

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HÜCRESEL RADYO SİSTEMLERİNDE ÇOK ATLAMALI
AKTARIM İLE KAPSAMA ALANININ İYİLEŞTİRİLMESİ**

HAKAN TAHTALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

2009

HÜCRESEL RADYO SİSTEMLERİNDE ÇOK ATLAMALI AKTARIM İLE KAPSAMA ALANININ İYİLEŞTİRİLMESİ

COVERAGE ENHANCEMENT THROUGH MULTI HOP RELAYING IN CELLULAR RADIO SYSTEM

HAKAN TAHTALI

Başkent Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
ELEKTRİK-ELEKTRONİK Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

2009

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma, jürimiz tarafından **ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI 'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan :

Doç.Dr. Murat ERTEN

Üye (Danışman) :

Yrd.Doç.Dr. Aysel ŞAFAK

Üye (Danışman) :

Yrd.Doç.Dr. Hamit ERDEM

ONAY

Bu tez 27/01/2009 tarihinde, yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

..../02/2009

Prof.Dr. Emin AKATA
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

TEŐEKKÜR

Yazar, bu çalıőmanın gerçekleőmesinde katkılarından dolayı, aşağıda adı geçen kiői ve kuruluőlara içtenlikle teőekkür eder.

Sayın Yrd. Doç. Dr. Aysel ŞAFAK'a (tez danıőmanı), çalıőmanın sonuca ulaőtırılmasında ve karőtılaőtılan güçlüklerin aőtılmasında her zaman yardımcı ve yol gösterici olduğu için...

Sayın Arőt. Gör. Barbaros PREVEZE'ye, benzetim sonuçlarının elde edilmesinde yardımcı olduğu için...

Eőtım Derya TAHTALI'ya çalıőmalarım esnasında gösterdiği anlayıőt ve katkıları için...

ÖZ

HÜCRESEL RADYO SİSTEMLERİNDE ÇOK ATLAMALI AKTARIM İLE KAPSAMA ALANININ İYİLEŞTİRİLMESİ

Hakan TAHTALI

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tezde alıcı, verici ve aralarında röle gibi davranan gezgin kullanıcıların bulunduğu hücresel haberleşme sistemlerinde çok atlamalı aktarım ile kapsama alanının genişletilmesi incelendi. Hesaplamalarda, Rician/Rayleigh sönümlenme, beyaz gürültü (AWGN) ve yol kaybını içeren haberleşme kanal modeli kullanıldı. Çeşitli birleştirme yöntemleri ve çeşitleme tekniklerinin çok atlamalı hücresel radyo sistemlerinin başarımı üzerindeki etkileri incelendi. Ayrıca çeşitli hata düzeltme yöntemlerinin çok atlamalı hücresel sistemlerin başarımı üzerindeki etkileri araştırıldı. Simülasyon sonuçları, yükselt ve aktar yönteminin çöz ve aktar yönteminden daha iyi başarımla sergilediğini göstermektedir. Hesaplamalar alıcıda gelen sinyallerin duyarlılıkla birleştirilebilmesi için kanal bilgisinin yüksek duyarlılıkla elde edilmesi gerektiğini göstermektedir. Röle ile alıcı- verici arasındaki fiziksel uzaklığın çok atlamalı hücresel sistemin başarımına oldukça önemli etkisi olmaktadır. Ayrıca bu çalışmada röle seçiminin çok atlamalı hücresel sistemlerin başarımı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Fiziksel uzaklık ve yol kaybı kriterlerine dayalı röle seçimi ile ilgili çeşitli hesaplamalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, sadece fiziksel uzaklığa dayalı röle seçiminin çok atlamalı hücresel sistemlerin başarımı üzerinde yol kaybı kriterine dayalı röle seçimi kadar etkili olmadığını göstermektedir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Çok atlamalı hücresel sistemler, sönümlenme, yol kaybı, işbirlikli çeşitleme, çeşitleme yöntemleri, birleştirme teknikleri, röle, röle seçim kriteri.

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Aysel ŞAFAK, Başkent Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü.

ABSTRACT

COVERAGE ENHANCEMENT THROUGH MULTIHOP RELAYING IN CELLULAR RADIO SYSTEM

Hakan TAHTALI

Başkent University, Institute of Science

Department of Electrical and Electronics Engineering

In this thesis, coverage enhancement through multihop relaying in cellular radio communication system which contains a mobile user acting as a relay between sender and destination is investigated. The channel models which are used in numerical calculations contain Rician/Rayleigh fading, white noise (AWGN) and path loss. The effects of various combining methods and diversity protocols on the multihop cellular radio system performance are investigated. Additionally, the effects of various error correction methods on performance of the multihop cellular radio system are investigated. Our simulation results demonstrate that amplify and forward protocol shows a better performance than decode and forward protocol. Also the results show that to combine incoming signals at the receiver exactly, the channel information should be acquired precisely. The physical distance of the relay both to the sender and to the destination has a large effect on the multihop cellular radio system performance. Also in this work, the effects of relaying node selection on performance of the multihop cellular radio system are investigated. Various numerical calculations are carried out for relaying node selection criteria based on physical distance and path loss. The acquired results indicate that choosing a relaying node which is solely based on physical distance is not as effective on the performance of the multihop cellular radio system as choosing one based on path loss.

KEYWORDS: multihop cellular systems, fading, pathloss, cooperative diversity, diversity protocols, combining methods, relay, relay selection.

Supervisor: Asst.Prof. Dr. Aysel ŞAFAK, Başkent University, Electrical and Electronics Engineering Dept.

İÇİNDEKİLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZ.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER LİSTESİ.....	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	v-vii
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	ix
1 GİRİŞ.....	1
2. KANAL MODELİ.....	3
2.1 Sönümlenme.....	4
2.1.1 Büyük ölçekli sönümlenme (gölgeleme).....	4
2.1.2 Küçük ölçekli sönümlenme (çok yollu sönümlenme).....	4
2.1.2.1 <u>Rayleigh sönümlenme</u>	7
2.1.2.2 <u>Rician sönümlenme</u>	8
2.2 Yol Kaybı.....	9
2.3 Gürültü.....	10
3. DOĞRUDAN İLETİM VE ATLAMALI İLETİM YAPISI.....	11
3.1 Doğrudan İletim.....	11
3.2 Atlamalı İletim.....	15
4. BİT HATA ORANININ HESAPLANMASI.....	19
4.1 Sinyal Gürültü Oranı.....	22
4.2 Bit Hata Oranı.....	22
5. ÇEŞİTLEME YÖNTEMLERİ.....	28
5.1 Frekans Çeşitlemesi.....	28
5.2 Zaman Çeşitlemesi.....	28
5.3 Anten Çeşitlemesi.....	29
5.4 İşbirlikli Çeşitleme.....	29

İÇİNDEKİLER LİSTESİ (DEVAM)

5.4.1	Bilgi İletim Yöntemleri.....	32
5.4.1.1	<u>Çöz ve aktar iletim yöntemi</u>	32
5.4.1.2	<u>Yükselt ve aktar iletim yöntemi</u>	34
5.4.1.3	<u>Kodlamalı işbirliği yöntemi</u>	36
6.	BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ.....	39
6.1	Maksimum Oran Birleştirmesi.....	39
6.2	ESNR Birleştirmesi.....	39
6.3	SNR Birleştirmesi.....	40
6.4	Sabit Oranlı Birleştirme.....	41
6.5	Eşit Oranlı Birleştirme.....	41
6.6	Seçimli Birleştirme.....	42
7.	İŞBİRLİKLİ İLETİŞİM YAPISINDA RÖLE SEÇİMİ.....	43
7.1	Fiziksel Uzaklığa Göre Röle Seçimi.....	43
7.2	Yolkaybına Göre Röle Seçimi.....	44
7.3	Kanal Güç Seviyesine Bağlı Röle Seçimi.....	46
8.	BENZETİM SONUÇLARI.....	47
8.1	Yükselt ve Aktar Yöntemi Benzetim Sonuçları.....	48
8.2	Çöz ve Aktar Yöntemi Benzetim Sonuçları.....	49
8.3	Yükselt ve Aktar ile Çöz ve Aktar Yöntemi Karşılaştırılması.....	57
8.4	Hareketli Röle Benzetim Sonuçları.....	61
8.5	Çok Atlamalı İletişim Yapısı Benzetim Sonuçları.....	65
8.6	Röle Seçimi Benzetim Sonuçları.....	69
9.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	77
9.1	Sonuçlar.....	77
9.2	Öneriler.....	78
9.3	Geleceğe Yönelik Çalışmalar.....	79
	KAYNAKLAR.....	80

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Alıcı-verici arasında oluşan doğrudan iletim yapısı.....	3
Şekil 2.2 Rayleigh ve Rician sönümlenmeli kanalların başarımları.....	9
Şekil 3.1 Alıcı-verici arasında oluşan doğrudan iletim yapısı.....	11
Şekil 3.2 Doğrudan iletimde sönümlenme ve gürültünün etkisi.....	12
Şekil 3.3 Tek yönlü çok atlamalı iletim yapısı.....	15
Şekil 3.4 Çok Yönlü atlamalı iletim yapısı.....	16
Şekil 4.1 BPSK modülasyonlu sinyalin Rayleigh sönümlenmeli kanaldaki başarımları.....	20
Şekil 4.2 QPSK modülasyonlu sinyalin Rayleigh sönümlenmeli kanaldaki başarımları.....	21
Şekil 5.1 Üç düğümlü temel bir işbirlikli iletim yapısı.....	30
Şekil 5.2 Çok yönlü işbirlikli iletim yapısı.....	31
Şekil 5.3 Tek yönlü işbirlikli iletim yapısı.....	31
Şekil 5.4 Çöz ve aktar yöntemi kullanılan haberleşme yapısı.....	29
Şekil 5.5 Yükselt ve aktar yöntemi kullanılan haberleşme yapısı.....	35
Şekil 5.6 Kodlamalı işbirliği yöntemi kullanılan haberleşme yapısı.....	37
Şekil 5.7 İşbirlikli çeşitleme yöntemleri karşılaştırmalı başarımları.....	38
Şekil 7.1 Röle seçim kriterleri örnek yol seçimi.....	46
Şekil 8.1 Eşit oranlı birleştirme ile sabit oranlı birleştirme tekniklerinin karşılaştırmalı başarımları.....	50
Şekil.8.2 ESNR birleştirme ile SNR birleştirme tekniklerinin karşılaştırmalı başarımları.....	50
Şekil 8.3 Sabit oran, Eşit Oran ve ESNR birleştirme tekniklerinin karşılaştırmalı başarımları.....	51
Şekil 8.4 Sabit oran, Eşit Oran, ESNR ve SNR birleştirme tekniklerinin karşılaştırmalı başarımları.....	51
Şekil 8.5 Sabit oran, Eşit Oran, ESNR ve SNR birleştirme tekniklerinin röle kullanılmayan doğrudan iletim ile karşılaştırmalı başarımları.....	52

ŞEKİLLER LİSTESİ (DEVAM)

	<u>Sayfa</u>
Şekil 8.6 Çöz ve Aktar İletim yönteminde, Sabit Oran ve Eşit Oran birleştirme tekniklerinin karşılaştırmalı başarımları.....	53
Şekil 8.7 Çöz ve Aktar iletim yönteminde, Maksimum Oran ve Eşit Oran birleştirme tekniklerinin karşılaştırmalı başarımları.....	54
Şekil 8.8 Eşit Oran birleştirme uygulanmış Çöz ve Aktar iletim yöntemi ile doğrudan iletimin karşılaştırmalı başarımları.....	54
Şekil 8.9 Çöz ve Aktar iletim yönteminde, ESNR ve SNR birleştirme tekniklerinin karşılaştırmalı başarımları.....	55
Şekil 8.10 Çöz ve Aktar İletim yönteminde, birleştirme tekniklerinin karşılaştırmalı başarımları.....	55
Şekil 8.11 Eşit Oran birleştirmenin Çöz ve Aktar ile Yükselt ve Aktar iletim yöntemlerindeki karşılaştırmalı başarımları.....	58
Şekil 8.12 Sabit Oranlı Birleştirmenin Çöz ve Aktar ile Yükselt ve Aktar iletim yöntemlerinin karşılaştırmalı başarımları.....	59
Şekil 8.13 ESNR Birleştirmenin Çöz ve Aktar ile Yükselt ve Aktar iletim yöntemlerindeki karşılaştırmalı başarımları.....	59
Şekil 8.14 Çöz ve Aktar ile Yükselt ve Aktar iletim yöntemleri için birleştirme tekniklerinin karşılaştırmalı başarımları.....	60
Şekil 8.15 Kaynak-hedef arasında hareket eden röle.....	61
Şekil 8.16 Değişik röle-kaynak uzaklıklarında çok atlamalı hücresele radyo sisteminin başarımları.....	62
Şekil 8.17 Değişik röle-kaynak uzaklıklarında çok atlamalı hücresele radyo sistemi ile doğrudan iletim başarımının karşılaştırılması.....	62
Şekil 8.18 Rölenin kaynak ve hedefe eşit mesafelerde olması durumunda çok atlamalı hücresele radyo sisteminin başarımları.....	63
Şekil 8.19 Rölenin Kaynak ve Hedefe optimum eşit mesafede olması durumunda çok atlamalı hücresele radyo sisteminin başarımları.....	64
Şekil 8.20 Üç röle kullanılan çok atlamalı hücresele radyo sistemlerinde başarımları.....	65

ŞEKİLLER LİSTESİ (DEVAM)

Sayfa

Şekil 8.21 Dört röle kullanılan çok atlamalı hücresele radyo sistemlerinde başarımları.....	66
Şekil 8.22 Üç ve dört röle kullanılan çok atlamalı hücresele radyo sistemlerinde işbirlikli iletişimin karşılaştırmalı başarımları.....	67
Şekil 8.23 Üç ve dört röle kullanılan çok atlamalı hücresele radyo sistemlerinde işbirlikli iletişimin karşılaştırmalı başarımları.....	68
Şekil 8.24 En Az Toplam Yol Kaybı kriteri ile röle seçimi.....	70
Şekil 8.25 En Kısa Toplam Uzaklık kriteri ile röle seçimi.....	71
Şekil 8.26 Seçilen rölelerin karşılaştırmalı başarımları.....	71
Şekil 8.27 Seçilen röle başarımlarının doğrudan İletim başarımları ile karşılaştırılması.....	72
Şekil 8.28 $P_t=0.25$ W, $P_{eşik}=0.2$ mW, güç seviyesi kontrolü ile röle seçimi.....	74
Şekil 8.29 $P_t=0.5$ W, $P_{eşik}=0.2$ mW, güç seviyesi kontrolü ile röle seçimi.....	74
Şekil 8.30 $P_t=0.75$ W, $P_{eşik}=0.2$ mW, güç seviyesi kontrolü ile röle seçimi.....	75
Şekil 8.31 $P_t=1$ W, $P_{eşik}=0.2$ mW, güç seviyesi kontrolü ile röle seçimi.....	75
Şekil 8.32 $P_t=4$ W, $P_{eşik}=0.2$ mW, güç seviyesi kontrolü ile röle seçimi.....	76
Şekil 8.33 Çok atlamalı hücresele radyo sisteminde kanal güç seviyesi kontrolü ile seçilen röle başarımları.....	76

ÇİZELGELER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 8.1 Birleştirme teknikleri ile yükselt ve aktar iletim yönteminde elde edilen sinyal gürültü oranları.....	52
Çizelge 8.2 Birleştirme teknikleri ile çöz ve aktar iletim yönteminde elde edilen sinyal gürültü oranları.....	56

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$h_{i,j}$	kanal _{i,j} deki zayıflama
$a_{i,j}$	kanal _{i,j} de sönümlemeden dolayı oluşan zayıflama
$d_{i,j}$	kanal _{i,j} de yol kaybından dolayı oluşan zayıflama
$z_{i,j}[n]$	kanal _{i,j} de eklenen gürültü
$x_i[n]$	i'ninci kullanıcı tarafından gönderilen sembol
$y_j[n]$	j'inci kullanıcı tarafından alınan sembol
$\hat{y}_j[n]$	j'ninci kullanıcı tarafından sezilen sembol
$\bar{\gamma}_b$	ortalama sinyal gürültü oranı
σ^2	varyans
N_0	gürültü gücü
S	sinyal gücü
ξ	gönderilen sinyal gücü
β	röle yükseltme kazancı
SNR	sinyal gürültü oranı
ESNR	genişletilmiş sinyal gürültü oranı
BER	bit hata oranı
G_t	verici anten kazancı
G_r	alıcı anten kazancı

1. GİRİŞ

Gezgin iletişim sistemlerine duyulan ihtiyacın giderek hızlı bir şekilde artış göstermesi daha hızlı ve kaliteli veri iletimi ve daha verimli band genişliği kullanım gereksinimlerini beraberinde getirmiştir. Verici ile alıcı arasında kurulan kanal, bu iki birim arasındaki engellerin (yüksek binalar, dağlar, v.s.) ve gezgin birimin ya da birimlerin hareketi sonucu sürekli değişmektedir. Kanalin zamanla değişmesi alıcıda alınan sinyalin aşırı sönümlenmesine neden olabilmektedir.

Kablosuz kanallarda bozucu etkiler arasında kanal sönümlenmesi başta gelmektedir. Bu etki çeşitleme olarak bilinen birbirinden bağımsız çoklu sönümlenme yolları oluşturma teknikleri ile giderilebilmektedir. Vericide çoklu anten dizileri kullanıldığında, uzay-zaman kodlama yöntemi yardımıyla yüksek iletim hızlarına ulaşılabilmektedir.

Boyut, donanım ve maliyet açısından alıcı ve verici birimlere çoklu anten dizilerini yerleştirmenin mümkün olmadığı durumlarda ise, farklı birimlerin antenlerinin işbirliği yapması ile çeşitleme sağlanabilmekte ve buna işbirlikli çeşitleme adı verilmektedir.

Vericide anten çeşitlemesi yöntemleri özellikle hücresel sistemlerin baz istasyonları için uygun olmasına karşın, boyut, maliyet ve donanım karmaşıklığı açısından gezgin birimler için çok uygun değildir. Bu probleme bir çözüm olarak 2002'de Laneman vd.[1] tarafından ortaya atılan işbirlikli çeşitleme tekniği kullanılabilir. İşbirlikli çeşitlemede kaynak kullanıcısı bilgisini doğrudan ve/veya birden fazla gezgin birim (röle) üzerinden hedefe göndererek verici çeşitlemesi sağlamaktadır. İşbirlikli iletişim sistemlerinde kullanıcılar hem röle hemde kaynak olarak çalışmaktadırlar.

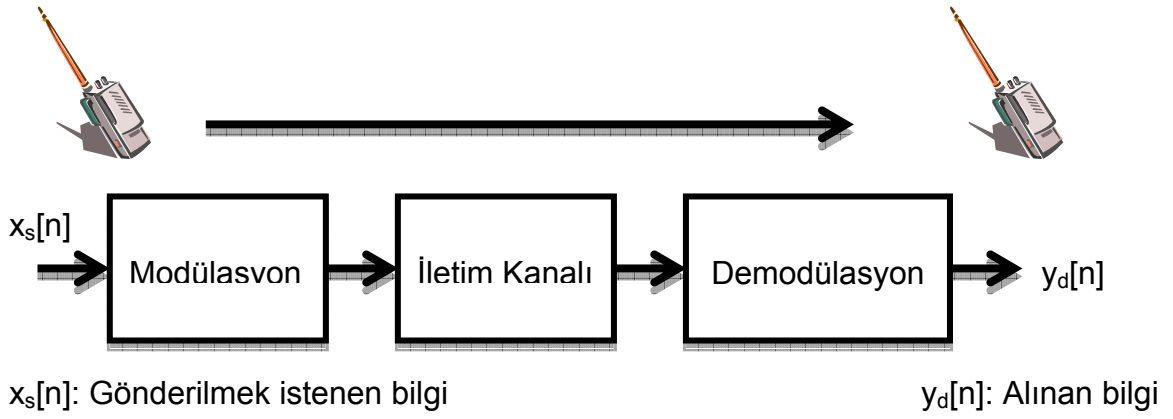
Hedef birimde, kaynak ve röle birimlerinden gelen sinyaller çeşitli birleştirme yöntemleri kullanılarak birleştirilir ve kaynaktan gönderilen sinyalin çoklu kopyalarından yararlanarak sistemde çeşitleme sağlanır. Ayrıca, kullanıcıların

işbirliği yaparken kullandıkları çeşitli protokoller bulunmakadır. Bunlar, 'yükselt ve aktar' ile 'çöz ve aktar' protokoludur. Yükselt ve aktar protokolunda aktarma,kaynaktan alınan sinyal yükseltildikten sonra yapılır. Çöz ve aktar protokolunda aktarma, kaynaktan alınan sinyal demodüle edilip çözüldükten sonra tekrar kodlanarak yapılır.

Bu çalışmada, röleli kanallarda 'yükselt ve aktar' ile 'çözve aktar' protokolleri ile çeşitli birleştirme ve çeşitleme teknikleri kullanılarak Rician/Rayleighsönümlenme, AWGN gürültü ve yol kaybını içeren ortamlarda gezgin iletişim sisteminin kapsama alanının iyileştirilmesi incelenmiştir. Ayrıca hücreli sistemlerin başarımını arttıracak en uygun röle seçimi ile ilgili gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar sadece fiziksel uzaklığa dayalı röle seçiminin çok atlamalı hücreli radyo sistemlerin başarımını üzerinde yol kaybı kriterine dayalı röle seçimi kadar etkili olmadığını göstermektedir.

2. KANAL MODELİ

Günümüzde iletişim sistemlerini en çok etkileyen bozucu etkenleri toplamsal beyaz Gauss gürültüsü (AWGN), simgeler arası girişim (ISI), yol kaybı (path loss), gölgeleme (shadowing) ve çok yollu sönümlenme (multipath fading) olarak sıralayabiliriz. Bu bozucu etkenlerden çok yollu sönümlenme, bir işaretin vericiden alıcıya birçok yoldan ulaşması nedeni ile alıcıda elde edilen işaretin genliğinde ve fazında ani değişimlerin olmasına neden olur. Alıcıya farklı zamanlarda ulaşan birden çok işaretin girişimi sonucu meydana gelen sönümlenme günümüzde hücresel ve kişisel iletişim sistemlerinde sıkça karşımıza çıkan ve etkisinin azaltılması gereken önemli bir bozucu etkidir.



Şekil 2.1 Alıcı-verici arasında oluşan doğrudan iletim yapısı

Hesaplamalarda Rayleigh/Rician sönümlenme, yol kaybı ve AWGN gürültüyü içeren haberleşme kanal modeli kullanılmıştır.

$$y_d[n] = \underbrace{h_{s,d}[n]}_{\text{Zayıflama}} \cdot x_{s,n}[n] + \underbrace{z_{s,d}[n]}_{\text{Yol Kaybı}} = \underbrace{d_{s,d}}_{\text{Sönümlenme}} \cdot \underbrace{a_{s,d}[n]}_{\text{Gürültü}} \cdot x_s[n] + z_{s,d}[n] \quad (1)$$

2.1 Sönümlenme

Gezgin iletişim kanallarında oluşan sönümlenmeler iki ana başlık altında karakterize edilebilirler:

- Büyük ölçekli sönümlenme (large- scale fading) ve
- Küçük ölçekli sönümlenme (small- scale fading).

2.1.1 Büyük ölçekli sönümlenme (Large-scale fading)

Bu sönümlenme geniş alanlarda hareket sonucu ortalama işaret gücünün zayıflamasını ya da yol kaybını ifade eder. Geniş ölçekli sönümlenmede verici ile alıcı arasında bulunan engebeli yeryüzü şekilleri ve çok katlı binalar önemli etkenlerdir. Bu tür etkenlerle meydana gelen sönümlenmelere gölgeleme (shadowing) denilmektedir.

Geniş ölçekli sönümlenmeli kanalda kanalın darbe yanıtı iletilen temelband işaretin değişimine göre daha yavaş değişmektedir. Bu durumda kanalın birkaç simge periyodu boyunca sabit olduğu düşünülebilir. Frekans bölgesinde, kanalın Doppler yayılımı temelband işaretin band genişliğinden çok küçüktür[3]. Geniş ölçekli sönümlenme şu koşullarda meydana gelir,

$$T_s \ll T_c \quad \text{ve}$$

$$B_s \gg B_d$$

gezgin birimlerin hızları ve temelband işaretin karakteristiği iletilen işaretin hızlı ya da yavaş sönümlenmeye uğrayıp uğramayacağını belirler.

2.1.2 Küçük ölçekli sönümlenme (Small-scale fading)

Küçük ölçekli sönümlenme, alıcı ve verici arasındaki uzaklığın küçük değişimleri sonucu olarak işaretin genlik ve fazındaki dinamik değişimleri ifade eder. Küçük ölçekli sönümlenme, işaretin zaman yayılımı (time-spreading) ve kanalın zamanla değişim özelliğinden kaynaklanmaktadır. İşaret parametreleri (band genişliği,

simge periyodu, v.s) ve kanal parametreleri arasındaki ilişkiye göre kanaldan iletilen her farklı işaret farklı sönümlenmeye uğrayacaktır. Çok yollu yayılım, zaman yayılımı ve frekans seçici sönümlenmeye yol açarken Doppler yayılımı, frekans yayılımı ve zaman seçici sönümlenmeye (time selective fading) yol açmaktadır. Bu iki propagasyon mekanizmaları birbirinden bağımsızdır. Şimdi, mekanizmalara göre meydana gelen sönümlenmeler incelenecektir. Çok yollu yayılım iletilen işaretin düz (flat) ya da frekans seçici (frequency selective) sönümlenmeye uğramasına neden olur.

Düz sönümlenme (Flat fading) :

Eğer gezgin radyo kanalı iletilen işaretin band genişliğinden geniş, band genişliği boyunca sabit kazanç ve doğrusal faz yanıtına sahipse alıcıdaki işaret Düz sönümlenme'ye uğrar. Düz sönümlenmede kanalın çok yollu yapısı iletilen işaretin spektral karakteristiğinin alıcıda aynen korunacağı anlamına gelir. Fakat alıcıdaki işaretin gücü zamanla değişmektedir; çünkü çok sayıda yolun etkisiyle kanalın kazancında değişimler olmaktadır. Düz sönümlenmeli kanallar “genlik değiştiren kanallar” olarak bilinir ve kanala gönderilen işaretin band genişliği kanalın band genişliğinden çok daha dar olduğundan “dar bantlı kanallar” olarak da bilinmektedirler. Düz sönümlenmeli kanallar derin sönümlenmelere neden olurlar, bunun için sönümlenme olmayan kanallara oranla daha düşük bit hata olasılığı elde etmek için gönderilecek işaretin gücü 20 yada 30 dB fazla olmalıdır Özetlenecek olursa bir işaretin düz sönümlenmeye uğraması için;

$$B_s \ll B_c$$

ve

$$T_s \gg \sigma$$

olmalıdır. Burada T_s , işaretin simge periyodu; B_s , işaretin band genişliği; σ , kanalın gecikme yayılımı; B_c , kanalın uyum band genişliğidir.

