

**KOD İNDEKS MODÜLASYON TABANLI
İŞBİRLİKLİ UZAYSAL MODÜLASYON**

Esef Talbu

16 14 05 101

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Erdoğan Aydın

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

ENİF TALBU'nu "Kod İndeksi Modülasyon Tabanlı İyiletili Uzaylı Modülasyon" başlıklı tezi 20.09.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Maltepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yürütme Kurulu" nun ilgili maddeleri uyarınca Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans/Doktora tezi oy birliğiyle ~~ayrıkça~~ kabul edilmiştir.

	Unvan, Adı ve Soyadı
Öye (Tez Danışmanı)	Dr. Öğr. Üyesi Erdoğan AYDIN
Öye	Dr. Öğr. Üyesi Zehra ÇEKMEN
Öye	Dr. Öğr. Üyesi Fatma SARICA

İmza









Prof. Dr. İker BÜYÜKÇİNGAN
Enstitü Müdürü



ŞEKİL ONAY SAYFASI


Doküman No	FH-105
İlk Yayın Tarihi	26.12.2017
Revizyon Tarihi	16.12.2018
Revizyon No	01
Sayfa	1/2

ŞEKİL ONAY SAYFASI

07/10/2019

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE,

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


Anabilim Dalı Başkanı
Dr. Öğr. Üyesi Demir ÖNER
İmza

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ

ADI SOYADI	Esef TALBU
ÖĞRENCİ NUMARASI	161405101
ANABİLİM DALI	Elektrik Elektronik Mühendisliği
PROGRAMI	(X) YÜKSEK LİSANS () DOKTORA () SANATTA YETERLİK
DANIŞMANI	Dr. Öğr. Üyesi Erdoğan AYDIN
TEZ BAŞLIĞI	Kod İndeks Modülasyon Tabanlı İşbirlikli Uzaysal Modülasyon
SAVUNMA TARİHİ	20.09.2019
e-posta	esef_talbu@hotmail.com

İç Kapak	<input checked="" type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok
Jüri Onay Sayfası	<input checked="" type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok
Etik İlke ve Kurallara Uyum Beyanı	<input checked="" type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok
İstihlal Raporu	<input checked="" type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok
Teşekkür Sayfası	<input checked="" type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok
Öz (Başlık-Öz-Anahtar Sözcükler)	<input checked="" type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok
Abstract (Title-Abstract-Key Words)	<input checked="" type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok
İçindekiler	<input checked="" type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok
Çizelgeler Listesi	<input type="checkbox"/> Var <input checked="" type="checkbox"/> Yok
Şekiller Listesi (varsa)	<input type="checkbox"/> Şekil yok <input checked="" type="checkbox"/> Uygun <input type="checkbox"/> Uygun Değildir
Kısaltmalar Listesi	<input checked="" type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok
Tablolar Listesi (varsa)	<input checked="" type="checkbox"/> Tablo yok <input type="checkbox"/> Uygun <input type="checkbox"/> Uygun Değildir
Ekler Listesi (varsa)	<input checked="" type="checkbox"/> Ek yok <input type="checkbox"/> Uygun <input type="checkbox"/> Uygun Değildir
Özgeçmiş	<input checked="" type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok
Sayfa Genişliği	<input checked="" type="checkbox"/> Uygun <input type="checkbox"/> Uygun Değildir

Hazırlayan
İlgili Birim

Kalite Koordinatörü
Dr. Öğr. Üyesi Şahak GÜNDÜZ

Kurumsal Yetkilisi
Prof. Dr. Balma AKŞİT



ŞEKİL ONAY SAYFASI

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


Yazı Tipi	<input checked="" type="checkbox"/> Uygun <input type="checkbox"/> Uygun Değildir
Referans Kullanımı	<input checked="" type="checkbox"/> Uygun <input type="checkbox"/> Uygun Değildir
Kaynakça Yazımı	<input checked="" type="checkbox"/> Uygun <input type="checkbox"/> Uygun Değildir
Ekler (varsa)	<input checked="" type="checkbox"/> Ek yok <input type="checkbox"/> Uygun <input type="checkbox"/> Uygun Değildir

Hazır Akgül

Hazırlayan
İlgili Birim

Kalite Koordinatörü
Dr. Öğr. Üyesi Şafak GÜNDÜZ

Kurumsal Yetkili
Prof. Dr. Belma AKŞİT

 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

07/10/2019

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, çalışmamın Maltepe Üniversitesinde kullanılan "bilimsel irihel tespit programı" ile tarandığını ve öngörülen standartları karşıladığımı 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.


Esref TALBU

Hazırlayan: İğil Birim	Onaylayan: Kalite Yönetim Koordinatörlüğü
------------------------	---


Erdem AYDIN

TEZ calismasi

ORIGINALITY REPORT

12%	10%	6%	9%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Student Paper	2%
2	polen.itu.edu.tr Internet Source	2%
3	edergi.emomerkez.net Internet Source	1%
4	Submitted to University of Sheffield Student Paper	1%
5	Submitted to South Bank University Student Paper	1%
6	saglik.maltepe.edu.tr Internet Source	<1%
7	pdfs.semanticscholar.org Internet Source	<1%
8	corelab.ku.edu.tr Internet Source	<1%
9	Zehra Yigit, Ertugrul Basar. "High-rate	



TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleőtirilmesinde, üç yıl boyunca değerli bilgilerini benimle payőalaőan, kullandığı her kelimenin hayatıma kattığı önemli değeri asla unutmayacağım saygıdeğer danışman Hocam Dr. Öğr. Üyesi Erdoğan Aydın'a ve çalıőmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen eőim Duygu Talbu'ya sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Esef Talbu

Ağustos 2019



ÖZ

KOD İNDEKS MODÜLASYON TABANLI İŞBİRLİKLİ UZAYSAL MODÜLASYON

Esef Talbu
Yüksek Lisans
Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı
Elektrik-Elektronik Yüksek Lisans Programı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Erdoğan Aydın
Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019

Telsiz haberleşme sistemlerinde, insan yapımı veya çevresel yapılardan dolayı iletilmek istenen sinyalde alıcıda sönümlenmeler meydana gelmektedir. Bu durum sistem performansını kötü etkilemektedir. Ayrıca, günümüz teknolojisinin gelişmesiyle veri iletim hızındaki artışa ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Bu artışa karşın enerji harcaması da azaltılması gerektiği kaçınılmaz bir gerçektir. Bu temel sorunların önüne geçebilmek ve ayrıca enerji verimli sistemlerin önerilmesi kullanıcılar açısından büyük önem taşımaktadır. Veri hızını artırabilmek için, uzaysal modülasyon (SM) ve kod indeks modülasyonlarının (CIM) birleştirilip, bunlara ek olarak işbirlikli sisteme uyarlanması yapılarak veri hızının artırılması, sönümlenmelerin etkisinin en aza indirgenmesi ve enerji verimliliği sağlayan sistem modeli bu tezde önerilmiştir. Bu doğrultuda SM, CIM ve işbirlikli sistemler ayrı ayrı ele alınmış ve tek bir sistem modelinde birleştirilerek CCIM-SM sistem modeli önerilmiştir. Tezde elde edilen sonuçlar ile önerilen bu tekniğin hem daha iyi performansa sahip olduğu, hem daha hızlı bir iletişim sağlandığı ve ayrıca enerji verimli bir teknik olduğu gösterilmiştir. Bu sayede, bu çalışmanın yeni nesil haberleşme sistemlerine olumlu bir katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

Anahtar Sözcükler: 1. Uzaysal Modülasyon, 2. Kod İndeks Modülasyonu, 3. Çöz ve Aktar Temelli İşbirlikli Sistem.

ABSTRACT

COOPERATIVE SPATIAL MODULATION BASED ON CODE- INDEX MODULATION

Esef Talbu

Master Thesis

Department of Electrical Electronics Engineering

Electrical Electronics Engineering Programme

Advisor: Asst. Prof. Erdoğan Aydın

Maltepe University Graduate School of Science and Engineering, 2019

In wireless communication systems, fading occurs in the signal to be transmitted due to man-made or environmental effects. This affects system performance adversely. Moreover, with the development of today's technology, the need for an increase in the speed of data transmission increases day by day. Despite this increase, it is inevitable that energy expenditure should be reduced. In order to avoid these basic problems and to propose energy efficient systems, it is very important for the users. In order to increase the data rate, spatial modulation (SM) and code index modulations (CIM) are combined and adapted to the cooperative system to increase the data rate, minimize the effect of damping and energy efficiency is proposed in this thesis. In this direction, SM, CIM and cooperative systems are handled separately and CCIM-SM system model is proposed by combining them into a single system model. With the results obtained in the thesis, it has been shown that this technique has both better performance and faster communication and also it is an energy efficient technique. In this way, it is predicted that this study will make a positive contribution to the next generation communication systems.

Keywords: 1. Spatial Modulation; 2. Code-Index Modulation; 3. Decode and Forward based Cooperative System

İÇİNDEKİLER

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI...Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
TEŞEKKÜR.....	vii
ÖZ	viii
ABSTRACT.....	ix
İÇİNDEKİLER	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
KISALTMALAR.....	xiv
ÖZGEÇMİŞ	xvii
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
Problem	1
SM	4
Amaç	5
Önem.....	5
Varsayımlar.....	6
Sınırlıklar	6
BÖLÜM 2. TELSİZ HABERLEŞME KANALLARI, SÖNÜMLEME MODELLERİ, ÇEŞİTLEME YÖNTEMLERİ VE BİRLEŞTİRME TEKNİKLERİ.....	7
Telsiz Haberleşme kanalları ve sönümleme modelleri	7
Şekil 1 Çok Yollu Yayılım	7
Toplamsal Beyaz Gauss Gürültü Kanalı	8
Şekil 2 Gauss Gürültüsünün Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu.....	8
Sönümlenmeli Kanal Karakteristiği	9
Kanal Parametreleri	9
Sönümlenmeli Kanalların Sınıflandırılması	10
Şekil 3 Sönümlenmeli Kanal Modelleri.....	11
Rayleigh Sönümlenmeli Kanal.....	11
Şekil 4 Rayleigh Sönümlemesi	11
Rician Sönümlenmeli Kanal Modeli	12
Nakagami- m Sönümlenmeli Kanal Modeli.....	12
Telsiz Haberleşme Kanalları İçin Çeşitleme Tekniği	13

Çeşitleme Tekniğinin Sağladığı Üstünlükler.....	13
Temel Çeşitleme yöntemleri.....	13
Modülasyon Çeşitlemesi	14
Zaman Çeşitlemesi	14
Frekans çeşitlemesi.....	14
Açı çeşitlemesi.....	14
Çok Yollu Çeşitleme	14
Şekil 5 Çok Yollu Çeşitleme II.....	15
Şekil 6 Çok Yollu Çeşitleme I	15
Polarizasyon Çeşitleme	15
Uzay (Anten) Çeşitlemesi.....	16
Şekil 7 Anten Çeşitlemesi.....	16
İşbirlikli Çeşitleme.....	16
Şekil 8 İşbirlikli Sistem I	18
Şekil 9 İşbirlikli Sistem II.....	18
İşbirlikli Sistemlerde Kullanılan Aktarma Yöntemleri	19
Kuvvetlendir ve İlet Yöntemi.....	19
Şekil 10 Kuvvetlendir ve Aktar	19
Çöz ve İlet Yöntemi.....	20
Şekil 11 Çöz ve Aktar	20
Kodlama İşbirliği.....	20
Şekil 12 Kodlama İşbirliği.....	21
İşbirlikçi Çeşitlemede İletişim Protokolleri.....	21
Protokol I.....	21
Protokol II.....	21
Protokol III	22
Uzaysal Modülasyon.....	22
Şekil 13 Uzaysal Modülasyonun Şematik Gösterimi	23
Kod İndeks Modülasyonu (CIM).....	24
CIM-SM Sistemleri.....	26
Şekil 15 CIM-SM Sisteminin Vericisi Yapısı [19].....	27
Şekil 16 CIM-SM Sisteminin Alıcı Yapısı [19]	27
İşbirlikli Uzaysal Modülasyon	31
Şekil 17 İşbirlikli SM Gösterimi [20].....	31
Şekil 18 İşbirlikli Haberleşme İle SM MIMO-DF [21].....	32
Şekil 19 İşbirlikli Haberleşme İle SM MIMO-AF [21].....	33

İşbirlikli SM ile DF tekniği	34
İşbirlikli SM ile AF tekniği	34
DF için ortalama bit hata olasılığı	35
AF için ortalama Bit hata olasılığı.....	39
BÖLÜM 3. BULGULAR VE YORUMLAR	42
Bulgular.....	42
Şekil 20 Klasik Uzaysal Modülasyonun $N_R=2$ için $n=4,5$ ve 6 bit için Kuramsal ve Simülasyon Performansı	44
Yorumlar	47
BÖLÜM 4. SONUÇ	48
Özet	48
Yargı.....	48
Öneriler	48
KAYNAKÇA.....	50

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1 Çok Yollu Yayılım	7
Şekil 2 Gauss Gürültüsünün Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu	8
Şekil 3 Sönümlenmeli Kanal Modelleri.....	11
Şekil 4 Rayleigh Sönümlemesi	11
Şekil 5 Çok Yollu Çeşitleme II.....	15
Şekil 6 Çok Yollu Çeşitleme I	15
Şekil 7 Anten Çeşitlemesi.....	16
Şekil 8 İşbirlikli Sistem I	18
Şekil 9 İşbirlikli Sistem II	18
Şekil 10 Kuvvetlendir ve Aktar	19
Şekil 11 Çöz ve Aktar	20
Şekil 12 Kodlama İşbirliği.....	21
Şekil 13 Uzaysal Modülasyonun Şematik Gösterimi	23
ŞEKİL 14 CIM Alıcı Ve Verici Yapısı [18].....	24
Şekil 15 CIM-SM Sisteminin Vericisi Yapısı [19].....	27
Şekil 16 CIM-SM Sisteminin Alıcı Yapısı [19]	27
Şekil 17 İşbirlikli SM Gösterimi [20]	31
Şekil 18 İşbirlikli Haberleşme İle SM MIMO-DF [21].....	32
Şekil 19 İşbirlikli Haberleşme İle SM MIMO-AF [21].....	33
Şekil 20 Klasik Uzaysal Modülasyonun $N_R=2$ için $n=4,5$ ve 6 bit için Kuramsal ve Simülasyon Performansı	44
Şekil 21 Klasik Uzaysal Modülasyonun $N_R=4$ için $n=4,5$ ve 6 bit için Kuramsal Ve Simülasyon Performansı	44
Şekil 22 İşbirlikli Uzaysal Modülasyonun $N_R=N_D=2$ için $n=3,4$ ve 5 bit için Kuramsal Ve Simülasyon Performansı	45
Şekil 23 İşbirlikli Uzaysal Modülasyonun $N_R=N_D=4$ için $n=3,4$ ve 5 bit için Kuramsal Ve Simülasyon Performansı	45
Şekil 24 Kod İndis Modülasyonlu SM ile İşbirlikli SM'in $N_R=N_D=2$ için $n=7$ ve 9 bit için Performans Karşılaştırılması.....	46
Şekil 25 Kod İndis Modülasyonlu SM ile İşbirlikli SM'in $N_R=N_D=4$ için $n=8,10,11$ ve 12 bit için Performans Karşılaştırılması	46

KISALTMALAR

$a_{1,i}$: İlk Bit Bloğu
σ^2	: Gauss Gürültü Varyansı
$\Gamma(m)$: Gamma Fonksiyonu
$\tau_{d,k}$: k 'inci Yola İlişkin Gecikme
γ^{SR}	: Gama Yayılımı
Φ	: Hankel Matrisi
$M_{\gamma^{SR}}$: γ^{SR} 'nin MGF'sidir.
b	: Bit
B_s	: Bant Genişliği
c_i	: Yayılım Kodu
D	: Alıcı
$d_{SR}^{-\alpha}$: Birimler Arasındaki Mesafeyi ve Yol Kaybını Gösterir
f_c	: Taşıyıcı Frekansı
G	: Röleden Çıkan Enerjinin Normalleştirme Katsayısı
H	: Kanal
$h(t)$: Nakagami-m Sönümlemesi
$\hat{i}_I, \hat{i}_Q, \hat{\ell}, \hat{s}_I, \hat{s}_Q$: Anten İndeksi ve İletilen Semboller
I_0	: Sıfırıncı Dereceden Birinci Türden Bessel Fonksiyon
K_R	: Rician Parametresi
L	: Uzunluk
$n_I(t)$: AWGN Bileşenleri
n_{MIMO}	: Gauss Gürültüsü altında Kalmış Vektör
$n(t)$: AWGN Kodu
N_t	: Vericideki Anten Sayısı
M	: Faz Kaydırmalı Anahtarlama Eleman Sayısı
P	: Güç

P_{ε}	: Toplam Hata Olasılığı
P_k	: k 'inci Yola İlişkin Güç
P(t)	: Dikdörtgen Darbe
S	: Yayılım Yoluyla Alıcıya Ulaşan Zarf Bileşeni
T_s	: Sinyal Süresi
ω	: İletilen Walsh Kodu
1G	: First Generation (ilk Jenerasyon)
2G	: Second Generation (İkinci Jenerasyon)
3G	: Third Generation (Üçüncü Jenerasyon)
4G	: Fourth Generation (Dördüncü Jenerasyon)
5G	: Fifth Generation (Beşinci Jenerasyon)
ABEP	: Average Bit Error Probabilities (Ortalama Bit Hata Olasılığı)
AF	: Amplify And Forward (Kuvvetlendir ve ilet)
AMPS	: Advanced Mobil Phone System (Gelişmiş Cep Telefonu Sistemi)
AWGN	: Additive White Gauss Noise (Toplamsal Beyaz Gauss Gürültüsü)
BER	: Bit Error Rate (Bit Hata Oranı)
BPSK	: Binary Phase Shift Keying (İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama)
CDF	: Cumulative Distribution Function (Kümülatif Dağılım Fonksiyonu)
CF	: Coded And Forward (Kodla ve ilet)
CIM	: Cod Indexs Modulation (Kod İndeks Modülasyon))
DF	: Decode And Forward (Çöz ve İlet)
DF	: Decode And Forward (Çöz ve İlet)
DS	: Direct Sequence (Doğrudan dizi)
Gbp	: Gigabits Per Second (Saniyede Gigabit)
GSM	:Generalized Spatial Modulation (Genelleştirilmiş Uzaysal Modülasyon)
LTE	: Long Term Evolution (Uzun Süreli Evrim)
MGF	: Moment Generating Function (Anı Üreten Fonksiyon)
MIMO	: Multi Input Multi Output (Çok Girdili Çok Çıktılı)
MISO	: Multi Input Single Output (Çok Girdili Tek Çıktılı)

ML	: Maximum Likelihood (Maksimum Olabilirlik Karar Kuralı)
Mps	: Megabits Per Second (Saniyede Megabit)
QPSK	: Quadrature phase-Shift Keying (Karesel Faz Kaydırmalı Anahtarlama)
PDF	: Probability Density Function (Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu)
RF	: Radio Frequency (Radyo Frekansı)
SIMO	: Single Input Multi Output (Tek Girdili Çok Çıktılı)
SNR	: Signal To Noise Ratio (Sinyal Gürültü Oranı)
SM	: Spatial Modulation (Uzaysal Modülasyon)
SS	: Spread Spectrum (Yayılım Spektrumu)
SSK	: Space Shift Keying (Uzay Kaydırmalı Anahtarlama)
STBC	: Space Time Block Coded (Kodlanmış Uzay Zaman Bloğu)
V-BLAST	: Vertical Bell Laboratories Layered Space-Time (Dikey Bell Laboratuvarları Katmanlı Uzay Zamanı)
TD-2	: Mikrodalga Telekomünikasyon Sisteminin Adı

ÖZGEÇMİŞ

Esef Talbu

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Eğitim

Derece	Yıl	Üniversite, Enstitü, Anabilim/Anasanat Dalı
Y.Ls.	2018	Maltepe Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı
Ls.	2013	Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı
Lise	2007	Seyhan ÇEAŞ Anadolu Lisasi

İş/İstihdam

Yıl	Görev
2015 - 2018	Elektrik Mühendisi, Maltepe Üniversitesi
2014- 2015	Elektrik Mühendisi, Net Mühendislik

Mesleki Birlik/Dernek Üyelikleri

Yıl	Kurum
2017 -	Üye: EMO

Kişisel Bilgiler

Doğum yeri ve yılı	: Seyhan, 1989	Cinsiyet: Erkek
Yabancı diller	: İngilizce	
GSM / e-posta	: 554 440 36 21 /esef_talbu@hotmail.com	

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Bu bölümde, araştırmanın kimlik bilgilerinden olan problem, amaç, önem, varsayımlar, sınırlıklar ve tanımlara yer verilmiştir.

