BR, işlevsel bir şekilde 5G ile entegreli kablosuz teknolojileri birbirine bağlama imkânı sunuyor.

Yirmi birinci yüzyıl şüphesiz "hızın yüzyılıdır" ve başta iletişim olmak üzere, çok çeşitli hizmet, yazılım, ekipman alanlarında yüksek verim ve imkanlar sunuyor. Bu büyük ve renkli gelişmelerin insanlar için karmaşık bir yaşam tarzı ve zaman kaybına sebep olmaması için, bunlara ulaşılmasının ve entegre edilmesinin basit hale getirilmesi gerekiyor. Bu sebeple, yalnızca tek bir evrensel cihaz kullanarak ve mobil iletişim standartlarının beşinci nesli (5G) olan mevcut iletişim altyapılarını birbirine bağlayarak mümkün olan tüm uygulamaları sağlayacak yeni bir teknoloji belirlenmeye başlandı (Badoi, Prasad, Croitoru, & Prasad, 2010).

2.1 1G'den 5G'ye Giden Yol

İlk adımlar, ilk mobil standartlar ailesinin geliştirilmesi ve uygulanması ile 1980'lerin başında yapılmıştır. Mobil telekomünikasyon teknolojisinin birinci nesli ses hizmeti ile karakterize edilmiştir. Ses, analog tekniklerle modüle edilip aktarılmış ve hızı da 14.4 Kbps dir.

2G teknolojisi, 1G ile kıyaslandığında önemli önemli gelişmeler sunmaktadır. 2G'de ses dijital gönderildi ve SMS eklendi. Veri hızı 144 Kbps ye yükseldi. 2G standartları, kanal erişim yöntemine bağlı olarak, iki kategoride sınıflandırılmıştır. Birincisi ana temsilci olarak GSM (Global System for Mobile Communications) standardı, ikincisi ise CDMA (Time Division Multiple Access) temelli TDMA (Kod Bölmeli Çoklu Erişim) tabanlı, ana temsilci olarak IS-95 standardı (Badoi, Prasad, Croitoru, & Prasad, 2010).

3G mobil telekomünikasyon IMT-2000 standart ailesi olarak bilinir. 1G ve 2G gibi, hücresel bir ağ sistemi kullanır. Bu teknolojiye örnek olarak Universal Mobile Telecommunications System (Evrensel Mobil İletişim Sistemi) anlamına gelen UMTS verilebilir. Kuzey Amerika'da kullanılan CDMA2000 ve Japonya'da Freedom of Mobile Multimedia Access (Mobil Çoklu Ortam Erişimine Özgürlük) anlamına gelen

FOMA standartları da bir 3G teknolojisidir. UMTS klasik frekans veya zaman temelli çoklu erişim (multiple access) tekniklerinden prensip olarak çok farklı olan kod bölmeli çoklu erişim CDMA (Code Division Multiple Access) teknolojisini kullanır. Bir çeşit yayılı spektrum (spread spectrum) tekniği olan bu teknolojide kullanıcılar 5MHz genişliğindeki aynı banttan haberleşirler. Her vericinin sinyali özgün bir yonga koduyla çarpılarak 5MHz genişliğindeki spektruma yayılır. Alıcı da bu spektruma yayılmış sinyali aynı yonga koduyla çarparak veriyi elde eder. 3G'nin 2G'ye göre getirmiş olduğu en büyük yenilik taban olarak alınan verinin ses değil sayısal veri olmasıdır. 3G sisteminde cihazlar bant genişliğini sadece veri alışverişi sırasında işgal ederler. 1998 yılında ilk olarak Japonya'da kullanıma açılan 3G teknolojisi, Avrupa'ya 2003 yılından itibaren gelmiştir.

4G, dördüncü nesil kablosuz telefon teknolojisidir. Diğer GSM standartları gibi hücresel bir ağ sistemi kullanılmaktadır ve 3G de ortaya çıkan kapsama alanı sorunu başta olmak üzere bazı sorunları çözmüştür. 4G teknolojisi ile ses dâhil her şey IP(Internet Protokolü) üzerinden iletilir. 4G'nin 3G'ye nazaran daha hızlı olmasını sağlayan özelliklerden bir tanesi, indirme işlemlerini çok büyük bir veri trafiğine yol açtığı için indirme ve yükleme işlemlerinin farklı frekanslar aracılığıyla yapılıyor olmasıdır. Bunun anlamı yükleme için farklı bir bant kullanılırken indirme içinse ayrı bir bant kullanılıyor olmasıdır. Bu gelişmeler ışığında 4G, tüm iletişim dünyasını 5G teknolojisini birbirine bağlayacak yeni ve ileri bir teknolojinin öncüsüdür (Badoi, Prasad, Croitoru, & Prasad, 2010).

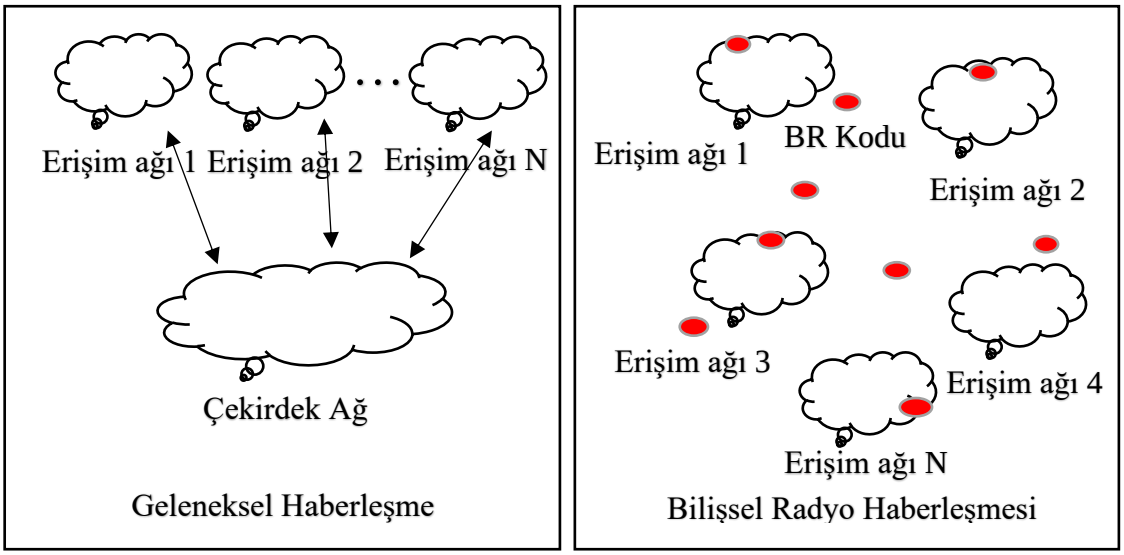
2.2 5G için Önerilen Çözüm: BR Tabanlı 5G

Geleneksel iletişim sistemleri, sırasıyla "erişim ağı" ve "çekirdek ağı" olarak adlandırılan bölümleri sunar. İletişimin merkezileştirilmesine dayalı bir yaklaşımın, giderek artan kullanıcı taleplerine cevap vermesi mümkün değildir. Günümüzün iletişim dünyası daha sıkı bir şekilde bütünleşmiş bir mimari ihtiyacını göstermektedir. Dolayısıyla BR teknolojisi, tasarım özellikleri ve imkânları ile bu bütünleşmiş mimariyi elde etmek için araç haline gelmektedir (Badoi, Prasad, Croitoru, & Prasad, 2010).

2.2.1 5G ile BR'nin benzerlikleri

5G ve BR kavramlarının aralarındaki temel benzerlikler şunlardır;

- Farklı sistemlerde ve ağlarda çalışabiliyorlar.
- Adaptasyon: Birincil sistem şebekesi karakteristiklerine (BR durumu) ilişkin erişim ağlarının özeliklerine (5G durumunda) dayalıdır. 5G entegre erişim ağları ve BR birincil sistemler ağları aynı anlama sahiptir;
- Yeni ve esnek protokoller;
- Çok gelişmiş (fiziksel katman) ve MAC teknolojileri;



Şekil 2 - Geleneksel iletişim ağı ile 5G iletişim ağı mimarisinin karşılaştırılması

Şekil, mevcut iletişim sistemleri ile önerilen 5G teknolojisi arasındaki farkı ağ mimarisine göre sunmaktadır. 5G'nin sunduğu esaslı iyileştirmesi, ağın erişim / çekirdek parçalarına bölünmesini, dolayısıyla uygulamaların ve kullanıcıların artan taleplere cevap olarak daha sıkı bir şekilde entegre edilmiş bir mimariyi sunmasıdır.

- Çevreyi tarama, istihbarat ve karar yetenekleri ile donatılmış çok gelişmiş bir terminal;
- Kaynak yönetimi (veri aktarım sürecine dahil olan tüm ağları içermesi gereken uçtan uca bütünleşik bir kaynak yönetimi);
- Güvenlik (yeni teknolojiler → yeni güvenlik sorunları).

Dolayısıyla, 5G hedefinin çeşitli iletişim teknolojilerini entegre etmek / birbirine bağlamak olduğunu ve BR kabiliyetinin telsiz iletişim dünyasının çeşitliliğine kendi kendini entegre etmesini sağlamak olduğu söylenebilir. (Temel olarak 5G- WISDOM aracılığıyla- tüm kablosuz teknolojileri entegre eder ve birbirine bağlar ve BR tüm telsiz teknolojilere uyum sağlar ve onlarla birlikte çalışır.)

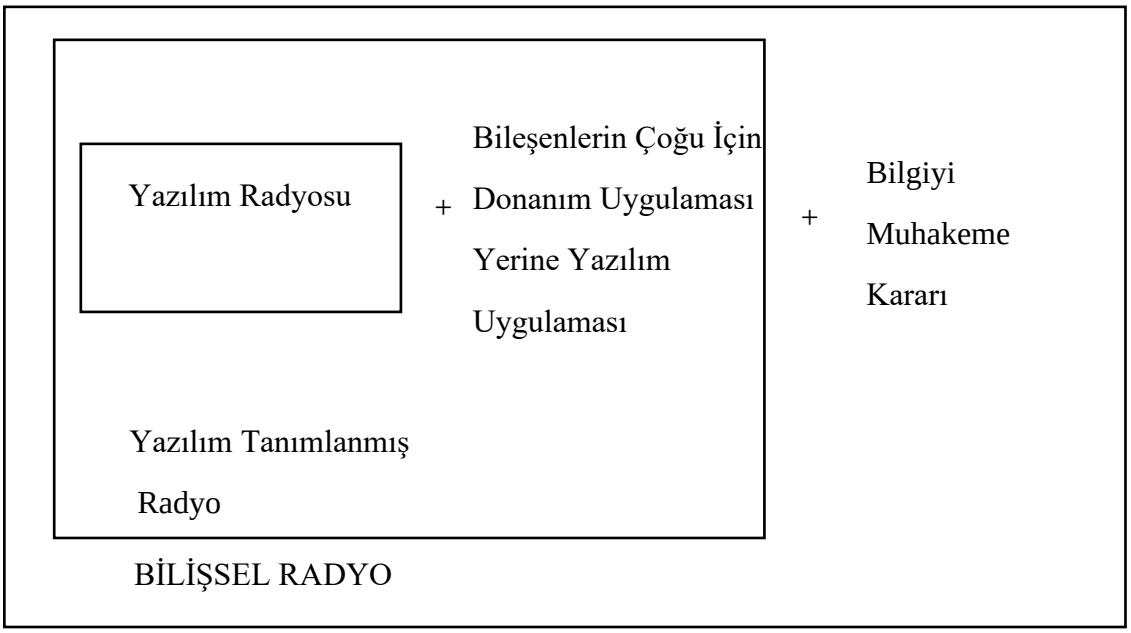
Sentezleme, 5G / WISDOM, yakınsama kavramını getirir ve BR, onu uygulamak için teknik "aracı" temsil eder (Badoi, Prasad, Croitoru, & Prasad, 2010).

2.3 5G Terminali Bir BR Terminalidir

Mobil radyo terminali, mobil telekomünikasyon standartlarına benzer ve paralel bir evrim geçirdi.

- Mikro işlemci kontrollü analog radyo (ses);
- Dijital radyo (Ses ve Veri -SMS);
- Yazılım tanımlı radyo – SDR (Multimedya);
- BR önerisi: Mevcut tüm uygulamalar ve hizmetlere destek vermek için, tüm telsiz teknolojilere / sistemlere erişim, bilgi, mantık ve karar verme olanakları sağlanmalıdır.

Tanım olarak, bilişsel terminal, belirli bir zamanda mevcut tüm telsiz ağlardan uygun ağ seçimi yapma, taleplerine uyum sağlama ve kaynağını kullanma imkânları bulunan çok akıllı bir terminaldir. Daha eski radyo terminal özelliklerinin yanı sıra BR terminali, tüm veri türlerini, isteğe bağlı QoS'i ve uyarlanabilir veri hızlarını (bilgi, muhakeme ve karar özellikleri) desteklemektedir (Badoi, Prasad, Croitoru, & Prasad, 2010).



Şekil 3- Bilişsel radyo yapısı

Şekil üç ana parçayı (dikdörtgenler ile temsil edilmektedir) göstermektedir: yazılım radyosu (SR), yazılım tanımlı radyo (SDR) ve BR terminalleri. Literatüre göre, BR cihazının radyo konfigürasyonunu "bir dizi OFDM (Doğru Frekans Bölmeli Çoğullama) ve DSSS (Doğrudan Sıralı Yayılmış Spektrum) modemler ve çoklu MAC protokolleri arasında geçiş yapmak için güçlü bir yeniden yapılandırma modülü olmalıdır ", yeniden yapılandırılabilir radyo bilgilerinin yönetimini sağlayan esnek ve ölçeklenebilir bir ağ tarafından desteklenmektedir (Pursley & Royster, 2008).

Daha önce vurgulandığı gibi, 5G terminali, içinde bulunduğu her türlü kablosuz sistem tipine bağlanıp çalışabilen, QoS ile herhangi bir veri tipini destekleyebilen, aynı anda çeşitli teknolojileri devreye alabilen istihbarata sahip evrensel bir terminaldir (Badoi, Prasad, Croitoru, & Prasad, 2010).

5G teknolojisi, belirli telsiz teknolojilere özgü radyo terminallerini ortadan kaldırarak tüm radyo öncülerinin özelliklerini tek bir cihazda toplayan evrensel bir terminal önermektedir.

Bu terminal yakınsaması kullanıcıların ihtiyaç ve talepleri tarafından güçlü bir şekilde sürdürülmekte ve BR terminalinde başarıyla bulunmakta ki bu da onu ideal 5G terminal adayı haline getirmektedir (Badoi, Prasad, Croitoru, & Prasad, 2010).

BR teknolojisi 5G terminaline önemli geliştirme yöntemleri sağlar:

- Genetik algoritmalar, adaptif mutasyon mekanizması, çeşitli biyo-ilham algoritmaları ve istatistiksel öğrenme gibi farklı teknikler kullanan biliş döngüsüne dayanan bir bilişsel motor tasarımı
- Çok gelişmiş BR terminali uygulama yöntemleri: Çok fazlı çok yollu radyo devreleri, FPGA (Field Programmable Gate Array) uygulamaları, yeniden yapılandırılabilir FFT (Hızlı Fourier Dönüşümü) işlemcileri, MIMO (Çok Girişli Çoklu Çıkış)
- Teknoloji ve turbo ve / veya nano ölçekli işleme (Badoi, Prasad, Croitoru, & Prasad, 2010)

Böylece 5G terminalini yüksek başarımta evrensel istenen terminal haline getirir.

