

T.C.



GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAKLAŞIK EŞZAMANLI
ÖLÇEK-ZAMAN VE KOD BÖLMELİ ÇOKLU
ERİŞİM SİSTEMİNİN PERFORMANSI

150265

Cavit ONAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Yrd. Doç. Dr. Oğuz Kucur

GEBZE

2004



.....Cavit ONAN.....'ın tez çalışması, GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..12../01../2004.. tarih ve 2004/2.. sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından.....Elektronik Mühendisliği..... Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Oğuz KUCUR
(Tez Danışmanı)

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Ertan ÖZTÜRK

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. A. Arif ERGİN

ONAY

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
12/01/2004 tarih ve 2004/2.. sayılı karar.

İmza / Mühür
Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÇAPOĞLU
GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür Yardımcısı



ÖZET

Bu çalışmada sahte gürültü (SG) dizilerinin kod, dalgacıkların zaman ve ölçek ortogonallığına dayanan Ölçek-Zaman Kod Bölmeli Çoklu Erişim (ÖZ-KBÇE) olarak adlandırılan çoklu erişim sisteminin performansı beyaz Gauss gürültüsü eklenen kanalda (BEGGEK) yaklaşık eşzamanlı (YE) durumda incelenmiştir. ÖZ-KBÇE sisteminde sembollerin iletimi için ortogonal dalgacıklar kullanılır. ÖZ-KBÇE sisteminde kanal ölçeklere; ölçekler de zaman aralıklarına bölünür ve bu aralıklarda KBÇE kullanılarak çoklu erişim yapılır. Bu çalışmada ilk olarak Daubechies-2 (Db2) dalgacıkları için tasarlanan sistem analitik olarak incelenmiş ve bit hata olasılığı performansı bulunmuştur. Sistemin performansı aynı sayıda kullanıcı için KBÇE'ye göre biraz daha kötüdür. Performansı iyileştirmek için optimum dalgacık fonksiyonu bulunmalıdır. Sistemin çoklu erişim karışımı (ÇEK)'ni en aza indirgeyen optimum dalgacık, MATLAB paket programının Optimization Toolbox ek yazılımı ile elde edilmiş ve sistemin performansı KBÇE'den daha iyi hale getirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: ÖZ-KBÇE, Dalgacık, Yaklaşık Eşzamanlı



SUMMARY

In this work, the performance of a multiple access system which is called Scale-Time-Code Division Multiple Access (ST-CDMA) which depends on the code, time and scale orthogonality introduced by pseudo-noise (PN) sequences and wavelets is investigated over Quasi-Synchronous (QS) additive white Gaussian noise (AWGN) channel. Orthogonal wavelets are used for signalling symbols over channel in ST-CDMA system. In a ST-CDMA system, the channel is partitioned into different scales, and each scale into different time slots, then CDMA is used for multiple access in each slot. In this work first of all, the system designed for Daubechies-2 (Db2) wavelets is analysed and its bit error rate performance is obtained. The performance of this system is a little bit worse than that of QS-CDMA for the same number of users. Optimum wavelets must be investigated to outperform the performance of this system. The optimum wavelet which minimizes multiple access interference (MAI) of the system is obtained by using MATLAB Optimization Toolbox and then the performance of the system outperforms that of QS-CDMA.

Keywords: ST-CDMA, Wavelets, Quasi-Synchronous.



TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimim boyunca yardım ve katkılarını esirgemeyen değerli büyüğüm, tez danışmanım, Yrd. Doç. Dr. Oğuz Kucur'a, teşekkürü bir borç bilirim. Dalgacık analizi ve optimizasyon konusunda engin tecrübelerinden faydalandığım ve tezimde önemli katkısı olan Yrd. Doç. Dr. Ertan Öztürk'e de teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu tezi hazırlarken manevi yönden her zaman beni destekleyen ve yanımda olan sevgili aileme ve yakın arkadaşlarıma teşekkür ederim.





İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
İÇ KAPAK SAYFASI	ii
KABUL VE ONAY SAYFASI	iii
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	
1.1 Konuyla İlgili Yapılan Çalışmalar	3
1.2 Çalışmanın Amacı ve Katkısı	5
1.3 Tez'in Bölümleri	6
2. DALGACIKLAR	
2.1 Dalgacık Neden Kullanılır?	7
2.2 Dalgacık Analizi Nedir?	8
2.3 Ölçekleme Fonksiyonu ve Dalgacıklar	9
2.4 Çoklu Çözünürlüklü Analiz	11
3. KOD BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM	
3.1 Giriş	15
3.2 SG Dizileri	16



3.3 KBÇE Sistem Tanımı

3.4 YE-KBÇE

3.4.1 Sistem Tanımı

3.4.2 Sistemin Performansı

4. ÖZ-KBÇE SİSTEMİ

4.1 Sistemin Tanımı 26

4.2 Sistemin Analizi 29

4.3 Sistemin Performansının İncelenmesi 39

4.4 Optimum Dalgacık Tasarımı 41

5. SONUÇLAR 46

KAYNAKLAR 48

EKLER 50

ÖZGEÇMİŞ 74



KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltma

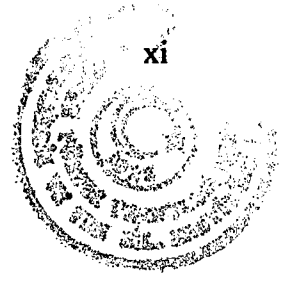
Açıklama

3G :	3. Nesil Sistemler
AMPS :	Advanced Mobile Phone System
BEGGEK :	Beyaz Gauss Gürültüsü Eklenen Kanal
CT2 :	Cordless Telephone-2
ÇEK :	Çoklu Erişim Karışımı
DECT :	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
FBÇE :	Frekans Bölmeli Çoklu Erişim
FDD :	Frequency Division Duplex
GSM :	Global System for Mobile Communications
İFKA :	İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama
İGO :	İşaretin Gürültüye Oranı
KBÇE :	Kod Bölmeli Çoklu Erişim
MF :	Minimum Frequency
ÖZ-KBÇE :	Ölçek Zaman Kod Bölmeli Çoklu Erişim
PDC :	Personal Data Communication
Pb :	Bit Hata Olasılığı
PMR :	Private Mobile Radio
QPSK :	Quadrature Phase Shift Keying
SG :	Sahte Gürültü (Dizisi)
TACS :	Total Access Communication Services
TDD :	Time Division Duplex
YE :	Yaklaşık Eşzamanlı
ZBÇE :	Zaman Bölmeli Çoklu Erişim



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1a Ölçekleme fonksiyonu $\phi(t)$.	9
2.1b $\phi(t)$ 'nin ölçeklenmiş ve ötelenmiş yavruları.	9
2.2a Haar dalgacığı $w(t)$.	10
2.2b $w(t)$ 'nin ölçeklenmiş ve ötelenmiş yavruları $w(2t)$ ve $w(2t-1)$.	10
3.1 KBÇE'nin verici tarafı.	20
3.2 Geleneksel Detektör.	21
4.1 2-ölçekli ÖZ-KBÇE sisteminin Modeli.	27
4.2 ÖZ-KBÇE sisteminin formatı	28
4.3 İki rasgele ortogonal kodu YE durumu.	29
4.4 Ana dalgacığın YE durumu.	31
4.5 Birinci ölçek $w_{00}(t)$ ile $w_{10}(t)$ arasındaki karşım.	33
4.6 Birinci ölçek $w_{00}(t)$ ile $w_{11}(t)$ arasındaki karşım.	34
4.7 Birinci ölçek $w_{00}(t)$ ile $w_{12}(t)$ arasındaki karşım.	36
4.8 Birinci ölçek $w_{00}(t)$ ile $w_{13}(t)$ arasındaki karşım.	37
4.9 Db2 Ortogonal dalgacıkları.	39
4.10 Db2 dalgacıklarının bit hata olasılığı performansı ($N_u=25$).	40
4.11 Db2 dalgacıklarının bit hata olasılığı performansı ($N_u=25$).	41
4.12 Optimum Dalgacık.	42
4.13 Optimum dalgacıkla elde edilen performans ($N_u=25$).	43
4.14 ÖZ-KBÇE sisteminin performansı ($N_u=25$).	44
4.15 ÖZ-KBÇE sisteminin performansı ($N_u=15$).	44
4.16 ÖZ-KBÇE sisteminin performansı ($N_u=40$).	45



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo

Sayfa

1.1 Analog ve sayısal telsiz sistemlerin modülasyon ve erişim teknikleri

2





1. GİRİŞ

Üçüncü nesil mobil sistemlerinin ana amacı, herhangi bir kullanıcının herhangi bir anda ve yerde çok sayıda iletişim hizmetine farklı çoklu ortam araçlarıyla ulaşabilmesidir. Bu üçüncü nesil cep telefonu kullanıcıları için daha kaliteli ses, yüksek hızda veri, video iletimi demektir. Birinci nesil sistemler sadece ses iletişimi için geliştirilmiş analog sistemlerdi. Daha sonra sayısal standartların başlangıcı olan ikinci nesil sistemler geliştirilmiştir. Günümüzdeki sayısal telsiz telefon sistemleri ses haberleşmesinin yanında veri iletimi için de kullanılmaya başlanmıştır. Ancak iletim hızları yeterince iyi değildir. İkinci nesil sistemlerde WAP (Wireless Application Protocol) ve GPRS (General Packet Radio Service) gibi üçüncü neslin (3rd Generation-3G) hizmetlerini veren ara teknolojiler de kullanılmaktadır. İkinci nesil sistemlerin cevap veremediği yüksek veri hızına üçüncü nesil sistemlerle ulaşılır. Üçüncü nesil sistemler çoklu ortam (multimedia) hizmetlerini 384 Kbps ile 2 Mbps arasında değişen hızlarda kullanıcılara sağlamaktadır. Üçüncü nesil sistemler uygulamaları ve kapasitesi bakımından telsiz haberleşmede önemli bir gelişmedir. Telsiz hücresel haberleşmenin üç neslini de kısaca gözden geçirelim:

Birinci Nesil Hücresel Sistemler :

Birinci nesil sistemler Frekans Bölmeli Çoklu Erişim [FBÇE-Frequency Division Multiple Access-(FDMA)] çoklu erişim yöntemini kullanırlar. Birinci nesil sistemler iletim ve kontrol kanallarında analog Frekans Modülasyonu [FM-Frequency Modulation (FM)]'i kullanırlar. Birinci nesil sistemler, Amerika kıtasında standart olan AMPS (Advanced Mobile Phone System), Avrupa'da standart olan TACS (Total Access Communication System), uzak doğuda standart olan NMT-900 (Nordic Mobil Telephone System)'den ibarettir.

İkinci Nesil Hücresel Sistemler :

Artan kapasite ihtiyacına birinci nesil sistemlerin cevap verememesinden dolayı ikinci nesil (2G) sistemler geliştirilmiştir. İkinci nesil sistemlerde sayısal haberleşme teknikleri kullanılır. İkinci nesil sistemlerde FBÇE'nin yanı sıra Zaman Bölmeli Çoklu Erişim [ZBÇE-Time Division Multiple Access-(TDMA)] ve Kod Bölmeli Çoklu Erişim [KBÇE-Code Division Multiple Access-(CDMA)] kullanılır.

İkinci nesil sistemlerde modülasyon tekniği olarak sayısal modülasyon teknikleri kullanılır. İkinci nesil sistemler; Amerika'da IS-54 (CDMA) ve IS-136 (TDMA), Avrupa'da GSM (Global System for Mobile Communication), Uzak doğuda PDC (Personal Data Communication)'dir.