Frekans seçici sönümlenme (Frequency selective fading):

Eğer, kanal iletilen işaretin band genişliğinden daha dar bir band genişliği boyunca sabit kazanç ve doğrusal faz yanıtına sahipse bu kanal frekans seçici sönümlenmeli kanaldır. Bu durumda kanalın darbe yanıtı iletilen işaretin simge periyodundan daha büyük çok yollu yayılımına sahiptir. Bu şekilde alıcıdaki işaret gönderilen işaretin zayıflamış ve zamanda gecikmiş birçok bileşeninden oluşacaktır ki bu durumda alıcıda işaret bozulmaya uğramış olur. Frekans seçici sönümlenme iletilen simgelerin kanal içinde zaman yayılımına uğramalarından kaynaklanmaktadır. Bu yüzden bu kanallar simgeler arası girişime (ISI) neden olurlar. Frekans seçici sönümlenmede iletilen işaretin band genişliği kanalın band genişliğinden büyüktür. Yine, frekans seçici sönümlenme çok yollu gecikmelerin iletilen simgenin periyodunu geçmesi sonucu meydana gelir. Özetlersek, frekans seçici sönümlenme durumu için

$$B_s > B_c \quad \text{ve}$$

$$T_s < \sigma$$

olmalıdır. İletilen temelband işaretin değişim hızının kanalın değişim hızına göre ne kadar hızlı olduğu kanalın “Hızlı sönümlenmeli” ya da “Yavaş sönümlenmeli” kanal olduğunu belirler.

Hızlı sönümlenmeli kanalda kanalın darbe yanıtı bir simge periyodu boyunca çok hızlı değişir. Bu durum kanalın uyum zamanının iletilen işaretin simge periyodundan daha küçük olduğu anlamına gelmektedir. Bu kanal türünde doppler yayılımından dolayı frekans yayılımı meydana gelir ve işaret bozulmalarına neden olur. Hızlı sönümlenme şu durumlarda meydana gelir

$$T_s > T_c \quad \text{ve}$$

$$B_s < B_d$$

Bir kanalın hızlı ya da yavaş sönümlenmeli kanal olması bu kanalın düz ya da frekans seçici sönümlenmeli kanal olduğunu belirtmez. Hızlı sönümlenme sadece kanalın hareket sonucu değişme oranı ile ilgilidir. Düz sönümlenmeli kanalda ise

kanalın darbe yanıtının sadece bir delta işlevi (gecikmesiz) olduğunu düşünebiliriz. Bundan dolayı, düz, hızlı sönümlenmeli kanal delta işlevi genliğinin değişimi iletilen temelband işaretin değişim oranından daha hızlı olduğu kanaldır. Frekans seçici, hızlı sönümlenmeli kanalda ise her birçok yollu elemanın zaman gecikmesinin, genliğinin ve fazının değişimi iletilen işaretin değişim oranından hızlıdır.

2.1.2.1 Rayleigh sönümlenme

Telsiz iletim kanallarında Rayleigh dağılımı düz sönümlenmeye uğramış işaretin alıcısındaki zarfının istatistiksel olarak zamanla değişimini tanımlamakta kullanılmaktadır. Gürültü işaretinin dik bileşenleri Gauss dağılımlı olup zarfı Rayleigh dağılımını vermektedir. Rayleigh dağılımı aşağıdaki olasılık yoğunluk işlevine (pdf) sahiptir

$$P_{Rayleigh}(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) & 0 \leq r \leq \infty \\ 0 & r < 0, \end{cases} \quad (2)$$

burada σ^2 , dik bileşenlerin ortalama gücüdür. Rayleigh dağılımının ortalama değeri,

$$r_{mean} = E[r] = \int_0^{\infty} r p(r) dr = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}} = 1.2533\sigma \quad (3)$$

olarak bulunur. Rayleigh dağılımının varyansı ise

$$\begin{aligned} \sigma_r^2 &= E[r^2] - E^2[r] = \int_0^{\infty} r^2 p(r) dr - \frac{\sigma^2 \pi}{2} \\ &= \sigma^2 \left(2 - \frac{\pi}{2}\right) = 0.4292\sigma^2 \quad \text{şeklinde bulunur} \end{aligned} \quad (4)$$

2.1.2.2 Rician sönümlleme

Küçük ölçekli sönümllemeli kanalın genlik zarfı, baskın zayıflamamış bir işaret bileşeni varsa (Line-of-side gibi) Rician dağılımlıdır. Zarf sezici çıkışında baskın işaret doğru akım bileşeninin oluşmasına neden olur. Rician dağılımında baskın işaret bileşeni sönümlenirse Rayleigh dağılımı elde edilir. Rician dağılımı şöyledir

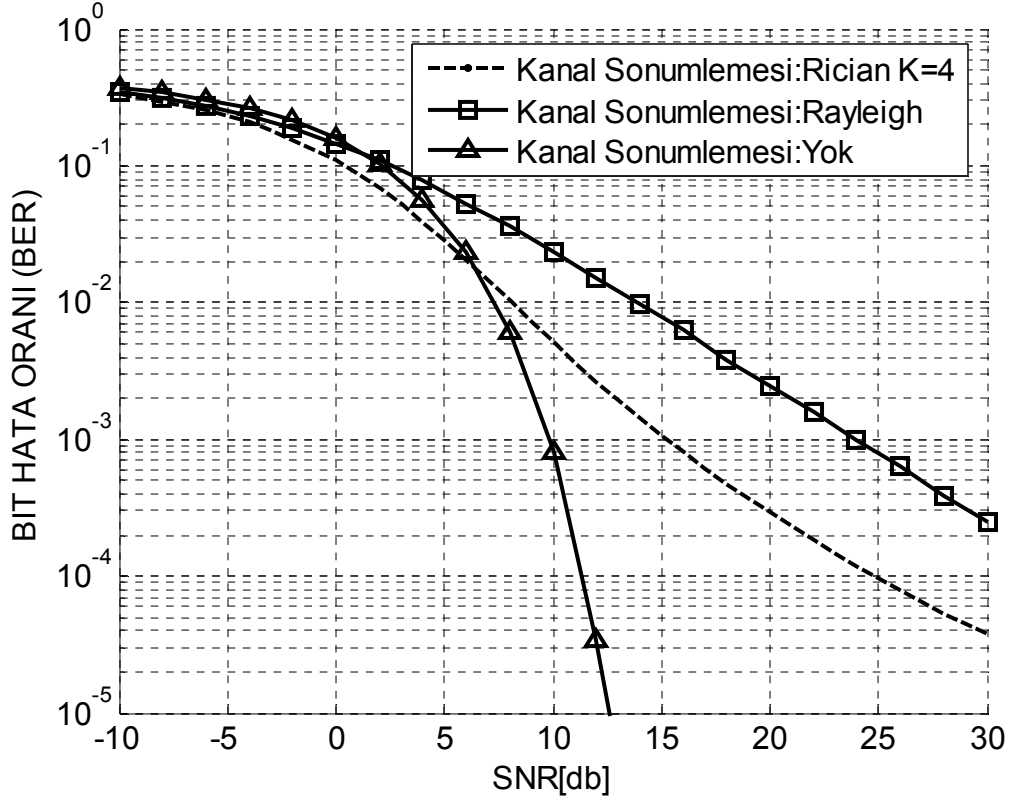
$$p_r(r) = \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{(r^2+A^2)}{2\sigma^2}} I_0\left(\frac{rA}{\sigma^2}\right), \quad A \geq 0 \text{ ve } r \geq 0 \quad (5)$$

A , baskın işaretin maksimum değeri (genliği); $I_0(\cdot)$, 0. derece 1. çeşit Bessel işlevidir. Rician dağılımı genellikle K parametresi ile ifade edilir. K parametresi şu şekilde hesaplanır

$$K(dB) = 10 \log \frac{A^2}{2\sigma^2} dB \quad (6)$$

$A \rightarrow 0, K \rightarrow -\infty dB$ Durumunda Rician dağılımı Rayleigh dağılımına dönüşür. $K \gg 1$ durumunda ise Rician dağılımı Gauss dağılımına yakınsar.

Şekil 2.2'de Rayleigh ve Rician Sönümllemeli kanalların QPSK Modüleli bir sinyal üzerindeki bozucu etkileri gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Rayleigh ve Rician sönümlmeli kanalların başarımları

Sönümlenmeyen bir kanalda 10 db Sinyal/Gürültü oranı ile binde bir oranında bit hata oranı elde edilirken Rician ve Rayleigh sönümlmeli kanallarda aynı bit hata oranını elde etmek için sırasıyla 15 ve 25 db lik bir sinyal gürültü oranına ihtiyaç duyulmaktadır

2.1 Yol Kaybı

Radyo sinyali alıcı ve verici arasındaki uzaklık arttıkça ciddi biçimde zayıflamaya uğrar. Bu zayıflamanın şiddeti alıcı verici arasındaki mesafe ve bazı üsteller ile ters orantılı olarak artar. Şehir ortamında bir yayılım üsteli genelde 3,5 – 4 arasında değişir. Bu nedenle herhangi bir mobil kullanıcı tarafından alınan ortalama güç aşağıdaki gibi formüle edilebilir

$$P_r = P_t \cdot \left(\frac{G_t G_r}{\underbrace{\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right)^2 \left(\frac{d}{d_0} \right)^n}_{P_L}} \right) \quad (7)$$

(7) numaralı eşitlikte;

G_t ve G_r sırasıyla Verici ve Alıcı Anten Kazancı,

P_L =ortalama yol kaybını;

d_0 =serbest uzayda referans mesafesini,

d =alıcı ve verici arasındaki mesafeyi,

λ = dalga boyunu,

n = yayılım üstelini ifade etmektedir.

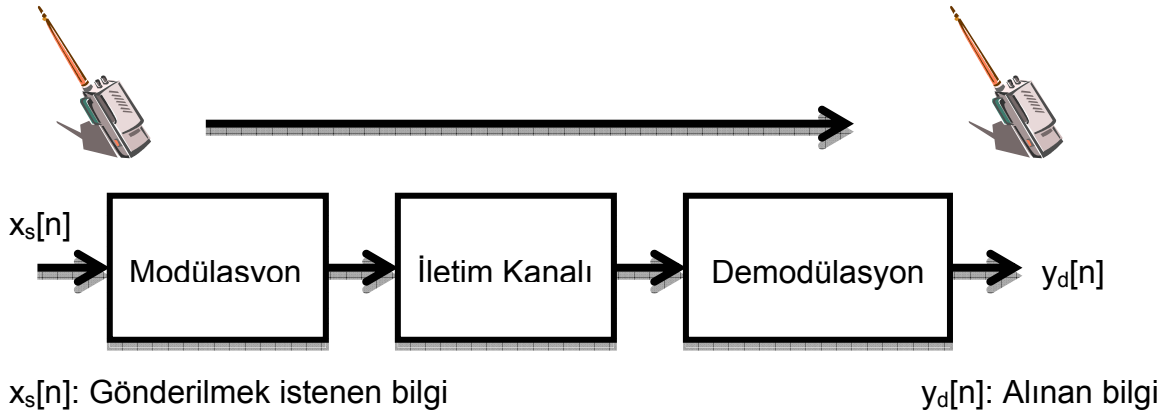
Bunun yanı sıra (7) numaralı eşitlikle bulduğumuz ortalama güç gölgeleme etkisi (Büyük Binalar, Ağaçlar vb.) adı verilen olgu yüzünden değişim gösterebilir. Bu değişim log. ölçek (dB) ile ölçüldüğünde normal dağılımlı olduğu görülür. Değişimin derinliği standart dağılım ile ölçülür ve genelde σ ile gösterilir. Şehir ortamında σ : 10–14 dB arasında değişir

2.3 Gürültü (AWGN)

Kablosuz ağlarda ana gürültü kaynağı enterferans ve yükselteç türü elektronik bileşenlerdir. Bu tür elektronik bileşenlerden kaynaklanan gürültüyü modellemek için toplamsal karmaşık gaussian karakteristiğine sahip termal gürültü dikkate alınmıştır. Skaler bir $z_s, d[n]$, gürültü vektörünün birbirinden bağımsız sıfır ortalamalı ve σ^2 varyanslı gerçek ve imajiner kısımlarının toplamı alınarak bulunabilir. Bu durumda toplam gürültü gücü ise $N_0=2 \sigma^2$ olacaktır

3. DOĞRUDAN İLETİM VE ATLAMALI İLETİM YAPISI

3.1 Doğrudan İletim

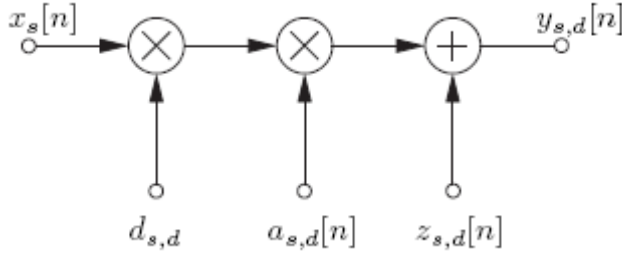


Şekil 3.1 Alıcı-verici arasında oluşan doğrudan iletim yapısı

Kablosuz iletim ağlarında gönderilmek istenen bilgi kaynaktan alıcıya hava kanalı ile gönderilmek zorundadır. Bilginin iletimi esnasında birçok olgu bilgiyi bozucu yönde etkileyecektir. Bu tez çalışması kapsamında, yol kaybı, Rayleigh/Rician sönmüleme ve AWGN gürültü dikkate alınmıştır.

$$y_d[n] = \underbrace{h_{s,d}[n]}_{\text{Zayıflama}} \cdot \underbrace{x_{s,n}[n]}_{\text{Yol Kaybı}} + \underbrace{z_{s,d}[n]}_{\text{Sönümlleme}} = \underbrace{d_{s,d}}_{\text{Gürültü}} \cdot a_{s,d}[n] \cdot x_s[n] + z_{s,d}[n] \quad (8)$$

Şekil 3.2'de gösterildiği gibi yol kaybı ve sönmüleme bilgi işaretine çarpımsal, gürültü ise toplamsal olarak etki etmektedir.



Şekil 3.2 Doğrudan iletimde sönümlenme ve gürültünün etkisi

Kablosuz ağlarda ana gürültü kaynağı enterferans ve yükselteç türü elektronik komponentlerdir. Bu tür elektronik bileşenlerden kaynaklanan gürültüyü modellemek için toplamsal karmaşık gaussian karakteristiğine sahip termal gürültü dikkate alınmıştır. Skaler bir $z_{s,d}[n]$, gürültü vektörünün birbirinden bağımsız sıfır ortalamalı ve σ_n^2 varyanslı gerçek ve imajiner kısımlarının toplamı alınarak bulunabilir. Bu durumda toplam gürültü gücü ise $N_0=2 \sigma_n^2$ olacaktır.

Radyo sinyali alıcı ve verici arasındaki uzaklık arttıkça ciddi biçimde zayıflamaya uğrar. Bu zayıflamanın şiddeti alıcı verici arasındaki mesafe ve bazı üsteller ile ters orantılı olarak artar. Şehir ortamında bir yayılım üsteli genelde 3,5 – 4 arasında değişir. Bu nedenle herhangi bir mobil kullanıcı tarafından alınan ortalama güç aşağıdaki gibi formüle edilebilir

$$P_r = P_t \cdot \left(\frac{G_t G_r}{\underbrace{\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right)^2 \left(\frac{d}{d_0} \right)^n}_{P_L}} \right) \quad (9)$$

(9) numaralı eşitlikte;

G_t ve G_r sırasıyla Verici ve Alıcı Anten Kazancı,

P_L =ortalama yol kaybını;

d_0 =serbest uzayda referans mesafesini,

d =alıcı ve verici arasındaki mesafeyi,

λ = dalga boyunu,

n = yayılım üstelini ifade etmektedir.

Bunun yanı sıra (9) numaralı eşitlikle bulduğumuz ortalama güç Gölgeleme etkisi (Büyük Binalar, Ağaçlar vb.) adı verilen olgu yüzünden değişim gösterebilir. Bu değişim log. ölçek (dB) ile ölçüldüğünde normal dağılımlı olduğu görülür. Değişimin derinliği standart dağılım ile ölçülür ve genelde σ ile gösterilir. Şehir ortamında σ : 10–14 dB arasında değişir.

Gölgeleme etkisini hesaba katarsak (9) da verilen eşitlik;

$$P_r = P_t \cdot \left(\frac{G_t G_r}{\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right)^2 \left(\frac{d}{d_0} \right)^n} \right) \cdot 10^{\frac{X}{10}} \quad \text{olur.} \quad (10)$$

Burada X lognormal dağılımı ifade etmektedir.

(10) da verilen eşitlik yeniden düzenlenirse;

$$P_r [dBm] = P_t [dBm] - \underbrace{10 \log \left(\left(\frac{1}{G_r G_t} \right) \left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right)^2 \right) - 10 \log \left(\frac{d}{d_0} \right)^n + X_\sigma}_{\text{Serbest Uzay Yol Kaybı ve Gölgeleme içeren yol kaybı.}} \quad (11)$$

İletilmek istenen sinyal ana olarak serbest uzay yol kaybı ve sönmümeden kaynaklanan etkilerden dolayı zayıflamaya uğrar.

Alıcıda alınan güçte, yol kaybından kaynaklanan değişimlere ilave birde multipath (çok yollu) sönümlemeden kaynaklanan değişimlerde vardır

Gönderilen sinyal, verici ile alıcı arasında tam net bir görüş hattı olmadığı durumda saçılma (scatter) ve kırınımdan (diffraction) oluşan bileşenler (çok yollu sönümleme) çeşitli fazlarda, genliklerde ve zamanlarda alıcıya ulaşır.

Söz konusu her bir bileşen; rasgele iki bağımsız kompleks gaussian değişkenlerinin toplamıyla modellenenir. Bu toplamın genliğinin büyüklüğü Rayleigh dağılımına sahiptir. Bu durumda, sönümleme katsayısı $a_{s,d}[n]$; sıfır ortalamalı ve $\sigma^2_{s,d}$ varyanslı kompleks gaussian değişkeni olarak modellenenir.

Alıcı gelen bilgiyi sembol sembol dedekte eder. BPSK modülasyonu durumunda modüleli sinyal bit bazında (12) de belirtilen şekilde demodüle edilir;

$$y_d[n] = \begin{cases} +1 & (\text{Re}\{y_d[n]\} \geq 0) \\ -1 & (\text{Re}\{y_d[n]\} < 0) \end{cases} \quad (12)$$

QPSK Modülasyonu durumunda her sembolde iki bit iletilir ve bu durumda modüleli sinyal sembol bazında (13) de belirtilen şekilde demodüle edilir.

$$y_d[n] = \begin{cases} [+1, +1] & (0^\circ \leq \angle y_d[n] < 90^\circ) \\ [-1, +1] & (90^\circ \leq \angle y_d[n] < 180^\circ) \\ [+1, -1] & (-90^\circ \leq \angle y_d[n] < 0^\circ) \\ [-1, -1] & (-180^\circ \leq \angle y_d[n] < -90^\circ) \end{cases} \quad (13)$$

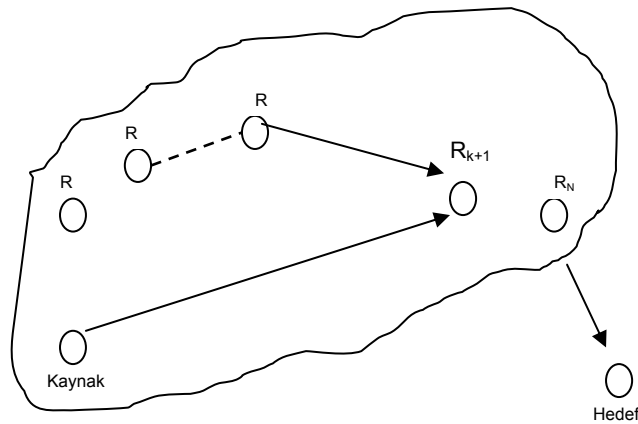
3.2 Atlamalı İletim

Bu kısımda, işbirlikli iletişim yapısında MQAM modülasyonu kullanılarak ($M=4, 16, 64$) ve Rayleigh/Rician sönümlmeli kanalda röle sayısının artmasının başarım performansına olan etkisi incelenmiştir. Kaynaktan gelen sinyallerle birlikte kendinden önceki röle vazifesi gören kullanıcıların gönderdiği sinyalleri birleştiren ve geçici olarak N tane röle içeren kablosuz iletişim ağını ele alalım. Kablosuz iletişim ağındaki herhangi iki röle arasındaki kanal, AWGN gürültülü ve Rayleigh/Rician sönümlmeli olarak modellenmiştir. Her bir kanalın sönümlleme katsayılarının istatistiksel olarak birbirinden bağımsız olduğu farzedilmiştir. Her bir rölenin aldığı gürültü; sıfır ortalamalı, σ_0 varyanslı kompleks rasgele gaussian değişkenleri olarak modellenmiştir.

Her bir röle, aldığı sinyalin SNR değerini ölçerek önceden tanımlanmış olan eşik SNR değeri ile karşılaştırıp aldığı sinyali iletip iletmemeye karar vermektedir.

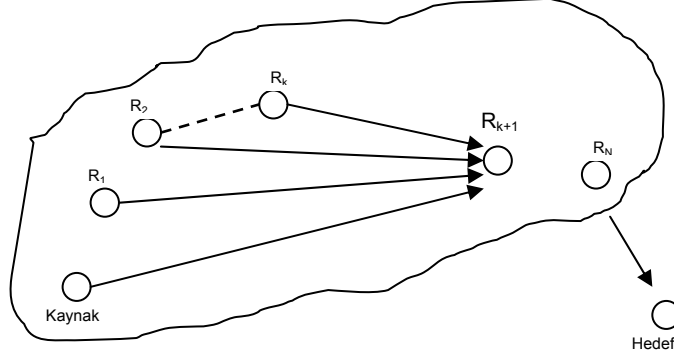
İletişim yapısındaki röleler arasında çok değişik işbirliği senaryoları uygulanabilir.

En genel işbirlikli iletişim senaryosu $C(m)$ ($1 \leq m \leq N-1$) ile gösterirsek burada her röle kendinden önceki m tane röleden gelen bilgi ile kaynaktan gelen bilgiyi birleştirir. Bu tür basit bir işbirlikli haberleşme yapısı $C(1)$ için şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Tek yönlü çok atlamalı iletişim yapısı

Bu yapıdan daha karmaşık bir iletişim yapısında $C(N-1)$ şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Çok yollu çok atlamalı iletişim yapısı

Bu yapıda her röle kendinden önceki tüm rölelerden gelen bilgi ile birlikte kaynaktan gelen bilgiyi birleştirir. Şekil 3.4'deki iletişim yapısına bakılacak olursa;

Bu yapıda $N+1$ faz vardır.

1'inci fazda:

Kaynak bilgiyi yayımlar, hedef ve i 'nci rölede alınan sinyal sırasıyla;

$$y_{s,d} = \sqrt{P_0} h_{s,d} x + n_{s,d}$$

$$y_{s,r_i} = \sqrt{P_0} h_{s,r_i} x + n_{s,r_i}, \quad 1 \leq i \leq N \quad (14)$$

Burada,

P_0 : Kaynaktan gönderilen sinyalin gücü

x : Birim güç ile gönderilen sembol

$h_{s,d} \sim CN(0, \sigma^2_{s,d})$: Kaynak ile hedef arasındaki kanalın sönümlenme katsayısı

$h_{s,r_i} \sim CN(0, \sigma^2_{s,r_i})$ Kaynak ile i 'nci röle arasındaki kanalın sönümlenme katsayısı

$CN(0, \sigma^2)$: 0 ortalamalı ve σ^2 varyanslı kompleks gaussian rasgele değişkenlerini,

$n_{s,d}$ ve n_{s,r_l} beyaz gürültüyü göstermektedir.

2'nci fazda:

Eğer ilk röle sinyali doğru olarak çözerse, çözdüğü sinyali P_1 gücü ile hedefe gönderir aksi taktirde aldığı sinyale hiç bir işlem yapmaz.

Genel olarak ifade edilirse l 'nci fazda , $2 \leq l \leq N$

l 'nci röle kaynak ve önceki rölelerden $(\min\{m, l-1\})$ aldığı bilgiyi aşağıda belirtilen şekilde maksimum oran birleştirmesine tabi tutar.

$$y_{r_l} = \sqrt{P_0} h_{s,r_l}^* y_{s,r_l} + \sum_{i=\max(1, l-m)}^{l-1} \sqrt{\hat{P}_i} h_{r_i,r_l}^* y_{r_i,r_l} \quad (15)$$

Burada,

$h_{r_i,r_l} \sim CN(0, \sigma_{r_i,r_l}^2)$: i 'nci röle ile l 'nci röle arasındaki kanalın sönümlenme katsayısı,

y_{r_i,r_l} : l 'nci röle tarafından i 'nci röleden alınan sinyali göstermekte olup şu şekilde modellenenabilir:

$$y_{r_i,r_l} = \sqrt{\hat{P}_i} h_{r_i,r_l} x + n_{r_i,r_l} \quad (16)$$

Burada;

\hat{P}_i : $(i+1)$ 'inci fazda i 'nci röle tarafından gönderilen sinyalin gücünü göstermektedir.

Eğer i 'nci röle sinyali doğru olarak çözerse gönderdiği sinyalin gücü $\hat{P}_i = P_i$, aksi taktirde $\hat{P}_i = 0$ olur.

Eğer l 'inci röle sinyali doğru olarak çözerse gönderdiği sinyalin gücü $(l+1)$ 'inci fazda $\hat{P}_l = P_l$ aksi taktirde 0 olur.

Sonuç olarak $(N+1)$ 'inci safhada hedef aldığı bütün sinyalleri Maksimum Oran Birleştirmesi kapsamında (17)'de verilen eşitliği kullanarak birleştirir.

$$y_d = \sqrt{P_0} h^*_{s,d} y_{s,d} + \sum \sqrt{\hat{P}_i} h^*_{r_i,d} y_{r_i,d} \quad (17)$$

Toplam gönderilen güç daima $P_0 + \sum_{i=1}^N P_i = P$ şeklinde sabit kalır.

4. BİT HATA ORANININ HESAPLANMASI

Rayleigh/Rician sönümlenme, AWGN gürültü ve yol kaybını içeren haberleşme kanal modeli için kaynak ve hedef arasındaki röleler üzerinden iletim yapan hücresel sistemin başarımını değerlendirmek için başarım parametresi olarak bit hata oranı kullanılmıştır. Hedef'te alınan sinyalin bit hata oranı kanalın sinyal gürültü oranı ile sinyalin hangi tip modülasyona tabi tutulduğuna bağlıdır.