Problem

Kablosuz iletişim, Nicola Tesla'nın verinin elektromagnetik dalgalarıyla iletilmesine karşın 1897 yılında Marconi'nin kablosuz telgrafi icat etmesiyle başlamıştır. 1927 yılına gelindiğinde Amerika ve İngiltere arasında radyo telefon haberleşmesi geliştirilmiştir. 1946 yılında ABD'de ilk mobil olarak kullanılan telefon sistemi kurulmuştur. 1947 yılında Bell laboratuvarında hücreli telefon çalışmaları başlatıldı ve ardından 1950 yılında mikrodalga telekomünikasyon sistemi olan TD-2 devreye alındı. 1957 yılında SSCB'nin ilk uydu haberleşmesini gerçekleştirmesi hayranlıkla karşılanmıştır. 1971 de ilk kablosuz yerel ağ Hawaii Üniversitesi bilgisayarlar arasında gerçekleştirildi. 1983 yılında hücreli mobil ağ Advanced Mobil Phone System yani AMPS gerçekleştirilmesiyle birlikte çoğu ülke kendi telefon sistemini geliştirmeye başladı. 1992 yılına gelindiğinde GSM sistemi kullanılmaya başlandı ve bu noktadan sonra iletişim sistemlerindeki gelişim ivmelenerek artma göstermiştir.

1975 ile 1990 yılları arasında birinci nesli diye tabir edilen 1G teknoloji sistemleri kullanılmış olup sadece ses iletimi amaçlı kullanılmıştır. Tamamen analog bir sistemden oluşan 1G teknolojisi, frekans modülasyonu gibi tekniklerin kullanılması ve bant genişliğinin az olmasından dolayı veri iletimi çok yavaş ilerliyordu. Tamamen analog sistemden oluşan bu teknoloji güvenlik ve performans açısından pek de iyi değildi. Bu durumlara rağmen 90 lı yıllara kadar geniş bir kitle tarafından kullanılmış ve teknolojiye katkı payı azımsanmayacak derecede artış göstermiştir.

Kullanıcı sayısının artması ve teknolojinin getirdiği ebat boyutlarındaki artış, 2G teknolojisinin bulunmasını hızlandırmıştır. İlk başlarda 1G sistemindeki gibi sadece ses olarak veri aktarımı sağlanırken ilerleyen yıllarda kısa mesaj da gönderilmeye başlanmıştır. Güvenlik ve performansta fark edilir ölçüde artış sağlanmıştır. 2G teknolojisi GSM sistemine 1991 yılında entegre olmasıyla birlikte en çok tercih edilen haberleşme sistemi haline gelmiştir. 90'lı yılların sonuna doğru kullanıcı sayısı 500 milyona ulaşan 2G teknolojisi, 3G'nin önünü açmasına yani araştırmacılar tarafından yeni nesil sisteme geçişin hızlanmasını sağlamıştır.

İki binli yılların başında 3G teknolojisine geçilmesi ile birlikte ses, SMS ve multimedya veri iletimine aynı anda kullanımına olanak sağlamıştır. 2009 yılına gelindiğinde, LTE sisteminin 3G teknolojisine entegrasyonu ile birlikte veri aktarım hızı daha da artmıştır.

Son birkaç yıldır 4G teknolojisine geçilmeye başlanılmış. Bu teknoloji ile sabit noktalar için 1Gbps ve hareketli kullanıcılar için 100Mbps'lik bir veri aktarım hızı öngörülmüştür. 5G teknolojisi öncesi 4,5G kullanılmaya çeşitli yerlerde kullanılmaya başlanmış olup muazzam derecede veri aktarım oranına ulaşmıştır.

Veri aktarım ihtiyacının artması ve kullanıcı sayısındaki artış 4. nesil haberleşme sisteminin de ilerleyen süreçlerde yetmeyeceğinin bir kanıtı olarak bilindiğinden 5G ve ileriki sistemler için çalışmalar araştırmacılar tarafından yoğun bir şekilde çalışılmaktadır. Bu doğrultuda çeşitli makaleler yayınlanmış olup ayrıca çeşitli eklentiler eklenerek hız arttırılmaya da çalışılmıştır.

Hızın artmasıyla birlikte çevresel etkenlerden dolayı sönümlenmeler artmış ve dolayısıyla alıcıdaki hata olasılıklarında artış meydana getirmiştir. Bu sorunu ortadan kaldırmak ve hızı daha da artırabilmek için anten ebatının arttırılmasına ve çoğaltılması veya baz istasyonunun büyütülüp sayısının artırılması gibi düşüncelerin konuşulmasına neden olmuştur. Anten ebatının büyütülmesi sabit alıcılar için sıkıntı teşkil etmezken, mobil kullanıcılar için ergonomik olmayan sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Bunun önüne geçebilmek için çeşitli çalışmalar yapılarak uygun olmayan sistemlerin düzeltilmesi amaçlanmıştır. İşte bu tezin amacı bu iki soruna çare bulmak ve günümüz 5G teknolojisine biraz da olsa katkı sağlayabilmektir.

Mobil veri iletim sistemlerinde anten ebatlarının küçültmek ve hızı arttırmak için son zamanlarda çok girişli-çok çıkışlı (multiple input-multiple output, MIMO), uzaysal modülasyon (spatial modulation, SM), işbirlikli SM (CSM) ve kod indeks modülasyonlu (code index modulation, CIM) SM (CIM-SM) sistemleri denenmeye başlanmış olup CSM ve CIM-SM daha çok geliştirilmeye açık bir şekilde ilerlemektedir. Aşağıda bu konulara değinilip ayrıntılı bir literatür taraması yapılmıştır. MIMO sistemleri üzerine yapılan ilk çalışma, temel mekansal çeşitliliğe odaklanmıştır. Buradaki MIMO sistemi, çoklu yollu yayılımının neden olduğu bozulmayı sınırlamak için kullanılmıştır. Bu sadece sistemin ilk adımıdır. Daha sonra çok yollu yayılımını faydalı bir haberleşme yöntemi

olarak kullanmaya başlanmıştır. Burada, ek sinyal yollarını ek veri taşımak için ek kanallar olarak etkili bir şekilde düşünülebilecek duruma getirilmiştir.

Araştırmacı olan Arogyaswami Paulraj ve Thomas Kailath, 1993 yılında MIMO kullanarak kanaldaki çok yolluluğun kullanılmasını önermişlerdir ve bir sonraki yıl ABD’de patentini almıştır. Bununla birlikte, 1998’de mekânsal çoğullamanın laboratuvar prototipini gösteren ilk kişi Bell Labs olmuştur.

MIMO teknolojisi uzun yıllardan beri geliştirilmiştir. Temel MIMO kavramlarının sadece formüle edilmesi gerekmediği gibi, MIMO'nun tam olarak uygulanabilmesi için yeni teknolojilerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Mekânsal çoğullamanın bazı özelliklerine imkan vermek ve mekânsal çeşitliliğin kazanımlarından bazılarını kullanmak için yeni işlem seviyelerine ihtiyaç duyulmuştur. 1990'lara kadar, mekansal çeşitlilik çoğu zaman iki anten arasında değişen ya da en iyi sinyali sağlamak için sinyalleri birleştiren sistemlerle sınırlıydı. Çeşitli giriş değiştirme biçimleri de uygulanmıştır, fakat söz konusu işleme seviyeleri ve mevcut işleme dereceleri göz önüne alındığında, sistemler genellikle sınırlıydı. Bununla birlikte, mevcut olmaya başlayan ek işlem gücü seviyeleriyle, hem uzaysal çeşitliliği hem de tam uzaysal çoğullamayı kullanmak mümkün olmuştur. Uzay çeşitlemesinde, iletim farklı kanallarda ve farklı antenler ile gönderilir ve böylelikle her bir veri farklı yollardaki farklı sönümlenmelere altında alıcıya ulaşır. Bu teknik verici antenlerinin fazla olmasından dolayı verici çeşitlemesi olarak da adlandırılır. Eğer alıcı kısmında çok sayıda anten yardımıyla bu olayı gerçekleştirirsek buna da alıcı anten çeşitlemesi denir.

MIMO sistemi, alıcı ve vericideki tek anten sistemindeki aksaklıklardan dolayı geliştirilmiştir. MIMO nun Türkçe açılımı çok girişli çok çıkışlı anlamına gelmekte ve sistemin şeklinden de anlaşılacağı gibi hem alıcıda hem vericide çoklu antenler bulunmaktadır. Bu sayede iletimdeyken harcanan gücü artırmadan yüksek veri iletimi sağlanmış olur. Anten sayısındaki bu artış çeşitlemede kazanç sağlayıp sinyal gürtü oranı (signal to noise ratio, SNR) ve bit hata oranı (bit error rate, BER) oranlarında çok ciddi bir kazanç elde etmiştir. Mobil iletişim sistemlerinde iletilen işaret sönümlenmelere maruz kaldığından alıcı tarafında doğru karar verme zorlaşır ve buna bağlı hata olasılığı artar. Bunun önüne geçmek için de çeşitleme teknikleri kullanılmaya başlanmıştır. Çeşitleme tekniklerinin en çok kullanılanları ise zamansal, frekans ve uzaysal çeşitlemedir.

Sönümlenme etkisini engellemek ve veri hızını büyük oranda artırmak için MIMO sistemlerine eklenen SM tekniği, günümüzde kullanılan iletişim sistemleri için son derece önemli bir hal almıştır. SM fikri ilk olarak 2001 yılında SSK'nın özel formu olan SM'i tanıtmak için A.Chau ve Hang Yu tarafından yayımlanan "Kablosuz Sönümlenme Kanallarında Uzaysal Modülasyon" dur. 2006 yılında R. Mesleh ve H.Haas tarafından "Uzaysal Modülasyon-Yeni Düşük Karmaşıklık ve Spektral Verim Arttırıcı Teknik" adında bir çalışma yayınlandı. Ardından bu ikili tarafından 2008, 2010 ve ileriki yıllarda çeşitli çalışmalar yayınlandı. Devam eden yıllarda, araştırmacılar SM tekniğini geliştirmek için çeşitli eklentiler geliştirmişlerdir.

SM, antenlerin aynı anda iletme geçtiği V-BLAST (vertical Bell Laboratories Layered Space Time, V-BLAST) gibi sistemlere alternatif olarak önerilmiş, geleceği olan yeni bir MIMO iletim tekniğidir. SM tekniğinin klasik MIMO sistemlerine göre avantajları şu şekilde sıralanabilir:

1. SM sisteminde her iletim anında sadece bir anten aktif olacağı için kanallar arası girişim ortadan kaldırılmıştır. Dolayısıyla buradaki sistemin alıcı anteni, V-BLAST sisteminin alıcısına kıyasla karmaşık girişim yok edici algoritmalara ihtiyaç duymadığından daha basittir.

2. Bu sistemde referans alınan bir anda sadece tek bir antenin iletimde olması, vericide gerekli radyo frekansı olan RF katlarının sayısı kuramsal olarak tektir fakat pratikte bazı sorunlarla karşılaşılabilir.

3. SM sisteminde alıcı anten sayısında herhangi bir sınırlama veya alt sınır bulunmamaktadır.

4. SM sisteminde antenin indisleriyle ek olarak bilgi bitleri iletildiği için, verici antenin sayısının artmasıyla birlikte SM sisteminin band verimliliği logaritmik olarak artmaktadır [Başar E., Aygölü Ü., Panayırıcı E., Poor H. V., MIMO Sistemler için Gelişmiş Uzaysal Modülasyon Teknikleri, EMO Bilimsel Dergi, Cilt 1, Sayı 1, Syf 15-25, Haziran 2011].

SM sistemindeki başarıyı geliştirebilmek için çeşitli ek sistemler geliştirilmiştir. Bunlardan biri de işbirikçi diye tabir edilen, bir röle aracılığıyla alıcıya ek bilgi gönderme tekniğidir. SM sistemindeki kazanımlara ek olarak çeşitleme imkanı sunan bu kombine sistem sayesinde veri iletimindeki hata olasılığı büyük oranda azalma göstermiştir. Çeşitleme yöntemleri sayesinde verinin kanaldaki sönümlenmelere karşı, alıcıdaki

bağımsız kopyaları verinin doğru algılanmasını sağlamaktadır. Bu sistemin uygulanmasıyla birlikte alıcı ve vericideki güç tüketimi azalma göstermiş ve anten boyutu küçülmüştür. Kullanış açısından mobil iletişim sistemleri için uygun olan CSM sistemi, günümüzde de gelişime açık bir şekilde araştırmalara konu olmaktadır.

SM sistemine kod indeks modülasyonunun da eklenmesinin çalışmaları başlamasıyla birlikte veri hızı azımsanmayacak derecede artma meydana gelmiştir. Kod indeksin tarihçesi II. Dünya Savaşı yıllarına dayanmaktadır. Kod indeks ilk başlarda şifreli haberleşme mantığıyla geliştirildi ve savaş yıllarında haberleşme tekniği olarak kullanıldı. Günümüzde ise araştırmacıların veri iletimindeki hızının ve az enerji tüketiminden dolayı ilgi odağı olmasına neden olmuştur. CIM-SM çalışmaları, günümüz 5G teknolojisi için umut verici bir gelişmeye sahiptir.

SM ve CIM sistemlerinin birleşimiyle hedeflenen verideki hız artışı ve enerji tüketimindeki azalmaya ek olarak işbirlikli sistemin de bunlara eklenmesiyle daha da enerji tasarruflu ve hata olasılığı az bir iletişim sisteminin tasarlanması amaçlanmıştır. İşbirlikli kod indeks modülasyonlu SM (CCIM-SM) sistemi 5G teknolojisi ve ilerisi için gelecek vaat etmesi düşünüldüğünden bu konu ele alınmıştır. Bu tezde bu konular ele alınacaktır.

Amaç

Bu tezin amacı, kablosuz haberleşme sistemleri için veri iletim hızını arttırmak, tüketilen enerjinin azalmasını sağlamak ve hata olasılığını indirmektedir. Bu doğrultuda, iletim hızını hızı arttırmak için SM ve CIM sistemleri kullanılmış olup, bu sayesinde iletilen sembole ek olarak indekste veri taşındığından iletim hızı mükemmel derecede artmıştır. SM ve CIM ayrı ayrı ve birleşimli bir biçimde ele alıp, hata olasılığının azalması ve enerji tüketiminin azalması için işbirlikli sistemin bunlara nasıl entegre olabileceğinin gösterilmesi hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda “Kod İndeks Tabanlı İşbirlikli Uzaysal Modülasyon” çalışmasının oluşturulması planlanmıştır.

Önem

Bu araştırmanın neticesinde, gelişen yeni nesil kablosuz haberleşme teknolojilerinin ihtiyaçlarına ve kullanıcıda artan ihtiyaçlarına cevap verme imkanı sağlanacaktır. Gelişen teknolojinin görüntü, ses ve bilgi üzerindeki boyut artışı nedeniyle daha önce gönderilmek istenen herhangi bir veri daha önceki zamanki gönderilen verilerden boyut olarak fazla olmasına neden olmuştur. İletişim ve veri sistemlerindeki

veri boyutundaki artış ve kullanıcı sayısındaki artış nedeniyle eskiyen sistemler yenilerine cevap veremez duruma gelmiştir. Bunun gibi durumların önüne geçebilmek için çeşitli çalışmalar yapılmış olup daha da yapılmaktadır. İşte bu çalışma, veri iletimine biraz da olsa katkı sağlayıp teknolojik gelişmelere paralellik sağlayacaktır.

Varsayımlar

İşbirlikli sistemde kullanılan formüller ve hesaplamalar arada başka yansıtıcı veya enegol olmadığı düşünülerek dizayn edilmiştir. Böyle düşünülerek işleme alınması anlam karmaşalılığını arttırmasının ve denklemlerin uzamasının önüne geçilmesini sağlamıştır. Aynı şekilde SM sistmlerinde parçalamada sıkıntı yaşanmadığı ve alıcı verici arasında sabit gürültü haricinde bir etken olmadığı farzedilmiştir. En son olarak, kod indeks modülasyonunda da SM sistemi için söylenenler geçerli olmuştur.

Sınırlıklar

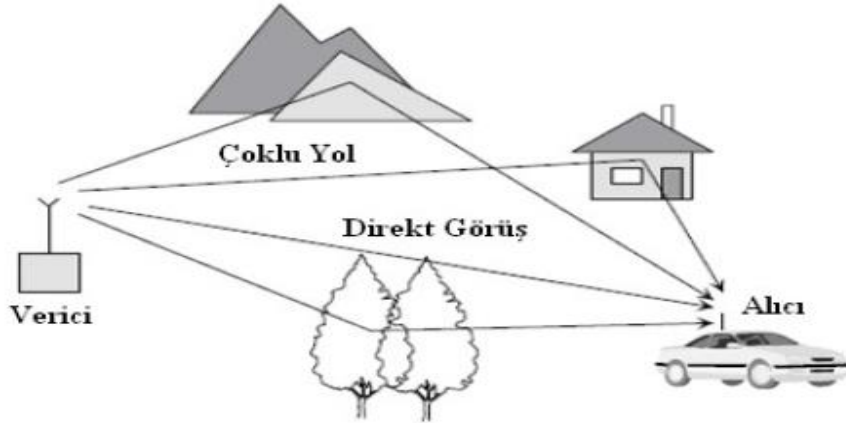
Tezde önerilen sistem modelinin performan analizininin yapımında konfigürasyonu iyi olan bilgisayar kullanılması gerekmektedir. Fakat Maltepe Üniversitesinde Liasns üstü öğrencisine yönelik yüksek işlemcili yüksek donanımlı bilgisayarlar bulunmamaktadır. Bu bağlamda, performans analizinin yapılması için İstanbul Medeniyet Üniversitesinin bilgisayarları kullanılmıştır.

BÖLÜM 2. TELSİZ HABERLEŞME KANALLARI, SÖNÜMLEME MODELLERİ, ÇEŞİTLEME YÖNTEMLERİ VE BİRLEŞTİRME TEKNİKLERİ

Bu bölümde telsiz haberleşme sistemleri için, sönümlenme, çeşitleme, birleştirme ve çeşitleme yöntemleri hakkında genel bilgiler verilecektir.

Telsiz Haberleşme kanalları ve sönümlenme modelleri

Telsiz iletişimde, verici ve alıcı arasındaki ortam sisteme ait kanal olarak adlandırılır. Alıcı ve verici arasındaki kanal, doğal ve insani faktörlerden dolayı sürekli olarak değişme eğilimi göstermektedir. Bu değişkenlik yüzünden iletilen işaretin alıcı antenine birden fazla farklı kopyalarının ulaşmasına neden olmaktadır. Alıcıda aynı işarete ait farklı sinyallerin var oluşu, alıcı antenindeki sinyalin gücünün değişmesine ve neticesinde genliğinde ve fazında dalgalanmaların oluşmasına sebebiyet vermektedir. Bu istenmeyen olay çok yollu yayılım olarak adlandırılır. Bundan dolayı, iletişim sisteminin tasarımında kanal davranışının bilinmesi alıcı ve verici tasarımı için oldukça önemlidir. Aşağıda bir çok sönümlenmeli kanal modeli ele alınacaktır.