Üçüncü Nesil Hücreli Sistemler :

Üçüncü nesil hücreli sistemlerde sabit ağlar kadar hızlı video ve resim iletimi de sağlanacaktır. 3G sistemlerde çokluma tekniği olarak KBÇE kullanılır. Modülasyon tekniği olarak da sayısal modülasyon teknikleri kullanılır. Tablo 1.1.'de telsiz sistemlerde karşılaştırmalı olarak kullanılan modülasyon ve erişim teknikleri verilmiştir. UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) yakın gelecekte dünya çapında gezgin, modern, akıllı ve güvenli haberleşme sağlayacak 3G gezgin iletişim sistemleri içinde en gözde ve popüler olanıdır. UMTS/IMT-2000 olarak da bilinen ve WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) tekniğine dayanan 3G sistemler, çoklu ortam uygulamalarının gerektirdiği değişken veri hızlarını destekleyebilmektedir. Aynı zamanda yüksek hızda İnternet erişimi gibi geniş bant uygulamaları da gerçekleştirilecektir. 3G sistemlerin yüksek veri hızlarını destekleyebilmesi, paket anahtarlama ve devre anahtarlama servislerinin ikisini de destekleyebilmesi, frekans spektrumunu verimli şekilde kullanması, 1G ve 2G sistemler arası uyumluluğu en önemli avantajlarıdır. Günümüzde özellikle Japonya ve Amerika'da KBÇE çoklu erişim standartlarını kullanan sistemler kullanılmaktadır.

Tablo 1.1. Analog ve sayısal telsiz sistemlerin modülasyon ve erişim teknikleri.

<i>Sistem</i>	<i>Mod</i>		<i>Erişim</i>	<i>Modülasyon</i>
Paging	Simplex	-	-	FM/FSK
PMR	Yarı duplex	-	-	AM/FM
TACS	Full duplex	FDD	FDMA	FM
CT2	Full duplex	TDD	FDMA	FSK
DECT	Full duplex	TDD	MF-TDMA	Gaussian FSK
GSM/DCS	Full duplex	FDD	TDMA	GMSK
CDMA	Full duplex	FDD	CDMA	BPSK/QPSK

Haberleşme sistemlerinin tasarımında en önemli kriterler; sınırlı bant genişliği, bu bant içindeki aktif kullanıcı sayısı ve bit hata olasılığı performansıdır. İkinci nesil sistemlerde kullanılan KBÇE için en iyi hata performansı teorikte eşzamanlı durum için geçerlidir. İkinci nesilde de kullanılan, ama üçüncü nesilde dünya standardı olan KBÇE tekniği ikinci bölümde kısaca incelenmiştir. KBÇE sistemi içindeki sahte gürültü [SG-Pseudonoise-(PN)] kodları kullanan kullanıcılar mevcut bandın tamamını aynı zaman dilimi içinde kullanırlar. Bu kodlar birbirlerine ortogonal oldukları zaman eşzamanlı durumun hata performansı İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama [İFKA-Binary Phase Shift Keying-(BPSK)]'nın performansına, yani elde edilebilecek en iyi performansa ulaşır. Ancak bu sistemin performansı eşzamansız iletim durumunda kötüleşir. Pratikte senkronizasyonun sağlanması oldukça zordur. Çeşitli algoritmalar kullanılarak alıcıda senkronizasyon sağlanmaya çalışılır. Bu durum çeşitli makalelerde ve tezlerde incelenmiştir. Senkronizasyon probleminin yaşandığı durumlarda Yaklaşık-Eşzamanlı [YE-Quasi Synchronous-(QS)] durumu oluşur. Mobil araç tarafından gönderilen işaretlerde, kanalın fiziksel yapısından dolayı çok düşük miktarda gecikmeler oluşuyorsa bu duruma YE durum denir. YE durumunda elde edilen performans eşzamansız performanstan iyi, eşzamanlı performanstan kötüdür. KBÇE sisteminin bit hata olasılığı performansı YE durum için daha önce incelenmiştir [DaS93]. KBÇE'nin bit hata olasılığı performansı Çoklu Erişim Karışımı [ÇEK-Multiple Access Interference-(MAI)] ile yakından ilgilidir. KBÇE'de eşzamanlılık durumu bozulduğu zaman, kullanılan ortogonal kodların ortogonaliteleri de bozulur. Bunun sonucu olarak ÇEK karışımı artar ve bit hata olasılığı performansı kötüleşir. Eşzamanlılığın bozulduğu durumlar için ÇEK karışımını en aza indiren kodlar araştırılmıştır [DaS93]. Bu çalışmada YE-KBÇE sistemine alternatif bir sistem tasarlanıp bit hata olasılığı performansı YE-KBÇE ile karşılaştırılacaktır.

1.1 Konuyla İlgili Yapılan Çalışmalar

YE-KBÇE sisteminin bit hata olasılığı performansı YE durum için en genel halde incelenmiştir [DaS93]. Bit hata olasılığı performansı kullanılan koda ve kodun uzunluğuna bağlıdır. Da Silva ve Sousa'nın çalışmasında kullanılan kodlar rasgele ve ortogonal, ortogonal olmayan ve Sylvester kodları olarak üç tiptir. YE durumda kodların çip aralığı T_c olmak üzere τ_i gecikmeleri $[-T_c, T_c]$ arasında düzgün

dağılmıştır. Sonuç olarak rasgele ve ortogonal kodların hata olasılığı performansı ortogonal olmayanlara göre daha iyi, ancak Sylvester kodlarından da daha kötüdür. Bir diğer çalışmada da çok taşıyıcılı KBÇE için YE durumu incelenmiştir [DaS94]. Bu çalışmada çok noktadan noktaya haberleşmede kullanıcıların oluşturduğu karışım azalır.

Dalgacık temelli çalışmaların bazıları optimum çip dalga biçimi tasarımı üzerinedir. KBÇE sisteminde ÇEK karışımını minimum yapan çip dalga biçimi araştırılmıştır. Çip dalga biçimi tasarımı eşzamanlı, eşzamansız ve yaklaşık eşzamanlı durumlar için incelenmiştir [OZT01a]. Çip dalga şekli üretilirken bilinen ve üretilmesi basit olan dalgacıklar (Daubechies, Coiflets, Raised Cosine vb.) kullanılmıştır. Dalgacıkların kullanıldığı çip dalga biçimi tasarımında YE-KBÇE durumunda kare dalga biçimine göre daha iyi hata olasılığı performansı elde edilmiştir. Farklı bant genişlikleri için bit hata olasılığı performansı incelenmiştir. Bir diğer dalgacık tabanlı çalışma ise çoklu ölçekli KBÇE sistemidir. Bu çalışmada, 4. nesil telsiz haberleşme sistemleri için çoklu hızlı veri haberleşmesine olanak sağlayan sistem incelenmiştir. ÇEK karışımını en aza indirgeyen optimum dalgacık tasarımı yapılmıştır [OZT01b].

Bir diğer çalışma da bu çalışmaya ışık tutan Ölçek-Zaman Kod Bölmeli Çoklu Erişim [ÖZ-KBÇE-Scale-Time Code Division Multiple Access-(ST-CDMA)] sistemidir [KUC00]. Bu sistemde bit aralığında dalgacıklar kullanılarak kanal ölçeklere ve ölçekler de zaman aralıklarına bölünür. Ölçeklenmiş ve ötelenmiş ortogonal dalgacıklar yardımıyla semboller iletilir. Her ölçeğe ait zaman aralığında aynı KBÇE'deki gibi SG kodları kullanılarak çoklu erişim yapılır. Kullanılan dalgacıklar her ölçek ve zaman aralığı içinde ortogonaldır. Haar dalgacıklarını ve kompleks değerli SG kodlarını kullanan bu çalışmada eşzamanlı durumda KBÇE'nin bit hata olasılığı performansına eşdeğer bir sistem elde edilmiştir. Ancak ÖZ-KBÇE, KBÇE'ye göre aynı bant genişliğinde daha çok kullanıcıyı desteklemektedir. Eşzamanlı durumdan sonra sistem eşzamansız durumda incelenmiş ve performansı iyileştirmek için değişik SG dizileri kullanılmıştır [KUC99]. Bir başka çalışmada ise eşzamanlı ÖZ-KBÇE sistemi için optimum dalgacık araştırılmıştır [KUC02]. Fakat bu çalışmada KBÇE ile aynı kapasitede ve aynı bit hata olasılığı performansında bir sistem elde edilmiştir. Bulunan optimum dalgacık Haar dalgacığına yakınsamaktadır.



1.2 Çalışmanın Amacı ve Katkısı

Bu çalışmada ÖZ-KBÇE denilen çoklu erişim sistemi incelenmiştir. Bu sistemin bit hata olasılığı performansı kullanılan SG kodlara ve ölçek ve zaman ortogonalitesi olan dalgacıklara bağlıdır. Ortogonal dalgacıklar işaretleme için kullanılırlar. Bu sistemde kanal farklı ölçeklere, ölçekler de zaman aralıklarına bölünür. Örneğin ikici (dyadic) durum için ölçek parametresi iki olur ve temel dalgacık (wavelet) $[0, T]$ aralığında tanımlıdır. İlk ölçek içinde sadece ana dalgacık varken, ikinci ölçek içinde dört adet dalgacık bulunur. Bütün dalgacıklar birbirlerine ortogonaldır. SG kod dizileri sistem içinde her ölçek içinde çoklu erişimi sağlar. Başka bir deyişle her kullanıcının belli bir ölçeği ve bulunduğu zaman aralığında (içinde bulunduğu dalgacıkta) farklı SG kodu vardır. İkici ÖZ-KBÇE sisteminde ilk ölçek içinde bir sembol iletilirken ikinci ölçekte dört farklı sembol iletebilir. Bu yüzden bu sistem çoklu hızlı (multirate) haberleşmeye de uygundur.

Bu çalışmada, ÖZ-KBÇE sistemi YE durum için incelenmiştir. Amaç, sistemin bit hata olasılığı performansını YE-KBÇE'ye kıyasla daha iyi yapmaktır. KBÇE sisteminin bit hata olasılığı performansı eşzamanlı durumda kötüdür. Kullanılan SG kodları ne kadar uygun seçilse de İFKA'nın performansından daha kötü sonuçlar elde edilir. Daha önce ölçek ve zaman bölmeli sistemler üzerine eşzamanlı ve eşzamanlı olarak çalışmalar yapılmıştır [KUC00, KUC99]. YE durumda çalışma yapılmamıştır. ÖZ-KBÇE sisteminde kullanılan dalga biçimi bit aralığında kullanılmıştır. Sistem eşzamanlı olarak incelendiğinde İFKA ile aynı bit hata olasılığı performansı ve aynı kapasite elde edilir [KUC02]. İncelenen sistem Daubechies-2 (Db2) dalgacığı için tasarlanmıştır. Farklı dalgacıkların kullanılması durumunda bant genişliği değişeceğinden sistemde değişiklik yapmak gerekmektedir. İki ölçekli sistemin performansı Db2 dalgacıkları kullanıldığında YE-KBÇE'ye göre biraz kötü olduğu için, performansı iyileştirecek optimum dalgacık şeklinin bulunması gerekir. Bunun için optimizasyon yapılır. Optimizasyon sonucu bulunan optimum dalgacıkla, YE durumda ÖZ-KBÇE sisteminin bit hata olasılığı performansı YE-KBÇE sistemininkine göre daha iyidir.



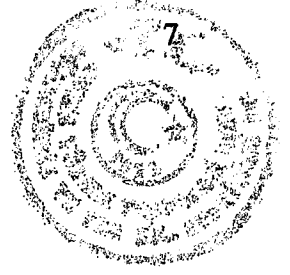
1.3 Tezin Bölümleri

Bu çalışmanın ikinci bölümünde dalgacıklar incelenir, sistemin analizinde gerekli hususlar anlatılır. Dalgacıkların ortogonallığının nasıl sağlandığı ve dalgacıkların nasıl üretildiği kısaca anlatılır.

Üçüncü bölümde ise KBÇE sistemi ana hatlarıyla incelenir. Bu bölümde, SG kodlarının özellikleri anlatılır. Ayrıca ÖZ-KBÇE sisteminin bit hata olasılığı performansının karşılaştırıldığı YE-KBÇE sistemi incelenir.

Dördüncü bölümde sistemin analizi ve performans incelemesi yapılır. İlk olarak çalışmada sistemin analizi yapılır ve daha sonra bu analize göre sistemin bit hata olasılığı performansı Db2 için MATLAB programıyla BEGGEK'da incelenir. Elde edilen performans YE-KBÇE sisteminin ve İFKA'nın performansı ile karşılaştırılır. Optimum dalgacık üretimi anlatılır ve optimum dalgacık için hata performans eğrileri elde edilir.

Sonuç bölümünde ise çalışmada elde edilen sonuçlar özetlenir ve bundan sonra yapılabilecek çalışmalara dair öneriler verilir.