BPSK modülasyonlu sinyal için bit hata oranı:

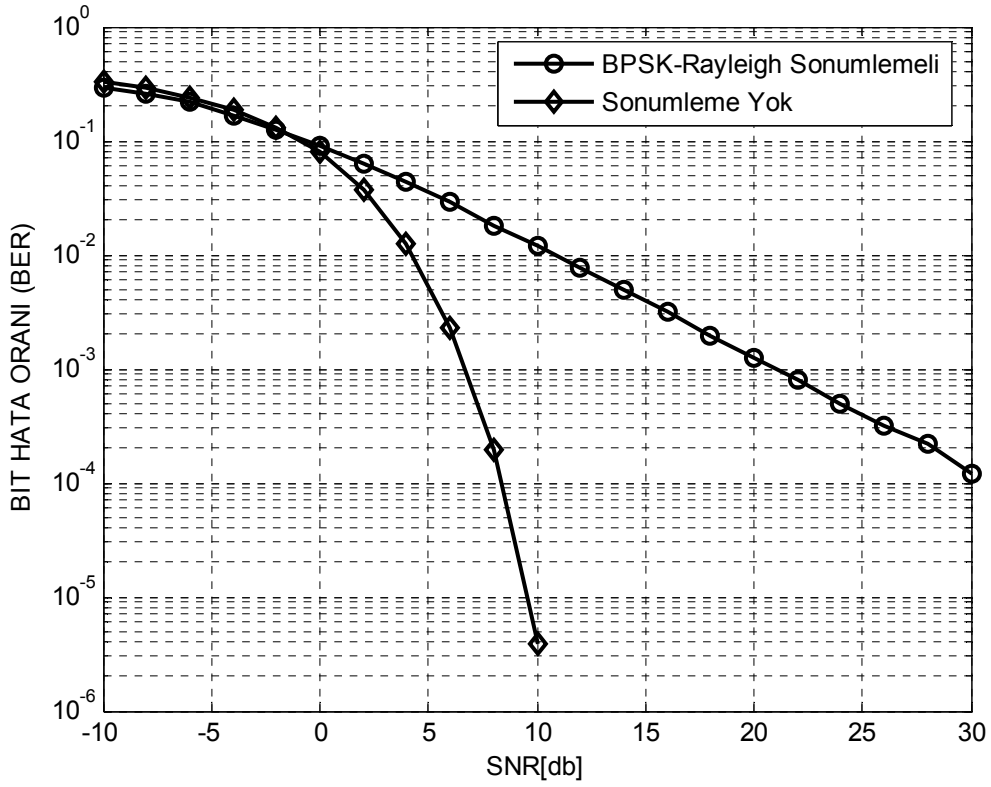
$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{\xi}{\sigma^2}}\right), \text{ sönümlenme yok,} \quad (18)$$

$$P_b = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{\bar{\gamma}_b}{1 + \bar{\gamma}_b}} \right), \text{ rayleigh sönümlenmesi var,} \quad (19)$$

Burada;

$\bar{\gamma}_b$: ortalama sinyal-gürültü-oranı

$\bar{\gamma}_b = \frac{\xi}{2\sigma^2} E(a^2)$, $E(a^2) = a^2$ 'yi ifade etmektedir.

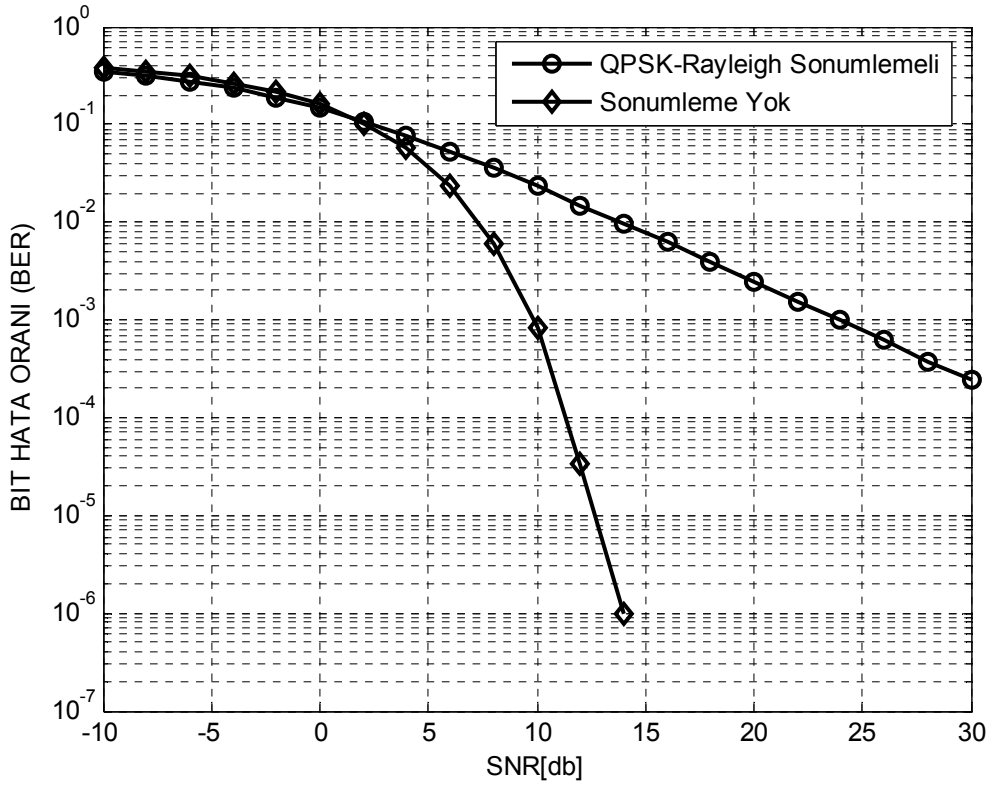


Şekil 4.1 BPSK modülasyonlu sinyalin rayleigh sönümlmeli kanaldaki başarımı

QPSK modülasyonlu sinyal için bit hata oranı:

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{\xi}{2\sigma^2}}\right), \text{ sönümleme yok} \quad (20)$$

$$P_b = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{\gamma_b}{2 + \gamma_b}} \right), \text{ rayleigh sönümlemesi var} \quad (21)$$



Şekil 4.2 QPSK modülasyonlu sinyalin rayleigh sönümlmeli kanaldaki başarımı

Şekil 4.2 incelendiğinde Rayleigh sönümlemesinin alınan sinyalin bit hata oranı üzerindeki etkisinin çok büyük olduğu görülmektedir. Öyleki, sönümlleme olmayan haberleşme kanal modelinde 10^{-3} (bin tane bit gönderiminde bir bitin hatalı olma durumu) bit hata oranına 10 db'lik sinya/gürültü oranı ile ulaşılabilirken aynı bit hata oranına Rayleigh sönümlmeli kanalda ulaşabilmek için alıcı tarafından alınan sinyalin yaklaşık 22 db'lik sinya/gürültü oranına sahip olması gerekmektedir.

4.1 Sinyal Gürültü Oranı

Sinyal gürültü oranı genelde alıcıdaki sinyalin kalitesini belirtmek amacıyla kullanılır.

$$\text{SNR} = \frac{S}{N_0} = \frac{|h_{s,r}|^2 \cdot \xi}{N_0} \quad (22)$$

Burada, $\xi = E[|x_s|^2]$ gönderilen sinyal gücünü ifade etmektedir

4.2 Bit Hata Oranının Hesaplanması

Kaynak tarafından gönderilen bir sinyal için her bir rölenin gelen sinyali doğru olarak çözme veya çözmemeye gibi iki durumu olacaktır.

İlk n adet rölenin durumlarını göstermek üzere $1 \times n$, $1 \leq n \leq N$ olmak üzere S_n vektörü tanımlayalım.

S_n vektörünün k 'nıncı elemanı k 'nıncı rölenin durumunu göstermekte olup;

$$S_n[k] = \begin{cases} 1, & k\text{'inci röle doğru çözerse} \\ 0, & \text{Aksi takdirde} \end{cases} \quad 1 \leq k \leq n \quad (23)$$

S_n vektörü binary olarak $0 - (2^n - 1)$ arasında değer alabileceğinden dolayı hesaplamalarda kolaylık sağlanması amacıyla ağın durumunu onluk düzende integer sayılarla ifade edilirse;

$$B_{x,n} = (B_{x,n}[1], B_{x,n}[2], \dots, B_{x,n}[n])$$

x decimal numarası, $1 \times n$ binary sayıyı göstermektedir.

$$S_N = B_{x,N}, \quad 1 \leq k \leq N, \quad k' \text{inci röleyi göstermektedir.}$$

$$S_N[k] = B_{x,N}[k]$$

Her bir rölenin durumu kendinden önceki m adet rölenin sinyali doğru olarak çözülüp çözmediğine durumuna bağlıdır. İşin gerçeği her bir rölede alınan sinyallerin sayısının bir önceki m adet röle içinden sinyali doğru olarak çözen röle sayısına bağlıdır. Bu durumda toplam olasılık (23) de verilen eşitlikle ifade edilebilir.

$$P(S_N) = P(S_N[1])P(S_N[2]/S_N[1])\dots\dots\dots P(S_N[N]/S_N[N-1])\dots\dots\dots, S_N[N-m] \quad (24)$$

2^N adet değer alabilen ağ durumu göz önüne alındığında, hedefteki hata olasılığı bir başka deyişle kanal durum bilgisi (CSI) aşağıda verilen Toplam Olasılık Kanunu ile hesaplanabilir.

$$P_{\ell/CSI} = \sum_{i=0}^{2^N-1} P_r(\ell/S_N = B_{i,N})P_r(S_N = B_{i,N}) \quad (25)$$

Burada,

e : hedefte hatalı çözülme durumu

$\sum_{i=0}^{2^N-1}$ toplamı ise ağdaki olası tüm durumları ifade etmektedir.

Hedef önceki fazlardaki gönderilen sinyalleri Maksimum Oran Birleştirmesi uygulayarak (17).de verilen eşitlik doğrultusunda toplar. Toplam Sinyal Gürültü (26) da verilen eşitlik kullanılarak hesaplanabilir.

$$SNR_d = \frac{P_0 |h_{s,d}|^2 + \sum_{j=1}^N P_j B_{i,N}[j] |h_{r_j,d}|^2}{\sigma_0} \quad (26)$$

Burada $B_{i,N}[j]$ j'inci rölenin sinyali doğru olarak çözülüp çözmediğine bağlı olarak 1 veya 0 değerlerinden birini alır.

K'ıncı röle kaynaktan ve önceki m adet röleden aldığı sinyali ilintili olarak birleştirir.

Bu durumda Sinyal Gürültü Oranı :

$$SNR_{r_k}^m = \frac{P_0 |h_{s,r_k}|^2 + \sum_{j=\max(1,k-m)}^{k-1} P_j B_{i,N}[j] |h_{r_j,r_k}|^2}{\sigma_0} \quad (27)$$

MQAM ($M=2^k$, k:çift sayı) Modülasyonu uygulandığında Bit Hata Oranı:

$$P_{CSI}^{QAM} = \psi_{QAM}(\gamma) = 4CQ(\sqrt{b_{QAM}\gamma}) - 4C^2Q^2(\sqrt{b_{QAM}\lambda}) \quad (28)$$

Burada;

$$C = 1 - \frac{1}{\sqrt{M}}, \quad b_{QAM} = \frac{3}{(M-1)}, \quad Q(x) = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \right) \int_x^{\infty} \exp(-t^2/2) dt$$

PSK Modülasyonu uygulandığında Bit Hata Oranı:

$$P_{CSI}^{PSK} = \psi_{PSK}(\gamma) = \frac{1}{\pi} \int_0^{(M-1)\pi/M} \exp\left(-\frac{b_{PSK}\gamma}{\sin^2(\theta)}\right) d\theta \quad (29)$$

Burada; $b_{PSK} = \sin^2(\pi/M)$

PSK modüleli sinyalin Bit Hata Oranına biraz daha odaklanılırsa;

$S_N = B_{i,N}$, Hedefteki Bit Hata Oranı şu şekilde hesaplanabilir

$$P_r(e/S_N = B_{i,N}) = \Psi_{PSK}(SNR_d) \quad (30)$$

k'inci röledeki durum $B_{i,N}[k]$, Önceki m adet rölenin durumu $P_{k,i}^m$ olarak ifade edilirse (27) den:

$$\begin{aligned}
P_{k,i}^m &= P_r(S_N[k] = B_{i,N}[k]S_N[k-1]) \\
&= B_{i,N}[k-1], \dots, S_N[k-m] = B_{i,N}[k-m] \\
&= \begin{cases} \Psi_{PSK}(SNR_{r_k}^m), & \text{Eger } B_{i,N}[k] = 0 \\ 1 - \Psi_{PSK}(SNR_{r_k}^m), & \text{Eger } B_{i,N}[k] = 1 \end{cases}
\end{aligned} \tag{31}$$

Ortalama Bit Hata Oranını hesaplamak için (25) deki bütün kanal için ortalama olasılık değerine ($P_{BER}(m) = E_{CSI}[P_{e|CSI}]$) ihtiyaç duyulduğundan:

(24), (31) ve (32) kullanılarak;

$$P_{BER}(m) = \sum_{i=0}^{2^N-1} E_{CSI} \left[\Psi_{PSK}(SNR_d) \prod_{k=1}^N P_{k,i}^m \right] \text{ şeklinde genişletebilir.} \tag{32}$$

Kanal sönümlenme katsayıları istatistiksel olarak birbirinden bağımsız kabul edildiğinden dolayı (32) eşitliğindeki beklenti operatörü bağımsız rasgele değişkenlerin fonksiyonu olarak yazılabilir. Bu durumda

$$P_{BER}(m) = \sum \left\{ E_{CSI} \left[\Psi_{PSK}(SNR_d) \prod_{k=1}^N E_{CSI} \left[P_{k,i}^m \right] \right] \right\} \tag{33}$$

Yukarıda yapılan analizle bulunan sonuçta, $\Psi_{PSK}(\cdot)$ fonksiyonu yerine $\Psi_{QAM}(\cdot)$ konulursa MQAM modülasyonu için Bit Hata Oranı hesaplanabilir.

Her bir röle arasındaki kanal rayleigh sönümlenmeli olarak modellendiğinden i ve j röleleri arasındaki kanal sönümlenme katsayısı $h_{i,j}$, $\sigma^2_{i,j}$ ortalamalı üstel dağılıma sahiptir. Bundan dolayı $E_{CSI}[\Psi_q(\gamma)]$ ifadesi şu şekilde yazılabilir.

$$E_{CSI}[\Psi_q(\gamma)] = \int_{\gamma} \Psi_q(\gamma) f(\gamma) d\gamma \quad (34)$$

Burada,

$f(\gamma)$: rasgele γ değişkeninin olasılık yoğunluk fonksiyonu

PSK modülasyonu uygulandığında , $q=1$

MQAM modülasyonu uygulandığı zaman $q=2$ alınmalıdır.

Eğer γ eksponansiyel dağılımlı ve $\bar{\gamma}$ ortalamalı rasgele değişken ise,

$$E_{CSI}[\Psi_q(\gamma)] = F_q \left(1 + \frac{b_q \bar{\gamma}}{\sin^2(\theta)} \right) \quad (35)$$

Burada $F_q(\cdot)$ ve b_q şu şekilde tanımlanmaktadır

$$F_1(x(\theta)) = \frac{1}{\pi} \int_0^{(M-1)\pi/M} \frac{1}{x(\theta)} d\theta \quad b_1 = b_{PSK} \quad (36)$$

$$F_2(x(\theta)) = \frac{4C}{\pi} \int_0^{\pi/2} \frac{1}{x(\theta)} d\theta - \frac{4C^2}{\pi} \int_0^{\pi/4} \frac{1}{x(\theta)} d\theta \quad b_2 = \frac{b_{QAM}}{2}$$

bir önceki eşitlikteki ifadeleri elde etmek için $Q(\cdot)$ fonksiyonunun iki özelliği kullanılmıştır.

$$Q(x) = (1/\pi) \int_0^{\pi/2} \exp(-(x^2/2 \sin^2(\theta))) d\theta, \quad (37)$$

$$Q^2(x) = (1/\pi) \int \exp(-(x^2/2 \sin^2(\theta))) d\theta, \quad x \geq 0$$

verilen $B_{i,N}$ durumu için ve rayleigh sönümlmeli kanalda başarıım

$$E_{CSI}(\psi_q(SNR_d)) = F_q \left[\left(1 + \frac{b_q P_0 \sigma_{s,d}^2}{\sigma_0 \sin^2(\theta)} \right) \prod_{j=1}^N \left(1 + \frac{b_q B_{i,N}[j] P_j \sigma_{r_j,d}^2}{\sigma_0 \sin^2(\theta)} \right) \right] \quad (38)$$

Benzer şekilde, $B_{i,N}[k]$ şeklinde durumu verilen k'inci röle için önceki m rölenin durumuna bağlı olarak başarıım olasılığı

$$E_{CSI}[P_{k,i}^m] = G_k^m(B_{i,N}[k]) \quad (39)$$

Burada;

$$G_k^m(x) = \begin{cases} F_q \left[\left(1 + \frac{b_q P_0 \sigma_{s,r_k}^2}{\sigma_0 \sin^2(\theta)} \right) \prod_{j=\max(1,k-m)}^{k-1} \left(1 + \frac{b_q B_{i,N}[j] P_j \sigma_{r_j,r_k}^2}{\sigma_0 \sin^2(\theta)} \right) \right], & \text{Eger } x=0 \\ 1 - F_q \left[\left(1 + \frac{b_q P_0 \sigma_{s,r_k}^2}{\sigma_0 \sin^2(\theta)} \right) \prod_{j=\max(1,k-m)}^{k-1} \left(1 + \frac{b_q B_{i,N}[j] P_j \sigma_{r_j,r_k}^2}{\sigma_0 \sin^2(\theta)} \right) \right], & \text{Eger } x=1 \end{cases} \quad (40)$$

F_q ve b_q sabitleri (34) de tanımlanmıştır. Sonuç olarak çok atlamalı işbirlikli iletişim yapısında PSK ve MQAM modülasyon uygulandığında Bit Hata Oranı (38)- (40) eşitlikleri kullanılarak (41) eşitliği ile belirlenebilir.

$$P_{SER}(m) = \sum_{i=0}^{2^N-1} F_q \left[\left(1 + \frac{b_q P_0 \sigma_{s,d}^2}{\sigma_0 \sin^2(\theta)} \right) \prod_{j=1}^N \left(1 + \frac{b_q B_{i,N}[j] P_j \sigma_{r_j,d}^2}{\sigma_0 \sin^2(\theta)} \right) \right] \prod_{k=1}^N G_k^m(B_{i,N}[k]) \quad (41)$$

5. ÇEŞİTLEME YÖNTEMLERİ

Çeşitleme, alıcıda iletilen işaretin istatistiksel bağımsız birden fazla kopyalarının elde edilmesi için kullanılan bir yöntemdir[1]. Çok yönlü kanallar üzerinden alıcıda elde edilen işaretler derin sönümlenmelere neden olabilmekte ve bundan dolayı alıcıda hata miktarı aşırı derecede artabilmektedir. Sönümlenmeli çok yönlü kanallarda hata olasılığını azaltmak için çeşitleme yöntemi kullanılmaktadır. Aynı bilgiyi taşıyan işaretin birden çok kopyasını birbirinden bağımsız sönümlenmeli kanallar üzerinden gönderirsek işaretlerin hepsinin aynı anda sönümlenmeye uğrama olasılıkları önemli bir miktarda azalacaktır. Bundan dolayı çeşitleme tekniği mantıklı bir yaklaşımdır[1]. Çeşitleme, telsiz iletişim kanallarında derin sönümlenmeleri azaltmanın yanında iletim gücü gereksinimini azaltmakta önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle gezgin birimden baz istasyonuna iletişim (uplink) için gezgin birimin pil sığasının sınırlı olduğunu düşünürsek çeşitlemenin önemi daha da iyi anlaşılmaktadır.

5.1. Frekans Çeşitlemesi

Aynı işaretin birbirinden bağımsız birden çok sönümlenmeli çeşidini elde edebilmek için aynı işareti birbirinden farklı frekanslarda ve frekanslar arası minimum band genişliğinin uyum band genişliğinden, B_c , fazla olduğu taşıyıcılar ile iletilmesine Frekans Çeşitlemesi denir[1]. Bu tekniğin dezavantajları ek band genişliği gereksiniminin yanında daha fazla iletim gücü gerektirmesi ve frekans çeşitlemesi için kullanılan kanal sayısı kadar alıcı gerektirmesidir.

5.2. Zaman Çeşitlemesi

Zaman çeşitlemesinde yine birbirinden bağımsız sönümlenmeye uğramış işaretler elde edebilmek için aynı işaret bilgisi birbirinden farklı zaman dilimlerinde gönderilir. Birbirini takip eden zaman dilimleri arasındaki zaman ayırımı kanalın uyum zamanını (T_c), geçmelidir[1]. Uyum zamanı, T_c , doppler kaymasına yani taşıyıcı frekansa ve gezgin birimin hızına bağlıdır. Zaman çeşitlemesi, ileri yönde hata düzeltme (FEC, forward error correction) kodlarında ve serpiştirme

(interleaving) işleminde kullanılır[2]. Bu tekniğin dezavantajlarından bazıları, gezgin birimin çok yavaş ilerlemesi durumunda istenmeyecek kadar gecikmelerin olması ve yüksek iletim gücü gerektirmesidir.

5.3. Uzak Çeşitlemesi (Anten Çeşitlemesi)

Uzak çeşitlemesi, hücreli radyo şebekelerinde kullanılan en yaygın teknik olmasının yanında ek frekans spektrumu gerektirmeyen bir tekniktir. Bu çeşitleme tekniğinde verici ve alıcının her ikisinde ya da sadece birinde birden çok anten kullanarak birbirinden bağımsız sönmülemeli kanallar üzerinden iletişim sağlanmaktadır. İlişkisiz sönmüleme elde edebilmek için verici ya da alıcı antenlerin yeteri kadar birbirinden uzak olmaları gerekmektedir. Baz istasyonları için antenler arası uzaklık genellikle 10 dalga boyu yada daha fazlasıdır.

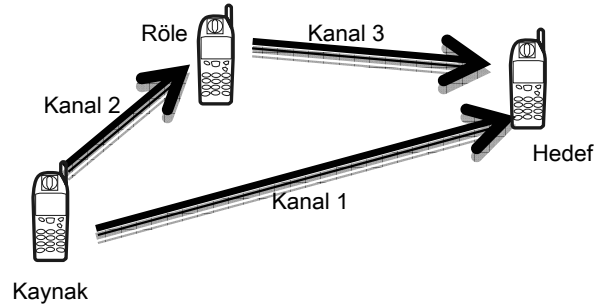
5.4 İşbirlikli Çeşitleme

İşbirlikli iletişimin (Yardımlaşmalı Haberleşme) temelleri Cover ve El Gamal'in a.g.e. [1] 1979 yılında aktarıcı kanallar üzerine yaptıkları çalışmaya dayanıyor. İlk olarak Van der Meulen 1971 yılında bu kanal türünü ortaya attı. Daha sonraki yıllarda da Cover ve El Gamal'in sözü edilen çalışması ile genişletildi. Bu çalışma temelde üç düğümlü bir ağ yapısının sığasını analiz ediyordu. Kaynak, hedef ve aktarıcı düğümlerinden oluşan bu ağ yapısının aynı bandı kullandıkları varsayıyordu. İşbirlikli iletişim Cover ve El Gamal'in aktarıcı kanal kavramından farklıdır. Son yıllarda yapılan araştırmalar çeşitleme kavramına dayandığı halde Cover ve El Gamal'in çalışmaları daha fazla toplamsal beyaz Gauss gürültülü (AWGN) aktarıcı kanal sığasının analizi ile ilgiliydi. Ayrıca, aktarıcı kanalda, aktarıcının görevi ana kanala yardımcı olmak iken işbirliğinde bu her bir birim için aynıdır. Daha açık bir ifadeyle, kullanıcılar hem kaynak hem aktarıcı işlevi görürler. Aktarıcı kanal eksenli çalışmaların yetmişli yıllarda öne çıkmasına rağmen seksenli ve doksanlı yıllarda araştırma yapılmamıştır. Laneman 2002 yılında a.g.e [2]'deki doktora tezi ile yeni bir konu gündeme getirdi. Laneman bu tezinde işbirlikli çeşitlemeyi ortaya attı. Yaptığı çalışmalarla birkaç değişik yöntem ile kullanıcıların işbirliği ile gerçekleştirdikleri bir tür çeşitleme elde etti. Ondan sonra Sendonaris,

Erkip ve Aazhang a.g.e [4]'te aynı yıl işbirlikli çeşitleme açısından çok önemli bir çalışma olan makalelerini yayınlattılar. Gatspar, Kramer ve Gupta 2002'de paralel aktarıcı kanalı ve Boyer, Falconer ve Yanıkömeroğlu da 2004'te çok yollu çeşitlemeyi duyurdular.

Üç düğümlü temel bir işbirlikli iletişim yapısı Şekil 5.1 de belirtilmiştir.

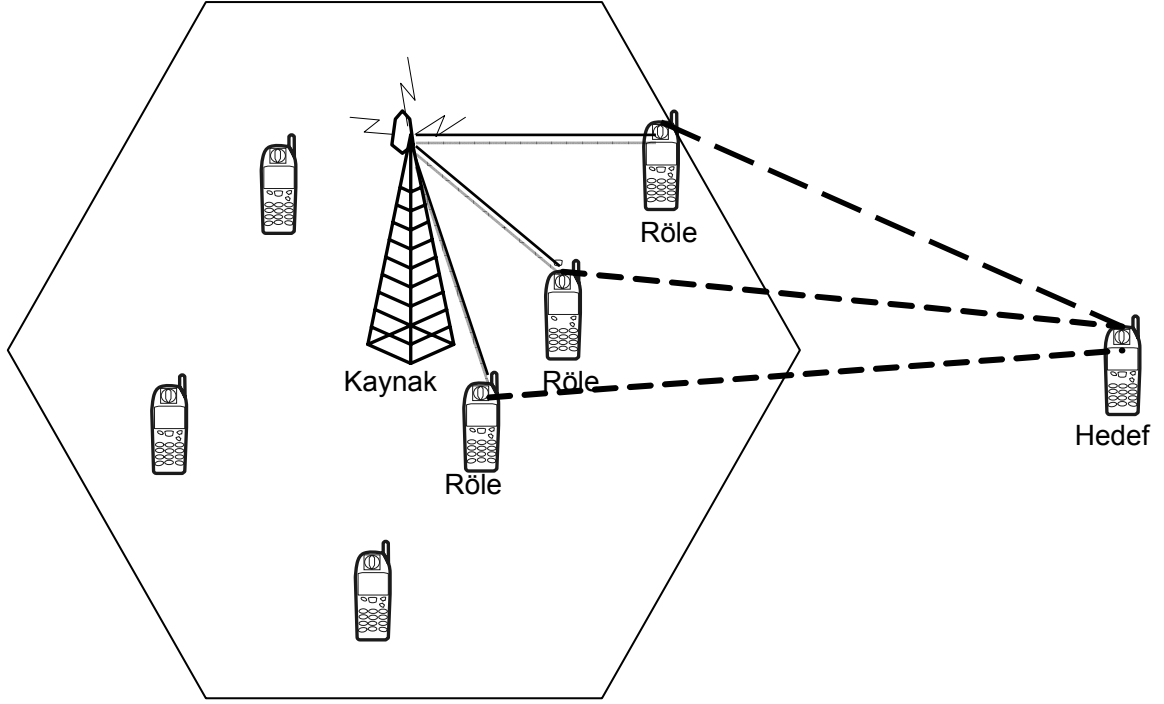
Aktarıcı iletim hattını dinlerken kaynak bilgiyi hedefe gönderir. Bununla birlikte ayrıca aktarıcı da kaynaktan aldığı bilgiyi işleyerek iki bilginin de birleştiği hedefe gönderir.