ŞEKİL 1 ÇOK YOLLU YAYILIM

Toplamsal Beyaz Gauss Gürültü Kanalı

Gürültü, iletişim sisteminde sinyallerinin işlenmesinde olumsuzlukların oluşmasına sebep olan kanaldaki istenmeyen ve bozulmaya sebep olan sinyallerdir. Bunlara örnek olarak insan yapımı inşaat, termal gürültüler, atmosferik olaylar ve galaktik gürültüler verilebilir [1]. Gürültüyü incelemek için AWGN modeli benimsenmiş olup yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu model ile alıcıya gelen sinyal, vericiden çıkan sinyal ile gürültünün toplanması sonucunda ortaya çıkan bozulmuş sinyali oluşturur. Gauss gürültüsünün genliği olasılık yoğunluk fonksiyonu yani PDF ile modellenmekte ve aşağıdaki gibidir :

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\rho S^2}} \exp\left(-\frac{(x - m)^2}{S^2}\right), \quad -\infty < x < \infty \quad (1)$$

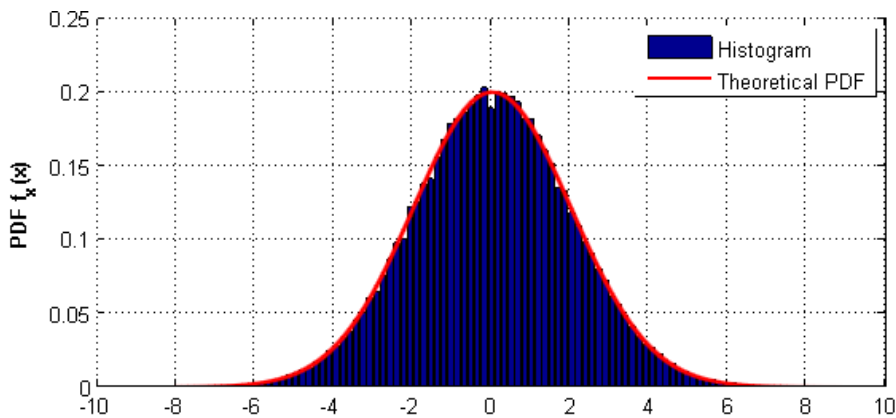
Burada, σ^2 Gauss gürültüsünün varyansını, μ ortalamayı ve x ise rastgele değişkeni göstermektedir. Gauss gürültüsünün olasılık dağılım fonksiyonunu yani CDF'i aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$F_x(x) = \int_{-x}^x f_x(x) dx = 1 - Q\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right) \quad (2)$$

Burada $Q(x)$ hata fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz \quad (3)$$

Sıfır ortalamalı Gauss gürültüsünün olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki gibi çizdirilebilir:



ŞEKİL 2 GAUSS GÜRÜLTÜSÜNÜN OLASILIK YOĞUNLUK FONKSİYONU

Sönümlmeli Kanal Karakteristiği

İletişim sistemlerindeki sinyaller kanal içerisinde nesnelere çarparak dağılma, kırılma ve yansımalara neden olurlar ve kanal içerisinde çok yollu bir ortam oluşturup alıcıya ulaşır. Alıcıya gelen bu sinyal, vericiden çıktığı gibi değil faz kaymasına, genlik değişimine ve zaman gecikmesine uğramış bir şekilde ulaşır. Bu olaya çok yollu sönümlleme denir [2].

Kanal Parametreleri

Çok yollu kanallarda kanalı belirlemede doppler yayılımı, gecikme yayılımı, uyumluluk süresi ve bandgenişliği gibi özelliklere bakılır [3,4,5].

Doppler Yayılımı : Mobil kanallarda alıcıya gelen frekanslarda kayma oluşur. Doppler yayılımı, kanalın birim zamandaki hız değişimiyle orantılı şekilde değişir. Doppler yayılımı, hız yüksekse büyük, küçük ise küçüktür [3].

Gecikme Yayılımı: Çok yollu kanallarda vericiden çıkan sinyal farklı zamanlarda alıcıya ulaşarak farklı gecikmelere sahip bileşenler oluşur. Alıcıya gelen sinyalin ilk bileşeni ile son bileşeni arasındaki gecikmeye gecikme yayılımı denir [5]. Ortalama gecikme ise :

$$\bar{\tau}_d = \frac{\sum_{k=1}^K P_k \tau_{d,k}}{\sum_{k=1}^K P_k} \quad (4)$$

$$\bar{\tau}_d^2 = \frac{\sum_{k=1}^K \lambda_k \tau_{d,k}^2}{\sum_{k=1}^K \lambda_k} \quad (5)$$

Burada P_k , k 'inci yola ilişkin güç ve $\tau_{d,k}$ ise k 'inci yola ilişkin gecikmedir

Uyumluluk Süresi : Kanalın genlik cevabının değişmediği veya yüksek bir ilişkiye sahip olduğu zaman dilimidir. Uyum süresinde kanaldan geçen tüm sinyallere sönümlleme aynı etkiyi göstermektedir. Uyum süresi ile doppler arasındaki ilişki şöyledir [3,4,5]:

$$T_c \cong \frac{1}{B_D} \cong \frac{1}{16\pi B_D} \quad (6)$$

Uyumluluk Bandgenişliği : Alıcıdan çıkan tüm sinyallerin yaklaşık olarak hepsinin benzer kazanç ve doğrusal fazla geçebildiği bandın genişliğine denir. Yani, kanaldaki transfer fonksiyonu sabit, fazının doğrusal olduğu bandgenişliğidir. Gecikme yayılımı ile arasındaki bağıntı şoyledir [5,6]:

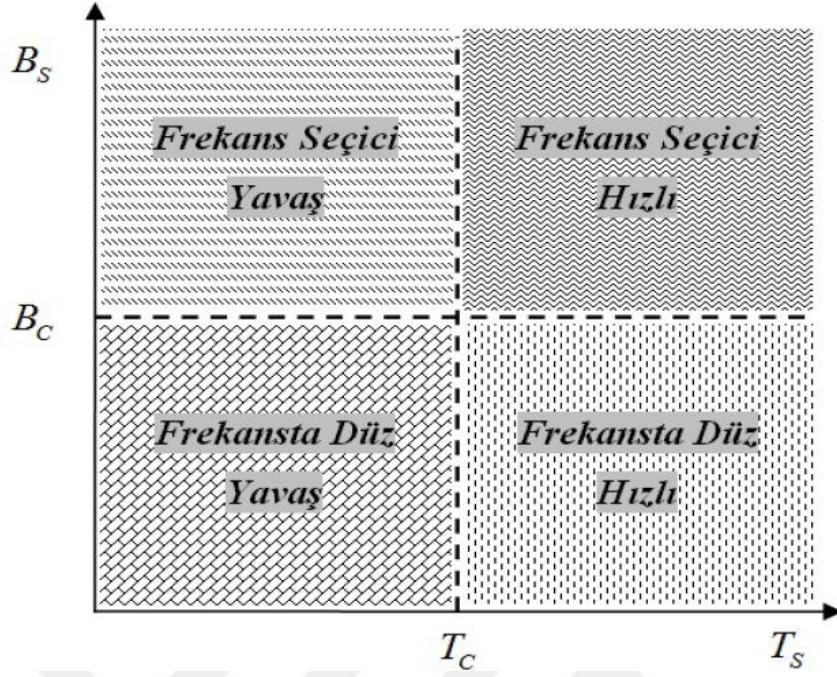
$$B_c \cong \frac{1}{\tau_d} \cong \frac{1}{5p_{td}} \quad (7)$$

Sönümlmeli Kanalların Sınıflandırılması

Çok yollu kanallarda, snmlmelerin etkisinden dolayı alıcıya ulaşan sinyaller zaman ve frekans uzayında değişik sonuçlar oluşturduğu için snmllemede sınıflandırma yapılırken her biri için ayrı ayrı inceleme yapılacaktır.

Düz ve Frekans seçici snmlmeler : Çok yollu sönümlmeli kanallarda, gönderilen işaretin alıcıya ulaşan kopyaları farklı yerlerden geldiğinden, her bir sinyalin farklı kopyaları farklı zamanlarda iletilmiş olur. Kanalın bant genişliği, iletilen sinyalininkinden genişse ve bu bant genişliğinde kanal sabit kazanç ve doğrusal faza sahipse bu kanalın snmlmesine düz snmlme denir. Sinyal süresi T_s ve bant genişliği ise B_s ise $B_c \square B_s$ veya $T_s \square p_{td}$ dir. İletilen sinyalin bant genişliği, kanalın doğrusal faz ve sabit kazanç bant genişliğinden büyükse veya sinyal süresi gecikme yayılımından küçükse bu kanal frekans seçicili kanaldır ve $B_s > B_c$ ya da $T_s < p_{td}$ olarak da gösterilir [3].

Yavaş ve Hızlı Snmlme : Kanal sistemini oluşturan nesnelerin en az birinin konum değiştirmesi sonucunda, kanalın sinyal üzerindeki etkisi zamanla değişir. Kanalın uyumluluk sresinin sembol sresinden aşırı büyük olduğunda ya da sinyalin bant genişliği doppler yayılmasından aşırı büyükse bu sönümlmeye yavaş snmlme denir ve $T_s \square T_C$ ya da $B_s \square B_D$ koşullarını sağlar. Kanalın darbe yanıtı, sembol süresi boyunca sabit olmayıp kanalın uyumluluk zamanının sembol sresinden küçük olduğu durumda ve Doppler yayılmasının sembol bant genişliğinden büyük olması durumunda oluşan sönümlmeye ise hızlı snmlme denir ve $T_s > T_C$ ya da $B_s < B_D$ koşulunu sağlar [3].

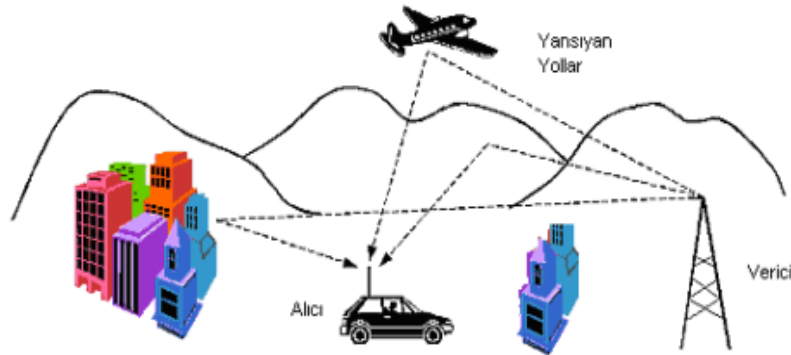


ŞEKİL 3 SÖNÜMLEMELİ KANAL MODELLERİ

Rayleigh Sönümlmeli Kanal

İletişim kanallarında alıcı ile verici arasında direkt görüş yoksa Rayleigh dağılımıyla modellenebilir.

Bu modellemede vericiden gönderilen sinyallerin kanaldaki nesnelere yansıtılıp alıcıya ulaşması ile oluşan sembolün zarfı, Rayleigh dağılımlı rastlantı değişkeni olmaktadır.



ŞEKİL 4 RAYLEİGH SÖNÜMLEMESİ

$$f(x) = \frac{1}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \quad 0 \leq x \quad (8)$$

$$F_x(x) = \int_{-\infty}^x f_x(z) dz = \int_0^x \frac{z}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma^2}\right) dz = 1 - \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right), \quad 0 \leq x \quad (9)$$

Burada σ^2 dik Gauss bileşeni varyansını, $\mu_x = E[X] = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma$ $f_x(x)$ dağılım ortalama değeri, $E[X^2] = 2\sigma^2$ ortalama gücü ve $\sigma_x^2 = (2 - \frac{\pi}{2}) \sigma^2$ varyansı göstermektedir.

Rician Sönümlmeli Kanal Modeli

Küçük ölçekli sönümlmeli kanalın genlik zarfı, baskın zayıflamış bir işaret bileşeni varsa bu Rician dağılımlıdır [7]. Rician dağılımında baskın yani direkt olarak gelen bileşen sönümlenirse Rayleigh dağılımı elde edilir [8].

$$f(x) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + s^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{xs}{\sigma^2}\right), \quad 0 \leq x \quad (10)$$

Burada I_0 sıfırıncı dereceden birinci türden Bessel fonksiyonu, S yayılım yoluyla alıcıya ulaşan zarf bileşenini, $P_m = s^2$ doğrudan gelen gücü, $P_n = 2\sigma^2$ yansıyan gelen gücü ve $K_R = P_m / P_n$ ise Rician parametresini göstermektedir.

Buna bağlı olarak Rician dağılımının PDF' i aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$f_x(x) = 2x(1 + K_R) \exp(-K_R - s^2(1 + K_R)) I_0(2x\sqrt{K_R(1 + K_R)}), \quad 0 \leq x \quad (11)$$

Nakagami- m Sönümlmeli Kanal Modeli

Nakagami- m dağılımı, Rayleigh ve Rician dağılımlarını kapsamakta ve daha geneldir. Nakagami- m dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu merkezi ki-kare dağılımının merkezini oluşturmaktadır ve m değeri sönümle parametresidir. ($1/2 < m < \infty$) [9]

$$P_{Nakagami}(r) = \frac{2m^m r^{2m-1}}{\Omega^m \Gamma(m)} \exp\left(-\frac{mr^2}{\Omega}\right), \quad r \geq 0 \quad (12)$$

Buradaki $\Gamma(\cdot)$, $\Gamma(m) = \int_0^{\infty} t^{m-1} e^{-t} dt$ olarak tanımlanmış olan Gamma fonksiyonudur

Telsiz Haberleşme Kanalları İçin Çeşitleme Tekniği

Bu bölümde telsiz haberleşme sistemlerinde sönümlemeyi azaltan çeşitleme teknikleri hakkında bilgi verilecek olup gelecek vaadeden bu konu hakkında ileriki bölümlerde uzaysal modülasyon sistemi üzerinden detaylı bilgi verilecektir.

Çeşitleme Tekniğinin Sağladığı Üstünlükler

Telsiz haberleşmesinin kullanım ihtiyacından dolayı daha kaliteli veri transferi, bandgenişliğinin en iyi kullanımı ve hızlı veri gönderimi gün geçtikçe daha da ihtiyaç haline gelmektedir. Telsiz haberleşmesinde meydana gelen sönümleme, yol kaybı ve birçok dış etken iletişim sistemindeki iletişim kalitesini olumsuz şekilde etkilemektedir. Bu etkenlerden biri olan, çok yollu sönümleme sistemin performansını etkileyen en önemli istenmeyen etkidir.

Haberleşme sistemlerindeki olumsuz sönümlenmelere ve alıcıdaki hata olasılığının artmasına karşın en etkili yol alıcı tarafında çeşitleme tekniklerinin kullanılmasıdır. Çeşitleme tekniğiyle alıcı ile verici arasında birden çok yoldan vericiye bilginin kopyalarının gönderilmesi hedeflenir ve bu sayede alıcıya gelen birden çok kopya ile iletilen bilgilerdeki hata yapma olasılığı azaltılarak haberleşmedeki kaliteyi arttırmaktadır. Çeşitleme tekniği sayesinde, haberleşme sisteminin toplam hata olasılığının azalmasıyla birlikte vericiden gönderilen sinyalin az güçle gönderilmesini de sağlamaktadır. Az güçle gönderim mobil telsizlerde pil boyutlarının azalmasını da sağlamaktadır.

Temel Çeşitleme yöntemleri

1. Modülasyon Çeşitlemesi
2. Zaman Çeşitlemesi
3. Frekans Çeşitlemesi
4. Açık Çeşitlemesi
5. Çok Yollu Çeşitleme
6. Polarizasyon Çeşitleme
7. Uzay çeşitlemesi

Modülasyon Çeşitlemesi

Modülasyon çeşitleme kazancı, işaretlerin merkez koordinat etrafında bilinen bir açıyla çevrilmesiyle oluşur [10]. Çeşitleme kazancını iki simge vektörü arasında her biri farklı en küçük koordinat sayısı verir.

Zaman Çeşitlemesi

Zaman çeşitlemesi, gönderilmek istenen sembol farklı zamanlarda tekrarlı olarak gönderilir. Böylece bir sembol farklı zamanlarda alıcıya ulaşacağından her biri farklı ilişiksiz sönmülemeli halleri elde edilir. Dikkat edilmesi gereken konu, semboller arasındaki gerekli minimum zaman farkı kanalın uyumluluk zamanı kadar olmalıdır.

Frekans çeşitlemesi

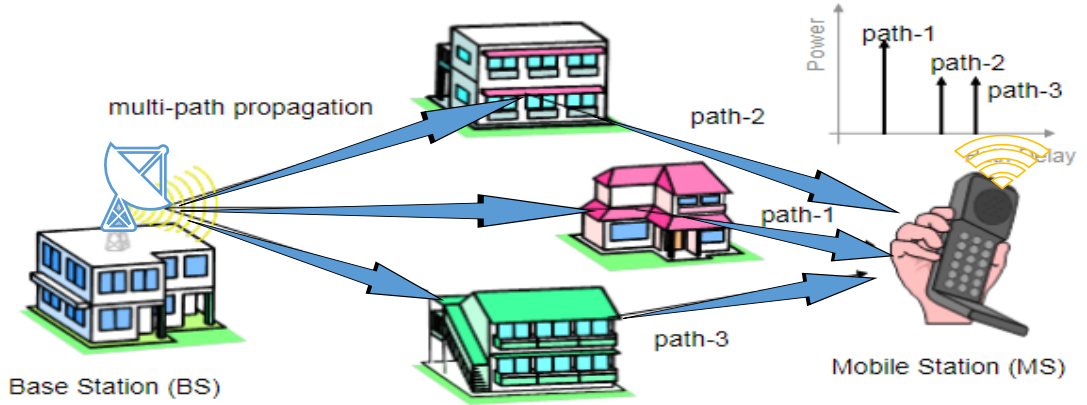
Frekans çeşitlemesi, sinyalin farklı tiplerdeki frekanslarla iletilmesine dayanır. Farklı frekanslar farklı sönmülemelere maruz kaldığında çeşitleme elde edilir. Bu çeşitlemenin dezavantajı, çok sayıda frekans bandı kullanıldığından bant verimliği çok yüksek değildir.

Açı çeşitlemesi

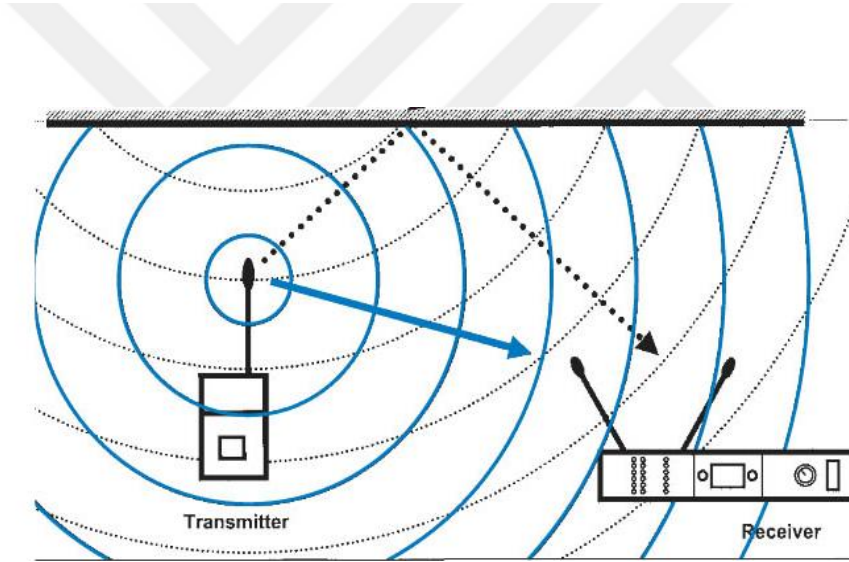
Açı çeşitlemesi tekniğine göre, alıcılarda çok yönlü antenler kullanılması gelen işaretlerin çok yönlü olmasını sağlar. Buradaki işaretin frekansı 10 GHz den büyük olduğuna dikkat etmeliyiz.

Çok Yollu Çeşitleme

Çeşitlilik radyo alımı kavramında gerekli bir unsur, radyo iletiminde "çok yollu" etkilerin ortaya çıkmasıdır. En basit durumda, radyo dalgaları doğrudan verici antenden alıcı antene doğru düz bir çizgide ilerler. Alınan sinyal gücü sadece verici gücünün bir fonksiyonu ve verici ve alıcı antenler arasındaki mesafedir. Pratikte, bu durum yalnızca açık havada, engelsiz arazide olabilir. Ancak, çoğu durumda, radyo dalgalarını ve onları yansıtan nesnelere zayıflatan nesnelere vardır. Hem verici hem de alıcı antenler esasen çok yönlü olduğundan, alıcı anten doğrudan ve yansıyan radyo dalgalarının değişen bir kombinasyonunu alır. Yansıyan dalgalar ve doğrudan dalgalar alıcı antene varmak için farklı mesafeler (yollar) taşır, dolayısıyla çoklu yol çeşitleme oluşur.



