

**FREKANS HOPLAMALI DİK FREKANS BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM (FH-DFBÇE)
SİSTEMLERİN BAŞARIM ANALİZİ**

Koray YANIK

**Bölent Ecevit Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**ZONGULDAK
Haziran 2012**

KABUL:

Koray YANIK tarafından hazırlanan “FREKANS HOPLAMALI DİK FREKANS BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM (FH-DFBÇE) SİSTEMLERİN BAŞARIM ANALİZİ ” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir. 14/06/2012

Başkan: Doç. Dr. Ertan ÖZTÜRK (BEÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Rıfat HACIOĞLU (BEÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Zekeriya USTAOĞLU (BEÜ)




ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. .../.../2012



Prof. Dr. Özden ÖZEL GÜVEN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”


Koray YANIK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FREKANS HOPLAMALI DİK FREKANS BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM (FH-DFBÇE) SİSTEMLERİN BAŞARIM ANALİZİ

Koray YANIK

Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ertan ÖZTÜRK

Haziran 2012, 65 sayfa

Günümüz kablosuz haberleşme sistemlerinde kullanıcıların isteklerine göre veri hızlarının artırılması ve mevcut bant genişliğinin verimli şekilde kullanılması önemlidir. Bu yüzden birçok yeni teknik geliştirilmektedir. Bu tekniklerden biri olan Dik Frekans Bölmeli Çoğullama (DFBÇ), yüksek veri hızlı seri veri akışını paralel olarak düşük hızlı alt taşıyıcılara bölerek bu alt taşıyıcıların iletilmesini sağlayan çoğullama türüdür. DFBÇ, ucuz alıcı yapısı, yüksek veri hızı ve çoklu yol etkilerine karşı dayanıklılığı nedeniyle günümüz kablosuz haberleşme sistemlerinde tercih edilmektedir.

Ancak DFBÇ tekniği zamanla değişen çoklu yol ortamına uygulandığında, sistemde frekans çeşitliliği olmadığı için yetersiz sistem performansı meydana gelebilmektedir. Bu sorunu çözebilmek amacıyla frekans hoplama (FH)-DFBÇ tekniği kullanılmaktadır. Böylece hem hoplama kazancı sağlanmış hem de frekans çeşitliliği elde edilmiş olur. FH-DFBÇ’de birden fazla kullanıcıya farklı hoplama örgüleri kullanarak çoklu erişim özelliği kazandırılabilir. Bu sisteme frekans hoplama dik frekans bölmeli çoklu erişim (FH-DFBÇE) denir.

ÖZET (devam ediyor)

Bu çalışmada FH-DFBÇE tekniğinin farklı kanal durumlarında sembol hata oranı (SHO) performansları benzetimle hesaplanmıştır ve benzetim sonuçları teorik sembol hata olasılığı hesaplamalarıyla desteklenmiştir. Modülasyon türü olarak Dördün Genlik Modülasyonu (DöGM), $M=4$, 16 ve 64 için kullanılmıştır. Kanalin önce sadece toplanır beyaz Gauss gürültü (TBGG) içerdiği varsayılmıştır. Daha sonra Rayleigh sönümleme içeren kanal, son olarak da Doppler kaymasının da olduğu Rayleigh sönümlenmeli kanal göz önüne alınmıştır. Elde edilen teorik ve benzetim sonuçları birbirleriyle benzer elde edilerek yapılan çalışmaların doğruluğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Frekans Hoplamalı Dik Frekans Bölmeli Çoklu Erişim, Sembol Hata Oranı, Dördün Genlik Modülasyonu, Toplanır Beyaz Gauss Gürültü, Rayleigh Sönümleme, Doppler Kayması

Bilim Kodu: 609.02.07

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

PERFORMANCE ANALYSIS OF FREQUENCY HOPPING ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCESS (FH-OFDMA) SYSTEMS

Koray YANIK

**Bülent Ecevit University
Graduate School of Naturaland Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering**

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Ertan ÖZTÜRK

June 2012, 65 pages

In recent wireless communication systems, the increment of data rates based on users' requests and the efficient use of available bandwidth are very significant. Therefore, various new techniques have been developed. Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), which is one of these techniques, is a multiplexing type that transmits a high speed serial data stream by dividing it into parallel low-speed sub-carriers. OFDM is preferred in today wireless communication systems because of inexpensive receiver structure, high data rate, and endurance against multi-path effects.

However, when OFDM is applied to time varying multipath environment, an insufficient system performance may be occurred because it doesn't have frequency diversity. In order to solve this problem, Frequency Hopping Orthogonal Frequency Division Multiplexing (FH-OFDM) is used. Thus both hopping gain is ensured and frequency diversity is obtained. By using different hopping patterns for multi-users, multiple access characteristic can be

ABSTRACT (continued)

achieved within FH-OFDM. This system is called Frequency Hopping Orthogonal Frequency Division Multiple Access (FH-OFDMA).

In this thesis, the symbol error rate (SER) performances for FH-OFDMA technique over different channel conditions are calculated via simulations, and these simulations are validated with theoretical probability of symbol error calculations. As a modulation type, Quadrature Amplitude Modulation (QAM) for $M=4, 16$ and 64 is used. First, the channel is assumed that it includes only Additive White Gaussian Noise (AWGN). Then, the channel is considered as Rayleigh fading, finally a channel that includes Doppler shift in Rayleigh fading is considered. The theoretical and simulations results are obtained very similar, which validates the study.

Key Words: Frequency Hopping Orthogonal Frequency Division Access, Symbol Error Rate, Quadrature Amplitude Modulation, Additive White Gaussian Noise, Rayleigh fading, Doppler shift

Science Code: 609.02.07

TEŐEKKÖR

Bu alıőmada gÖrüş ve yorumlarını benden esirgemeyen, alıőma boyunca yönlendirici ve yol gösterici olan değerli hocalarım Do. Dr. Ertan ÖZTÖRK'e (BEÜ), Yrd. Do. Dr. Rıfat HACIOğLU'na (BEÜ), Yrd. Do. Dr. Zekeriya USTAOğLU'na (BEÜ), tez alıőmamda bana yardımcı olan arkadaşım Hakan KAYA'ya (BEÜ), Ahmet OTURAK'a (BEÜ), her zaman desteğini benden esirgemeyen aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
1.1 ÇALIŞMANIN AMACI.....	1
1.2 LİTERATÜR TARAMASI	2
1.3 TEZ PLANI.....	4
BÖLÜM 2 KABLOSUZ HABERLEŞME KANALI	5
2.1 TBGG KANAL.....	5
2.2 SÖNÜMLEMELİ KANAL	6
2.2.1 Rayleigh Kanal	7
2.2.2 Ricean Kanal	7
2.3 MOBİL RADYO KANALININ YAYILIM KARAKTERİSTİKLERİ	8
2.3.1 Gecikme Yayılımı.....	9
2.3.2 Kanal Evre Uyumlu Bant Genişliği.....	10
2.3.3 Kanal Evre Uyumlu Zamanı	10
2.3.4 Doppler Yayılımı.....	10
2.4 SÖNÜMLEMELİ KANALLARIN SINIFLANDIRILMASI	11
2.4.1 Düz Sönümlenme	11
2.4.2 Frekans Seçici Sönümlenme	12

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.4.3 Hızlı Sönümlenme	12
2.4.4 Yavaş Sönümlenme	13
2.5 DÜZ SÖNÜMLEMELİ VE DOPPLERLİ KANAL MODELİ.....	14
BÖLÜM 3 DİK FREKANS BÖLMELİ ÇOĞULLAMA (DFBÇ).....	15
3.1 DFBÇ TEMEL YAPISI	16
3.2 DFBÇ YAPISI.....	17
3.2.1 DFBÇ’de Dikgenlik.....	17
3.2.2 Alt Taşıyıcıların Üretilmesi.....	18
3.2.3 Koruma Aralığı ile Blok İletimi	19
3.2.4 Periyodik Ön Ek	20
3.2.5 DFBÇ Tekniğinin Temel Özellikleri	21
3.2.6 Kanal Denkleştirme	22
3.3 DFBÇ’NİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI	22
BÖLÜM 4 FREKANS HOPLAMALI DİK FREKANS BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM (FH-DFBÇE)	25
4.1 ÇOKLU ERİŞİM TEKNİKLERİ	25
4.2 DİK FREKANS BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM (DFBÇE).....	27
4.2.1 DFBÇE Verici Yapısı	28
4.2.1.1 Temel Bant Modülasyon	29
4.2.1.2 Alt Taşıyıcı Ataması.....	29
4.2.1.3 DFBÇ Modülatörü.....	29
4.2.2 DFBÇE Alıcı Yapısı	30
4.3 FREKANS HOPLAMA.....	30
4.4 SÖZDE GÜRÜLTÜ KODU.....	32
4.4.1 Doğrusal Geri Beslemeli Kaydırmalı Anahtarlama (DGBKA)	33
4.5 FH-DFBÇE.....	34

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
4.5.1 FH-DFBÇE Sistemi	35
4.5.1.1 FH-DFBÇE Verici Yapısı.....	35
4.5.1.2 FH-DFBÇE Alıcı Yapısı	36
BÖLÜM 5 M-DöGM’NİN FARKLI KANALLAR ÜZERİNDEKİ PERFORMANSI	39
5.1 M-DöGM İŞARETLERİN TBGG KANAL ÜZERİNDEKİ PERFORMANSI	39
5.2 M-DöGM İŞARETLERİN RAYLEİGH KANAL ÜZERİNDEKİ PERFORMANSI ..	40
5.3 M-DöGM’NİN DOPPLERLİ RAYLEİGH KANAL ÜZERİNDEKİ PERFORMANSI....	41
BÖLÜM 6 SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI.....	43
6.1 SİMÜLASYONLARDAN KULLANILAN SİSTEM MODELİ	43
6.1.1 Verici	44
6.1.2 Kanal	46
6.1.3 Jakes Kanal Modeli (Sinüzoidallerin Toplamı).....	46
6.1.4 Alıcı	47
6.2 FH-DFBÇE GRAFİKLERİ VE ANALİZLERİ	48
BÖLÜM 7 SONUÇLAR	59
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	65

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 DFBC sistemi verici-alıcı blok diyagramı.....	17
3.2 DFBC sembollerine koruma eklenmesi.....	19
3.3 DFBC periyodik ön ek.....	20
4.1 Zaman bölmeli çoklu erişim.	25
4.2 Frekans bölmeli çoklu erişim.....	26
4.3 Kod bölmeli çoklu erişim.	27
4.4 Temel DFBC verici blok diyagramı.....	28
4.5 DFBC alıcı blok diyagramı.	30
4.6 Frekans toplama örüntü örneği.....	31
4.7 Doğrusal geri beslemeli kaydırmalı anahtarlama.....	33
4.8 Temel bant FH-DFBC vericisi.....	35
4.9 Temel bant FH-DFBC alıcı yapısı.	36
4.10 FH-DFBC toplama örüntüsü.....	37
6.1 Bir kullanıcı için FH-DFBC verici yapısı.	44
6.2 Bir kullanıcı için FH-DFBC alıcı yapısı.	44
6.3 DöGM yıldız kümesi gösterimi.....	45
6.4 Üç kullanıcı FH-DFBC'nin M=4, 16, 64 için TBGG kanal üzerindeki DöGM performansı.	48
6.5 Üç kullanıcı FH-DFBC'de M=16 için boş alt taşıyıcıların TBGG kanal üzerindeki DöGM performansı üzerine etkisi.....	49
6.6 Üç kullanıcı FH-DFBC'nin M=4, 16, 64 için rayleigh kanal üzerindeki DöGM performansı.	50
6.7 Üç kullanıcı FH-DFBC'de boş alt taşıyıcı sayısının M=16 için Rayleigh kanal üzerindeki DöGM performansı üzerine etkisi.....	51
6.8 Üç kullanıcı FH-DFBC'nin M=4, 16, 64 için $f_d T_s N = 0.1$ için Dopplerli Rayleigh kanal üzerindeki DöGM performansı.	52
6.9 Normalize edilmiş farklı Doppler değerlerine göre üç kullanıcı FH-DFBC'nin M=4 için Dopplerli Rayleigh kanal üzerindeki DöGM performansı.	53
6.10 Normalize edilmiş farklı Doppler değerlerine göre üç kullanıcı FH-DFBC'nin M=16 için Dopplerli Rayleigh Kanal üzerindeki DöGM performansı	54

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
6.11 Normalize edilmiş farklı Doppler değerlerine göre üç kullanıcı FH-DFBÇE'nin M=64 için Dopplerli Rayleigh Kanal üzerindeki DöGM Performansı.	55
6.12 Üç Kullanıcı FH-DFBÇE'de M=16 ve $f_d T_s N = 0.1$ için boş alt taşıyıcıların Dopplerli Rayleigh kanal üzerindeki DöGM performansına etkisi.	56
6.13 FH-DFBÇE'nin M=4, SGO=18 dB ve $f_d T_s N = 0.1$ için Dopplerli Rayleigh kanalda kullanıcı sayısındaki değişimin performansa etkisi.	57

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

B_c	: Kanal evre uyumlu bant genişliği
C_m	: Genlik
J_0	: Sıfırıncı dereceden Bessel fonksiyonu
$M_\gamma(s)$: Moment üreten fonksiyon
N_s	: DöGM giriş sembol sayısı
P_s	: Sembol hata olasılığı
T_m	: Çoklu yol yayılımı
T_{CP}	: Ön ek süresi
T_c	: Kanalın evre uyumlu zamanı
T_g	: Koruma zamanı
T_s	: Bir alt taşıyıcı sembol zamanı
f_c	: Taşıyıcı frekansı
f_d	: Doppler frekansı
x_{cp}	: Ön ek eklenmiş sinyal
γ_b	: Bit başına düşen işaret gürültü oranı
ρ_c	: Korelasyon katsayısı
\bar{P}_s	: Ortalama sembol hata olasılığı
$\bar{\gamma}_s$: Sembol başına düşen ortalama işaret gürültü oranı
ϕ_m	: Alınan işaretteki faz
Ψ	: Kullanıcı sayısı
α	: Sönümlenme katsayısı
θ	: Rastgele açı değeri
λ	: Dalga boyu
τ	: Gecikme

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

KISALTMALAR

AFD	: Ayrık Fourier Dönüşümü
ASAH	: Asimetrik Sayısal Abone Hatları
BHO	: Bit Hata Oranı
Bİ	: Baz İstasyonu
ÇHSAH	: Çok Yüksek Hızlı Sayısal Abone Hatları
ÇKG	: Çoklu Kullanıcı Girişimi
ÇT-KBÇ	: Çoklu Taşıyıcılı Kod Bölmeli Çoklu Erişim
DD	: Doğrudan Dizili
DFBÇ	: Dik Frekans Bölmeli Çoğullama
DFBÇE	: Dik Frekans Bölmeli Çoklu Erişim
DFKA	: Dördün Faz Kaydırmalı Anahtarlama
DGBKA	: Doğrusal Geri Beslemeli Kaydırmalı Anahtarlama
DöGM	: Dördün Genlik Modülasyonu
DSYS	: Doğrudan Sıra Yayılı Spektrum
DYO	: Düşük Yakalanma Olasılığı
ESY	: Evrensel Seri Yol
FaKA	: Faz Kaydırmalı Anahtarlama
FBC	: Frekans Bölmeli Çoğullama
FBÇE	: Frekans Bölmeli Çoklu Erişim
FBD	: Frekans Bölgesi Denkleştirici
FFaKA	: Farksal Faz Kaydırmalı Anahtarlama
FH	: Frekans Hoplama
FH-DFBÇ	: Frekans Hoplamalı Dik Frekans Bölmeli Çoğullama
FH-DFBÇE	: Frekans Hoplamalı Dik Frekans Bölmeli Çoklu Erişim
FHYS	: Frekans Hoplamalı Yayılı Spektrum
FKA	: Frekans Kaydırmalı Anahtarlama
FM	: Frekans Modülasyonu
GKA	: Genlik Kaydırmalı Anahtarlama
GMTS	: Geliştirilmiş Mobil Telefon Sistemi
HFD	: Hızlı Fourier Dönüşümü

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

HFD	: Hızlı Fourier Dönüşümü
HFH	: Hızlı Frekans Hoplama
HN	: Hizmet Niteliği
İGO	: İşaret Gürültü Oranı
KBÇE	: Kod Bölmeli Çoklu Erişim
MKS	: Mobil Haberleşme için Küresel Sistem
MÜF	: Moment Üreten Fonksiyon
OYF	: Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu
RF	: Radyo Frekansı
SAH	: Sayısal Abone Hatları
SAK	: Semboller Arası Karışım
SG	: Sözde Gürültü
SHO	: Sembol Hata Oranı, Sembol Hata Olasılığı
TAFD	: Ters Ayrık Fourier Dönüşüm
TAK	: Taşıyıcılar Arası Karışım
TBGG	: Toplanır Beyaz Gauss Gürültüsü
THFD	: Ters Hızlı Fourier Dönüşümü
TOD	: Tepe-Ortalama Değer
UGB	: Ultra Geniş Bant
YFH	: Yavaş Frekans Hoplama
YHIPE	: Yüksek Hızlı İndirme Paket Erişimi
YR	: Yalancı Rastgele
YSAH	: Yüksek Hızlı Sayısal Abone Hatları
ZBÇE	: Zaman Bölmeli Çoklu Erişim
2N	: İkinci Nesil
3N	: Üçüncü Nesil
4N	: Dördüncü Nesil

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 ÇALIŞMANIN AMACI

Bir yandan artan kullanıcı veri trafiği diğer bir yandan ise yeni servislere olan taleplerdeki artış, hareketli kablosuz ağ sistemlerinde değişimleri beraberinde getirmiştir. Mobil haberleşme sistemlerinin bu ihtiyaçları karşılayabilmesi için bu sistemin geliştirilmesi veya yerini yeni mobil haberleşme sistemlerine bırakması gerekir. Aynı şekilde, sayısal işlemcilerdeki teknik gelişmeler, yeni veya daha güçlü sistemlerinin oluşmasını sağlar. Bu şekilde sadece yeni servisler sağlanmaz aynı zamanda daha az maliyetli bir sistem oluşur. İkinci nesil (2N) sistemlerdeki sınırlamalar nedeniyle ve bu tür hizmetlerin karşılanabilmesi için üçüncü nesil (3N) gezgin iletişim sistemleri ortaya çıkmıştır (Dahlman et al. 2008).

3N için ayrılan bantlar veya bu talep edilen sistemlerin alt yapıları, cep telefonunda üç boyutlu oyun desteği, yüksek çözünürlükte TV yayını izleme gibi hizmetleri karşılayamamaktadır (Wang et al. 2009). Bu gibi hizmetlerin yetersizliği birçok faktörden kaynaklanır. Bunlar, sayısal kapasite, mobil cihazlar için güç kısıtlamaları, kablosuz ağın iletim verimliliğidir. Dolayısıyla daha yüksek veri hızlarında ve daha kaliteli iletişim sağlayabilmek amacıyla dördüncü nesil (4N) sistemler kullanılmaya başlanmıştır. 3N teknolojisinin devamı olan 4N haberleşme de dördüncü nesil kablosuz iletişim standardıdır ve kablosuz Evrensel Seri Yol (ESY-Universal Serial Bus (USB)) modem desteği olan dizüstü bilgisayarlar, akıllı telefonlar ve diğer mobil cihazlar için kablosuz internet erişimi sağlar. 4N'nin muhtemel kullanım alanları arasında mobil internet erişimi, internet üzerinden sesli görüşme, oyun servisleri, yüksek çözünürlüklü mobil televizyon, görüntülü konferans ve üç boyutlu televizyon sayılabilir.

4N sistemleri teorik olarak 100 Mbit/s ve 1 Gbit/s veri hızlarını sağlayabilen bir hizmettir. Bu sistemin alt yapısı oluşturulurken var olan şebekelerin kullanılması ve böylece maliyetin

düşürölmesi hedeflenmektedir. Hedeflenen bu yüksek hıızlara erişebilmek için ise ayrılan bant genişliğinin etkin bir biçimde kullanılması gerekmektedir. Bundan dolayı araştırmalar iletim bandını etkin kullanılabilecek modölasyon ve çoklu erişim yönteminin seçimi üzerinde yoğunlaşmıştır. Dikgen frekans bölmeli çoğullama (DFBÇ- Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)) 4N sistemlerde kullanılması planlanan erişim yöntemlerinden biridir (Van Nee and Prasad 2000).

Dikgen frekans bölmeli çoğullama kullanıldığında, yüksek hızlı veri iletimi, dikgen alt taşıyıcılar üzerinden daha düşük hızlı veri akışına bölünür. Dikgen alt taşıyıcılar frekans tayfında örtüşmeli yerleştirilir ve frekans tayfı daha verimli kullanılmış olur.

DFBÇ ve frekans hoplamasının birleştirilmesiyle frekans hoplmalı dikgen frekans bölmeli çoğullama (FH-DFBÇ) tekniğı ortaya çıkmaktadır. Frekans hoplaması sayesinde frekans çeşitliliğı sağlanmış olur (Ahmed and Mohammad 2008). FH-DFBÇ, alt taşıyıcıların önceden belirlenmiş olan yalancı rastgele (YR) kodlara göre hopladığı yayılı spektrum teknolojisidir (Döttling et al. 2006). YR kodlara göre alt taşıyıcılar farklı frekans bantlarına hoplar. Bu alt taşıyıcılar kullanıcılara paylaşılır ise frekans hoplmalı dik frekans bölmeli çoklu erişim (FH-DFBÇE) oluşur. Bu kodlar sayesinde aynı zaman dilimi içersinde farklı kullanıcıların alt taşıyıcıları aynı frekans bandına atanmaz. Bu şekilde dikgenlik sağlanır ve kullanıcılara ait olan semboller arası karışım oluşmaz.