2. DALGACIKLAR

2.1 Dalgacık Neden Kullanılır?

Dalgacık teorisi işaret işleme alanında geliştirilmiş sayısız teknik için birleştirici iskeleti oluşturur. Çoklu çözünürlüklü işaret işlemeli bilgisayar teknolojisinde, alt-bant kodlama ile ses ve resim sıkıştırma ve dalgacık seri açılımıyla pek çok matematik alanında kullanılmıştır. Bu teori farklı düşünceleri bir arada barındırır. Ayrık ve sürekli zamanlar için uygulanabilir. Dalgacık Dönüşümü [DD-Wavelet Transform-(WT)] stasyonier olmayan işaretler için Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümüne [KZFD-Short Time Fourier Transform-(STFT)] alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Dalgacık dönüşümünü anlamak için sözkonusu analiz yöntemlerinin incelenmesi gerekir. Bu yöntemler Fourier Dönüşümü [FD-Fast Fourier Transform-(FFT)] ve KZFD'dir. Bu yöntemlerle işaretler frekans ve zaman boyutlarında incelenirler. Her bir dönüşümün bir diğerine göre avantajı ve buna bağlı farklı uygulama alanları vardır [VET91] .

Fourier Dönüşümü:

En çok bilinen işaret analizi yöntemidir. Bu yöntemle işaret farklı frekanslardaki sinüs bileşenlerine ayrılır. Pek çok işaret için Fourier dönüşümü oldukça kullanışlıdır. İşaretin dönüşüm bilgisine bakıldığında bu bilgilerin hangi zaman aralığına ait olduğu bilinmemektedir. Eğer işaret zamanla çok fazla değişmiyorsa (stasyonier işaretler) bu yöntem çok faydalıdır. Ancak gerçekte incelenen işaretler aslında stasyonier değil ve pek çok geçiş ve süreksizlik noktası vardır [VET91] .

Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü:

KZFD, stasyonier olmayan işaretlerin analizinde kullanılırlar. Bu analizle; $x(n)$ işareti, sınırlı devam süresi olan pencere fonksiyonu zamanda ötelenerek tüm işaret ile çarpılır ve daha sonra FD'ye bakılır. KZFD, işareti zaman ve frekans boyutlarında beraber inceler. Pencere fonksiyonunun uzunluğu çözünürlüğü belirler. Bu analizin dezavantajı ise pencere fonksiyonunun sabit olmasıdır. Dar pencere ile iyi zaman

Çözünürlüğü varken kötü frekans çözünürlüğü elde edilir. Hem zaman hem de frekans çözünürlüğünün beraber iyi olmaması dezavantajdır [VET91] .

Dalgacık Dönüşümü:

Pencereleme tekniğı bu analizde değışken boyuttadır. Dalgacık dönüşümünde düşük frekans bilgilerinde hassasiyet isteniyorsa uzun zaman aralıklı pencere; yüksek frekans bilgilerinde hassasiyet isteniyorsa kısa zaman aralıklı pencere kullanılır. Dalgacık dönüşümü zaman-frekans bölgesi yerine zaman-ölçek bölgesini kullanır. Dalgacık analizinin en büyük avantajı istenen zaman aralığında analiz yapılabilmesidir. Örneğın, sinüs işaretinin herhangi bir noktasında meydana gelen güç artışı ya da azalışı veya gürültü binmesi gibi süreksizlikler gerçek uygulamalarda meydana gelir. Bu süreksizlikler FD ile incelenmesi durumunda görülememesine rağmen DD ile kolayca ayırt edilebilir. Aynı zamanda, DD işaretlerin sıkıştırılmasında ve gürültüden arındırılması işlemlerinde kullanılır. İşaret işleme alanında DD, diğere işaret analizi yöntemlerine kıyasla vazgeçilmez katkı yapmıştır ve oldukça popülerdir. Sürekli ve ayrık zamanlı DD mevcuttur ve uygulamasına bağılı olarak kullanılırlar [STR96] .

2.2 Dalgacık Analizi Nedir?

Dalgacıklar belli bir devam süresinde sınırlı ve ortalama değeri sıfır olan dalga şeklidir. Sinüs dalgalarıyla dalgacıklar FD dönüşümü bakımından karşılaştırılırsa, sinüzoidal dalgalarda belli bir zaman sınırlandırılmasının olmadığı görülür. Sinüzoidal dalgalar düzgün ve önceden tahmin edilebilirler. Dalgacıklar ise düzensiz ve asimetriktir. FD analizi, işaretin belirli frekanslardaki değışiklikleri içerirken, DD ana dalgacığın ölçeklenmiş ve (zamanda) ötelenmiş durumlarını içerir. Dalgacıkların lokal olmasının önemli avantajları vardır. Stasyonere olmayan işaretlerin kısa zaman aralıkları için stasyonere kabul edilip incelendiğı unutulmamalıdır. Ayrıca, sınırlı zaman aralığında belirli bir frekans bandına sahip olur. Dalgacık analizi tek boyutta olduğı gibi çok boyutlu (resim, video, vs.) uygulamalarda da rahatlıkla kullanılabilir. Bazı uygulamalarda DD, hedef işareti temel fonksiyonlarına ayırır. Bu temel fonksiyonlar dalgacıklar olarak adlandırılır. Yavru dalgacıklar ise ana dalgacığın ölçeklenmesi ve (zamanda) ötelenmesiyle oluşturulur. Ana dalgacık bant geçiren filtre gibi düşünülebilir. DD farklı

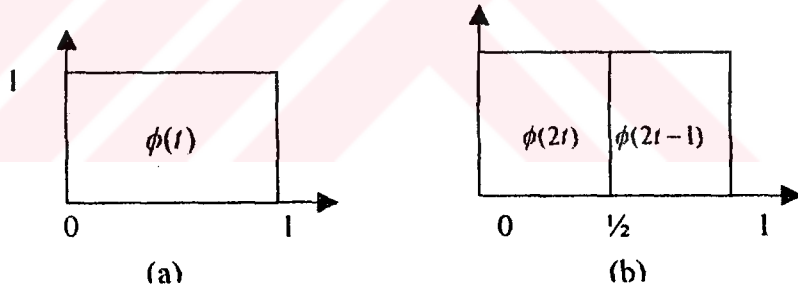
uygulamalarda günümüzde kullanılmaktadır. Zamanda sürekli işaretler için zaman ve ölçek parametreleri sürekli olmalıdır [STR96, VET91].

2.3 Ölçekleme Fonksiyonu ve Dalgacıklar

Bu bölümde tezde kullanılacak olan dalgacıkların nasıl filtre katsayılarından elde edildiği ve ölçekleme fonksiyonunun nasıl oluşturulduğu gösterilecektir. Sürekli zaman ölçekleme fonksiyonu $\phi(t)$ aşağıdaki şekilde ifade edilir [STR96] :

$$\phi(t) = \sqrt{2} \sum_{k=0}^{2N-1} c(k) \phi(2t - k) \quad (2.1)$$

Denklem 2.1'de yer alan $c(k)$ orijinal alçak geçiren filtre katsayılarıdır ve $2N$ filtre uzunluğudur. Yüksek geçiren filtre katsayıları kullanılarak da dalgacık eşitliği elde edilir. Bu dalgacığın desteği S ise $2N-1$ 'e eşittir. İki ölçekli ölçekleme fonksiyonu için $c(0)=1/\sqrt{2}$ ve $c(1)=1/\sqrt{2}$ olur. Şekil 2.1'de bu fonksiyonunun ölçeklenmiş ve ötelenmiş hali görülmektedir.



Şekil 2.1 a) Ölçekleme fonksiyonu $\phi(t)$, b) $\phi(t)$ 'nin ölçeklenmiş ve ötelenmiş yavruları.

Bu iki ölçekli darbe fonksiyonunun özel adı Haar ölçekleme fonksiyonudur. Haar için ölçekleme fonksiyonu $\phi(t) = \phi(2t) + \phi(2t-1)$ şeklinde ifade edilir. Şekil 2.1'deki gibi $\phi(2t)$ fonksiyonu iki ile sıkıştırılmış $\phi(t)$ grafiği ve $\phi(2t-1)$ ise $\phi(2t)$ 'nin $1/2$ ile ötelenmiş halidir. Ölçekleme fonksiyonu $\phi(t)$ 'nin $\int_{-\infty}^{\infty} \phi(t) dt$ integrali bire eşit olmalıdır. Bunun için işaret normalize edilir. Normalleştirilmiş filtre katsayılarının toplamı 1 olmalıdır. Bu çıkıştaki sıfır frekanslı DC terimi korur.

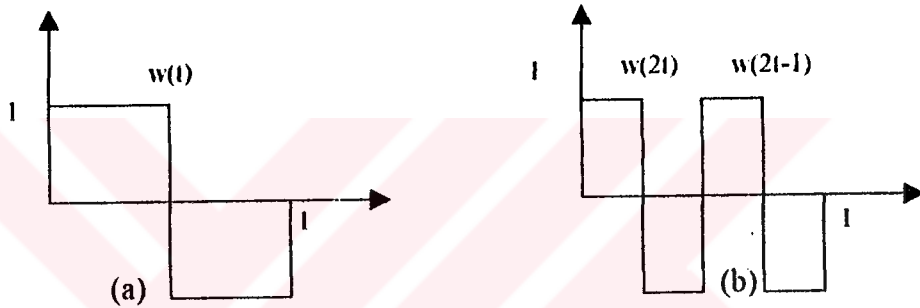


Dalgacık Eşitliği:

Dalgacık eşitliği yüksek geçiren filtre katsayılarından $(d(k))$ oluşmaktadır. Dalgacık eşitliği $w(t)$ Denklem 2.2’de ifade edilmiştir [STR96] .

$$w(t) = \sqrt{2} \sum_{k=0}^{2N-1} d(k) \phi(2t - k) \quad (2.2)$$

Darbe fonksiyonu kullanan dalgacığın denklemi $w(t) = \phi(2t) - \phi(2t - 1)$ şeklinde yazılır. Açık şekilde $w(t) = 1, 0 \leq t < \frac{1}{2}$ ve $w(t) = -1, \frac{1}{2} \leq t < 1$ ile ifade edilir. Haar dalgacığı (Db2) denilen bu dalgacık Şekil 2.2’de görülmektedir.



Şekil 2.2 a) Haar dalgacığı $w(t)$,

b) $w(t)$ ’nin ölçeklenmiş ve ötelenmiş yavruları $w(2t)$ ve $w(2t-1)$.

Dalgacıkların desteğinin kompakt olması gerekmez. Dalgacıklar IIR (Infinite Impulse Response) filtrelerden de gerçekleştirilebilirler. Bu dalgacıklar $-\infty$ ve $+\infty$ aralığında x eksenine üstünde ve altında salınım yaparlar. Dalgacıkların DC değeri sıfır olmalıdır, yani $\int_{-\infty}^{\infty} w(t)dt = 0$ ’dır. Özellikle dalgacıkların ortogonal olmaları özel hali hesaplamalarda faydalıdır. $w(t)$ dalgacığı eğer bütün ölçeklenmiş ve ötelenmiş biçimlerine $(w(2^k t - k))$ ortogonal ise bu temel fonksiyonlar ortogonal temel fonksiyon olarak adlandırılırlar. Bu özellik Haar dalgacığında rahatlıkla görülebilir.

$$\text{İç çarpımlar, } \int_{-\infty}^{\infty} w(t)w(2t)dt = 0, \int_{-\infty}^{\infty} w(t)w(2t-1)dt = 0 \text{ ve } \int_{-\infty}^{\infty} w(2t)w(2t-1)dt = 0$$

şeklinde olmalıdır. Bu çarpım sonuçları Şekil 2.2 incelendiğinde rahatlıkla görülebilir. Haar dalgacığında aynı ölçek seviyesinde çakışma olmaz. Farklı ölçeklerdeki dalgacıkların ortonormal durumları şu eşitlikle kontrol edilir [STR96] :

$$\int_{-\infty}^{\infty} w_{jk}(t) w_{jk}(t) dt = \delta(j-J) \delta(k-K)$$



Denklem 2.3'de $\delta(j)$, Kroniker delta fonksiyonu olup $j \neq J$ için $\delta(j-J) = 0$. $j = J$ için $\delta(j-J) = 1$ 'dir. $j = J$ ve $k = K$ durumunda Denklem 2.3'deki integralin değeri 1'e eşittir. $\phi(t)$ ve $w(t)$ ile ilgili bütün bilgiler; destek aralığı, ortogonallikleri, ne kadar düzgün oldukları ve bozulma dereceleri filtre katsayıları ($c(k)$ ve $d(k)$) yardımıyla belirlenir.