2.4 5G ve Bilişsel Radyo Teknolojisi

2.4.1 Bilişsel radyo ağı

Farklı sistemleri, mimarileri ve teknolojileri bağlama ve bütünleştirmenin en iyi yolu olan WISDOM, özellikle iletişim erişim seviyesindeki bütünleşme, birbirine bağlılık ve iş birliği anlamına gelir. Tüm dünyada en esnek ve uyarlanabilir biçimde birbirine bağlama yapabilmek için en ideal yoldur. Şu ana kadar BR teknolojisi, iyi bir WISDOM uygulaması için tek güçlü adaydır ve bu nedenle somut bir "üniforma" için 5G erişim ağına entegre edilmiştir.

WISDOM'u uygulamak için gereken teknoloji, ancak mevcut kaynakları ve iletişim altyapılarını (zaman ve para sorunları nedeniyle bunları veya test prosedürlerini değiştirmeden) kullanabilen ve ayrıca farklı sistem / teknolojileri birbirine bağlayabilen bir teknoloji olabilir Teknolojileri birbirine bağlar.

Bu nedenle, WISDOM'un uygulama taleplerinin telsiz iletişim ortamında eşgüdümlü paradigmaya uygun olduğuna dikkat edilmelidir:

- BR, mevcut tüm kablosuz ağlar / sistemler türleriyle bağlantı kurar ve iş birliği yapar, farklı sistemler ve mimariler arasında bir "irtibat" teknolojisi haline gelir ve böylece çeşitliliği homojenize etmek için ilk adım atar.
- BRN mimarisi tipi (BR düğümleri + mevcut sistemler), WISDOM gereksinimleriyle tutarlıdır: WISDOM, mevcut sistemleri hariç tutmaz tersine, bunları 5G şebekesine entegre eder.

BRN modeli-BRN iki taraf sunar: mevcut kablosuz sistemler (WiMAX, WiFi vb.) ve bu sistemlerin serbest kanallarında çalışan BR düğümleri. Ayrıca, ağ modeli çoklu atlamalı BRN'ye dayalıdır: Bu, kaynak ve hedef arasındaki rota üzerinde daha fazla BR düğümüne sahip olabileceğimiz anlamına gelir.

- Birincil kullanıcı ağları değişmez ve BR'ler, mevcut sistemleri etkilemeden veya değiştirmeden çalışır.
- BRN, bilişsel ağ ilkelerine dayalı olarak kendini organize eden ve kendini iyileştiren bir ağdır; Bir yandan çeşitli olası kullanım senaryolarının neden olduğu karmaşıklığı yönetmek ve spektrum ihtiyacını en aza indirmek için bu özellikler ilave olarak 5G gereklidir. Enerji gereksinimlerini karşılar.
- İyi bir 5G şebeke işlevselliği ve başarımı için bir "zorunluluk" olan çevre izleme ve uyarlama işlevlerini sunar (Badoi, Prasad, Croitoru, & Prasad, 2010).

2.4.2 WISDOM paylaşımlı içerik: Zorluklar

Kişiselleştirilmiş bir biçimde hizmetleri sunabilmek için, 5G teknolojisi kullanıcılarıyla ilgili kimlik, konum ve gizlilik sorunları gibi bazı temel bilgileri bilmelidir.

Bir önceki paragrafta da belirtildiği gibi, BR temelli 5G şebekesi var olan tüm şebeke tiplerini ve BR teknolojisini bağlayıcı olarak içermektedir. Bu nedenle, 5G haberleşmede, her bir kullanıcının mevcut durumunun bilinmesi ve kullanıcıların BR, WiMAX, Wifi, vb. teknolojilere nasıl bağlandıklarının bilinmesi çok önemlidir. BR kullanıcısı bu teknolojiler arasında bir spektrum geçişi yaptığında bilgiler bir teknolojiden diğer teknolojiye nasıl transfer olacak?

Şu anda, BR teknolojisinin henüz standartlaştırılmadığı gerçeği göz önüne alındığında, yakında bu sorunun istikrarlı bir çözümünün geliştirilmesi gerekecektir.

Bununla birlikte, yerli bir çözüm önerilebilir:

- "Eski" BK'lara gelince, her teknoloji kendi veri tabanını koruyacaktır (geleneksel durum);
- Evrensel yeni kullanıcılar (BR kullanıcıları) için, her 5G bileşen teknolojisi tarafından erişim sağlandığı birleşik veri tabanı sağlanmalıdır; bu nedenle, BR kullanıcıları bilgiye mevcut olan tüm iletişim sistemleri üzerinden erişilebilir kılınmalıdır.

Kesintisiz spektrum devretme. Bu birincil çözüm, müşterek BR veri tabanı boyutu ve bağlamı ve aktarma zamanı göz önüne alındığında bazı dezavantajlar ortaya çıkarmaktadır. BR standardizasyonundan sonra, bir teknolojiden diğerine içerik aktarırken gerçek zamanlı bir çözüm elde edilmesi beklenir (Badoi, Prasad, Croitoru, & Prasad, 2010).

2.4.3 Bağlam duyarlı bilişsel radyo

Teknolojiler arası paylaşılan içerik durumunun (BR tabanlı 5G içerik aktarımına yaklaşırken) yanı sıra önemli bir başka husus da tanımlanmaktadır: Evrensel ara bağlantı sağlamak için, BR'ler birbirleriyle iletişim kurmalı ve tüm bilgi türlerini değiştirmelidir:

- Kişisel içerik (kimlik, konum, vb.);
- Çevresel gözlemler;
- Paylaşım tercihleri: spektrum ve teknoloji tercihleri.

Bütün bu bilgilere göre, BR'ler, işlevsel bir WISDOM ve daha da fazla 5G ağı ile doğru bir şekilde hareket etmeyi bileceklerdir (Badoi, Prasad, Croitoru, & Prasad, 2010).

2.4.4 WISDOM'de izleme ve adaptasyon: Bilişsel radyo çözümleri

Özel BRN (sadece BR düğümleri de dâhil, birincil sistemleri değil) kendi kendini organize edebilen ve yeniden yapılandırılabilir yeteneklere sahip, çok esnek ve

mobil özellikleriyle de mevcut sistemlerle iş birliği yapabilir olduğu kabul edilir. Kendiliğinden düzenlenmiş ve yeniden yapılandırılabilen bir karakter olan BR, özellikle düğümlerin yüksek hareketlilik ve konum bağımsızlığı (sık topolojik değişimlere neden olan) ile spektrum fırsatlarının kullanılabilirliği ve kanalların zaman içindeki dinamik değişimi ile belirlenir; Böylece, her bir düğüm kendi / ve komşu gözlemlerine göre doğru davranışa karar vermelidir.

Aslında BRN, kendiliğinden düzenlenmiş ve yeniden yapılandırılabilir bir tasarım için çözümler önerir (Chen, Kung, Shiung, Prasad, & Chen, 2007).

- Her bir uçbirimin bulunması gereken ağ izleme fonksiyonu (sens ortam algılama + bilgi toplama)- adaptasyona ulaşmak için gereken aşırı durum.
- Amaca uygun bir başarım seviyesine sahip uyarlama işlevi;

Her bir ağ izleme / algılama fonksiyonu tarafından sağlanan bilgilere dayanarak terminal yapılandırmasına ve davranışına karar verir.

- Her bir OSI katmanı için ağ algılama ve gerçek zamanlı protokoller arasında güçlü bir korelasyon ihtiyacı. Çevresel değişikliklere yanıt olarak, BR terminali ağ topolojisini ve mevcut kanalları alır ve ardından MAC ve fiziksel katmanları dinamik olarak yeniden düzenler- yani bir koleksiyondan doğru MAC'yi seçer ve fiziksel katman parametreleri için uygun değerler ve hedefe doğru en iyi rotayı seçer (Krishnamurthy, Thoppian, Venkatesan, & Prakash, 2005).
- Katmanlar arasında sıkı bir çapraz katman yaklaşımı ile yeni bir Kontrol Düzlemi tasarımı ve hatta OSL yığında CCL (Bilişsel Yakınsama Katmanı) gibi bazı yeni katmanlar (Taniguchi, Aust, Takizawa, Yamaguchi, & Obana, 2007).
- Yukarıda listelenen sonuçları içermesi gereken yeni protokoller ve yeni metrikler (örneğin, bir yönlendirme metriği zaman kanallar kullanılabilirliğinden, bu kanalları tahsis etmenin yolu, paylaşım yöntemleri, düğümlerin hareketliliği, ağ mimarisi, vb.) etkilenecektir.

BR WISDOM uygulaması ile birlikte farklı kablosuz ağ özellikleri ve talepleri, temel olarak BR algılama fonksiyonu tarafından desteklenecek güçlü bir ağ izleme fonksiyonunu gerektirir: 5G terminali / BR terminali çevreyi algılar, uygun ağı seçer,

doğru yazılım (gerekirse) ve verileri iletmek için uygun fiziksel teknoloji ve MAC / Ağ katmanı protokollerini seçer.

Bu nedenle, erişim ağını bilişsel bir şekilde uygulayarak, 5G aynı zamanda, kaynak yönetiminin ve adaptasyonunun gerçekleştirilme biçimine ilişkin BR çözümlerini de ele alacaktır.

BR kaynak yönetimi, kaynakların farklı kullanıcılar arasında niteliksel ve niceliksel olarak nasıl tahsis edildiğini gösterir.

BR kaynakları şu kategorilerle sınıflandırılabilir: Radyo kaynakları, bilgi işlem kaynakları (işleme yeteneklerini içerir) ve uygulama kaynakları (BR fonksiyonelliği ile ilgili olarak), temel BR radyo kaynakları, spektrum bantları (BR OFDM tabanlı sistemlerde alt taşıyıcılar) ve güçtür. Bu sınıflandırmaya dayanarak ve bu kaynaklar arasındaki çok kapalı bağlantıları hesaba katarak Entegre Kaynaklar Yönetimi (IRM) önerilmiştir.

Kaynak yönetimi, bir kaynak kabul işlevini (bir kullanıcının kaynakları kullanmasına izin veriliyor mu veya verilmiyor mu?), ve uyarlama ile güçlü bir şekilde ilişkili bir kaynak denetimi işlevini kabul eder (Kullanıcının kullanabileceği kaç tane / tür kaynak kullanılır? İyi bir başarım eşiği nasıl korunur?

- Kabul fonksiyonu, BR ve BK'lerin (yer paylaşımıyla örtüşen yaklaşımlar arasında) ve aynı kaynaklara erişmeye çalışan eşzamanlı BR'ler arasında spektrum paylaşımında önemli bir yere sahiptir. Kabul fonksiyonu, BK'nın aktarımı işlemini ilgili frekans kanalında başlattığı anda, BR'nin aktarım karakteristiklerini durdurmasını veya değiştirmesini zorunlu kılabilir.
- Kontrol işlevi, BR kullanıcılarının talep edildiğine işaret eder, ancak BR terminali sürekli bir başarım seviyesi sağlamak için her zaman çevreyi taramalı ve parametrelerini yeniden yapılandırmalı / yazılımı değiştirmelidir.

Adaptasyon, ortamın mevcut durumuna cevap vermek için BR parametreleri için uygun değerlerin (bir değerler kümesinden) seçilmesi anlamına gelir. Çevre uyumuna ilişkin temel BR çözümleri şu şekilde sağlanmıştır:

1) Çevrenin durumuna (gürültü, yol kaybı, eşik değeri vb.) göre iletim gücünü azaltılmasına veya artırılmasına izin verilir.

Etkin bir güç kontrolü elde etmek için, polinom zaman algoritmaları, oyun teorisi, su doldurma şeması, güç tahsisi kontrolü için bulanık mantık, ortak güç kontrolü ve giriş kontrol şemaları, gibi birçok metot ve algoritma önerilmiştir. (Qian, Li, Attia, & Gajic, 2007)

2) Bağlantı uyarlaması: Aşağıdakilerden oluşur.

- Uyarlamalı modülasyon — kanal durumuna göre modülasyon tipi seçimi (gürültülü veya gürültüsüz, girişim aralığı
- Uyarlamalı kodlama — önceden belirlenen veri bileşimine uyum sağlayacak en uygun kayıpsız veri sıkıştırma şemalarının (veriler bir tahmin modeliyle eşleşecek ve bu modele göre sıkıştırılacaktır) seçimi.

Sıkıştırma çok yararlıdır, çünkü çıktıyı arttırır, aynı verileri sıkıştırma kullanmadan daha az sayıda veri biti kullanarak aktarmaya izin verir.

3) Uyarlamalı dalga biçimi teknikleri- uyarlanabilir dalgaformu üretimi ve veri transferinde kontrol.

2.4.5 WISDOM / 5G'deki başarımı artırma: BR çözümleri

Tanım olarak, 5G yüksek bant gerektiren uygulamalar ve hizmetler ile zaman ve alan sınırlamaları olmaksızın yüksek başarım sunan bir teknolojidir. Hangi başarım artış yöntemleri BR WISDOM uygulamasını sürdürür? Öncelikle, dinamik, mobil ve esnek BR ağları yapısı nedeniyle bilişsel başarım metriğinin daha karmaşık olduğu vurgulanmalıdır. Bu nedenle, BR alanında bir zamanlar eski başarım radyosu metrikleriyle, bilişsel yeni paradigma fikirlerine dayanan tamamen yeni metriklerle ve bu ikisi arasında bir karışımla karşılaşırız.

En çok sunulan başarım ölçümleri şunlardır:

- Girişim: BR ve BK arasında ve farklı BR'ler arasında;
- SNR ve SNIR;

- Kanal kalitesi: Zamana göre değişen doğa, sinyalin dağılması, gölgeleme, mesafe kaybı;
- Bit hata oranı;
- Uçtan uca iletim gecikmesi;
- Ortalama tespit süresi: algılanan kanal üzerindeki sinyali tespit etmek için ortalama süre;
- Süreç üzerindeki etki süresi;
- Üretilen iş;
- Kapasite sınırları;
- Spektrum ikame edilebilirliği — spektrum aktarımının, BR'ler için kusursuz bir geçişe sahip olma olasılığı ile ne kadar hızlı olduğu;
- Kapsama alanı başarımı- coğrafi kapsam ve aralık (bir BRN'deki kaynak ve hedef arasındaki mesafe ne kadar olabilir).

Yukarıda listelenen ölçümlerde bir şekilde veya daha önce çalışan yeni ve orijinal yöntemler, BR araştırmacıları tarafından geliştirilmiştir:

- Parazitin Azaltılması

Farklı kullanıcılar arasında etkili bir spektrum havuzu oluşturmak için girişimleri engellemek gerekir. BR alanında önerilen ilk girişim önleme teknikleri: OFDM tabanlı UWB çözümü (frekans domaininde sinyal işleme) (Lansford, 2004), rozet sistemleri (dairesel kanallar şeklinde ve müşterek kanal girişimlerini en aza indirmek için birbirlerine yöneltilmiş yönlendirme antenlerinin kullanılmasına izin verilmesi) (Sydor, 2004) ve başarım parametrelerine ilişkin kanal geri bildirimi, gerekirse bazı parametrelerin uyarlaması ile takip edilir.

Paraziti azaltmak için yapılan çalışmaların çoğu:

- Kanalın koşullarına uyum sağlamak için BR parametreleri: uyumlu kanal modülasyonu ve seçimi, uyumlu güç kontrolü / güç tahsisi şemaları, güç ölçekleme kontrolü, DFS (Dinamik Frekans Seçimi) , TA (Zaman Çevikliği)), OFDM sistemleri için uyumlu zaman / frekans yayılımı, QoS ile uyumlu paket programlama algoritması (Jing, Mau, Raychaudhuri, & Matyas, 2005), OFDM kör parametre tanımlaması, çalışma parametrelerinin uyarlanması ve ilgili çözümlerle yeni protokoller geliştirmesi: ACL (Bitişik/komşu kanal sızıntısı) ve girişim sıcaklığı.