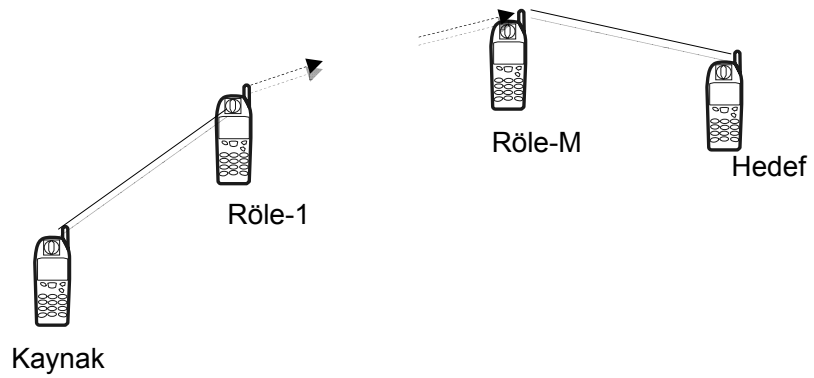
Şekil 5.1 Üç düğümlü temel bir işbirlikli iletişim yapısı

Kablosuz haberleşme yapan düğümler herhangi bir alıcıya gönderecekleri sinyalleri bir anten aracılığıyla tüm ortama yayımlarlar. Bu sinyal alıcı düğüme ulaştığı gibi çıkış gücüne bağlı olan bir yarıçap dâhilindeki tüm diğer düğümler tarafından da duyulabilmektedir. Klasik ağlarda bu düğümler alınan sinyali kendilerine adresli olmadığı için işleme tabi tutmamakta ve atmaktadırlar. İşbirlikli haberleşme, herhangi bir ek yük oluşturmaksızın komşulara kadar ulaşan bu sinyallerin değerlendirilmesi mantığından hareket etmektedir. Uygun konumda ve uygun sayıda seçilecek olan komşular röle olarak adlandırılmakta ve bunlarında aynı sinyalleri alıcıya göndermesi sağlanmaktadır. Alıcı değişik mevkilerden gönderilen ve dolayısıyla değişik sönümlenmeye uğramış olan bu sinyalleri işleyerek daha güçlü bir sinyal elde etmekte verinin doğru olarak alınması ihtimalini artırmaktadır.

Üç düğümlü temel bir yardımlaşmalı haberleşme yapısına ilave olarak Şekil 5.2 ve 5.3'te işbirlikli iletişim yapısının iki farklı modeli gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Çok yollu işbirlikli iletişim yapısı



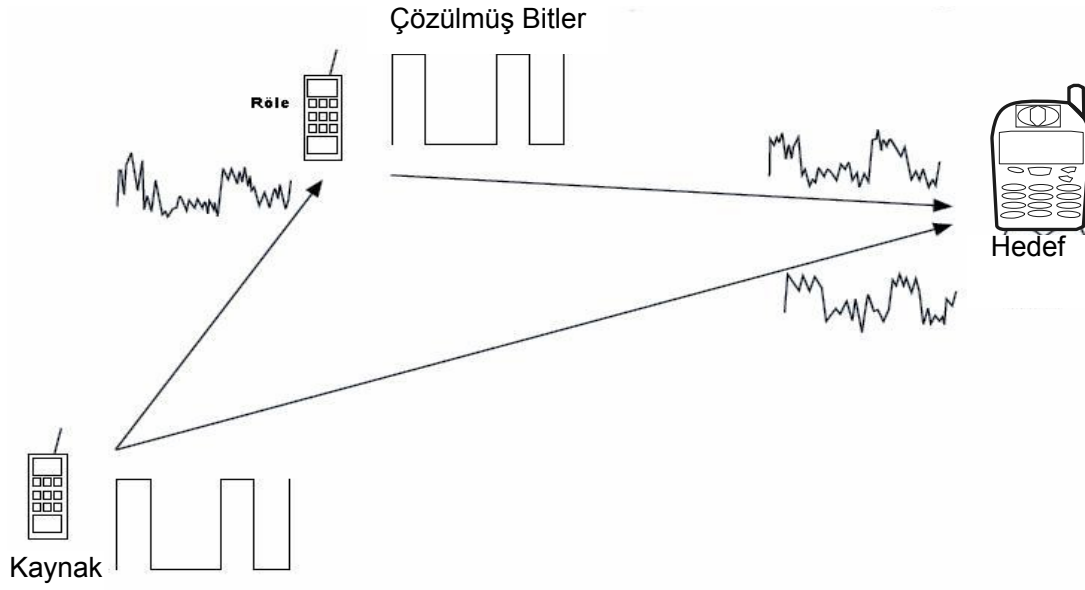
Şekil 5.3 Tek yollu işbirlikli iletişim yapısı

5.4.1 Bilgi iletim yöntemleri

Hedef birimde, kaynak ve röle birimlerinden gelen sinyaller çeşitli birleştirme yöntemleri kullanılarak birleştirilir ve kaynaktan gönderilen sinyalin çoklu kopyalarından yararlanarak sistemde çeşitleme sağlanır. Ayrıca, kullanıcıların işbirliği yaparken kullandıkları çeşitli protokoller bulunmaktadır. Bunlar, 'yükselt ve aktar' ile 'çöz ve aktar' protokolüdür. Yükselt ve aktar protokolünde aktarma, kaynaktan alınan sinyal yükseltildikten sonra yapılır. Çöz ve aktar protokolünde aktarma, kaynaktan alınan sinyal demodüle edilip çözüldükten sonra tekrar kodlanarak yapılır.

5.4.1.1 Çöz ve aktar iletim yöntemi

Çöz-ve aktar çeşitlemesinde röle konumundaki kullanıcı ilk olarak haberleşmeyi yapan kullanıcının bit değerlerini algılama ve ondan sonra tekrar iletim işlemini yapar. Şekil 5.1'de bu yöntemin 3 düğüm arasında gerçekleşmesi gösterilmiştir. İki ortak kullanıcının birbirini desteklediği durum en basit olmakla birlikte işbirlikli çeşitleme çok kullanıcılu biçiminde yapılmaktadır. İşbirliği ile çeşitleme işlemini en kolay bu şekilde açıklayabiliriz. Herbir çiftin kendini desteklediği durum Şekil 5.4'de gösterilmiştir. Şekil 5.4'de görüldüğü gibi röle konumundaki kullanıcı ilk olarak haberleşen kullanıcının işaretini almakta ve kodunu çözmektedir. İkinci adım olarak bu işareti ileri iletmektedir. Yani, kaynaktaki işaret röleye gelmekte ve onun üzerinden hedefe iletilmektedir. Bu şekilde iletilen işaretin yanısıra haberleşen kullanıcının öz-*işareti* de hedefe iletilmektedir. Dolayısıyla, hedefte bir çeşitleme oluşmaktadır. Sonuç olarak denilebilir ki, öz-*işaret* ve aktarılmış-*işaretler* hedefte toplanmaktadır.



Sekil 5.4 Çöz ve aktar yöntemi kullanılan haberleşme yapısı

Çöz-ve-aktar işaretleşmenin bir örneği Sendonaris'in a.g.e [3] çalışmasında bulunabilir. Uygulamada, röle üzerinden iletim daha verimli olduğu takdirde daha fazla miktarda güç aktarılan-ışarete dağıtılacaktır. Dolayısıyla da tersi olduğu takdirde işbirliği işlemi azaltılacak, aktarılan-ışaret gücü düşürülecektir. Bu tarzdaki işbirlikli çeşitleme basitliği ve uyarlanabilirliği yüzünden avantajlıdır. Bununla birlikte dikkat edilmesi gereken bazı hususlar da mevcuttur. İlk olarak, ortak kullanıcının karar verme işlemini gerçekleştirmesi bazen başarısızlıkla sonuçlanabilir ki bu durumda işbirliği, işareti bozucu yönde etkileyebilir. Çok atlamalı linkte çöz-aktar yöntemiyle sinyal gürültü oranının hesaplanabilmesi için öncelikle linkteki Bit Hata Oranı hesaplanır, daha sonra bu değer eşdeğer sinyal gürültü oranına çevrilir. Bir adet röle kullanılan işbirlikli iletişim yapısında Bit Hata Oranı (42) de verilen eşitlikle bulunabilir.

$$BER_{s,r,d} = BER_{s,r} (1 - BER_{r,d}) + (1 - BER_{s,r}) BER_{r,d} \quad (42)$$

BPSK Modülasyonlu, Rayleigh sönümlmeli bir sinyal için:

$$SNR = \frac{1}{2} [Q^{-1}(BER)]^2 \quad (43)$$

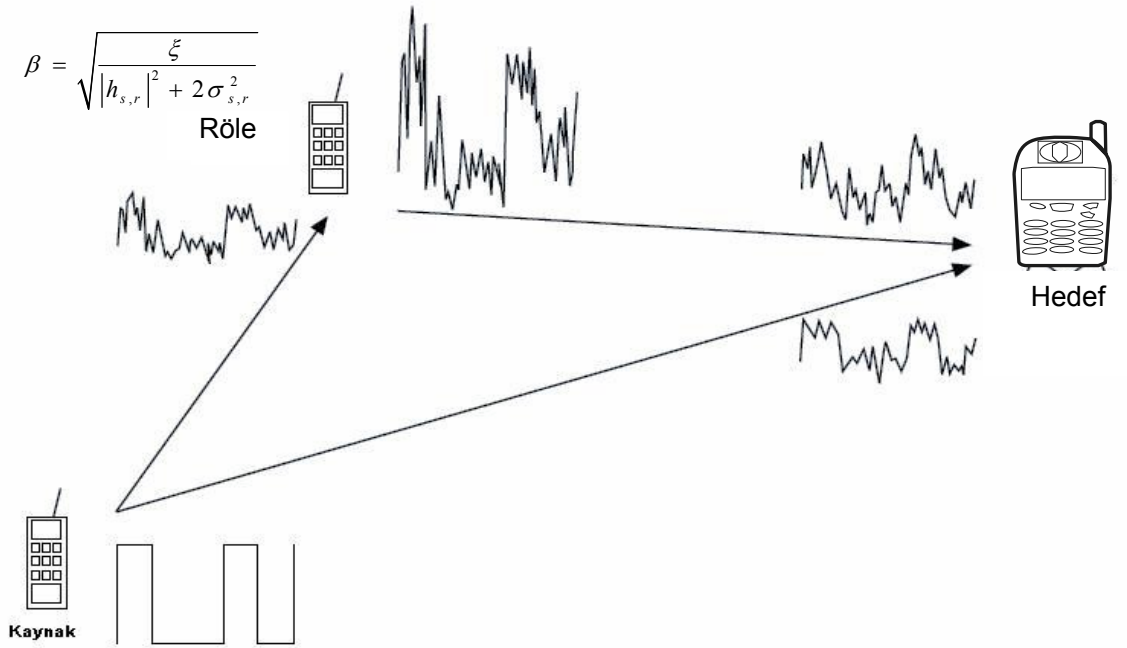
QPSK Modülasyonlu, Rayleigh sönümlmeli bir sinyal için:

$$SNR = [Q^{-1}(BER)]^2 \quad (44)$$

eşitliği ile sinyal gürültü oranları hesaplanabilir.

5.4.1.2. Yükselt ve aktar iletim yöntemi

İşbirlikli çeşitleme türlerinden bir diğeri kuvvetlendir-ve-aktar çeşitlemesidir. Bu yöntemde her bir kullanıcı kendi ortak kullanıcısının gürültülü haldeki işaretini alır ve yükselterek yeniden iletir. Hedef kaynak ve röleden gelen işaretleri birleştirerek iletilen bite karar verir. Gürültü yükseltirse bile baz istasyonu iki bağımsız sönümlenmiş işaret biçimi aldığı için hangisinin daha doğru olduğunu bu yöntemle daha iyi karar verir. Bu yöntem Laneman a.g.e [2] çalışmasında önerildi ve analiz edildi. Laneman yüksek SNR değerlerinde bu tarzdaki çeşitlemenin iki kullanıcılı durumda en iyi sonucu verdiğini gösterdi.



Şekil 5.5 Yükselt ve aktar yöntemi kullanılan haberleşme yapısı

Yükselt-ve-aktar çeşitlemesinde hedefin optimal kod çözme için röle vazifesi gören kullanıcının kanalın hata karakteristiklerine ait katsayıları bildiği farz edilir. Şekil 5.5’de kuvvetlendir-ve aktar çeşitlemesinin iki kullanıcılı durumu gösterilmiştir.

Verici tarafından gönderilen sinyalin gücü (22) ‘den

$$\xi = E[|x_s|^2] \text{ olarak alınırsa,}$$

Aktarıcıya gelen sinyalin gücü;

$$E[|y_r|^2] = E[|h_{s,r}|^2] \cdot E[|x_s|^2] + E[|z_{s,r}|^2] = |h_{s,r}|^2 \xi + 2\sigma_{s,r}^2 \quad (45)$$

olarak bulunur. Burada s:verici, r:röle’yi ifade etmektedir.

Aktarıcı tarafından alıcıya aynı güçte sinyal gönderilebilmesi için aktarıcı tarafından uygulanacak yükseltme katsayısı ise (22) ve (45) kullanılarak

$$\beta = \sqrt{\frac{\xi}{|h_{s,r}|^2 + 2\sigma_{s,r}^2}} \quad (46)$$

bulunabilir.

Röle vazifesi gören kullanıcının aldığı sinyal:

$$y_{r,d} = h_{r,d} \cdot x_r + z_{r,d} = h_{r,d} \cdot \beta (h_{s,r} x_s + z_{s,r}) \quad (47)$$

alınan güç :

$$E[|y_{r,d}|^2] = \beta^2 |h_{s,r}|^2 (|h_{s,r}|^2 \xi + 2\sigma_{s,r}^2) + 2\sigma_{r,d}^2 \quad (48)$$

olarak yazılabilir.

(47) ve (48) düzenlenirse sinyal gürültü oranı:

$$SNR = \frac{\beta^2 |h_{s,r}|^2 |h_{r,d}|^2 \xi}{\beta^2 |h_{s,r}|^2 2\sigma_{s,r}^2 + 2\sigma_{r,d}^2} \quad \text{olarak bulunur} \quad (49)$$

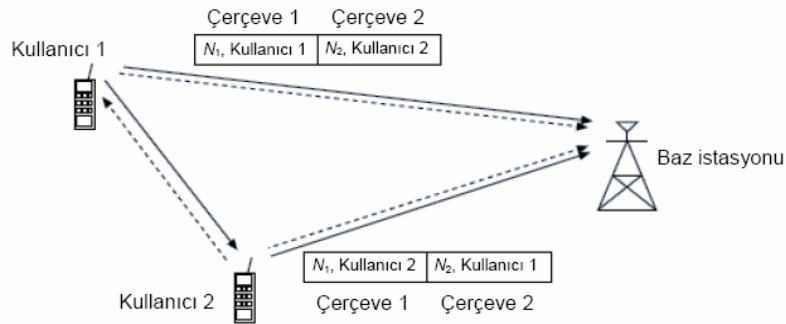
4.4.1.3 Kodlamalı işbirliği yöntemi

Kodlamalı işbirliği çeşitlemesi işbirlikli iletişimi kanal kodlamasıyla birleştiren bir yöntemdir. Bu çeşitleme türü iki bağımsız sönmüleme yolundan değişik kod sözcüklerinin gönderilmesi ilkesine dayanır. Her bir kullanıcı artan bir bit miktarı ile iletim yaparlar. İşbirliği mümkün olmadığı takdirde kullanıcılar otomatik olarak işbiriksiz duruma geçerler.

Kullanıcılar kaynak veri bitlerini bloklara bölerler. Bu blokların boyutları CRC1 kodu şeklinde artırılır. Her bir kullanıcının veri bitleri N_1 ve N_2 sayıda bitten oluşan iki

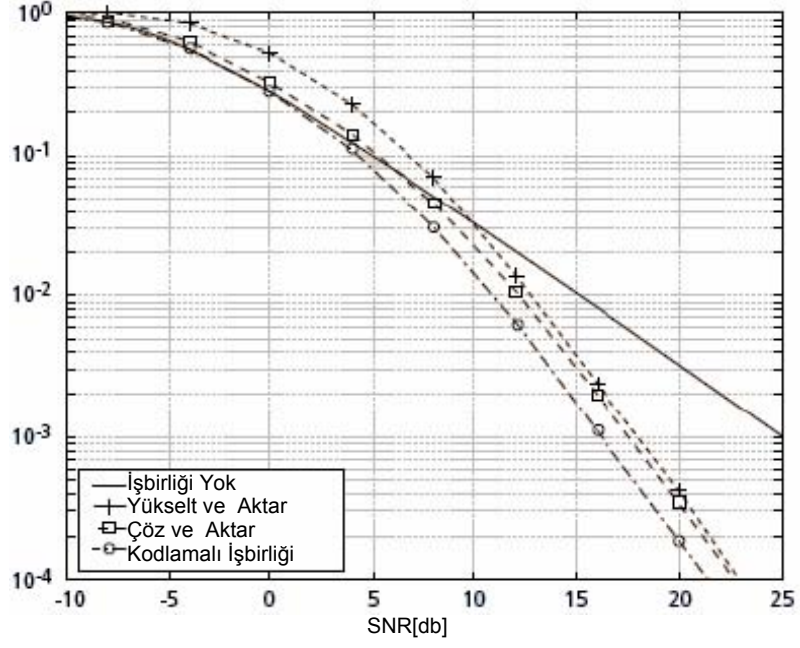
bölüme bölünüp tekrar kodlanırlar. Bu işlemin nasıl yapıldığını anlamak için şu örneği düşünelim:

Kaynak kod sözcüğü toplam $N_1 + N_2$ bitten oluşsun. Bu kod sözcüğünün büyüklüğünü N_1 'e düşürerek ilk kısmı elde ederiz. Geriye N_2 bit kalır. Şüphesiz ki bölmeleme işlemi değişik biçimlerde de yapılabilir. Bu örneğin amacı sadece kodlamalı işbirliği çeşitlemesine ait bir fikir vermektir. Veri iletim süresi N_1 ve N_2 bitlerinin sürelerine bölünebilir. Bu zaman aralıklarına çerçeve (frame) denir. Birinci çerçevede, her bir kullanıcı N_1 bit kod bölümünden oluşan kod sözcüklerini iletirler. Bütün kullanıcılar aynı zamanda ortak kullanıcının kod sözcüklerini çözme işlemini yaparlar. Eğer bu işlem başarılı bir şekilde yapılırsa ikinci çerçevede kullanıcı ortak kullanıcısının N_2 bitten oluşan kod bölümünü iletir. Aksi gerçekleşmiş olursa, kullanıcı N_2 bitten oluşan kendi ikinci bölümünü iletir. Dolayısıyla, her bir kullanıcı her zaman iki çerçeve süresi boyunca toplam $N=N_1+N_2$ bit iletir. N_2/N oranı, işbirliği düzeyini gösterir. Şekil 5.6'da Kodlamalı İşbirliği çeşitlemesi gösterilmektedir.



Şekil 5.6 Kodlamalı işbirliği yöntemi kullanılan haberleşme yapısı

Kodlamalı işbirliği çeşitleme yönteminde değişik kanal kodlama türleri kullanılabilir. Örneğin, bütün kod, blok veya katlamalı kod olabilir veya her ikisinin bir karışımı olabilir. Şekil 5.7'de önceki başlıklarda incelenen işbirlikli çeşitleme yöntemlerine ilişkin performans eğrileri gösterilmiştir.



Şekil 5.7 İşbirlikli çeşitleme yöntemleri karşılaştırmalı başarımları

Üç çeşitleme yöntemini karşılaştırdığımızda görüyoruz ki kuvvetlendir-ve-aktar ile çöz-ve-aktar çeşitleme türleri düşük SNR değerlerinde çok etkili değil. Bunun sebebi bu tarz çeşitlemelerin gereksiz yere kodlama tekrarlamaları yapmasından kaynaklanır. Kodlamalı işbirliği ise işbirliği olmayan durumdan ve diğer işbirlikli çeşitleme yöntemlerinden daha iyi bir performansa sahiptir.

6 BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Hedef birimde, kaynak ve röle birimlerinden gelen sinyaller çeşitli birleştirme yöntemleri kullanılarak birleştirilir ve kaynaktan gönderilen sinyalin çoklu kopyalarından yararlanarak sistemde çeşitleme sağlanır.

6.1 Maksimum Oran Birleştirmesi

Bu yöntemde, farklı kanallardan gelen işaretlerin seviyeleri kestirilir ve demodülatör çıkışında fazları düzeltilmiş işaretler sahip oldukları güçlerle orantılı olarak genlikleri değiştirilir (weighted) ve bu işaretler seziciye gönderilir. Bu birleştirme tekniğine Maksimum Oran Birleştirmesi denir.

$$y_d[n] = \sum_{i=1}^k h_{i,d}^*[n] \cdot y_{i,d}[n] \quad (50)$$

burada d: alıcı, k:röle miktarını ifade etmektedir.

hesaplamaları bir röle kullanılan iletim yapısı için yaparsak;

$$y_d[n] = h_{s,d}^*[n] \cdot y_{s,d}[n] + h_{r,d}^*[n] \cdot y_{r,d}[n] \quad (51)$$

Bu eşitliğe biraz yakından bakacak olursak bu birleştirme tipinin en büyük dezavantajı görülebilir. Bu birleştirme tipi çok atlamalı aktarımda sadece son atlamayı dikkate alır. Bu yüzden hata düzeltme kodlaması uygulandığı durumda kullanılması durumunda en iyi başarıyı verir.

6.2 ESNR Birleştirmesi

Bu birleştirme tekniği, alınan bir sinyalin başka kanaldan alınan diğer bir sinyalin daha kaliteli (SNR seviyesi daha yüksek) olması durumunda göz ardı edilmesi

esasına dayanmaktadır. Bütün kanallardan alınan sinyallerin eşit kaliteye sahip olması durumunda sinyaller eşit oranlı birleştirmeye tabi tutulurlar. Tek aktarıcılı bir yapıda,

$$y_d[n] = \begin{cases} y_{s,d}[n].e^{-\angle h_{s,d}[n]} & \left(\frac{SNR_{s,d}}{SNR_{s,r,d}} > 10\right) \\ y_{s,r,d}[n].e^{-\angle h_{s,r,d}[n]} & \left(\frac{SNR_{s,d}}{SNR_{s,r,d}} < 0.1\right) \\ y_{s,d}[n].e^{-\angle h_{s,d}[n]} + y_{s,r,d}[n].e^{-\angle h_{s,r,d}[n]} & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (52)$$

Bu birleştirme yönteminde alıcının kanal parametrelerini tam olarak bilmesine ihtiyaç yoktur. Kanal kalitesinin yaklaşık olarak bilinmesi sinyallerin birleştirilmesi için yeterlidir.

6.3 SNR Birleştirmesi

Haberleşme yapısındaki mevcut kanalların kanal parametreleri doğru olarak biliniyorsa birleştirme ile daha yüksek bir performansa ulaşılabilir. Bu durumda;

$$y_d[n] = \sum_{i=1}^k SNR_i y_{i,d}[n] \quad (53)$$

$$y_d[n] = SNR_{s,d} \cdot y_{s,d}[n].e^{-\angle h_{s,d}[n]} + SNR_{r,d} \cdot y_{r,d}[n].e^{-\angle h_{r,d}[n]} \quad (54)$$

Burada; $SNR_{s,d}$ doğrudan iletim durumunda sinyal kalitesini,
 $SNR_{s,r,d}$ tüm atlamalı haberleşme yapısının sinyal kalitesini ifade etmektedir.

SNR değerini sezme işlemi, gerek doğrudan iletim gerekse yükselt gönder yöntemi kullanan çok atlamalı haberleşme sisteminde her blok içinde bilinen sembol dizilerini de göndermek ile yapılabilir. Ayrıca bu bilinen sembol dizisi ile faz kaymasının da ne kadar olduğu tespit edilebilir. Çok atlamalı bir haberleşme yapısında eğer Çöz ve aktar yöntemi uygulanmışsa alıcı sadece son atlamanın yapıldığı kanalın kalitesini kestirebilir. Ancak hangi birleştirme yöntemi kullanılırsa kullanılsın kanal kalitesinin belirlenmesi maksadıyla bilgi işaretine ilave olarak sembol dizileri kullanılması gerekmekte ve buda band genişliğinde kayba sebep olmaktadır.

6.4 Sabit Oranlı Birleştirme

Gelen sinyallerin tüm iletim boyunca değişmeyen sabit bir oran ile birleştirilmesi ile iyi bir performansa ulaşılabilir. $d_{s,d}$ ve $d_{r,d}$ parametreleri ile tanımlanan bu oran ortalama kanal kalitesini temsil etmek zorunda olduğundan kanalda sönümlemeden dolayı oluşan geçici etkiler dikkate alınmaz.

Bu birleştirme şu şekilde ifade edilebilir:

$$y_d[n] = \sum d_{i,d} \cdot y_{i,d}[n] \quad (55)$$

Burada; $d_{i,d}$ =gelen $y_{i,d}$ sinyalinin ağırlık katsayısını ifade etmektedir.

Bir röle kullanılan işbirlikli iletişim yapısında bu eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$y_d[n] = d_{s,d} \cdot y_{s,d}[n] + d_{r,d} \cdot y_{r,d}[n] \quad (56)$$

6.5. Eşit Oranlı Birleştirme

Birbirinden bağımsız sönümlemeli kanalların birleştirilmesi için daha karmaşık yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi, farklı kanallardan gelen işaretlerin demodülasyondan sonra oluşan farklı faz kaymalarını kestiren ve düzelten alıcının

gerektiği eşzamanlı demodulasyon ve karar verme (sezme) yaklaşımıdır. Her kanala ilişkin demodülatör çıkışındaki fazları düzeltilmiş işaretler toplanır ve seziciye (karar verici) gönderilir. Bu tür işaret birleştirme tekniğine Eşit Oranlı Birleştirme denilmektedir.

Eğer kanal karakteristik bilgileri tam olarak sezilemiyorsa veya hesaplamalar için harcanacak süre önem arz ediyorsa sinyalleri birleştirmenin en kolay yolu sinyalleri toplamaktır.

$$y_d[n] = \sum_{i=1}^k y_{i,d}[n] \quad (57)$$

Tek bir röle kullanılan işbirlikli iletişim yapısında bu eşitlik:

$$y_d[n] = y_{s,d}[n] + y_{r,d}[n] \quad \text{haline gelir.} \quad (58)$$

Burada ;

$y_{s,d}[n]$ = Kaynak tarafından gönderilmiş ve Hedef tarafından alınan sinyali,

$y_{r,d}[n]$ = Röle tarafından gönderilmiş ve Hedef tarafından alınan sinyali göstermektedir.

6.6 Seçimli Birleştirme

Bu teknikte alıcıya ulaşan her işaretin gücüne bakılır ve işaret gücü fazla olan işaret kullanılmak üzere seçilir. Bu tekniğin daha basit uygulaması demodülasyon ve karar verme (sezme) için kullanılacak işaretin gücü önceden belirlenmiş bir eşik değerinden büyükse seçilmesi şeklindedir. Eğer işaretin gücü eşik değerinden küçükse işaret gücünün en fazla olduğu kanala anahtarlama gerçekleştirilir. Burada belirtilen işaret birleştirme ve karar verme yöntemine Seçimli Birleştirme (selection combining) denir.

7. İŞBİRLİKLİ İLETİŞİM YAPISINDA RÖLE SEÇİMİ

Çok atlamalı haberleşme sistemlerinde röle görevi yapacak kullanıcının seçimi basitlikten karmaşıklığa doğru sırasıyla rasgele, fiziksel uzaklık, yol kaybına bağlı olarak veya kanal güç seviyesine bakılarak çeşitli şekillerde yapılabilir.[5]

Sadece fiziksel uzaklığa bağlı olarak yapılacak bir röle seçimi yol kaybına bağlı olarak yapılan bir röle seçimi kadar performans etkin olmayacaktır.