ŞEKİL 6 ÇOK YOLLU ÇEŞİTLEME I



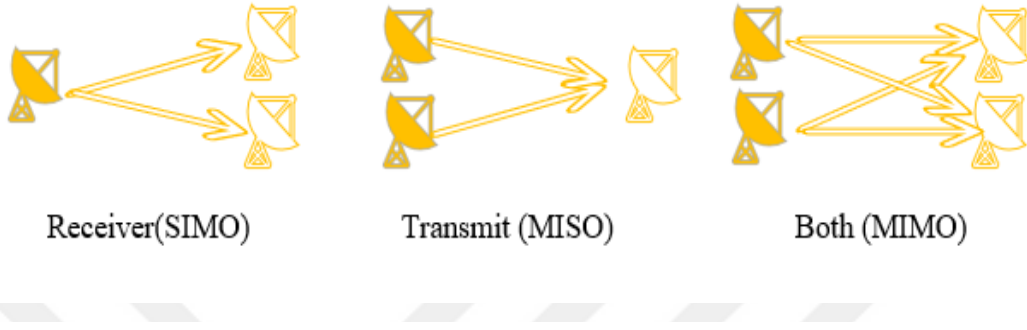
ŞEKİL 5 ÇOK YOLLU ÇEŞİTLEME II

Polarizasyon Çeşitleme

Polarizasyon Çeşitliliği, sabit veya mobil bir alma cihazıyla alma olasılığını artırmak için yayılan sinyale dikey bir bileşenin eklenmesidir. Dikey bileşen miktarı tipik olarak % 20 dikey eliptik polarizasyon ile % 50 dikey dairesel polarizasyon arasındadır.

Uzay (Anten) Çeşitlemesi

Anten çeşitlemesi yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Bu çeşitlemede fazladan bant genişliğine ihtiyaç duyulmaz. Çeşitleme yaparken antenler arasındaki mesafenin dalga boyuyla olan ilişkisini iyi ayarlanması gerekmektedir.



ŞEKİL 7 ANTEN ÇEŞİTLEMESİ

İşbirlikli Çeşitleme

İletişim sistemlerinde kanallarda görülen bozucu etki, kanaldaki sönümleyici etkilerdir. Bunlara karşı veri iletimindeki bozulmaları azaltmak için çok girişli çok çıkışlı diye tarif edilen çok antenli sistemlerle olan MIMO geliştirilmiştir.

MIMO iletim teknolojisi uzun yıllardan beri geliştirilmektedir. Temel MIMO kavramlarının sadece formüle edilmesi gerekmediği gibi, MIMO'nun tam olarak uygulanabilmesi için yeni teknolojilerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Mekânsal çoğullamanın bazı özelliklerine imkan vermek ve mekânsal çeşitliliğin kazanımlarından bazılarını kullanmak için yeni işlem seviyelerine ihtiyaç vardır. 1990'lara kadar, mekansal çeşitlilik çoğu zaman iki anten arasında değişen veya en iyi sinyali sağlamak için sinyalleri birleştiren sistemlerle sınırlandırılmıştır. Aynı zamanda, çeşitli giriş değiştirme biçimleri de uygulanmıştır, fakat söz konusu işleme seviyeleri ve mevcut işleme dereceleri göz önüne alındığında, sistemler genellikle nispeten sınırlıdır. Bununla birlikte, mevcut olmaya başlayan ek işlem gücü seviyeleriyle, hem uzaysal çeşitliliği hem de tam uzaysal çoğullamayı kullanmak mümkün olmuştur.

MIMO sistemleri üzerine yapılan ilk çalışma, temel mekansal çeşitliliğe odaklanmıştır. Buradaki MIMO sistemi, çok yönlü yayılımının neden olduğu bozulmayı sınırlamak için kullanılmıştır. Bu sadece sistemin ilk adımıydı. Daha sonra çok yönlü

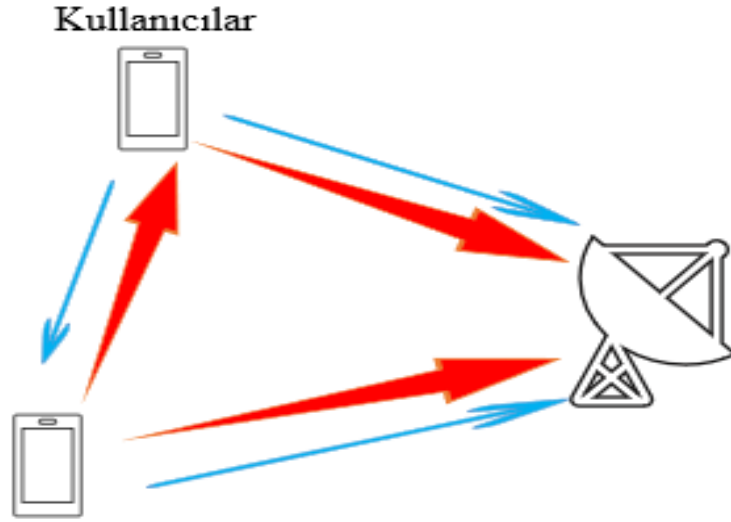
yayımlarını faydaya şekilde kullanmaya başlandı. Ek sinyal yollarını ek veri taşımak için ek kanallar olarak etkili bir şekilde düşünülebilecek duruma dönüştürülmüştür.

Araştırmacı Arogyaswami Paulraj ve Thomas Kailath, 1993 yılında MIMO kullanarak kanaldaki çok yolluluğun kullanılmasını önermiş olup ve bir sonraki yıl ABD de patentlerini almıştır. Bununla birlikte, 1998'de Mekânsal çoğullamanın laboratuvar prototipini gösteren ilk kişi Bell Labs'dir.

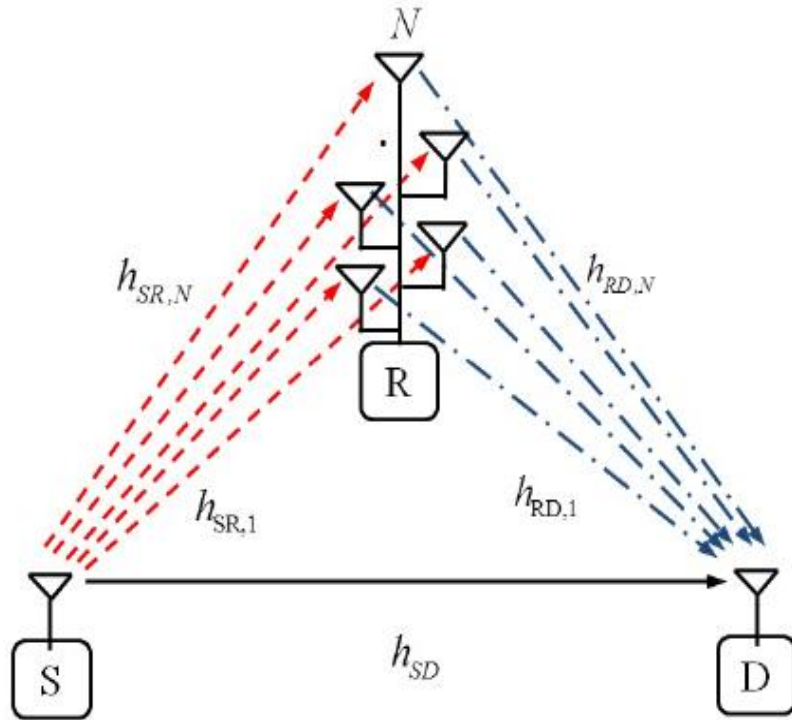
Son zamanlarda ise haberleşme sistemlerinde iletim performansı çeşitleme yöntemleriyle artış sağlamıştır. Çeşitleme yöntemleri sayesinde verinin kanaldaki sönümlenmelere karşı, alıcıdaki bağımsız kopyaları verinin doğru algılanmasını sağlamaktadır. En çok kullanılan çeşitleme teknikleri ise zaman çeşitlemesi, frekans çeşitlemesi ve uzay çeşitlemesidir. Uzay çeşitlemesinde, iletim farklı kanallarda ve farklı antenler ile gönderilir ve böylelikle her bir veri farklı yollardaki farklı sönümlenmelere altında alıcıya ulaşır. Bu teknik verici antenlerinin fazla olmasından dolayı verici çeşitlemesi olarak da adlandırılır. Eğer alıcı kısmında alıcıda çok sayıda anten yardımıyla bu olayı gerçekleştirirsek buna da alıcı anten çeşitlemesi denir. Alıcı ve verici anten çeşitlemesi aynı anda yapılan sistemlere ise MIMO sistemleri denir. Anlatılan yöntemle verilerdeki hatalar azalma sağlamıştır. Bu sistem sabit noktalar için uygulanabilir lakin işin içine mobil tarafı da girince, ebattaki büyüme nedeniyle kullanışlı değildir. Mobil birimlerde kullanım tek anten üzerinden sağlanmaktadır.

Son yıllarda yapılan gelişmelerle MIMO sistemini mobil kanallar içinde kullanılabilir hale gelmiştir. Bu yöntem ile verici, alıcı-verici arasındaki kanalda veri iletilirken başka birinin antenini kullanması ile sanal bir MIMO ortamı oluşturmaktadır. Oluşan sanal ortamla kullanıcıların kanalları farklı olduğundan uzay çeşitlemesi ve zaman çeşitlemesi yardımıyla da uzay-zaman kodlama yöntemini ortaya çıkar.

Çeşitlemede verimi arttırmak için kanalda kullanılan anten sayısı artırılmalı ve bu sayede farklı yollardan iletilen verinin farklı sönümlenmiş şekilde vericiye ulaşacaktır. Vericiye gelen sinyallerin kopyaları sistemin çeşitlenme dercesine katkı sağlayacaktır. Böylece sistemin hata yapma olasılığı minimize edilmiş olur.



ŞEKİL 8 İŞBİRLİKLİ SİSTEM I



ŞEKİL 9 İŞBİRLİKLİ SİSTEM II

İşbirlikli Sistemlerde Kullanılan Aktarma Yöntemleri

İşbirlikli sistemlerde aktarım teknikleri genel olarak üç gruba ayrılır. Bular :

1. Kuvvetlendir ve İlet Sistemi Olan AF
2. Çöz ve İlet Sistemi Olan DF
3. Kodlama iş birliği Sistemi Olan CF

Kuvvetlendir ve İlet Yöntemi

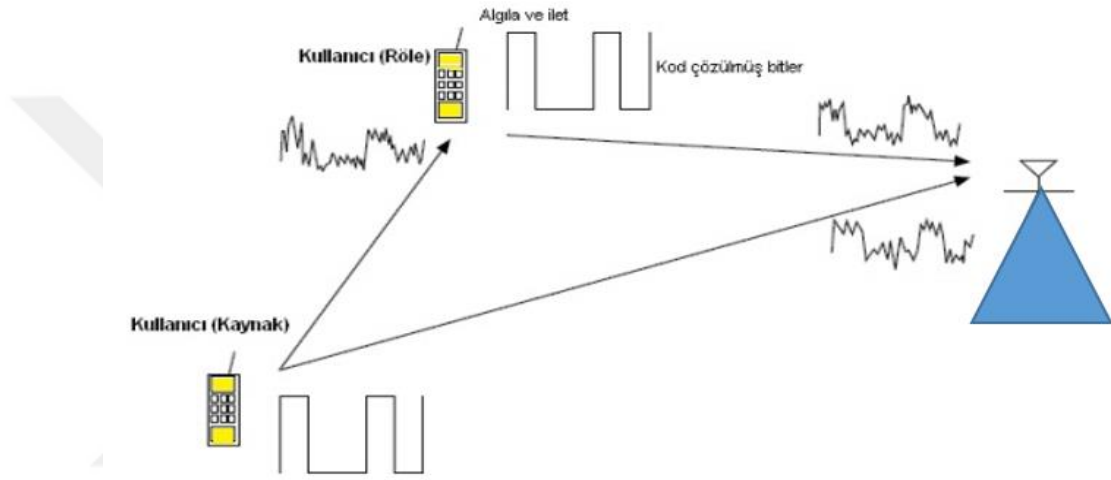
Kullanıcıların röle görevi görmesi üzerine geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntem ilk olarak Leneman tarafından önerilmiştir. İşbirlikçi çeşitlerinden biri olarak röleye gelen veriyi kuvvetlendirip alıcıya göndermesi olayına kuvvetlendir ve ilet yani AF yöntemi denilmiştir[11]. Alıcıya röle ve göndericiden gelen verilerin ulaşmasıyla çeşitleme kazancı artmakta ve alıcıdaki doğru karar verme olasılığı artmaktadır.



ŞEKİL 10 KUVVETLENDİR VE AKTAR

Çöz ve İlet Yöntemi

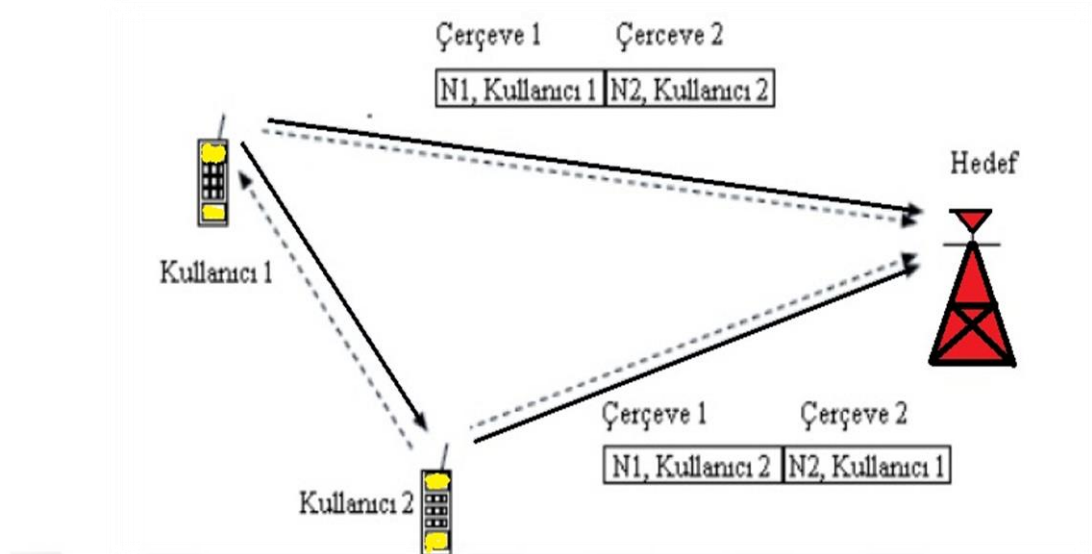
Bu yöntemle röleye gelen bilgi algılanır, çözer ve karar verir ardından da alıcıya tekrar module eder ve gönderir. Bu teknik ilk kez 2003 yılında Sendonaris ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir [12]. Sistemin dezavantajı olarak rölenin veriye yanlış karar vermesiyle alıcıya yanlış bilgi gidecek ve alıcıda hata oluşacaktır. Hata olasılığının olması çöz ve ilet tekniğinin performansını olumsuz etkilemektedir.



ŞEKİL 11 ÇÖZ VE AKTAR

Kodlama İşbirliği

Hunter ve Nostratinia tarafından önerilmiş olan yöntem röle ile göndericinin kodlama işbirliğine dayanmasından oluşmaktadır [13]. Bir bilginin farklı kanallarda farklı kodlarla gönderilir ve kullanıcılar fazladan bit kullanmasına sebep olmaktadır. Böylelikle kodlama sayesinde sistemin performansı artırılmış olur.



ŞEKİL 12 KODLAMA İŞBİRLİĞİ

İşbirlikçi Çeşitlemede İletişim Protokolleri

İşbirlikli çeşitlemede verinin iletilmesinde farklı protokoller kullanılır. En yaygın kullanılanlar şunlardır:

Protokol I

Bu protokolde ilk iletim olarak kaynak, röle ve alıcıya veri gönderir. İkinci iletim safhasında ise kaynak ve röle, alıcıya gönderim yapar.

1.iletimSafhası	2.iletimSafhası
$S(x_1) \rightarrow R$	$R(x_1) \rightarrow D$
$S(x_1) \rightarrow D$	$S(x_1) \rightarrow D$

Protokol II

Bu protokolde ilk iletimde kaynak röleye ve alıcıya veri gönderir. İkinci safhada röle alıcıya iletim yapar.

1.iletimSafhası	2.iletimSafhası
$S(x_1) \rightarrow R$	$R(x_1) \rightarrow D$
$S(x_1) \rightarrow D$	–

Protokol III

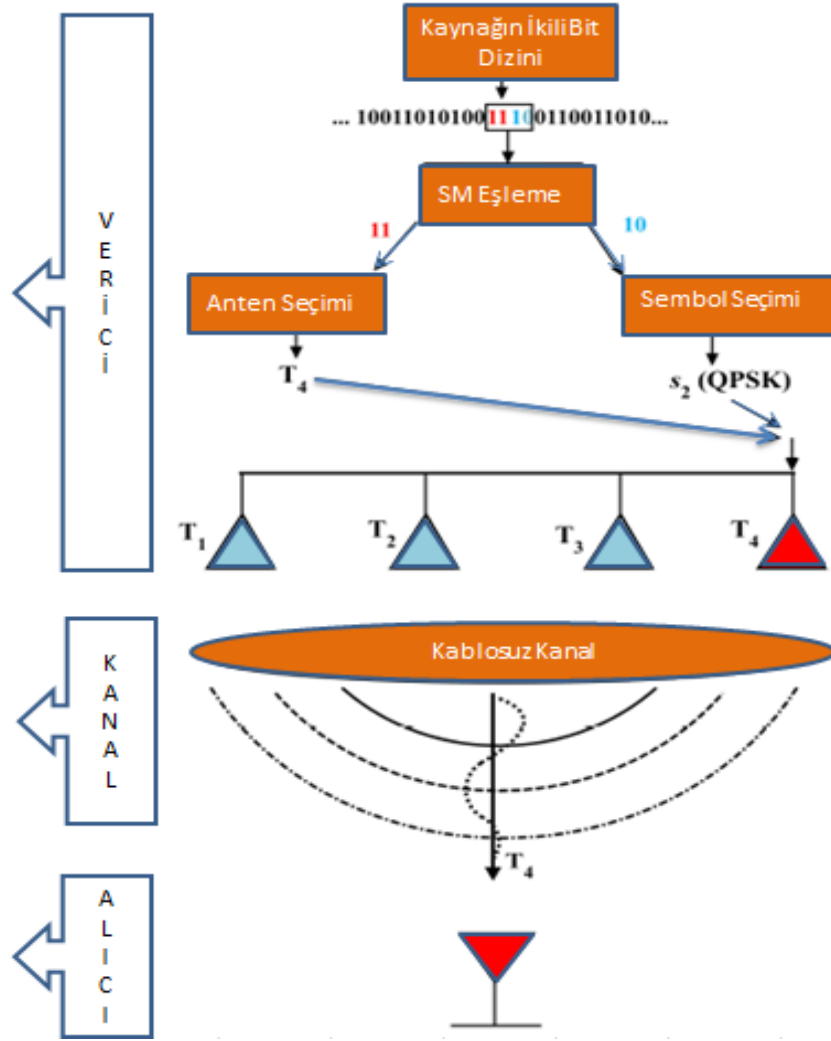
Bu protokolda birinci iletimde kaynak sadece röleye iletir ikinci safhada ise kaynak ve röle, alıcıya iletir.

1.iletimSafhası	2.iletimSafhası
$S(x_1) \rightarrow R$	$R(x_1) \rightarrow D$
–	$S(x_1) \rightarrow D$

Uzaysal Modülasyon

Büyük kullanım alanına sahip çok girişli-çok çıkışlı MIMO sistemler, son zamanlarda araştırmacılar tarafından kayda değer artış sağladıkları için önemli bir gelişim göstermiştir. Literatürde çok kullanıcı MIMO sistemleri uzun zamandır ele alınarak incelenmektedir. Böylece, bu araştırma alanındaki gelişme ile birlikte, çok kullanıcı MIMO sistem alıcı ve vericide çoklu anten kullanılarak iletim yapmaktadır. Günümüzde hücreli iletişim sistemi için dördüncü nesil uzun vadeli evrimde LTE, hem tek kullanıcı hem de çok kullanıcı sistemler için 8×8 MIMO sistemine kadar standartlaştırılmıştır. Ancak, ana istasyonda yüzlerce antene sahip masif MIMO sistemlerinin, 5G'de tanıtılacak ana veri hızlandırma tekniklerinin bir parçası olarak beşinci nesil hücreli sistemde standart hale getirileceği umulmaktadır. Bu amaçla, çok sayıda MIMO sistemlerinin faydalarını incelemek için çeşitli araştırmalar yapılmıştır.