2.4 Çoklu Çözünürlüklü Analiz

Bu bölümde tez içinde kullanılacak olan DbN (N: Daubechies dalgacığının derecesi) dalgacıklarının nasıl üretildiği ve çoklu ölçekli analizin teorisi verilecektir. DbN dalgacıklarının desteği $S=2N-1$ ve filtre uzunluğu ise $FU=2N$ 'dir [DAU94]. Asıl amacımız iki kanallı filtre bankaları yaklaşımını kullanarak dalgacıkları üretmektir. Bütün dalgacıklar bu filtrelerin katsayılarından oluşmaktadır. Eğer iyi katsayılar seçilirse iyi dalgacıklar üretilir. Bu teorenin kalbi $\phi(t)$ ve $w(t)$ 'yi üretirken gerekli kıstasların $c(k)$ ve $d(k)$ katsayılarıyla doğrulanması ve uygun katsayıların seçilmesidir. Daha sonra yapılan iş filtre tasarımıdır başka birşey değildir.

$\phi(t)$ ve $w(t)$ eşitlikleri filtre bankalarındaki iterasyonlarla elde edilir. Zaman ve frekans boyutundaki kısıtlamalar sağlandığı zaman dalgacıklar elde edilmiş olur. Özellikle dalgacıkların ortogonallik ve düzenlilik kıstasları sağlanmalı, oluşan dalgacık pürüzsüz ve yüksek frekans bileşenlerini içermemiş olmalıdır. Bu iki kıstas açısından Db dalgacıkları en iyi sonucu veren dalgacıklardır. Haar dalgacığı dışında Db dalgacıkları yatay eksene göre simetrik değildir.

Çoklu ölçekli analiz için $f(t)$ uzayı belirlenir. Bu uzay alt uzaylara bölünür. Bu alt uzaylar $f(t)$ 'nin ayrıntısını verir. Bu ses işaretlerinin oktavlara bölünmesine benzetilebilir. Çok ölçekli bu sistemde ana uzay V_j ve W_j ile ifade edilir. Ölçekleme uzayı V_j 'dir. W_j ise V_j ve V_{j+1} uzaylarının farkıdır. Yani $V_{j+1} = V_j + W_j$ şeklindedir. Daha sonra ölçekleme ve k ötelemesine bağlı olarak iki durum daha ortaya çıkar (ölçekleme ($2t$) ile ve zamanda öteleme ($t-k$)). Eğer $f(t)$, V_j uzayı içinde yer alıyorsa $f(t)$ ve $f(2t)$ ve bütün $f(t-k)$ ve $f(t-2k)$ V_{j+1} uzayının içindedir. Sonuç olarak bir dalgacıktan bütün temel fonksiyonlar bulunabilir. $w(2^j t - k)$ ifadesi bütün j ve k 'ler

için ölçekleme ve ötelemeleri içerir. Önemli olan nokta dalgacık üretilmeden önce ilk olarak V_j 'nin bulunmasıdır. $\phi(t-k)$ ifadesi V_0 içinde bulunur. Tekrar ölçeklenerek $2^j t$ 'den V_j elde edilir. Sonra da W_j uzayı V_j ve V_{j+1} arasındaki fark olur [STR96].

Benzer şekilde filtre bankalarından, ilk olarak alçak geçiren $c(k)$ filtre katsayıları bulunur. Daha sonra yüksek geçiren $d(k)$ filtre katsayıları da $c(k)$ katsayılarından kolaylıkla elde edilir. Örneğin Daubechies fonksiyonlarından Db2 için $c(k)$ katsayıları şu şekildedir.

$$1/4\sqrt{2} \text{ kere } c(0), c(1), c(2), c(3) = (1+\sqrt{3}), (3+\sqrt{3}), (3-\sqrt{3}), (1-\sqrt{3})$$

Bu $c(k)$ katsayılarının toplamı $\sqrt{2}$ 'dir. Bu katsayıların karelerinin toplamı da 1'dir. Bu dalgacıkların ikili ötelemeleri ortogonaldir ($c(0).c(2)+c(1).c(3)=0$). Db2 dalgacığı bu katsayılardan oluşturulur [STR96].

$$\phi(t) = \sqrt{2} \sum_{k=0}^3 c(k)\phi(2t-k) \quad (2.4)$$

Bu denklemden görüldüğü gibi V_0 uzayı V_1 uzayı içinde bulunmaktadır. Aynı zamanda $\phi(t)$ de V_1 içindedir. Denklem 2. 4 ölçekleme fonksiyonudur.

En genel halde $\phi(t)$, $[0, 2N-1]$ içerisinde tanımlı ise belirli $c(0), \dots, c(2N-1)$ katsayılarıyla ifade edilebilir. $\phi(t)$ 'nin sonsuz uzunluğu olduğu ve sonsuz sayıda $c(n)$ katsayısına ihtiyaç olduğu düşünülür. $c(n)$ katsayılarını bulmak için ölçekleme fonksiyonu $2^{j/2} \phi(2^j t - k)$ ile çarpılıp integrali alınır. ($k=0,1,2,3; j=$ ölçeği verir)

$$2^{j/2} \int_{-\infty}^{\infty} \phi(t) \phi(2^j t - k) dt = c(k) \quad (2.5)$$

Dalgacıkların ortogonallikleri için katsayıların şu durumlarına bakılır:

$$\sum c(k)c(k-2m) = \delta(m) \text{ ve birim vektör: } \sum |c(k)|^2 = 1$$

Dalgacık eşitliği yazılırken $d(k) = (-1)^k c(2N-1-k)$ kullanılarak $c(k)$ katsayılarından faydalanılır ($2N-1$: destek ve $0 \leq k \leq 2N-1$). Denklem 2.6'da en genel halde dalgacık eşitliği ifade edilmiştir.

$$w(t) = \sqrt{2} \sum_k d(k) \phi(2t - k) \quad (2.6)$$

Örneğin Daubechies fonksiyonlarından Db2 için $d(k)$ katsayıları şu şekildedir.

$$1/4\sqrt{2} \text{ kere } d(0), d(1), d(2), d(3) = (1-\sqrt{3}), -(3-\sqrt{3}), (3+\sqrt{3}), -(1+\sqrt{3})$$

Bu katsayıların toplamı sıfır, karelerinin toplamı da normalizasyonla bir olur.

Dalgacıkların üretildiği alçak geçiren iterasyon ve ardarda algoritma şu şekilde çalışır: Asıl amaç ölçekleme fonksiyonu $\phi(t)$ 'yi elde etmektir. Gerekli olan girişler filtre katsayıları $c(0), \dots, c(2N-1)$ 'dir. Bu çözüm metodunda $\phi^{(0)}(t)$, $[0, 1]$ aralığında kare fonksiyon olarak kabul edilir. İterasyonla elde edilen alçak geçiren filtre ise aşağıdaki gibi ifade edilir [STR96].

$$\phi^{(i+1)}(t) = \sum_n \sqrt{2} c(n) \phi^{(i)}(2t - n) = \sum_n 2h(n) \phi^{(i)}(2t - n) \quad (2.7)$$

Denklem 2.7'ye göre algoritma çalıştırılır. Eğer $\phi^{(i)}$ uygun şekilde $\phi(t)$ 'nin limitine yaklaşırsa bu limit ölçekleme eşitliğini çözer. Birbirini ardarda izleyen algoritma yaklaşımında ($\phi^{(i+1)}(t) \rightarrow \phi(t)$) ortonormal filtre bankasının katsayıları olan $c(k)$ ve $d(k)$ 'ler sayesinde $\phi(t)$ ve çift ötelenmişleri ortogonal olurlar [STR96]. Ortogonal dalgacıklar için;

1-Ölçekleme fonksiyonu $\phi(t - n)$ 'ler birbirlerine ortonormaldirler.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \phi(t - n) \phi(t - m) dt = \delta(m - n)$$

2-Ölçekleme fonksiyonları dalgacıklara ortogonaldirler.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \phi(t - m) w(t - n) dt = 0$$

3- Dalgacıklar bütün ölçeklerde ortonormaldirler ($w_{jk}(t) = 2^{j/2} w(2^j t - k)$).

$$\int_{-\infty}^{\infty} w_{jk}(t) w_{JK}(t) dt = \delta(j - J) \delta(k - K)$$

Optimizasyon sırasında elde edilecek dalgacıklar için belli kısıtlamalar vardır. Bu kısıtlamalar ortogonalite ve düzenlilik şartlarıdır. Eğer dalgacıkları üretirken tekrarlı veya sıralı algoritma kullanılırsa her aşamada bu kısıtlamalara bakılması gerekir.

Bu tezde kullanılan dalgacıkların kısıtlamaları şu şekildedir [STR96].

1-Ortogonalite şartı :

$$\sum_{n=0}^{2N-1} h(n)h(n-2k) = \delta(k) \quad k=0,1,2,\dots,2N-1 \quad (2.8)$$

2-Düzenlilik şartları :

$$\sum_{n=0}^{2N-1} (-1)^n n^k h(n) = 0 \quad k=0,1,\dots,K-1 \quad (2.9)$$

$$\left| \sum_{n=0}^{2N-1} h(n)e^{-j\omega n} \right| - 2^{K+\frac{1}{2}} \left| (1+e^{j\omega})^K \right| (D-\nu)^2 \leq 0 \quad (1 \leq K \leq N) \quad (2.10)$$

Denklem 2.10'da kullanılan nicelikler şu şekilde tanımlanır; K, dalgacığın FIR (Finite Impulse Response) filtre katsayıları $h(n)$ ve z-dönüşümü $H(z)$ olmak üzere z-dönüşümünün sıfırlarının sayısı; $K_0 \geq 1$ ve $D > 1$ olmak üzere $K_0 = 2K-1 - \lfloor 2\log_2 D \rfloor$, dalgacıkların türevlerinin sayısı; ν oldukça küçük bir sayı ve $\omega \in [0, 2\pi]$ şeklindedir.



3. KOD BÖLMELİ ÇOKLU ERİŞİM

3.1 Giriş

Birinci ve ikinci nesilde kullanılan çoklu erişim yöntemlerinin kapasitelerinin yetersiz kalmasıyla yeni bir çoklu erişim tekniği ortaya çıkmıştır. KBÇE tekniği, yayılmış spektrumlu (spread spectrum) haberleşme ilkelerini kullanan telsiz haberleşme teknolojisidir. Bu teknik ile bit aralığında işaretleşme yapılırken SG kod dizilerinin kullanımıyla da kanalda çoklu erişim yapılır. Bütün kullanıcılar aynı taşıyıcı frekansını ve bandını aynı anda kullanır. Gönderilen bilgi bit dizileri kanal içinde diğer kullanıcılar için gürültü etkisi yapar. Sistemin güvenliği SG kod dizilerinin yayma özelliğinden dolayı üst düzeydedir. KBÇE sisteminde dar bant mesaj işareti geniş bant SG kod dizisi ile modüle edilir. Bu sistemde SG kod dizisinin hızı W 'nin bilgi bit hızı R 'ye oranına işlem kazancı ($G=W/R$) denir. İşlem kazancı KBÇE'nin performansı için önemli bir ölçüdür. SG kodları sayesinde mesaj işaretinin gücü gürültü seviyesinin altına iner ve bilgi kanalda gürültü gibi gözükür. Kanaldaki işaret istenilmeyen kişilerce ele geçirilmiş de olsa veri güvenliği sağlanmaya devam edilir. KBÇE sisteminde SG kodları alıcıda her bir mesaj işaretini tanımadaki kullanılırlar.