Bu tez çalışması kapsamında iki atlamalı işbirlikli iletişim yapısında en iyi aktarıcının seçimine yönelik olarak fiziksel uzaklık, yol kaybına bağlı seçim kriterleri ile kanal güç seviyesine bağlı seçim kriterleri incelenmiş ve konumları rasgele belirlenmiş dört röle adayı arasından seçilen röle adayı üzerinden rayleigh sönümlenmeli kanalda çok atlamalı hücreli radyo sisteminin başarımları karşılaştırılmıştır.

7.1 Fiziksel Uzaklığa Bağlı Seçim

N : Röle adayı düğümlerin kümesi,

d_{n1} : Kaynak ile röle adayı düğüm arasındaki fiziksel uzaklık

d_{n2} : Röle adayı düğüm ile hedef arası fiziksel uzaklık olarak kabul edilirse;

Seçilen yol, r_s aşağıdaki seçim kriterleri ile belirlenebilir.

Toplam En Kısa Uzaklık Kriteri ile röle seçimi:

Bu algoritmada röle seçimi; kaynak-röle-hedef arasındaki en kısa toplam yola göre yapılır.

$$r_s = \arg \min_{all n \in N} (d_{n1} + d_{n2}) \quad (59)$$

En Küçük Maksimum Uzaklık Kriteri ile röle seçimi:

Bu algoritmada röle seçimi; kaynak –röle adayı-hedef arasındaki en uzun atlama mesafeleri arasından en kısa olanı seçilerek yapılır.

$$r_s = \arg \min_{a | \ln \in N} (\max(d_{n1}, d_{n2})) \quad (60)$$

En Kısa Son Atlama Uzaklığı Kriteri ile röle seçimi:

Bu algoritmada röle seçimi, röle ile hedef arası uzaklığı en kısa olan esas alınarak yapılmaktadır.

$$r_s = \arg \min_{a | \ln \in N} (d_{n2}) \quad (61)$$

5.2 Yol Kaybına Bağlı Röle Seçimi

Yol kaybına bağlı röle seçiminin sadece fiziksel uzaklığa bağlı olarak röle seçimine oranla üstün olmasına karşın, yol kaybına bağlı röle seçimi daha karmaşık olduğundan daha fazla işlem süresi ve iş yükü getirmektedir.

N : Röle adayı düğümlerin kümesi,

$P_{L_{n1}}$: Kaynak ile röle adayı düğüm arasındaki yol kaybı

$P_{L_{n2}}$: Röle adayı düğüm ile hedef arası yol kaybı olarak belirlenirse;

$n \in N$ olması şartıyla, seçilen yol, r_s aşağıdaki seçim kriterleri ile belirlenebilir.

Toplam En Az Yol Kaybı Kriteri ile röle seçimi:

Bu algoritmada röle seçimi, kaynak-röle adayı-hedef arasındaki yol kayıpları toplamı en az olan yola bağlı olarak seçilir.

$$r_s = \arg \min_{al \in N} (PL_{n1} + PL_{n2}) \quad (62)$$

En Az Maksimum Yol Kaybı Kriteri ile röle seçimi:

Bu algoritmada röle seçimi; kaynak –röle adayı-hedef arasındaki en büyük yol kaybı arasından en küçük olanı seçilerek yapılır.

$$r_s = \arg \min_{al \in N} (\max(PL_{n1}, PL_{n2})) \quad (63)$$

En Az Son Atlama Yol Kaybı Kriteri ile röle seçimi:

Bu algoritmada röle seçimi; röle-hedef arasında (son atlamada) yol kaybı en az olana göre seçilir.

$$r_s = \arg \min_{al \in N} (PL_{n2}) \quad (64)$$

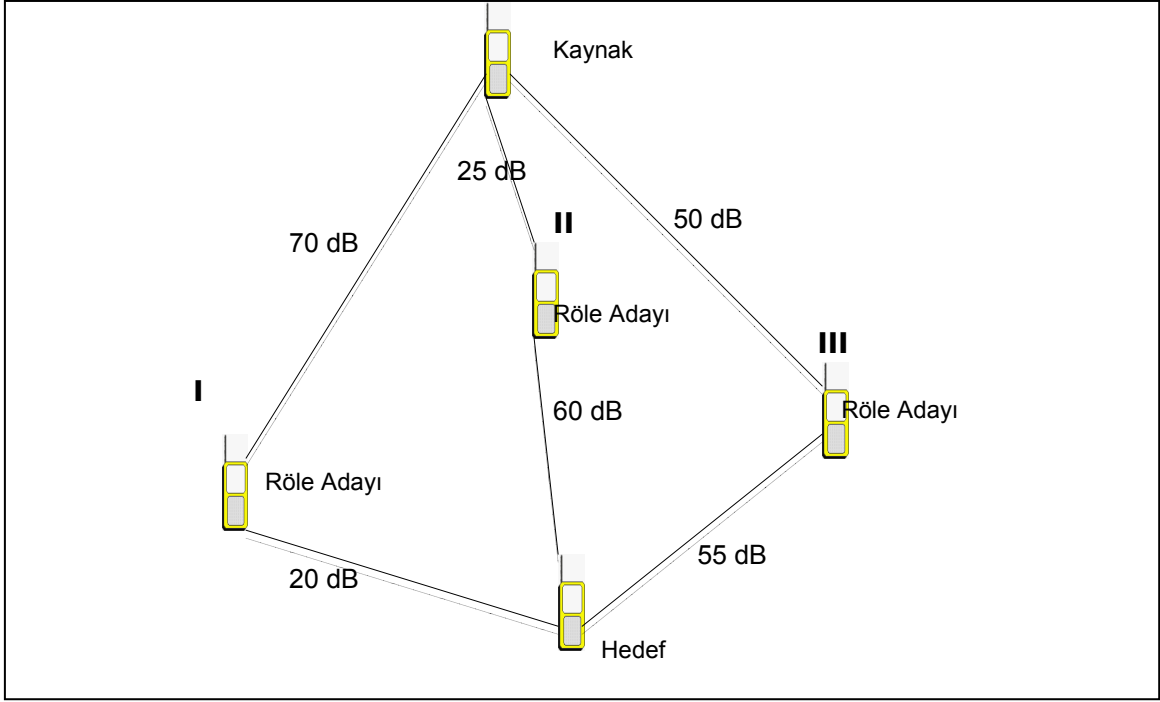
Şekil 7.1 Kaynak, Hedef ve üç adet röle adayını göstermektedir. Kaynak-Röle adayı-Hedef arasındaki yol kayıpları ilgili yolun yanında belirtilmiştir.

Aday yollar I , II ve III olarak işaretlenmiştir.

I numaralı yol ; En Az Son Atlama Kaybı kriterine göre,

II numaralı yol; En Az Toplam Yol Kaybı kriterine göre,

III numaralı yol; En Küçük Maksimum Yol Kaybı kriterine göre seilen röleyi göstermektedir.



Şekil 7.1 Röle seçim kriterleri örnek yol seçimi

7.3 Kanal Güç Seviyesine Bağlı Röle Seçimi

Bu seçim kriterinde hedef ile röle adayları arasındaki sinyal gücü ve kaynak ile röle adayları arasındaki sinyal gücüne bakılır. Bu değerler belirlenmiş olan bir eşik güç seviyesi karşılaştırılır ve eşik değerinin üzerinde güç seviyesine sahip röle adayları içerisinde en yüksek güç seviyesine sahip olan röle adayları röle olarak seçilir.

$P_{s,r}$: Röle adayları tarafından alınan güç

$P_{d,r}$: Röle adayları üzerinden aktarım yapılması durumunda alıcı tarafından alınan güç

$P_{eşik}$: Kaliteli bir bağlantı sağlanabilmesi için gerekli olan minimum güç seviyesi

Seçilen yol, r_s aşağıdaki seçim kriteri ile belirlenebilir.

$$r_s = \operatorname{argmax} \left[(P_{s,r}, P_{d,r}) \geq P_{eşik} \right] \quad (63)$$

8. BENZETİM SONUÇLARI

Bu bölümde, bir önceki bölümde çok atlamalı iletişim sistemlerine yönelik olarak açıklanan birleştirme yöntemleri ve bilgi iletim yöntemleri hangi kombinasyonların en iyi sonucu verdiğini belirlemek üzere birbirleri ile karşılaştırılacak, çok atlamalı hücrel radyo sistemlerinde atlama sayısının artmasının (üç ve dört röle kullanılarak) başarımlarına olan etkileri incelenecek, röle görevi yapacak kullanıcının seçiminin hangi kriterlere göre yapılabileceği ve bu kriterlere göre seçilen rölenin başarımları incelenecektir.

Birinci kısımda, birbirlerine eşit uzaklıkta, eşit yol kaybı ve sinyal gürültü oranına sahip üç adet düğüm noktalı (Kaynak, Röle, Hedef) çok atlamalı hücrel radyo yapısı baz alınmıştır. Bu iletişim yapısında avantaj ve dezavantajlarının görülmesi amacıyla değişik birleştirme ve iletim yöntemleri birbirleri ile karşılaştırılacaktır.

İkinci kısımda, röle vazifesini gören kullanıcının hareket ettirilmesinin (rölenin alıcıya yakın veya vericiye yakın olması durumu) başarımlarına olan etkileri incelenecektir.

Üçüncü kısımda oluşturulan altı düğümlü (Kaynak, 4 adet röle aday kullanıcısı, Hedef) çok atlamalı hücrel radyo sisteminin en iyi işbirlikli iletişim başarımları için röle vazifesi yapacak kullanıcının seçimi yapılarak başarımların karşılaştırmaları yapılacaktır.

Dördüncü kısımda çok yönlü çok atlamalı hücrel radyo sistemi yapısı baz alınarak MQAM modülasyonlu sinyalin Rayleigh/Rician sönümlenmeli kanaldaki başarımları değişik röle sayısı ve değişik modülasyon derinliği (4QAM, 16 QAM, 64QAM) alınarak karşılaştırılacaktır.

8.1 Yükselt ve Aktar Yöntemi Benzetim Sonuçları

Değişik birleştirme teknikleri birbirleri ile karşılaştırıldı. Sonuçlar incelendiğinde ilk tespit edilen durum, hangi birleştirme tekniği kullanılırsa kullanılsın yükselt ve aktar yöntemi uygulanan çeşitleme ile elde edilen başarımların doğrudan iletim (Kaynak→Hedef) yapıldığında elde edilen başarımlardan yüksek olduğudur.

Eşit oranlı birleştirme ile sabit oranlı birleştirme tekniklerinin karşılaştırmalı başarımları Şekil 8.1'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde eşit birleştirme yönteminin performansının sabit oranlı birleştirmeye göre daha kötü olduğu görülmektedir. Bunun sebebini ise eşit oranlı birleştirmenin herhangi bir kanal parametresine ihtiyaç olmadan sadece sinyalin faz bilgisi ile birleştirme işlemini gerçekleştirdiği, sabit oranlı birleştirme yönteminde en uygun oranın bulunabilmesi için kanal parametrelerinin de biliniyor olmasıdır.

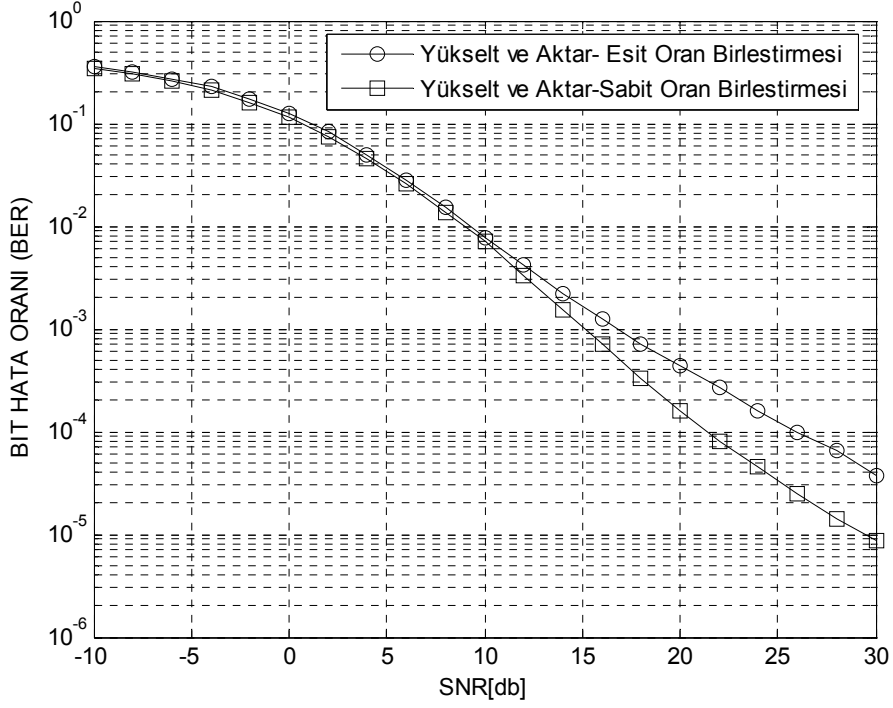
Çok atlamalı hücreli radyo sisteminde, Sinyal Gürültü Oranı birleştirmesi ile Genişletilmiş Sinyal Gürültü Oranı birleştirmesinin hesaplanan başarımlarının Şekil 8.2'de gösterildiği gibi hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Ancak Şekil 8.3 ve Şekil 8.4 'de bu iki tür birleştirme başarımının da hem eşit oranlı birleştirme hemde sabit oranlı birleştirmeye göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu sonuç aslında sürpriz sayılmaz çünkü Sinyal Gürültü Oranı birleştirmesi ile Genişletilmiş Sinyal Gürültü Oranı birleştirmesi daha detaylı kanal parametreleri kullanmaktadır.

Çok atlamalı hücreli radyo sistemleri için beklenmedik bir sonuç, SNR birleştirme yönteminin kabaca ESNRC ile aynı performansı göstermesidir. ESNRC birleştirmesinde her bir sinyal bloğu için kanal parametrelerinin kabaca sezilmesi yeterli iken, SNR birleştirmesinde her bir sinyal bloğu için kesin kanal parametrelerine ihtiyaç duyulmasıdır. Bu nedenle SNR birleştirmesinin ESNRC birleştirmesine göre daha üstün başarımların göstermesi beklenmekteydi. Bunun olmamasının nedeninin yükselt ve aktar yönteminde gönderilen sinyalin

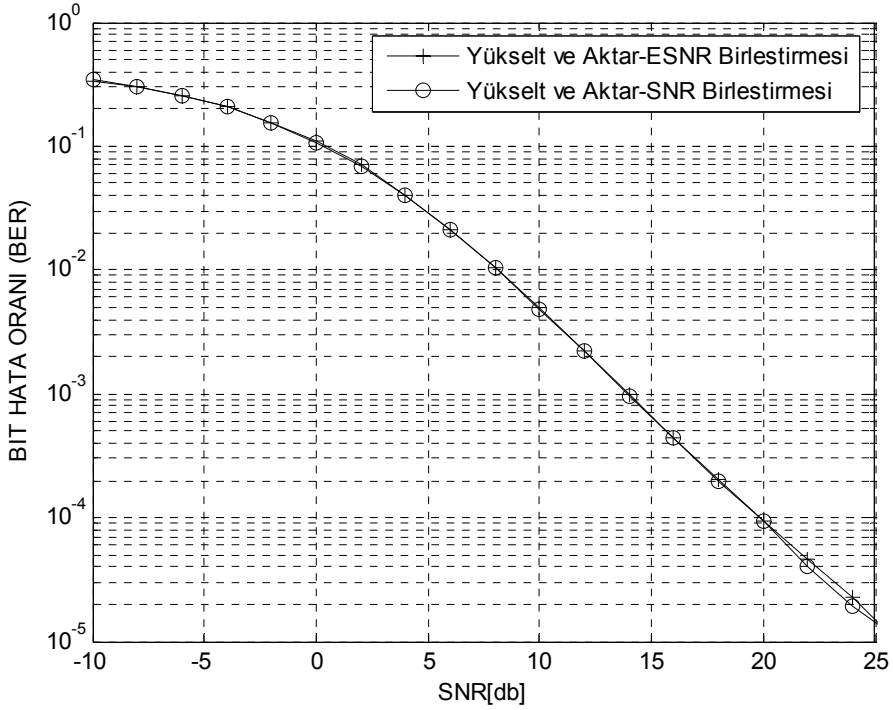
kanal parametrelerindeki küçük değişimlerin düzeltilmesine yarayan bilgi içermesi olduğu değerlendirilmiştir.

Yükselt ve Aktar yöntemi kullanıldığında kesin kanal parametrelerini bulmak için yüksek hesaplama gücü ve ilave band genişliği harcamanın bir anlamı yoktur. Çünkü hiç bir kanal parametresi kullanmayan Eşit Oranlı Birleştirme uygulandığında bile çeşitlemenin avantajları hesaplanan başarımlardan görülebilmektedir.

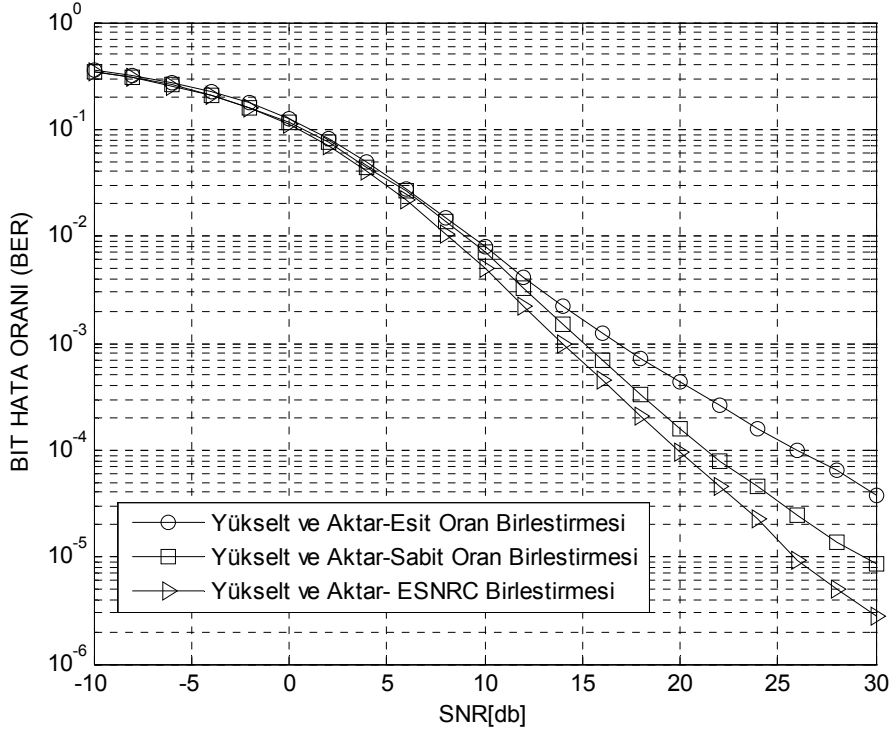
Dört birleştirme tekniğinin birbirleri ile karşılaştırmalı olarak hesaplanan başarımları Şekil 8.4 de gösterilmiştir. Bununla birlikte Şekil 8.5’de birleştirme tekniklerinin başarımları röle kullanılmayan doğrudan iletim durumu için hesaplanan başarımlar ile karşılaştırılmıştır.



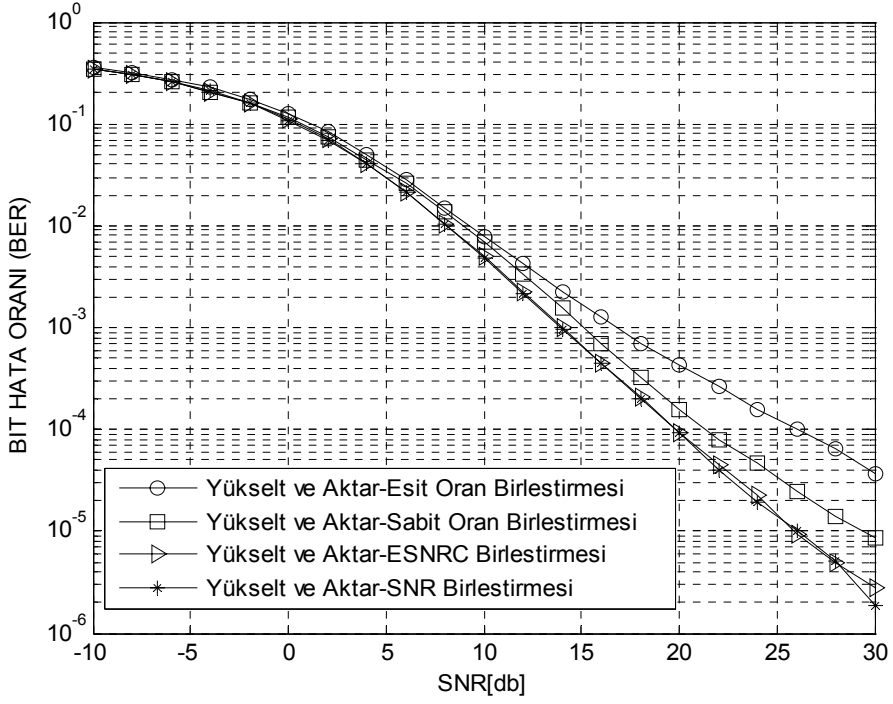
Şekil 8.1 Eşit oranlı birleştirme ile sabit oranlı birleştirme tekniklerinin karşılaştırmalı başarımları



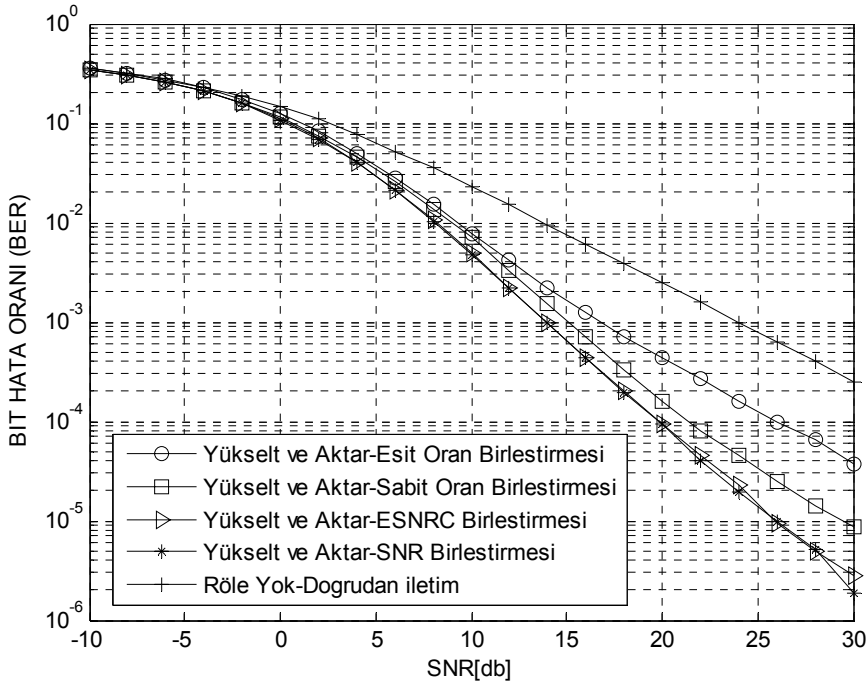
Şekil.8.2 ESNR birleştirme ile SNR birleştirme tekniklerinin karşılaştırmalı başarımları



Şekil 8.3 Eşit Oran, Sabit oran ve ESNR birleştirme tekniklerinin karşılaştırmalı başarımları



Şekil 8.4 Sabit oran, Eşit Oran, ESNR ve SNR birleştirme tekniklerinin karşılaştırmalı başarımları



Şekil 8.5 Yükselt ve Aktar İletim Yönteminde, Sabit oran, Eşit Oran, ESNR ve SNR birleştirme tekniklerinin rölenin olmadığı doğrudan iletim ile karşılaştırmalı başarımları

Yükselt ve aktar iletim yöntemi ile kullanılan birleştirme teknikleri ile elde edilen başarımlar incelendiğinde en iyi başarımları veren ESNR ve SNR birleştirme tekniklerinde 10^{-3} lük bit hata oranına ulaşabilmek için 12 db lik sinyal gürültü oranı 10^{-4} lük bit hata oranı için 17 dblik sinyal gürültü oranı yeterli olmaktadır. Çizelge 8.1’de birleştirme teknikleri ile yükselt ve aktar iletim yönteminde elde edilen sinyal gürültü oranı seviyeleri verilmiştir.

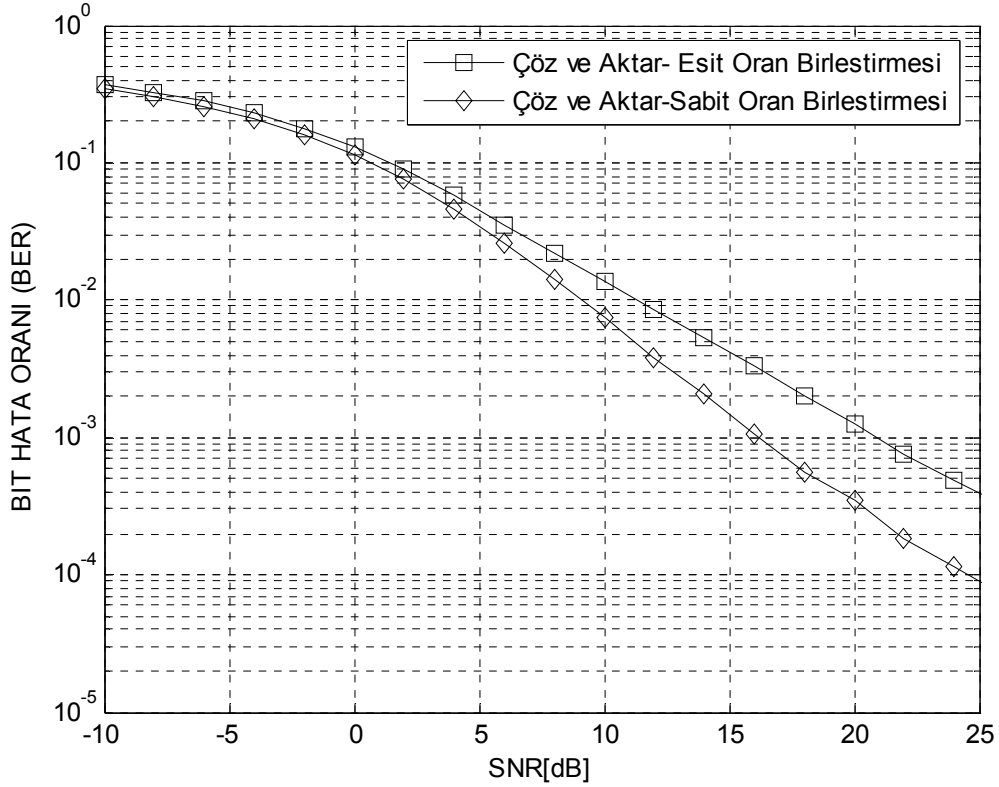
	Bit Hata Oranı	Eşit Oran Birleştirme (SNR)	Sabit Oran Birleştirme (SNR)	ESNR Birleştirme (SNR)	SNR Birleştirme (SNR)
Yükselt ve Aktar İletim Yöntemi	10^{-3}	~ 14 dB	~ 13 dB	~ 12 dB	~ 12 dB
	10^{-4}	~23 dB	~19 dB	~ 17 dB	~ 17 dB

Çizelge 8.1 Birleştirme teknikleri ile yükselt ve aktar iletim yönteminde elde edilen sinyal gürültü oranları

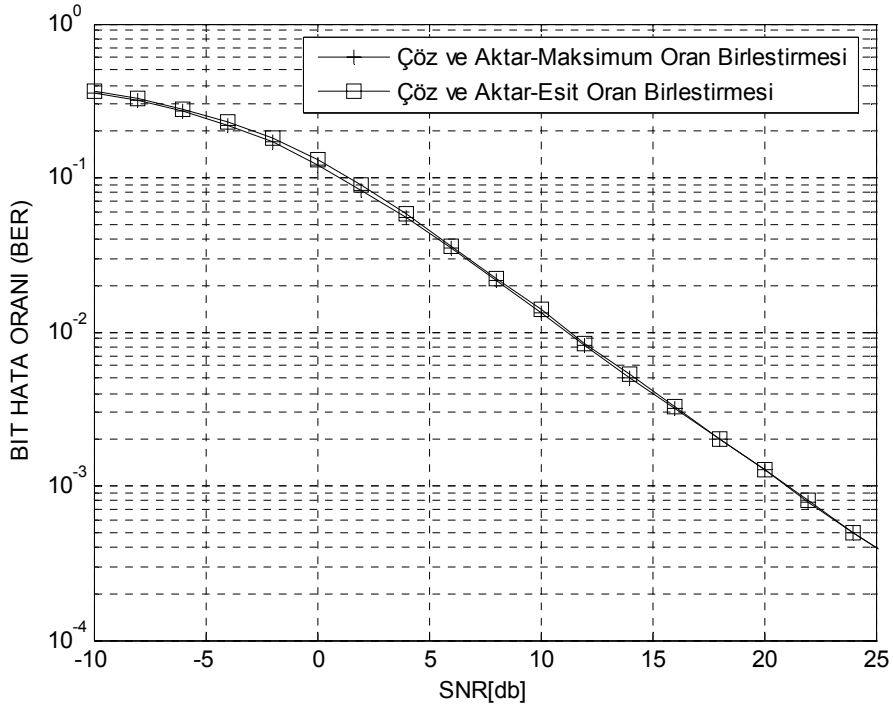
8.2 Çöz ve Aktar Yöntemi Benzetim Sonuçları

Çok atlamalı hücreli radyo sistemlerinde değişik birleştirme yöntemleri ile yapılan karşılaştırma ve hesaplanan başarımların sonuçları Şekil.6.6.'da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde eşit oranlı birleştirme yönteminin küçük sinyal gürütü oranlarında oldukça kötü performans gösterdiği görülmektedir. Öyleki bu birleştirme yöntemi küçük SNR değerlerinde doğrudan iletim durumunda elde edilen performansına altına düşmekte ve çeşitleme uygulamasının yapılmasını anlamsız kılmaktadır.