- BK'lerin yakınında bulunan alt-taşıyıcıların azaltılması / devre dışı bırakılması, bu mevcut kullanıcıların varlığında iletim yapmayı mümkün kılar (sadece OFDM / A ' da mümkündür);
- Filtrelerin kullanımı: düşük doğruluklu analog dijital çevirici ile istenmeyen sinyalleri çıkarmak için alıcıda çok kanallı çok fazlı bant geçiren filtre uygulanır.

Girişimle mücadele amacıyla etkin kod çözme şemaları;

- Özellikle alıcı için iyi dizayn edilmiş BR (girişimi belirli bir eşik değerinin altında tutabilmek için anten dizisi ile donatılmış bir BR vericisi sinyal dağılımı gönderir); (Huang, Ding, & Liu, 2007)
- BR optimal sinyal tasarımı (örn. OFDM sistemlerinde pencereli bir sinyal kullanımı);
- İmpulse serileri arasında zaman aralığının kontrolü (her zaman mümkün değildir).

Geliştirilmiş PHY teknolojileri: Çok iyi niteliklere sahip BR fiziksel katmanları çok taşıyıcılı teknikler olarak önerildi.

Çoklu taşıyıcı teknikleri:

- OFDM-QAM (Ortogonal Frekans Bölmeli Çoğullama - Dörtlü Genlik Modülasyonu), Alt taşıyıcıların birbirine dik olduğu her biri alt taşıyıcı genlik modülasyonu ile modüle edilmiş bir dijital modülasyon tekniğidir (Azarnasab, Kempter, Patwari, & Farhang-Boroujeny, 2007).
- OFDMA (Ortogonal Frekans Bölmeli Çoklu Erişim), her kullanıcıya alt taşıyıcıların alt kümesinin atandığı, çok kullanıcılı bir kanal erişim tekniğidir. (farklı kullanıcılar için farklı alt taşıyıcılar atanır) (Chu & Chen, 2007). OFDMA kullanmanın en önemli avantajlarından biri, bir kullanıcıya tahsis edilen alt taşıyıcı sayısına göre farklı QoS veri hızları başarısıdır.
- MC DS CDMA (Çok Taşıyıcılı Doğrudan Sıralı Kod Bölmeli Çoklu Erişimi), her kullanıcının özel bir koda sahip olduğu ve çoklu paralel alt taşıyıcıların kullanılabildiği, çoklu erişim şemasıdır. OFDMA gibi, farklı QoS seviyeleri sunabilir.

- BR alıcısı / vericisi tarafından kullanılan antenin tipi de çok önemlidir. Tek yönlü çok yönlü antenler kullanmak yerine, araştırmacılar aynı anda çok sayıda antenin kullanımını önermişlerdir: Yol gösterici ve akıllı antenler.
- Bir direktif (yol gösteren) anteni, yalnızca bir ya da daha fazla spesifik yön (ler)de daha fazla bir güç yayma özelliğine sahiptir, bu şekilde başarım artar ve girişim azaltılır. (Bu yalnızca yön doğru ise gerçekleşir).
- Akıllı bir anten (MIMO), giriş sinyalinin yönünü belirleme ve ışın desenleri kullanarak mekânsal seçicilik ile iletme olanağına sahip bir antenler dizisidir. Alınan sinyal yönünü tahmin etme özelliği BK'nın yerini belirleme olasılığı ve acil durum senaryolarında mağdurları mekansal konumlandırma olasılığı nedeniyle algılama prosedüründe çok ömemlidir. Bilginin her yere yayılması yerine iletim yönünün mekansal seçiciliği (alıcının bulunduğu yere göre) de diğer alıcı vericilerle olan etkileşimi azaltır.
- Adaptasyon ve esnek bir kaynak yönetimi ile başarımın artırılması.

Yukarıda belirtilen bilişsel radyo işlevleri:

(1) BR, farklı kablosuz sistemleri birbirine bağlamak için en iyi teknolojidir.

(2) BRN mimarisi; heterojen ağlar için yeni bir mimaridir.

(3) BR terminali, 5G terminali için en iyi seçimdir.

(4) BR- yeni fiziksel, MAC ve ağ katman teknikleriyle birlikte OSI katmanları için yeni bir işlevsellik sağlar. (5G, klasik katmanlı tasarıma dayanan değil, uçtan uca bir başarım optimizasyonu için protokollere ihtiyaç duyar)

(5) BR teknolojisi, kaynakların güçlü yönetimi, adaptasyon ve başarım geliştirme çözümleri açısından, WISDOM uygulaması ve 5G ağında başarı için en iyi çözüm olarak kabul edilebilir (Badoi, Prasad, Croitoru, & Prasad, 2010).

2.5 BR Tabanlı 5G: Ticari Sorunlar

2.5.1 Spektrum bazlı fiyatlandırma

5G tabanlı BR teknolojisinde, lisanslı ve lisanssız kullanıcıların sınırlandırılması önerilir ayrıca BR'lerin birincil kullanıcıların sahip olduğu spektrumu dinamik olarak kullanma yeteneği yeni finansal ve işletme modelleri ihtiyacı doğuruyor.

BR teknolojisinin ardından hem BR hem de BK'ler kazanmalıdır.

(1) BR'ler BK lisanslı spektrumunu dinamik olarak kullanır;

(2) BK'ler, BR'lerin fırsatçı spektrum erişimi karşılığında ödeme alırlar.

Spektrum fiyatlandırması için üç yöntem önerilmiştir;

- Piyasa dengesi yaklaşımı (BR'nin talepleri önceliklidir ve amaç, ihtiyaçlarını en iyi QoS ile karşılamaktır);
- Rekabetçi yaklaşım (BR'den daha iyi bir ücret alabilmek için BK'lar arasındaki rekabet- BK'lar adına bencilce bir davranışdır);
- İşbirlikçi yaklaşım (BK'lar arasındaki iş birliği, BR ve BK'lar için en iyi çözümdür) (Hossain & Niyato, 2008).

BR spektrum paylaşım stratejileri ve diğer ilgili konular tamamlanana kadar fiyatlandırma alanı araştırmaya açık kalmaktadır. Her ne kadar spektrum paylaşımının dinamik oyun yaklaşımı kullanılarak modellenmesi önerilmiş olsa da, oyun teorisine dayalı fiyatlandırmaya sahip olması beklenmektedir.

2.5.2 Güvenlik

BR'nin telszi özelliğini dinamik olarak kullanması aynı zamanda 5G ağına iletişimi tekdüze hale getirmesi ile yeni güvenlik sorunları ve tehditler ortaya çıkmıştır. Bu sorun ve tehditlerin çoğu BR terminalleriyle alakalıdır (Safdar & O'Neill, 2009).

- Zararlı parazit (hem birincil kullanıcılar hem de BR kullanıcıları aynı radyo bandında haberleştiğinde, BR kullanıcısı belirli bir eşiğin altına yayılmalıdır, böylece birincil kullanıcı iletimi etkilenmemelidir);

- Bencil davranışlar (bir BR kullanıcısı, BR kullanıcılarının talepleri ve aralarındaki mevcut spektrumu dağıtırken, kullanılan orta erişim yöntemini hesaba katmadan bencil bir şekilde davranabilir);
- Lisanslı kullanıcı öykünmesi (bir kablosuz kullanıcı, lisanslı spektruma sahip bir kullanıcı olduğunu varsayabilir ve böylece bu spektrum kullanımını ödeyen bir BR kullanıcısını aldatabilir);
- Gizli dinleme (bir BR kullanıcısının başka bir kullanıcı tarafından birincil veya BR olarak iletilen verileri bilmesi ve böylece gizlilik haklarını ihlal etmesi olasılığı);
- Bir BR kullanıcısının inkârını reddetme (Bir yandan, güvenli olmayan bir BR istasyonu, hizmet reddi için bir "kurban" olabilir ve diğer yandan "eski ve kablosuz ağlara saldırmak için kolayca manipüle edilebilir") (Brown, 2007) (Sampath, Dai, Zheng, & Zhao, 2007).

Bu nedenlerle, Spectrum Etiquettes'i (TRIESTE) güçlendirmek için güvenilir radyo altyapısının "radyo cihazlarının sadece kendi ayrıcalıklarına uygun bir şekilde spektruma erişmesine /kullanılmasına izin vermesi" önerilmiştir. Potansiyel ihlalleri kısıtlamak ve ihlalleri tespit edilen BR'leri cezalandırmak için ölçümler izlenip rapor edilmelidir (Xu, Kamat, & Trappe, 2006). Ayrıca, ihlalleri önlemek için kimlik doğrulama ve yeniden kimlik doğrulama protokolleri önerilmiştir. Bu önerilerden bazıları BR bağımsız kimlik doğrulama protokolü, radyo bağımsız karşılıklı iletişim protokolü ve yeniden kimlik doğrulama protokolü (EAP-CRP yeniden kimlik doğrulaması) (Nomura, Kuroda, & Mizuno, 2007).

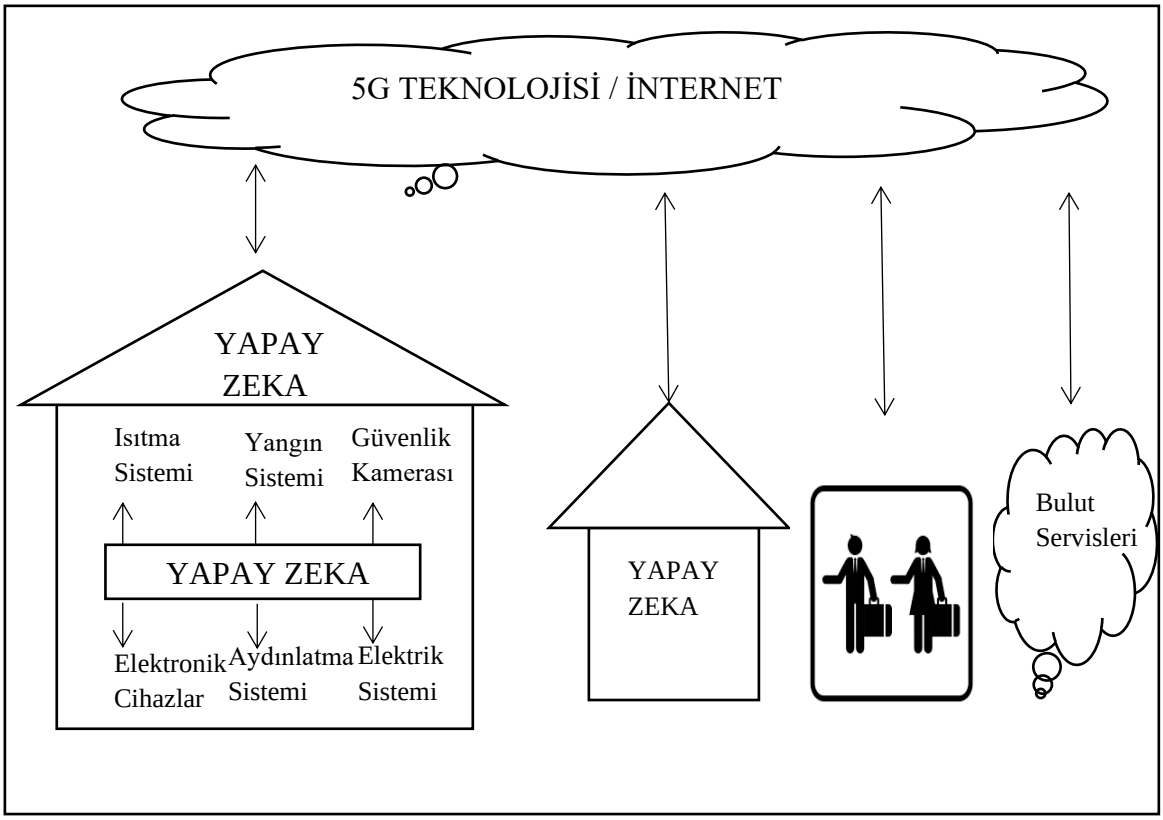
Görüldüğü gibi, BR teknolojisi 5G ana tasarım / uygulama problemlerini çözse bile, ticari bir forma doğru pek çok konu ele alınmaya devam etmektedir.

2.6 5G Tabanlı BR'de Akıllı Şehir Perspektifi

Akıllı bir şehir ağı, nesnelerin interneti (internet of things) ve nesnelerin bulutu (cloud of things) teknolojileriyle birbirine bağlanmış birkaç akıllı ev ağı (smart home network) içeren farklı bit destekli iletişim altyapısını kapsar. Akıllı ev ağları, nesnelerin internetinin akıllı aydınlatma, ısıtma, güvenlik ve eğlence sistemleri gibi hizmetleriyle donatılmış akıllı evlerin bir birleşimidir. Bu nesnelerin interneti cihazları akıllı ev ağları

ile birbirine bağlanır. Farklı akıllı ev ağlarının internet bulut hizmetleriyle birbirlerine bağlanması kapsamlı bir sanal akıllı şehir ağı veya nesnelerin bulut ağını oluşturur. Bu nesnelerin bulutu ağı akıllı evleri birbirine bağlar. Bunu, akıllı evlerde nesnelerin interneti tarafından üretilen büyük verileri kullanarak gerçekleştirir. Akıllı şehir hizmetleri karmaşıktır ve bu nedenle gelişmiş bir akıllı ev ağı ya da akıllı şehir ağı çözümü oluşturmak için karşılaştırmalı nitelikleri sunabilmelidir. Bu nitelikler arasında birkaç ağ alt yapısı öğesini birbirine bağlayabilme, akıllı evler için büyük veri toplama bireye ve topluma bir bütün olarak diğer karmaşık akıllı ev hizmetlerinin sunulması sayılabilir. Diğerleri ise, akıllı şehirdeki mevcut taşınabilir ve sabit iletişim altyapılarıyla uyumluluk akıllı evler biçiminde yeni akıllı şehir üyelerini ekleme kolaylaştırma ve ölçeklendirme kolaylığı açısından ölçeklenebilirliği dağıtılmış bir sisteme hizmet vermek olarak sayılabilir. Tüm bilgilere ve bulut sunucularındaki büyük verilere (Big Data) ulaşabilmesi aynı kriter kategorisine giriyor.

Akıllı ev ağlarında gömülü nesnelerin interneti cihazlarının büyük miktarda bilgi üretmesi gerekir. Bu bilginin akıllı şehir nesnelerin bulutu servisleri tarafından saklanması ve işlenmesi gerekir. BR teknolojisi çeşitli kablosuz iletişim zorluklarına bir çözüm öneriyor. Birincisi BR'deki kullanıcılar farklı telsiz ağlara bağlanabilir ve bu ağlar arasında sorunsuz bir şekilde hareket edebilir. İkincisi 5G tarafından sunulan farklı bit hızlarını destekleyebilir. BR'ler, akıllı bir şehrin tüm alt yapı bileşenlerini çoklu atama ağları aracılığıyla birbirine bağlama yeteneğine sahiptir. Ayrıca akıllı ev ağlarında büyük verileri iletmek için gereken yüksek bit hızlarını elde etmek amacıyla fırsatçı spektrum dağılımını kullanarak bant genişliğini dinamik olarak ayarlayabilir (Eberechukwu Paulson, 2017).