KBÇE sistemi zaman ve frekans bölmeli çoklama tekniklerinin kullanıldığı sistemlerden farklı olarak iletimde SG kod dizilerini kullanır. Bu sistemlere göre aynı bilgiyi göndermede daha fazla bant genişliği gerekir. Bu yüzden yayılmış spektrum teknolojisini kullanılır. Yayılmış spektrumlu sistemler aşağıdaki amaçlar için kullanılırlar [PRO95] :

- 1) Bozucu kullanıcılarının (jamming) ve çok yollu bozulmadan (multipath fading) kaynaklanan karışımın etkisini yok etmek için kullanılırlar.
- 2) Çok kullanıcıli ortamlarda (KBÇE ortamında) kullanılır.
- 3) İşaret düşük güçte iletilerek beyaz gürültü içinde saklanır; bu sayede istenmeyen dinleyicilerin işareti dinlemesi engellenir.

KBÇE sistemi, geniş bir bantta çok sayıda kullanıcıyı istihdam etmesi ve işaretlerin gürültü seviyesinin altında saklanması dolaylı hücreler arası haberleşmesinde bir üst seviye sistem olarak kabul edilmiştir.

KBÇE çoklu erişim tekniğinin FBÇE ve ZBÇE temelli sistemlere göre avantajları şunlardır [RAP96] :

1. Daha yüksek kapasite (aynı anda desteklenen gezgin birimin sayısı artar.)
2. Artan ses kalitesi, çok yönlü sönümlenmenin azalması.
3. Daha gelişmiş özel ve güvenli haberleşme.
4. Gelişmiş kapsama karakteristiği ile hücre sayısı azaltılır.
5. Basit ve rahat sistem planlaması yapılabilir.
6. Azaltılmış ortalama iletim gücüyle mobil cihazın daha uzun süre kullanılması.
7. Diğer elektronik aletler için daha az girişim.
8. Geçişme (Handoff) hatalarında azalmalar.
9. Telsiz veri haberleşmesi için iletim mekanizmasının gelişmesi.
10. KBÇE'nin önceki teknolojiler ile bir arada kullanılabilirliği.

KBÇE sisteminin performansını belirleyen en önemli kriterler düşük karşı-ilişkili SG dizileri ve alıcıda kullanılan tespit tekniğidir. Bu yüzden takip eden alt bölümlerde SG dizileri ve tespit teknikleri kısaca incelenecektir.

3.2 SG Dizileri

SG kod dizileri KBÇE sisteminde bilgi işaretini ayırt ve modüle etmede kullanılırlar. Yayma işareti olarak bilinen SG kod dizileri alıcı ve veri kısımlarda kullanılırlar. İdeal SG kod dizilerinin sonsuz uzunlukta ve gürültüye benzer karakteristiğinin olması arzu edilir. Yani kodların karşı-ilişkileri çok küçük olmalıdır. Karşı ilişkilerinin sıfır olduğu durumda bu kodlar ortogonaldır. Ancak işaretin tekrar bu koddan elde edilebilmesi için kusursuz zaman eşzamanlılığı gereklidir. Sonsuz uzunlukta kodların alıcı ve verici tarafta kullanılması durumunda yüksek veri hafızalarına gerek duyulur. Gerçekte sonsuz uzunlukta kodların kullanılması imkansız olduğu için periyodik SG dizileri kullanılır. Bu diziler belirli algoritmalarla

elde edilen dizilerdir. Olabildiğince uzun diziler kullanılarak kodlarda bulunması gereken rasgelelik özelliği de sağlanmış olur [PRO95].

SG kod dizileri genellikle kaydırmalı kaydediciler (shift-register) kullanılarak üretilirler. SG kodları kolayca üretilebilir olmalıdır. Ayrıca yüksek bant genişliğine sahip olmalıdırlar ($G=W/R$). KBÇE sistemleri için düşük karşı-ilişkili SG kodlarının olması, kanal içindeki diğer kullanıcıların işareti tesbit edilen kullanıcıya olan etkisini (ÇEK) en aza indirger.

SG dizileri aşağıdaki özellikleri sağlamalıdırlar [PIC82] :

1) Kolayca üretilebilmeli, 2) rasgelelik özelliği olmalı, 3) uzun periyotları olmalı, 4) kısa zaman aralıklarından kodun tahmini mümkün olmamalı ve 5) düşük karşı-ilişkileri olmalıdır.

KBÇE kanalında bütün kullanıcıları ayırt eden SG dalga şekli (imza fonksiyonu) aşağıdaki gibi ifade edilir [PIC82] :

$$p_i(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h_i(k)u(t - kT_c) \quad (3.1)$$

Burada $h_i(k)$, SG kod dizisinin k . çipinin $\{\pm 1\}$ değerini ifade eder. $u(t)$ ise T_c aralığında tanımlı birim genlikli darbe fonksiyonudur. SG kod dizileri N ile periyodik olduğundan imza fonksiyonu da $T_{sw}=NT_c$ ile periyodik olur. Sonuç olarak periyodik imza fonksiyonunun l periyodu şu şekilde gösterilir :

$$p_{ii}(t) = \sum_{k=0}^{N-1} h_i(k)u(t - kT_c), \quad 0 \leq t \leq lT_{sw} \quad (3.2)$$

Bu fonksiyonlar için özilişki fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir [PRO95].

$$\rho_{ii}(\tau) = \int_0^{T_{sw}} p_i(t)p_i(t-\tau), \quad 0 \leq t \leq T_{sw} \quad (3.3)$$

Denklem 3.3'de görüldüğü üzere, $\rho_{ii}(\tau)$ fonksiyonu da T_{sw} ile periyodiktir. Ayırık olarak da bu özilişki fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir [ZIE85].

$$\phi_{ii}(m) = \sum_{k=0}^{N-1} h_i(k)h_i(k+m), \quad 0 \leq m \leq N-1 \quad (3.4)$$

İdeal durumda SG dizilerinin özilişki fonksiyonları beyaz gürültünün özilişkisine benzemelidir. Bu yüzden SG dizilerinin özilişki fonksiyonu N ile normalize edilerek incelenir. $\phi_{ii}(0)/N = 1$ ve $\phi_{ii}(m)/N = 0$ şeklinde $0 \leq m \leq N-1$ aralığında ifade edilir. Dolayısıyla, SG kodların gürültünün özilişki fonksiyonuna benzer karakteristiği bu kodların mümkün olan maksimum uzunlukta olmasıyla sağlanır. Sonuç olarak, SG dizilerinin istenmeyen kişilerce öğrenilmesi zordur. Bu kişilerin bilgiyi öğrenmesini önlemek için kaydırmalı kaydedicilerin bağlantıları mümkün olduğunca karmaşık hale getirilir.

$p_i(t)$ ve $p_j(t)$ ile ifade edilen iki imza fonksiyonunun karşı-ilişki fonksiyonu aşağıdaki gibidir [PUR77] :

$$\rho_{ij}(\tau) = \int_0^{T_{sw}} p_i(t) p_j(t - \tau) dt, \quad 0 \leq \tau \leq T_{sw} \quad (3.5)$$

Her iki fonksiyon da T_{sw} ile periyodik olduğundan karşı-ilişki fonksiyonu $\rho_{ij}(\tau)$ de periyodiktir. Buna eşdeğer olan ayrık periyodik karşı ilişki fonksiyonu da şöyle tanımlanır [ZIE85] .

$$\phi_{ij}(m) = \sum_{k=0}^{N-1} h_i(k) h_j(k+m) \quad 0 \leq m \leq N-1 \quad (3.6)$$

İdeal durumda KBÇE sisteminin kullanıcılarını gösteren SG kod dizileri ortogonaldır. Bu durumda kullanıcıların birbirlerine etkisi yoktur ve ÇEK sıfırdır. Pratik uygulamalarda SG kod dizilerinin karşı-ilişkileri sıfıra yakın ve yeterince düşüktür. SG kod dizileri arasında ortogonalliğin bütün zaman gecikmelerinde sağlanması oldukça zordur. Bu yüzden bütün m değerleri için $|\phi_{ij}(m)|/N \ll 1$ eşitsizliği sağlanarak ÇEK en aza indirgenir. Kullanıcıların kanala erişim gecikmeleri τ olmak üzere, $\tau = mT_c + \tau_0$, $0 \leq \tau_0 \leq T_c$ şeklindedir.

Karşı-ilişki ve özilişki fonksiyonları tekrar düzenlenirse aşağıdaki ifadeler elde edilir [ZIE85] .

$$\rho_{ii}(\tau) = \rho_{ii}(m, \tau_0) = (T_c - \tau_0) \phi_{ii}(m) + \tau_0 \phi_{ii}(m+1) \quad (3.7)$$

$$\rho_{ij}(\tau) = \rho_{ij}(m, \tau_0) = (T_c - \tau_0) \phi_{ij}(m) + \tau_0 \phi_{ij}(m+1) \quad (3.8)$$

Pratikte KBÇE sisteminin alıcısında eşzamanlılık tam olarak sağlanamaz ve pek çok iletim gecikmeleri oluşur. Bu durum eşzamansız iletim olarak tanımlanır. Bütün T_{sw} periyodu üzerinden hesaplanan ilişki fonksiyonlarında bazı önemli tasarım parametreleri elde edilemez. Bu yüzden ilişki fonksiyonları çip aralıklarında incelenir [DaS93].

Sonuçta, karşı-ilişki fonksiyonlarının mümkün olduğunca küçük olması ve ÇEK'i en aza indirmesi gerekir. KBÇE'de pek çok kod kullanılır. Bunların başlıcaları Maksimum Uzunluklu Kaydırmalı Kaydedici [MUKK-Maximum Length Shift Register-(MLSR)], bunlardan türeyen Gold, Kasami dizileri ve Hadamard matrisinden üretilen Hadamard dizileridir.

3.3 KBÇE Sistem Tanımı

KBÇE sisteminde kullanıcıları ayırt etmekte kullanılan SG kodları bilgi bit dizisini tüm banda yayar ve modüle eder. İmza fonksiyonları da alıcıda kullanıcılarının gönderdiği bilgi bit dizilerinin demodülasyonunda kullanılır. Bu bölümde KBÇE sisteminde demodülasyon incelenecektir.

K kullanıcı KBÇE kanalı için bütün kullanıcılara atanan imza fonksiyonu T_b sembol zaman aralığında tanımlı Denklem 3.1 ile ifade edilen $p_i(t)$ işaretidir. K kullanıcı ve eşzamansız iletim durumunda Denklem 3.7 ve 3.8 kullanılır. Eşzamanlı durum için sadece $\rho_{ij}(0)$ gereklidir.

K. kullanıcıya ait alçak geçiren iletilen dalga şöyle ifade edilir [PRO95].

$$s_k(t) = \sqrt{E_k} \sum_{i=1}^N b_k(i) p_k(t - iT_c) \quad (3.9)$$

Denklem 3.9'da E_k , k. kullanıcının bit enerjisidir. K. kullanıcı için gönderilen işaret ise en genel halde şöyle ifade edilir:

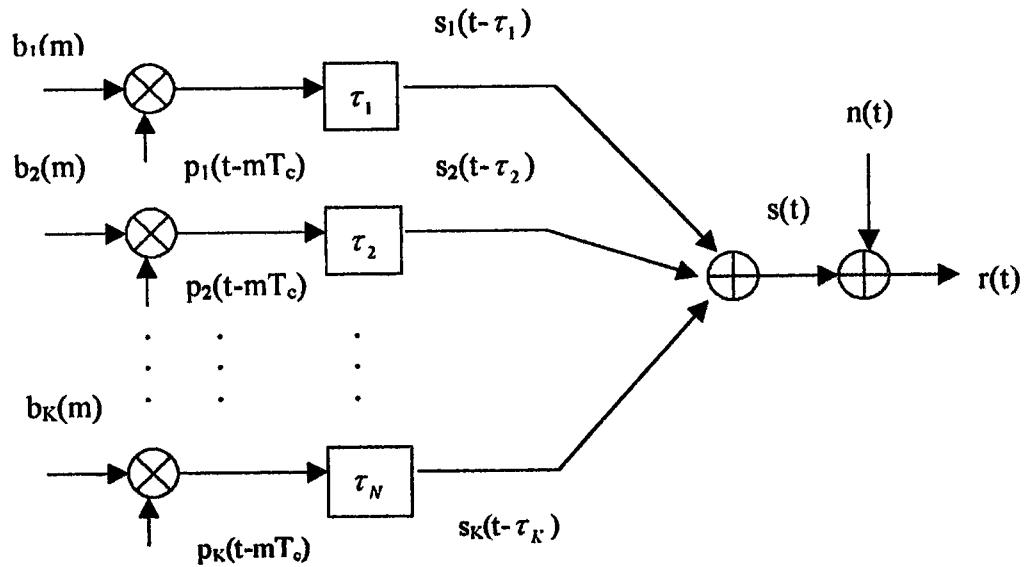
$$s(t) = \sum_{k=1}^K s_k(t - \tau_k) = \sum_{k=1}^K \sqrt{E_k} \sum_{i=1}^N b_k(i) p_k(t - iT_c - \tau_k) \quad (3.10)$$

Denklem 3.10'da $\{\tau_k\}$ iletim gecikmelerini gösterir ve $0 \leq \tau_k < T_b$ ve $1 \leq k \leq K$ 'dir. Bu model eşzamansız kanalda çok kullanıcılı işaret iletimi durumunda geçerlidir. Eşzamanlı özel durumunda bütün τ_k gecikmeleri sıfırdır ($\tau_k=0$).