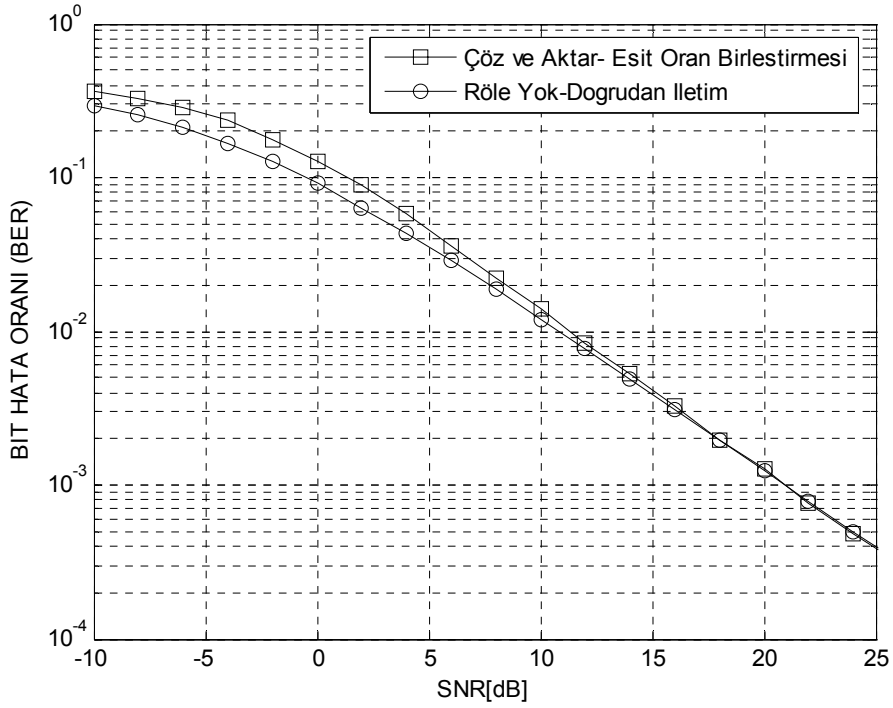
Sabit oranlı birleştirme doğrudan iletim durumundaki performansa nazaran daha iyi bir başarımlar sağlamaktadır. Öyleki 10^{-2} lik bir Bit Hata Oranının elde edilmesi için gerekli olan SNR değeri doğrudan iletime göre 2.5 db daha düşüktür.



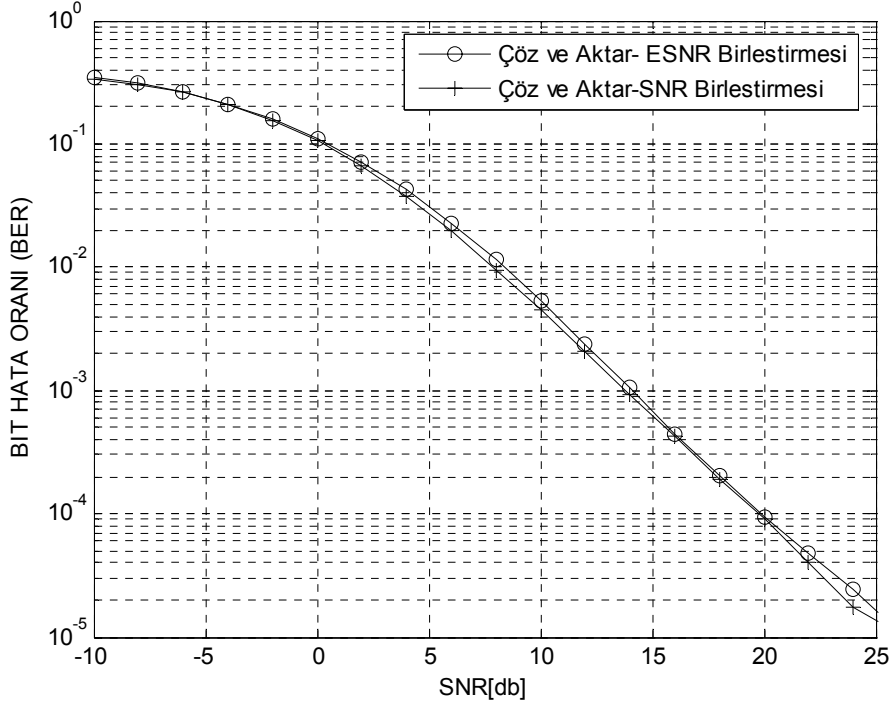
Şekil 8.6 Çöz ve Aktar İletim Yönteminde, Sabit Oran ve Eşit Oran birleştirme tekniklerinin karşılaştırmalı başarımları



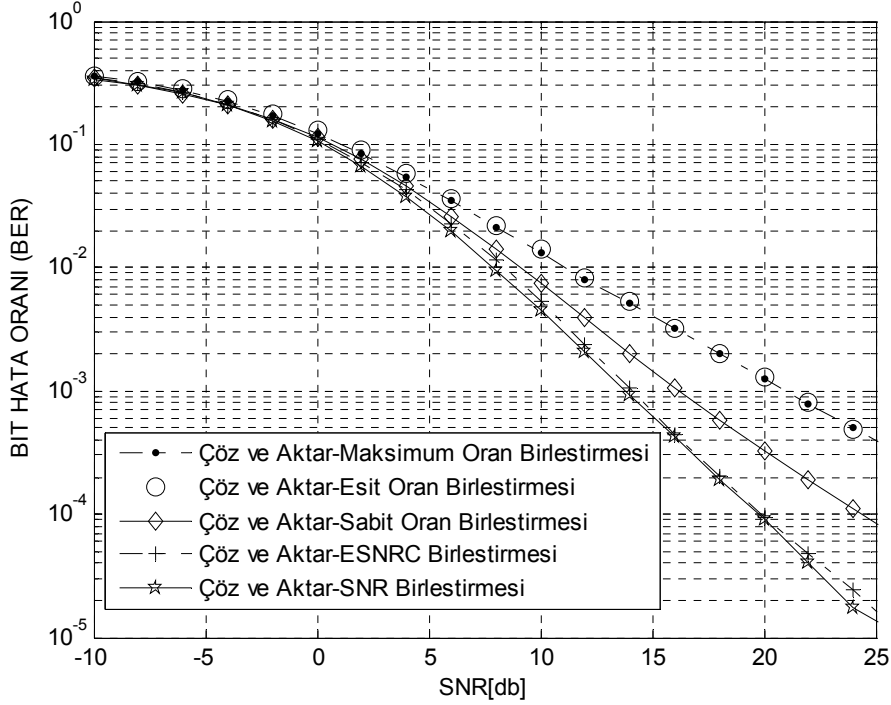
Şekil 8.7 Çöz ve aktar iletim Yönteminde, Maksimum Oran ve Eşit Oran birleştirme tekniklerinin karşılaştırmalı başarımları



Şekil 8.8 Eşit Oran birleştirme uygulanmış Çöz ve aktar iletim yöntemi ile doğrudan iletimin karşılaştırmalı başarımları



Şekil 8.9 Çöz ve aktar İletim Yönteminde, ESNR ve SNR birleştirme tekniklerinin karşılaştırmalı başarımları



Şekil 8.10 Çöz ve aktar İletim Yönteminde, birleştirme tekniklerinin karşılaştırmalı başarımları

Çok atlamalı hücresele radyo sistemlerinde En iyi performansı SNR birleştirmesi vermektedir. Ancak hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler dikkatlice incelendiğinde ESNR birleştirmesinin SNR birleştirmesi ile hemen hemen aynı performansa sahip olduğu, SNR birleştirmesinin yaklaşık yarım desibellik üstünlüğünün bulunduğu, ancak SNR birleştirmesi için kanal parametrelerinin kesin olarak hesaplanması gerektiği ve bu nedenle uzun hesaplama süresi, gücü gerektirdiği düşünülürse kazanılan yarım desibelin çok büyük bir avantaj olmadığı değerlendirilebilir.

Çöz ve aktar iletim yöntemi ile kullanılan birleştirme teknikleri ile elde edilen başarımların sonuçları incelendiğinde en iyi başarımları veren ESNR birleştirme tekniğinde 10^{-3} lük bit hata oranına ulaşabilmek için 14 db lik sinyal gürültü oranı 10^{-4} lük bit hata oranı için 20 dblik sinyal gürültü oranı yeterli olmaktadır. Çizelge 8.2’de birleştirme teknikleri ile yükselt ve aktar iletim yönteminde elde edilen sinyal gürültü oranı seviyeleri verilmiştir.

	Bit Hata Oranı	Eşit Oran Birleştirme (SNR)	Sabit Oran Birleştirme (SNR)	Maksimum Oran Birleştirme (SNR)	ESNR Birleştirme (SNR)
Çöz ve Aktar İletim Yöntemi	10^{-3}	~ 18 dB	~ 15 dB	~ 18 dB	~ 14 dB
	10^{-4}	> 25 dB	~21 dB	> 25 dB	~ 20 dB

Çizelge 8.2 Birleştirme teknikleri ile çöz ve aktar iletim yönteminde elde edilen sinyal gürültü oranları

8.3 Yükselt ve Aktar ile Çöz ve Aktar Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Şekil 8.11’de Yükselt ve Aktar ile Çöz ve Aktar iletim yöntemlerinin çok atlamalı hücreli radyo sistemlerinde QPSK modüli sinyal ve rayleigh sönümlenmeli ve gölgeleme etkisinin bulunduğu iletim kanalındaki hesaplanan başarımları görülmektedir.

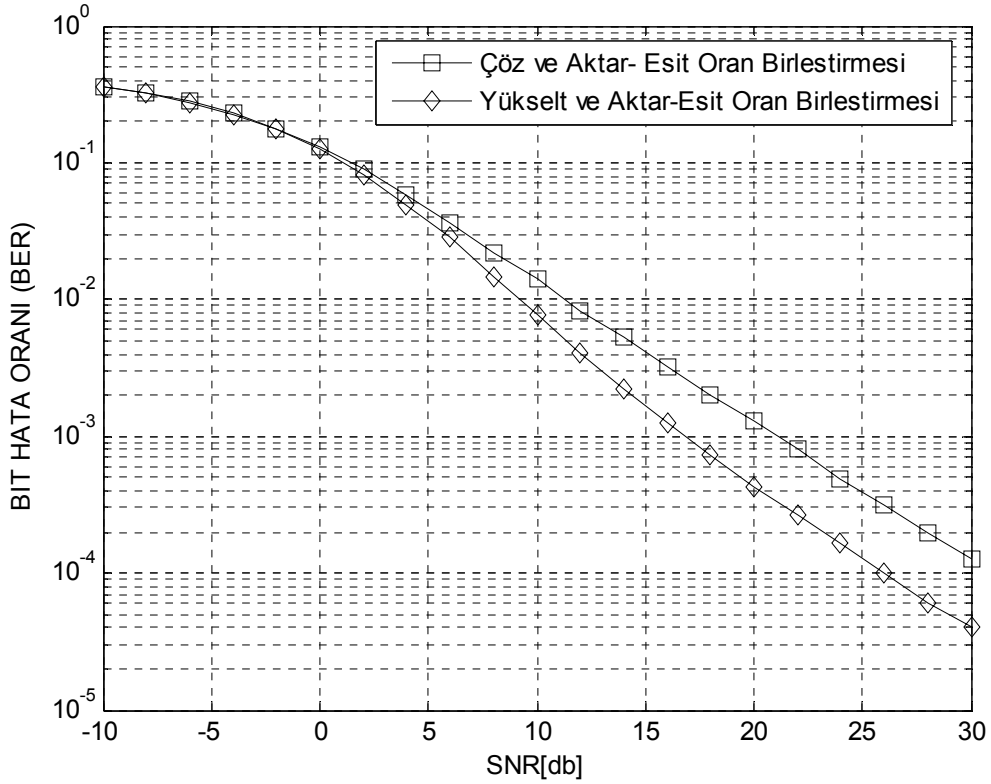
Hesaplamalar sonucunda elde edilen başarımların grafiklerinin incelenmesi neticesinde hangi birleştirme yöntemi kullanılırsa kullanılsın yükselt ve aktar yönteminin daima çöz ve aktar yöntemine göre daha üstün bir performans göstermesi gibi şaşırtıcı bir sonuç ile karşılaşmıştır.

Eşit oranlı birleştirme kullanıldığında iki yöntemin başarımları arasında büyük farklılık ortaya çıkmaktadır. Bunun başlıca sebebinin röle vazifesi gören kullanıcıda yanlış olarak sezilen sembolün doğrudan iletim yolu ile gelen sembol ile aynı güçte olması nedeniyle hedefte iki sinyal birleştirilirken düzeltilmesinin oldukça zor olmasından kaynaklanmaktadır. Röle tarafından yanlış sezilip hedefe gönderilen sembolün birleştirilirken yine yanlış sezilme olasılığı yüzde elli dir.

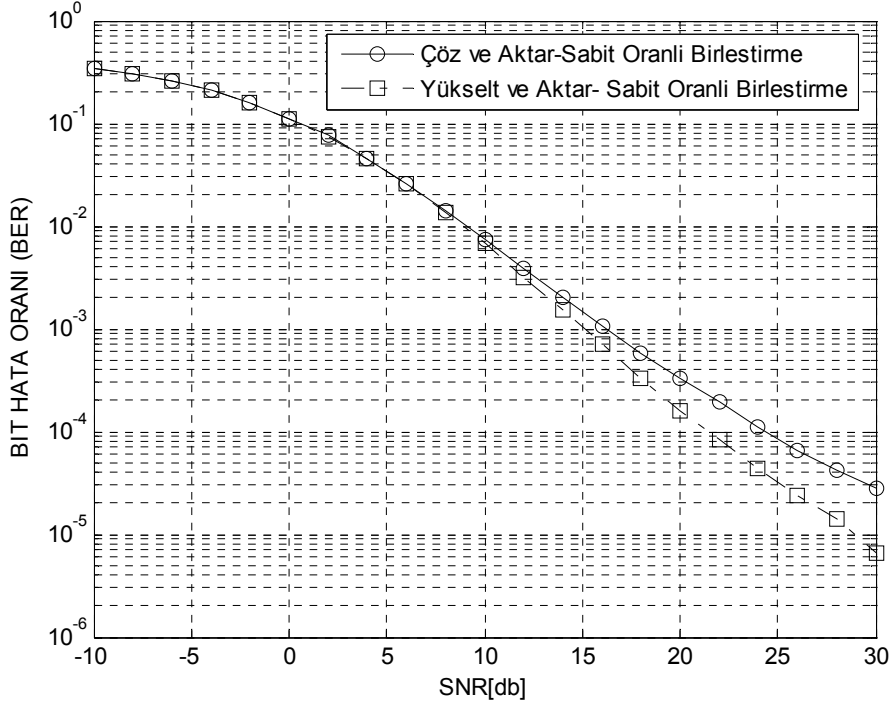
Yükselt ve aktar yönteminde röle vazifesi gören kullanıcıda sembol sezimi yapılmayıp doğrudan yükseltılarak hedefe gönderilmektedir. Bu nedenle röle üzerinden gelen sembol doğrudan iletimle hedefe gelen doğru sembole oranla daha az güce sahip olduğundan birleştirme işlemi sonucunda yanlış sembolün doğrudan iletim yolu ile gelen sembol vasıtasıyla düzeltilmesi olasılığı daha fazladır.

Sonuçlar incelendiğinde sabit oranlı birleştirme yönteminin oldukça iyi performans verdiği görülmektedir. Doğrudan iletim kanalı atlamalı iletim kanalına oranla daha iyi kaliteye sahiptir. Bu da atlamalı iletim kanalının hata alınganlığının daha fazla olduğu sonucunu doğurur.

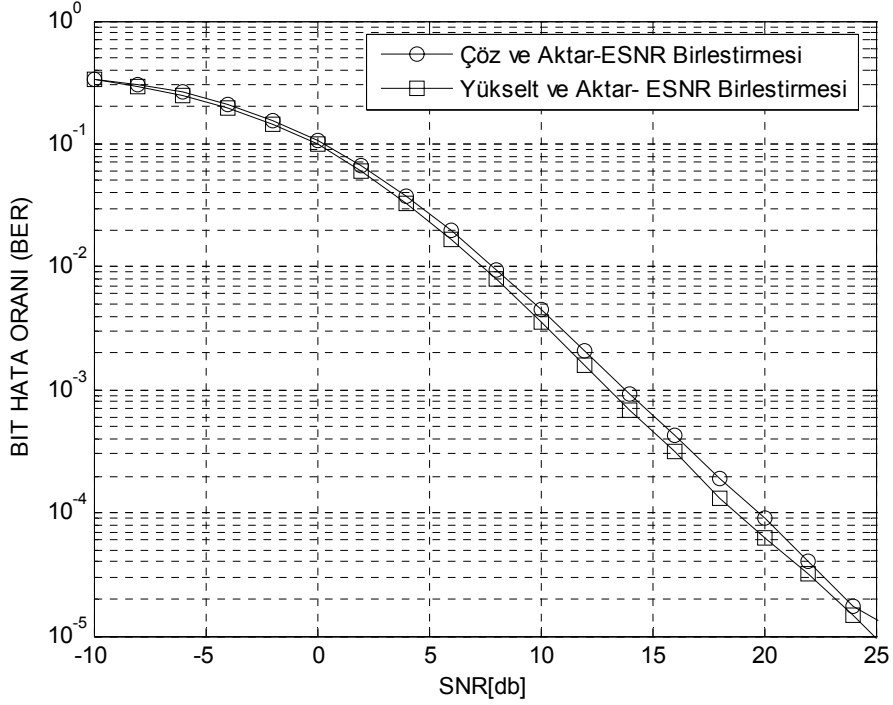
ESNR birleştirmesi her iki iletim yönteminde de hemen hemen aynı performansı göstermektedir. Bu birleştirme yönteminin en büyük artışı röle olarak görev yapan kullanıcıda yanlış olarak sezilen sembol miktarını azaltmasıdır. Bir çok durumda sembol eğer röle tarafından yanlış olarak sezildiyse, atlamalı iletim hattının kalitesi doğrudan iletim hattının kalitesinden çok düşük olmakta ve bu durumda röle kullanılarak atlama yapmayı anlamsız hale getirmektedir. Bu durumun oluşmaması maksadıyla bilgiye hata düzeltme kodu eklenmesi ve alıcıda bu kod yardımıyla hata düzeltmesi yapılmasıdır. Bu tez çalışması kapsamında hata düzeltme kodlaması uygulanmamıştır.



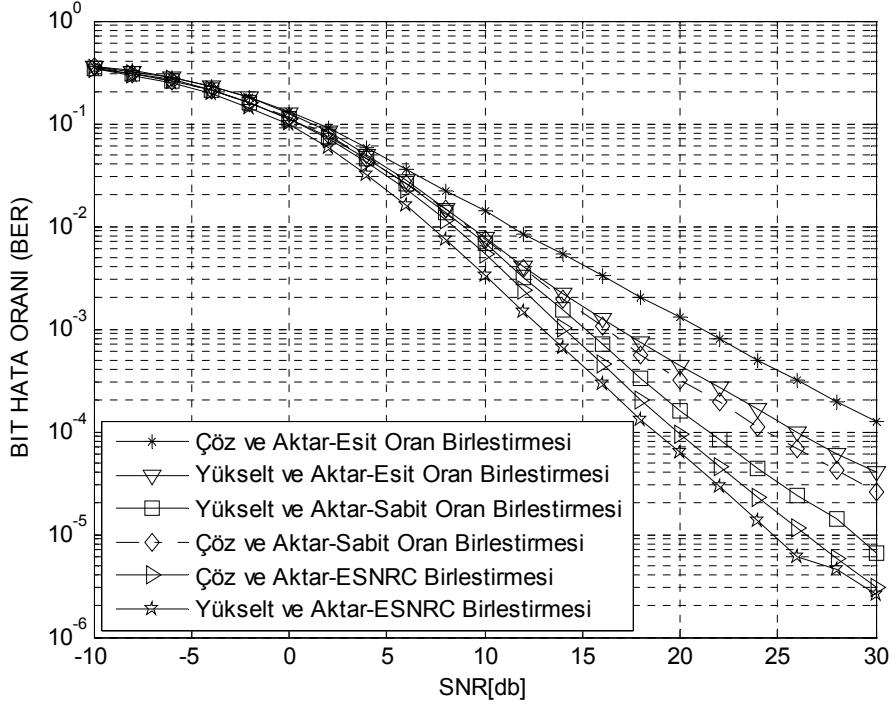
şekil 8.11 Eşit Oran Birleştirmenin z ve aktar ile yükselt ve aktar iletim yöntemlerindeki karşılaştırmalı başarımı



Şekil 8.12 Sabit Oranlı Birleştirmenin çöz ve aktar ile yükselt ve aktar iletim yöntemlerindeki karşılaştırmalı başarımı



Şekil 8.13 ESNR Birleştirmenin çöz ve aktar ile yükselt ve aktar iletim yöntemlerindeki karşılaştırmalı başarımı

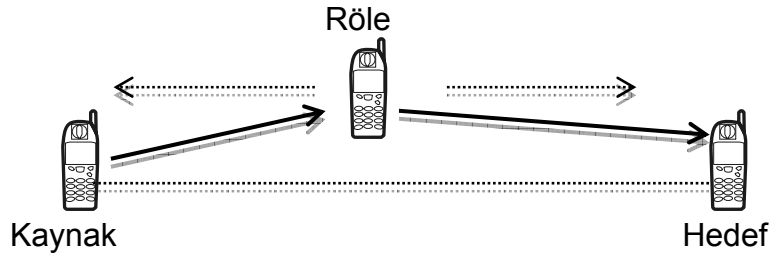


Şekil 8.14 Çöz ve aktar ile yükselt ve aktar iletim yöntemleri için birleştirme tekniklerinin karşılaştırmalı başarımları

8.4 Hareketli Röle Benzetim Sonuçları

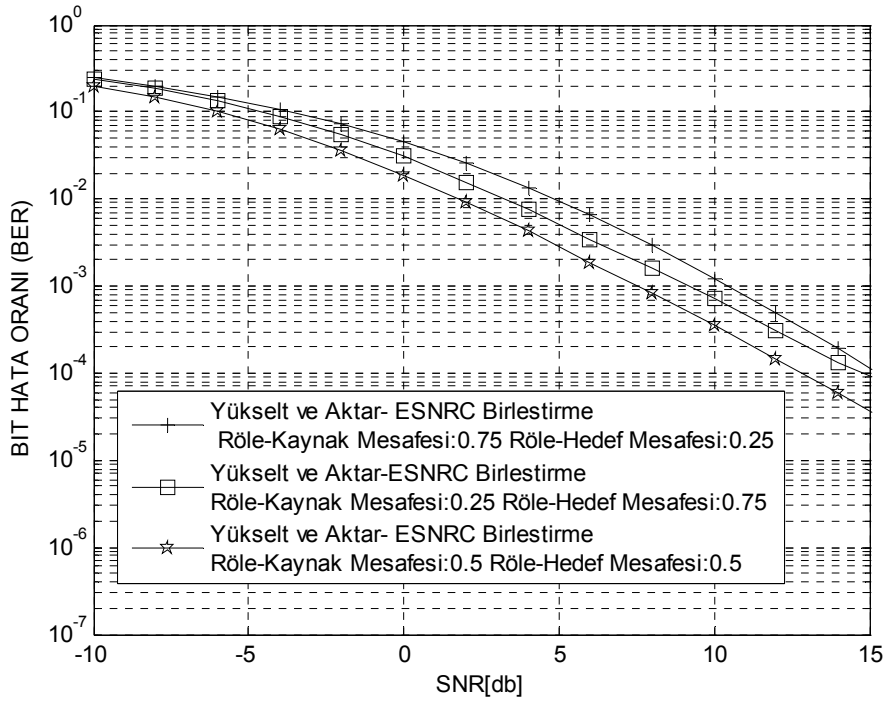
Şu ana kadar incelemesi yapılan iletişim yapısında kaynak, röle, hedef birbirlerine eşit mesafe uzaklıkta kabul edilmiş ve bu nedenle üç iletim kanalının da (Kaynak→Hedef, Kaynak→Röle, Röle→Hedef) ortalama olarak aynı sinyal gürültü oranına sahip olduğu düşünülmüştür.

Bu kısımda, röle görevi yapan kullanıcı hareket ettirildiğinde çok atlamalı hücrel radyo sisteminin başarımı hesaplanmıştır. Hesaplamalarda yükselt ve aktar iletim yöntemi, sinyallerin birleştirilmesinde ise ESNR birleştirme yöntemi kullanılmıştır. Röle nin hareketinin benzetimi için Şekil 6.15’de gösterildiği gibi Röle-Kaynak, Röle-Hedef arası mesafeler değiştirilmiş Kaynak-Hedef arası mesafe ise sabit tutulmuştur.