1.2 LİTERATÜR TARAMASI

Tez çalışmasında anlatılacak çoğullama tekniğı olan DFBÇ sisteminin temelleri 1966 yılında Bell Laboratuarlarında, R.W.Chang tarafından, çoklu kanal iletimi için bant limitli işaretleri sentezleyen bir metot önerilmesiyle atılmıştır (Chang 1966).

DFBÇ tekniğı 1970'li yıllarda KINEPLEX, ANDEFT ve KATHRYN gibi birçok yüksek frekanslı askeri sistemlerde kullanılmıştır (Prasad 2004). 1971'de, Weinstein ve Ebert, DFBÇ tekniğine çok önemli bir katkıda bulunmuştur: Weinstein ve Ebert, çalışmalarında temel bant modölasyon ve demodölasyon işlemlerinin yanında, Ayrık Fourier dönüşümü (AFD) metodunun kullanılabileceğini önermiştir (Weinstein and Ebert 1971).

1980 yılında Peled ve Ruiz, dikgenlik sorununu periyodik ön ek kullanarak çözmüşlerdir (Peled and Ruiz 1980). 1980'lerde DFBC, yüksek çözünürlüklü kayıt aygıtları, sayısal mobil haberleşme ve yüksek hızlı modem sistemleri için kullanılmıştır.

1990'lı yıllarda, DFBC tekniği, mobil frekans modülasyonu (FM) radyo kanalları üzerinden geniş bant veri haberleşmesi, yüksek hızlı sayısal abone hatları (YSAH-1.6 Mbps), asimetrik sayısal abone hatları (ASAH-maksimum 6 Mbps hızında) ve çok yüksek hızlı sayısal abone hatları (ÇHSAH-100 Mbps) sistemlerinde kullanılmaya başlanmıştır (Prasad 2004).

DFBC temelli ilk kablosuz standart ise 1995 yılında hizmete sunulan Sayısal Ses Yayıncılığı ile ortaya çıkmıştır. İki yıl sonra, 1997 yılında ise Karasal Sayısal Video Yayıncılığı yeni bir standart olarak kullanılmaya başlanmıştır (Prasad 2004).

DFBC zamanla değişen mobil çoklu yol ortamına uygulandığında, DFBC sistemi frekans çeşitliliği eksikliği nedeniyle yetersiz kalmıştır. Bu durumu iyileştirip geliştirebilmek için son yıllarda frekans hoplama ile DFBC kombinasyonu kullanılmıştır. Literatürde, frekans hoplamalı dik frekans bölmeli çoklu erişim (FH-DFBCE) sistemindeki güç ve alt taşıyıcı atanması konusunda çalışmalar yapılmıştır (Gault et al. 2006). Bu çalışmada elde edilen sonuçlar doğrultusunda farklı yol kayıp değerleri için baz istasyonlarının kapsama alanının karşılaştırılması yapılmış, yol kayıp değeri arttıkça aynı kapsama alanını elde edebilmek için daha fazla güç gereksinimi olduğu görülmüştür.

FH-DFBCE'nin toplanır beyaz Gauss gürültü (TBGG) ve Rayleigh kanaldaki performans analizi konusunda çalışma yapılmıştır (Ahmed and Mohammad 2008). Elde edilen sonuçlarda TBGG kanaldaki en kötü performansın yavaş Frekans Hoplamalı Dik Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (FH-DFBCE) sistemi olduğu görülmüş ayrıca kullanılan kod kelime uzunluğu arttıkça bit hata oranı (BHO) performansının iyileştiği görülmüştür.

Ayrıca Yüksek Hızlı İndirme Paket Erişimi (YHİPE) ve hızlı hoplamalı DFBC tekniği olan Flash-OFDM performans karşılaştırılması konusunda çalışma yapılmıştır (Arjona et al. 2008). Sonuç olarak YHİPE'nin daha yüksek veri hızı sağladığı buna karşın Flash-OFDM'in düşük ve sabit gecikme performansı sağladığı gösterilmiştir.

FH-DFBÇ ile Çoklu Taşıyıcı Kod Bölmeli Çoklu Erişimin (ÇT-KBÇE, Multicarrier CDMA (MC-CDMA)) tek ve çok hücreli ortam için downlink kanalda karşılaştırılması konusunda çalışması yapılmıştır (Tsumura et al. 2005). Sonuç olarak ÇT-KBÇ'nin daha verimli frekans çeşitliliği sağladığı, FH-DFBÇ'nin ise hücre içi girişimi bastırdığı ve çok hücreli ortamda TBGG kanalda daha düşük yük durumu (veri trafiği) için, ÇT-KBÇE'den daha iyi performans verdiği gösterilmiştir.

Literatürde ayrıca Doppler etkili Rayleigh kanaldaki DFBÇ performansı çalışması (Proakis et al. 2006) mevcuttur. DFBÇ sistemlerinin Doppler kaymasına karşı hassas olduğu ve kanalın zamanla değişmesi sonucunda taşıyıcılar arası karışıma neden olduğu gösterilmiştir.

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen benzetim çalışmaları ve çeşitli uygulamalardaki başarımla FH-DFBÇ sistemleri gürültü ve çok yollu sönmlemeye karşı kabul edilebilir bir hata oranı yakalamakta ve ayrıca kablosuz kanalın zamanla değişimi durumunda frekans çeşitliliği önemli bir avantaj kazandırmaktadır. Bu tez çalışmasında, uygulan benzetim çalışması ile elde edilen başarımların teoriye uygunluğunu ve benzetim parametrelerinin sistem başarımlarına etkisini araştırmayı hedeflemektedir.

1.3 TEZ PLANI

Tezin ilk bölümünde çalışmanın amacı, literatür taraması ve tez planına yer verilmiştir. İkinci bölümünde kablosuz haberleşmedeki iletim ortamı olan kanal çeşitlerine yer verilmiştir. Mobil radyo kanalının yayılım karakteristikleri anlatılmıştır. Tezin üçüncü bölümünde DFBÇ tekniğinin teorisi, yapısı, avantajları ve dezavantajları anlatılmıştır. Dördüncü bölümde çoklu erişim tekniklerinden bahsedilmiş ve FH-DFBÇE tekniği anlatılmıştır. Beşinci bölümde simülasyonlarda kullanılacak olan Dördün Genlik Modülasyonu (DöGM)'nin TBGG, Rayleigh sönmlemeli ve Doppler etkili Rayleigh kanaldaki sembol hata olasılığı (SHO) performanslarının teorik hesaplamaları anlatılmıştır. Altıncı bölümde simülasyon çalışmalarına yer verilmiştir. FH-DFBÇE'nin Toplanır Beyaz Gauss, Rayleigh sönmlemeli ve Dopplerli Rayleigh kanaldaki performansları incelenmiş, karşılaştırmalar yapılmıştır. Son bölümde ise simülasyon sonuçları değerlendirilmiş ve yorumlar yapılmıştır.

BÖLÜM 2

KABLOSUZ HABERLEŞME KANALI

Sayısal kablosuz haberleşme sistemlerinde, vericiden çıkan veriler alıcıya ulaşırken radyo kanalından geçerler. Bu kanal zamanla değişen filtre gibi davranır. Kablosuz ortamda alıcı ile verici arasındaki iletişim kanalları çok çeşitlidir. Verici tarafından gönderilen sinyaller yansıma, kırılma ve saçılma gibi etkiler nedeniyle alıcıya birçok yoldan farklı güçlerde ve farklı zaman gecikmeleriyle ulaşabilirler. Vericiden gönderilen işaret alıcıya direkt olarak ulaşabileceği gibi yansıyarak veya kırılarak farklı yollar izleyerek de ulaşabiliyorsa böyle iletişim ortamlarına çok yollu kanal denir. Bu ise, ortalama gücün değişmesine neden olmaktadır. Yansıma veya kırılma nedeni, gönderme ortamında bulunan yüksek binalar, hareketli veya sabit cisimlerdir. Gönderilen işaretin farklı yollar izleyen kopyaları alıcı girişinde toplanır, zıt fazlı işaretler birbirini zayıflatır veya sönmülemeye neden olurlar.

2.1 TBGG KANAL

Haberleşme kanalı için en basit matematiksel model toplanır gürültü kanalıdır. Bu modelde, iletilecek olan sinyal $s(t)$, toplanır rastgele gürültü süreci olan $n(t)$ tarafından bozulur. Böylece alıcıda alınan işaret

$$r(t)=s(t)+n(t) \quad (2.1)$$

olur.

Fiziksel olarak, eklemeli gürültü süreci, elektronik elamanlardan ve iletişim sistemlerinde alıcıdaki yükselteçte veya iletişimde karşılaşılan karışımdan meydana gelebilir. Eğer gürültü, elektronik elamanlar ve alıcıdaki yükselteçler tarafından oluştuysa, termal gürültü olarak adlandırılır (Proakis and Salehi 2010). Bu tip gürültü, istatistiksel olarak Gauss gürültü süreci biçiminde tanımlanır. Böylece bu model toplanır Gauss gürültü kanalı olarak isimlendirilir.

Bu modelde gürültü örneklerinin genliği bir Gauss olasılık yoğunluk fonksiyonuna sahiptir. Gürültü örnekleri birbirinden bağımsız oldukları için, kendi öz ilinti fonksiyonları ideal olarak bir dürtüdür. Buna göre, TBGG kanalın güç spektral yoğunluğu tüm frekanslar için düzdür. Dolayısıyla beyaz gürültü olarak isimlendirilir. TBGG kanalın genellikle durağan olduğu ve davranışının zamanla değişmediği kabul edilir. Sıfır beklenen değerli Gauss gürültüsü n ile temsil edilirse, olasılık yoğunluk fonksiyonu

$$p(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_n^2}} e^{\left(\frac{-n^2}{2\sigma_n^2}\right)} \quad (2.2)$$

ile tanımlanmaktadır. Burada σ_n^2 , varyansı temsil etmektedir. Beyaz gürültü için, gürültü varyansı

$$\sigma_n^2 = \frac{N_0}{2} \quad (2.3)$$

ile tanımlanır ve N_0 değeri gürültünün gücüdür.

2.2 SÖNÜMLEMELİ KANAL

Radyo frekansı (RF) sinyali, vericiden alıcıya doğru tepeler, binalar veya araçlardan yansiyarak ulaşabilir. Bu ortamda çoklu iletim yolları oluşur, çünkü yansıyan sinyallerin fazı yapıcı veya yıkıcı girişime neden olabilir. Sönümlenme çok kısa mesafelerde olursa (örneğin dalga boyu (λ) mertebelerinde), bu değişimler kısa mesafede 10-30 dB kadar olabilir. Sönümlenmeli kanalın en basit modeli

$$r(t) = h(t) \otimes s(t) + n(t) \quad (2.4)$$

ile verilir. Buradaki \otimes konvolüsyon işlemidir, $h(t)$ kanalın kompleks sönümlenme katsayısıdır ve $h(t) = \alpha(t)e^{j\theta(t)}$ biçiminde ifade edilebilir. Burada $\alpha(t)$ kompleks sönümlenme katsayısının zarfı, $\theta(t)$ ise fazı ifade eder. Sönümlenme katsayısı ve fazının genel ifadesi zamanın fonksiyonudurlar. $\theta(t)$, $[0, 2\pi]$ aralığında uniform dağılımlı rastgele süreç olarak modellenirken, $\alpha(t)$ iletim ortamının durumuna göre farklı olasılık yoğunluk fonksiyonlarına

(OYF) sahip rastgele süreçler olabilir. Kompleks kanal katsayısının zarfı için varsayılan en yaygın OYF'ler, Rayleigh ve Ricean dağılımlarıdır.

2.2.1 Rayleigh Kanal

Rayleigh dağılımı genellikle, direkt görüş hattının olmadığı çoklu yol sönmlemeyi modellemek için kullanılır. Gezgin radyo kanallarında Rayleigh dağılımı sönmlemeye uğramış işaretin alıcıdaki zarfının istatistiksel olarak değişimini tanımlamakta kullanılmaktadır. Zamandan bağımsız karmaşık sönmleme katsayısının dik bileşenleri sıfır beklenen değerli Gauss dağılımlı, zarfı ise Rayleigh dağılımını vermektedir. Rayleigh dağılımı aşağıdaki olasılık yoğunluk fonksiyonuna sahiptir (Haykin and Moher 2005):

$$p(\alpha) = \begin{cases} \frac{\alpha}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{\alpha^2}{2\sigma^2}\right) & 0 \leq \alpha \\ 0 & \alpha < 0 \end{cases} \quad (2.5)$$

Burada σ^2 , dik bileşenlerin (Gauss) ortalama gücüdür. Rayleigh dağılımının ortalama değeri,

$$\bar{\alpha} = E[\alpha] = \int_0^{\infty} \alpha p(\alpha) d\alpha = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cong 1.2533\sigma \quad (2.6)$$

olarak bulunur. Rayleigh dağılımının varyansı ise

$$\begin{aligned} \sigma_{\alpha}^2 &= E[\alpha^2] - E^2[\alpha] = \int_0^{\infty} \alpha^2 p(\alpha) d\alpha - \frac{\sigma^2}{2} \pi \\ &= \sigma^2 \left(2 - \frac{\pi}{2}\right) \cong 0.4292\sigma^2 \end{aligned} \quad (2.7)$$

şeklinde bulunur.

2.2.2 Ricean Kanal

Kablosuz kanallarda bazı durumlarda, birçok saçılmış (endirekt) yollara ilave olarak alıcı ile verici arasında baskın yol (direk görüş hattı) vardır. Bu baskın yol gecikme yayılımını azaltır ve sönmleme derinliğini önemli ölçüde azaltır. Böylece sistem tasarımında sönmleme payı

daha küçük olur. Alınan sinyalin zarfı Ricean olasılık dağılım fonksiyonudur. Ricean dağılımı şu şekildedir (Stüber 2000):

$$p_{\alpha}(\alpha) = \frac{\alpha}{\sigma^2} e^{-\frac{(\alpha^2+A^2)}{2\sigma^2}} J_0\left(\frac{\alpha A}{\sigma^2}\right), \quad A \geq 0 \text{ ve } \alpha \geq 0 \quad (2.8)$$

$$0, \quad \alpha < 0$$

Eşitlik (2.8)'de A , baskın işaretin maksimum genliği; $J_0(.)$ 0.derece Bessel fonksiyonudur. Ricean dağılımı genellikle K parametresi ile ifade edilir ve şu şekilde hesaplanır:

$$K(\text{dB})=10 \log \frac{A^2}{2\sigma^2} \text{ dB} \quad (2.9)$$

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

2.3 MOBİL RADYO KANALININ YAYILIM KARAKTERİSTİKLERİ

Mobil radyo kanalında kablosuz haberleşme sisteminin performansı üzerinde sınırlamalar bulunmaktadır. Alıcı ile verici arasındaki iletim yolu, direk görüş hattının yanı sıra binalar ve dağlar gibi nesnelere dolaylı olarak oluşan engellenen ortam da olabilir. Değişmeyen ve tahmin edilebilir kablolu kanalların aksine radyo kanalları rastgeledir ve analizi zordur.

Elektromanyetik dalga yayılımı çeşitlidir. Genel olarak yansıma, kırınım ve saçılma vardır. Boyutu dalga boyundan daha büyük olan nesnelere üzerinden gelen düzlem dalgalar var ise yansıma oluşur. Yansıyan işaret, nesnelere işaretin gücünün bir kısmını emmesinden dolayı, asıl işaret kadar güçlü değildir. Yansıma, direk görüş hattının olmadığı durumlarda işaretlerin iletimine yardım eder. Şayet alıcı ile verici arasında engel varsa, ikincil dalga engelin arkasından oluşur. Bu duruma kırınım denir. Boyutu dalga boyu ile aynı veya daha küçük nesne üzerinden gelen düzlem dalgalar var ise de saçılma meydana gelir (Rappaport 2002).

Kentsel alanda çalışan birçok hücreli radyo sisteminde alıcı ile verici arasında direk görüş hattı yoktur. Yüksek binalar kırınım kaybına sebep olur. Nesnelere yansıyan birçok dalga nedeniyle, elektromanyetik dalgalar değişken uzunluklu farklı yollarda dolaşır. Bu dalgalar

arasındaki etkileşim, çoklu yol sönümlemeye neden olur ve bu dalgaların gücü, alıcı ile verici arasındaki mesafe arttıkça azalır.

Yayımlı modelleri vericiden belli bir uzaklıkta alınan ortalama sinyal gücünü tahmin etmeye odaklanmıştır. Herhangi bir verici-alıcı mesafesi için ortalama sinyal gücünü tahmin eden yayılım modelleri, vericinin kapsama alanını kestirmek için kullanışlıdır. Bu tür modellere geniş ölçekli sönümleme denir (Rappaport 2002). Alınan sinyal gücünün çok kısa mesafelerde veya kısa zaman süresinde ani değişmelerini tanımlayan modeller ise küçük ölçekli sönümlerdir (Rappaport 2002). Küçük ölçekli sönümleme, işaretin zaman yayılımı ve kanalın zamanla değişim özelliğinden kaynaklanmaktadır (Sklar 1997). İşaret parametreleri (bant genişliği, simge periyodu v.s) ve kanal parametreleri arasındaki ilişkiye göre kanaldan iletilen her farklı işaret farklı sönümlemeye uğrayacaktır (Stüber 2000). Çok yollu yayılım, zaman yayılımı ve frekans seçici sönümlemeye yol açarken, Doppler yayılımı ise frekans yayılımı ve zaman seçici sönümlemeye yol açar.

2.3.1 Gecikme Yayılımı

Sinyal zamanla değişen çoklu yol kanalda yayıldığında, değişken yollardan alıcıya ulaşan sinyal zamanları arasında farklar oluşur. Gecikme yayılımı bu farklardan meydana gelir. Gecikme yayılımı sırasıyla yayılım çevresinin boyutu ve yolun uzunluğuyla orantılıdır. Bu yayılımın olumsuz etkisi semboller arası karışımıdır. Bu durum, gecikmiş çoklu yol sinyalin kendinden sonra gelen sembollerle çakışmasından dolayı oluşur. Yüksek veri hızlarına ulaşıldığında bu etki kötüleşir ve iletilen sinyalin gücünü artırarak çözülemez. Semboller arası karışımı (SAK) önlemek için, veri hızının gecikme yayılımının tersinden büyük olmaması gerekir. Eğer yüksek veri hızlarında çalışılmak isteniyorsa, kanal denkleştiricilerin kullanılması gerekir (Bing 2000). Birçok donanımlı alıcıda, çoklu yol elemanlarını bastırarak adaptif denkleştiriciler kullanılır ve performans bu şekilde artırılır. Bu denkleştiriciler kablosuz kanalın darbe cevabını doğru bir biçimde kestirimini yapmalıdır (Bing 2000). Zamanla değişen kablosuz kanallarda bunu gerçekleştirmek zordur. Denkleştiricinin dışında yayılım spektrum tabanlı geniş bant kablosuz sistemler korelatör adlı basit cihaz kullanır ve çoklu yol etkilerini bastırır (Bing 2000).

Sönümlenmeli bir kanala gönderilen darbe işaretinin, alıcıda ilk ve son görünümü arasındaki farka, çoklu yol yayılım maksimum gecikme yayılımı denilmektedir (Sklar 1997, Stüber 2000).

2.3.2 Kanal Evre Uyumlu Bant Genişliği

Kanal evre uyumlu bant genişliği, kanalın, belirli bir işaretin spektral bileşenlerini yaklaşık olarak eşit kazanç ve doğrusal fazda geçirdiği frekans aralığıdır ve B_c ile gösterilebilir. Kanal evre uyumlu bant genişliği ile maksimum gecikme yayılımı (T_m) arasındaki ilişki,

$$B_c \approx 1/T_m \quad (2.10)$$

şeklinde yazılabilir (Haykin and Moher 2005). Örneğin maksimum gecikme yayılımı 100 ns olan bir RF kanalın uyumlu bant genişliği $B_c \approx \frac{1}{100ns} = 10\text{MHz}$ 'dir.

2.3.3 Kanal Evre Uyumlu Zamanı

Kanalın evre uyumlu zamanı, T_c , kanalın iletilen işarete tepkisinin aynı olduğu zaman aralığıdır. Diğer bir deyişle kanalın dürtü (impulse) cevabının sabit kaldığı zaman aralığıdır (Haykin and Moher 2005).

2.3.4 Doppler Yayılımı

Verici veya alıcı diğerine göre hareket ediyorsa, alınan sinyalin frekansı, kaynaktan çıkan frekansla aynı olmaz. Eğer birbirlerine doğru hareket ediyorsa alınan sinyalin frekansı daha büyük, birbirlerinden uzaklaşıyorlarsa daha küçük alınır. Buna Doppler etkisi denir. Doppler yayılımında Doppler frekansı

$$f_d = \frac{v}{c} f_c \cos(\theta) = \frac{v}{\lambda_c} \cos(\theta) \quad (2.11)$$

ile belirtilir. λ_c , taşıyıcı frekansın dalga boyudur. Alınan işaretin frekansı ise

$$f_r = f_c + f_d \quad (2.12)$$

olur. Burada, f_d Doppler frekansı ya da kayması, v alıcı-verici bağıl hızı, c ışık hızı, f_c taşıyıcı frekans ve θ ise dalganın geliş açısıdır (Haykin and Moher 2005).

2.4 SÖNÜMLEMELİ KANALLARIN SINIFLANDIRILMASI

Kablosuz haberleşme uygulamalarındaki kanallar TBGG kanala göre daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Buna neden olan en büyük etken ise sönmleme etkisidir (Hall and Wilson 1998).