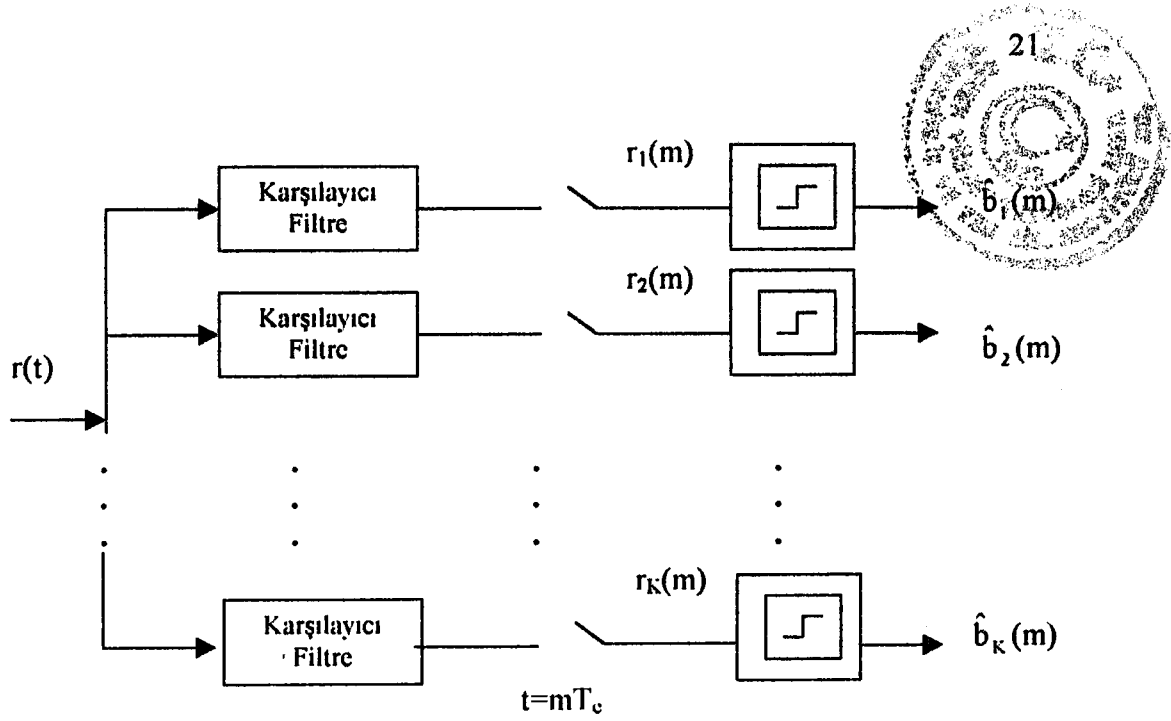
İletilen işaretin Beyaz Gauss Gürültüsü Eklenen Kanal [BEGGEK- Additive White Gaussian Noise (AWGN) Channel]'da bozulduğu varsayılır. Buna göre alınan işaret, $s(t)$ gönderilen işaret olmak üzere $r(t) = s(t) + n(t)$ şeklinde ifade edilir. $n(t)$ gürültüsünün ortalaması sıfır ve güç yoğunluğu $\frac{1}{2} N_0$ 'dır.

Geleneksel Detektör:

Tek kullanıcılı geleneksel detektör alınan işareti kullanıcıların imza fonksiyonlarıyla ilişkilendirir. İlişkilendirici çıkışı eşik değeriyle (threshold) karşılaştırılır ve karar verilir. Bütün kullanıcılar için demodülasyon ve karar aynı anda yapılır. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de en genel halde çok kullanıcılı KBÇE'nin verici ve alıcı tarafı görülmektedir. Bütün kullanıcı işaretleri için karar her bir kullanıcının imza fonksiyonunun ilişkilendirici çıkışına bağlıdır. Arzu edilen kullanıcının ilişkilendirici çıkışını etkileyen diğer kullanıcılardan gelen karışım (ÇEK) gürültü olarak kabul edilir [PRO95].



Şekil 3.1 KBÇE'nin verici tarafı.



Şekil 3.2 Geleneksel detektör.

İlişkilendirici çıkışı için bit hata olasılığı İşaretin Gürültüye Oranı [İGO -Signal to Noise Ratio (SNR)] metodu ile şöyle bulunur: Alıcıda i'inci kullanıcının ilk biti için eşzamanlı iletim (bütün j ler için $\tau_j = 0$) durumu incelenirse [PRO95]

$$r_i = \int_0^T r(t) p_i(t) dt = \sqrt{E_i} b_i(0) + \sum_{j \neq i}^K \sqrt{E_j} b_j(0) \rho_{ij}(0) + n_i(0) \quad (3.11)$$

elde edilir. Denklem 3.11'de görülen birinci, ikinci ve üçüncü terimler sırasıyla istenilen kullanıcının işaret bileşeni, ÇEK ve kanalda eklenen Gauss gürültüsü bileşenidir. Denklem 3.11'deki gürültü bileşeni $n_i(0)$ 'ın ifadesi ve varyansı aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir [PRO95].

$$n_i(0) = \int_0^T n(t) p_i(t) dt \quad \text{ve} \quad \sigma^2 = E[n_i^2(0)] = \frac{N_0}{2} \int_0^T p_i^2(t) dt = \frac{N_0}{2}$$

Eğer i, kullanıcının iletilen bilgi biti $b_i(0) = +1$ ise, r_i ilişkilendirici çıkışının ortalaması $\mu_i = \sqrt{E_i}$ olur. Gürültü değişkeninin ortalaması sıfır ve bilgi bitleri eşit olasılıklıdır. $\{-1$ ya da $+1\}$ için ilişkilendirici çıkışının varyansı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\sigma_i^2 = E[(r_i - \mu_i)^2] = \frac{N_0}{2} + \sum_{j \neq i}^K E_j \rho_{ij}^2(0) \quad (3.12)$$

Bilgi bitleri iletilirken İFKA kullanılmıştır. Bilgi sembolleri gürültüden ve birbirlerinden bağımsızdır. Bit hata olasılığı ise aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left\{ \sqrt{\frac{\mu^2}{2\sigma_i^2}} \right\} \quad (3.13)$$

Denklem 3.13'te $\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2} dt$ 'dir. İ. kullanıcının İGO'su $\gamma_i = E_i / N_0$ şeklinde gösterilir. Yukarıdaki denklem yeniden düzenlenirse Denklem 3.14 elde edilir [KUC98] .

$$P_i = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left\{ \sqrt{\frac{\gamma_i}{1 + 2 \sum_{j \neq i}^N \gamma_j \rho_{ij}^2(0)}} \right\} \quad (3.14)$$

Eğer SG kod dizileri birbirlerine ortogonal ise karşı-ilişki fonksiyonu $\rho_{ij}(0)$ sıfır olur; yani ÇEK sıfırdır. Sistemin bit hata olasılığı performansı eşzamanlı iletim için alt sınır kabul edilen İFKA'nın bit hata olasılığı performansına eşit olur. Bu durumda şu şekilde gösterilir [KUC98] :

$$P_i = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left\{ \sqrt{\gamma_i} \right\} \quad (3.15)$$

Gerçekte imza fonksiyonları ortogonal olmayabilirler ve ÇEK büyük olabilir. Eşzamansız iletim durumunda, imza fonksiyonlarının bütün zaman gecikmeleri için ortogonal olamaması yüzünden ÇEK azaltılamaz. Bu yüzden, geleneksel tek kullanıcıli detektörün performansı alınan işaretlerin $(r(t))$ enerji seviyelerinin benzer ve karşı-ilişkilerinin yeterince düşük olduğu durumlarda makuldür. Eğer alınan işaretlerin enerji seviyeleri farklı ve bazı kullanıcılar diğerlerine göre daha zayıf ise geleneksel detektör bu işaretleri tesbit edemez. Bu probleme yakın-uzak problemi denir. Bu problemin çözümü ise güç kontrolü ve daha güçlü karşı-ilişki yapısı olan SG dizileri üretmektir.

KBÇE tekniğinde farklı alıcı yapıları da kullanılabilir. Genellikle optimum alıcının performansına yakın performans veren ve optimum alıcıya göre daha basit

karar verme yapısı olan sistemler kullanılır. Özellikle eşzamansız durum için kullanılabilecek optimum çok kullanıcılı detektör yapısı en iyi performansı verir. Bu alıcıda bütün imza fonksiyonları bilinmeli, bütün kullanıcıların alınan enerjileri ve zamanlama bilgileri elde edilmelidir. Optimum alıcı yapısı yakın-uzak problemini çözer. Performans açısından en iyi alıcılar olmasına rağmen fiyat açısından yüksek maliyetlidir. Bu yüzden daha az maliyetli ve eşdeğer performanstaki optimuma yakın alıcılar üretilmiştir [RAP96] .

3.4 YE-KBÇE

KBÇE sistemi telsiz haberleşme ağları için üst seviye haberleşme teknolojisidir. Hücre yapısı ve kullanılan kodlar ile kapasite artışı sağlar. KBÇE sisteminin bit hata olasılığı performansı eşzamanlı durumda İFKA ile aynıdır. Bu yüzden pek çok çalışma sistem kapasitesini arttırmak üzerinedir. KBÇE'nin verimliliği tek kullanıcı için FBÇE ve ZBÇE sistemlerine göre daha düşüktür. KBÇE'nin başarısı çok kullanıcılı sistemlerde farklı kullanıcılardan gelen karışımı en aza indirmesinden kaynaklanır. Bu yaklaşım KBÇE'nin ileri kanalı (forward channel) için verimlidir. Ancak geri kanal (backward channel) için uygulanması oldukça zordur. Geri kanal için eşzamanlılığın sağlanması gerekir. Sistemin eşzamansızlığı T_c çip aralığı olmak üzere $[-T_c, T_c]$ aralığında olursa bu sistem YE sistem olarak adlandırılır. YE durum için KBÇE sisteminin performansı pek çok araştırmacı tarafından incelenmiştir [DaS93, DaS94] .

3.4.1 Sistem Tanımı

K kullanıcılı KBÇE sisteminde toplam alınan işaret aşağıdaki gibidir.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K \sqrt{E_k} b_k(i) p_k(t - \tau) \cos(\omega_c t + \theta_k) + n(t) \quad (3.16)$$

Bu denklemde $\sqrt{E_k}$, $b_k(i)$, $p_k(t - \tau)$ ve θ_k sırasıyla k. kullanıcının işaretinin genliğini, zaman gecikmeli verisini, zaman gecikmeli kod dizisini ve faz farkını gösterir. $n(t)$ ise kanaldaki $N_0/2$ güç yoğunluklu Gauss gürültüsüdür. T_b ve T_c sırasıyla bit ve çip aralıklarını gösterirken $T_b/T_c = N$ ise işlem kazancını verir. İlişkilendiricili alıcı yapısı kullanıldığında k. işaret için ilişkilendirici çıkışı aşağıdaki gibidir [DaS93] :



$$y = \pm \frac{\sqrt{E_k T_b}}{2} + \psi + \eta$$

Burada ψ terimi ÇEK'i gösterirken η ise kanal gürültüsüne karşılık gelen Gauss rasgele değişkenini ifade eder. τ_i gecikmelerinin rasgele değişkenler olduğu ve $[-\alpha_{\max} T_c, \alpha_{\max} T_c]$ arasında düzgün dağıldığı varsayılır. En genel halde eşzamansız iletim durumunda kod dizileri tamamen rasgele ve $\tau \in [0, T_b]$ şeklinde tanımlıdır [PRO95]. Eşzamanlı iletimde ise $\alpha_{\max} = 0$ ve YE durumunda ise $0 < \alpha_{\max} \leq 1$ şeklinde gösterilir. η 'nin varyansı ise $\sigma^2 = \frac{N_0 T_b}{4}$ değerine eşittir.