Uzaysal modülasyon, verici kısmında ele alınan çoklu antenlerin indekslerini kullanarak ek veri aktaran yeni ve gelecek vaat eden bir iletim tekniğidir. Uzaysal modülasyonun ardında yatan ana fikir, uzaysal modülasyon şemasının vericiye ya da alıcıya uygulanıp uygulanmadığına bağlı olarak, antenleri, herhangi bir anda, antenin gönderildiği ya da aldığı anda iletilen sembol bilgisine ek olarak ilave bilgi iletmek için kullanılmasıdır. Böylece, iletilecek bilgi bitleri iki parçadan oluşan bloklara bölünür. Birinci kısım, iletilen sembol kümesinden seçilen bir sembolle eşleştirilir. Burada sembol başına bit sayısı kullanılan modülasyon derecesine bağlıdır. İkinci kısım, veri iletimi veya alımı için mevcut olan bir dizi antenden seçilecek olan antenin indeksini belirler. Bu nedenle, kanal durumlarına ve alınan sinyal gücüne bağlı olan geleneksel



ŞEKİL 13 UZAYSAL MODÜLASYONUN ŞEMATİK GÖSTERİMİ

MIMO sistemlerinde anten seçiminden farklı olarak, uzaysal modülasyonda anten seçimi, kaynağa ait bit dizilimine bağlıdır [14,15].

Vericiden gönderilecek olan bilgi $\log_2(N_t) + \log_2(M)$ formülüyle ayrılır. Burada N_t vericideki anten sayısını ve M ise modülasyonun derecesini ifade etmektedir.

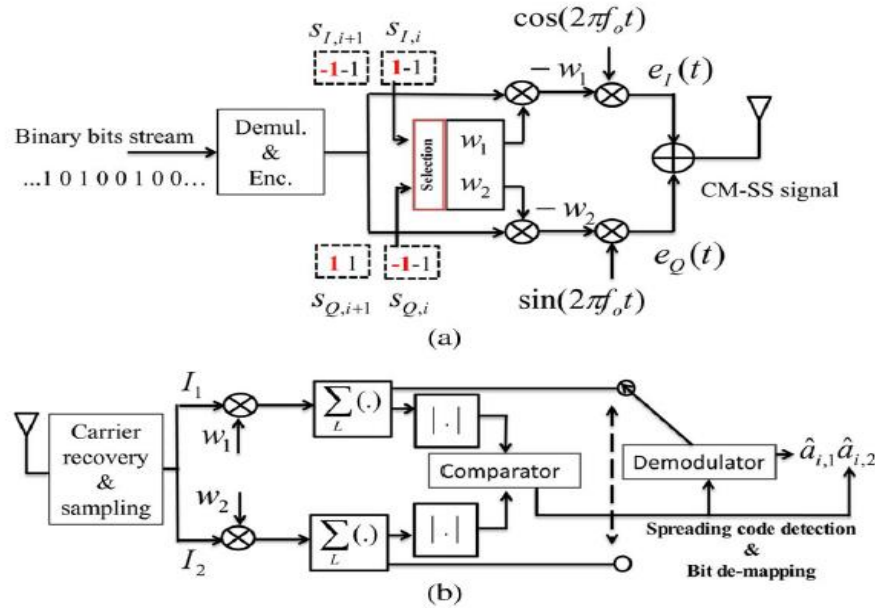
Uzaysal modülasyonun, V-BLAST ve uzay zaman blok kodlu MIMO (STBC-MIMO) sistemlerine göre en avantajlı yönü;

- i) Antenler arasındaki bağlamsal sıkıntıların büyük ölçekte giderilmesi,
- ii) Tek bir iletim kanalı üzerinden haberleşme ve
- iii) Yüksek spektral verimliliğe sahip olmasıdır [16].

Uzaysal modülasyonda, tüm sinyaller dikkate alındığından alıcıda en doğru karar en büyük olasılıklı karar kuralı yani ML kullanılarak vermiş olur [17]. SM tekniğinin basit ve kullanışlı olması nedeniyle, araştırmacılar daha az karmaşıklığa sahip yeni SM modeller üzerinde çalışmaktadır. Literatürde SM’i temel alan birçok çalışma mevcuttur ve bunlardan biri Öklid uzaklığını temel alan ve böylelikle alıcıda karar verme karmaşıklığını büyük ölçüde azaltan yöntemdir.

Kod İndeks Modülasyonu (CIM)

Kod indeks modülasyon (CIM) sistemi aynı bant genişliğinde iletim hızını artırması ve ayrıca bazı sistemlere göre daha az enerji kullanması araştırmacıların ilgisini çekmiştir [18]. Kod indeks modülasyonunun system yapısı Şekil 14’te verilmiştir. Bu bölümde CIM sisteminin çalışma mantığı ele alınmış olup CIM-SM Sistemi Bölümü’nde detaylı olarak formülize edilerek ele alınacaktır.



ŞEKİL 14 CIM Alıcı Ve Verici Yapısı [18]

Şekil 14’te kod indeks modülasyonun temel blokları gösterilmiş olup system yayılı izgenin (spread spectrum, SS) kullanılması temel alınmıştır. Bu yapı CIM-SS olarak adlandırılmaktadır. Bu teknikte, verici BPSK modülasyonunu ve doğrudan dizilimli yayılı izgeyi (DS-SS) kullanmaktadır. Burada, bilgi bitleri $\{-1, +1\}$ BPSK sembol değerlerini alan sembolleri ve eş evrede (in-phase, I) ve dik evrede (quadrature,

Q) kullanılan Walsh Hadamard kodlarını seçmek için kullanılır. Yayıcı kodu ve iletilen sembolü seçmek için bilgi bitleri iki bitlik bloklar halinde alt bloklara ayrılır. I ve Q faz bileşenleri benzer yapıda olduğu için ele alınacak çıkarım için I bileşen dikkate alınmış ve Q bileşeni için de yapılan işlemler benzer olacaktır. Alt bloklara ayrılan iki bitin ilk bitine karşılık düşen $a_{1,i}$ semblü, ikinci bitin seçtiği bir yayılım koduyla çarpılır ve i 'inci I bileşeni için $S_{I,i} = (a_{1,i}, a_{2,i})$ olarak gösterilir. $a_{2,i}$ iki değer aldığından, eğer $a_{2,i} = 1$ ise $w_1(t)$ seçilir ya da eğer $a_{2,i} = -1$ ise $w_2(t)$ gibi iki değişik ortogonal yayıcı kod seçebilir. İletilen I bileşeni sinyali $e_I(t)$, şu şekilde ifade edilebilir [18]:

$$e_I(t) = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^L a_{1,i} w_{a_{2,i},k} p(t - (iL + k)T_c) \cos(2\pi f_0 t) \quad (13)$$

Burada iletilen blokların sayısı N , çipin periyodu T_c ve çip uzunluğu ise L 'dir. $w_{a_{2,i},k} \in \{w_{1,k}, w_{2,k}\}$ Walsh Hadamard kod dizisini, f_0 taşıyıcının frekansını göstermekte ve $p(t)$ ise $[0, T_c]$ zaman aralığındaki birim genlikli bir darbe şekillendirme filtresidir. CIM tekniğinde, i $a_{1,i}$ simgesini yaymak için $a_{2,i}$ tarafından $w_{a_{2,i},k}$ kodu seçilir. Burada dikkat edildiğinde, yayıcı kodun seçiminde gönderilmiş her $a_{1,i}$ simgesi aynı zamanda eşlenmiş bir bit olan $a_{2,i}$ ile ilişkili olduğundan, aynı band genişliğinde iletim hızı iki katına çıkar ve geleneksel yayılı izgeli QPSK modülasyonu ile karşılaştırıldığında, iletim için %50 enerji daha az kullanılmıştır ve böylece daha az iletim enerjisi kullanılarak daha hızlı bir iletim gerçekleştirilmiş olmaktadır. Bu özelliği sayesinde CIM sisteminin haberleşme sistemleri için ne kadar avantajlı bir teknik olduğunu göstermektedir.

Alıcı, gelen sinyali iki koldan alır. Alınan gürültülü I -bileşenli sinyal aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$r_1(t) = e_I(t) + n(t) \quad (14)$$

Buradaki $n(t)$, sıfır ortalaması ve varyansı $N_0/2$ olan bir AWGN gürültüsüdür. Temelband sinyalinin tekrardan kazanımı ve örneklemeden sonra yayılım kodunu tespit etmek için alıcıda korelatör kullanılır. Alınan sinyal her bir kolda ona karşılık Walsh kodu ile çarpılır ve LT_c süresi boyunca toplanır. İlk koldaki $I_{1,i}$ 'deki çıkış ifadesi şu şekilde ifade edilir:

$$I_{1,i} = \begin{cases} a_{1,i}E_b + n_1 & , w_1 \text{ iletilen } (a_{2,i} = 1) \text{ ise,} \\ n_1 & , w_2 \text{ iletilen } (a_{2,i} = -1) \text{ ise,} \end{cases} \quad (15)$$

Buradaki $E_b = \sum_{k=1}^L w_{1,k}^2$ iletim için kullanılan bit enerjisini ve $n_1 = \sum_{k=1}^L n_k w_{1,k}$ ise ilk

Walsh kodu ile geri yayılmış AWGN'dir. Benzer şekilde alıcının diğer kolu için yapılırsa çıkış şöyle hesaplanır:

$$I_{2,i} = \begin{cases} n_2 & , w_1 \text{ iletilen } (a_{2,i} = 1) \text{ ise,} \\ a_{1,i}E_b + n_2 & , w_2 \text{ iletilen } (a_{2,i} = -1) \text{ ise} \end{cases} \quad (16)$$

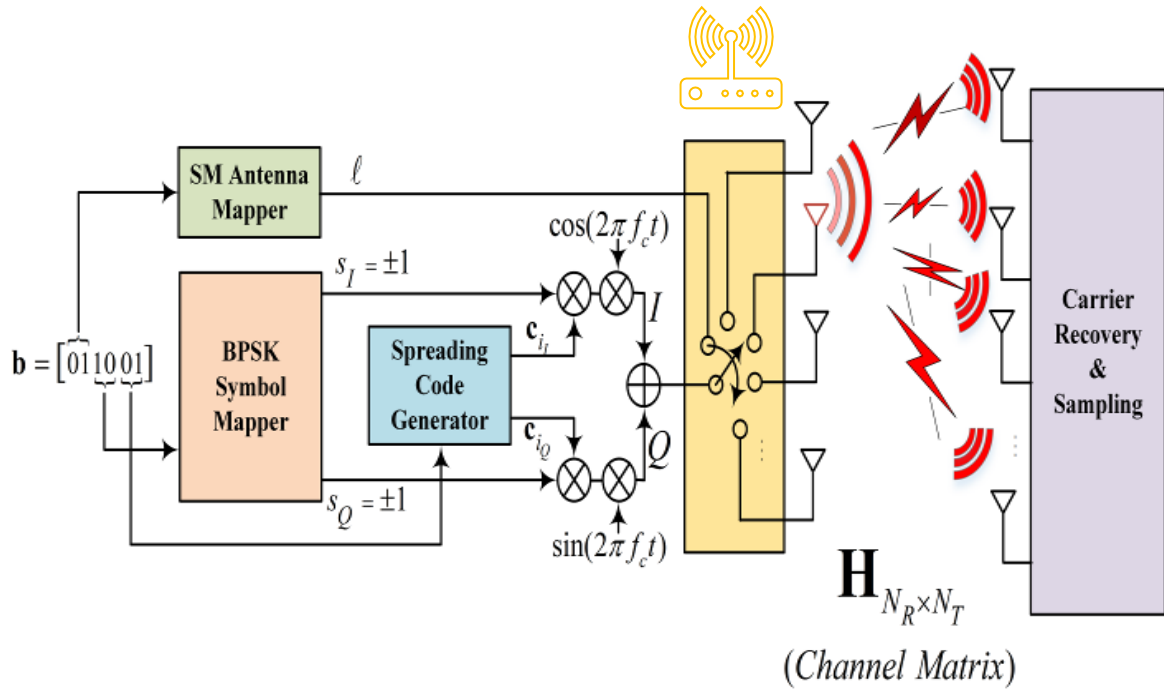
Buradaki $n_2 = \sum_{k=1}^L n_k w_{2,k}$, n_2 gürültüsüne karşılık gelen geriyayılmış gürültüyü

ifade eder. Korelatörün çıkışındaki değerlerin mutlak değerleri karşılaştırılıp iletilen Walsh kodun indisi tespit edilir. Kestirilen kodun indisine bağlı olarak da eşlenmiş bit $a_{2,i}$ bulunur. Eşleşen kol daha sonra alıcı kısmında gösterildiği gibi karşılaştırıcı yardımıyla seçilir ve korelatörün çıkışındaki işaret ile iletilen bit olan $a_{1,i}$ 'nin tekrardan kazanımı için kullanılır. Buna bağlı olarak bir BPSK simgesi kullanılarak iki bit kestirilmiş olur ve aşağıdaki gibi gösterilir:

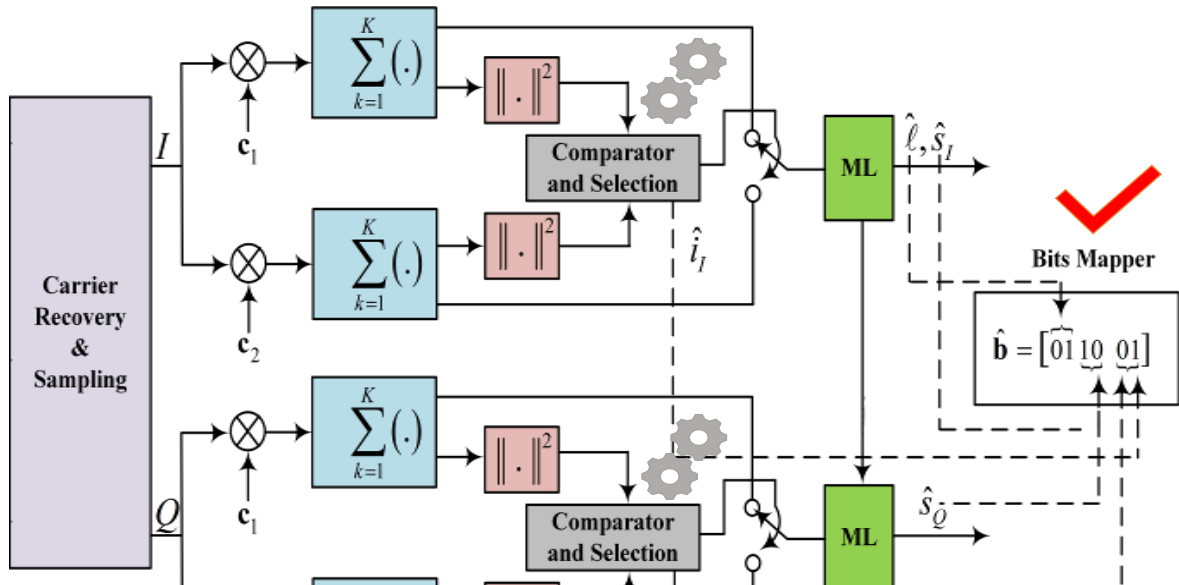
$$\begin{aligned} D_i > 0, & \quad a_{2,i} = 1, \quad a_{1,i} = \text{sign}(I_{1,i}), \\ D_i \leq 0, & \quad a_{2,i} = -1 \quad a_{1,i} = \text{sign}(I_{2,i}), \end{aligned} \quad (17)$$

CIM-SM Sistemleri

CIM-SM sistemi, kod indeks modülasyonu ve uzaysal modülasyonun birleştirilmesiyle elde edilir. CIM ve SM tekniklerinin avantajlarından faydalandığı için sistemin iletim hızı, enerji verimliliği ve performansı mükemmel derecede artırılır [19]. Yapılan simülasyonlar ile, CIM-SM sisteminin başarımının doğrudan dizilimli yayılı izge (DS-SS), CIM-SS ve SM sistemlerine göre daha iyi olduğu görülmüştür. Ele alınan sistem delinde kanal Nakagami- m olarak modellenmiştir [19].



ŞEKİL 15 CIM-SM SİSTEMİNİN VERİCİSİ YAPISI [19]



ŞEKİL 16 CIM-SM SİSTEMİNİN ALICI YAPISI [19]

Önerilen CIM-SM sisteminin genel yapısı Şekil 19’da gösterilmiştir. Burada, N_T ve N_R verici ve alıcı yapısındaki anten sayısını göstermektedir. i_I ve i_Q , için iki farklı Walsh Hadamard kod kullanılmış olup $c_i = [c_{i,1}, c_{i,2}, \dots, c_{i,K}]^T, i \in \{1, 2\}$, ayrıca her yayıcı kod K çipten meydana gelmektedir. Sistemde In-phase (I) and quadrature (Q) kanal bileşenleri alıcı ve verici tarafında bilinmektedir. Ayrıca BPSK modülasyonu kullanılıp $\{\pm 1\}$ sembolleri iletilmiştir. SM ve CIM teknikleri birleştirilerek BPSK modülasyonu kullanılmıştır.

CIM-SM sisteminin gönderici yapısı göz önünde bulundurulduğunda, \mathbf{b} bir sembol periyodu boyunca (T_s) iletilmek istenen ikili (binary) formundaki bilgi bitlerdir. CIM-SM iletim sisteminde öncelikle \mathbf{b} , $\log_2(N_T), \log_2(2M)$ ve $\log_2(2L)$ alt vektör gruplarına ayrılır. Burada, M ve L modülasyon derecesi ve farklı yayılım kodlarının sayısı olarak tanımlanır. Birinci, ikinci ve üçüncü alt bit grupları SM’in aktif anten indisini, BPSK simgesini ve yayıcı kodu seçerek bu bileşenlerde iletilir. Böylelikle $2(\log_2(M) + \log_2(L))$ bilgi bitleri BPSK simgesi ve yayıcı kod aracılığıyla I ve Q bileşenlerinde iletilir. I ve Q bileşenleri ile birleştirilen toplam işaret, SM tekniği sayesinde tek antenden iletilmiş olur.

CIM-SM’den gelen gürültülü ve zayıf alınan sinyaller şu şekilde ifade edilir [19]:

$$y(t) = \sum_{k=1}^K (s_I c_{i_I, k} p(t - kT_c) \cos(2\pi f_c t) + s_Q c_{i_Q, k} p(t - kT_c) \sin(2\pi f_c t)) h(t) + n(t) \quad (18)$$

$s_I, s_Q \in \{\pm 1\}$ BPSK sembolleri sırasıyla I ve Q kanalında iletilir. $p(t)$ dikdörtgen darbe, T_c spreading cod periyodu ve f_c taşıyıcı frekansdır. N_0 in varyansı ve sıfır ortalamayla $n(t) \square C(0, N_0)$, karmaşık Gauss rastgele süreçtir. $h(t)$ Nakagami- m

dağılımına sahip olup ve $h(t) = \sqrt{\sum_{q=1}^m |h(t)_{q,R}|^2} + j \sqrt{\sum_{q=1}^m |h(t)_{q,I}|^2}$ olarak ifade edilebilir.

$h(t)_{q,R}$ ve $h(t)_{q,I}$ bağımsız ve aynı dağılıma sahip rastgele Gauss değişkenleri olarak modellenir ve sıfır ortalamalı ve $\sigma_h^2 = 1/(2m)$ varyanslıdır. Nakagami- m sönümlenme kanallarının genlik ve fazına ait olasılık dağılım fonksiyonlarının sırasıyla

$$f(v) = \frac{2v^{2m-1} m^m}{\Gamma(m)} e^{-mv^2}, f(\theta) = \frac{\Gamma(m) |\sin(2\theta)|^{m-1}}{\Gamma^2(m/2) 2^m},$$

burada ve $\Gamma(m)$ gama fonksiyonudur.