2.4.1 Düz Sönmleme

Frekans seçicilik, sönmlemiş kanalların önemli özelliğidir. Eğer iletilen sinyalin tüm spektral parçaları sönmlemmeden aynı biçimde etkilenirse, sönmleme frekans seçici olmayan veya düz sönmlemeli şeklindedir. Bu şekilde iletilen sinyalin bant genişliği (W) kanalın uyumlu bant genişliği olan B_c 'den daha küçük olur ($B_c \gg W$) veya sembol süresi T_s gecikme yayılımından büyüktür ($T_s \gg T_m$). Dolayısıyla bu tür sistemlere dar bant sistemler denir. Daha önce eşitlik (2.10) ile verildiği gibi uyumlu bant genişliği maksimum gecikme yayılımı ile ilişkilidir.

Düz sönmlemede kanalın oluşturduğu çok yolluluk alıcıda çözümlenemez, dolayısıyla alıcı gelen işareti tek bir yoldan sönmlemeli olarak alır. Fakat, alıcıdaki işaretin gücü değişmektedir; çünkü çok sayıda yolun etkisiyle kanalın kazancında değişmeler olmaktadır. Düz sönmlemeli kanallar genlik değiştiren kanallar olarak bilinir ve kanala gönderilen işaretin bant genişliği kanalın bant genişliğinden çok daha dar olduğundan dar bantlı kanallar olarak da bilinmektedirler. Düz sönmlemeli kanallar derin sönmlemelere neden olurlar, bunun için sönmleme olmayan kanallara oranla daha düşük bit hata olasılığı elde etmek için gönderilecek işaretin gücü 20 dB ya da 30 dB fazla olmalıdır (Stüber 2000). Kanalın düz sönmlemeli olması için, iletilen işaretin bant genişliği (W), kanalın evre uyumlu bant genişliğinden daha küçük olacak biçimde seçilebilir, diğer bir deyişle veri iletim hızı düşürülebilir. Düz sönmlemeli kanalda alıcıda alınan işaret eşitlik (2.4)'te verilen denklemle ifade edilir.

2.4.2 Frekans Seçici Sönümleme

Eğer, iletilen sinyalin spektral parçaları farklı genlik kazançları ve faz kaymalarından etkilenirse, bu sönümlemeye frekans seçici denir. Bu tür durumda, iletim bant genişliği kanalın uyumlu bant genişliğinden daha büyüktür ($W \gg B_c$). Diğer bir deyişle kanalın darbe cevabı iletilen işaretin simge periyodundan daha büyük çok yollu yayılıma sahiptir. Bu şekilde alıcıdaki işaret gönderilen işaretin zayıflamış ve zamanda gecikmiş birçok bileşeninden oluşacaktır ki bu durumda alıcıda işaret bozulmaya uğramış olur. Frekans seçici sönümleme iletilen simgelerin kanal içinde zaman yayılımına uğramalarından kaynaklanmaktadır. Bu yüzden bu kanallar SAK'a neden olurlar. Frekans seçici kanalda alınan işaret,

$$r(t) = \sum_{l=0}^{L-1} h_l(t) \cdot s_l(t - \tau_l(t)) + n(t) \quad (2.13)$$

ile verilir. Burada L kanalın frekans seçiciliğinden dolayı, alıcıda çözülen yol sayısıdır ve $L \approx \frac{W}{B_c} + 1$ 'dir. $s_l(t - \tau_l(t))$ alıcının l 'inci yoldan aldığı iletilen işaret, $\tau_l(t)$ ise l 'inci yolun gecikmesidir. Frekans seçici kanalın en önemli etkisi, bir önceki denklemde görüldüğü gibi çok yolluluğun alıcıda çözülmesi, dolayısıyla da alıcıda semboller arası karışımın oluşmasıdır. SAK alıcıda sembollerin hatalı tespit edilme olasılığını artırır. Dolayısıyla performansı olumsuz yönde etkiler. SAK'ın düzeltilmesi için alıcıda denkleştirici kullanılır, bu da alıcı karmaşıklığını artırır.

2.4.3 Hızlı Sönümlenme

Kanalın evre uyumlu zamanı, sönümlenme sürecinin ilişkilendirildiği (Aynı frekansta fakat farklı zamanda alınan kanal cevabının iki örneğinin korelasyon fonksiyonunun alındığı zaman periyodu) zaman periyodunu belirler. Kanalın evre uyumlu zamanı ile kanalın Doppler yayılımı olan f_d ile ilişkisi

$$T_c \approx \frac{1}{f_d} \quad (2.14)$$

ile verilir (Haykin and Moher 2005). İletilen temel bant işaretin zamanda değişim hızının kanalın değişim hızına göre ne kadar hızlı olduğu kanalın Hızlı sönümlenmeli ya da Yavaş sönümlenmeli kanal olduğunu belirler. Hızlı sönümlenmeli kanalda kanalın dürtü cevabı bir

simge periyodu boyunca çok hızlı değişir. Bu durum kanalın evre uyumlu zamanının (T_c) iletilen işaretin simge periyodundan (T_s) daha küçük olduğu anlamına gelmektedir ($T_s > T_c$). Diğer bir ifadeyle Doppler yayılımının, işaretin bant genişliğinden büyük olması ($f_d > W$) anlamına gelir.

Bir kanalın hızlı ya da yavaş sönmülemeli kanal olması bu kanalın düz ya da frekans seçici sönmülemeli kanal olduğunu belirtmez. Hızlı sönmüleme sadece kanalın hareket sonucu değişme oranı ile ilgilidir. Hızlı sönmülemeli kanalda sönmülenme katsayısı zamanın fonksiyonudur dolayısıyla eşitlikler (2.4) ve (2.13)'de verilen ifadeler, hızlı sönmülenme için geçerlidirler. Sönmülenme katsayısı rastgele süreçtir.

2.4.4 Yavaş Sönmülenme

Yavaş sönmülemeli kanalda kanalın dürtü yanıtı iletilen temel bant işaretin değişimine göre daha yavaş değişmektedir. Bu durumda kanalın dürtü yanıtının birkaç simge periyodu boyunca sabit olduğu düşünülebilir. Frekans bölgesinde, kanalın Doppler yayılımı temel bant işaretin bant genişliğinden çok küçüktür. Yavaş sönmüleme şu koşullarda meydana gelir:

$$T_s \ll T_c, W \gg f_d \quad . \quad (2.15)$$

Gezgin birimlerin hızları ve temel bant işaretin karakteristiği iletilen işaretin hızlı ya da yavaş sönmülemeye uğrayıp uğramayacağını belirler. Yavaş sönmülemeli kanal durumunda sönmülenme katsayısı yani kompleks kanal katsayısının zarfı ve fazı, zamanın fonksiyonu olmayan rastgele değişkenlerdir. Yavaş sönmülenme durumunda, düz sönmülenme ve frekans seçici sönmülenme için alınan işaretler sırasıyla aşağıdaki gibi olur:

$$r(t) = \alpha e^{j\theta} s(t) + n(t) \quad (2.16)$$

ve

$$r(t) = \sum_{l=0}^{L-1} \alpha_l e^{j\theta_l} s_l(t - \tau_l) + n(t) \quad . \quad (2.17)$$

Denklem (2.16) ve (2.17)'de görüldüğü gibi kompleks sönmülenme katsayısı dolayısıyla zarfı ve fazı, zamandan bağımsız rastgele değişkenlerdir.

2.5 DÜZ SÖNÜMLEMELİ VE DOPPLERLİ KANAL MODELİ

İletilen bant-geçiren işaret $s(t)$ 'yi aşağıdaki biçimde yazabiliriz:

$$s(t) = \text{Re}[\tilde{s}(t)e^{j2\pi f_c t}] . \quad (2.18)$$

Burada $\tilde{s}(t)$ iletilen işaretin alçak-geçiren karşılığı (kompleks zarfı), f_c taşıyıcı frekansdır ve $\text{Re}[Z]$, Z nin reel kısmını ifade eder. Kanalın düz sönmlemeli, Doppler kaymasının olması ve kanalın M tane yoldan oluşması durumlarında, gürültüsüz alınan işaret (Stüber 2000)

$$r(t) = \text{Re}\left[\sum_{m=1}^M C_m e^{-j2\pi[(f_c+f_{D,m})(t-\tau_m)]}\tilde{s}(t-\tau_m)\right] \quad (2.19)$$

olur. Burada C_m ve τ_m m 'inci yolun genlik ve faz gecikmesidirler, $f_{D,m}$, m 'inci yolun Doppler frekansdır. $f_{D,m} = f_0 \cos \theta_m$ ve $f_0 = \frac{v}{\lambda_c}$, $\lambda_c = \frac{c}{f_c}$, burada v Doppler kaymasına sebep olan hızdır.

Alınan işaretteki fazı

$$\phi_m(t) = 2\pi\{(f_c + f_{D,m})\tau_m - f_{D,m}t\} \quad (2.20)$$

'dır. Böylece kanal alçak geçiren zamanla değişen filtre olarak aşağıdaki dürtü tepkisiyle modellenebilir:

$$g(t, \tau) = \sum_{m=1}^M C_m e^{-j\phi_m(t)} \delta(\tau - \tau_m) . \quad (2.21)$$

Zaman gecikmeleri τ_m 'lerin sembol süresine göre çok küçük olması durumunda yani düz sönmleme olması durumunda τ_m 'ler $\hat{\tau}$ 'ya eşit kabul edilebilir. Bu durumda kanalın dürtü cevabı

$$g(t, \tau) = \sum_{m=1}^M C_m e^{-j\phi_m(t)} \delta(\tau - \hat{\tau}) = g(t) \delta(\tau - \hat{\tau}) \quad (2.22)$$

olur.

BÖLÜM 3

DİK FREKANS BÖLMELİ ÇOĞULLAMA (DFBÇ)

Bu bölümde, çalışmanın en önemli bileşenlerinden olan Dik Frekans Bölmeli Çoğullamanın temel bileşenleri anlatılmıştır.

Çok Taşıyıcılı sistemler birçok kablosuz haberleşme sistemlerinde kullanılmaktadır. İlk olarak 1950'li yılların sonunda askeri yüksek frekans telsizlerinde uygulanmıştır. 1990'lardan itibaren Avrupa'da sayısal ses ve görüntü yayını, sayısal abone hatları (SAH) ve birçok farklı kablosuz uygulamalarda kullanılmıştır.

Fakat çok taşıyıcılı modülasyonda başarıyı düşüren sorunlar da mevcuttur, en önemlileri alt taşıyıcıların dikliğini bozan frekans ve zaman kaymasıdır. Çok taşıyıcılı sistemlerin bir diğer problemi birçok alt taşıyıcının aynı fazda oldukları zaman üst üste binmesi sonucu oluşan yüksek Tepe-Ortalama Değer (TOD) oranıdır (Andrews et al. 2007). Bu da doğrusal olmayan kuvvetlendiriciler kullanıldığında ciddi bir sorun meydana getirir. Fazları aynı olan K tane işaret toplandığı zaman oluşan güç ortalama gücün K katı olur ve oluşan bu büyük TOD değerinin etkilerini yok etmek için alıcıda daha karmaşık sistemlerin tasarlanması gerekir (Andrews et al. 2007).

DFBÇ tekniği, veriyi kendisine ait frekans bandını verimli kullanabilmek için birbirleriyle örtüşmesine izin verilen sınırlı sayıda farklı alt kanaldan paralel olarak gönderme ilkesine dayanmaktadır (Andrews et al. 2007). Her bir alt taşıyıcı bir diğeriyle dikgen olduğu için birbiriyle girişim yapmamakta ve böylece frekans bandı daha verimli kullanılabilir.

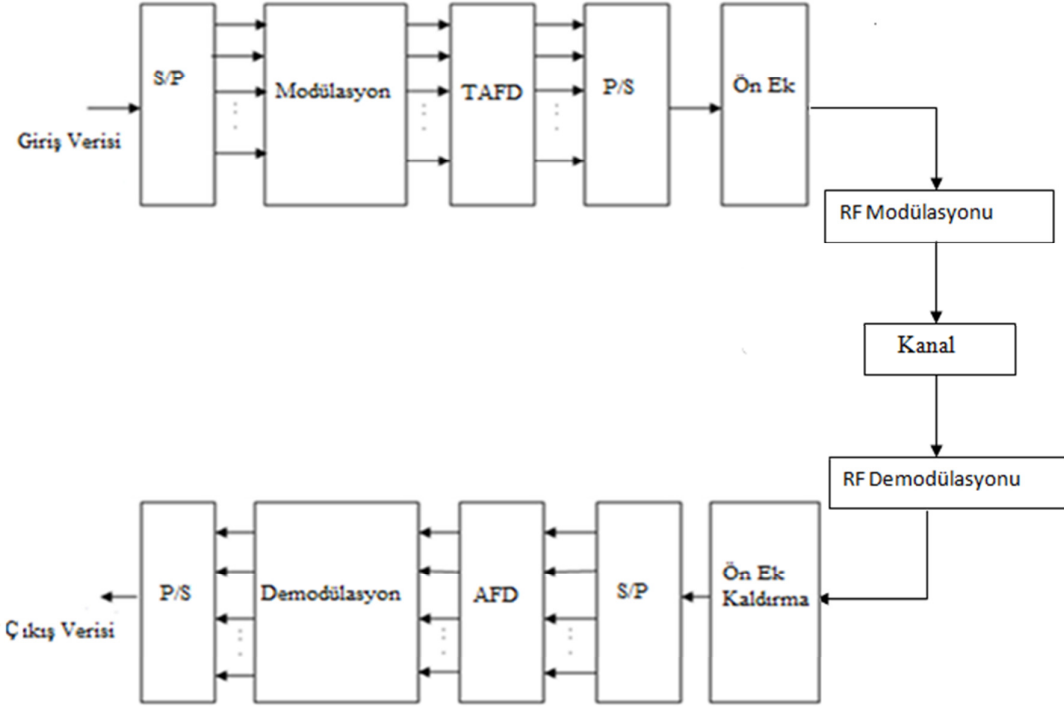
DFBÇ'nin temel amacı yüksek hızlı veri iletimini belli sayıda alt taşıyıcılar üzerinden ileten daha düşük hızlı veri akışına bölmektir, böylece geniş veri iletim bandını dar alt bantlara bölmektir. Dar alt bantlar kanalın evre uyumlu bant genişliğinden küçük olacak biçimde

seçilerek, frekans seçici geniş bant, düz sönümlemeli dar alt bantlara dönüşür. Dolayısıyla alıcıda kullanılacak denkleştiriciler basitleşir. Bu durum DFBC'nin en önemli avantajıdır.

Giriş veri akışı N adet alt taşıyıcıya bölünerek sembol zamanı N kat artırılmış olur. Semboller arası girişimi tamamen yok etmek için her bir DFBC sembolü için bir koruma zamanı tanımlanır. Koruma zamanı beklenen yayılım gecikmesinden daha büyük seçilerek sembole ait çoklu yol parçalarının bir sonraki işaretle girişim yapmaması sağlanmış olur. En önemli koruma zamanı ekleme planı sembolün periyodik olarak uzatılmasıdır. İletilen işaretin son sembollerinin bir kısmı işaretin başına eklenir. Bu şekilde sembol uzunluğu artmış olur. Seçilen ön ek sembolü, iletilen işaretin herhangi bir yerinden alınabilir (Goldsmith 2005).

3.1 DFBC TEMEL YAPISI

DFBC verici-alıcı blok diyagramı Şekil 3.1'de verilmiştir. DFBC'de ilk önce ikili veriye seri/paralel (S/P) dönüşümü yapılır, paralel kol sayısı, kullanılacak alt taşıyıcı sayısı kadardır. S/P dönüşümü ile giriş veri hızı alt taşıyıcı sayısı ile orantılı olarak (N) azalır. Daha sonra paralel koldan gelen ikili verilere temel bant kompleks modülasyon uygulanır. Modülasyon sonrası TAFD uygulanarak ve P/S dönüşümü ile DFBC sembolleri zaman boyutunda elde edilebilir. SAK'ı ortadan kaldırmak için DFBC sembollerine ön ek eklenir böylelikle temel bant DFBC işareti kanal öncesi elde edilir. Temel bant DFBC işareti bir RF işareti (f_c) ile modüle edilerek DFBC RF işareti elde edilir. Alıcıda ise vericide yapılan işlemlerin tersleri yapılarak orijinal veriler geri elde edilir.



Şekil 3.1 DFBC sistemi verici-alıcı blok diyagramı.

3.2 DFBC YAPISI

3.2.1 DFBC’de Dikgenlik

DFBC tekniğinde temel amaç, iletişimin yapılacağı frekans spektrumundaki bant genişliğinin çok sayıda alt taşıyıcıya bölünerek, her bir alt taşıyıcı için yeterli bir frekans ayrılması ve veri iletiminin paralel ve düşük hızlarda yapılmasıdır (Cimini 1994). Alt taşıyıcıların birbirine dikgen olması da her birinin bir sembol periyodu boyunca birbirlerinin tam sayı katları olacak şekilde dizilmeleriyle açıklanır. Bu tekniğin doğru çalışması açısından, sistemdeki tüm taşıyıcılar arasında tanımlanmış ve kesinleştirilmiş bir dikgenlik ilişkisi mevcuttur.

Zaman bölgesinde ve $0 < t < T$ aralığında, bir $\phi_k(t)$ fonksiyonu şu şekilde tanımlansın:

$$\phi_k(t) = \sqrt{\frac{2}{T}} \cos(2\pi(f_c + k\Delta f)t) \quad . \quad 0 < k < N-1 \quad (3.1)$$

Bu fonksiyondan türetilen $\phi_i(t)$ ve $\phi_j(t)$ fonksiyonları, eğer aşağıda ifade edilen şartı sağlıyorsa birbirleriyle dikgendir denir.

$$\begin{aligned} \langle \phi_i, \phi_j \rangle &= \frac{2}{T} \int_0^T \cos(2\pi(f_c + i\Delta f)t) \cdot \cos(2\pi(f_c + j\Delta f)t) \cdot dt \\ &= \frac{2}{T} \int_0^T \frac{1}{2} (\cos(2\pi(i - j)\Delta f \cdot t) + \cos(2\pi(2f_c + (i + j)\Delta f)t)) \cdot dt = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases} \end{aligned} \quad (3.2)$$

Eşitlik (3.2)'de gösterilen fonksiyonları (ϕ_i, ϕ_j) DFBC sisteminde iki alt taşıyıcı olarak düşünürsek, bu iki taşıyıcının birbirine dik olması için, ardışık alt taşıyıcılar arasındaki minimum mesafe $\Delta f = 1/T$ 'dir, yani sembol süresinin tersine eşit olmalıdır. Birden fazla taşıyıcı (N tane) olması durumunda bunların birbirine dik olması için her bir taşıyıcının frekansı, bir öncekine göre $1/T$ kadar artar. Dolayısıyla

$$f_i = f_c + \frac{i}{T}, \quad i=0,1,2,\dots,N-1 \quad (3.3)$$

i 'inci taşıyıcının frekansı olur. Burada f_c , RF taşıyıcı frekansıdır.

DFBC sisteminde, frekans spektrumunda her bir alt taşıyıcıya ait genlik değeri, sistemdeki diğer alt taşıyıcıların merkez frekansında sıfırdır. Bu durum, her bir taşıyıcı, diğer tüm alt taşıyıcılarla sıfır enerjili frekans noktasına sahip olacak şekilde yerleştirilmesi ile ifade edilir. DFBC sistemlerinde, alt taşıyıcılar arasındaki mesafe dikgenliği garanti altına alacak şekilde seçilmelidir. Bunun sonucunda alt taşıyıcılar arasında bir karışım ihtimali ortaya çıkmamaktadır. Her bir alt taşıyıcının, birbirine teorik olarak mümkün olan en kısa aralıklarla yerleştirilmesi ile sistem başarımı artırılmış olmaktadır.

3.2.2 Alt Taşıyıcıların Üretilmesi

DFBC tekniğini Frekans bölmeli çoğullama (FBC) tekniğinden ayıran en önemli özelliğin daha verimli bir yöntem olan alt taşıyıcıların birbirine dik olacak şekilde üst üste bindirilmesidir. Bu işlem AFD kullanarak gerçekleştirilebilir. 1971 yılında Weinstein ve Ebert modülasyon ve demodülasyon işleminin bir parçası olarak paralel bilgi iletim sistemlerine AFD uygulamışlardır (Tunçkaya 2009). Bu nedenle alıcıda AFD kullanırsak ve her bir alt taşıyıcının merkez frekansında ilintisini hesaplırsak çapraz girişim olmadan iletilen bilgiyi

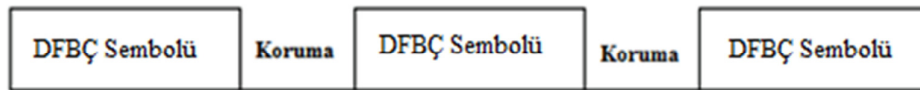
tekrar elde edebiliriz. Buna ek olarak AFD tabanlı çoklu taşıyıcı tekniğini kullanarak frekans bölmeli çoğullama sadece bant geçiren filtre ile değil aynı zamanda temel bant işlemi ile elde edilir. Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD- Fast Fourier Transform (FFT)) sağlayan entegre çiplerin geliştirilmesiyle AFD uygulamalarının daha kolay gerçekleştirilebileceği görülmüştür.

Normal bir FBC sistemde taşıyıcıların her biri, bir osilatör yardımı ile üretilmektedirler. Ancak DFBC’de bu işlem tek bir Ters Ayrık Fourier Dönüşümü (TAFD) kullanarak gerçekleştirilebilir. TAFD ile her bir alt taşıyıcının maksimum noktalarına gelen frekans tayf değerleri hesaplanır. TAFD her bir alt taşıyıcıyı diğer alt taşıyıcılardan etkilenmeyecek şekilde modüle edebilir (Tsumura et al. 2005). Her bir taşıyıcının tepe noktasında diğer taşıyıcılara ait bileşenler sıfır değerini alır. Bu da taşıyıcıların birbirine dik olduğunu gösterir.