ÇEK'in varyansı ise

$$\sigma_{\psi}^2 = \overline{\psi^2} = \sum_{k=1, i \neq k}^K \frac{E_k}{8} \overline{R_{p_i p_k}(\tau) T_b^2} \quad (3.18)$$

olarak ifade edilir. Denklem 3.18'de bulunan $\overline{R_{p_i p_k}(\tau) T_b^2}$ ifadesi aşağıdaki denklemle ifade edilir [DaS93].

$$\overline{R_{p_i p_k}(\tau) T_b^2} = \left(\int_0^{T_b} b_i(i) p_i(t - \tau_i) p_k(t) dt \right)^2 \quad (3.19)$$

İfadenin üzerindeki çizgi ortalama anlamına gelir. Normalleşmiş gecikme değeri ise $\alpha = \tau_i / T_c$ şeklinde olup α değeri $[-\alpha_{\max}, \alpha_{\max}]$ arasında düzgün dağılır.

3.4.2 Sistemin Performansı

En genel halde sistemin bit hata olasılığı performansı aşağıdaki denklemle ifade edilir [DaS93].

$$P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_i}{N_0 + \gamma \sum_{i \neq k}^K E_i}} \right) \quad (3.20)$$



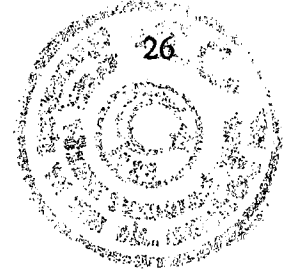
Denklem 3.20'de $\gamma = \frac{1 - \alpha_{\max} + \frac{2}{3}\alpha_{\max}^2}{N}$ ve $E_i = E_s T_b / 2$ 'dir. Rasgele ortogonal kodlar kullanılır ise sistemin bit hata olasılığı performansı şöyle hesaplanır.

Rasgele seçilmiş $p_i(t)$ ve $p_j(t)$ SG fonksiyonların yaklaşık eşzamanlı durumu incelenmelidir. $h_i(k)$ ve $h_j(k)$ sırasıyla bu fonksiyonların kodlarıdır. Denklem 3.19 tekrar düzenlenirse Denklem 3.21'deki ifade elde edilir.

$$\overline{R_{p_i p_j}(\alpha T_c)} = \frac{T_c^2}{T_b^2} \left(\sum_{k=1}^N \alpha h_i(k) h_j(k+1) \right)^2 \quad (3.21)$$

Rasgele ve ortogonal kodlar kullanıldığında Denklem 3.20'de yer alan γ , $\gamma = \frac{\alpha_{\max}^2}{3N}$ şeklinde ifade edilir. $\alpha_{\max}$, $[-1, 1]$ arasında düzgün dağılmış rasgele değişkendir [DaS93, DaS94].

Sözkonusu çalışmalarda, rasgele ve ortogonal kodların kullanılması durumunda sistemin bit hata olasılığı performansının ortogonal Sylvester kodları kullanıldığı zaman elde edilen performanstan kötü ve ortogonal kodların performansından ise daha iyi olduğu gösterilmiştir.



4. ÖZ-KBÇE SİSTEMİ

4.1 Sistemin Tanımı

Bu çalışmada ÖZ-KBÇE olarak adlandırılan iki ölçekli çoklu erişim sisteminin bit hata olasılığı performansı BEGGEK içinde YE durum için incelenmektedir. Sistemin performansı ÖZ-KBÇE'deki dalgacıkların ölçek-zaman ortogonallığına, SG kod dizilerinin YE durumdaki karşı-ilişkilerine ve kanal gecikmelerine bağlıdır. YE durum, işaretlerin eşzamanlılığının sağlanamadığı durumda ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada kullanılan iki ölçekli sistemde bit aralığındaki işaretleşmeler için dalgacıklar kullanılır ve kanal ölçeklere; ölçekler de zaman aralıklarına ayrılır. Her ölçeğin farklı zaman aralıklarında kullanılan ortogonal dalgacıklar yardımıyla aynı T_b aralığında birden fazla sembol iletilir. Haberleşme sisteminde kullanılan dalgacıklar ölçek-zaman ortogonallığı olan Db dalgacıklarıdır. Bu sistem Db2 için tasarlanmıştır. Db2 için destek, $S=2N-1$ ifadesinde $N=2$ için $S=3$ olarak bulunur [DAU94]. $S=3$ olması ve ikinci ölçekte dört adet dalgacığın olmasından dolayı bit aralığındaki SG kodu $6N$ uzunluklu seçilir.

T_b bit aralığı iki ölçeğe ayrılmıştır. Her ölçekteki zaman aralıklarında aynı KBÇE'deki gibi çoklu erişim yapılır. 2-ölçekli ÖZ-KBÇE'de birinci ölçek içinde ana dalgacık ve ikinci ölçek içinde de ana dalgacığın ölçeklenmiş ve zamanda ötelenmiş biçimleri olmak üzere dört yavru dalgacık; toplam 5 dalgacık bulunur. Bu çalışmada $w(t)$ ana dalgacık fonksiyonu, m ve n sırasıyla ölçek ve (zamanda) öteleme parametreleri olmak üzere $[0, T_b]$ aralığında, [STR96]

$$w_{m,n}(t) = 2^{m/2} w(2^m t - mnT_b/6) \quad (4.1)$$

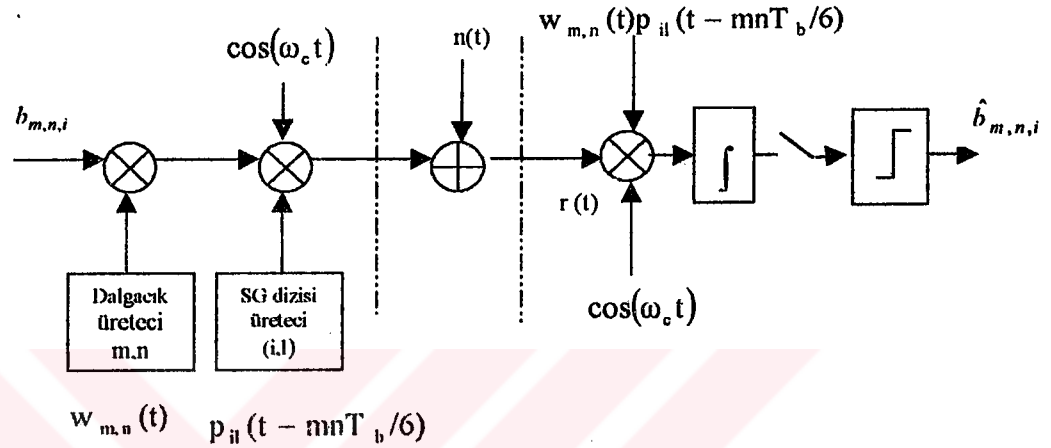
denklemleriyle ifade edilen ayrık dalgacık fonksiyonları kullanılacaktır ($m=0,1$ ve $n=0, 1, 2, 3$). Bu dalgacıkların enerjileri ise $[0, T_b]$ aralığında aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$E_b = \int_0^{T_b} w_{mn}^2(t) dt \quad (4.2)$$

Yavru ve ana dalgacıkların birbirleriyle $[0, T_b]$ aralığındaki iç çarpımları sıfırdır.

$$\langle w_{k,l}(t)w_{m,n}(t) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} w_{k,l}(t)w_{m,n}^*(t)dt = E_b\delta(k-m)\delta(l-n) \quad (4.3)$$

Şekil 4.1’de 2-ölçekli ÖZ-KBÇE sisteminin modeli görülmektedir.



Şekil 4.1 2-ölçekli ÖZ-KBÇE sisteminin modeli.

2-ölçekli ÖZ-KBÇE sisteminde gönderilen işaretler toplamı Denklem 4.5’te verilmiştir:

$$s_{m,n,i}(t) = b_{m,n,i}w_{m,n}(t)p_{il}(t - mnT_b/6)\cos(\omega_c t) \quad (4.4)$$

$$s(t) = \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^{3m} \sum_{i=1}^L s_{m,n,i}(t - \tau_{m,n,i}) \quad (4.5)$$

Denklem 4.4’te T_b , işaretleşme aralığı; yani ana dalgacık fonksiyonunun genişliği, $w_{m,n}(t)$; m . ölçeğin n . aralığındaki dalgacık fonksiyonu, $b_{m,n,i}$; m . ölçeğin n . aralığındaki i . kullanıcının bilgi biti ve L de m . ölçek n . aralıktaki kullanıcı sayısı (SG dizilerinin sayısı) ve $\tau_i = \tau_{m,n,i}$: $[0, T_c]$ arasında rasgele ve i . kullanıcının kanala erişim gecikmesidir. Denklem 4.4’te $p_{il}(t)$, m . ölçeğin n . aralığındaki i . kullanıcıya ait $l=6-3m$ periyotlu SG dizisidir. Bu dizi aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$p_{il}(t) = \sum_{k=0}^{IN-1} h_i(k)u(t - kT_c) \quad (4.6)$$

Denklem 4.6'da $u(t)$ ise $[0, T_c]$ arasında tanımlı genliği bir olan darbe fonksiyonu, l : SG kod dizisinin periyot sayısıdır. Birinci ölçek içindeki ana dalgacık için ($m=0$ iken) $6N$ uzunluklu kodlar kullanılır. İkinci ölçekteki dalgacıklar için ise ($m=1$ iken) $3N$ uzunluklu kodlar kullanılır.

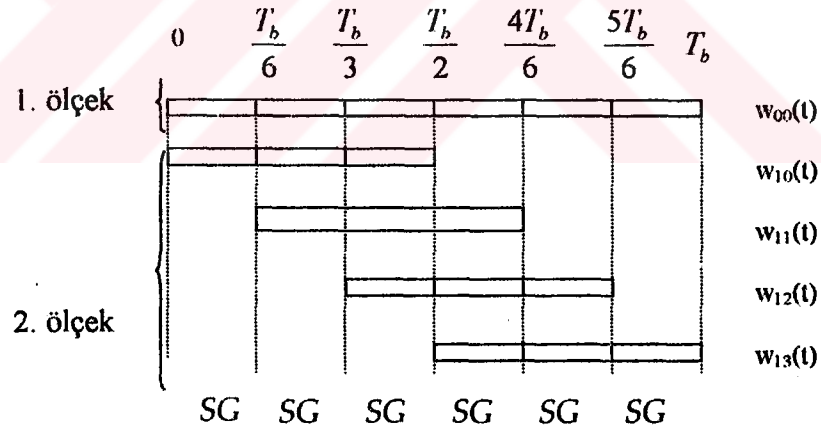
Bu sistem YE durum için incelenmiştir. Bütün kullanıcılar $[0, T_c]$ arasında rasgele olan τ_i gecikmeleriyle BEGGEK'dan iletilirler.

Alınan işaret Denklem 4.7'de ifade edilmiştir.

$$r(t) = s(t) + n(t) \quad (4.7)$$

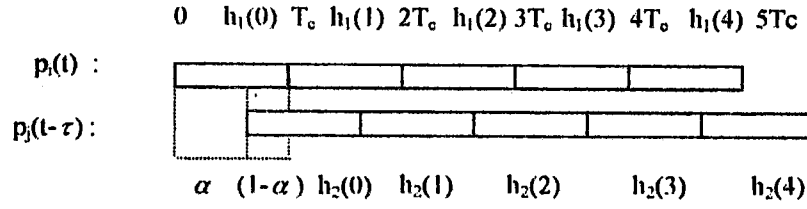
Denklem 4.7'da $n(t)$ ortalaması sıfır, güç yoğunluk fonksiyonu $N_0/2$ olan beyaz Gauss gürültüsüdür.