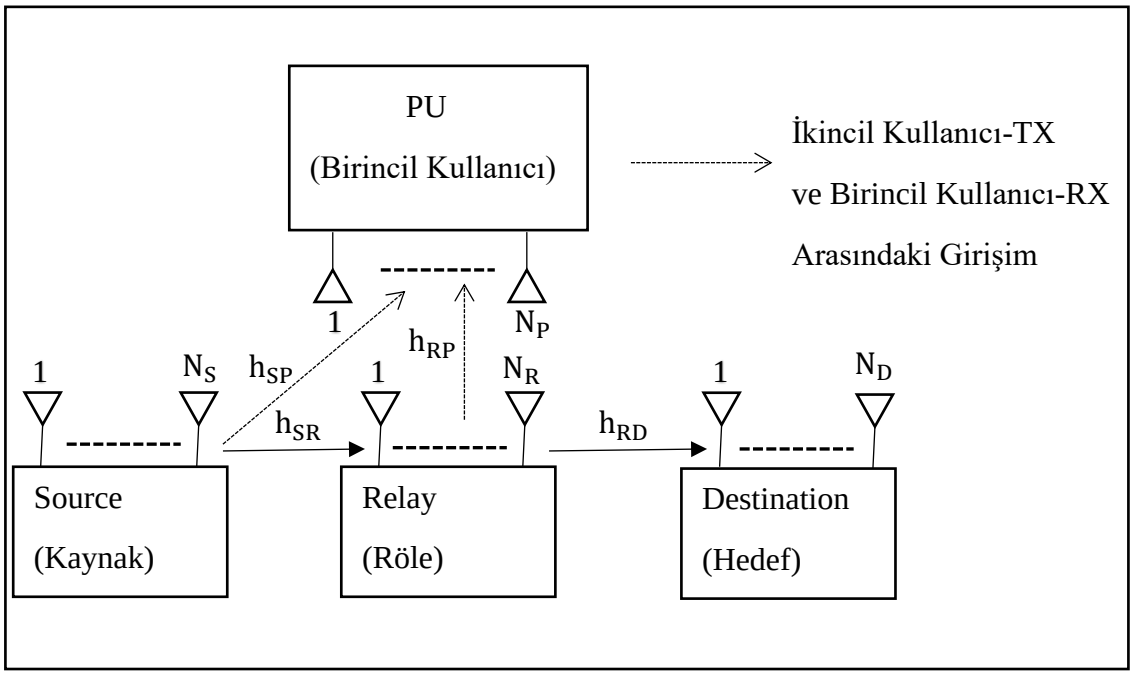
Şekil 4 - Akıllı şehir ağı alt yapısı *(Eberechukwu Paulson, 2017)*.

BÖLÜM 3. ÇOK GİRİŞLİ ÇOK ÇIKIŞLI KANALDA TEK GİRİŞLİ ÇOK ÇIKIŞLI KANALDA ANTEN SEÇİMİ YAPAN VE ÇOK RÖLELİ AĞLARDA RÖLE SEÇİMİ YAPAN BİLİŞSEL RADYO

3.1 Çok Girişli Çok Çıkışlı ve Röleli Kanalda Anten Seçimi

Bu çalışmada çok girişli çok çıkışlı kanalda anten seçimi yapan işbirlikçi sistem yapısı incelenmiştir. İşbirlikli sistemlerde çöz ve ilet (decode and forward, DF) ile kuvvetlendir ve ilet (amplify and forward, AF) kullanılan aktarma yöntemlerinden başlıcalarıdır. AF aktarma yöntemi kaynaktan gönderilen sinyalin kuvvetlendirilerek iletilmesi esasına dayanır. Röledeki gürültü bileşeninin de kuvvetlendirilip hedefe gönderiliyor olması bu yöntemde karşılaşılan esas problemdir. DF aktarma yönteminin temel prensibi ise, kaynaktan gönderilen sinyalin rölede çözülüp tekrar hedefe gönderilmesi esasına dayanır. DF tabanlı iletim sistemlerinde karşılaşılan problemler arasında kaynak ile röle arasındaki kanalın bozucu etkiler nedeniyle rölede sezim hatalarının oluşması ve röleden hedefe hatalı iletimin gerçekleşmesidir. Rölenin verileri sezme esnasında yapacağı hatalar kaynak ile hedef ve röle ile hedef ağlarından alınan sinyallerin birleştirilmesi işleminden sonra hedefteki etkin işaret gürültü oranının (signal to noise ratio, SNR) değerinin ciddi bir şekilde azalmasına sebep olur. Bu olaya hata yayılımı denir ve bundan dolayı uçtan uca bit hata olasılığı (bit error rate, BER) başarımında sınırlama ve çeşitleme kazancı düşüşleri gerçekleşir (Erdoğan Aydın, 2014). Bilişsel ağlarda anten seçiminde şu parametreler incelenecektir;

Sistem modelinde, S kaynak (Source), D hedef (destination), PU birinci kullanıcı (primary user). N_D, hedefteki anten sayısı. N_S, kaynaktaki anten sayısı. R, Röle ve N_R, röledeki anten sayısıdır.



Şekil 5 - Anten seçimi ve bilişsel spektrum paylaşımı blok diyagramı *(Eylem Erdoğan, 5 Mayıs 2017)*.

k'ıncı kaynak ($1 \leq k \leq N_S$) ve j'inci ($1 \leq j \leq N_R$) antende alınan sinyal şu şekilde ifade edilir;

$$y_r = \sqrt{P_S} h_{S,R}^{(k,j)} x_s + n_r. \quad (1)$$

İkinci zaman diliminde röle alınan sinyali kazanç (G) değeri katında yükseltir. Güçlendirilen sinyal hedef üzerinden seçilen j'inci ve l'inci ($1 \leq l \leq N_D$) antenlere iletilir. Hedefte alınan sinyal şu şekilde ifade edilir (Eylem Erdoğan, 5 Mayıs 2017).

$$y_d = \sqrt{P_R} h_{R,D}^{(j,l)} G y_r + n_d. \quad (2)$$

$h_{S,R}^{(k,j)} \sim CN(0, \sigma^2{}_{S,R}^{(k,j)})$ ve $h_{R,D}^{(j,l)} \sim CN(0, \sigma^2{}_{R,D}^{(j,l)})$ sırasıyla $S \rightarrow R$ ve $R \rightarrow D$ yolları arasında seçilen kanallardır ve $n_r, n_d \sim CN(0, N_0)$'de beyaz gauss gürültüsünü temsil eder. Tüm yolların mükemmel olduğunu varsaydığımızda, kazanç değerini aşağıdaki denklemle elde edebiliriz.

$$G = \sqrt{P_R / (P_S |h_{S,R}^{(k,j)}|^2) + N_0}. \quad (3)$$

$P_S = \min\{\frac{Q_P}{|h_{S,P}^{(k,p)}|^2}, P_{max}\}$ ve $P_S = \min\{\frac{Q_P}{|h_{R,P}^{(j,p)}|^2}, P_{max}\}$ P_{max}, mevcut ağda toplam iletilen güç $h_{S,P}^{(k,p)} \sim CN(0, \sigma^2{}_{S,P}^{(k,p)})$ ve $h_{R,P}^{(j,p)} \sim CN(0, \sigma^2{}_{R,P}^{(j,p)})$ sırasıyla S → P ve R→P yolları arasındaki kanallardır.

Uçtan uca SNR değeri, $\gamma_{uu} = \frac{\gamma_{S,R}\gamma_{R,D}}{\gamma_{S,R}+\gamma_{R,D}+1}$ olarak hesaplanır ve en iyi anten seçimi için maksimum SNR değeri baz alınır. Kaynak ile röle arasındaki SNR değerini aşağıdaki denklemle elde ediyoruz (Eylem Erdoğan, 5 Mayıs 2017).

$$\gamma_{S,R} = \min\{\frac{\bar{Q}_p}{\max\limits_{\substack{1 \le k \le N_S \\ 1 \le p \le N_P}} |h_{S,P}^{(k,p)}|^2}, \bar{P}_{max}\} \max_{\substack{1 \le k \le N_S \\ 1 \le j \le N_P}} |h_{S,R}^{(k,j)}|^2. \quad (4)$$

Röle ile hedef arasındaki SNR değerini ise aşağıdaki denklem ile elde ediyoruz.

$$\gamma_{R,D} = \min\{\frac{\bar{Q}_p}{\max\limits_{\substack{1 \le j \le N_R \\ 1 \le p \le N_P}} |h_{S,P}^{(k,p)}|^2}, \bar{P}_{max}\} \max_{\substack{1 \le j \le N_R \\ 1 \le l \le N_D}} |h_{R,D}^{(j,l)}|^2. \quad (5)$$

$\bar{Q}_p = Q_P / N_0$ ve $\bar{P}_{max} = P_{max} / N_0$ $\gamma_{S,R}$ ve $\gamma_{R,D}$ teorik olarak karmaşık olduğu için SNR istatistiklerini elde etmek mümkün olmayacaktır. Böylelikle biz analizleri kolaylaştırmak için bilinen üst sınırları kullanıyoruz (Eylem Erdoğan, 5 Mayıs 2017).

$$\gamma_{uu} \le \gamma_{üs} = \min(\gamma_{S,R}, \gamma_{R,D}). \quad (6)$$

Orta ve yüksek SNR değerlerinde bu yaklaşımın doğru olduğunu not etmemiz önemlidir.

3.1.1 Başarım analizi

Bu bölümde kesinti olasılığı ve hata olasılığı açısından BR'nin başarımını değerlendiriyoruz.

Denklem (6)'yı kullanarak en büyük SNR değerinin yani $\gamma_{üs}$ 'ün CDF ifadesini aşağıdaki denklemle elde ederiz.

$$F_{\gamma_{üs}}(\gamma) = P_r[\min(\gamma_{S,R}, \gamma_{R,D})] = F_{\gamma_{S,R}}(\gamma) + F_{\gamma_{R,D}}(\gamma) - F_{\gamma_{S,R}}(\gamma)F_{\gamma_{R,D}}(\gamma) \quad (7)$$

Denklem (7)'yi kullanarak kaynak ile röle arasındaki SNR değerinin CDF ifadesini $F_{\gamma_{S,R}}(\gamma)$ aşağıdaki eşitlikle elde edebiliriz (Eylem Erdoğan, 5 Mayıs 2017).

$$F_{\gamma_{S,R}}(\gamma) = F_{\left|h_{S,P}^{(k,p)}\right|^2}\left(\frac{\bar{Q}_p}{\bar{P}_{max}}\right) F_{\left|h_{S,R}^{(k,j)}\right|^2}\left(\frac{\gamma}{\bar{P}_{max}}\right) + \int_{\frac{\bar{Q}_p}{\bar{P}_{max}}}^{\infty} F_{\left|h_{S,R}^{(k,j)}\right|^2}\left(\frac{x\gamma}{\eta_{S,R}}\right) f_{\left|h_{S,P}^{(k,p)}\right|^2}(x)dx. \quad (8)$$

Binom açılımı kullanarak $F_{\left|h_{S,R}^{(k,j)}\right|^2}(x)$ ve $f_{\left|h_{S,P}^{(k,p)}\right|^2}(x)$ eşitliklerini aşağıdaki denklemle elde ederiz.

$$F_{\left|h_{S,R}^{(k,j)}\right|^2}(x) = \sum_{t=0}^{N_S N_R - 1} \binom{N_S N_R}{t} (-1)^t e^{-tx} \text{ ve}$$

$$f_{\left|h_{S,P}^{(k,p)}\right|^2}(x) = N_S N_P \sum_{m=0}^{N_S N_P - 1} \binom{N_S N_P - 1}{m} (-1)^m e^{-(m+1)x}. \quad (9)$$

Kaynak röle arasındaki ve röle hedef arasındaki gürültüyü aşağıdaki denklemle elde ederiz.

$$\eta_{S,R} = \bar{Q}_p \sigma^2_{S,R}^{(k,j)} / \sigma^2_{S,P}^{(k,p)} \text{ ve } \eta_{R,D} = \bar{Q}_p \sigma^2_{R,D}^{(j,l)} / \sigma^2_{R,P}^{(j,p)}. \quad (10)$$

Denklem (7)'de $F_{\gamma_{S,R}}(\gamma)$ ve $F_{\gamma_{R,D}}(\gamma)$ yerine koyarak en büyük SNR değerinin CDF ifadesini $F_{\gamma_{üs}}(\gamma)$ elde edebiliriz.

Böylece R veri oranını göstermek üzere kesinti olasılığını aşağıdaki formülle buluruz (Eylem Erdoğan, 5 Mayıs 2017).

$$P_{çıkış} = F_{\gamma_{üs}}(2^{2R} - 1). \quad (11)$$

3.1.2 Ortalama hata olasılığı

Ortalama hata olasılığı telsiz iletişimde önemli bir başarım göstergesidir ve uçtan uca SNR 'ın CDF ifadesi aşağıdaki gibidir (Eylem Erdoğan, 5 Mayıs 2017).

$$P_S(e) = \frac{a\sqrt{b}}{2\sqrt{\pi}} \int_0^{\infty} \gamma^{-\frac{1}{2}} e^{-b\gamma} F_{\gamma_{üs}}(\gamma) d\gamma. \quad (12)$$

a ve b modülasyon katsayısını belirtir. Yukarıdaki integrali çözebilmemiz için $\gamma_{üs}$'in CDF ifadesine ihtiyacımız vardır ve denklemi aşağıdaki formülle elde ederiz (Eylem Erdoğan, 5 Mayıs 2017).

$$F_{\gamma_{üs}}(\gamma) \approx F_{\gamma_{S,R}}(\gamma) + F_{\gamma_{R,D}}(\gamma) . \quad (13)$$

Burada,

$$F_{\gamma_{S,R}}(\gamma)=\sum_{t=0}^{N_S N_R}\sum_{m=0}^{N_S N_P}\binom{N_S N_R}{t}\binom{N_S N_P}{m}(-1)^{t+m}e^{-\frac{m\bar{Q}_p+t\gamma}{\bar{P}_{max}}}$$

$$+\ N_S N_P\sum_{t=0}^{N_S N_R}\sum_{m=0}^{N_S N_P}\binom{N_S N_R}{t}\binom{N_S N_P-1}{m}(-1)^{t+m}\left(\frac{e^{-\frac{\bar{Q}_p}{\bar{P}_{max}}(1+m+\frac{t\gamma}{\eta_{S,R}})}}{1+m+\frac{t\gamma}{\eta_{S,R}}}\right), \qquad (14)$$

(Eylem Erdoğan, 5 Mayıs 2017)

olarak ifade edilir. Basit bir hata olasılığı ifade etmek için S ve R'nin güç limitinin olmadığını yani $P_{max}=\infty$ varsayıyoruz. Bu varsayım altında hata olasılığını denklem (15) ve (16)'daki eşitliklerle bulabiliriz.

$$P_S(e) = A+\frac{a\sqrt{b}}{2\sqrt{\pi}}\{\ N_S N_P\sum_{t=1}^{N_S N_R}\sum_{m=0}^{N_S N_P-1}\binom{N_S N_R}{t}\binom{N_S N_P-1}{m}(-1)^{t+m}\left(\frac{\eta_{S,R}}{t}\right)^{\frac{1}{2}}e^{\frac{b\eta_{S,R}(m+1)}{t}}$$

$$\times\int_{m+1}^{\infty}e^{\frac{-b\eta_{S,R}\psi_{S,R}}{t}}\ \psi_{S,R}^{-1}(\psi_{S,R}-m-1)^{\frac{-1}{2}}d\psi_{S,R}$$

$$+N_R N_P\sum_{t=1}^{N_R N_D}\sum_{m=0}^{N_S N_P-1}\binom{N_R N_D}{t}\binom{N_R N_P-1}{m}(-1)^{t+m}\left(\frac{\eta_{R,D}}{t}\right)^{\frac{1}{2}}e^{\frac{b\eta_{R,D}(m+1)}{t}}$$

$$\times\int_{m+1}^{\infty}e^{\frac{-b\eta_{R,D}\psi_{R,D}}{t}}\ \psi_{R,D}^{-1}(\psi_{R,D}-m-1)^{\frac{-1}{2}}d\psi_{R,D}\ \}. \qquad (15)$$