İşaretlerin alıcı tarafta demodüle edilmesi sırasında AFD kullanılır. AFD uygulaması TAFD işleminin tersini yaparak modüle etmiş olduğumuz işareti tekrar elde etmemizi sağlar.

3.2.3 Koruma Aralığı ile Blok İletimi

Bir DFBC sembolünün N tane veri sembolünü içerdiği düşünüldüğünde, T_s bir alt taşıyıcı sembol zamanı ve T DFBC sembol süresi ise $T = N.T_s$ ’dir. Her bir DFBC sembolünün birbirinden bağımsız olmasını sağlamak için kablosuz kanala göndermeden önce, DFBC sembolleri arasına koruma zamanı koymak gereklidir. Şekil 3.2’de DFBC sembollerine koruma eklenmesi gösterilmiştir.



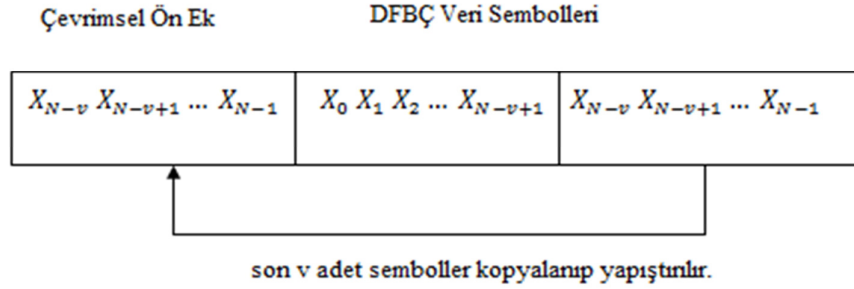
Şekil 3.2 DFBC sembollerine koruma eklenmesi.

Bu planda, seri DFBC sembolleri alındıktan sonra koruma süresi olan T_g , kanalın gecikme yayılımı T_m ’den büyük olduğu sürece her bir DFBC sembolleri arasında girişim meydana

gelmez. Yeterli derecede büyük koruma bandı kullanılarak DFBC sembolleri arasında karışım olmaması sağlanır.

3.2.4 Periyodik Ön Ek

DFBC sinyali kanala gönderildiğinde iki problem oluşur. Birincisi, kanalın dağıtıcı özelliği alt taşıyıcılar arasındaki dikgenliği bozar ve taşıyıcılar arası karışıma (TAK) sebep olur. Bu da SAK'ın oluşmasına neden olur. DFBC sembolleri arasında boş koruma periyodunun yerleştirilmesi alt taşıyıcıların arasındaki dikgenliği bozmadan, SAK'ın oluşmasını engeller. Periyodik ön ek kullanılarak bu problem çözülür. Çevrimsel ön ek hem alt taşıyıcı dikgenliğini korur hem de DFBC sembolleri arasındaki SAK'ı önler. Bu yüzden alıcıdaki denkleştirme çok kolay olur (Goldsmith 2005).



Şekil 3.3 DFBC periyodik ön ek.

N uzunluklu DFBC sembolü için Şekil 3.3'de görüleceği gibi eğer maksimum kanal gecikme yayılımı $v+1$ örneklilik süreçse, DFBC sembolleri arasında en az v örneklilik koruma bandı eklemek, art arda gelen DFBC sembollerini bağımsız hale getirir. N uzunluğunda vektör olan DFBC'nin zaman bölgesinde gösterimi

$$x = [x_1 x_2 \dots x_N] \quad (3.4)$$

ile verilir. v uzunluğundaki ön ek ekledikten sonra, iletilen sinyal şu hali alır (Goldsmith 2005):

$$x_{cp} = [x_{N-v} x_{N-v+1} \dots x_{N-1} x_0 x_1 \dots x_{N-1}] \quad (3.5)$$

Çevrimsel Ön Ek
Orijinal Veri

Periyodik ön ek, basit ve akıllıca olmasına rağmen tamamıyla avantajlı değildir. Hem bant genişliği hem de güç dezavantajı vardır. ν tane fazlalık semboller gönderildiği için DFBC'nin bant genişliği B 'den $(N+\nu/N)B$ 'ye yükselir. Benzer olarak, eklenen ν sembolü iletim gücünün maliyetine eklenir. Böylece, ön ekin $10\log_{10}(N+\nu/N)$ dB'lik güç fazlalığı vardır. Kısacası, periyodik ön ek kullanımı veri hızı ve güç kayıplarına yol açar.

$$\text{Hız Kaybı}=\text{Güç Kaybı}=\frac{N}{N+\nu} . \quad (3.6)$$

Boşa harcanan güç komşu kullanıcıların karışımlarına sebep olur (Andrews et al. 2007).

3.2.5 DFBC Tekniğinin Temel Özellikleri

DFBC sisteminde $1/T_b$ (T_b bit süresi) bit hızıyla gelen veri önce temel bant (taşıyıcısız) modülasyona tabi tutulur. Modülasyon sonrası $\frac{1}{(\log_2 M T_b)} = 1/T_s$ olan sembol hızı (T_s modüle edilmiş bir sembol süresi) N taşıyıcılı bir DFBC sistemde, her bir alt taşıyıcıda N katsayısı kadar azalır ve $\frac{1}{(NT_s)} = 1/T$ olur, burada T bir DFBC sembolün süresidir. Çoklu taşıyıcılı işaret herhangi bir t zamanı için genel olarak aşağıdaki ifadeyle verilir (Öztürk ve Tunçkaya 2010):

$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=0}^{N-1} X_i e^{j2\pi t/T} . \quad 0 \leq t \leq T \quad (3.7)$$

Bu ifadede karmaşık örnekler $\{X_i\}$ temel bantta modüle edilmiş sembollerdir ve $f_i = i/T$, $i=0,1,\dots, N-1$ alt taşıyıcı frekanslarıdır. Sürekli zaman işareti $x(t)$ 'nin $t = \frac{nT}{N} = nT_s$ ($n = 0,1, \dots, N-1$) anlarında örneklenmesiyle aşağıdaki kesikli zaman dizisi elde edilir:

$$x_n = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=0}^{N-1} X_i e^{j2\pi n i/N} . \quad 0 \leq n \leq N-1 \text{ (TAFD)} \quad (3.8)$$

Bu ifadede, $\{X_i\}$ örneklerin TAFD'sini verir. Dolayısıyla DFBC sembolleri, temel bant modüle edilmiş sembollerin TAFD'sinin alınmalarıyla elde edilirler. Daha sonra verici çıkışında DFBC sembolleri RF taşıyıcı ile modüle edilirler. Alıcıda ise, önce RF demodülasyona tabi tutulan DFBC semboller, aşağıda verilen AFD karmaşık sembollere geri dönüştürülürler.

$$X_i = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-j2\pi ni/N}. \quad 0 \leq i \leq N-1 \text{ (AFD)} \quad (3.9)$$

3.2.6 Kanal Denkleştirme

DFBÇ sisteminde vericiden gönderilen veriler alıcıya ulaşırken kanaldan geçer ve düz sönümlenmeden dolayı değişime uğrar. Dolayısıyla alıcıda bu gönderilmiş olan verilerin geri elde edilmesi gerekir. Bunun için de gönderilmiş olan sembollerin kestiriminin yapılması gerekir. Alınan sembollerin kestiriminin yapılabilmesi için alt taşıyıcıların genlik ve fazının bilinmesinin karşılığı olan her bir alt taşıyıcının kompleks kanal kazancının bilinmesi gerekir. AFD yapıldıktan sonra, veri sembollerinin tek-seviyeli frekans bölgesi denkleştirici (FBD) kullanılarak kestirimi yapılır (Haykin and Moher 2005).

$$\hat{X}_i = Y_i / H_i . \quad (3.10)$$

Eşitlik (3.10)'da \hat{X}_i i'ninci kestirilmiş işaret, Y_i kanal çıkışındaki i'ninci işarettir. H_i ise i'ninci kompleks kanal katsayısıdır ve böylece bu hem fazı doğrulamış olur hem de karar verme işleminden önce genliği denkleştirir. FBD, kanalın etkisini ters yapmasına rağmen gürültüyü bastıramaz. Sonuç olarak kestirim sonucu elde edilen verilerle kaynaktan çıkan veriler karşılaştırıldığında, hem kestirim sonucu çıkan hatalardan hem de gürültü etkisinden dolayı hatalar meydana gelir.

3.3 DFBÇ'NİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

DFBÇ iletişim şekli aşağıdaki avantajlara sahiptir.

- Kanalın frekans seçiciliğini azaltan bir tekniktir. Verilen bir gecikme yayılımı için denkleştirici kullanan tek taşıyıcılı bir sisteme göre alıcı karmaşıklığını önemli ölçüde azaltır.
- Zamanda yavaş değişen kanallarda dar bantlı alt kanalın işaret-gürültü oranına göre alt taşıyıcı başına veri hızını ayarlayarak kapasiteyi artırabilir (Andrews 2007).
- DFBÇ dar bant karışıma karşı oldukça dayanıklıdır. Çünkü böyle bir girişim alt taşıyıcının sadece küçük bir yüzdesini etkiler.

DFBÇ'nin tek taşıyıcılı modülasyon tekniklerine göre dezavantajları ise şunlardır:

- DFBÇ frekans kaymasına ve faz gürültüsüne karşı daha fazla hassastır.

- DFBC göreceli olarak büyük tepe değeri ortalama değere (TOD) sahiptir. Bu da RF kuvvetlendiricisinin güç etkinliğini azaltır.

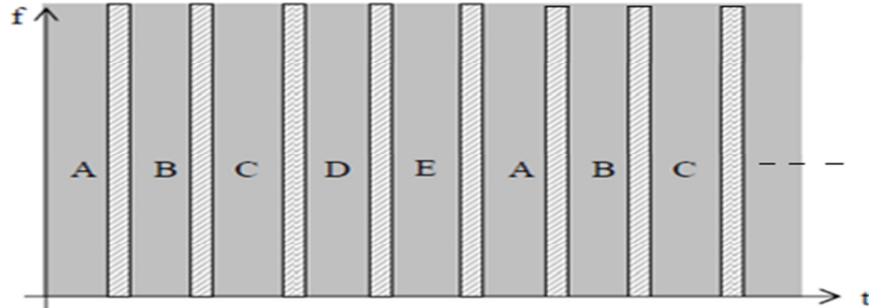
BÖLÜM 4

FREKANS HOPLAMALI DİK FREKANS BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM (FH-DFBÇE)

Bu bölümde çalışmanın temel konusu olan Frekans Hoplamalı Dik Frekans Bölmeli Çoklu Erişim tekniği, öncelikle çoklu erişim tekniklerinin kısa tanıtımı ve FH-DFBÇE'nin temel bileşenlerinin verilmesiyle anlatılmıştır.

4.1 ÇOKLU ERİŞİM TEKNİKLERİ

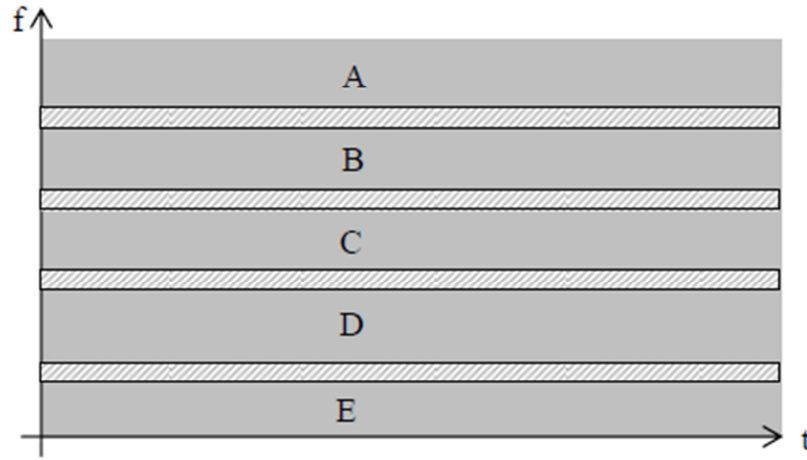
Bilginin, aynı iletim ortamı kullanılarak birden fazla vericiden birden çok alıcıya iletilmesine çoklu erişim teknikleri denir. İletim ortamının aynı olması hızların da aynı olmasını gerektirmez. Örneğin bir koaksiyel kablo üzerinden çok hızlı veri haberleşmesi yapılabileceği gibi aynı anda düşük hızlı telgraf haberleşmesi de yapılabilir. Gittikçe küçülen dünyada artan haberleşme ihtiyacını karşılayabilmek için çoklu iletişim tekniklerini kullanmak, yeni teknikler geliştirmek gerekli olmuştur (URL-1 2012). Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (ZBÇE) ve Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (FBÇE) gibi klasik çoklu iletişim tekniklerinin yanında Doğrudan Dizili Kod Bölmeli Çoklu Erişim (DD-KBÇE), Frekans Hoplamalı (FH)-KBÇE, gibi yöntemler de kullanılmaktadır.



Şekil 4.1 Zaman bölmeli çoklu erişim.

Zaman Bölmeli Çoklu Erişimde, Şekil 4.1’de görüldüğü gibi tüm frekans bandı kullanıcılar arasında zaman boyutunda paylaşılır. Her bir zaman dilimi periyodik olarak bir kullanıcıya tahsis edilir. Tüm kullanıcıların yer aldığı zaman dilimine çerçeve denir. Zaman dilimleri arasında, birbirleriyle çakışmamaları için güvenlik aralığı olarak adlandırılan kısa bir süre bırakılır.

İkinci nesil hücresel sistem olan GSM (Mobil Haberleşme için Küresel Sistem-Global System for Mobile Communications) sisteminde her bir kanal 4 milisaniyelik çerçeve zamanına ve bir çerçeve ise 8 zaman dilimine ayrılır, böylece bir kullanıcıya 0,5 ms’lik zaman dilimi 4 ms’lik periyotlar ile tahsis edilir. ZBÇE sayısal modülasyon teknikleriyle kullanılabilir, analog modülasyon teknikleri için uygun değildir.



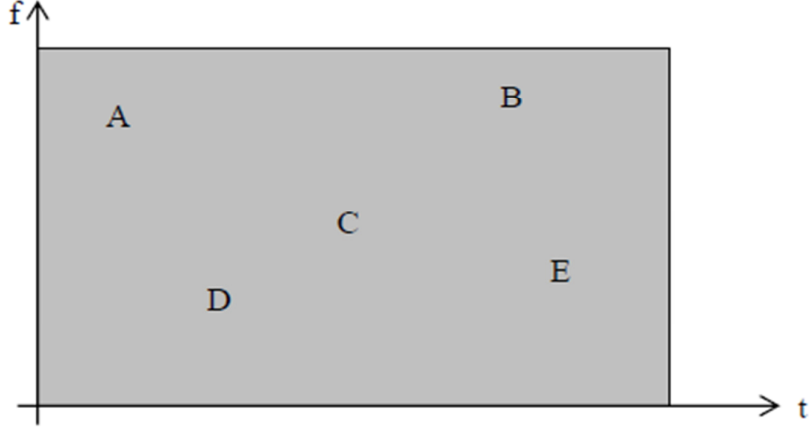
Şekil 4.2 Frekans bölmeli çoklu erişim.

Frekans Bölmeli Çoklu Erişimde şekil 4.2’de görüldüğü gibi her kullanıcı frekans bandının farklı bir bölgesini kullanmaktadır. FBÇE’de, bant genişliği çok sayıda dar bantlı alt kanallara bölünür. Komşu bantla arasında çakışmayı önlemek için bantlar arasına güvenlik bandı eklenir. FBÇE analog modülasyon teknikleri için de uygundur ve birinci nesil hücresel sistem olan Geliştirilmiş Mobil Telefon Sisteminde (GMTS- Advanced Mobile Phone System (AMPS)) her bir kullanıcıya 30 kHz tahsis edilmiştir.

KBÇE tekniğinde ise mevcut frekans bandı tüm kullanıcılara tüm zamanlarda tahsis edilir. Kullanıcıların birbirlerinden ayrışmaları kodlar yardımıyla sağlanır, her bir kullanıcıya tayin

edilen kodun diğerkullanıcılara tayin edilen kodlarla çapraz ilişkisi mümkün olduğunca düşük, kendi ile öz ilişkisi ise dürtü fonksiyonuna yakındır (Proakis and Salehi 2008).

Şekil 4.3’de KBÇE sisteminin frekans-zaman eksen gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.3 Kod bölmeli çoklu erişim.

Kod bölmeli çoklu erişim tekniklerinin birden fazla yöntemi vardır. Bunlardan en yaygın olanları frekans hoplmalı (FH) ve doğrudan dizili (DD) yöntemleridir. DD-KBÇE’de, modüle edilmiş veri işareti sayısal bir kod işaretiyle doğrudan çarpılır. Alıcı tarafta da aynı kod dizisiyle tekrar çarpılarak orijinal veri işareti elde edilir. Alıcı tarafın kod dizisi ile vericinin kod dizisi aynı ve eş zamanlı olmalıdır. FH-KBÇE’de ise, modüle edilen veri işaretinin taşıyıcı frekansı sabit değildir ve periyodik olarak değişir. Bu frekans hoplaması bir kod dizisi tarafından belirlenir. Her iki KBÇE tekniği ayrıca yayılı spektrum teknikleri olarak bilinir.

DD-KBÇE tekniği üçüncü nesil hücresel sistemlerde kullanılmaktadır. Kod olarak farklı uzunluklu dikgen Hadamard kodları kullanılmaktadır. FH-KBÇE sistemi ise günümüzde Bluetooth standardında yer almıştır (Haykin and Moher 2005).

4.2 DİK FREKANS BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM (DFBÇE)

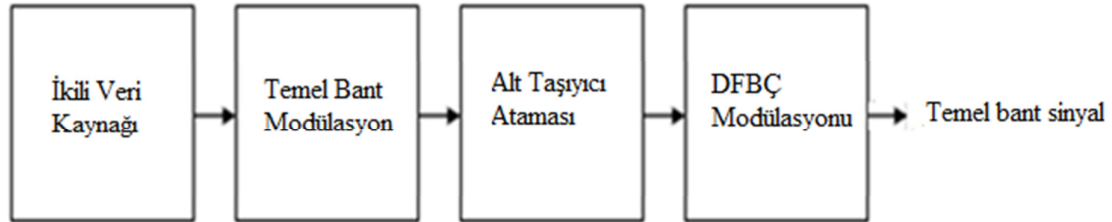
DFBÇE, çoğullama çeşidi olarak DFBC’yi, çoklu erişim tekniği olarak da FBÇE’yi kullanan bir çoklu erişim planıdır (Salim 2006). Kullanıcılara farklı zaman dilimlerinde (ZBÇE) alt

taşıyıcılar (FBÇE) dinamik olarak atanır. DFBÇE, tek kullanıcılı DFBC'ye göre çoklu yol bastırımına karşı dirençli ve frekans çeşitliliği avantajlarına sahiptir (Andrews et al. 2007). Ayrıca kullanıcılara değişken uygulamalar (görüntülü konuşma, internet üzerinden veri indirme v.b), veri hızları ve Hizmet Niteliği (HN- Quality of Service (Qos)) gereksinimleri sağlar. DFBÇE'nin DFBC'ye göre en önemli avantajı ise iletim gücünü düşürmesi ve TOD sorununu aza indirmesidir (Andrews et al. 2007). Literatürde daha çok çoklu kullanıcılı DFBC veya çoklu taşıyıcılı FBÇE olarak geçer. DFBÇE, her bir kullanıcıya alt taşıyıcıların bir kısmının kullanılmasını sağlayan çoklu erişim tekniğidir. Ayrıca, FBÇE'de gerekli olan farklı kullanıcıları ayırmak için büyük koruma bantları kullanmaya gerek yoktur.

N taşıyıcılı klasik DFBC sisteminde örneğin 4 kullanıcı için $N/4$ kadar alt taşıyıcı sırasıyla her bir kullanıcıya tahsis edilebilir. Fakat DFBÇE'den daha iyi performans elde edebilmek, çoklu yol etkileri ve hücre içi girişimi azaltmak için dinamik öz kaynak (alt taşıyıcı) ataması işlemi kullanılır (Andrews et al. 2007). Öz kaynak atama (Alt taşıyıcıların kullanıcılara paylaşılması) olayı, kablosuz ağın kısıtlamalarına bağlıdır. Gerçek zamanlı öz kaynak ataması, HN gereksinimleri uygulama tarafından sağlanırken oluşturulur. HN gereksinimleri her iletimdeki her bir kullanıcının BHO ve veri iletim hızını sağlayan uygulamadır (Bahai et al. 2004). Kablosuz kanalın durumuna göre bazı alt taşıyıcılar sönmülemmeden çok etkilenebilir. Dolayısıyla bu alt taşıyıcılar boş bırakılabilir. Bu tür durumları HN organize eder ve kablosuz kanalın durumuna göre alt taşıyıcı paylaşımını düzenler. DFBC, modülasyon ve kanal kodlama gibi fiziksel katmanda yapılırken, hizmet niteliği bir üst katmanda (Ortam Erişim Katmanı MAC Layer) belirlenen bir işlemdir.

4.2.1 DFBÇE Verici Yapısı

DFBÇE verici yapısı Şekil 4.4'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.4 Temel DFBÇE verici blok diyagramı.