$m \neq 1$ ise faz dağılımı $f(\theta)$ da eşit olarak dağılmaz. $y(t)$ 'nin I ve Q bileşenleri benzer olduğundan I bileşenli sinyal modeli yeniden yazılabilir. $y_I(t)$, I 'nin bileşenlerinin temel bandını verir.

$$y_I(t) = \sum_{k=1}^K s_I c_{i,k} p(t - kT_c) h(t) + n_I(t) \quad (19)$$

burada, $n_I(t)$ I bileşeni için AWGN gürültüsünü ifade eder. Temel band sinyalinin örneklemeinden sonra, alıcının r 'inci anteni tarafından alınmış k 'inci gürültülü çip sinyali aşağıdaki gibi yazılabilir :

$$y_{i,r}^k = s_I c_{i,k} h_r + n_{i,r}^k, \quad r = 1, 2, \dots, N_R \quad (20)$$

Bu eşitlikte, i yayıcı kod indeksini ifade etmektedir. Gösterim karmaşıklığını azaltmak için y ve n bileşenlerinden I bileşeni çıkarılmıştır. Öncelikle, korelatör kullanılarak örneklenmiş sinyalden kod indeksi tespit edilir. Bu doğrultuda, $y_{i,r} = [y_{i,r}^1, y_{i,r}^2, \dots, y_{i,r}^K]^T$ vektörü her koldaki c_i yayılım koduyla çarpılır ve $T_s = KT_c$ periyot süresi boyunca toplanır. Korelatör çıkışı şöyle gösterilir [19]:

$$y_{i,r} = \sum_{k=1}^K c_{i,k} y_{i,r}^k = \sum_{k=1}^K c_{i,k} (s_I c_{i,k} h_r + n_{i,r}^k) = E_s s_I h_r + n, \quad r = 1, 2, \dots, N_T, \quad i = 1, 2 \quad (21)$$

Burada, E_s ortalama simge enerjisini ifade etmektedir ve $E_s = \sum_{k=1}^K c_{i,k}^2$ 'dir. $n_r = \sum_{k=1}^K c_{i,k} n_{i,r}$

ise AWGN'nin Walsh Hadamard kodu ile geri yayılmış halidir. Sistemde geri yayılım yapıldığında, $\Upsilon = \{\mathbf{y}_1, \mathbf{y}_2\}$ vektörü elde edilir.

Kullanılan anten indeksi ve iletilen simgeleri $(\hat{i}_I, \hat{i}_Q, \hat{\ell}, \hat{s}_I, \hat{s}_Q)$ elde etmek için I ve Q bileşenleri kullanılır. CIM-SM sisteminin yapısı dikkate alındığında ilk olarak kod indeksi (\hat{i}_I, \hat{i}_Q) elde edilir. Daha sonra, elde edilen kod indeksleri kullanılarak aktif anten indeksi $\hat{\ell}$ ve iletilen simgeler (\hat{s}_I, \hat{s}_Q) kestirilir. Elde edilen (\hat{i}_I, \hat{i}_Q) indisleri, geri yayılmış vektör dizisine geri bildirilir ve sonra sadece ilişkili y_i sinyali kullanıldığından en büyük olasılıklı kestirimcinin girişine sadece bir sinyal gönderilir. Bu sayede sistemdeki karmaşıklık önemli derecede azaltılmış olur.

Kod indeksini kestirmek için, hesaplanan Υ 'nin norm karesi $\|\Upsilon\|^2$ alınır ve normu alınmış dizisinin maksimum elemanının indeksi belirlenir. Maksimum elemanın

indeksi iletilen kod indeksine eşittir. Walsh kodları birbirlerine dik olduğundan normu alınmış vektörün en büyük değerli elemanının indeksi iletilen kod indeksine eşittir. Çünkü, kullanılan kodlar birbirine dik olduğundan iç çarpımları sıfırdır

$$\sum_{k=1}^K c_{i,k} c_{j,k} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i = j \\ 0, & \text{eğer } i \neq j \end{cases}. \text{ Norm karesi alınmış vektörün maksimum elemanına ait}$$

indeks aşağıdaki gibi elde edilir [19]:

$$\hat{i}_I = \arg \max \left\{ \|\mathbf{Y}\|^2 \right\} = \arg \max \left\{ \|y_1\|^2, \|y_2\|^2 \right\} \quad (22)$$

ML kestirimci ℓ, s_I nin tüm kombinasyonlarının y_i üzerinde deneyerek $\hat{\ell}$ ve \hat{s}_I 'ya karar verir. Önerilen sistemin I -bileşenleri için (ℓ, s_I) değişkenlerini elde eden ML kestirimci aşağıdaki gibi ifade elde edilebilir:

$$(\hat{\ell}, \hat{s}) = \arg \min_{\ell \in \{1, 2, \dots, N_T\}, s_I \in \{+1, -1\}} \left\{ \|\mathbf{y}_{i_\ell} - E_s s_I \mathbf{h}_\ell\|^2 \right\}, \quad (23)$$

burada, \mathbf{h}_ℓ vektörü, $(N_R \times 1)$ boyutunda ve \mathbf{H} kanal matrisindeki ℓ^{th} sütununa karşılık gelmektedir. \mathbf{H} matrisinde satırlar alıcının, sütunlar ise vericideki anten indeks bilgilerini taşımaktadır. $\mathbf{H} = [\mathbf{h}_1, \mathbf{h}_2, \dots, \mathbf{h}_{N_T}]$ olarak tanımlanır.

CIM-SM alıcısı, sistemin karmaşıklığını azaltmak için I -bileşeninde hesaplanan kod indeks bilgisi Q -bileşeni için de kullanılır. Benzer şekilde Q -bileşeni için ML kestirimci şu şekilde ifade edilebilir:

$$\hat{s}_Q = \arg \min_{s_Q \in \{+1, -1\}} \left\{ \|\mathbf{y}_{i_Q} - E_s s_Q \mathbf{h}_\ell\|^2 \right\}. \quad (24)$$

Son olarak, kestirilen $\hat{i}_I, \hat{i}_Q, \hat{\ell}, \hat{s}_I, \hat{s}_Q$ değerleri kullanılarak bitlerin tekrardan geri eşleştirilmesi sağlanarak girişe uygulanan veri dizisinin kestirimi olan $\hat{\mathbf{b}}$ elde edilir.

Ayrıca, alıcıdaki birim zamanda elde edilen bit sayısı sistemin verimini gösterir ve şöyle tanımlanır [19]:

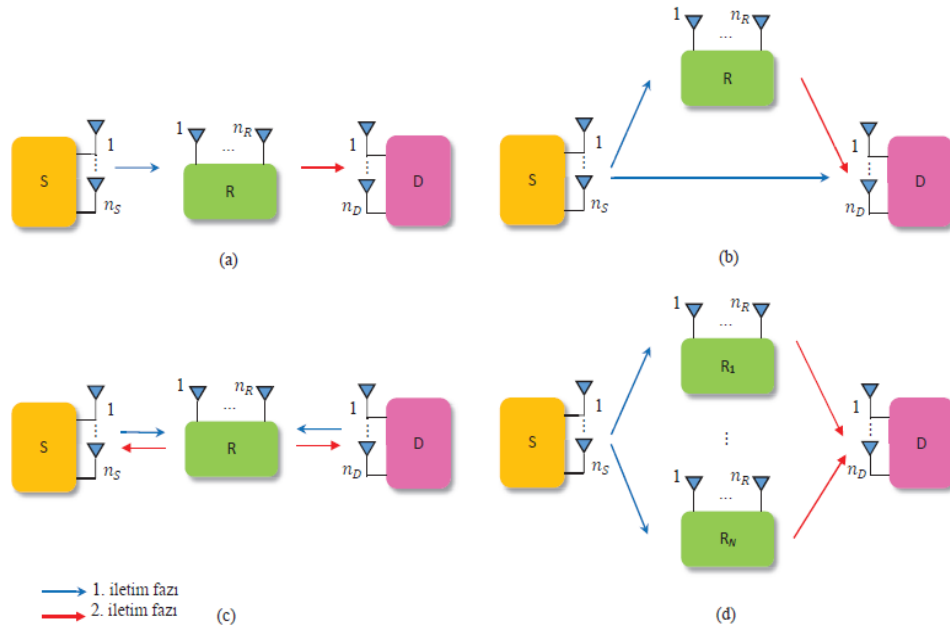
$$R_t = \frac{(1 - P_\varepsilon)}{T_s} (\log_2(2M) + \log_2 N_T + \log_2(2L)), \quad (24)$$

buradaki P_ε yapıdaki toplam hata olasılığını göstermektedir. Bunun tam tersi olarak da T_s zamanı boyunca doğru gösterme olasılığı da $(1 - P_\varepsilon)$ dir. Burada dikkat edilmesi

gereken SM , $CIM-SM$, $CIM-SS$ ve $DS-SS$ yapılarının aynı $T_s = KT_c$ sembol sürelerine sahip olmasıdır. Bu sayede verimliliklerini kolaylıkla karşılaştırabiliriz. $M = 2$, $L=2$ ve $N_T=4$ iken SM ile 3 bit, $CIM-SM$ ile 6 bit, $CIM-SS$ ile 4 bit ve $DS-SS$ ile 1 bit taşınmaktadır. Görüldüğü gibi, $CIM-SM$ yapısıyla birim zamanda gönderilen bit sayısı artmış ve buna bağlı olarak da veri iletimi hızı artı ve veri gönderimdeki enerji azalmış oldu.

İşbirlikli Uzaysal Modülasyon

Bu bölümde uzaysal modülasyona işbirlikli sistemin entegre edilmesiyle ortaya çıkan kazanımları hesaplanacak. AF ve DF tekniğini işbirlikli sistem olarak bu bölümde değinilecektir.

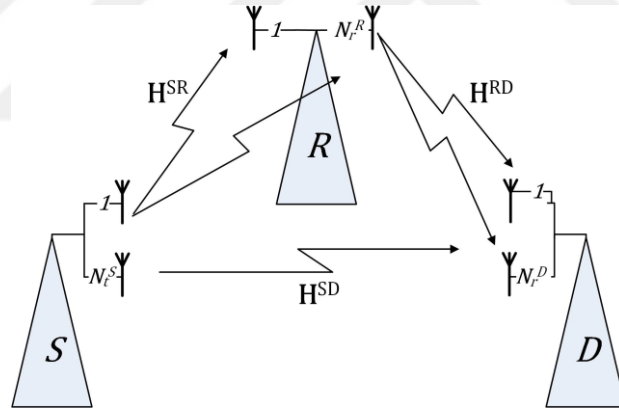


ŞEKİL 17 İŞBİRLİKLİ SM GÖSTERİMİ [20]

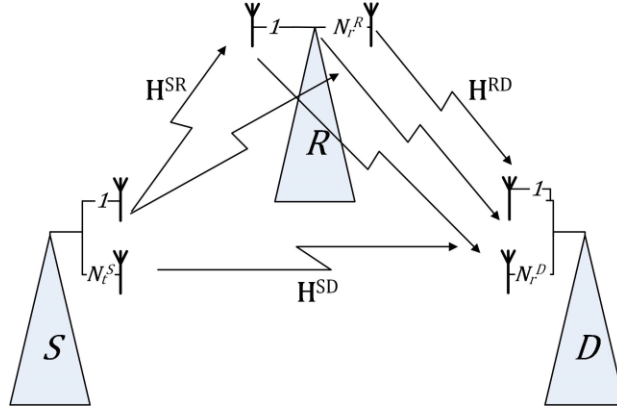
İşbirlikçide ortamdaki röleler yardımıyla vericiden alıcıya, birden çok yoldan bilgi akışı olmaktadır. Uzaysal modülasyon sisteminin işbirlikli sisteme entegrasyonu SM deki avantajlar azımsanmayacak derecede artış göstermiştir. İşbirlikli sistemlerde ilk başlarda mobil kullanıcıdaki anten sayısının artış işlemi, maddi olarak artış ve donanımsal olarak olumsuzluklar göstermesine neden olmuştur. Bu olumsuzlukları yenmek için sanal MIMO fikri ortaya çıkmıştır. Öte yandan, teknolojiye ilerlemeler sayesinde mobil

vericiye birden çok anten koyulması gerçekleştirilmiştir. Teknolojideki bu gelişmeler sayesinde verideki hız artmış ve kapsama alanında önemli genişleme sağlanmıştır. Bu çalışmalarda rölelerin de devreye girmesiyle birçok makale ve araştırma önerileri ortaya çıkmıştır [20].

SM tekniğinde, iletim esnasında sadece bir adet anten aktif olduğundan kanallar arası girişim ortadan kaldırılmıştır. SSK sistemleri SM ye göre nispeten daha basit olsa da veri iletim hızı aynı sayıdaki iletim anteni için SM den düşüktür. Bu yüzden çoklu antenli sistemlerde SM tercih edilmeye başlanmıştır. Bu sistemin gelecek vadetmesi nedeniyle gün geçtikçe üzerine yeni eklemeler gelmektedir. İşbirlikli sistem yardımıyla sönmülemeye uğrayan sinyallerin bilgi iletimindeki hata olasılığının azaltılması sağlanmıştır. 2016 yılına kadar genelde işbirlikli SM yerine SSK önerilmiştir. İşbirlikli SM sistemleri hakkında Bilgisayar simülasyonlarında ve yapılan çalışmalarda hata olasılıklarının azaldığı tespit edilmiştir.



ŞEKİL 18 İŞBİRLİKLİ HABERLEŞME İLE SM MIMO-DF [21]



ŞEKİL 19 İŞBİRLİKLİ HABERLEŞME İLE SM MIMO-AF
[21]

Tek bir röleden oluşan SM MIMO-DF ve MIMO-AF sistem yapısı şekil 18 ve 19’da gösterilmiştir. Anlatılan sistemde S ve R sırasıyla N_s ve N_r verici antenini oluştururken, R ve D sırasıyla N_r ve N_d alıcı antenlerini oluşturmaktadır. Kanal matrislerinin $S-R$, $S-D$ ve $R-D$ arasında kanal sönümlenme katsayılarıyla oluşumunu bize veren $H^{SR} \in \mathbb{C}^{N_r^R \times N_s^S}$, $H^{SD} \in \mathbb{C}^{N_r^D \times N_s^S}$ ve $H^{RD} \in \mathbb{C}^{N_r^D \times N_r^R}$ dir. Verilen matrislerin her bir elemanı bağımsız olarak tasarlanıp $CN(0, \sigma_h^2)$ ile aynı şekilde dağıtılmış rastgele değişken olup Rayleigh sönümlenme kanalına maruz kalmaktadır. Buradaki σ_h^2 e karşılık gelen üç kanal matrisi için sırasıyla σ_{SR}^2 , σ_{SD}^2 ve σ_{RD}^2 ’ye eşittir. Yol kaybını da işleme koymak için varyanslar $\sigma_{SR}^2 \propto d_{SR}^{-\alpha}$, $\sigma_{SD}^2 \propto d_{SD}^{-\alpha}$ ve $\sigma_{RD}^2 \propto d_{RD}^{-\alpha}$ olarak tanımlanır. Bu işlemdeki $d_{SR}^{-\alpha}$, $d_{SD}^{-\alpha}$ ve $d_{RD}^{-\alpha}$ sırasıyla $S-R$, $S-D$ ve $R-D$ arasındaki mesafeyi ve α ise yol kaybını ifade eder [6].

Bir SM sembolü $x = \left[\underbrace{0 \ 0 \ \dots \ 0}_{l-1} \ x_q \ \underbrace{0 \ \dots \ 0}_{N_s^S - l} \right]^T$ olarak verilir. Buradaki l aktif olan

verici olan antenin indisini, x_q ise $M-PSK/QAM$ nin öğeleridir ve $E\{x^H x\} = 1$ olduğu farz edilmiştir. İlk önce S bir SM sembolünü R ve D ye şöyle gönderir:

$$y^{SR} = H^{SR} x + n^{SR} \quad (25)$$

$$y^{SD} = H^{SD}x + n^{SD} \quad (26)$$

Buradaki $n^{SR(SD)} \in \mathbb{C}^{N_r^R(N_r^D) \times 1}$ boyut başına spektral gürültü yoğunluğu ile girdisi modellenmiş örnek vektör olarak eklenecek olan beyaz Gauss gürültüsüdür.

İşbirlikli SM ile DF tekniği

Hatasız kanal durum bilgisine sahip olan R deki alıcı, SM sembolünü tespit etmek için ML karar kuralının (27) deki gibi uygulayan SM sembolünü aşağıdaki gibi çözer [21].

$$(\tilde{l}, \tilde{x}_q) = \arg \min_{l, x_q} \|y^{SR} - H^{SR}x\|^2 \quad (27)$$

\tilde{l} ve \tilde{x} 'i $\tilde{x} = \begin{bmatrix} \underbrace{0 \ 0 \ \dots \ 0}_{\tilde{l}-1} \ \tilde{x}_q \ \underbrace{0 \ \dots \ 0}_{N_r^R - \tilde{l}} \end{bmatrix}^T$ olduğu düşünüp SM sembolüne yeniden

kodlayıp tekrar D' ye gönderir. Bu faz şöyle tanımlanır [21]:

$$y^{RD} = H^{RD}\tilde{x} + n^{RD} \quad (28)$$

Buradaki $n^{RD} \in \mathbb{C}^{N_r^D \times 1}$, $CN(0, N_0)$ ile beyaz Gauss girdisiyle gösterilir. (26) ve (28) numaralı formüllerden D' deki ML algılama kuralı (29)'deki formülün elde edilmesini sağlar [21].

$$(\tilde{l}, \tilde{x}_q) = \arg \min_{l, x_q} \left(\|y^{SD} - H^{SD}x\|^2 + \|y^{RD} - H^{RD}x\|^2 \right) \quad (29)$$

İşbirlikli SM ile AF tekniği

S den alınan her bilgi kuvvetlendirilerek D ye gönderilir. Alıcıda oluşan sinyalin vektörel gösterimi aşağıdaki gibi ifade edilir [21]:

$$\begin{aligned} y^{RD} &= GH^{RD}y^{SR} + n^{RD} \\ &= GH^{RD}y^{SR} + n_{MIMO} \end{aligned} \quad (30)$$

Buradaki G , röleden çıkan enerjinin normalleştirme katsayısıdır ve $G = \sqrt{\frac{1}{N_t^R (\sigma_{SR}^2 + N_0)}}$ ile gösterilir. n_{MIMO} ise Gauss gürültüsü etkisi altında kalmış vektördür ve (31) de gösterilmiştir. Koşullu kovaryans matrisi ile gösterimi ise (32) numaralı denklem ile ifade edilebilir [21].

$$n_{MIMO} = GH^{RD}n^{SR} + n^{RD} \quad (31)$$

$$\begin{aligned} C &= E\{n_{MIMO}n_{MIMO}^H | H^{RD}\} \\ &= G^2 H^{RD} (H^{RD})^H N_0 + N_0 I_{N_r^D} \end{aligned} \quad (32)$$

Alıcıdaki ML algılaması, MIMO-AF için şu şekilde gösterilir [21] :

$$(\tilde{l}, \tilde{x}_q) = \arg \min_{l, x_q} \left(\|y^{SD} - H^{SD}x\|^2 / N_0 + \|C^{-1/2}(y^{RD} - GH^{RD}H^{SR}x)\|^2 \right) \quad (33)$$

DF için ortalama bit hata olasılığı

Ortalama çiftsel hata olasılığı kullanılarak ortalama bit hata olasılığı bulunabilir. İşbirlikli SM için alıcıdaki ortalama çiftsel hata olasılığı şu şekilde gösterilir [21]:

$$P_D^{DF}(x \rightarrow \hat{x}) \leq P_R^c(x)P_D(x \rightarrow \hat{x} | R: x) + \sum_{\tilde{x} \neq x} P_R(x \rightarrow \tilde{x})P_D(x \rightarrow \hat{x} | R: \tilde{x}) \quad (34)$$