(Eylem Erdoğan, 5 Mayıs 2017)

$$P_S(e)= A+\frac{a}{2}\{\ N_S\sum_{t=1}^{N_S N_R}\sum_{m=0}^{N_S-1}\binom{N_S N_R}{t}\binom{N_S-1}{m}(-1)^{t+m}\left(\frac{b\eta_{S,R}}{t}\right)^{\frac{1}{4}}$$

$$e^{\frac{b\eta_{S,R}(m+1)}{2t}}(m+1)^{\frac{-3}{4}}W_{\frac{-1}{4},\frac{1}{4}}\left(\frac{b\eta_{S,R}(m+1)}{t}\right)$$

$$+N_R\sum_{t=1}^{N_R N_D}\sum_{m=0}^{N_R-1}\binom{N_R N_D}{t}\binom{N_R-1}{m}(-1)^{t+m}\left(\frac{b\eta_{R,D}}{t}\right)^{\frac{1}{4}}$$

$$\times e^{\frac{b\eta_{R,D}(m+1)}{2t}}(m+1)^{\frac{-3}{4}}W_{\frac{-1}{4},\frac{1}{4}}\left(\frac{b\eta_{R,D}(m+1)}{t}\right)\}.$$

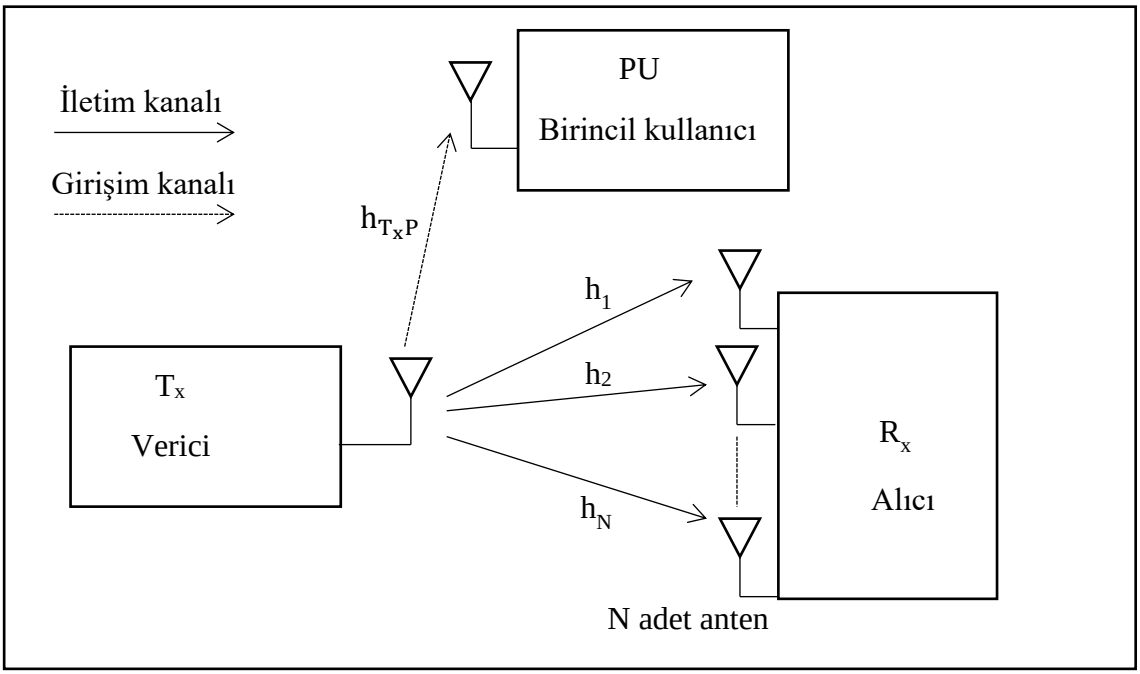
(16)

Burada, $W_{(.,.)}(.)$ Whittaker fonksiyonu anlamına gelir (Eylem Erdoğan, 5 Mayıs 2017).

İntegraldeki değişkenler; $\psi_{S,R}=1+m+\frac{t\gamma}{\eta_{S,R}}$ ve $\psi_{S,R}=1+m+\frac{t\gamma}{\eta_{S,R}}$, (15)'da göstgerildiği gibi hata olasılığı olarak açıklanabilir.

3.2 Tek Girişli Çok Çıkışlı Kanalda Anten Seçimi Yapan Bilişsel Radyo

Bu bölümde tek girişli çok çıkışlı kanalda anten seçimi yapan bilişsel radyo haberleşmesi incelenmiştir. Aşağıdaki diyagramda verici, birincil kullanıcı, alıcı, iletim ve girişim kanalları verilmiştir.



Şekil 6 - Tek girişli çok çıkışlı kanalda anten seçimi

i'inci kanalda SNR değeri aşağıdaki eşitlikle elde edilir. Burada $\sigma_N{}^2$, gürültü varyansı, h_i, kanal, P_s ise kaynakta üretilen gücü temsil eder. i =1,2…., N

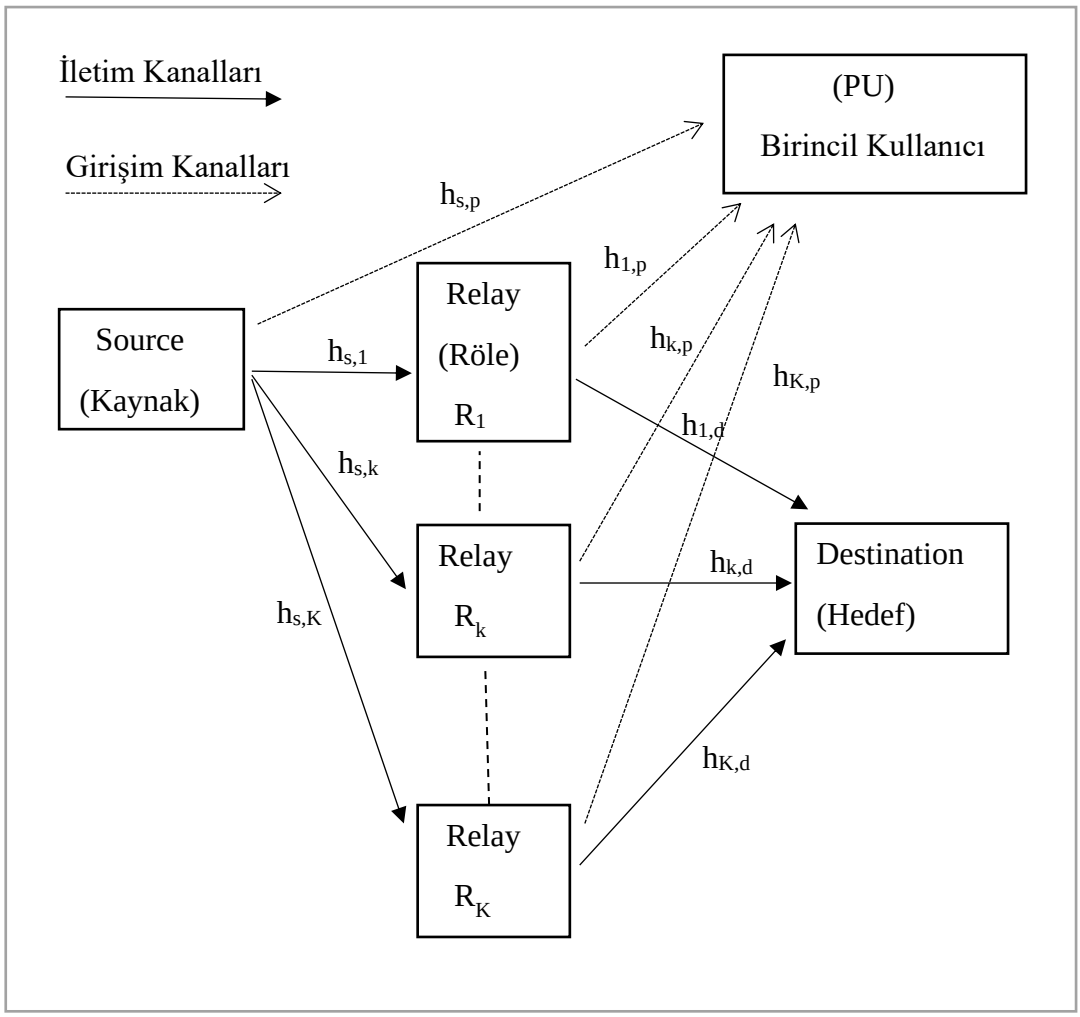
$$\gamma_i = \mathrm{SNR}_i = P_s \frac{|h_i|^2}{\sigma_N{}^2}. \tag{17}$$

Kaynakta üretilen gücü aşağıdaki formülle ifade ediyoruz. Burada Q_p, ikincil system verici gücüdür.

$$P_s = \min \{\frac{Q_p}{|h_p|^2}, P_{max}\}. \tag{18}$$

Sonuç olarak en iyi anten seçimine ait en iyi SNR değeri $\gamma_{\text{en } iyi} = \max_{0 \le i \le N}(\gamma_i)$ ifadesi yardımıyla bulunur.

3.3 Çok Röleli Ağlarda Röle Seçimi Yapan Bilişsel Radyo



Şekil 7 - Çok röleli bilişsel ağ sistem modeli *(Vo Nguyen Quoc Bao, 2013)*.

Burada $h_{S,P}$, S→P arasındaki kanalı göstermek üzere S'deki iletim gücü $P_S = \frac{Q_p}{|h_{S,P}|^2}$ eşitliği ile bulunur.

k'ıncı rölede iletilen güç $P_{R_k} = \frac{Q_p}{|h_{k,p}|^2}$ eşitliği kullanılarak bulunabilir.

k'ıncı hedeften alınan sinyal ise aşağıdaki eşitlikle bulunur (Vo Nguyen Quoc Bao, 2013):

$$y_{D_k} = \sqrt{P_S}.\, G_k h_{k,D} h_{S,k}.\, x_S + G_k h_{k,D} n_{R_k} + n_{D_k}. \quad (19)$$

Burada sırasıyla $h_{s,k}$, S→ R_k arasındaki ve $h_{k,d}$, R_k → D arasındaki kanalı gösterir.

Burada n_{R_k} ve n_{D_k}, sırasıyla k'ıncı röledeki ve hedefteki beyaz gauss gürültüsünü gösterir.

Kazanç aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$1/G_k^2 = |h_{k,p}|^2 \left(\frac{|h_{S,P}|^2}{|h_{S,P}|^2} + \frac{N_0}{Q_p}\right). \quad (20)$$

Böylece $S \rightarrow R_k \rightarrow D$ linkinin SNR' ını aşağıdaki ifadeyle buluruz.

$$\gamma_k = \frac{\frac{\overline{\gamma}|h_{S,k}|^2}{|h_{S,P}|^2}\frac{\overline{\gamma}|h_{k,D}|^2}{|h_{k,P}|^2}}{\frac{\overline{\gamma}|h_{S,k}|^2}{|h_{S,P}|^2} + \frac{\overline{\gamma}|h_{k,D}|^2}{|h_{k,P}|^2} + 1} = \frac{\frac{X_{1k}}{Y}X_{2k}}{\frac{X_{1k}}{Y} + X_{2k} + 1}. \quad (21)$$

Burada $X_{1k} = \overline{\gamma}|h_{S,k}|^2$, $Y = |h_{S,P}|^2$, $X_{2k} = \frac{\overline{\gamma}|h_{k,D}|^2}{|h_{k,P}|^2}$ ve $\overline{\gamma} = \frac{Q_p}{N_0}$ olarak tanımlanmıştır.

En iyi röle seçimi en yüksek γ_k değerine sahip olanı bulmakla yapılır. Böylece D'de uçtan uca alınan SNR aşağıdaki ifade ile elde edilir (Vo Nguyen Quoc Bao, 2013).

$$\gamma_D = \max_{k=1,2,\ldots,K} \gamma_k \cong \gamma_{üs} = \max_{k=1,2,\ldots,K} \{\min\left(\underbrace{\frac{X_{1k}}{|h_{S,P}|^2}}_{\gamma_{1k}}, \underbrace{\frac{\overline{\gamma}|h_{k,D}|^2}{|h_{k,P}|^2}}_{\gamma_{2k}}\right)\}. \quad (22)$$

3.3.1 Başarım analizi

Başarım analizinde kesinti olasığı ve sembol hata olasılığı incelenecektir.

3.3.1.1 Kesinti olasılığı

Çıkış gücü, $P_{çıkış} = P_r(\gamma_D \leq \gamma_{th})$ ifadesinden bulunur. KO'nun değeri için γ_D'in CDF'ine ihtiyacımız vardır. En büyük SNR değerini aşağıdaki eşitlikle elde ediyoruz (Vo Nguyen Quoc Bao, 2013):

$$\gamma_{üs} = \max_{k \epsilon K} \gamma_k^{üs}, \quad \gamma_k^{üs} = \min(\gamma_{1k}, \gamma_{2k}). \quad (23)$$

En büyük SNR değeri olan $\gamma_{üs}$'nin CDF ifadesini aşağıdaki eşitlikle buluruz (Vo Nguyen Quoc Bao, 2013).

$$F_{\gamma_{üs}}(\gamma) = \prod_{k=1}^{K} F_{\gamma_k^{üs}}(\gamma). \quad (24)$$

Burada koşullu istatistikleri öncelikle S den P'ye sönümlemeli kanal üzerinde (fading canal) uygularız.

$h_{S,k}$, $h_{k,D}$ ve $h_{k,P}$, $\gamma_{üs}$'nin CDF'i koşullandırılmış $h_{S,P}$ şu şekilde ifade edilebilir;

$$F_{\gamma_{üs}}(\gamma|h_{S,P}) = \prod_{k=1}^{K} F_{\gamma_k{}^{üs}}(\gamma|h_{S,P}) \quad \text{(Vo Nguyen Quoc Bao, 2013)}$$

$$= \prod_{k=1}^{K}[1-(1-F_{\gamma_{1k}}(\gamma|h_{S,P}))(1-F_{\gamma_{2k}}(\gamma|h_{S,P}))]. \quad (25)$$

Ek olarak aşağıdaki CDF ifadelerini kolayca elde edebiliriz:

$$F_{\gamma_{1k}}(\gamma|h_{S,P})=1\text{-}e^{-\lambda_{1k}\gamma|h_{S,P}|^2}. \quad (26)$$

$$F_{\gamma_{2k}}(\gamma|h_{S,P})= \int_0^{\infty} F_{|h_{k,D}|^2}(\frac{\gamma}{\bar{\gamma}}x)\, f_{|h_{k,P}|^2}(x)dx = 1-(1+\lambda_{2k\gamma})^{-1}. \quad (27)$$

Burada $\lambda_{1k}= 1/(\Omega_{s,k}\bar{\gamma})$ ve $\lambda_{2k}=\Omega_{k,p}/(\Omega_{s,k}\bar{\gamma})$ olarak tanımlanmıştır. (Vo Nguyen Quoc Bao, 2013).

Denklem (25)'e (26) ve (27) denklemlerini uyguladığımızda aşağıdaki eşitliği elde ederiz:

$$\prod_{k=1}^{K}(1-x_k) = \sum_{k=0}^{K}\frac{(-1)^k}{k!}\sum_{n_1,\ldots,n_k}^{K}\prod_{t=1}^{k}x_{n_1}. \quad (28)$$

Yukarıdaki denklemden en büyük SNR değerinin CDF ifadesini aşağıdaki denklemle elde ederiz:

$$F_{\gamma_{üs}}(\gamma|h_{S,P}) = \sum_{k=0}^{K}\frac{(-1)^k}{k!}\sum_{n_1,\ldots,n_k}^{K}\prod_{t=1}^{k}\frac{\exp(-\lambda_{1n_1}\gamma|h_{S,P}|^2)}{1+\lambda_{2n_t}\gamma}. \quad (29)$$

Sonuç olarak KO aşağıdaki eşitlikle bulunur (Vo Nguyen Quoc Bao, 2013):

$$P_{çıkış} = \int_0^{\infty} F_{\gamma_{üs}}(\gamma_{th}|h_{S,P})\, f_{|h_{S,P}|^2}(y)dy$$

$$= \sum_{k=0}^{K}\frac{(-1)^k}{k!}x\sum_{n_1,\ldots,n_k}^{K}(\prod_{t=1}^{k}(1+\lambda_{2n_t}\gamma_{th})^{-1})\,(\frac{\lambda_{s,p}}{\lambda_{s,p}+\gamma_{th}\sum_{l=0}^{k}\lambda_{1n_1}}). \quad (30)$$

Burada $\lambda_{s,p}= 1/\Omega_{s,p}$ olarak tanımlanmıştır.