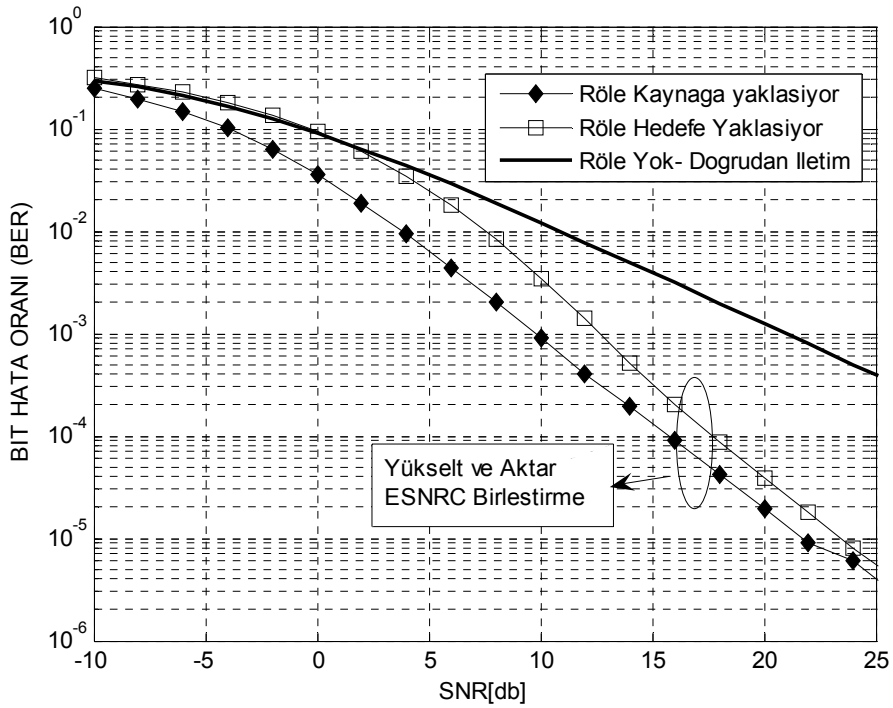


Şekil 8.15 Kaynak-hedef arasında hareket eden röle

Eğer röle kaynağa çok yaklaştırılırsa iletişim yapısı iki kaynak bir hedef bulunan iletişim yapısına dönüşebilir. Röle hareket ettirildiğindeki iletişim yapısının hesaplanan başarımları Şekil 6.16 ve Şekil 6.17’de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde rölenin kaynak ve hedef uzaklığının tam ortasında olması durumunda en iyi ve optimum performansın elde edildiği açıkça görülmektedir. Rölenin optimum konfigürasyon mesafesinde başarımların iki kaynak bir alıcı olan yapıya oranla üstün olduğu görülmektedir. Ayrıca en iyi başarıma rölenin kaynak ve hedef arasında tam ortada iken ulaşıldığı da görülmektedir.

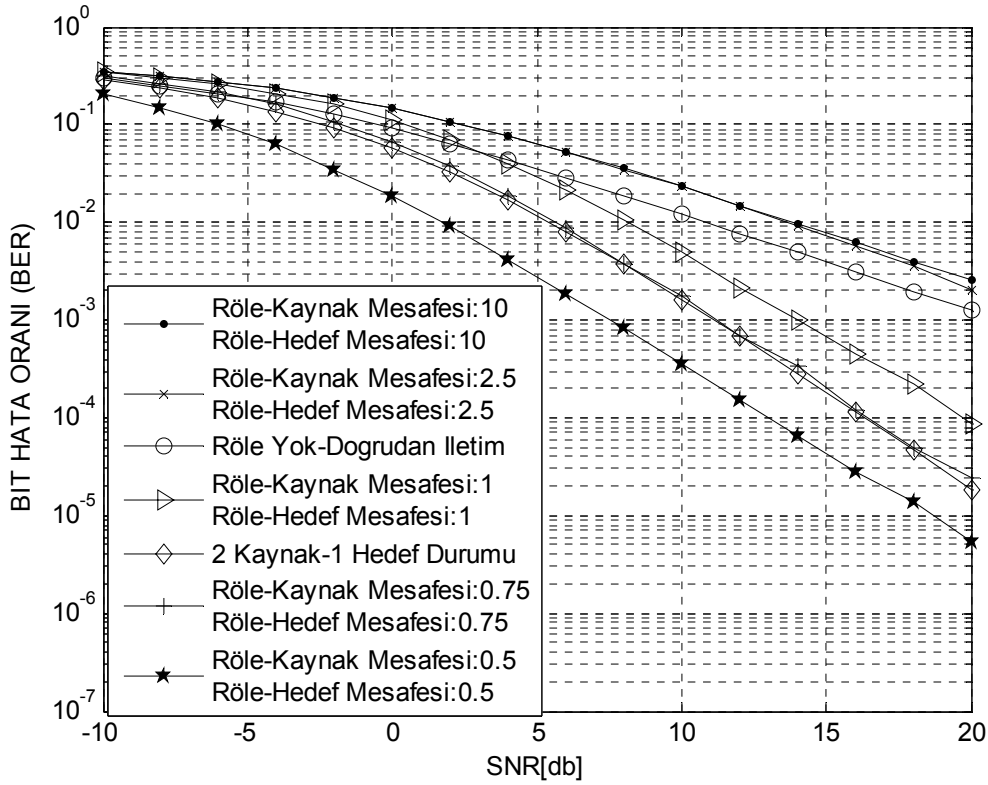


Şekil 8.16 Değişik röle-kaynak uzaklıklarında çok atlamalı hücreli radyo sisteminin başarımı

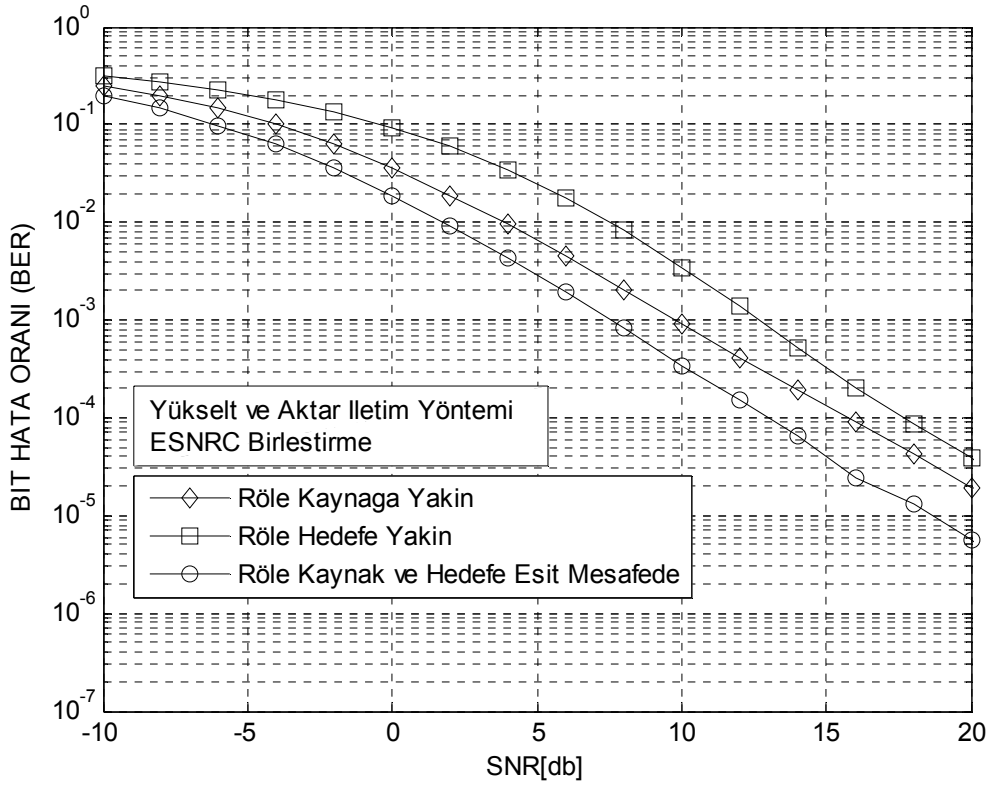


Şekil 8.17 Değişik röle-kaynak uzaklıklarında çok atlamalı hücreli radyo sistemi ile doğrudan iletim başarımının karşılaştırılması

Röle vazifesi gören kullanıcının kaynak ve hedefe eşit mesafe uzaklıkta olduğu durumdaki hesaplanan başarımların grafikleri Şekil.8.18’de görülmektedir. Hesaplamalar sonucunda ilk dikkati çeken husus rölenin mesafesi arttırıldıkça performansın ne kadar çabuk bozulduğudur. Röle mesafesinin optimum mesafeden yüzde elli artırılmasıyla performans; iki kaynak-bir hedeften oluşan iletişim yapısının performansı ile hemen hemen aynı olmaktadır. Mesafe biraz daha arttırılırsa performans düşümünün ne kadar hızlı olduğu gözlemlenebilmektedir. Örneğin röle mesafesinin 2.5 kat artırılması durumunda işbirlikli iletişim yapısının başarımların performansı röle kullanılmayan doğrudan iletim yapısının başarımların performansının altına düşmekte ve işbirlikli iletişim yapılmasının anlamı kalmamaktadır.



Şekil 8.18 Rölenin kaynak ve hedefe eşit mesafelerde olması durumunda çok atlamalı hücreli radyo sisteminin başarımlarını



Şekil 8.19 Rölenin kaynak ve hedefe optimum eşit mesafede olması durumunda çok atlamalı hücreli radyo sistemi başarımları

8.5 Çok Atlımalı İletişim Yapısı Benzetim Sonuçları

Gerçekleştirilen benzetim çalışmalarında;

SNR eşik değeri : 3 dB,

Kanal değişkenleri uzaklık ve yol kaybına bağlıdır. $\sigma^2 \propto d^{-\alpha}$

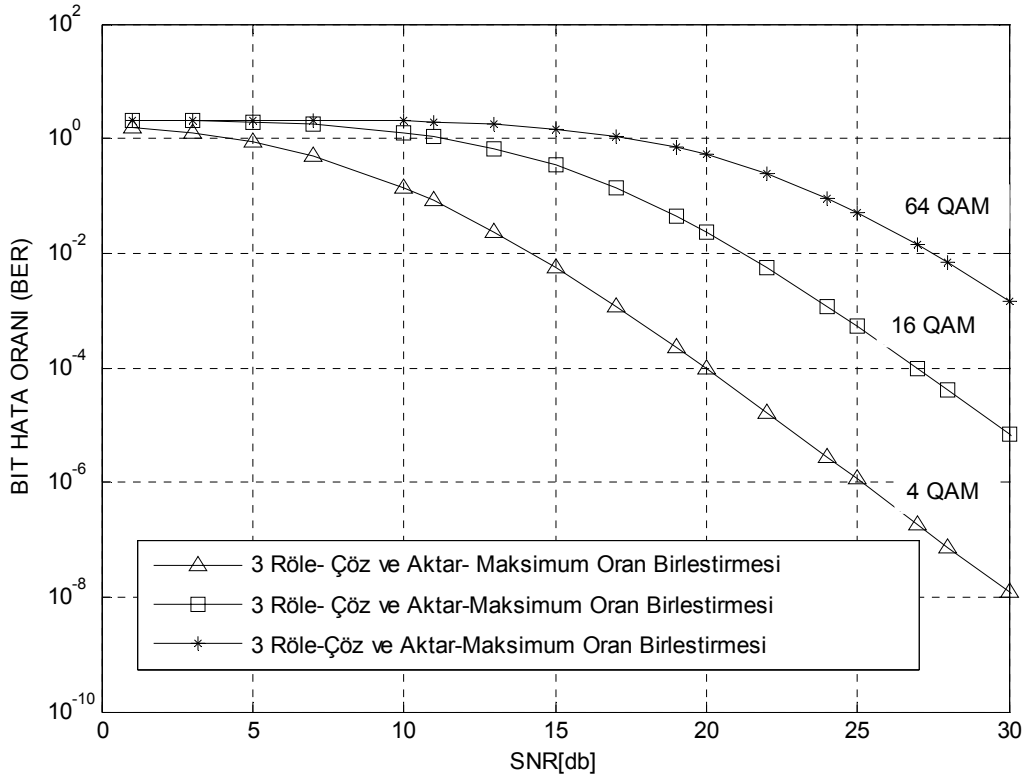
$\alpha = 3$,

$$\sigma_{s,r_i}^2 = 8\sigma_{s,d}^2, \sigma_{r_i,d}^2 = \sigma_{s,d}^2,$$

Beyaz Gürültü varyansı $\sigma_0 = 1$ olarak alınmıştır.

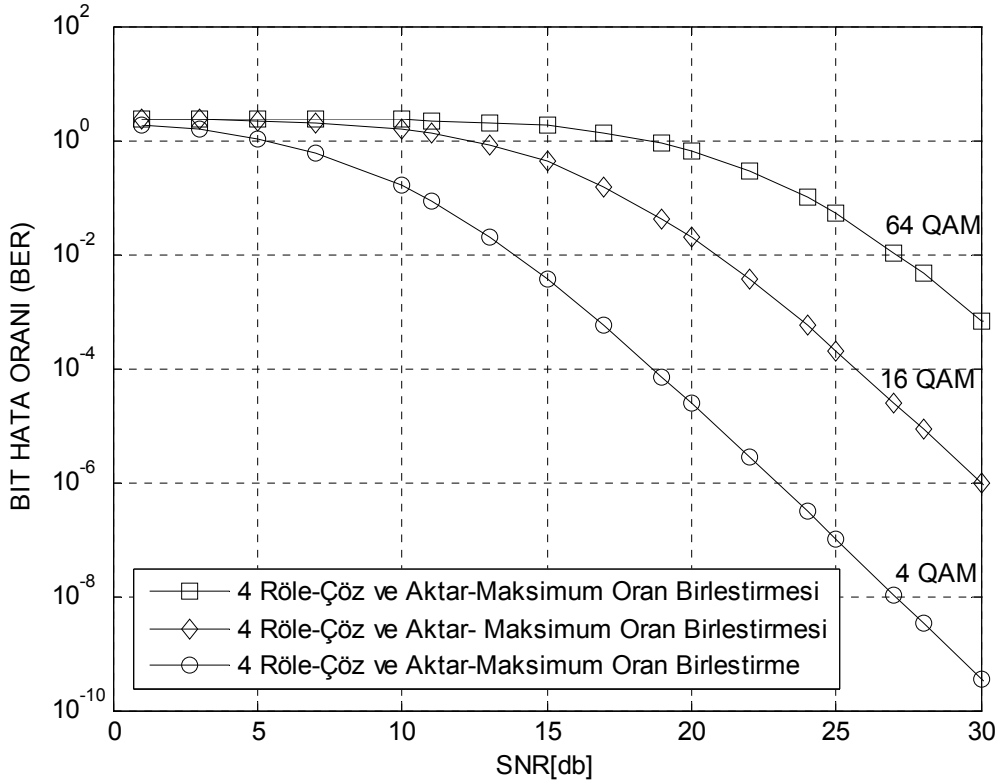
Şekil 8.20'de üç adet röle kullanılan çok atlamalı hücreli radyo sistemlerinde MQAM modülasyonu (M=4,16, 64) için hesaplanan başarımlar gösterilmiştir.

M değerinin artması modülasyonu daha karmaşık hale getirmektedir. Bundan dolayı en iyi başarımlar performansı, karmaşıklığı en az olan 4QAM modülasyonunda elde edilmiştir.



Şekil 8.20 Üç röle kullanılan çok atlamalı hücreli radyo sistemlerinde başarımlar

Şekil 8.21 'de dört adet röle kullanılan çok atlamalı hücresel radyo sisteminin MQAM modülasyonu ($M=4,16, 64$) için hesaplanan başarımları gösterilmiştir. Röle sayısının artmasının üç röle kullanılan sisteme oranla performansı artırdığı görülmekle birlikte en iyi başarımların performansı karmaşıklığı en az olan 4QAM modülasyonunda elde edilmiştir.

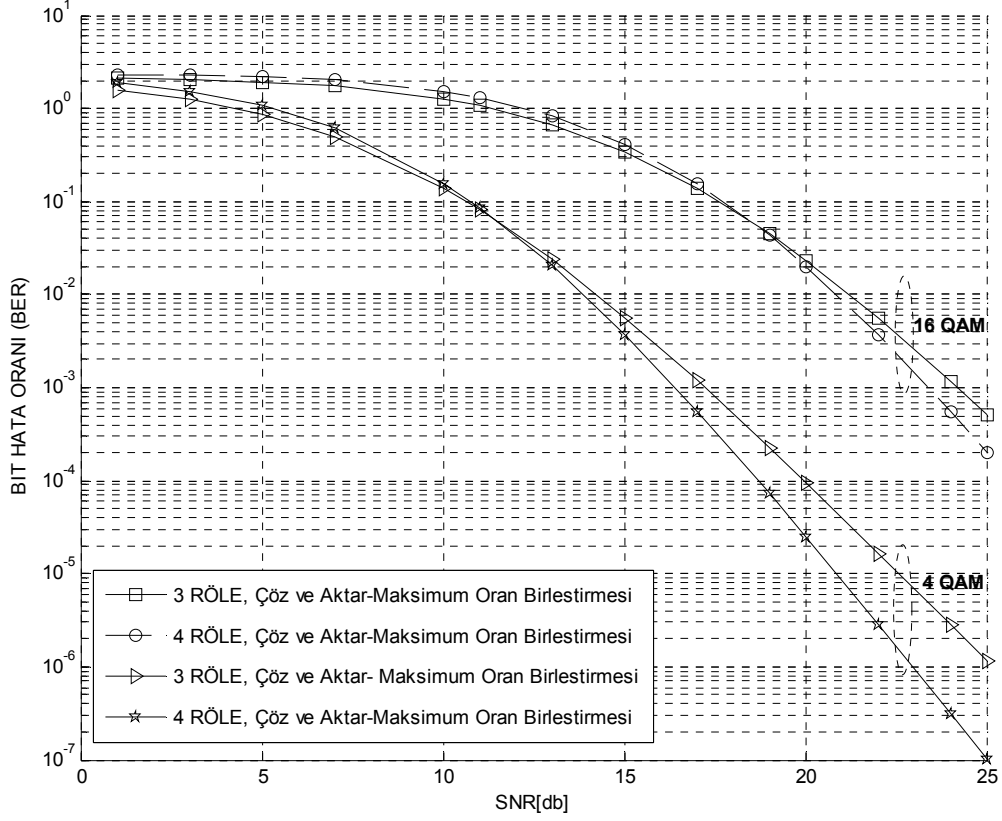


Şekil 8.21 Dört röle kullanılan çok atlamalı hücresel radyo sistemlerinde başarımlar

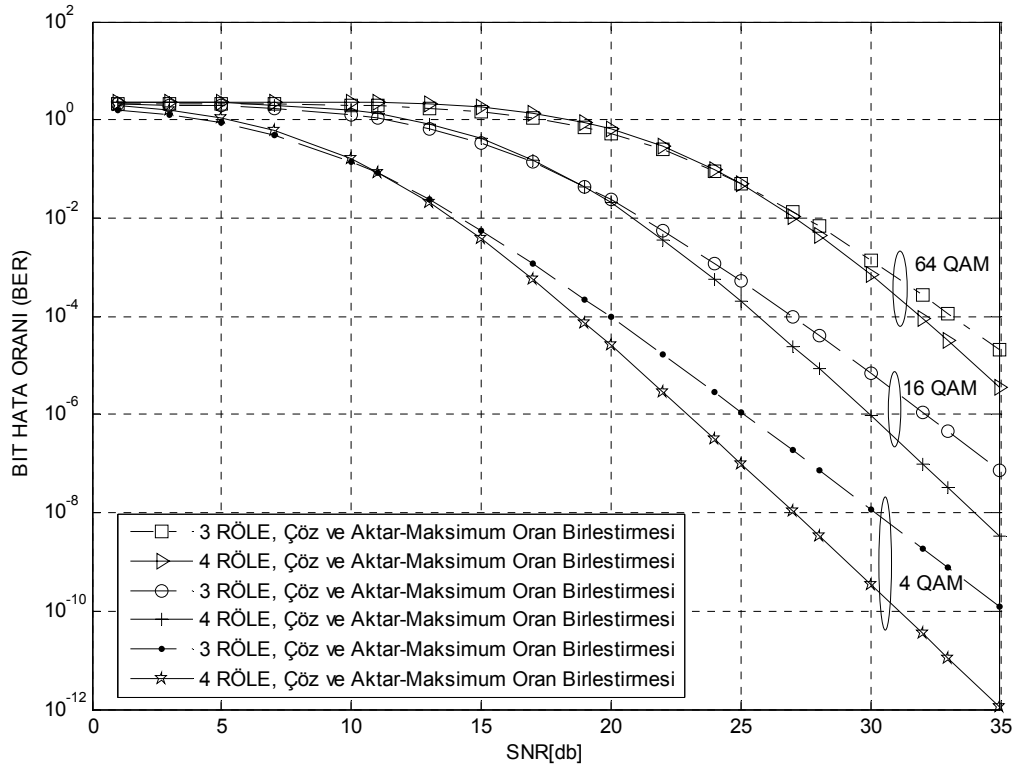
Şekil 8.22'de Çok atlamalı hücresel radyo sistemlerinde üç ve dört röle kullanılması durumunda hesaplanan başarımlar karşılaştırılmıştır.

Şekil 8.22 ve Şekil 8.23 incelendiğinde beklenildiği gibi en iyi bit hata oranlarının 4QAM modülasyonu uygulandığında elde edildiğini göstermektedir. Röle sayısının üçten dörde çıkması durumunda başarımlarında yaklaşık 3dB lik bir

iyileşme olduğu görülmektedir. 16QAM ve 64QAM modülasyonu uygulandığında da röle sayısının dörde çıkması ile başarımlarının arttığı görülmektedir.



Şekil 8.22 Üç ve dört röle kullanılan çok atlamalı hücreli radyo sistemlerinde işbirlikli iletişimin karşılaştırmalı başarımı



Şekil 8.23 Üç ve dört röle kullanılan çok atlamalı hücreli radyo sistemlerinde işbirlikli iletişimin karşılaştırmalı başarımı

6.6 Rôle Seçimi Benzetim Sonuçları

Rôle seçimi için gerçekleştirilen benzetim çalışmasında;

Kaynak, Hedef ve Rôle adaylarının konumları rasgele belirlenmiştir.

Kaynak, Hedef ve Rôle sabit ve hareketli alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Yol Kaybı olarak serbest uzay yol kaybı modeli kullanılmıştır.

$$\begin{aligned} \text{Yol Kaybı} &= 10 \text{Log}_{10} \left(\left(\frac{4\pi}{c} df \right)^2 \right) \\ &= 20 \text{Log}_{10} \left(\left(\frac{4\pi}{c} df \right) \right) \\ &= 20 \text{Log}_{10}(d) + 20 \text{Log}_{10}(f) + 20 \text{Log}_{10} \left(\frac{4\pi}{c} \right) \\ &= 20 \text{Log}_{10}(d) + 20 \text{Log}_{10}(f) - 147.56 \quad (\text{dBm}) \end{aligned}$$

Kaynak tarafından gönderilen sinyal gücü P_t 0,25W ile 1 W arasında değiştirilmiştir.

$$P_r = P_t \cdot \left(\frac{1}{4\pi d^2} \right) \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right)$$

Burada;

P_r = Rôle tarafından alınan güç,

d = Rôle ile kaynak arası uzaklık,

λ = dalga boyunu ifade etmektedir.

Seçilen Rôle ve diğer aday rôleler üzerinden yapılan/ yapılabilecek iletimin başarımlarının incelenmesinde;

Kanal Rayleigh Sönümlenmeli olarak alınmıştır.

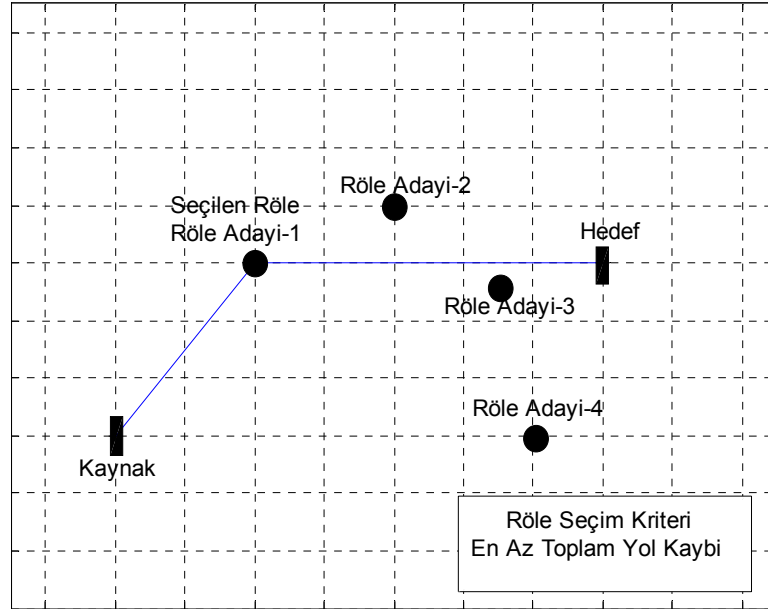
QPSK modülasyonu uygulanmıştır.

Rölelerde, Yükselt ve Aktar iletim yöntemi

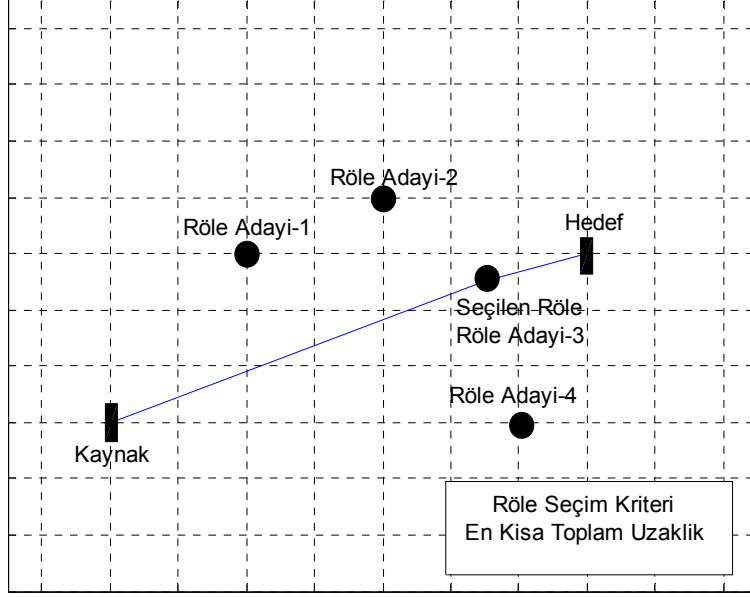
Hedefte ESNRC Birleştirmesi uygulanmıştır.

Şekil 8.24 En Az Toplam Yol Kaybı kriteri kullanılarak seçilen röleyi, Şekil 8.25 En Kısa Toplam Uzaklık kriterine bağlı olarak seçilen röleyi göstermektedir.