Herhangi bir x röleye iletilmesiyle röledeki ortalama ikili hata olasılığı \tilde{x} dir ve $P_R(x \rightarrow \tilde{x})$ olarak gösterilir. Röledeki doğru karar verme olasılığı ise $P_R^c(x)$ olarak gösterilir. Röle doğru karar verdiği zamanki SM sembolü, alıcıdaki ortalama ikili hata olasılığı $P_D(x \rightarrow \hat{x} | R: x)$ olarak gösterilir ve röledeki hatalı karar verme nedeniyle alıcıdaki ortalama ikili hata olasılığı ise $P_D(x \rightarrow \hat{x} | R: \tilde{x})$ olarak gösterilir. $P_D(x \rightarrow \hat{x} | R: \tilde{x})$ nin olasılıklarının şu şekilde hesaplayabiliriz [21]:

$$P_D(x \rightarrow \hat{x} | R: \tilde{x}) = E\{\Pr\{\|y^{SD} - H^{SD}x\|^2 + \|y^{RD} - H^{RD}x\|^2 \\ \|y^{SD} - H^{SD}\hat{x}\| + \|y^{RD} - H^{RD}\hat{x}\|^2 | H^{SD}, H^{RD}\}\} \quad (35)$$

$$P_D(x \rightarrow \hat{x} | R: \tilde{x}) = E\{\Pr\{\|(H^{SD}x + n^{SD}) - H^{SD}x\|^2 + \|(H^{RD}\tilde{x} + n^{RD}) - H^{RD}x\|^2 \\ \geq \|(H^{SD}x + n^{SD}) - H^{SD}\hat{x}\| \\ + \|(H^{RD}\tilde{x} + n^{RD}) - H^{RD}\hat{x}\|^2 | H^{SD}, H^{RD}\}\} \quad (36)$$

Yukardakileri ifade biraz basitleştirilecek olursa aşağıdaki ifade elde edilebilir :

$$P_D(x \rightarrow \hat{x} | R: \tilde{x}) = \left\{ Q \left(\frac{\|H^{RD}(x - \hat{x})\|^2 + \|H^{RD}(\tilde{x} - \hat{x})\|^2 - \|H^{RD}(\tilde{x} - x)\|^2}{\sqrt{2N_0(\|H^{RD}(x - \hat{x})\|^2 + \|H^{RD}(\tilde{x} - \hat{x})\|^2 + \|H^{RD}(\tilde{x} - x)\|^2)}} \right) \right\} \quad (37)$$

SM sembolü x gönderildiğinde $\tilde{x} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & \tilde{x}_q & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}^T$ olarak hatalı

algılandığında Röle ve alıcıda $\tilde{x} = \hat{x}$ olması halinde (37) numaralı denklem şu şekilde düzenlenir [21]:

$$P_D(x \rightarrow \hat{x} | R: \hat{x}) = \left\{ Q \left(\frac{\|H^{RD}(x - \hat{x})\|^2 - \|H^{RD}(\hat{x} - x)\|^2}{\sqrt{2N_0(\|H^{RD}(x - \hat{x})\|^2 + \|H^{RD}(\hat{x} - x)\|^2)}} \right) \right\} \quad (38)$$

Yüksek SNR değerlerinde (14) numaralı formül yaklaşık olarak tahmin edilebilir [21]:

$$P_D(x \rightarrow \hat{x} | R: \hat{x}) \approx \Pr\left(\|H^{SD}(x - \hat{x})\|^2 < \|H^{RD}(x - \hat{x})\|^2 | H^{SD}, H^{RD}\right) \quad (39)$$

Yukarıdaki eşitsizliğe dikkatli bakıldığında iki tarafın da aynı dağılıma sahip olduğu görülür ve olasılığın 0.5 e eşit olduğu tespit edilir. MIMO-DF işbirlikli SM sisteminin ortalama bit hata olasılığının $\tilde{x} = \hat{x}$ tarafından kontrol edildiği anlaşılır. Buna bağlı olarak (34) numaralı formül şu şekilde düzenlenebilir :

$$P_D^{DF}(x \rightarrow \hat{x}) \approx P_R^c(x)P_D(x \rightarrow \hat{x} | R: x) + P_R(x \rightarrow \hat{x})P_D(x \rightarrow \hat{x} | R: \hat{x}) \quad (40)$$

$P_R(x \rightarrow \hat{x})$, SM'in ortalama ikili hata olasılığıdır ve şu şekilde denkleme dökülür :

$$P_R(x \rightarrow \hat{x}) = E \left\{ \Pr \{ x \rightarrow \hat{x} \mid H^{SR} \} \right\} = E \left\{ Q \left(\sqrt{\frac{\|H^{SR}(x \rightarrow \hat{x})\|^2}{2N_0}} \right) \right\} \quad (41)$$

$P_R^c(x)$, $\tilde{x} = \hat{x}$ ' in kontrolündedir ve $P_R^c(x) \approx (1 - P_R(x \rightarrow \hat{x}))$ olarak tanımlanır.

Röledeki SM sembolü doğru algılandığında alıcıdaki ortalama ikili hata olasılığı $P_D(x \rightarrow \hat{x} \mid R : x)$ dır ve antenin indeksi ve verinin sembolü $\tilde{l} = l$ ve $\tilde{x}_q = x_q$ gibi doğru olarak tespit edilebilir. (37) numaralı denklemde $\tilde{x} = x$ yazılır ve $P_D(x \rightarrow \hat{x} \mid R : x)$ yerine işlenirse şu denklem ortaya çıkar

$$P_D(x \rightarrow \hat{x} \mid R : x) = E \left\{ Q \left(\sqrt{\frac{\|H^{SR}(x \rightarrow \hat{x})\|^2 + \|H^{RD}(x - \hat{x})\|^2}{2N_0}} \right) \right\} \quad (42)$$

Ortalama ikili hata olasılığını almak için (41) ve (42) numaralı denklemlerin Q fonksiyonundaki rastgele değişkenin PDF leri hesaplanmalıdır. PDF lerin $\gamma^{SR} \propto \frac{p}{2} \|H^{SR}(x - \hat{x})\|^2$ ve $f_{\gamma^{SR}}(\gamma) \geq 0$ olduğunu farz edelim ve buradaki $p = \frac{1}{N_0}$ dır.

Röledeki ortalama ikili hata olasılığı şöyle hesaplanabilir:

$$P_R(x \rightarrow \hat{x}) = \int_0^{\infty} Q(\sqrt{\gamma^{SR}}) f_{\gamma^{SR}}(\gamma) d\gamma \quad (43)$$

Bu Craig formülüyle hesaplanabilir [21]. Q fonksiyonunun başka bir şeklini kullanarak (43) u ele aldığımızda :

$$P_R(x \rightarrow \hat{x}) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} M_{\gamma^{SR}} \left(-\frac{1}{2 \sin^2 \theta} \right) d\theta \quad (44)$$

Buradaki $M_{\gamma^{SR}}$, γ^{SR} ' nin MGF'sidir. Rayleigh sabit sönümleme kanalı için, γ^{SR} gama

yayılımını ve $\text{Gamma} \left(N_r^R, \frac{\rho \lambda_x \sigma_{SR}^2}{2} \right)$ yi izler. Buradaki λ_x , $(x - \hat{x})(x - \hat{x})^H$ ' nin

eşdeğeridir ve aşağıdakine eşittir:

$$\lambda_x = \begin{cases} |x_q - \hat{x}_q|^2 & \text{eğer, } l = \hat{l} \\ |x_q|^2 + |\hat{x}_q|^2 & \text{eğer, } l \neq \hat{l} \end{cases} \quad (45)$$

SR nin MGF si şu şekilde elde edilmiştir [21] :

$$M_{\gamma^{SR}}(s) = \left(1 - \frac{\rho\lambda_x\sigma_{SR}^2}{2}s\right)^{-N_r} \quad (46)$$

(44) numaralı denklem (46) deki denklemle birleştirildiğinde :

$$P_R(x \rightarrow \hat{x}) = \frac{1}{2} \left[1 - \mu \sum_{j=0}^{N_r-1} \binom{2j}{j} \left(\frac{1-\mu^2}{4}\right)^j\right] \quad (47)$$

Buradaki $\mu = \sqrt{\frac{\rho\lambda_x\sigma_{SR}^2/4}{(\rho\lambda_x\sigma_{SR}^2/4)+1}}$ dir. $P_D(x \rightarrow \hat{x} | R : x)$ 'nin da hesaplanabilmesi için aynı işlemler uygulanır. Şöyle ki [21]:

$$\gamma^{DF} = \frac{\rho}{2} \left(\|H^{SD}(x - \hat{x})\|^2 + \|H^{RD}(x - \hat{x})\|^2 \right) = \gamma^{SD} + \gamma^{RD} \quad (48)$$

Yukarıdaki denklem birbirinden farklı ölçekteki karakteristik özellikle iki adet gamma rastgele değişkenin toplamı olduğu görülmektedir. Bu denklemin MGF si şu şekilde yazılabilir [21]:

$$M_{\gamma^{DF}}(s) = \left(1 - \frac{\rho\lambda_x\sigma_{SD}^2}{2}s\right)^{-N_r^D} \left(1 - \frac{\rho\lambda_x\sigma_{RD}^2}{2}s\right)^{-N_r^D} \quad (49)$$

$P_D(x \rightarrow \hat{x} | R : x)$ ise şu şekilde yazılabilir [21] :

$$P_D(x \rightarrow \hat{x} | R : x) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} M_{\gamma^{DF}} \left(-\frac{1}{2\sin^2 \theta} \right) d\theta \quad (50)$$

$\sigma_{SD}^2 = \sigma_{RD}^2 = \sigma$ olduğunda γ^{DF} 'nin PDF i iki gama rastgele değişkeninin toplamının

Gamma $\left(2N_r^D, \frac{\rho\lambda_x\sigma^2}{2}\right)$ olarak yayılımını izlemektedir. Bunun MGF si ise bize şunu

verir:

$$M_{\gamma^{DF}}(s) = \left(1 - \frac{\rho\lambda_x\sigma^2}{2}s\right)^{-2N_r^R} \quad (51)$$

$P_D(x \rightarrow \hat{x} | R: x)$ ise şu şekilde elde edilir:

$$P_D(x \rightarrow \hat{x} | R: x) = \frac{1}{2} \left[1 - \mu \sum_{j=0}^{2N_r^D-1} \binom{2j}{j} \left(\frac{1-\mu^2}{4}\right)^j \right] \quad (52)$$

Ortalama ikili hata olasılığının bulunmasından sonra, ortalama bit hata olasılığının ortalaması aşağıdaki gibi alınabilir [21] :

$$P_b^{DF} \approx \frac{1}{N_r M \log_2(N_r M)} \sum_x \sum_{\hat{x}} n(x \rightarrow \hat{x}) P_D^{DF}(x \rightarrow \hat{x}) \quad (53)$$

Buradaki $n(x \rightarrow \hat{x})$ değeri, x ve \hat{x} SM sembolleri arasındaki bit hata sayısını göstermektedir. (44) ve (50) numaralı formüllerdeki integrallerde $\theta = \frac{\pi}{2}$ kullanıldığında bir üst sınır bulunabilir. Bu yüzden ki, $P_R(x \rightarrow \hat{x})$ ve $P_D(x \rightarrow \hat{x} | R: x)$ üst sınırlandırılmışı şu şekildedir:

$$P_R(x \rightarrow \hat{x}) \leq \left(1 + \frac{\rho\lambda_x\sigma_{SR}^2}{4}\right)^{-N_r^R} \quad (54)$$

$$P_D(x \rightarrow \hat{x} | R: x) \leq \left(1 + \frac{\rho\lambda_x\sigma_{SD}^2}{4}\right)^{-N_r^D} \left(1 + \frac{\rho\lambda_x\sigma_{RD}^2}{4}s\right)^{-N_r^D} \quad (55)$$

$SNR \rightarrow \infty$ yani $\frac{\rho\lambda_x\sigma_{SR, RD, SD}^2}{4} \rightarrow \infty$ olduğunu (40), (54) ve (55) numaralı formüllerden görebiliriz ve çeşitlilik düzenini $\min\{N_r^R, 2N_r^D\}$ olarak gerçekleştirebiliriz. $\sigma_{SR}^2 = d_{SR}^{-\alpha} \square \sigma_{SD}^2, \sigma_{RD}^2$ olduğunda yani röle kaynağa yakın olması durumunda sinyali çok büyük ihtimalle doğru algılar. Bundan dolayı çeşitlilik derecesi $2N_r^D$ olacaktır.

AF için ortalama Bit hata olasılığı

Alıcıdaki ortalama ikili hata olasılığı yani APEP'in SM MIMO-AF sistemi için hesaplanması şu şekildedir [21]:

$$P_D^{AF}(x \rightarrow \hat{x}) = E\{\Pr\{\|y^{SD} - H^{SD}x\|^2 / N_0 + \|C^{-1/2}(y^{RD} - GH^{RD}H^{SR}x)\|^2 \geq \|y^{SD} - H^{SD}\hat{x}\|^2 / N_0 + \|C^{-1/2}(y^{RD} - GH^{RD}H^{SR}\hat{x})\|^2 \mid H^{SD}, H^{SR}, H^{RD}\}\} \quad (56)$$

(36) deki gibi benzer uygulamalarla sadeleştirdiğimizde yukarıdaki denklem şu şekilde yazılabilir :

$$P_D^{AF}(x \rightarrow \hat{x}) = E\left\{Q\left(\sqrt{\gamma^{SD} + \gamma^{SRD}}\right)\right\} \quad (57)$$

Buradaki γ^{SD} , (48) numaradaki denklem ile aynı ve γ^{SRD} 'nin gösterimi şu şekildedir:

$$\gamma^{SRD} = \frac{G^2 \|C^{-1/2}H^{RD}H^{SR}(x - \hat{x})\|^2}{2} \quad (58)$$

γ^{SD} 'nin MGF'si, (46) numaralı denklemde gösterilmiş olup γ^{SRD} 'ninki ise şu şekildedir:

$$M_{\gamma^{SRD}}(s) = \frac{\det(\Phi)}{\prod_{n=1}^{r_{\min}} \Gamma(r_{\max} - n + 1)\Gamma(r_{\min} - n + 1)} \quad (59)$$

Burada, $r_{\min} = \min\{N^R, N_r^D\}$, $r_{\max} = \max\{N^R, N_r^D\}$ ve Φ ise $r_{\min} \times r_{\max}$ boyutunda Hankel matrisidir ve şu şekilde elde edilir:

$$\Phi_{n,m} = z^{-\eta}\Gamma(\eta)U\left(\eta, \eta, \frac{1}{z}\right) + G^2 z^{-\eta-1}\Gamma(\eta+1)U\left(\eta+1, \eta+1, \frac{1}{z}\right) \quad (60)$$

Burada, $z = G^2\left(1 - \frac{\rho\lambda_x\sigma_{SR}^2}{2}\right)$, $\eta = r_{\min} + r_{\max} + n + m - 1$ ve $U(\dots)$ ise ikinci çeşidin

birleşen hipergeometrik fonksiyonudur. (57) numaralı denkleme Craing formülü uygulandığında ise şu denklem ortaya çıkar [21]:

$$P_D^{AF}(x \rightarrow \hat{x}) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} M_{\gamma^{SD}}\left(-\frac{1}{2\sin^2\theta}\right) M_{\gamma^{SRD}}\left(-\frac{1}{2\sin^2\theta}\right) d\theta \quad (61)$$

Burada sayısal birleştirme gereklidir. Sayısal birleştirme bulunmadığında (61) numaralı denklem şu şekilde basitleştirilebilir ve üstünün sınırlandırılması yapılabilir:

$$P_D^{AF}(x \rightarrow \hat{x}) < \frac{1}{\pi} M_{\gamma^{SD}}\left(-\frac{1}{2}\right) M_{\gamma^{SRD}}\left(-\frac{1}{2}\right) \quad (62)$$

Ortalama bit hata olasılığı, birleşme sınırını şu şekilde kullanarak elde edebilir [21] :

$$P_b^{AF} \leq \frac{1}{N_t M \log_2(N_t M)} \sum_x \sum_{\hat{x}} n(x \rightarrow \hat{x}) P_D^{AF}(x \rightarrow \hat{x}) \quad (63)$$

$SNR \rightarrow \infty$ olduğunda yani, $\lambda_x \sigma_{SD(SR)}^2 / N_0 \rightarrow \infty$ iken (62) numaralı denklem şuna yaklaşır:

$$P_D^{AF}(x \rightarrow \hat{x}) \approx \frac{1}{\pi} \left(1 + \frac{\rho \lambda_x \sigma_{SD}^2}{4} \right)^{-N_r^D} \left(G^2 \left(1 + \frac{\rho \lambda_x \sigma_{SR}^2}{4} \right) \right)^{-r_{\min}} \quad (64)$$

Burada küçük z için $U(a, b, z) \approx z^{1-b}$ kullanıldı[23]. Bu işlemler sonucunda, MIMO-AF da (64) numaralı denklemden de görülebileceği gibi sistemin çeşitlilik dizisi $N_r^D + \min\{N^R, N_r^D\}$ olduğu gözlemlenir.

BÖLÜM 3. BULGULAR VE YORUMLAR

Bu bölümde, Uzaysal modülasyon, MIMO sisyemler için ele alınan çöz ve ilet tekniğini esas alan işbirlikli uzaysal modülasyon ve bu tezde önerilen kod indeks modülasyonunu temel alan işbirlikli uzaysal modülasyon yöntemlerinin performans karşılaştırılmaları sunulacaktır.

Araştırmalar ve literatür çalışmalarına dayanılarak Uzaysal Modülasyon sisteminin spektral verimlilik kısmı, masif MIMO uygulamaları için V-BLAST sistemine kıyasla çok düşük olmasına rağmen, büyük ebatlardaki MIMO uygulamalarının iletim kısmındaki antenleri için indis modülasyon sistemi kullanılması, enerji verimliliğinin sağlanmasında ve maliyetli uygulamaların düşürülmesi gibi durumlar sayesinde Uzaysal Modülasyon iletişim sistemleri için olumlu bir çözüm sunmaktadır.

Kod İndeks modülasyonu sisteminde indisler yardımıyla ek bilgiler taşınır. Beraber taşınması nedeniyle ek bilgiler için az enerji harcanır ya da hiç enerji harcanmaz. Bu sayede enerji verimliliği sağlanmış olur. Kod indeks modülasyon sayesinde bit hata olasılığı da azalmaya uğrayacaktır.

Bulgular

İşbirlikli sistemin Kod indeks ve uzaysal modülasyon sistemine eklenmesiyle veri hızının artması, hata olasılığının azalması ve enerji verimliliğinin artması gibi yararlar önerilen sistem ile işbirlikçi haberleşme sistemlerinde elde edilmiştir.

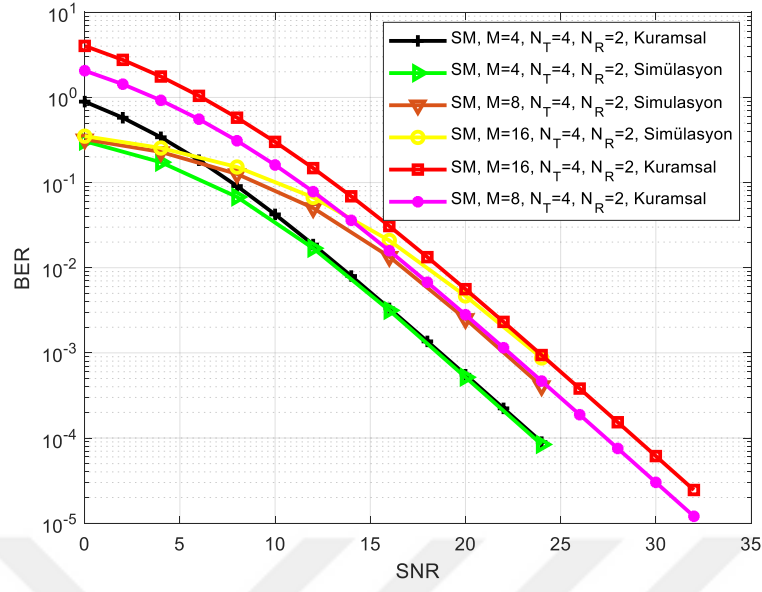
Şekil 20 ve 21’de geleneksel uzaysal modülasyonun $N_R=2$ ve $N_R=4$ için $n=4,5$ ve 6 bit için kuramsal ve simülasyon performansları verilmiştir. Görüldüğü gibi uzaysal modülasyonlu simgenin taşıdığı bit sayısı arttığında sistem performansı azalmaktadır. Burada $M=4,8,16$ ve $N_T=4$ olarak seçilmiştir.