3.3.1.2 Sembol hata olasılığı

Genel olarak sembol hata olasılığı aşağıdaki denklemle elde ederiz (Vo Nguyen Quoc Bao, 2013):

$$P_{hata}= \frac{a\sqrt{b}}{2\sqrt{\pi}}\int_0^{\infty}\gamma^{-\frac{1}{2}}e^{-b\gamma}F_{\gamma_{üs}}(\gamma)d\,\gamma. \quad (31)$$

Burada $\gamma_{üs}$ için CDF ifadesini aşağıdaki formülle elde ederiz;

$$F_{\gamma_{üs}}(\gamma)= 1+\sum_{k=0}^{K}\frac{(-1)^k}{k!}\sum_{n_1,\ldots,n_k}^{K}\left[\frac{B}{1+\frac{\gamma}{\lambda_{s,p}}+\gamma_{th}\sum_{t=0}^{k}\lambda_{1n_1}}+\sum_{l=1}^{k}\frac{A_t}{1+\lambda_{2n_l}\gamma}\right]. \quad (32)$$

A_t ve B katsayıları aşağıdaki formüllerle elde edilir (Vo Nguyen Quoc Bao, 2013).

$$A_t = \lambda_{n_t}^{k}\left(\lambda_{2n_k}-\frac{1}{\lambda_{s,p}}\sum_{t=1}^{k}\lambda_{1n_t}\right)^{-1}\prod_{t=1,t\neq k}^{t}\left(\lambda_{2n_k}-\lambda_{2n_t}\right)^{-1}. \quad (33)$$

$$B=\left(\frac{\sum_{t=1}^{k}\lambda_{1n_t}}{\lambda_{s,p}}\right)^{k}\left[\prod_{t=1}^{k}\left(\frac{\sum_{t=1}^{k}\lambda_{1n_t}}{\lambda_{s,p}}-\lambda_{2n_t}\right)\right]^{-1}. \quad (34)$$

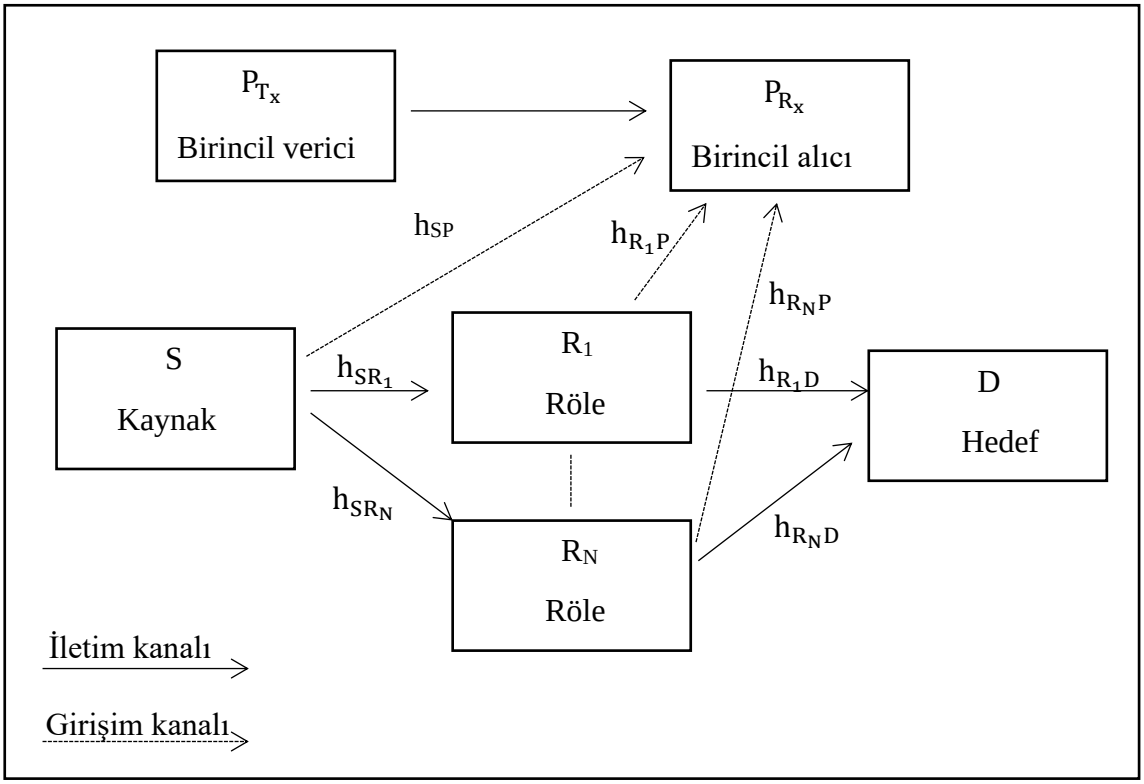
Sembol hata olasılığı için Rayleigh sönümlemesini aşağıdaki formülle elde ederiz (Vo Nguyen Quoc Bao, 2013):

$$P_{hata}\approx\frac{a}{2}+\frac{a\sqrt{b}}{2}\sum_{k=0}^{K}\frac{(-1)^k}{k!}\sum_{n_1,\ldots,n_k}^{K}\left[B\sqrt{\frac{\lambda_{s,p}}{\sum_{t=1}^{k}\lambda_{1n_t}}}\exp\left(\frac{b\lambda_{s,p}}{\sum_{t=1}^{k}\lambda_{1n_t}}\right)\operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{b\lambda_{s,p}}{\sum_{t=1}^{k}\lambda_{1n_t}}}\right)\right.$$

$$\left.+\sum_{t=1}^{k}\frac{A}{\sqrt{\lambda_{2n_t}}}\exp\left(\frac{b}{\lambda_{2n_l}}\right)\operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{b}{\lambda_{2n_l}}}\right)\right]. \quad (35)$$

Burada, erfc(.) tamamlayıcı hata fonksiyonunu temsil etmektedir.

Yaptığımız bu çalışmaları, Şekil 8'deki diyagram ve devamındaki işlemler ile çok röleli ağlarda röle seçimi yapan bilişsel radio ağları özetle tekrar anlatılmıştır.



Şekil 8 - İkincil sistemde röleli iletişim

Kaynaktan röleye iletilen sinyal aşağıdaki denklemle bulunur. Burada P_S, ikincil kullanıcının gücü, h_{SR}, kaynak röle arası iletim kanalı, x_S, kaynakta üretilen bilgiyi, n_R ise gürültüyü temsil eder ve i=1,2…N'dir.

$$Y_{SR_i} = \sqrt{P_S} \, . h_{SR_i} . x_S + n_i . \tag{36}$$

P_R, rölede üretilen gücü, P_S,ise ikincil kullanıcının gücünü göstermesiyle birlikte kazanç değeri aşağıdaki eşitlikle bulunur.

$$G^2 = \frac{P_{R_i}}{P_S \, |h_{SR_i}|^2} \, . \tag{37}$$

Röleden hedefe iletilen sinyal aşağıdaki denklemle bulunur. Burada n_R, röledeki gürültüyü, P_R, rölede üretilen gücü, h_{RD} ise röle ile hedef arasındaki iletim kanalını göstermektedir.

$$Y_{R_iD} = G . Y_{SR_i} = G . (\sqrt{P_S} . h_{SR_i} . x_S + n_{R_i}) . h_{R_iD} . P_{R_i} + n_D . \tag{38}$$

Hedefte alınan sinyal ifademiz denklem (39)'daki gösterilmiştir. h_{RD}, röle ile hedef arasındaki iletim kanalını, n_D ise hedefteki gürültüyü gösterir.

$$Y_D \cong \sqrt{P_S}.h_{R_iD}.\widehat{X_S} + n_D. \quad (39)$$

Kaynak röle ve röle hedef arasındaki SNR değerleri,

$$\gamma_1 = \min (\gamma_{SR_1}, \gamma_{R_1D})$$

$$\gamma_2 = \min (\gamma_{SR_2}, \gamma_{R_2D})$$

$$\vdots$$

$$\gamma_N = \min (\gamma_{SR_N}, \gamma_{R_ND}). \quad (40)$$

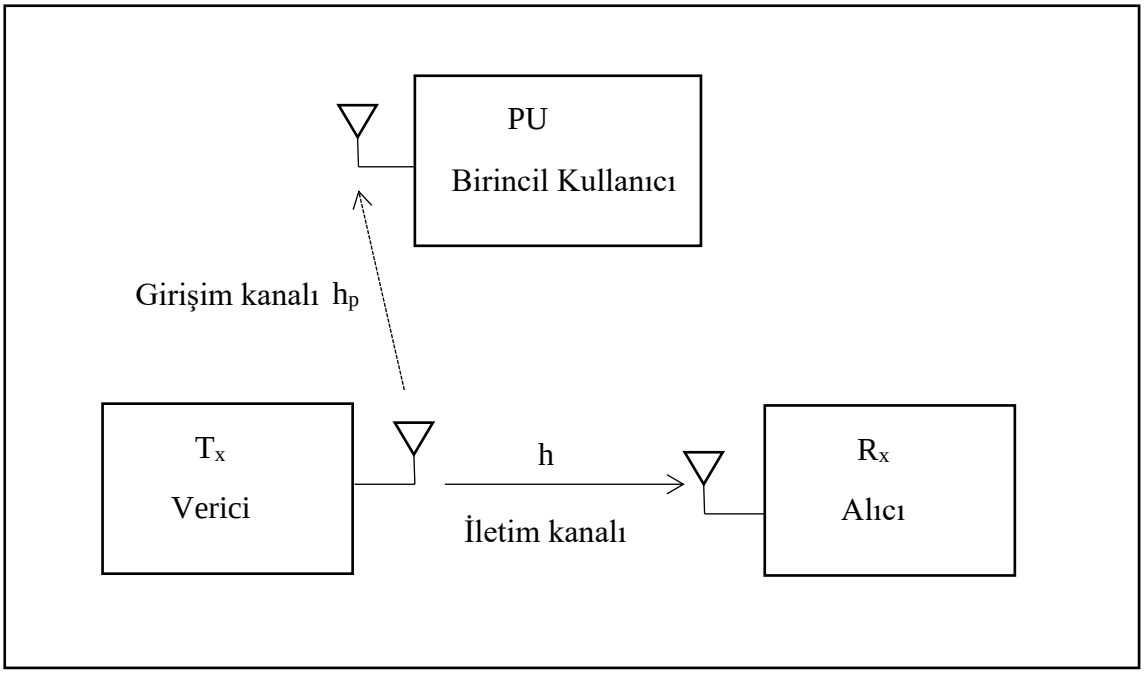
olarak yazılabilir.

Röle seçimi maksimum SNR, $\gamma = \max (\gamma_1 , \gamma_2 , \dots \gamma_N)$'a göre yapılır. Yani en büyük SNR değerini veren röle ideal röle olarak seçilir. Q_p, ikincil sistem verici gücü, h_{SR_i}, kaynakla i'inci röle arası iletim kanalı, h_{SP}, kaynakla birincil kullanıcı arasında girişim kanalını göstermek üzere kaynakta üretilen gücü, $P_S = \frac{Q_p}{|h_{SR_i}|^2}$, Rölede alınan gücü ise $P_{R_i} = \frac{Q_p}{|h_{SP}|^2}$ olarak hesaplarız.

Sırasıyla kaynak röle arası ve röle hedef arası SNR değerleri aşağıdaki eşitliklerle elde edilir.

$$\gamma_{SR_i} = \frac{Q_p}{|h_{SP}|^2} . \frac{|h_{SR_i}|^2}{\sigma_N{}^2} , \ \gamma_{RD} = \frac{Q_p}{|h_{R_iP}|^2} . \frac{|h_{R_iD}|^2}{\sigma_N{}^2}. \quad (41)$$

3.4 Tek Giriş Tek Çıkış Durumu için Kesinti ve Hata Olasılığı



Şekil 9 - Tek giriş tek çıkış durumu blok diagramı.

3.4.1 Kesinti olasılığı

Vericide üretilen güç aşağıdaki eşitlikle bulunur:

$$P_{T_x} = \lim_{P_{max}\to\infty} \min\left(\frac{Q_p}{|h_p|^2}, P_{max}\right), \tag{42}$$

$$F_{T_x,R_x}(\gamma_{th}) = 1 - \frac{1}{1+\frac{\gamma_{th}}{\bar{\gamma}}} \ . \tag{43}$$

Uçtan uca SNR'ın CDF ifadesi denklemini aşağıdaki eşitlikle elde ederiz:

$$F_{\gamma_{uu}}(\gamma) = F_{\gamma_{SR}}(\gamma) + F_{\gamma_{RD}}(\gamma) - F_{\gamma_{SR}}(\gamma).F_{\gamma_{RD}}(\gamma).$$

$$= 1 - \frac{1}{1+\frac{\gamma_{th}}{\bar{\gamma}_{SR}}} + 1 - \frac{1}{1+\frac{\gamma_{th}}{\bar{\gamma}_{RD}}} - \left(1 - \frac{1}{1+\frac{\gamma_{th}}{\bar{\gamma}_{SR}}}\right)\left(1 - \frac{1}{1+\frac{\gamma_{th}}{\bar{\gamma}_{RD}}}\right). \tag{44}$$

3.4.2 Hata olasılığı

Hata olasılığını bulmak için genel formülümüz (45)'deki denklemimizdir.

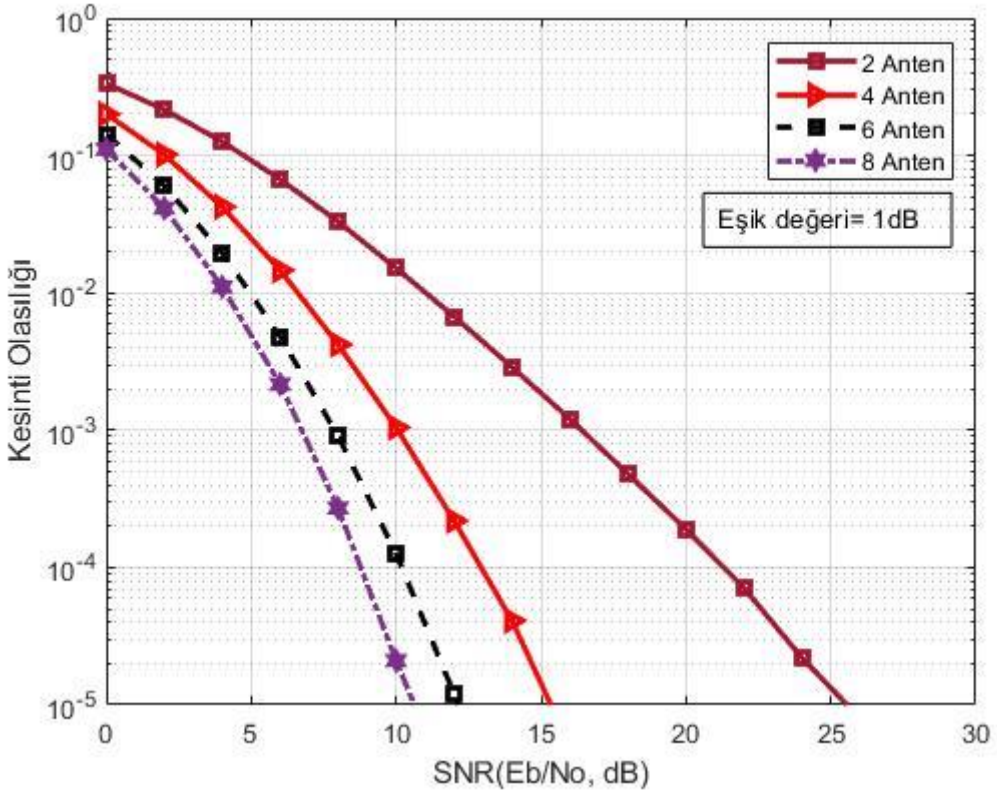
$$P_S(e) = \frac{a\sqrt{b}}{2\sqrt{\pi}} \int_0^\infty \gamma^{-\frac{1}{2}} e^{-b\gamma} F_\gamma(\gamma) d\gamma. \tag{45}$$

$F_\gamma(\gamma)=\left(1-\frac{1}{1+\frac{\gamma}{\bar{\gamma}}}\right)$ eşitliği denklemde yerine konulduğunda hata olasılığı bulunabilir.