İkili kaynaktan çıkan veri dizisi seçilen modülasyon tipine göre veri sembollerine dönüştürülür. Sonraki adımda kullanıcılara alt taşıyıcılar paylaşılır. En son kısımda TAFD işleminin ve ayrıca koruma aralığının eklendiği DFBC modülatörü kullanılır. Elde edilen temel bant işaret RF sinyali ile modüle edilir ve kanala gönderilir.

4.2.1.1 Temel Bant Modülasyon

Bit dizisini seçilen modülasyon türüne göre kompleks değerli hale getirmeye haritalama denir (Salim 2006). Bölüm 3’de DFBC’de anlatılan temel bant modülasyon işlemidir. Yıldız kümesi diyagramı haritalamayı göstermede sıklıkla kullanılır. Bit dizilerini ve onların karşılığı olan kompleks sembolleri enerjileri ile birlikte gösterir. Bu gösterimdeki X ve Y eksenleri, gerçek ve sanal eksenli kompleks sembol koordinatlarını temsil eder. Sembol haritalamada en çok kullanılan modülasyon teknikleri Faz Kaydırmalı Anahtarlama, Dördün Genlik Modülasyonu ve Genlik Kaydırmalı Anahtarlama (GKA)’dır.

4.2.1.2 Alt Taşıyıcı Ataması

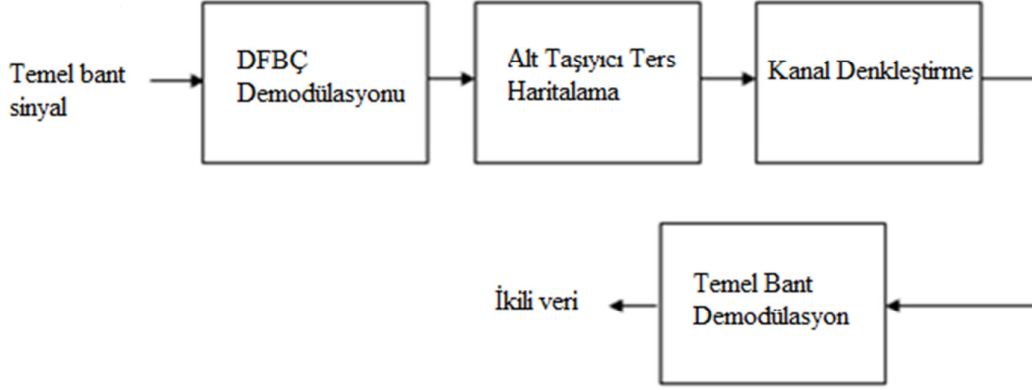
Alt taşıyıcı ataması, farklı kullanıcıların veri sembollerini DFBC alt çerçevesindeki frekans ve zaman pozisyonlarına haritalama biçimidir (Salim 2006). Başlıca iki tane alt taşıyıcı atama tekniği vardır. Birincisi sınırlandırılmış frekans haritalamadır. Bu teknikte, her bir kullanıcıya, her biri birbirine komşu frekanslar olan alt taşıyıcılar tahsis edilir. Diğer teknik ise dağıtılmış frekans haritalamadır. Bu planda ise, kullanıcıların alt taşıyıcıları, frekans bölgesinde birbirine yeterli biçimde uzakta konumlandırılır. Genellikle bu işlem sözde gürültü kodlarının kullanımı ile rastgele olarak yapılır. Bu teknik frekans çeşitliliği avantajı sağlar. Yani her biri birbirinden bağımsız olarak uzak frekanslarda sönümlenir.

4.2.1.3 DFBC Modülatörü

Temel olarak TAFD ve koruma aralığı ekleme gibi işlemleri içerir. Tezin üçüncü bölümünde bu konuya detaylı olarak değinilmiştir.

4.2.2 DFBÇE Alıcı Yapısı

DFBÇE sisteminin alıcı yapısı Şekil 4.5’de belirtilmiştir.



Şekil 4.5 DFBÇE alıcı blok diyagramı.

Alıcı tarafta, vericideki işlemlerin tersi gerçekleştirilir. İlk önce alınan RF işaret temel banda indirilir, sonra temel bant sinyale DFBÇ demodülasyonu uygulanır. Sonraki adımda Bölüm 3.2.6’da anlatılan kanal denkleştirme gerçekleştirilir. Denkleştirme ile kanalın yaptığı etkinin tersi uygulanır. Daha sonra kompleks sembollere temel bant sayısal demodülasyon uygulanır. Bu şekilde alt taşıyıcılar tekrar kullanıcılara paylaşılır. Son olarak orijinal ikili veriler geri elde edilmiş olur.

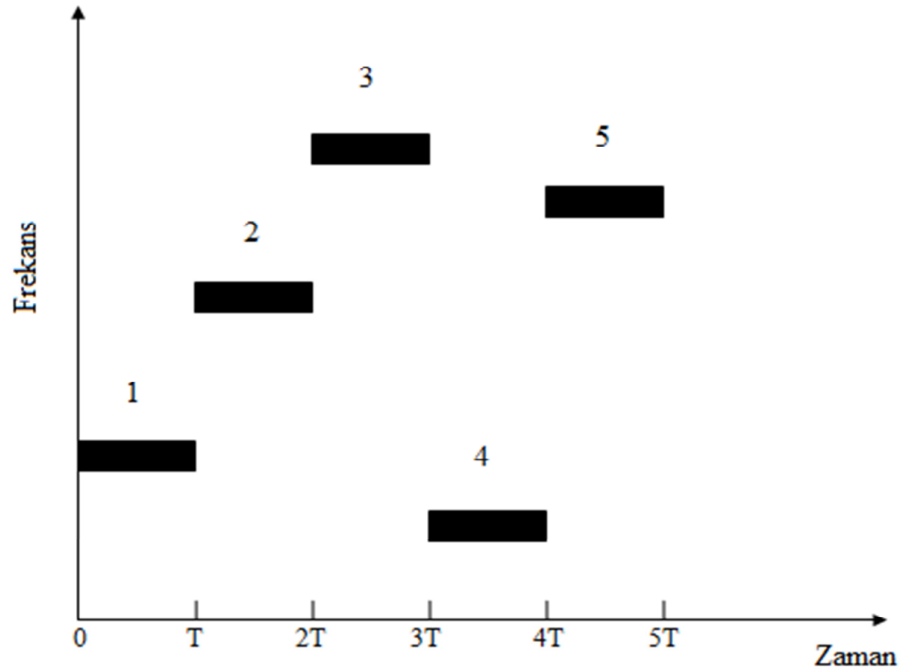
4.3 FREKANS HOPLAMA

DFBÇE’de alt taşıyıcı atamasının dinamik olarak yapıldığı yöntemde frekans hoplama tekniği kullanılır. FH, Bölüm 4.1’de anlatıldığı gibi KBÇE’de uygulanmaktadır ve bir yayılı spektrum tekniğidir.

Yayıllı spektrum teknikleri bilgiyi, bant genişliğinden daha büyük bant genişliğine yayan bir tekniktir. Yayıllı spektrum sistemleri, FBÇE sistemleri ile kıyaslanırsa, FBÇE, bant genişliğini (W), her birinin bant genişliği $R_b = W / N$ olan N adet kanala böler ve her bir kullanıcıya bu bant genişliği tahsis edilir. Yayıllı spektrum tekniklerinde, her bir kullanıcı spektrumun belirli bir kısmını veya hepsini iletim sırasında kullanır ve eşzamanlı olarak birden çok kullanıcı iletim için bundan yararlanabilir.

Yayıllı spektrum teknikleri temel olarak askeri uygulamalar için geliştirilmiştir. Fakat karışımlara karşı iyi tolerans göstermesi nedeniyle ticari uygulamalarda da kullanılmaktadır. Yayıllı spektrum sistemlerinde iki önemli teknik kullanılır. Bunlar; Frekans Hoplamalı Yayıllı Spektrum (FHYS) ve Doğrudan Dizili Yayıllı Spektrum (DDYS)'dir. Bölüm 4.1'de anlatılan DD-KBÇE ve FH-KBÇE, sırasıyla DDYS ve FHYS yayıllı spektrum tekniklerini kullanmaktadır.

Bu çalışmada kullandığımız FH tekniğinde, kanal bant genişliği, çok sayıda örtüşmeyen frekans bantlarına ayrılır. Kullanıcılar bir frekans bandından iletim yaptıktan sonra, diğer frekans bandına hoplamakta, belirli bir süre sonra ise tekrar farklı bir frekansa hoplamaktadır. Her bir zaman aralığında, frekans bantlarının seçimi, SG kodu üreticinin çıkışına göre belirlenir. Şekil 4.6'da bir FH örüntü örneği görülmektedir.



Şekil 4.6 Frekans hoplama örüntü örneği.

Modülasyonda genellikle ikili veya M-FKA kullanılır. Örneğin, eğer ikili FKA kullanılırsa modülatör, iletilen 0 veya 1'e karşılık olarak, iki frekanstan birini seçer. İkili FKA sinyali bir miktar frekans dönüşümüne uğrar ki bu miktar frekans sentezleyici tarafından oluşturulan frekansını seçmek için kullanılan SG kodu üreticindeki çıkış dizisi tarafından karar verilir. FH tekniğine çoklu erişim özelliği kazandırmak için her kullanıcıya, zaman içerisinde hangi frekans bandından iletim yapacağını gösteren farklı SG kodu atanmaktadır. Farklı

kullanıcılara atanan farklı SG kodları, kullanıcıların aynı anda aynı frekansta bulunmasını engelleyecek şekilde frekans paylaşımını gerçekleştirmektedir (Haykin and Moher 2005). Bu frekans FKA modülatörünün çıkışı ile karıştırılır ve oluşan frekansı dönüştürülmüş sinyal kanala doğru iletilir.

Frekans hoplama hızı, genellikle sembol hızına eşit veya daha büyük hızda seçilir. Eğer bir sembol başına çok sayıda hoplama düşerse, buna Hızlı frekans hoplama (HFH), şayet hoplama sembol hızı veya daha düşük olursa yavaş frekans hoplama (YFH) olarak adlandırılır (Haykin and Moher 2005).

4.4 SÖZDE GÜRÜLTÜ KODU

Frekans hoplama örüntüsü oluşturmak için kullanılan sözde rastgele veya sözde gürültü dizisi beyaz gürültünün öz ilinti özelliklerine sahip 1 ve 0'lerden oluşan bir kod dizisidir (Proakis and Salehi 2010). En çok bilinen ikili sözde gürültü (SG) kod dizisi maksimum uzunluklu kaydırmalı anahtar dizisi veya m-dizisi olup $L = 2^m - 1$ uzunluklu bit sayısına sahiptir. Dizinin periyodu L 'dir. Her periyod 2^{m-1} adet 1'ler ve $2^{m-1} - 1$ adet 0'lerden oluşur. Periyodik SG dizisinin önemli özelliği, bipolar dizi olan c_n 'e göre tanımlanan otokorelasyon fonksiyonudur ve

$$R_c(m) = \sum_{n=1}^L c_n c_{n+m} , \quad 0 \leq m \leq L - 1 \quad (4.1)$$

ile ifade edilir. Buradaki L , dizinin periyodudur. c_n dizisinin periyodu L olduğu için otokorelasyon dizisi $\{R_c(m)\}$ periyodu da L olur.

İdealde, SG dizisinin otokorelasyon fonksiyonu, beyaz gürültünün özelliklerine benzer yapıda korelasyona sahip olmalıdır (Proakis et al. 2001). c_n dizisi için ideal otokorelasyon, $R_c(0) = L$ ve $1 \leq m \leq L - 1$ için $R_c(m) = 0$ 'dır. m dizileri durumu için otokorelasyon dizisi

$$R_c(m) = \begin{cases} L , & m = 0 \\ -1 , & 1 \leq m \leq L - 1 \end{cases} \quad (4.2)$$

ile ifade edilir. Uzun m dizileri için, off peak değer olan $R_c(m)$ ile peak değer $R_c(0)$ oranı $R_c(m) / R_c(0)$ 'dır ve küçük değerlidir. Dolayısıyla, m dizileri otokorelasyon fonksiyonları açısından ideal SG dizilerine çok yakındır.

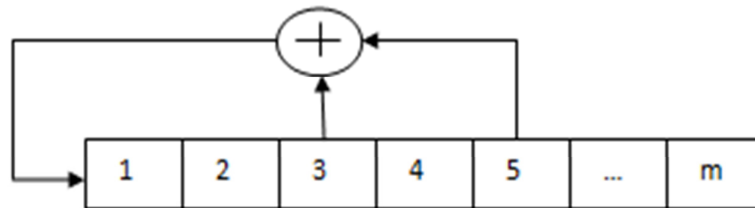
SG dizilerinin çapraz ilinti özellikleri, öz ilinti özellikleri kadar önemlidir. Örneğin; KBÇE'de her bir kullanıcıya özel SG dizisi atanır. İdealde kullanıcılar arasındaki SG dizileri ilişkisiz olmalıdır. Fakat pratikte farklı kullanıcıların kullandığı SG dizileri korelasyon gösterir.

Sözde rastgele dizisi rastgele değildir fakat kodu bilmeyen kullanıcı için rastgele gibidir. Hem alıcı hem de verici tarafından bilinip, periyodik sinyal olduğu için deterministiktir.

4.4.1 Doğrusal Geri Beslemeli Kaydırmalı Anahtarlama (DGBKA)

Haberleşme uygulamalarında rastgele dizilere benzer yapıda özelliklere sahip dizilere ihtiyaç vardır (Haykin and Moher 2005). Ayrıca, alıcı ile vericide kolay üretilebilmesi gerekir. Bu durum Bölüm 4.4'de anlatıldığı gibi maksimum uzunluklu diziler veya m dizileri tarafından sağlanır. Bu tip diziler geri beslemeli ikili anahtar kullanılarak üretilir.

Kayırmalı Anahtar Üretici tüm geri beslemeli sinyallerin tek girişe döndüğü bir sistemdir. Eğer geri besleme fonksiyonu modül-2 toplam (xor) ile ifade edilirse, Kaydırmalı anahtar üretici doğrusal olur. Şekil 4.7'de doğrusal geri beslemeli kaydırmalı anahtarlama (DGBKA) gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Doğrusal geri beslemeli kaydırmalı anahtarlama.

Yukarıdaki şekilde örnek bir DGBKA görülmektedir. Burada DGBKA sisteminin üçüncü ve beşinci basamakları modül-2 toplanır ve toplam başa yazılır. Daha sonra dizilim sürekli bir kaydırılarak aynı işlemler yapılır. Başlangıç dizilime gelene kadar işlem devam eder (Haykin

and Moher 2005). Ayrıca sıfır başlangıç durumu (tüm basamakların 0 değerini alması) bu sistemde kullanılmaz.

4.5 FH-DFBÇE

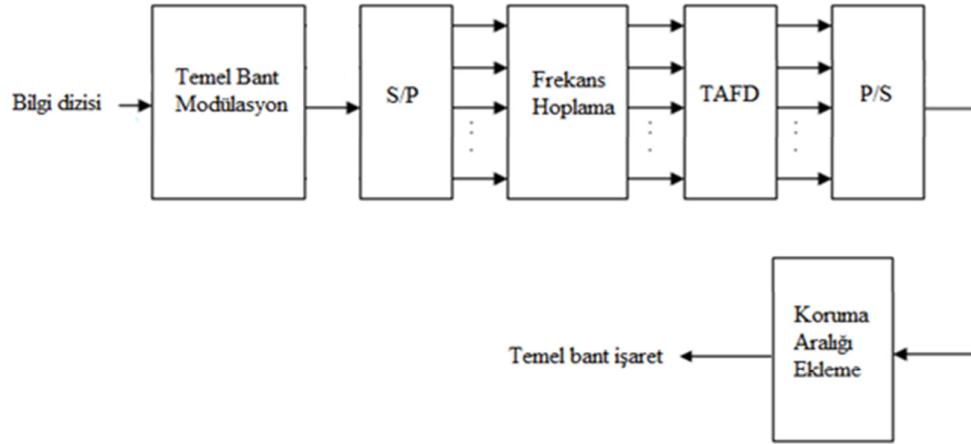
FH-DFBÇE, DFBÇ ile frekans hoplamasının birleştirilerek kullanıldığı bir tekniktir. FH-DFBÇE, çok verimli spektral verimliliği ve çoklu yol etkilerine karşı dayanıklılığı olduğundan cazip edicidir. Frekans çeşitliliği ve frekans hoplaması kazancı avantajları arasındadır. İki FH-DFBÇE çeşidi vardır: Birincisi, Ultra Geniş Bant (UGB) standartlarının bir tanesinde kullanılan RF taşıyıcı frekans hoplamalı DFBÇ'dir. Diğeri, alt taşıyıcı frekans hoplamalı DFBÇ'dir ve buna FH-DFBÇE denir (Shi et al. 2008).

RF taşıyıcı frekans hoplaması sayısal entegre devrelerle gerçekleştirilmesi zordur. Çünkü sistemi çok sayıda eleman içerdiği için karmaşık yapıdadır, dolayısıyla analog devreler kullanıldığı için maliyeti yüksektir (Shi et al. 2008). Ayrıca, hoplama örüntüsünde kullanılan faz uyumunu da elde etmek zordur. Dolayısıyla, faz uyumsuz sezimleme (noncoherent detection) FKA (Frekans Kaydırmalı Anahtarlama) modülasyonu kullanılır. Bu durum, FaKA ve DöGM gibi yüksek bant genişliği verimli modülasyon tekniklerinin kullanılmasını sınırlandırılmış olur. Sonuç olarak sistem bant genişliği verimi çok düşük hale gelir.

FH-DFBÇE'de alt taşıyıcı hoplaması TAFD'den önce DGBKA kullanılarak sayısal olarak yapılır. Dolayısıyla RF hoplamasının dezavantajlarına sahip değildir ve bant verimli FaKA ve DöGM modülasyon teknikleriyle beraber kullanılabilir.

4.5.1 FH-DFBÇE Sistemi

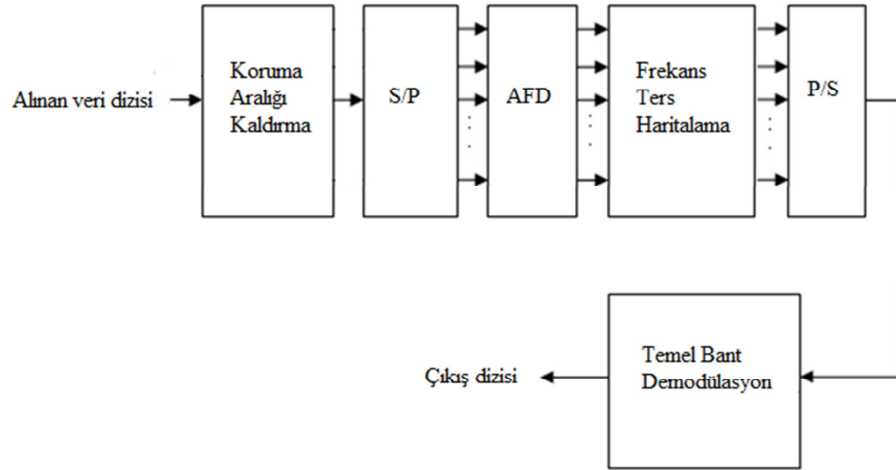
4.5.1.1 FH-DFBÇE Verici Yapısı



Şekil 4.8 Temel bant FH-DFBÇE vericisi.

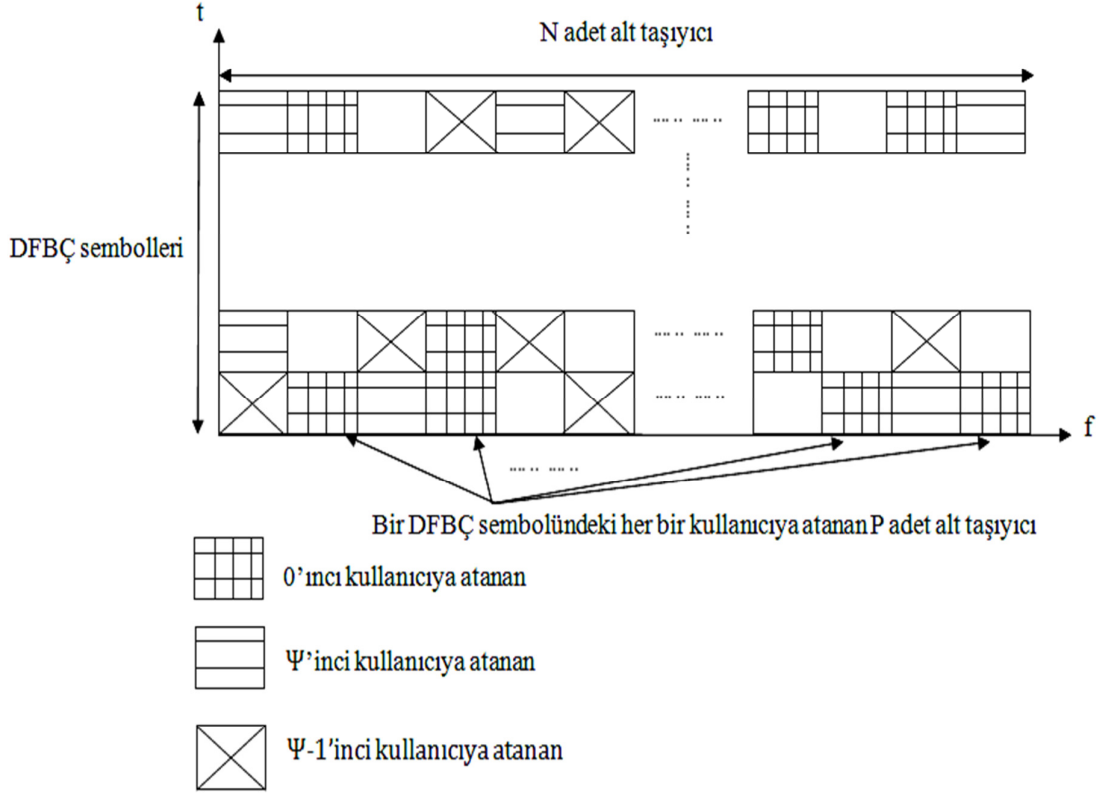
Şekil 4.8’de temel bant FH-DFBÇE verici yapısı görülmektedir. İlk olarak bilgi dizisine modülasyon işlemi uygulanır ve seri/paralel (S/P) dönüşümü gerçekleştirilir. Dönüşüm işleminden sonra DGBKA kullanılarak hoplama işlemi gerçekleştirilir ve semboller hoplama örüntülerine göre frekans bantlarına atanır. DGBKA tarafından belirlenen alt frekanslara hoplama işleminden sonra TAFD işlemi uygulanır. Son olarak paralel/seri (P/S) dönüşümü gerçekleştirilir ve koruma aralığı eklenerek veriler kanala gönderilir.