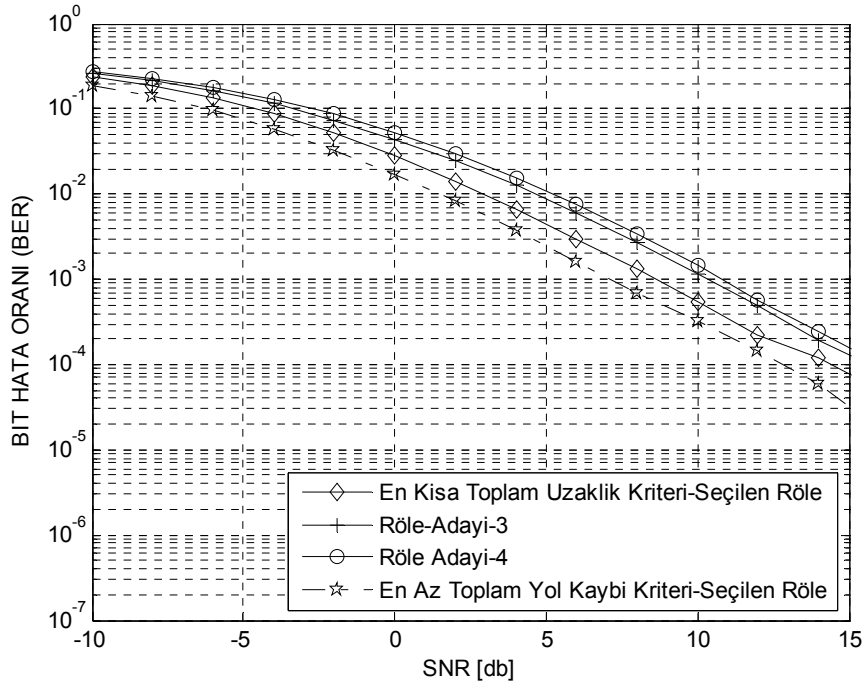
Seçilen röleler üzerinden yapılan iletişimin çok atlamalı hücrel radyo sisteminde hesaplanan başarımları gösteren şekil 8.26 ve şekil 8.27 incelendiğinde tamda beklenildiği gibi, En Az Toplam Yol Kaybı kriteri ile belirlenen röle ile yapılan iletişimin En Kısa Toplam Uzaklık kriteri ile belirlenene oranla daha üstün başarımla gösterdiği (yaklaşık 2.5 dB) görülmektedir.



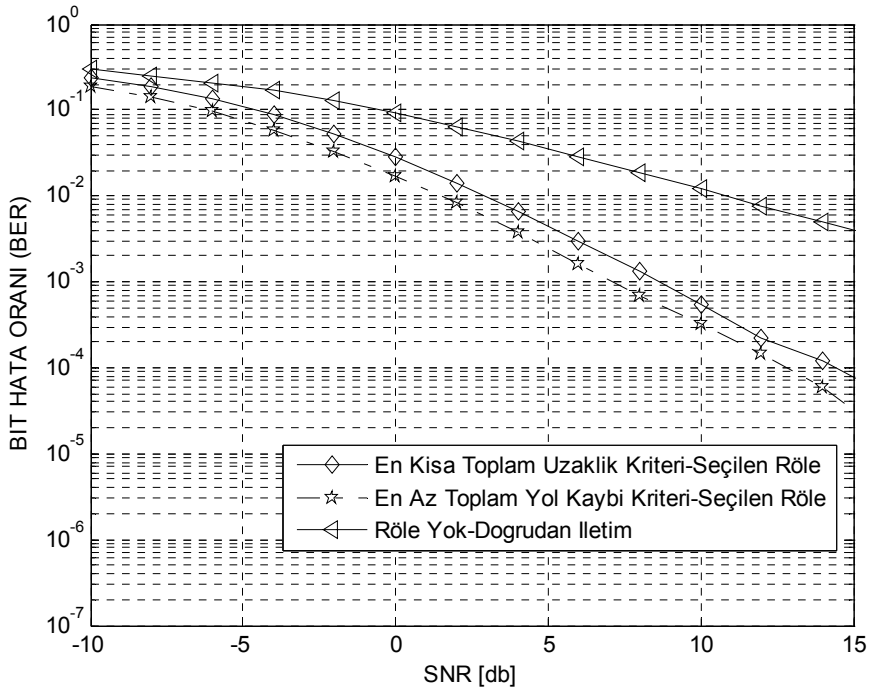
Şekil 8.24 En Az Toplam Yol Kaybı kriteri ile röle seçimi



Şekil 8.25 En Kısa Toplam Uzaklık kriteri ile röle seçimi



Şekil 8.26 Seçilen rölelerin karşılaştırmalı başarımları



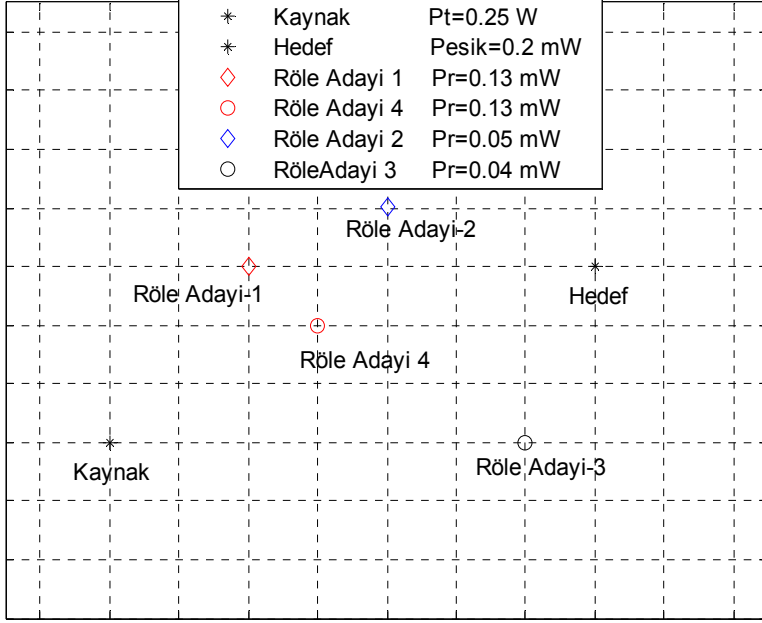
Şekil. 8.27 Seçilen röle başarımlarının doğrudan iletim başarımları ile karşılaştırılması

Çok atlamalı hücreli radyo sisteminde rayleigh sönümlenmeli kanalda güç seviyesi kontrolü uygulanarak kaynak ile röle adayları arasındaki güç seviyesi ile röle adayları ile hedef arasındaki güç seviyeleri hesaplanmış ve hesaplanan güç seviyeleri belirlenen bir eşik güç seviyesi ile karşılaştırılmış ve eşik güç seviyesini geçen röle adayları arasında maksimum güç seviyesini sağlayan röle adayları röle olarak seçilmiştir. Hesaplamalarda, gönderilmek istenen sinyal gücü 0.25 W -4 W arasında değiştirilmiş, eşik güç seviyesi değeri 0.2 mW olarak alınmıştır.

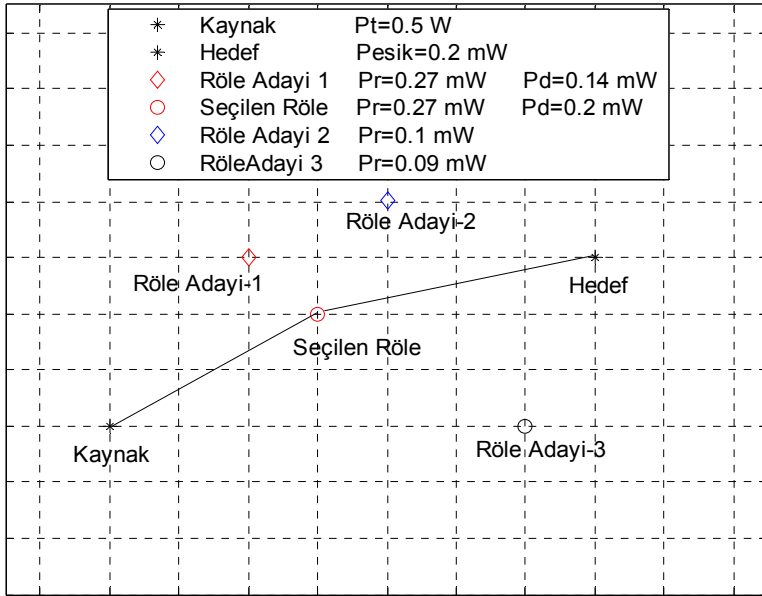
Şekil 8.28, 8.29, 8.30, 8.31 ve Şekil 8.32 çok atlamalı hücreli radyo sisteminde gönderilen sinyal gücünün sırasıyla 0.25 W, 0.5 W, 0.75 W, 1 ve 4 W olması durumunda seçilen röle adaylarını göstermektedir.

Gönderilen gücün artması çok atlamalı hücreli radyo sisteminde röle olarak görev yapabilecek ve eşik güç değerini geçen aday röle sayısını artırmaktadır. Şekil 8.28 de görüldüğü üzere gönderilmek istenen sinyalin gücü 0.25 W

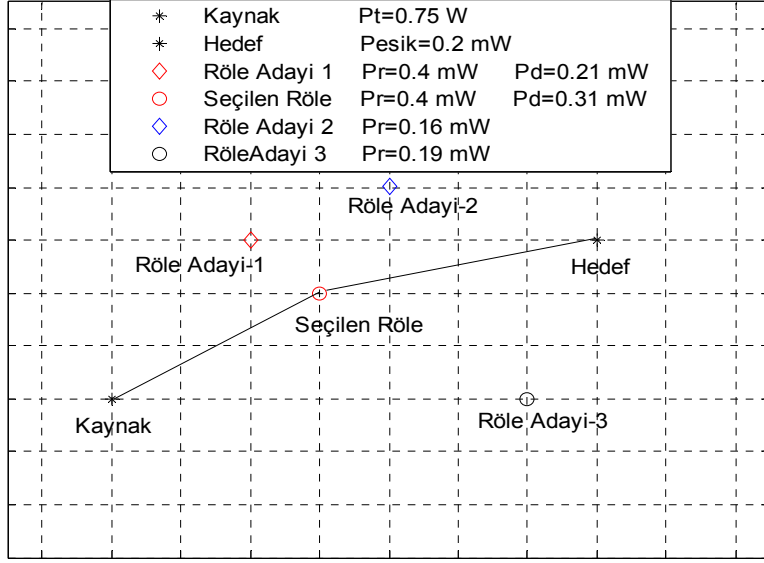
olduğunda ortamda eşik güç seviyesini geçecek röle adayı bulunamamakta ve röle seçimi yapılmamaktadır. Diğer taraftan gönderilmek istenen sinyal gücü yükseldiğinde hücrel radyo sisteminde röle görevi yapmaya müsait ve eşik değerini geçen röle adayı sayısı artmaktadır. Çok atlamalı hücrel radyo sisteminde değişik sinyal güçleri için yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen ve Şekil 8.33'te verilen başarımlar grafiğinden de görüleceği üzere sinyal gücünün artması başarımları da artırmaktadır.



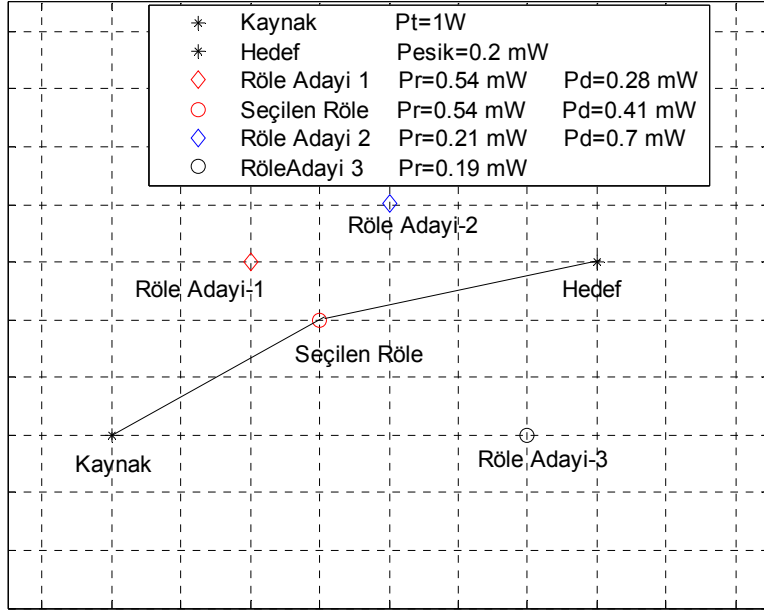
Şekil 8.28 Pt=0.25 W, Peşik=0.2 mW, güç seviyesi kontrolü ile röle seçimi



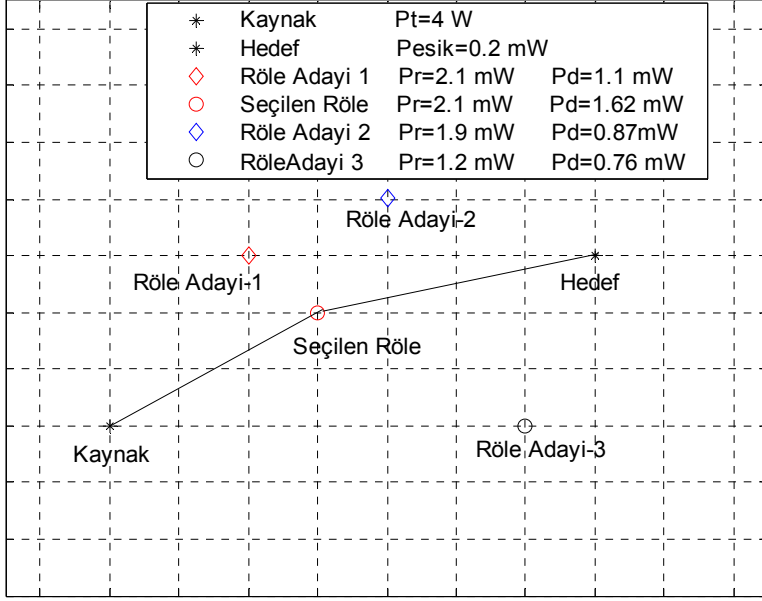
Şekil 8.29 Pt=0.5 W, Peşik=0.2 mW, güç seviyesi kontrolü ile röle seçimi.



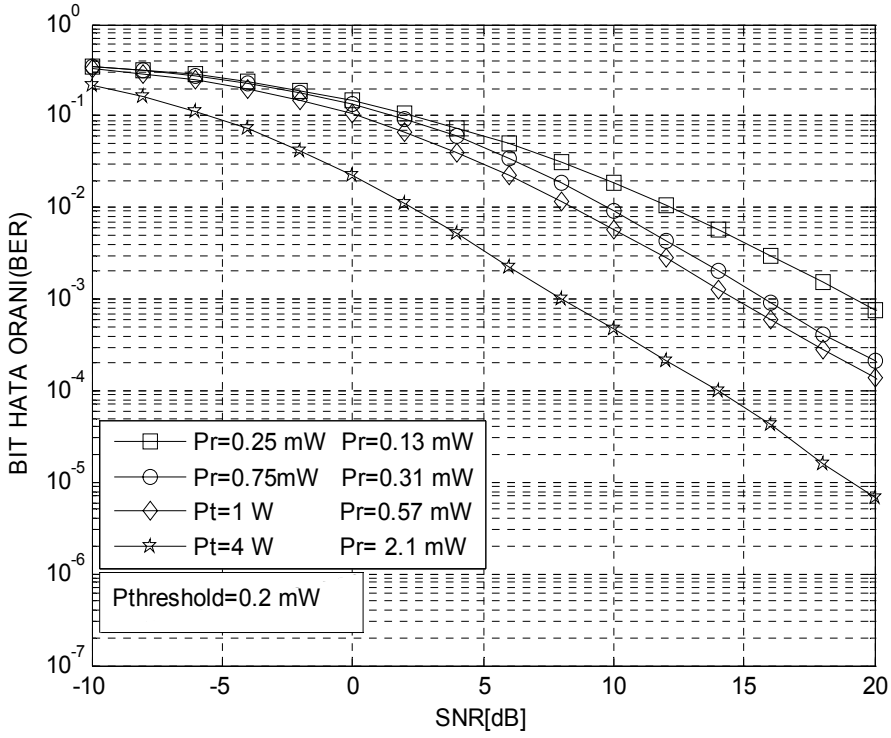
Şekil 8.30 $P_t=0.75$ W, $P_{\text{peşik}}=0.2$ mW, güç seviyesi kontrolü ile röle seçimi



Şekil 8.31 $P_t=1$ W, $P_{\text{peşik}}=0.2$ mW, güç seviyesi kontrolü ile röle seçimi



Şekil 8.32 $P_t=4$ W, $P_{\text{peşik}}=0.2$ mW, güç seviyesi kontrolü ile röle seçimi



Şekil 8.33 Çok atlamalı hüresel radyo sisteminde kanal güç seviyesi kontrolü ile seçilen röle başarımları

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

9.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında hücresele radyo sistemlerinde kapsama alanı ve performansın artırılması maksadıyla çok atlamalı işbirlikli çeşitleme kullanılmasının olası avantajlarını, işbirlikli iletişimde röle vazifesi yapacak kullanıcıların hangi yöntemlerle belirlenebileceği gösterilmiştir.

Çeşitleme, alıcı ve verici haricinde hücresele radyo sisteminde bulunan diğer gezgin kullanıcıların röle olarak kullanılması ile gerçekleştirilmiştir. İletilmek istenen bilgi vericiden alıcıya doğrudan veya röle vazifesi gören gezgin kullanıcı üzerinden gönderilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında, değişik çeşitleme ve birleştirme yöntemleri ile röle seçim yöntemlerinin performansının görülebilmesi için alıcı, verici ve röle adayı kullanıcıların olduğu bir sistem simüle edilmiştir.

Alıcıda hangi tip birleştirme kullanılırsa kullanılsın yükselt ve aktar iletim yöntemi daima çöz ve aktar iletim yönteminden daha iyi performans göstermiştir. Ama bu sonucun alınmasında vericiden gönderilen bilgiye herhangi bir hata düzeltme kodlamasının eklenmediğinin dikkate alınması gerekir. Birleştirme metodunun seçiminin alıcıda alınan sinyalin bit hata oranı üzerinde oldukça önemli etkisi bulunmaktadır. Röle tarafından yükselt ve aktar iletim yöntemi uygulandığında alıcıda kolayca uygulanabilen eşit oranlı birleştirme ile doğrudan iletim durumuna nazaran oldukça iyi başarımlarına ulaşılabilmektedir.

İletim kanalının kalitesi kabaca biliniyorsa alıcıda, eşit oranlı birleştirmeye göre daha iyi performans gösteren sabit oranlı birleştirme uygulanabilir. Eğer iletim kanalının kalitesi kesin olarak biliniyorsa daha karmaşık olan birleştirme metotları da uygulanabilir. Kanal kalitesinin kabaca bilinmesinin yeterli olduğu ESNR birleştirme metodu ile mükemmel sonuçlara ulaşılmıştır.

Rölenin fiziksel konumu performansı etkileyen en önemli husustur. En iyi başarımla röle alıcı ve vericiye eşit mesafede veya vericiye biraz daha yakinken elde edilmiştir. Genel olarak röle alıcı ve vericiden çok fazla uzakta olmamalıdır.

Fiziksel Uzaklığa bağlı röle seçimi ile yol kayıplarına bağlı röle seçim teknikleri karşılaştırılmıştır. Yol kaybı kriterine göre seçilen röle, fiziksel uzaklığa bağlı olarak seçilen röleye nazaran daha üstün performans göstermiştir.

Ayrıca çok atlamalı hücrel radyo sisteminde alıcı, verici ve röle arasındaki kanal için hesaplanan güç seviyeleri alıcıda en iyi başarımla için gerekli olan eşik güç seviyesi ile karşılaştırılarak röle seçimi yapılmıştır. Verici tarafından gönderilen sinyalin gücünün artırılmasının çok atlamalı hücrel radyo sistemindeki iletişimin başarımının artmasına neden olduğu gözlenmiştir.

9.2 Öneriler

İyi bir aktarım düğümü seçiminin uygulanması halinde çok atlamalı hücrel radyo sisteminin kapsama alanı önemli derecede yükselecektir. Ancak, uzun atlama zincirleri, atlama yapılan gezgin kullanıcının bataryasının tükenmesine neden olacaktır. Bu yüzden atlama sadece kapsama alanının çok kötü olduğu durumda mı kullanılmalı veya daima yüksek kapsama alanına ulaşmak için mümkün olduğu kadar çok gerçekleştirilmeli mi hususlarının hücrel sistemlerde röle kullanarak atlamalı iletimi ele alan standartlarda çözüme kavuşturulması gerekmektedir.

Günümüzün modern savaş alanı içerisinde komuta kontrol ve kesintisiz haberleşmenin önemi çok büyüktür. Bu maksatla askeri birlikler arasında oluşturulabilecek ad-hoc ağ yapısına sahip haberleşme sistemlerinde coğrafi şartlar veya çok yollu sönümlenme nedeniyle birbirleri ile iletişim sağlayamayan birlikler bir başka askeri birliği röle olarak kullanıp kesintisiz iletişim yapma kabiliyetine kavuşabilir.

9.3 Geleceğe Yönelik Çalışmalar

Bu tezde gerçekleştirilen çalışma bir çok yöntemle ileriye götürülebilir:

Verici tarafından gönderilen sinyale hata düzeltme kodu eklenerek röle üzerinde sinyali çözme ve tekrar kodlamanın olası avantajları görülebilir. Röle kendisine gelen sinyalde yanlış çözülen bit veya sembol dizisini, uygulanacak hata düzeltme kodu yardımıyla düzelterek hedefe gönderebilir aksi taktirde sinyal gönderimi yapmayabilir.

Röle adayı gezgin kullanıcıların konum, hareket yönü ve hız bilgileri kullanılarak röle yolunun seçimi, en uzun ömürlü röle yolu kriteri ile gerçekleştirilebilir. Bu şekilde en az sayıda röle değişimi ile röle değişimleri sonucu oluşabilecek zaman gecikmeleri minimuma indirgenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] T. M. Cover and A. A. E. Gamal, Capacity Theorems for degree from the University of Texas at Dallas in 1996, and the Relay Channel, *IEEE Trans. Info. Theory*, vol. 25, a Ph.D. degree from the University of Texas at Dallas inno. 5, Sept.1979, pp. 572-84.
- [2] J.N.Laneman, "Cooperative diversity in wireless networks: Algorithms and architectures", Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, August 2002.
- [3] J. N. Laneman and G. W. Wornell, "Distributed space-time-coded protocols for exploiting cooperative diversity in wireless networks", *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 49, no. 10, p. 2415-2425, Oct. 2003.
- [4] A. Sendonaris, E. Erkip and B. Aazhang, "User cooperation diversity. Part I. System description", *IEEE Transactions on Communications*, vol. 51, no.11, p. 1927-1938, Nov. 2003
- [5] Ahmed K. Sadek, Weifeng Su, and K. J. Ray Liu, "Multinode Cooperative Communication", *IEEE Transactions On Signal Processing*, vol. 55, no. 1, p. 341,356 Jan 2007
- [6] V. Sreng, "Coverage Enhancement Through Two hop relaying in Cellular Radio Network", Msc.Thesis, Carleton University
- [7] Chirawat Kotchasarn, Kazi M. Ahmed and R. M. A. Premanandana-Rajatheva, "Bit Error Rate Of Two-User Cooperative Diversity In Frequency Selective Rayleigh Fading Channel", *Journal of Electrical Engineering*, vol. 58, no. 5, 2007, p. 279-284
- [8] Andreas Meier, "Cooperative Diversity In Wireless Network", Ph.D. Thesis, Erasmus Project at the University of Edinburgh, March 2004
- [9] M. Yuksel and E. Erkip, "Diversity in Relaying Protocols with Amplify and Forward", in *Proceedings of 2003 GLOBECOM Communication Theory Symposium*, San Francisco, December 2003
- [10] John G. Proakis, *Digital Communications*, McGraw-Hill, 4th edition (international), 2001
- [11] J. Boyer, D. Falconer, and H. Yanikomeroglu, "A Theoretical Characterization of Multihop Wireless Communications Channels With Diversity," to appear in *Proc. of IEEE GLOBECOM*, 2001
- [12] J. Broch et al., "A Performance Comparison of Multihop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols," *Proc. of IEEE/ACM MOBICOM*, 1998
- [13] P. Cardieri and T. Rappaport, "Statistics of the Sum of Lognormal Variables in Wireless Communications," *Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference*, 2000

- [14] T. Cover and A. El Gamal, "Capacity Theorems for the Relay Channel," *IEEE Trans. On Information Theory*, vol. 25, no. 5, 1979.
- [15] M. Grossglauser and D. Tse, "Mobility Increases the Capacity of Ad Hoc Wireless Networks," Proc. of *INFOCOM*, 2001.
- [16] A. McDonald and T. Znati, "A Path Availability Model for Wireless Ad Hoc Networks," Proc. of *Wireless Communications and Networking Conference*, 1999.
- [17] P. Johansson et al., "Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks – A Comparative Performance Analysis," Proc. of *IEEE/ACM MOBICOM*, 1999.
- [18] V. Wong and C. Leung, "A Transmit Power Control Scheme for Improving Performance in a Mobile Packet Radio System," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 43, no. 1, 1994.
- [19] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User Cooperation Diversity – Part II: Implementation Aspects and Performance Analysis," *IEEE Trans. on Comm.*, vol. 51, pp. 1939–48, November 2003.
- [20] J. Laneman, G. Wornell, and D. N. C. Tse, "An Efficient Protocol for Realizing Cooperative Diversity in Wireless Networks," in *Proc. 2001 IEEE Int. Symp. on Info. Th.*, vol. 1, p. 294, June 2001.
- [21] A. Bletsas, A. Khisti, D. Reed, and A. Lippman, "A Simple Cooperative Diversity Method Based on Network Path Selection," *IEEE Journal on Selected Areas of Communication*, vol. 24, pp. 659–672, March 2006
- [22] Y. Zhao, R. S. Adve, and T. J. Lim, "Improving Amplify-and-Forward Relay Networks: Optimal Power Allocation versus Selection," in *Proc. 2006 IEEE International Symp. on Information Theory*, July 2006.
- [23] N. Ahmed, M. Khojastepour, A. Sabharwal, and B. Aazhang, "Power control with finite rate feedback for cooperative relay networks," in *Intern. Symposium on Inform. Theory and its Applications (ISITA)*, (Parma, Italy), Oct. 10-13 2004
- [24] J. N. Laneman, D. N. C. Tse, and G. W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behavior," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 50, no. 12, pp. 3062–3080, Dec. 2004.
- [25] W. Su, A. K. Sadek, and K. J. R. Liu, "SER performance analysis and optimum power allocation for decode-and-forward cooperation protocol in wireless networks," in *Proc. IEEE Wireless Commun. Netw. Conf. (WCNC'05)*, New Orleans, LA, Mar. 13–17, 2005, vol. 2, pp. 984–989.
- [26] A. K. Sadek, W. Su, and K. J. R. Liu, "Performance analysis for multinode decode-and-forward relaying in collaborative wireless networks," in *Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, Signal Process. (ICASSP)*, Philadelphia, PA, Mar. 19–23, 2005, vol. 3, pp. 521–524

[27] J. Boyer, D. D. Falconer, and H. Yanikomeroglu, "Multihop diversity in wireless relaying channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 52, no. 10, pp. 1820–1830, Oct. 2004.

[28] T. J. Harold and A. R. Nix, "Intelligent Relaying for future Personal Communications Systems," *IEEE Colloquium on Capacity and Range Enhancement Techniques for Third Generation Mobile Communication and Beyond*, 2000

[29] E. Beres and R. S. Adve, "On Selection Cooperation in Distributed Networks," in *Proc. 2006 Conf. on Information Sciences and Systems (CISS 2006)*, March 2006.