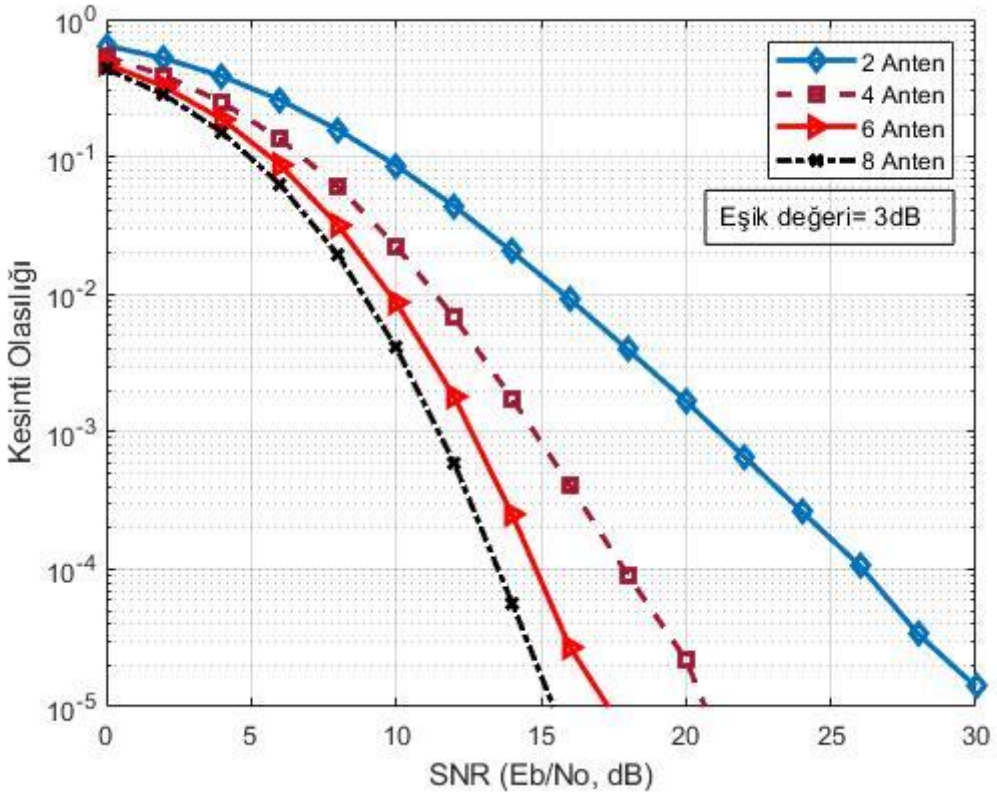
BÖLÜM 4. BENZETİM SONUÇLARI

4.1 Anten Seçimi Benzetim Sonuçları

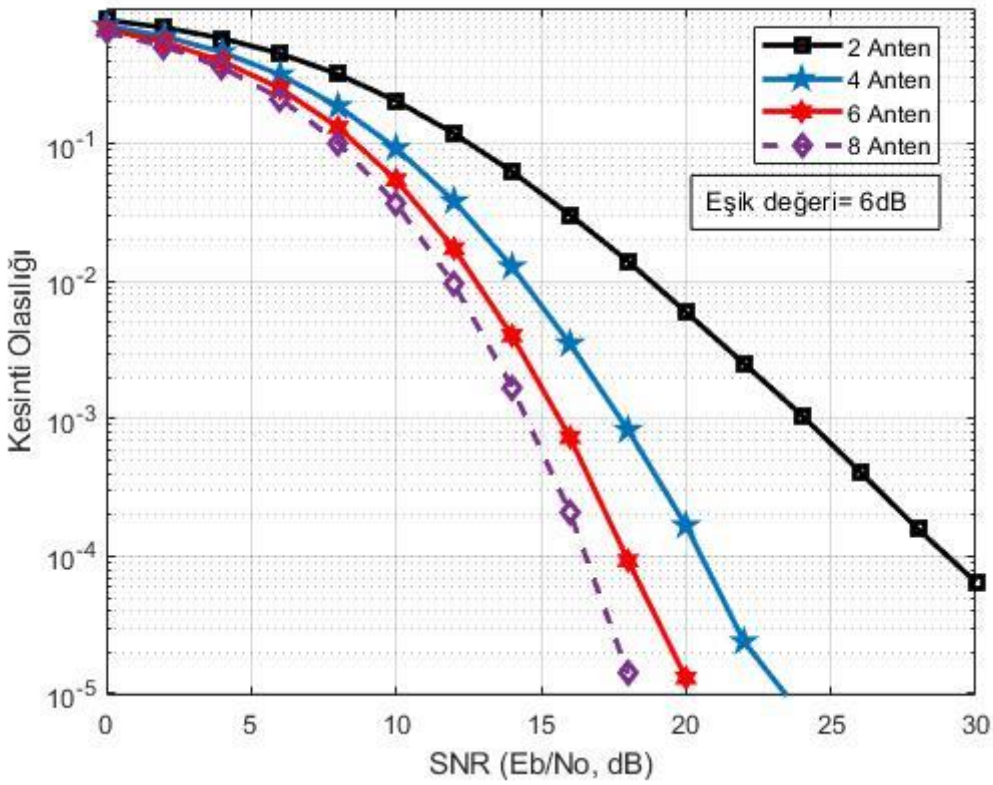
Şekil 10, Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13’ de farklı eşik değerleri için farklı anten sayılarına göre BER başarım eğrileri sunulmuştur. Eşik değerlerinin ve anten sayılarının artmasıyla sistemin BER başarımında iyileşme olduğu görülmüştür.



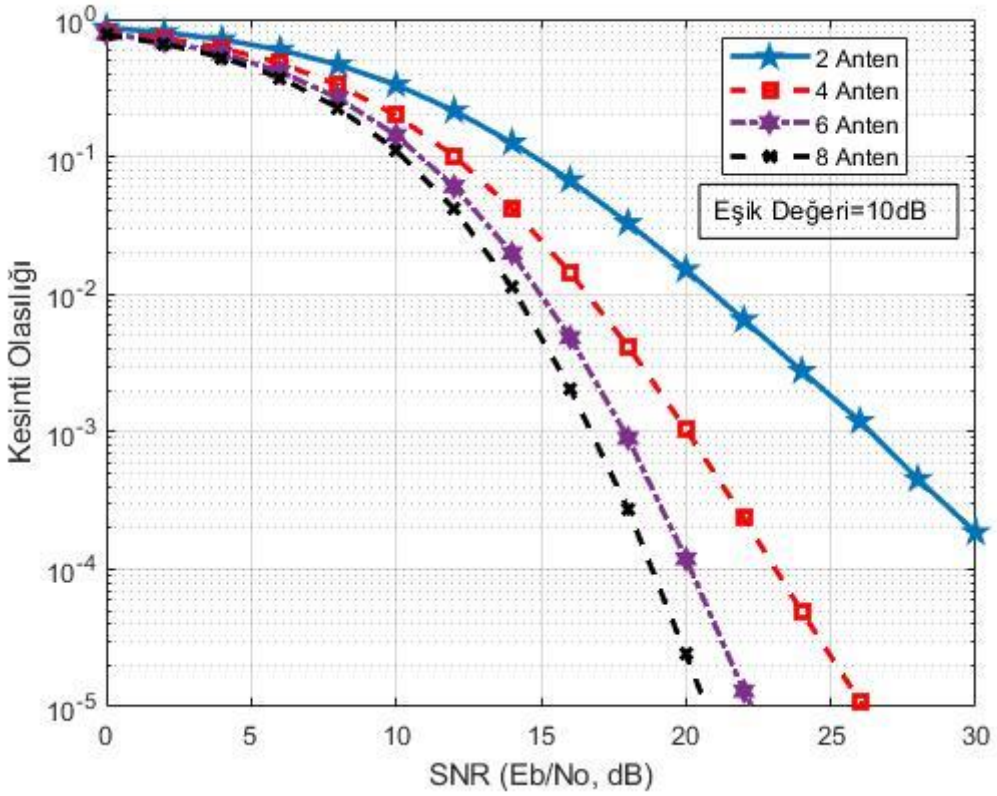
Şekil 10 – Eşik değeri =1dB için anten seçim grafiği



Şekil 11 – Eşik değeri =3dB için anten seçim grafiği



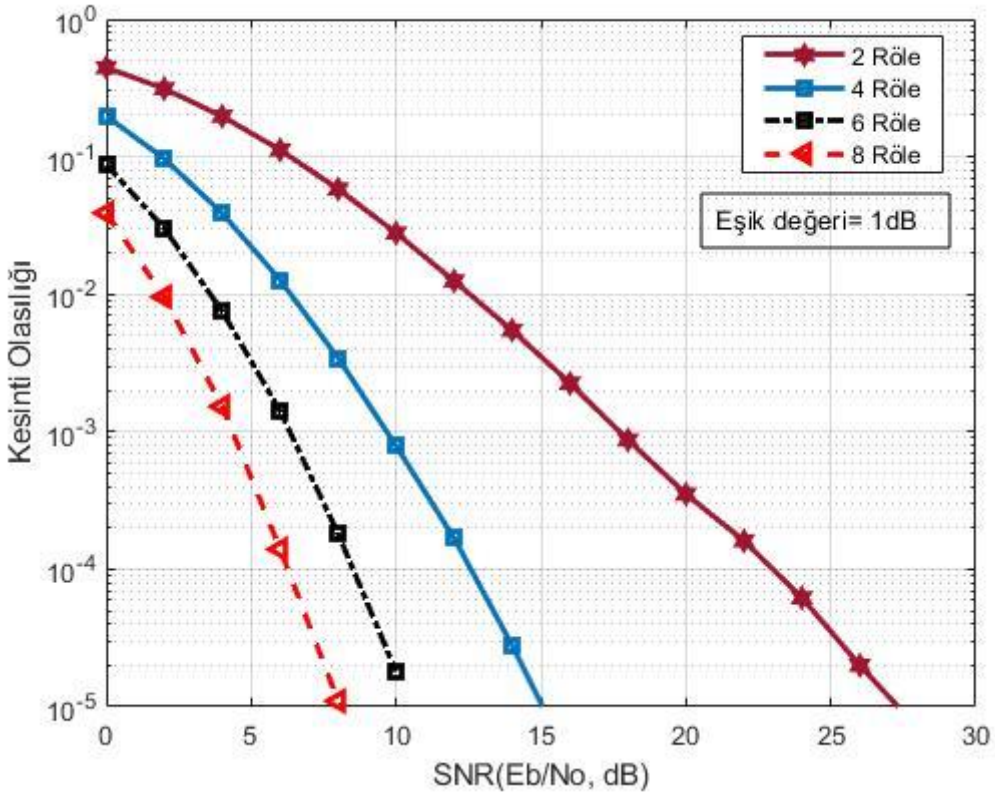
Şekil 12 – Eşik değeri =6dB için anten seçim grafiği



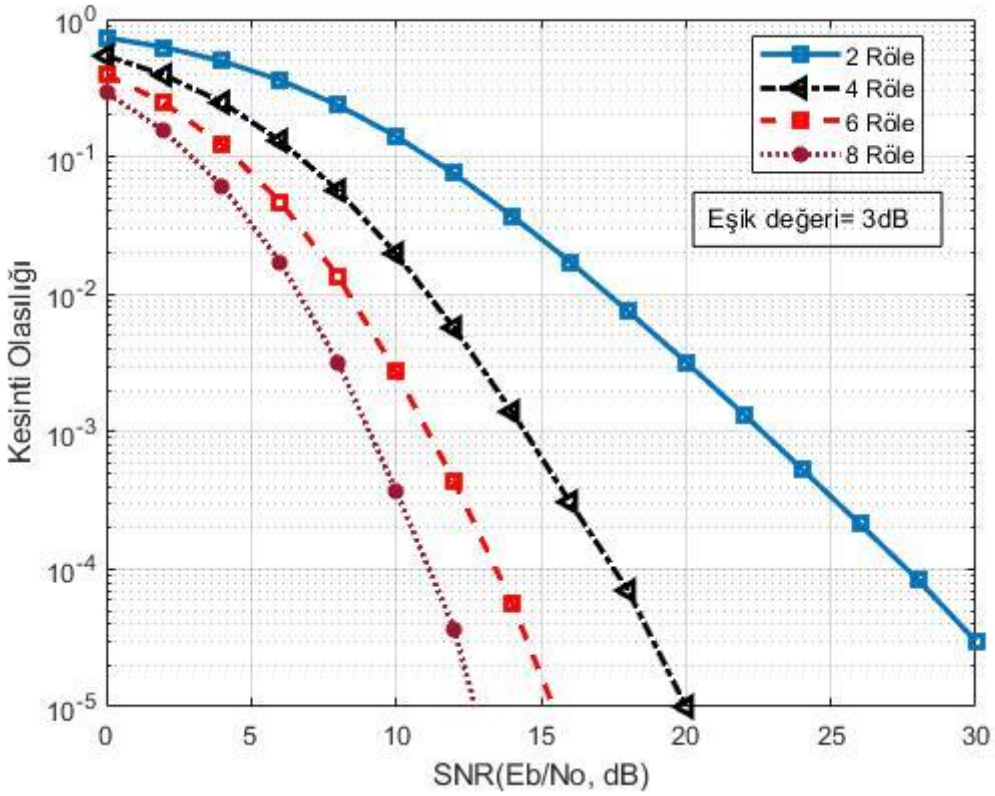
Şekil 13 – Eşik değeri =10dB için anten seçim grafiği

4.2 Röle Seçimi Benzetim Sonuçları

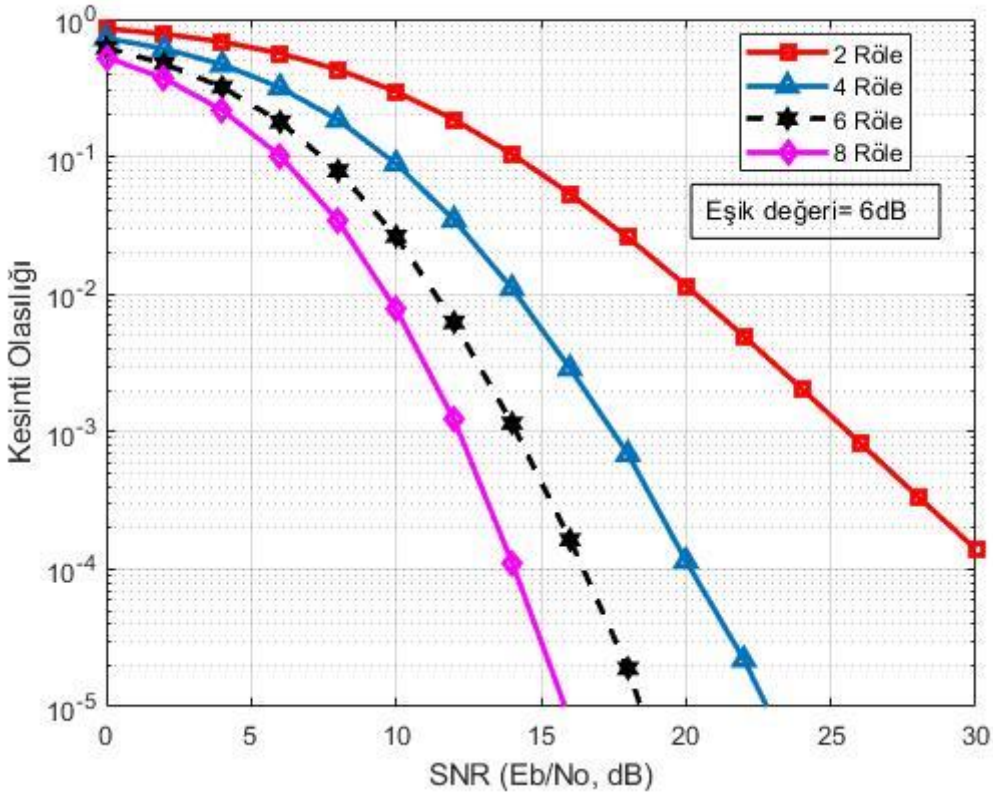
Bu çalışmada çok röleli ağlarda röle seçimi yapan BR incelenmiştir. Şekillerde artan eşik değeri ve röle sayısına göre kesinti başarımının arttığı gözükmektedir.