4.5.1.2 FH-DFBÇE Alıcı Yapısı



Şekil 4.9 Temel bant FH-DFBÇE alıcı yapısı.

Şekil 4.9’da temel bant FH-DFBÇE alıcı yapısı gösterilmiştir. Alınan veri dizisinin koruma aralığı kaldırılır ve seri/paralel dönüşümü (S/P) gerçekleştirilir. Daha sonra AFD uygulanıp, frekans boyutunda ters haritalama (frekansta ters hoplama) yapılır. Ters haritalama işlemi alt taşıyıcıların kendilerine atanmış olan hoplama kodlarına göre kullanıcılara geri paylaşılması ile gerçekleştirilir. Sonraki işlem olarak da paralel/seri (P/S) dönüşümü gerçekleştirilir, demodülasyon uygulanıp orijinal veriler geri elde edilmiş olur.



Şekil 4.10 FH-DFBÇE hoplama örüntüsü.

Şekil 4.10'da FH-DFBÇE'deki kullanıcıların frekans bandı paylaşımının bir örneği gösterilmiştir. Her bir kullanıcıya atanan farklı SG kodu yardımıyla, kullanıcılar, alt frekans bantlarını (alt taşıyıcıları) farklı zamanda birbirleriyle çakışmadan kullanırlar. Böylece kullanıcılar arasında çoklu erişim karışımı oluşmaz.

BÖLÜM 5

M-DöGM'İN FARKLI KANALLAR ÜZERİNDEKİ PERFORMANSI

Bu bölümde M-DöGM'nin TBGG, Rayleigh sönümlmeli ve Doppler etkili Rayleigh kanaldaki performansların teorik hesaplamalarına yer verilmiştir. Verilen teorik denklemler bir sonraki bölümde, benzetim çalışmalarıyla elde edilen performans sonuçlarıyla karşılaştırmalar için kullanılacaktır.

5.1 M-DöGM İŞARETLERİN TBGG KANAL ÜZERİNDEKİ PERFORMANSI

TBGG kanal modelinde iletilen işarete sadece beklenen değeri sıfır, varyansı $N_0/2$ olan beyaz Gauss gürültüsü eşitlik (2.1)'de olduğu gibi eklenir. DFBC tabanlı M-li modülasyonlu işaretlerin TBGG kanallardaki sembol hata olasılığı (SHO) başarımları, DFBC kullanılmadan yapılan M-li işaretlerin başarımlarıyla aynı sonucu verir (Öztürk ve Tunçkaya 2010). M-DöGM için farklı yıldız kümesi yapıları vardır. Dikdörtgen yıldız kümesine sahip olan daha iyi başarımlar verdiği için pratikte daha çok tercih edilir (Proakis and Salehi 2008). Sembol başına düşen bit sayısının ($k = \log_2 M$) çift seçilmesiyle yıldız kümesi kare olur. Kare yıldız kümesine sahip DöGM'nin TBGG kanalındaki performans (sembol hata olasılığı) ifadesi şu şekildedir (Proakis and Salehi 2008):

$$P_s(\gamma_b) = 4 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) Q \left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M}{(M-1)}} \gamma_b \right) \times \left(1 - \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) Q \left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M}{(M-1)}} \gamma_b \right) \right) . \quad (5.1)$$

Burada γ_b bit başına düşen işaret gürültü oranı (İGO) ve $\gamma_b = \frac{E_b}{N_0}$ dir, E_b bit enerjisidir.

5.2 M-DöGM İŞARETLERİN RAYLEİGH KANAL ÜZERİNDEKİ PERFORMANSI

Sönümlenmeli kanalda sembol başına işaret gürültü oranı olan γ_s rastgele değişkendir ve $\gamma_s = k\alpha \frac{E_b}{N_0}$ 'dir. Bu durumda sembol hata olasılığı ($P_s(\gamma_b)$) da rastgele değişkendir. Dolayısıyla ortalama hata olasılığı şu şekilde elde edilir:

$$\bar{P}_s(\gamma_s) = \int_0^\infty P_s(\gamma) p_{\gamma_s}(\gamma) d\gamma \quad (5.2)$$

Burada $p_{\gamma_s}(\gamma)$, γ_s 'nin OYF'sidir. Sönümleme durumu için yukarıdaki integralden ortalama hata olasılığının bulunması gerekir. Fakat bu hesaplamalar oldukça zordur. Bundan dolayı moment üreten fonksiyon (MÜF- Moment Generating Function (MGF)) kullanılır. Ortalama hata olasılığı için MÜF şu şekilde ifade edilir (Simon and Alouni 2005):

$$M_\gamma(s) = \int_0^\infty e^{s\gamma} p_\gamma(\gamma) d\gamma \quad (5.3)$$

Rayleigh sönümlenmeli kanal için MÜF aşağıdaki şekilde gösterilir (Simon and Alouni 2005):

$$M_{\gamma_s}(s) = (1 - s\bar{\gamma}_s)^{-1} \quad (5.4)$$

Burada $\bar{\gamma}_s$ sembol başına düşen ortalama işaret gürültü oranıdır ve $\bar{\gamma}_s = E(\alpha) \frac{kE_b}{N_0}$ 'dir.

M-DöGM için ortalama sembol hata olasılığı şu eşitlikle ifade edilir (Goldsmith 2005):

$$\bar{P}_s(\gamma_s) = \frac{4}{\pi} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) \int_0^{\pi/2} e^{\left(\frac{-g\gamma_s}{\sin^2\phi}\right)} d\phi - \frac{4}{\pi} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right)^2 \int_0^{\pi/4} e^{\left(\frac{-g\gamma_s}{\sin^2\phi}\right)} d\phi \quad (5.5)$$

Bu eşitlikteki DöGM yıldız kümesi gösteriminin boyutunun bir fonksiyonu olan g

$$g = 1.5/(M - 1) \quad (5.6)$$

ile ifade edilir. Eşitlik (5.5), MÜF cinsinden yazılırsa, ortalama sembol hata olasılığı

$$\bar{P}_s(\gamma_s) = \frac{4}{\pi} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) \int_0^{\pi/2} M_{\gamma_s} \left(-\frac{g}{\sin^2 \phi}\right) d\phi - \frac{4}{\pi} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right)^2 \int_0^{\pi/4} M_{\gamma_s} \left(-\frac{g}{\sin^2 \phi}\right) d\phi \quad (5.7)$$

olur. Rayleigh sönümlenme için eşitlik (5.4)'teki MÜF, eşitlik (5.7)'de kullanılarak M-DöGM'nin Rayleigh kanalda oluşan ortalama sembol hata olasılığı şu şekilde ifade edilebilir (Simon and Alouni 2005):

$$\bar{P}_s(\bar{\gamma}_s) = 2 \left(\frac{\sqrt{M}-1}{\sqrt{M}}\right) \left(1 - \sqrt{\frac{1.5\bar{\gamma}_s}{M-1+1.5\bar{\gamma}_s}}\right) - \left(\frac{\sqrt{M}-1}{\sqrt{M}}\right)^2 \left[1 - \sqrt{\frac{1.5\bar{\gamma}_s}{M-1+1.5\bar{\gamma}_s}} \left(\frac{4}{\pi} \tan^{-1} \sqrt{\frac{M-1+1.5\bar{\gamma}_s}{1.5\bar{\gamma}_s}}\right)\right] \quad (5.8)$$

5.3 M-DöGM'NİN DOPPLERLİ RAYLEİGH KANAL ÜZERİNDEKİ PERFORMANSI

Doppler yayılımı iletilen işaretin algılanmasında ilave zorluklar çıkarır. M-DöGM'nin Rayleigh kanalda ve Doppler durumunda oluşan sembol hata olasılığı şu şekilde ifade edilebilir (Goldsmith 2005):

$$P_{s,dop}(\bar{\gamma}_s) = \frac{1}{2} [1 + \bar{\gamma}_s(1 - \rho_c)] \times \bar{P}_s(\bar{\gamma}_s) . \quad (5.9)$$

Burada $\bar{P}_s(\bar{\gamma}_s)$, eşitlik (5.8)'de verilen Dopplersiz Rayleigh kanal durumundaki sembol hata olasılığıdır. ρ_c korelasyon katsayısıdır ve aşağıdaki ifade ile verilir (Goldsmith 2005):

$$\rho_c = J_0(2\pi f_d T_s) . \quad (5.10)$$

Bu ifadede geçen $J_0(\cdot)$ sıfırıncı dereceden Bessel fonksiyonu (Bowman 1958), f_d Doppler frekansı ve T_s sembol süresidir.

BÖLÜM 6

SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

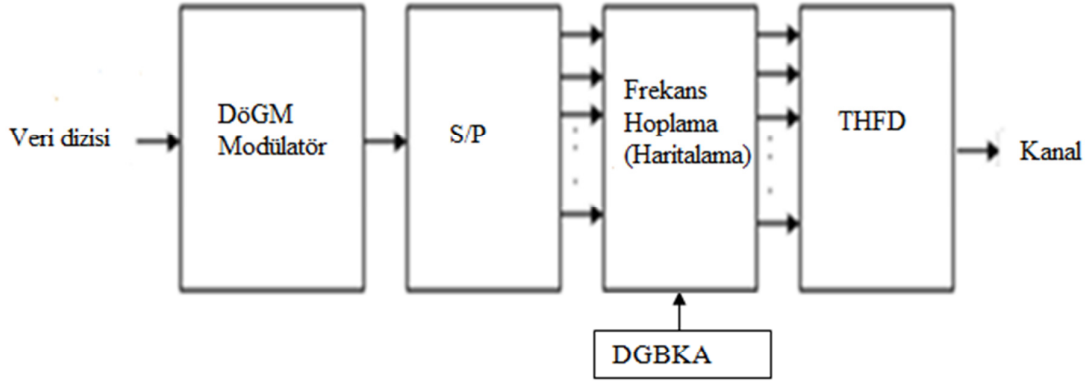
Bu bölümde, FH-DFBÇE sistemin farklı kanallardaki sembol hata oranı (SHO) performansları benzetimle elde edilerek verilmiştir. Benzetim sonuçları bir önceki bölümde verilen Sembol Hata Olasılığı (SHO) performans denklemleriyle elde edilen teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Yapılan simülasyon çalışmalarında kullanılan kanal modelleri, TBGG, Rayleigh sönümlmeli ve Doppler etkili Rayleigh kanaldır. Modülasyon seviyesi, kullanıcı sayısı, DFBÇ sembol sayısı ve Doppler frekans değeri giriş parametreleri olup, analizler için değiştirilmiştir. Performans kriteri işaret gürültü oranının değişimine göre sembol hata oranı ve sembol hata olasılığıdır. Simülasyon çalışmalarında kullanıcılara frekans hoplama kodlarını üreten Kaydırmalı Anahtar olan DGBKA'nın basamak uzunluğu 10 kullanılmıştır bu yüzden toplam kullanılabilir kod sayısı 1023'dür. Bu kodlar kullanıcılara, her birine eşit sayıda düşecek şekilde paylaşım yapılmıştır. Bu kodlara göre kullanıcılara ait olan alt taşıyıcılar frekans bantlarına yerleştirilirler.

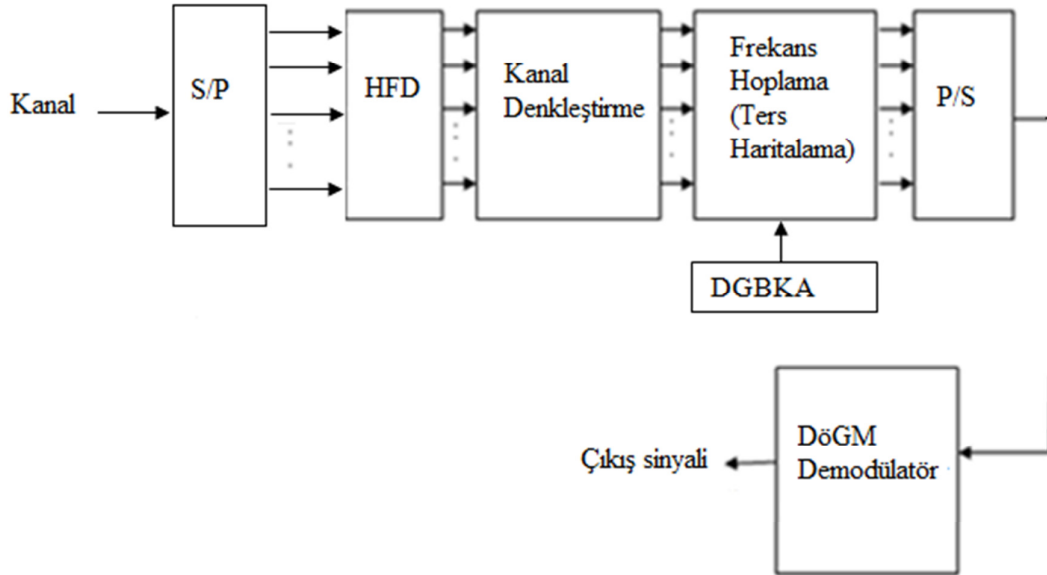
Dopplerli Rayleigh kanal için Jakes Doppler kanal modeli kullanılmıştır. Simülasyonlar sonucunda elde edilen grafiklerde x eksenini bir bit başına düşen işaret gürültü oranı (E_b/N_0), y eksenini ise sembol hata oranıdır.

6.1 SİMÜLASYONLARDA KULLANILAN SİSTEM MODELİ

Yapılan simülasyon çalışmalarında kullanılan FH-DFBÇE alıcı ve verici yapısı blok diyagramları Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de görülmektedir.



Şekil 6.1 Bir kullanıcı için FH-DFBÇE verici yapısı.

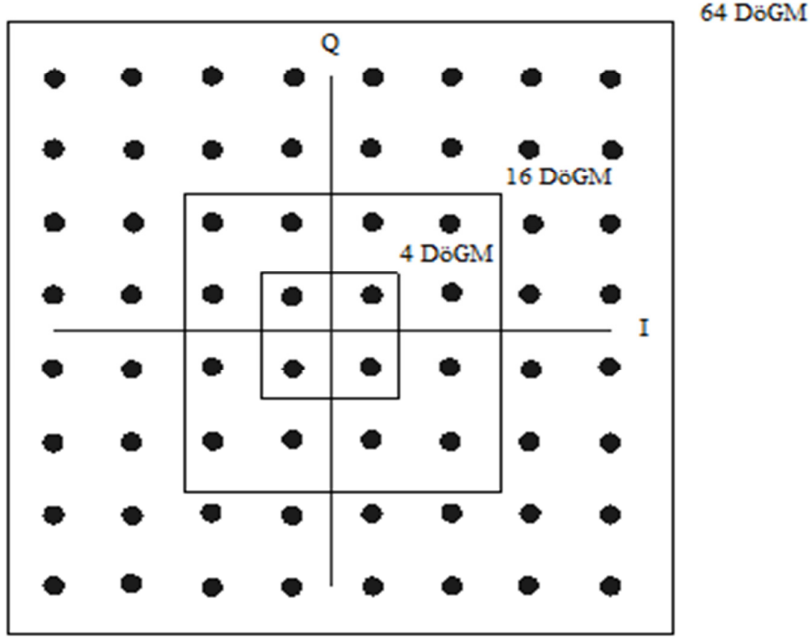


Şekil 6.2 Bir kullanıcı için FH-DFBÇE alıcı yapısı.

6.1.1 Verici

DFBÇ iletim sistemini gerçekleştirebilmek için, verilerin sayısal olarak modüle edilmesi gerekir. DFBÇ sistemlerinde kullanılan en yaygın modülasyon tipleri FaKA ve DöGM modülasyonlarıdır. Bu tezde simülasyonlarda DöGM modülasyonu kullanılmıştır. M değeri modülasyon seviyesi olup $M = 2^k$ eşitliğine göre iki veya ikinin katlarına göre değerler alır. Bu eşitlikte kullanılan k değeri, bir sembol başına düşen bit sayısını ifade etmektedir.

Şekil 6.3’de 4,16 ve 64-DöGM modülasyonlarına ait yıldız kümesi diyagramları görülmektedir. Yıldız kümesindeki karşılıklı olan vektörler, alt taşıyıcıların faz ve genliklerini belirler. Örneğin 4-DöGM modülasyonunda 4 farklı bit dizisine {00,01,10,11} karşılık gelen yıldız kümesi vektörleri $\{1+j, 1-j, -1+j, -1-j\}$ olarak sıralanır.



Şekil 6.3 DöGM yıldız kümesi gösterimi.

Modülasyonda ikili verinin, kompleks sembollere atanmasında, demodülasyonunda oluşabilecek hataları ve kullanılacak frekans bant genişliğini en aza indirmek için Gray kodlaması kullanılır (Proakis and Salehi 2010). Gray kodlamasında, modülasyon seviyeleri için her seferinde en çok bir bit değişimine izin verilir. Sonuç olarak simülasyonda veriler temel bant DöGM modüle edilerek kompleks hale getirilir. Daha sonraki aşamada semboller seriden paralele dönüştürülür. Veriler, akışı düşük hızlı alt taşıyıcılara bölünerek paralel kanallarda iletilir. Seri paralel dönüşümü işleminden sonra frekans haritalama gerçekleştirilir. FH-DFBÇE’de her bir kullanıcıya ait olan alt taşıyıcıların hangi frekans bantlarında olduğunu gösteren SG kodu atanır. Kullanıcılara ait olan veriler, kendilerine atanmış olan bu kodların ondalık değerinin karşılığı olan frekans bantlarına yerleştirilir.

Frekans haritalama işleminden sonra zaman boyutuna geçebilmek için THFD gerçekleştirilir. THFD 1024 noktalıdır. Kullanılabilecek kod sayısı 1023 olduğu için, frekans haritalama

kısımında oluşturulan matrisin (1024 satırlı, DFBC sembol sayısı kadar sütunlu) 1024'üncü satırı boş kalır. Dolayısıyla THFD 1024 noktalı olduğu için bu matrisin son 1024'üncü satırının tüm elemanları 0 yapılır.

6.1.2 Kanal

Semboller kablosuz haberleşmede alıcı ile verici arasındaki ortam olan kanala gönderilir. Simülasyonlarda öncelikle Bölüm 2'de anlatılan TBGG ve düz sönümlemeli Rayleigh kanal kullanılmıştır. Daha sonra düz Rayleigh sönümlemeli kanalda Doppler etkisini de içeren kanal modeli göz önüne alınmıştır.

6.1.3 Jakes Kanal Modeli (Sinüzoidallerin Toplamı)

Rayleigh sönümlemeli kanalda Doppler kaymasının etkisinin simülasyonda modellenmesi için sinüzoidallerin toplamına dayanan Jakes Kanal modeli (Stüber 2000) kullanılmıştır. Bu modelde eşitlik (2.22)'de verilen kanal dürtü cevabı M tane sinüzoidalın toplamı olarak ifade edilir (Stüber 2000).

$$g(t) = \sum_{m=1}^M e^{j(2\pi f_0 t \cos \theta_m + \hat{\phi}_m)} \quad . \quad (6.1)$$

Burada $f_0 = \frac{v}{\lambda_c}$ ve M sinüzoidal sayısıdır. $\hat{\phi}_m$ rastgele fazı

$$\hat{\phi}_m = -2\pi(f_c + f_0)\tau_m \quad (6.2)$$

'dir ve $[-\pi, \pi]$ aralığında uniform dağılımlıdır. Jakes kanal modelinin birçok geliştirilmiş hali mevcuttur, bunlardan birisi Zheng ve Xiao'nun geliştirdiği modeldir (Zajic and Stüber 2006). Bu modelde $g(t)$ kompleks fonksiyonu aşağıdaki gibi reel ve sanal kısmına ayrılır (Zajic and Stüber 2006).

$$g(t) = g_i(t) + jg_q(t) \quad . \quad (6.3)$$

Burada

$$g_i(t) = \sqrt{\frac{2}{M}} \sum_{m=1}^M \cos(\omega_0 t + \cos \alpha_m + \hat{\phi}_m^i) . \quad (6.4)$$

$$g_q(t) = \sqrt{\frac{2}{M}} \sum_{m=1}^M \cos(\omega_0 t + \sin \alpha_m + \hat{\phi}_m^q) . \quad (6.5)$$

Eşitlik (6.4) ve (6.5)'de $\hat{\phi}_m^i$ ve $\hat{\phi}_m^q$ $[-\pi, \pi]$ aralığında uniform dağılımlı rastgele değişkenlerdir. Kompleks zarftaki m 'inci geliş açısı olan α_m (Zajic and Stüber 2006)

$$\alpha_m = (2\pi m - \pi + \theta)/4M \quad (6.6)$$

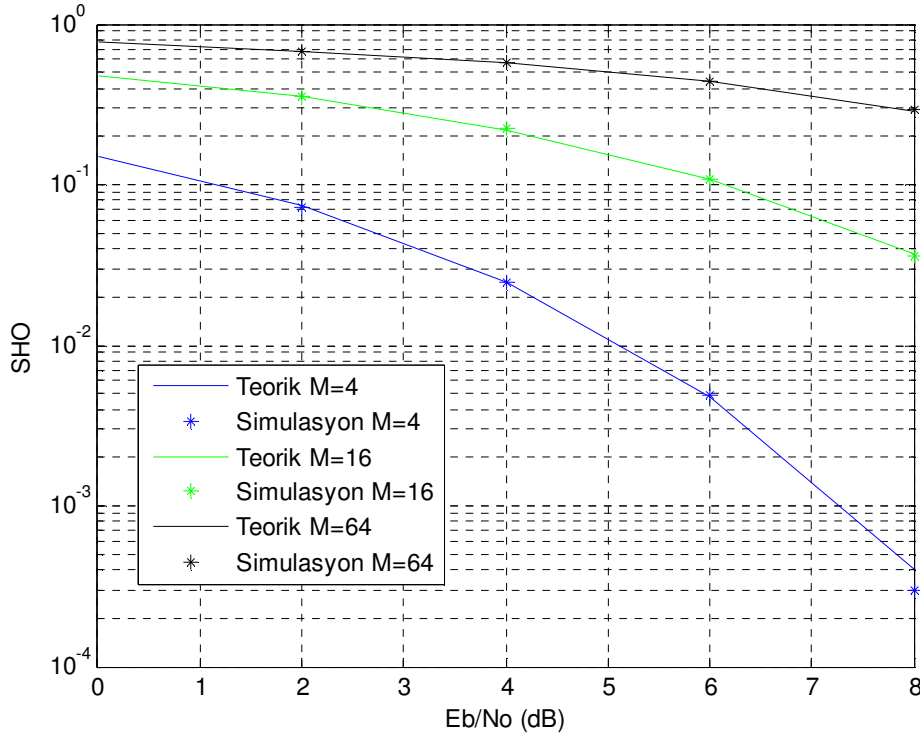
'dir. θ $[-\pi, \pi]$ aralığında uniform dağılımlı rastgele değişkendir.