Şekil 22 ve 23’de işbirlikli uzaysal modülasyonun $N_S=N_R=N_D=2$ ve $N_S=N_R=N_D=4$ $n=4,5$ ve 6 bit için kuramsal ve simülasyon performansları verilmiştir. SM’de olduğu gibi işbirlikli sistemlerde uzaysal modülasyonlu simgenin taşıdığı bit sayısı arttığında sistem performansı azalmaktadır. Burada $M=4,8,16$ olarak seçilmiştir. İşbirlikli SM modeli (Şekil 22 ve 23) işbiriksiz SM (Şekil 20 ve 21) ile karşılaştırıldığında işbirlikli sistemin performansının daha iyi olduğu görülmektedir.

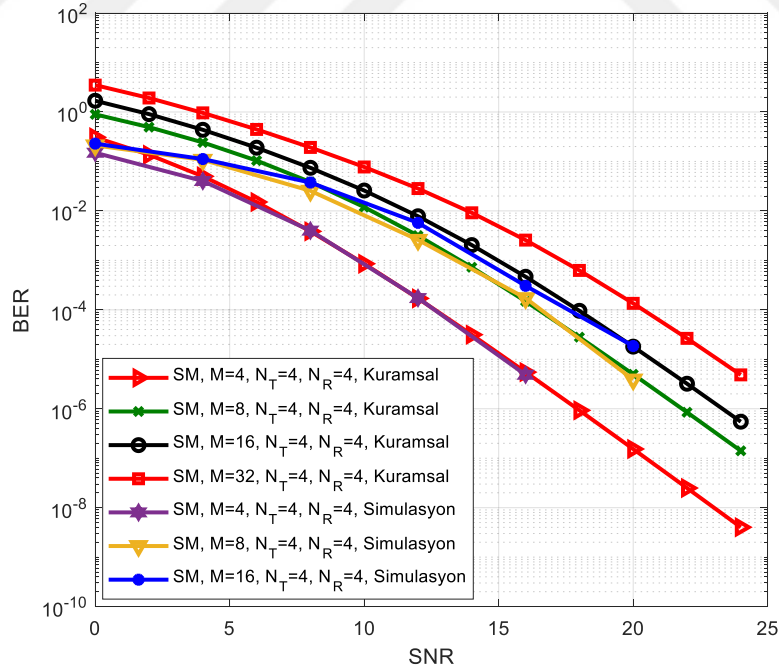
Şekil 24’de kod indeks modülasyon tabanlı işbirlikli uzaysal modülasyonun ile işbirlikli uzaysal modülasyonunun performans karşılaştırılmaları sunulmuştur. Burada

CCIM-SM için $M=4$, $N_T=N_R=N_D=2$, $N_C=4$ için $n=7$ bit ve $M=16$, $N_T=N_R=N_D=2$, $N_C=4$ için $n=9$ bit'dir. CSM için $M=16$, $N_T=8$, $N_R=N_D=2$ için $n=7$ bit ve $M=32$, $N_T=N_R=N_D=2$, için $n=9$ bit'dir. SM'de olduğu gibi işbirlikli sistemlerde uzaysal modülasyonlu sistemin taşıdığı bit sayısı arttığında sistem performansı azalmaktadır. Önerilen sistem modelin performansı işbirlikli SM modeli ile karşılaştırıldığında önerilen sistemin performansının çok daha iyi olduğu görülmektedir.

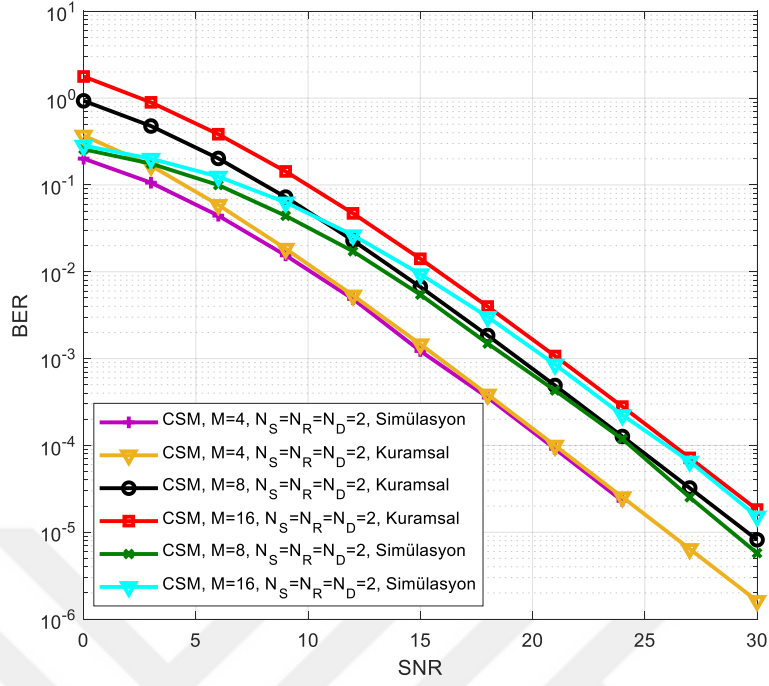
Şekil 25'de Şekil 24'de olduğu gibi CCIM-SM ile CSM performans karşılaştırılmaları $n=8,10,11$ ve 12 bit için verilmiştir. Burada CCIM-SM için $M=4$, $N_T=N_R=N_D=4$, $N_C=4$ için $n=8$ bit; ve $M=16$, $N_T=N_R=N_D=4$, $N_C=4$ için $n=10$ bit; $M=8$, $N_T=N_R=N_D=4$, $N_C=8$ için $n=11$ bit ve $M=16$, $N_T=N_R=N_D=4$, $N_C=8$ için $n=12$ bit bit'dir. CSM için $N_T=N_R=N_D=4$ için $M=64,256,512$ ve 1024 olup $n=8,10,11,12$ bitdir. Önerilen sistem modelin performansı işbirlikli SM modeli ile karşılaştırıldığında alıcıdaki anten sayısı artırıldığında önerilen CCIM-SM sistemin performansının çok daha iyi olduğu görülmektedir.



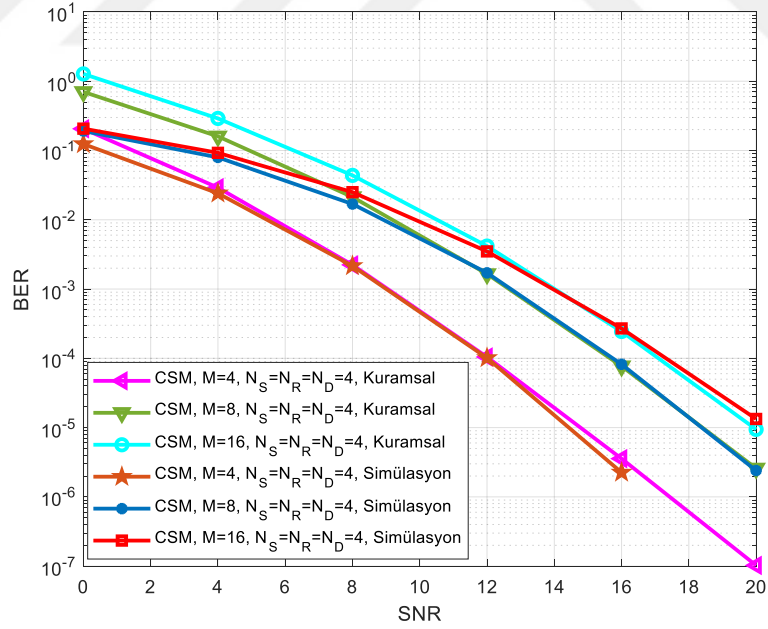
ŞEKİL 20 KLASİK UZAYSAL MODÜLASYONUN $N_R=2$ İÇİN $N=4,5$ VE 6 BİT İÇİN KURAMSAL VE SİMÜLASYON PERFORMANSI



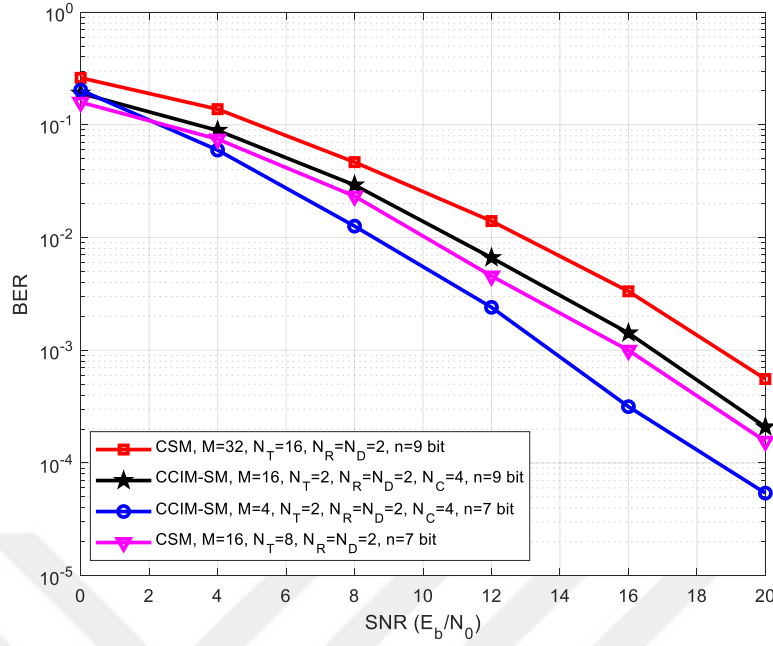
Şekil 21 Klasik Uzaysal Modülasyonun $N_R=4$ için $n=4,5$ ve 6 bit için Kuramsal Ve Simülasyon Performansı



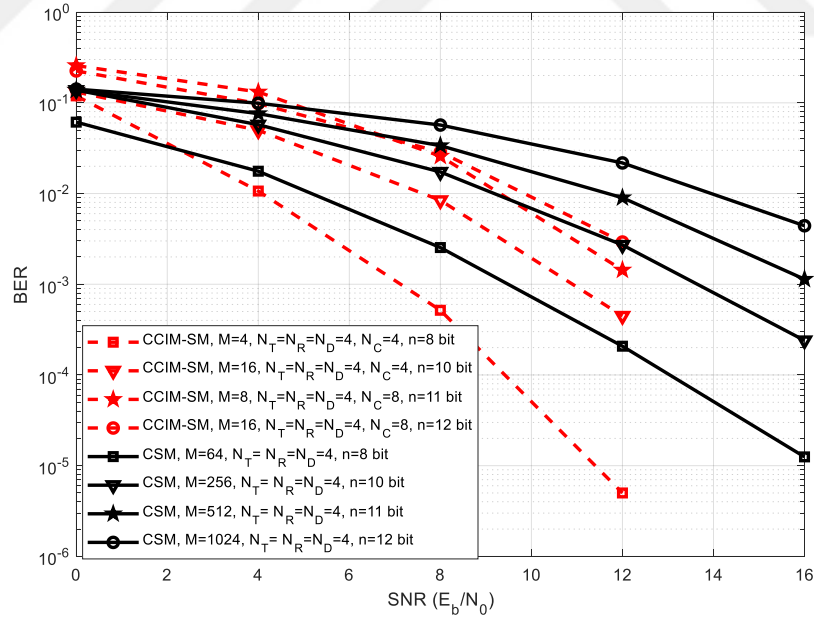
Şekil 22 İşbirlikli Uzaysal Modülasyonun $N_R=N_D=2$ için $n=3,4$ ve 5 bit için Kuramsal Ve Simülasyon Performansı



Şekil 23 İşbirlikli Uzaysal Modülasyonun $N_R=N_D=4$ için $n=3,4$ ve 5 bit için Kuramsal Ve Simülasyon Performansı



Şekil 24 Kod İndis Modülasyonlu SM ile İşbirlikli SM'in $N_R=N_D=2$ için $n=7$ ve 9 bit için Performans Karşılaştırılması



Şekil 25 Kod İndis Modülasyonlu SM ile İşbirlikli SM'in $N_R=N_D=4$ için $n=8,10,11$ ve 12 bit için Performans Karşılaştırılması

Yorumlar

Telsiz haberleşme sistemlerinde insan yapımı veya doğal yapılardan dolayı iletilmek istenen sinyalde alıcıda sönümlenmeler meydana gelmektedir. Bu sistemin performansını çok kötü etkilemektedir. Ayrıca, günümüz teknolojisinin gelişmesiyle veri iletim hızındaki artışa ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Bu artışa karşın enerji harcaması da azaltılması gerektiği kaçınılmaz bir gerçektir. Bu temel sorunların önüne geçebilmek ve ayrıca enerji verimli sistemlerin önerilmesi kullanıcılar açısından büyük önem taşımaktadır. Veri hızını artırabilmek için, uzaysal modülasyon (SM) ve Kod İndeks Modülasyonlarının (CIM) birleştirilip, bunlara ek olarak işbirlikli sisteme entegrasyonu yapılarak veri hızının artırılması, sönümlenmelerin etkisinin en aza indirgenmesi ve enerji verimliliği sağlayan sistem modeli bu tezde önerilmiştir. Bu doğrultuda SM, CIM ve işbirlikli sistemler ayrı ayrı ele alınmış ve tek bir sistem modelinde birleştirilerek CCIM-SM sistem modeli önerilmiştir. Tezde elde edilen sonuçlar ile önerilen bu tekniğin hem daha iyi performansa sahip olduğu, hem daha hızlı bir iletişim sağlandığı ve ayrıca enerji verimli bir teknik olduğu gösterilmiştir. Bu sayede, bu çalışmanın yeni nesil haberleşme sistemlerine olumlu bir katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

BÖLÜM 4. SONUÇ

Özet

Telsiz haberleşme sistemlerinde, insan yapımı veya çevresel yapılardan dolayı iletilmek istenen sinyalde alıcıda sönümlenmeler meydana gelmektedir. Bu durum sistem performansını kötü etkilemektedir. Ayrıca, günümüz teknolojisinin gelişmesiyle veri iletim hızındaki artışa ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Bu artışa karşın enerji harcaması da azaltılması gerektiği kaçınılmaz bir gerçektir. Bu temel sorunların önüne geçebilmek ve ayrıca enerji verimli sistemlerin önerilmesi kullanıcılar açısından büyük önem taşımaktadır. Veri hızını artırabilmek için, uzaysal modülasyon (SM) ve kod indeks modülasyonlarının (CIM) birleştirilip, bunlara ek olarak işbirlikli sisteme uyarlanması yapılarak veri hızının artırılması, sönümlenmelerin etkisinin en aza indirgenmesi ve enerji verimliliği sağlayan sistem modeli bu tezde önerilmiştir. Bu doğrultuda SM, CIM ve işbirlikli sistemler ayrı ayrı ele alınmış ve tek bir sistem modelinde birleştirilerek CCIM-SM sistem modeli önerilmiştir. Tezde elde edilen sonuçlar ile önerilen bu tekniğin hem daha iyi performansa sahip olduğu, hem daha hızlı bir iletişim sağlandığı ve ayrıca enerji verimli bir teknik olduğu gösterilmiştir. Bu sayede, bu çalışmanın yeni nesil haberleşme sistemlerine olumlu bir katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

Yargı

Bu tezde, veri hızını artırabilmek için indeks modülasyonunu temel alan uzaysal modülasyon ve kod indeks modülasyonları birleştirilip, işbirlikli sisteme uyarlanarak veri hızının artırılması ve enerji verimliliği sağlayan yeni bir sistem modeli önerilmiştir. Bu doğrultuda SM, CIM ve işbirlikli sistemler ayrı ayrı ele alınmış olup ve tek bir sistem yapısında birleştirilerek CCIM-SM sistem modeli önerilmiştir. Tezde elde edilen sonuçlar ile önerilen bu tekniğin, geleneksel uzaysal modülasyona göre, çöz ve aktar temelli işbirlikli uzaysal modülasyona göre hem daha iyi performansa sahip olduğu, hem daha hızlı bir iletişim sağlandığı ve ayrıca enerji verimli bir teknik olduğu gösterilmiştir.

Öneriler

Bu tez çalışmasının sonrasında önerilen sistem modelinde kullanılan uzaysal modülasyon yerine dikgen uzaysal modülasyon (quadrature spatial modulation)

kullanılarak yeniden tasarlanabilir. Bu sayede hem sistem performansı daha da iyileşebilir hem de enerji verimliliği daha da artırılmış olur.



KAYNAKÇA

- [1] Adinoyi, A., Fan, Y., Yanikomeroglu, H., Poor, H. V. ve Al-Shaalan, F.. “Performance of Selection Relaying and Cooperative Diversity,” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, 8: 5790-5794, 2009
- [2] Beres, E. ve Adve, R., . “Selection Cooperation in Multi-Source Cooperative Networks,” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, 7: 118-127, 2008
- [3] Proakis, J.G. ve Salehi M. *Communication System Engineering, Practice-Hall*. New Jersey, 1994
- [4] Sklar, B. “Rayleigh Fading channels in Mobile Digital Communication Systems Part I: Characterization,” *IEEE Commun. Mag.*, 35: 90-100, 1997
- [5] Jafarkhani, H. *Space-Time Coding Theory and Practice*, Cambridge University Press, 2005
- [6] Biglieri, E., Taricco, G. ve Tulino, A. “Performance of Space-Time Codes for A Large Number of Antennas,” *IEEE Trans. Inf. Theory*, 48: 1794-1803, 2002
- [7] Sklar B. *Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communication Systems, IEEE Communications Magazine*, pp. 90- 109, 1997
- [8] Stüber, G. L.. *Principles of Mobile Communication, Kluwer Academic Publishers*, 2000
- [9] Simon M. K., Alaouini M., *Digital Communication Over Fading Channels*, 2000
- [10] Boutros, J. ve Viterbo, E., “Signal Space Diversity: A Power and Bandwidth-Efficient Diversity Technique for the Rayleigh Fading Channel,” *IEEE Trans. on Commun.*, 44: 1453-1467, 1998
- [11] Laneman, N., Tse, D. ve Wornell, G., (2004). “Cooperative Diversity in Wireless Networks: Efficient Protocols and Outage Behavior,” *IEEE Trans. Inform. Theory*, 50(12): 3062-3080, 2004
- [12] Sendonaris, A., Erkip, E. ve Aazhang, B., “User Cooperation Diversity–Part I: System Description,” *IEEE Trans. Commun.*, 51(11): 1927-1938, 2003
- [13] Hunter, T. E. ve Nosratinia, A., “Diversity Through Coded Cooperation”, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 5: 283-289, 2006
- [14] Zhang, C. Ji, W. Q. Malik, D. C. O’Brien, and D. J. Edwards, “Receive antenna selection for MIMO systems over correlated fading

- channels,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 8, no. 9, 2009
- [15] R. Rajashekar, K. V. S. Hari, and L. Hanzo, “Antenna selection in spatial modulation systems,” *IEEE Communications Letters*, vol. 17, no. 3, pp. 521–524, 2013.,
- [16] Mesleh, R., Haas, H., Ahn, C. W. ve Yun, S., “Spatial Modulations New Low Complexity Spectral Efficiency Enhancing Technique,” in *Proc. Conf. Commun. Netw., China, Beijing, Oct., 1-5, 2006*
- [17] Jeganathan, J., Ghayeb, A. ve Szczecinski, L., “Spatial Modulation: Optimal Detection and Performance Analysis,” *IEEE Commun. Lett.*, 12(8): 545–547, 2008
- [18] Koddoun, G., Mohammed, F., Ahmed, A and Nijssure, Y. “Code Index Modulation: A High Data Rate and Energy Efficient Communication System,” *IEEE Commun. Lett.*, Vol. 19, No. 2, February 2015
- [19] Çögen F., Aydin E., Kabaoğlu N., Bagar E. and İlhan H., "A novel MIMO scheme based on code-index modulation and spatial modulation," 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Izmir, 2018, pp. 1-4.
- [20] Başar E., "Spatial modulation techniques for 5G wireless networks," 2016 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU), Zonguldak, 2016, pp. 777-780.
- [21] Altın G., Aygölü Ü., Basar E. and Çelebi M. E., "Multiple-input–multiple-output cooperative spatial modulation systems," in *IET Communications*, vol. 11, no. 15, pp. 2289-2296, 19 10 2017.