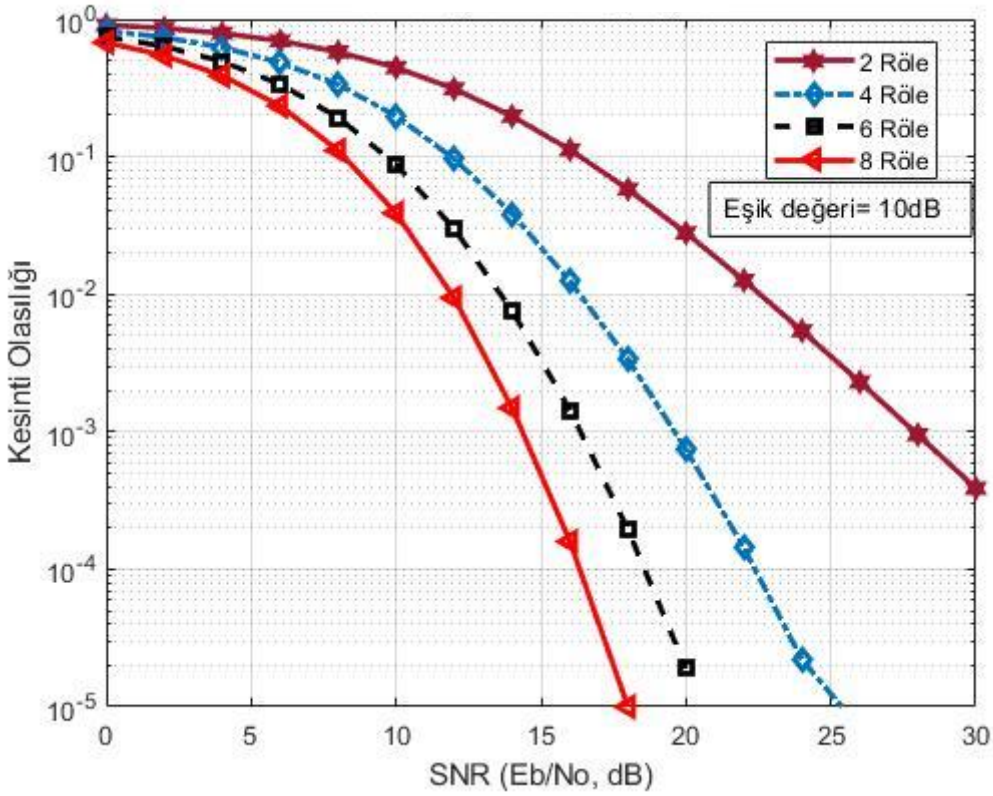
Şekil 14 – Eşik değeri =1dB için röle seçim grafiği



Şekil 15 – Eşik değeri =3dB için röle seçim grafiği



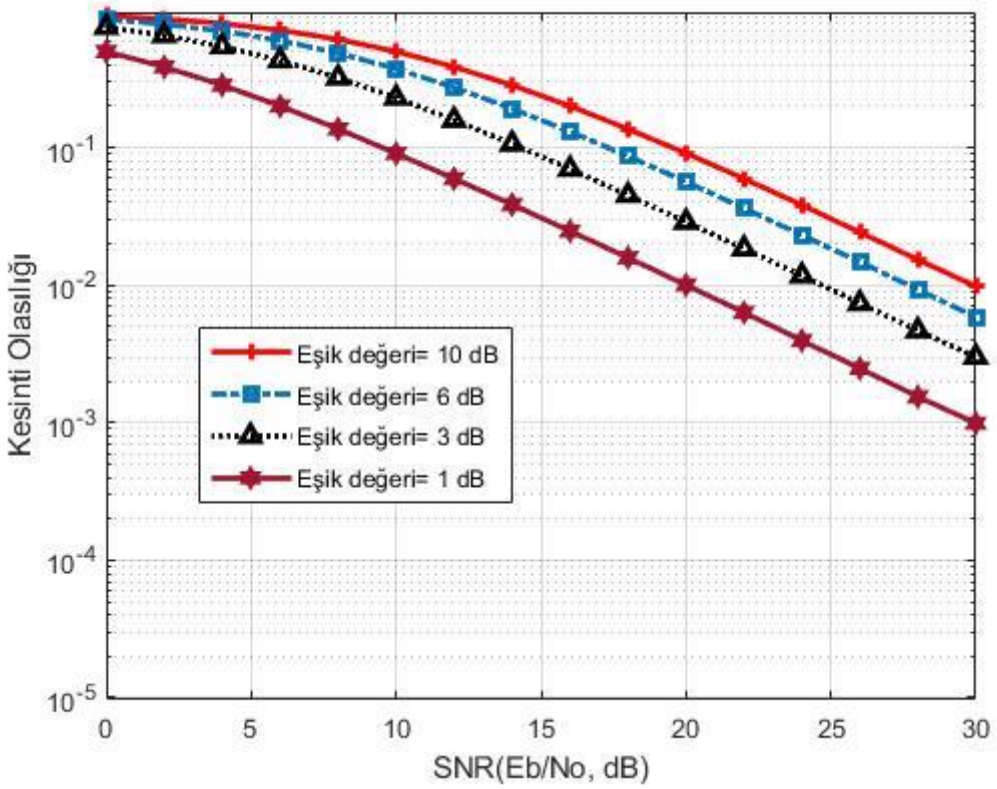
Şekil 16 – Eşik değeri =6dB için röle seçim grafiği



Şekil 17- Eşik değeri =10dB için röle seçim grafiği

4.3 Kesinti Olasılığı Benzetim Sonuçları

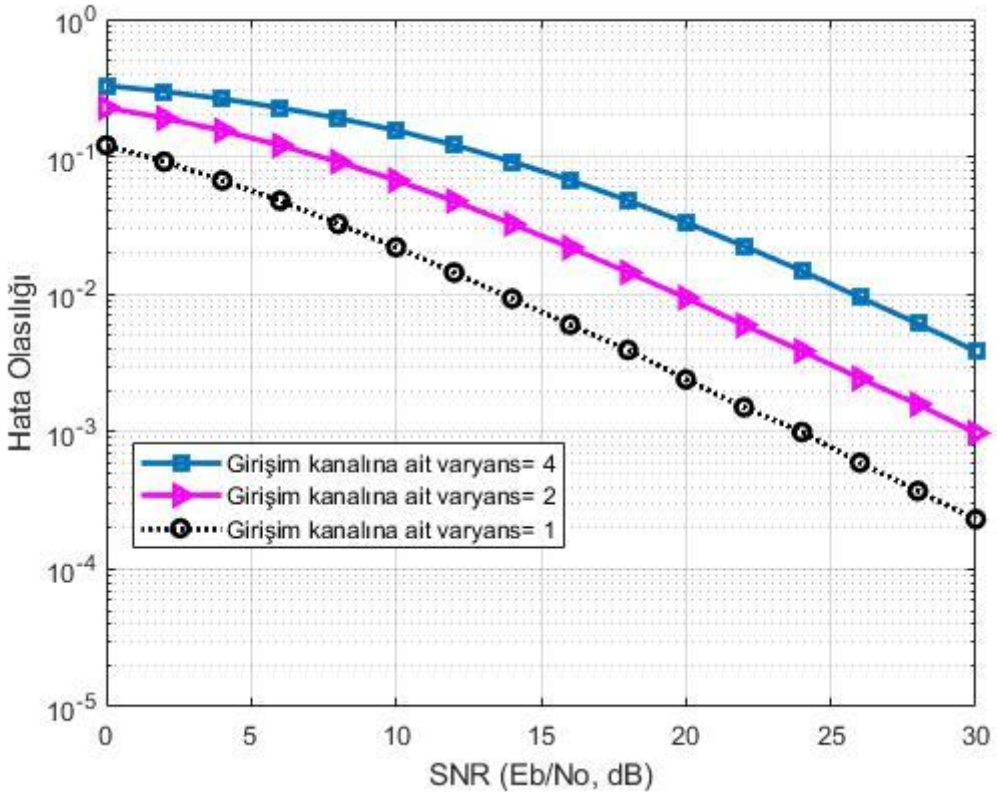
Burada tek giriş tek çıkış durumu için kesinti olasılığı incelenmiştir. Şekilde artan eşik değerleri için kesinti başarımının azaldığı görünmektedir.



Şekil 18 - Farklı eşik değerleri için kesinti olasılığı grafiği

4.4 Hata Olasılığı Benzetim Sonuçları

Şekilde tek giriş tek çıkış durumu için hata olasılığı incelenmiştir. Girişim kanalı Rayleigh sönümlemeli kanal olarak modellenmiştir. Artan varyans değerleri için en iyi hata başarımının azaldığı görülmektedir. Girişim kanalına ait Varyans=1 için hata başarımı varyans=2 ve varyans=3' e göre daha iyidir.



Şekil 19 - Hata olasılığı & Sinyal Gürültü Oranı eğrisi grafiği

SONUÇ

Bu çalışmada beşinci nesil ağlarda bilişsel radyo haberleşmesinin başarım analizi yapılmıştır. Kıt kaynak spektrumun verimli bir şekilde kullanılması için yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir. Bilişsel radyo terminolojisi ve özellikleri anlatılmıştır. Beşinci nesil haberleşme teknolojisine değinilmiştir. Beşinci nesil tabanlı BR özelikleri incelenmiş, avantajları ve dezavantajları anlatılmıştır.

Çok girişli çok çıkışlı, tek girişli çok çıkışlı kanalda anten seçimi ve çok röleli ağlarda röle seçimi yapan BR senaryosu ele alınmış, kesinti olasılığı ve hata olasılığı hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan benzetimlerin sonunda, tek girişli çok çıkışlı kanalda artan eşik değeri ve anten sayısıyla birlikte BER başarımının da arttığı gözlemlenmiştir. Ardından, çok röleli ağlarda röle seçimi yapan BR'nin benzetimi yapılmış ve elde edilen sonuçlardan eşik değeri ve röle sayısına göre kesinti performansının arttığı görülmüştür. Tek girişli çok çıkışlı kanal için yapılan benzetimlerin sonucunda, artan eşik değeriyle kesinti performansının ve artan varyans değeri ile hata performansının azaldığı görülmüştür. Yapılan tüm benzetim sonuçları topluca incelendiğinde, BR'nin beşinci nesil haberleşmeyle çok iyi bir uyum sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKÇA

Azarnasab, E., Kempter, R., Patwari, N., & Farhang-Boroujeny, B. (2007). Filterbank multicarrier and multicarrier CDMA for cognitive radio systems. 472-481.

Badoi, C.-I., Prasad, N., Croitoru, V., & Prasad, R. (2010). 5G Based on Cognitive Radio. 441-464.

Brown, T. X. (2007). Potential cognitive radio denial-of-service vulnerailities and protection countermeasures: A multi-dimensional analysis and assessment. 456-464.

Chen, K. C., Kung, L. H., Shiung, D., Prasad, R., & Chen, S. (2007). Self-organizing terminakl architecture for cognitive radio networks.

Chu, F. S., & Chen, K. C. (2007). Radio resource allocation in OFDMA cognitive radio systems. 1-5.

Çiçek, M. (2011). Bilişsel Radyo Teknolojisi ve Düzenleme Perspektifi. ANKARA.

Çiftlikçi, C., Tuncer, A. T., & Özşahin, A. T. (2008). Spektrum sezme teknikleri ve bilişsel radyo teknolojisi. İstanbul.

Eberechukwu Paulson, M. K. (2017). Cognitive Radio in 5G. *A Smart City Perspective*, (pp. 98-102).

Erdoğan Aydın, H. İ. (2014). Antenna Selection for Decode and Forward Based MIMO Cooperative Networks. *Signal Processing and Communications Applications Conference*, (pp. 433-436).

Eylem Erdoğan, M. I. (5 Mayıs 2017). Antenna Selection in MIMO Cognitive AF Relay Networks with Mutual Interference and Limited Feedback. *IEEE Communications Letters*, 1111-1114.

Eyüp Tuna, M. K. (2012, Ocak). Gelecek Nesil Ağlar için Spektrum Tahsisinde Yeni Bir Yaklaşım: Bilişsel Radyo. *International Journal of Engineering Research and Development*, pp. 25-32.

Hossain, E., & Niyato, D. (2008). Market-equilibrium, competitive, and cooperative pricing for spec- trum sharing in cognitive radio networks.

Huang, S., Ding, Z., & Liu, X. (2007). Non-intrusive cognitive radio networks based on smart antenna technology. 4862-4867.

Jing, X., Mau, S. C., Raychaudhuri, D., & Matyas, R. (2005).). Reactive cognitive radio algorithms for co-existence between IEEE 802.11b and 802.16a networks.

Ko, G., Franklin, A. A., You, S. J., PAK, J. S., Song, M. S., & Kim, C. J. (2010). Channel Management in IEEE 802.22 WRAN Systems. *IEEE Communications Magazine*, 88-94.

Krishnamurthy, S., Thoppian, M., Venkatesan, M., & Prakash, R. (2005). Control channel based MAC layer configuration routing and situtation awareness for cognitive radio network. 455-460.

Lansford, J. (2004). UWB coexistence and cognitive radio. *IEEE International Workshop on Ultra Wideband System*, 35-39.

Nomura, R., Kuroda, M., & Mizuno, T. (2007). Evaluation of EAP based re-authentication protocol for high-speedvehicular handover in cognitive radio networks.

Pursley, M. B., & Royster, T. C. (2008). Low-complexity adaptive transmission for cognitive radios in dynamic spectrum access networks.

Qian, L., Li, X., Attia, J., & Gajic, Z. (2007). Power control for cognitive radio ad hoc networks. 7-12.

Safdar, G. A., & O'Neill, M. (2009). Common control channel security framework for cognitive radio networks. 1-5.

Sampath, A., Dai, H., Zheng, H., & Zhao, B. Y. (2007).). Multi-channel jamming attacks using cognitive radios. 352-357.

Sydor, J. (2004). True broadband for the countryside [5 GHz cognitive radio]. 32-36.

Taniguchi, N., Aust, S., Takizawa, Y., Yamaguchi, A., & Obana, S. (2007). Packet allocation for efficient use of multiple wireless link in cognitive radio network. 27-34.

Vo Nguyen Quoc Bao, T. Q. (2013). Cognitive Amplify-and-Forward Relaying with Best Relay Selection in Non-Identical Rayleigh Fading. *IEEE Communications Letters*, 475-478.

Xu, W., Kamat, P., & Trappe, W. (2006). A trusted radio infrastructure for enforcing SpecTrum etiquettes. 101-109.