6.1.4 Alıcı

İlk önce alınan sinyale 1024 noktalı HFD uygulanır ve tekrar frekans boyutuna geçilir. Daha sonra kanalın etkisinin tersi işlem (kanal denkleştirme) gerçekleştirilir. Vericiden gönderilmiş olan işaret kablosuz kanalda bozulmaya uğradığı için Bölüm 3.2.6'da anlatıldığı gibi denkleştirmeye ihtiyaç vardır. Denkleştirme için kanalın frekans cevabının bilinmesi gerekir. TBGG kanal için herhangi bir denkleştirmeye gerek olmadığından kullanılmamıştır. Çünkü TBGG kanalda herhangi bir sönümleme olmaz sadece gürültü eklenir. Rayleigh kanalda ise (bölüm 2.2.1'de gösterildiği gibi) sinyal zaten frekans boyutunda olduğu için onu kanal cevabına bölerek denkleştirme gerçekleştirilir. Sonraki adımda frekans ters haritalama gerçekleştirilir. Kullanıcılara atanmış olan kodlara göre alt taşıyıcılar ait oldukları banda yerleştirilir. Ters haritalamadan sonra paralel veriler P/S ile seriye dönüştürülür. En son adımda DöGM demodülasyon işlemi gerçekleştirilir ve veriler kompleks olmayan yapıya yani orijinal hale getirilir. Demodülasyon Gray kod çözümü ile $M=4, 16$ ve 64 DöGM için gerçekleştirilir.

6.2 FH-DFBÇE GRAFİKLERİ VE ANALİZLERİ

Şekil 6.4’de üç kullanıcılı Frekans Hoplamalı DFBÇE’nin farklı modülasyon seviyeleri için TBGG kanalındaki DöGM ($M=4, 16, 64$) sembol hata olasılığı performansları görülmektedir. Toplamda 1023 alt taşıyıcının hepsi kullanılmış olup, tüm kullanıcılara eşit alt taşıyıcı sayısını paylaşırabilmek için her bir kullanıcı başına 341 alt taşıyıcı atanmıştır. Kullanılan DFBÇ sembol sayısı ise 300’dür.

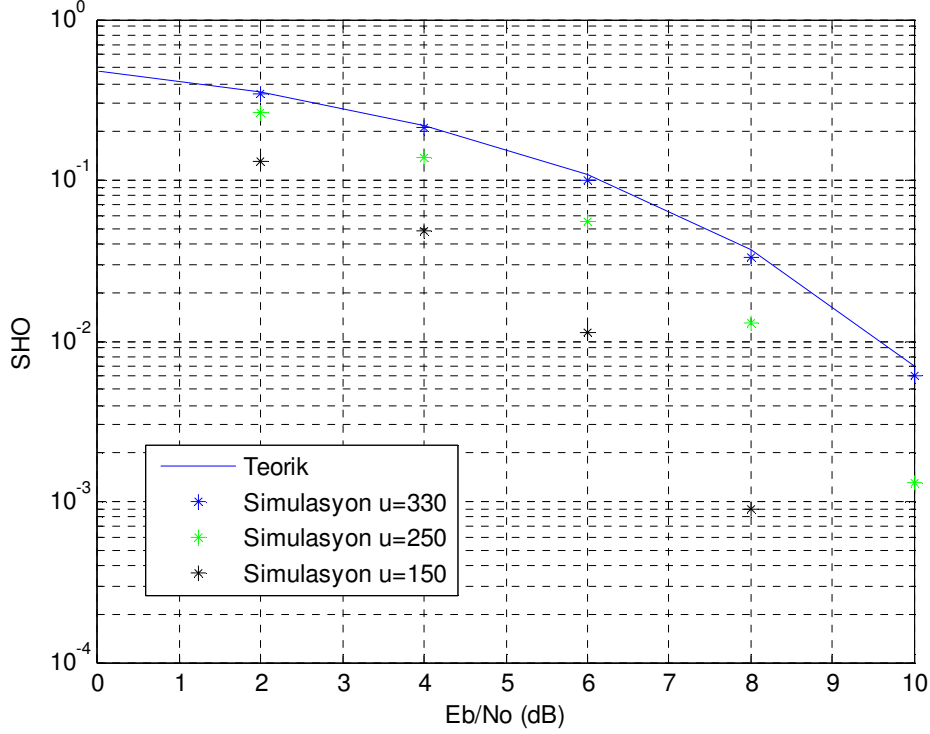


Şekil 6.4 Üç kullanıcıli FH-DFBÇE’nin $M=4, 16, 64$ için TBGG kanal üzerindeki DöGM performansı.

Şekil 6.4’de üç durum ($M= 4, 16, 64$) için de teorik ve simülasyon sonuçlarının örtüştüğü görülmektedir. Modülasyon seviyesi büyüdükçe oluşan hatanın arttığı görülmektedir. Bir sembolün içerdiği bit sayısının artmasıyla hata olasılığı arttığı için performans kötüleşmiştir. TBGG kanalın teorik değerlerini elde edebilmek için Bölüm 5.1’de belirtilen eşitlik (5.1) kullanılmıştır.

Şekil 6.5’de ise yine üç kullanıcıli FH-DFBÇE’nin $M=16$ için boş alt taşıyıcı sayısının performansa olan etkisi incelenmiştir. Kullanıcı başına düşen alt taşıyıcı sayıları 150, 250 ve 330’dür. Simülasyonda kullanılan DFBÇ sembol sayısı 300’dür. Burada tanımlanan u parametresi

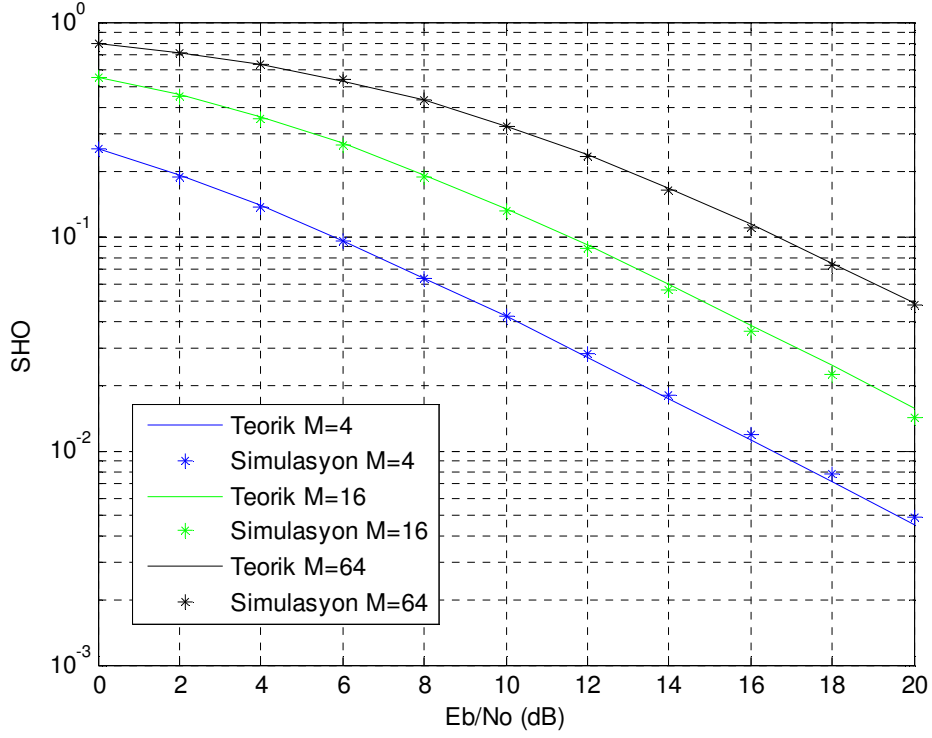
kullanıcı başına düşen alt taşıyıcı sayısını ifade etmektedir. Teorik hesaplamada tüm alt taşıyıcılar (1023 adet) kullanılmıştır. Sistemde kullanıcı başına düşen alt taşıyıcı sayısı 341'dir.



Şekil 6.5 Üç kullanıcıli FH-DFBÇE'de $M=16$ için boş alt taşıyıcıların TBGG kanal üzerindeki DöGM performansı üzerine etkisi.

Şekil 6.5'de bırakılan boş alt taşıyıcı sayısı az olduğu durum için ($u=330$) performansta fazla bir değişim olmamıştır yani $u=341$ olan durumdaki eğriyle yaklaşık aynı sonuç çıkmıştır. Şekilden de görüleceği gibi boş alt taşıyıcı sayısının artmasıyla performans iyileşmiştir. Teorik sonuçlar için eşitlik (5.1) kullanılmıştır.

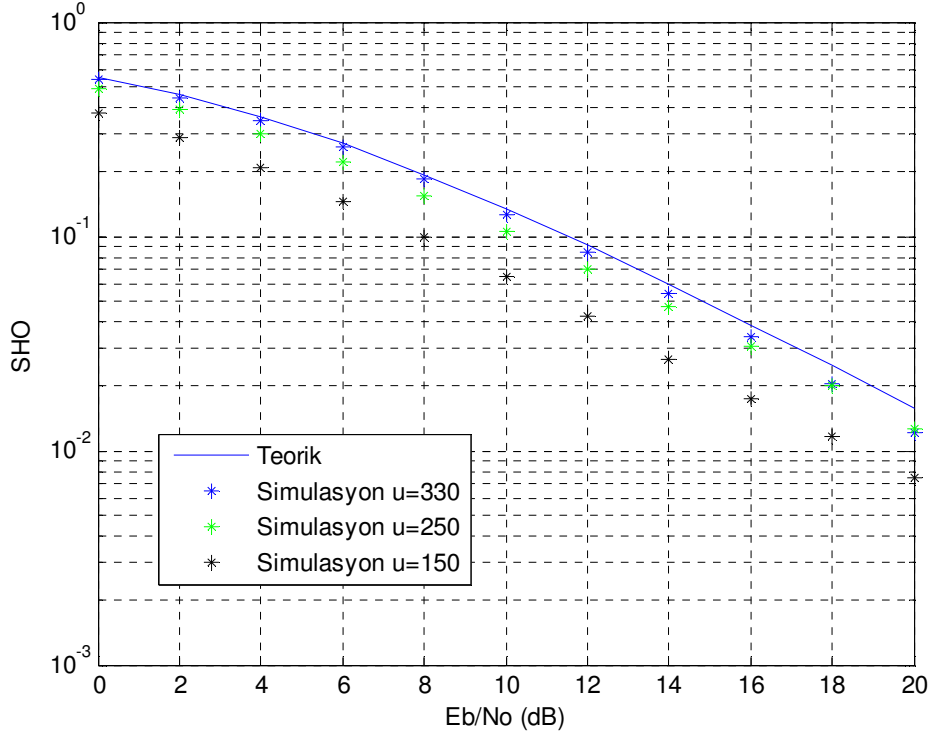
Şekil 6.6'da üç kullanıcıli Frekans Hoplamalı DFBÇE'nin farklı modülasyon seviyeleri için ($M=4, 16, 64$) Rayleigh sönümlmeli kanaldaki DöGM performansı görülmektedir. Toplamda 1023 alt taşıyıcının hepsi kullanılmış olup her bir kullanıcı başına 341 alt taşıyıcı düşmektedir. Kullanılan DFBÇ sembol sayısı 1200'dür.



Şekil 6.6 Üç kullanıcılı FH-DFBÇE'nin $M=4,16, 64$ için rayleigh kanal üzerindeki DöGM performansı.

Şekil 6.6'da üç durum için de teorik ve simülasyon eğrileri örtüşmüştür. Rayleigh kanalın teorik hesaplamaları için Bölüm 5.2'de belirtilen eşitlik (5.8) kullanılmıştır. Modülasyon seviyesi arttıkça yine performansın kötüleştiği görülmektedir.

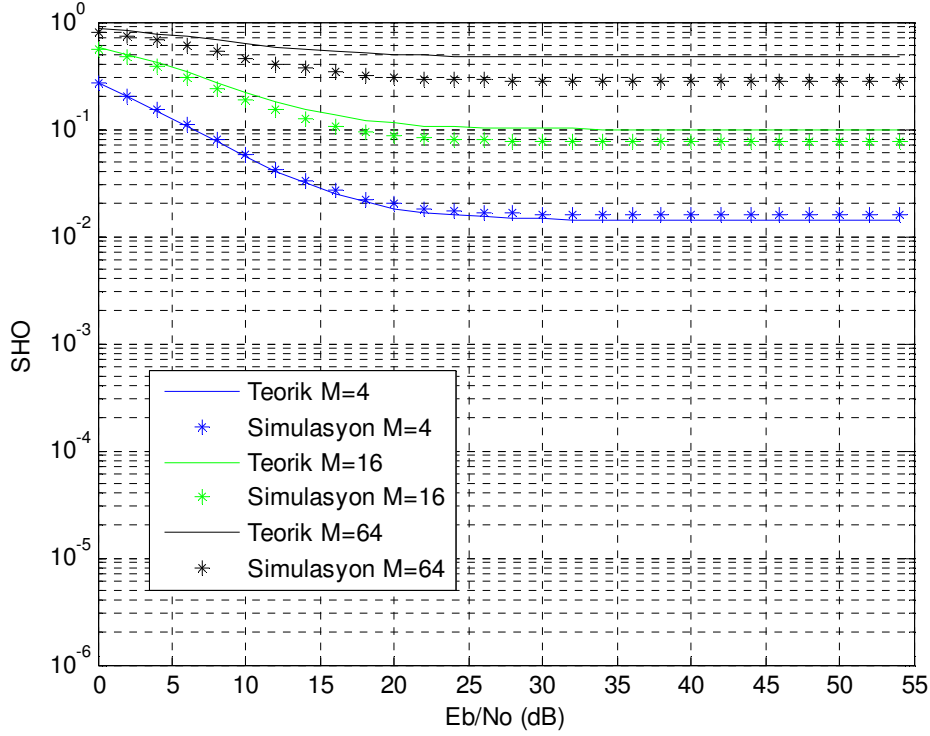
Şekil 6.7'de üç kullanıcılı FH-DFBÇE'nin $M=16$ için boş alt taşıyıcı sayısının performansa olan etkisi incelenmiştir.



Şekil 6.7 Üç kullanıcıli FH-DFBÇE’de boş alt taşıyıcı sayısının $M=16$ için Rayleigh kanal üzerindeki DöGM performansı üzerine etkisi.

Şekil 6.7’de boş alt taşıyıcı sayısının artmasıyla performansın iyileşmesinin TBGG kanaldaki kadar olmadığı görülmektedir. Bunun nedeni olarak da sönmleme etkisiyle oluşan bozulmalar gösterilir. Bu bozulmalar sonucunda sembol hata oranı olasılığı artmakta ve performans kötüleşmektedir. Teorik sonuç için eşitlik (5.8) kullanılmıştır.

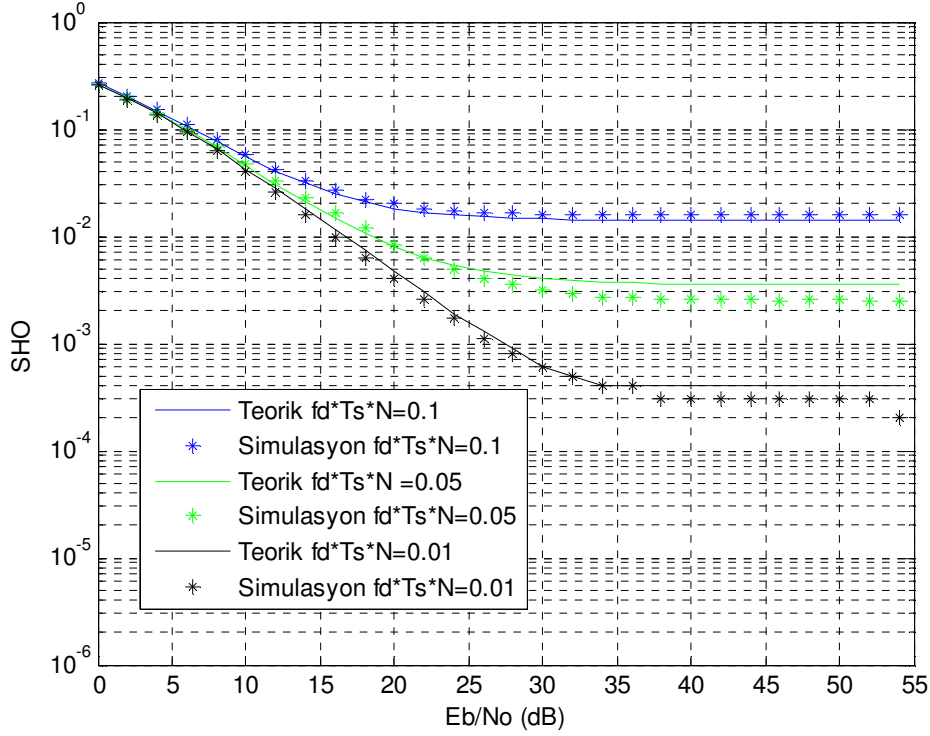
Şekil 6.8’de 3 kullanıcıli Frekans Hoplamalı DFBÇE’nin Doppler etkili Rayleigh sönmlemeli kanalda farklı modülasyon seviyelerine göre DöGM ($M=4, 16, 64$) performansı görülmektedir. Burada normalize edilmiş Doppler değeri $f_d T_s N = 0.1$ ’dir. f_d , Doppler frekansı (Hz cinsinden), T_s örnekleme zamanı ve N alt taşıyıcı sayısını ifade etmektedir. Toplamda 1023 alt taşıyıcının hepsi kullanılmış olup her bir kullanıcı başına 341 alt taşıyıcı düşmektedir. Kullanılan DFBÇ sembol sayısı 1600’dür.



Şekil 6.8 Üç kullanıcıli FH-DFBÇE'nin $M=4, 16, 64$ için $f_d T_s N = 0.1$ için Dopplerli Rayleigh kanal üzerindeki DöGM performansı.

Şekil 6.8'de teorik ve simülasyon eğrileri yaklaşık olarak örtüşmüştür. Doppler etkili Rayleigh kanalın teorik hesaplamalarında Bölüm 5.3'de belirtilen eşitlik (5.9) kullanılmıştır. Modülasyon arttıkça yine performansın kötüleştiği görülmüştür. Simülasyonda Bölüm 6.1.3'de anlatılan Jakes Kanal Modeli kullanılmıştır.

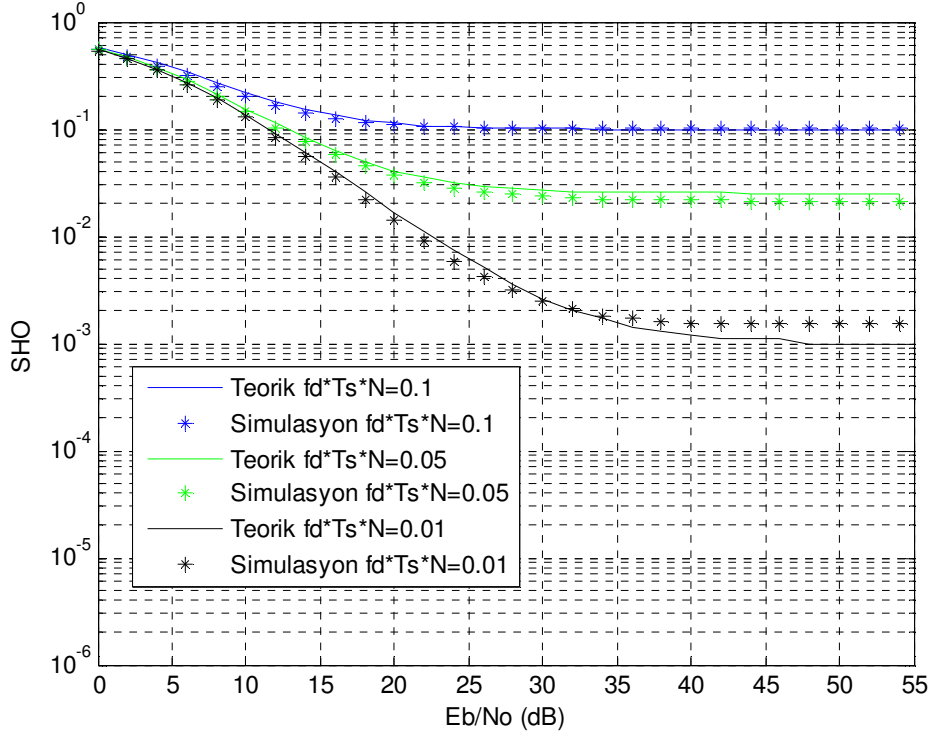
Şekil 6.9'da üç kullanıcıli FH-DFBÇE'nin farklı normalize edilmiş Doppler frekanslarında ($f_d T_s N = 0.01, 0.05, 0.1$) $M=4$ için performans karşılaştırılması görülmektedir (f_d doppler frekansı, T_s örnekleme zamanı ve N alt taşıyıcı sayısıdır). Kullanılan DFBCÇ sembol sayısı 1600'dür.



Şekil 6.9 Normalize edilmiş farklı Doppler değerlerine göre üç kullanıcı FH-DFBÇE'nin $M=4$ için Dopplerli Rayleigh kanal üzerindeki DöGM performansı.

Arttırılmış sembol süresi DFBC sistemini kanalın zamanla değişimine karşı hassas hale gelmesine neden olmuştur. Dolayısıyla Doppler yayılımının artması, alt taşıyıcıların dikgenliğini bozar ve taşıyıcılar arası karışımaya neden olur. Bu durumda sembol hata oranı artar ve performans kötüleşir. Normalize edilmiş Doppler değeri büyüdükçe Doppler yayılımı da artar ve Şekil 6.9'dan da görüleceği gibi performans kötüleşir. Teorik hesaplama eşitlik (5.9) için yapılmıştır.

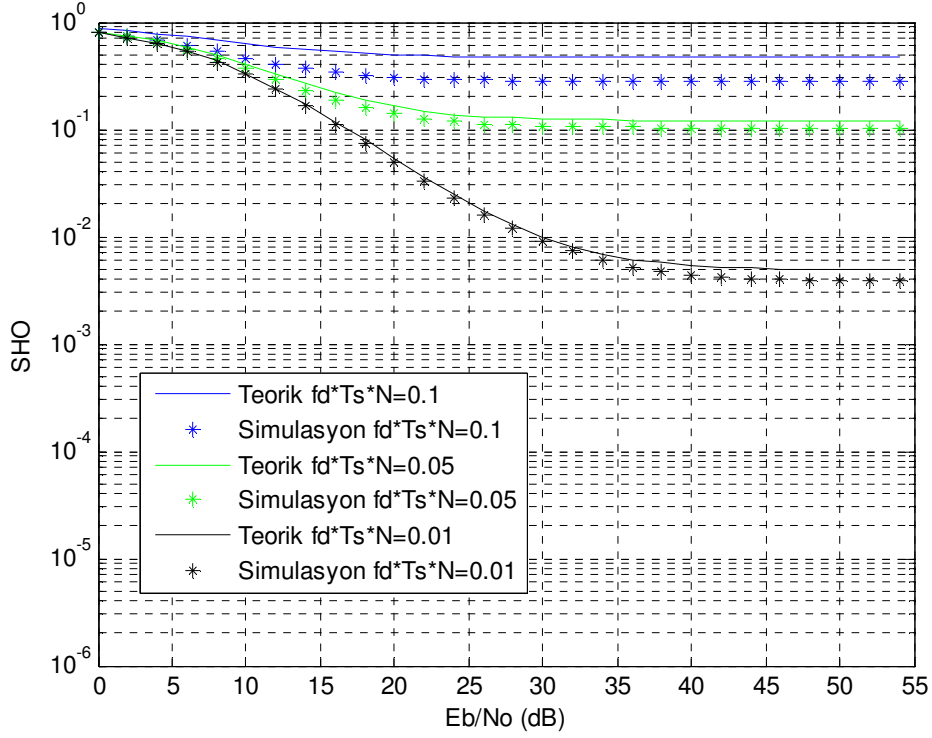
Şekil 6.10'da ise 3 kullanıcı FH-DFBÇE'nin farklı normalize edilmiş Doppler frekanslarında ($f_d T_s N = 0.01, 0.05, 0.1$) $M=16$ için performans karşılaştırılması görülmektedir.



Şekil 6.10 Normalize edilmiş farklı Doppler değerlerine göre üç kullanıcı FH-DFBÇE'nin $M=16$ için Dopplerli Rayleigh Kanal üzerindeki DöGM performansı.

Şekil 6.10'da teorik ve simülasyon sonuçları örtüşmüş olup, normalize edilmiş Doppler değeri küçüldükçe oluşan hatanın azaldığı görülmektedir. Doppler yayılımı azaldığından dolayı semboller arası karışım azalır ve performans iyileşir. Teorik hesaplama eşitlik (5.9) için yapılmıştır.

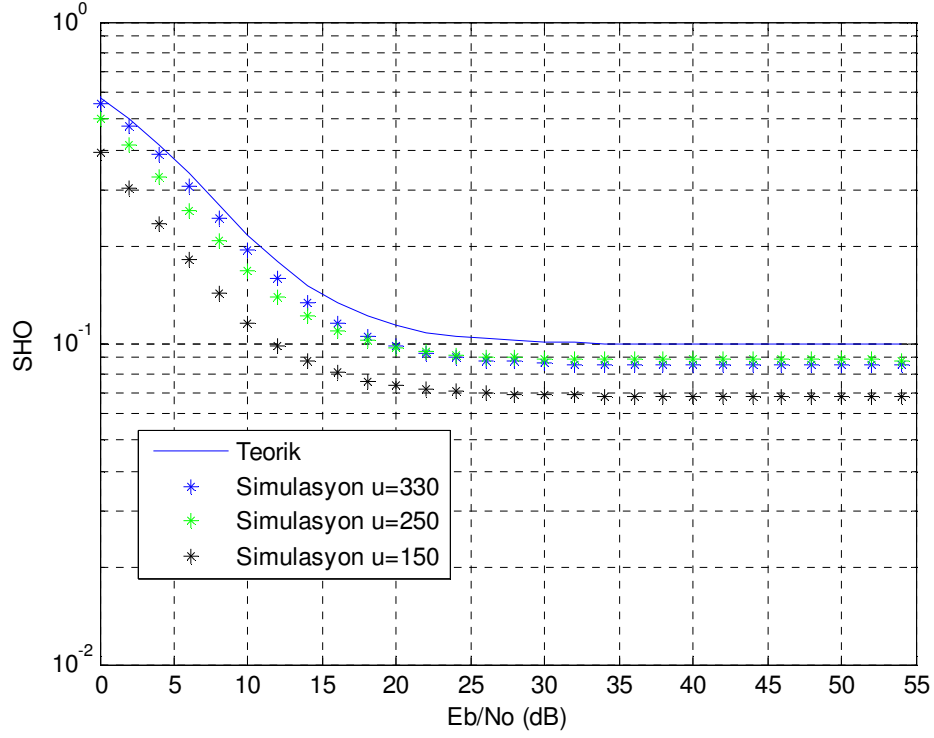
Şekil 6.11'de üç kullanıcı FH-DFBÇE'nin farklı normalize edilmiş Doppler frekanslarında ($f_d T_s N = 0.01, 0.05, 0.1$) $M=64$ için performans karşılaştırılması görülmektedir (f_d Doppler frekansı, T_s örnekleme zamanı ve N alt taşıyıcı sayısıdır). Kullanılan DFBCÇ sembol sayısı 1600'dür.



Şekil 6.11 Normalize edilmiş farklı Doppler değerlerine göre üç kullanıcıli FH-DFBÇE'nin $M=64$ için Dopplerli Rayleigh Kanal üzerindeki DöGM Performansı.

Yine aynı şekilde $M=4$ ve 16 'da olduğu gibi Şekil 6.11'de normalize edilmiş Doppler değeri küçüldükçe oluşan hatanın azaldığı görülmektedir. Teorik hesaplama için Eşitlik (5.9) kullanılmıştır.

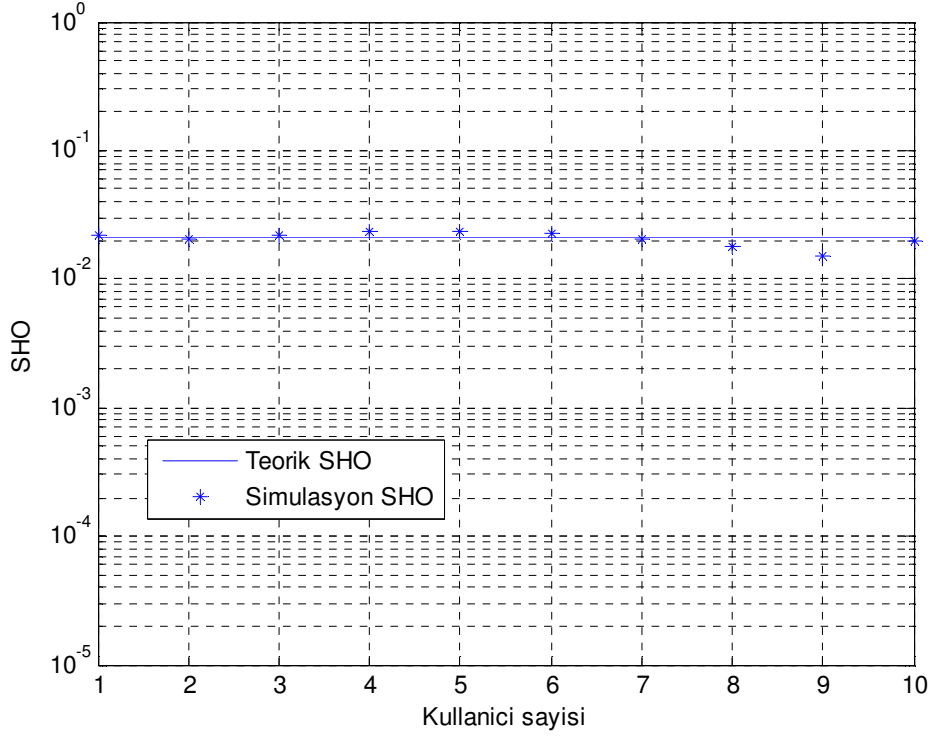
Şekil 6.12'de 3 kullanıcıli FH-DFBÇE'nin $M=16$ ve $f_d T_s N = 0.1$ durumu için boş alt taşıyıcı sayısının performansa olan etkisi incelenmiştir.



Şekil 6.12 Üç Kullanıcılı FH-DFBÇE’de $M=16$ ve $f_d T_s N = 0.1$ için boş alt taşıyıcıların Dopplerli Rayleigh kanal üzerindeki DöGM performansına etkisi.

Şekil 6.12’de boş alt taşıyıcı sayısının artmasıyla performansın iyileşmesinin çok az olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak da hem sönmüleme etkisiyle oluşan bozulmalar hem de Doppler etkisiyle oluşan frekans kayması gösterilir. Teorik hesaplama eşitlik (5.9) için yapılmıştır.

Şekil 6.13’de FH-DFBÇE’nin $M=4$ ve $f_d T_s N = 0.1$ durumu için Dopplerli Rayleigh kanalda kullanıcı sayısının değişiminin performansa olan etkisi incelenmiştir. Burada İGO değeri sabit tutulup 18 dB’dir. Kullanılan DFBÇ sembol sayısı 1600’dür.



Şekil 6.13 FH-DFBÇE'nin $M=4$, $SGO=18$ dB ve $f_d T_s N = 0.1$ için Dopplerli Rayleigh kanalda kullanıcı sayısındaki değişimin performansa etkisi.

Şekil 6.13'de kullanıcı sayısı değiştikçe SHO değerinde fazla bir değişim olmamaktadır. Bu durum, FH-DFBÇE sistemin kullanıcılar arası girişimi elemine edebilme avantajından kaynaklanmaktadır. Kullanıcılara atanmış olan alt taşıyıcılar aynı zaman dilimi içinde aynı frekans bandını kullanmadıkları için kullanıcılar arası karışım meydana gelmez. Dolayısıyla performans etkilenmez. Teorik hesaplama için eşitlik (5.9) kullanılmıştır.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında FH-DFBÇE tekniğinin farklı kanal ve durumlardaki performans analizleri yapılmış ve kıyaslamalar ortaya konmuştur. Sırasıyla TBBG, Rayleigh ve Doppler etkili Rayleigh kanaldaki teorik ve simülasyon performans sonuçları oluşturulup, değerlendirilmiştir. İşaret gürültü oranındaki değişime göre sembol hata oranları elde edilip şekiller çizdirilmiştir. Doppler etkisinin simülasyonu için Jakes kanal modeli kullanılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda teorik ve simülasyon değerlerinin, Dopplerli Rayleigh kanaldaki bazı durumlar hariç örtüştüğü görülmüştür. Dopplerli Rayleigh kanal için bazı olasılık değerlerinde teorik ve simülasyon eğrileri arasında çok küçük farklılıklar çıkmıştır. Her bir kanal durumu için öncelikle farklı modülasyon seviyeleri için sonuçlar elde edilmiş daha sonra sistemde boş alt taşıyıcılar bırakarak performansa ne gibi bir etkinin söz konusu olduğu incelenmiştir. Elde edilen değerler sonucunda boş alt taşıyıcı bırakmanın performansa olumlu yönde bir etkide bulunduğu görülmüştür (Fakat kanal sönümlenmeli hatta özellikle Doppler etkili olduğu durumda bu etkinin çok az olduğu gözlenmiştir).

DFBÇ modülasyonunda arttırılmış sembol süresi, sistemi kanalın zamanla değişmelerine karşı hassas hale getirir. Doppler yayılımı DFBÇ sisteminde alt taşıyıcıların dikgenliğini bozar ve bu durumda taşıyıcılar arası karışım (TAK) oluşur. DFBÇ modülasyonunda Doppler etkisi daha önceden de belirttiğimiz gibi normalize edilmiş Doppler frekansı ile incelenmiş ve teorik hesaplama bunun üzerinden yapılmıştır.

Kullanıcı sayısının artmasıyla her bir kanal durumu için de performansta gözle görülür bir oranda değişme olmamıştır. Yani çoklu kullanıcıli haberleşme sistemlerinde görülebilen çoklu kullanıcı girişimi yoktur. Bu da FH-DFBÇ'nin önemli avantajlarından biridir.

Bundan sonraki çalışmalarda, farklı modülasyon türleri kullanarak ve frekans seçici kanallardaki sistem başarımı üzerine çalışmalar gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Ahmed E S and Mohammad F F** (2008) Frequency Hopped-Orthogonal Frequency Division Multiple Access (FH-OFDMA) System Performance with Extending Quadratic Congruence (EQC) Hopping Code patterns. *Journal of Engineering and Development*, 12 (1): 96-106.
- Andrews J G, Ghosh A and Muhamed R** (2007) *Fundamentals of Wimax Understanding Broadband Wireless Networking*, Prentice Hall Communications Engineering and Emerging Technologies Series, pp. 113-122.
- Arjona A, Kerttula J and Ylä-Jääski A** (2008) Live Network Performance Challenge FLASH-OFDM vs. HSDPA. *Advanced Information Networking and Applications*, pp. 918-925.
- Bahai A R S, Saltzberg B R and Ergen M** (2004) *Multi carrier Digital Communications Theory and Application of OFDM Theory and Applications of OFDM*, Second Edition, p. 411.
- Bing B** (2000) *Broadband Wireless Access, The Springer International Series in Engineering and Computer Science*, Kluwer Academic Publishers, pp. 3-6.
- Bowman F** (1958) *Introduction to Bessel Functions*, Courier Dover Publications, pp.135
- Chang R W** (1966) Synthesis of Bandlimited Orthogonal Signals for Multichannel Data Transmission. *Bell System Technical Journal*, 45: 1775-1796.
- Cimini L J** (1994) Analysis and Simulation of Digital Mobile Channel Using Orthogonal Frequency Division Multiplexing. *IEEE Transaction on Communications*,42(2): 2908-2914.
- Dahlman E, Parkvall S, Sköld J and Beming P** (2008) *3G Evolution: HSPA and LTE for Mobile Broadband*, Academic Press, pp. 608.
- Döttling M, Javaudin J-P, Kalliojärvi K, Klang G, Sälzer T, Schwark U, Sorri A and Wijting C** (2006) *IST-4-027756WINNER II D6.13.2*, State-of-the-art evaluation (issue 1).
- Gault S, Hachem W and Ciblat P** (2006) Performance Of A Resource Allocation Strategy For An FH-OFDMA Based System In A Multi-Cell Environment, *Signal Processing Advances in Wireless Communications*, 2006. SPAWC'06. IEEE 7 th Workshop on, pp. 1-5.
- Goldsmith A** (2005) *Wireless Communication*, Cambridge University, 536 p.
- Hall E K and Wilson S G** (1998) Design and Analysis of Turbo Codes on Rayleigh Channels, *IEEE Selected Areas in Communications*, 16 (2): 160-174.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Haykin S and Moher M** (2005) *Modern Wireless Communications*, Pearson Prentice Hall, International Edition, 560 p.
- Öztürk E ve Tunçkaya Y** (2010) M-FaKA ve M-DöGM modülasyonlu DFBC İşaretlerin EBGG ve Rayleigh Sönümlmeli Kanallarda Başarımları. *IEEE 18. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SİU 2010)*, Diyarbakır.
- Peled R and Ruiz A** (1980) Frequency Domain Data Transmission Using Reduced Computational Complexity Algorithms. *Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP'80)*, Denver, CO, pp. 964-967.
- Prasad R** (2004) *OFDM for Wireless Communications Systems* Artech House, Inc. Boston London, pp. 294.
- Proakis J G and Salehi M** (2001) *Communication Systems Engineering*, Prentice Hall International Editions, Second edition, 801 p.
- Proakis J G, Wang T, Masry and Zeidler J R** (2006) Performance Degradation of OFDM Systems Due to Doppler Spreading. *IEEE Transactions on Wireless Communication*, 5: 1422-1432.
- Proakis J and Salehi M** (2008) *Digital Communications*, fifth edition, McGraw Hill International Edition New York, NY, 923 p.
- Proakis J G and Salehi M** (2010) *İletişim Sistemlerinin Temelleri (Tercüme edenler Altun H Öztürk E, ve Yenice Y E): Fundamentals of Communication Systems (Prentice Hall, Proakis & Salehi, Nobel Yayın Dağıtım, 854 s.*
- Rappaport T** (2002) *Wireless Communications, Principles and Practice*, Prentice Hall PTR, p. 736.
- Salim U** (2006) Cqi Measurements For Link Adaptation In The Downlink Of OFDMA. Masters Thesis Report, Supélec Ecole Supérieure d' Electricité Telecommunications Department.
- Shi Q, Yang Z, He L and Peng K** (2008) All Digital Baseband Frequency Hopping OFDM System, *Communication Systems, ICCS, 11th IEEE Singapore International Conference on*, Guangzhou, pp. 661-665.
- Simon M K and Alouni M-S** (2005) *Digital Communication Over Fading Channels*, Wiley Series in Telecommunications and Signal Processing, Wiley Second Edition, 900 s.
- Sklar B** (1997) Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communication Systems, *IEEE Communications Magazine*, 35: 90-109.
- Stüber G L** (2000) *Principles of Mobile Communication*. Kluwer Academic Publishers, 776 p.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Tsumura S, Mino R, Hara S and Hara Y** (2005) Performance Comparison of OFDM-FH and MC-CDM in Single- and Multi-Cell Environments, Vehicular Technology Conference IEEE 61st, Stockholm, 3: 1730-1734.
- Tunçkaya Y** (2009) MQAM ve MPSK Modülasyonlu OFDM Sistemlerin Gürültülü ve Rayleigh Sönümlenmeli Kanallarda Başarımlarının Benzetimle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak.
- URL-1** (2012) <http://erdinckuruoglu.files.wordpress.com/2010/11/haberlesme-muhendisligi-temelleri-coklu-erisimteknikleri.pdf>.
- Van Nee R and Prasad R** (2000) *Ofdm for Wireless Multimedia Communications*, Artech House Publishers, Boston – London, 256 p.
- Wang H, Kondi L and Luthra A** (2009) 4G Wireless Video Communications, John Wiley & Sons, pp. 420.
- Weinstein S B and Ebert P B** (1971) Data transmission by frequency division multiplexing using the discrete fourier transform. *IEEE Transactions on Communication Technology*, 19 (5): 623-634.
- Zajic A G and Stüber G L** (2006) Efficient Simulation of Rayleigh Fading with Enhanced De-Correlation Properties. *IEEE Transactions on Wireless Communications* 5 (7):1866-1875.

ÖZGEÇMİŞ

Koray YANIK 1986'da Zonguldak'ta doğdu. İlkokulu Zonguldak İlkokulunda, ortaokul ve liseyi Zonguldak Atatürk Anadolu Lisesi'nde okudu. Lise öğrenimi bittikten sonra, 2009 yılına kadar Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği'nde okudu. 2009 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programına başlamıştır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Bahçelievler mah. Mehmetcik cad. Duygu apt. No:12/2

ZONGULDAK

Tel : (0535) 5858509

E-posta : korayyanik@msn.com