Şekil 4.1'de görüldüğü gibi her bir kullanıcıya ait bilgi dizisi dalgacık fonksiyonları ile kodlanmakta; daha sonra da SG kod dizisi ile kanala YE olarak verilmektedir. BEGGEK'de iletilen işaretler alıcıda geleneksel detektör ile tespit edilmektedir. Şekil 4.2'de ÖZ-KBÇE sisteminin formatı görülmektedir.



Şekil 4.2 ÖZ-KBÇE sisteminin formatı.

Analiz içinde kullanılan olan SG dizilerinin YE durumu dikkate alınmalıdır. Bilinen karşı-ilişki denklemlerine benzer denklemler kullanılmıştır. SG dizilerinin rasgele ve birbirinden bağımsız olduğu ve normalize edilmiş $\alpha = \tau_i/T_c$ gecikmelerinin de $[0, 1]$ aralığında düzgün dağıldığı varsayılırsa bu iki rasgele kodun karşı-ilişkisi Şekil 4.3'te olduğu gibi gösterilebilir.



Şekil 4.3 İki rasgele ortogonal kodun YE durumu.

Bu iki kodun çarpımı; $h_1(0)h_2(-1)\alpha + h_1(0)h_2(0)(1-\alpha)$, $h_1(1)h_2(0)\alpha + h_1(1)h_2(1)(1-\alpha)$, ...şeklinde ifade edilebilir. $h_2(-1)$ ile ifade edilen çip daha önceki bittten karışan çiptir. Her çip aralığında α 'ya bağlı olarak iki kod dizisinin ilişkisi hesaplanabilir. İki ortogonal kod için daha önce T_b bit aralığı için bulunan karşı-ilişki fonksiyon ifadeleri bu sistem için çip aralığında tekrar düzenlenmiştir [DaS93].

En genel halde iki kodun çarpımı aşağıdaki denklemle ifade edilir.

$$G(\tau_i) = p_i(t)p_j(t-\tau) = \begin{cases} h_i(k)h_j(k-1)\alpha & kT_c \leq t \leq kT_c + \alpha T_c \\ h_i(k)h_j(k)(1-\alpha) & kT_c + \alpha T_c \leq t \leq (k+1)T_c \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (4.8)$$

Denklem 4.8'de $0 \leq k \leq N-1$ 'dir ve N , rasgele kodun uzunluğudur.

Bu ifadeden yararlanarak istenilen iki kodun çip aralığındaki karşı-ilişkisi $G(\tau_i)$ analizde kullanılır.

4.2 Sistemin Analizi

Bu bölümde YE durumda ÖZ-KBÇE sisteminin bit hata olasılığı performansı incelenmiştir. ÖZ-KBÇE içindeki kullanıcıların alıcıda meydana getirdiği ÇEK incelenmiştir ve minimum yapılmaya çalışılmıştır. Bunun sonucu olarak sistemin bit hata olasılığı performansı YE-KBÇE'ye göre iyileşecektir. Sistemin bit hata olasılığı performansı, BEGGEK'da YE durum için her ölçek ayrı ayrı inceleyerek bulunur. Bu yüzden ilk ölçeğin ilk kullanıcısının ilk biti tespit edilir. Bu sembol için $m=0$, $n=0$, $i=1$ ve $l=6$ olur. Bu durumda alıcıda istenilen kullanıcıyla eşzamanlılık sağlanır. Sistem içinde diğer kullanıcılar ÇEK oluşturur. ÇEK karışımı dalgacıkların ortogonallığına bağlı olarak değişir.

Birinci ölçekteki ana dalgacığı kullanan i. kullanıcının belirlenmesi:

Alınan $r(t)$ işareti Denklem 4.7’de daha önce ifade edilmiştir. Bu ölçek içindeki söz konusu kullanıcının işaretine denk gelen karşılayıcı filtre çıkışı aşağıdaki denklemle ifade edilir.

$$r_1 = \int_0^{T_b} r(t) w_{00}(t) p_{16}(t) \cos(\omega_c t) dt = \int_0^{T_b} (s(t) + n(t)) w_{00}(t) p_{16}(t) \cos(\omega_c t) dt \quad (4.9)$$

Alıcı detektörde arzu edilen kullanıcı için tespit yapılırken istenilen kullanıcıyla eşzamanlılık (senkronizasyon) sağlanır. O kullanıcı için $\tau_1 = 0$ ve $\theta_1 = 0$ olur. İstenilen kullanıcının bilgi bitinin +1 olduğunu varsayarak ($b_{0,0,1} = +1$) Denklem 4.9 aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\begin{aligned} r_1 = & \int_0^{T_b} \cos^2(\omega_c t) w_{00}^2(t) p_{16}^2(t) dt \\ & + \sum_{i=1}^L b_{00i} \int_0^{T_b} w_{00}(t) w_{00}(t - \tau_i) p_{16}(t - \tau_i) p_{16}(t) \cos(\omega_c t + \theta_i) \cos(\omega_c t) dt \\ & + \sum_{i=1}^L \sum_{n=0}^3 b_{1ni} \int_0^{T_b} w_{1n}(t - \tau_i) \cos(\omega_c t + \theta_i) p_{13}(t - \tau_i - nT_b/6) w_{00}(t) p_{16}(t) \cos(\omega_c t) dt + \eta \end{aligned} \quad (4.10)$$

$$r_1 = +\frac{1}{2} E_b + \psi_1 + \eta$$

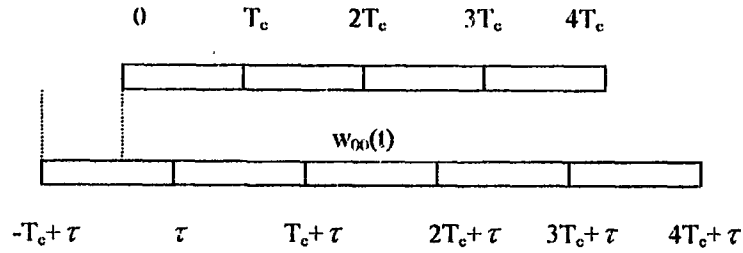
$$\psi_1 = \psi_{A1} + \psi_{A2} + \psi_{A3} + \psi_{A4} + \psi_{A5} \quad (4.11)$$

$$\eta = \int_0^{T_b} n(t) w_{00}(t) p_{16}(t) \cos(\omega_c t) dt \quad (4.12)$$

Denklem 4.12’deki gürültü bileşeni η ’nin ortalaması: sıfır ve varyansı $\sigma^2 = \frac{N_0 E_b}{4}$ ’dir. Denklem 4.11, birinci ölçek içindeki i. kullanıcıya YE durumunda diğer ölçeklerdeki kullanıcılardan gelen toplam ÇEK’i ifade eder.

Toplam ÇEK’in ψ_x bileşenlerinin her biri hesaplanmalıdır. İlk olarak birinci ölçekteki diğer kullanıcıların etkisini gösteren ψ_{A1} için varyans hesabı yapılır.

Şekil 4.4'te ana dalgacığın YE durumunda alıcıdaki durumu çip boyutunda sembolik olarak gösterilmiştir. Sistem incelenirken τ_i gecikmelerinin $[0, T_c]$ arasında düzgün dağıldığı kabul edilmiştir. Bu durumda $\alpha = \tau_i/T_c$ ile tanımlı olan normalize edilmiş gecikmeler de $[0, 1]$ aralığında düzgün dağılır. YE durumunda hem SG kodlarının ortogonallikleri hem de dalgacıkların ortogonallikleri bozulur.



Şekil 4.4 Ana dalgacığın YE durumu.

Sistemin analizi yapılırken $w_{00}(t)$ ana dalgacığı τ_i gecikmeli olarak kanalda iletilirse, alıcı detektör hem o anki sembolü hem de daha önce gönderilmiş sembolü karşılar. En fazla T_c kadar önceki sembolden karışma olur. Analizde bu karışım dikkate alınacaktır. Analizde kolaylık açısından ifade k . çip aralığındaki dalgacık parçası için $w_{00}^k(t)$, $kT_c \leq t \leq (k+1)T_c$; $k = 0, \dots, (N-1)$ kullanılacaktır. Bu durumda önceki bittten karışan dalgacık için $w_{00}^1(t - \tau_i) = [w_{00}^{N-1}(t - \tau_i)]$ olarak ifade edilir. Bu ölçekte önceki bittten ikinci ölçekteki $w_{13}(t)$ dalgacığından da karışım meydana gelir ve performans hesabında göz önüne alınmalıdır.

İlk ölçekteki diğer kullanıcılardan gelen karışım aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\psi_{A1} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{00i} \int_0^{T_b} \cos \theta_i w_{00}(t - \tau_i) w_{00}(t) p_{16}(t) p_{16}(t - \tau_i) dt = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{00i} \cos \theta_i A_{1i} \quad (4.13)$$

$$A_{1i} = \int_0^{T_b} w_{00}(t - \tau_i) w_{00}(t) p_{16}(t) p_{16}(t - \tau_i) dt$$

Denklem 4.13'te yüksek frekans bileşeni ihmal edilmiştir. Denklem 4.13, Denklem 4.8 kullanılarak daha basit halde ifade edilebilir.



$$A_{1i} = \int_0^{T_b} w_{00}(t - \tau_i) w_{00}(t) p_{16}(t) p_{16}(t - \tau_i) dt = \int_0^{T_b} M_{\tau_i}(t) p_{16}(t) p_{16}(t - \tau_i) dt$$

$$A_{1i} = \sum_{k=0}^{6N-1} \left(\int_{kT_c}^{(k+1)T_c} M_{\tau_{i1}}(t) h_i(k) h_j(k-1) \alpha dt + \int_{kT_c + \alpha T_c}^{(k+1)T_c} M_{\tau_{i2}}(t) h_i(k) h_j(k) (1 - \alpha) dt \right) \quad (4.14)$$

Denklem 4.14'teki $M_{\tau_i}(t)$ bir dalgacık ile o dalgacığın τ_i gecikmesinin çarpımı olup aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$M_{\tau_i}(t) = w_{00}(t - \tau_i) w_{00}(t) \quad (4.15)$$

Denklem 4.14 içinde görülen $M_{\tau_{i1}}(t)$ ve $M_{\tau_{i2}}(t)$ ifadeleri analizde kolaylık sağlaması için Denklem 4.15 ile verilen $M_{\tau_i}(t)$ ifadesinin τ_i (veya α) gecikmesine göre parçalanmasıyla oluşur. Bu ifade Denklem 4.16'da verilmiştir.

$$M_{\tau_i}(t) = \begin{cases} M_{\tau_{i1}}(t) & kT_c \leq t \leq kT_c + \alpha T_c \\ M_{\tau_{i2}}(t) & kT_c + \alpha T_c \leq t \leq (k+1)T_c \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases} \quad (4.16)$$

Denklem 4.13 ifadesindeki toplam ÇEK karışımının varyansı Denklem 4.17'de ifade edildiği gibi bulunur.

$$x_1 = E[\psi_{A1}^2] = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^L E[\cos^2 \theta_i] E[(A_{1i})^2] = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^L E[(A_{1i})^2] \quad (4.17)$$

Denklem 4.17'deki θ_i , $[0, 2\pi]$ arasında düzgün dağıldığı ve A_{1i} 'den bağımsız olduğu için varyansı $1/2$ 'dir. Denklem 4.17'deki A_{1i} 'nin varyansı Denklem 4.14 kullanılarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$E[(A_{1i})^2] = \sum_{k=0}^{6N-1} \left[E \left[\left(\int_{kT_c}^{kT_c + \alpha T_c} M_{\tau_{i1}}(t) dt \right)^2 \right] E[(h_i(k) h_j(k-1) \alpha)^2] \right. \\ \left. + E \left[\left(\int_{kT_c + \alpha T_c}^{(k+1)T_c} M_{\tau_{i2}}(t) dt \right)^2 \right] E[(h_i(k) h_j(k) (1 - \alpha))^2] \right] \quad (4.18)$$

Denklem 4.18'de $E[h_i(k)h_j(k-1)h_i(k)h_j(k)] = 0$ şeklinde ortaya çıkan çapraz terimler SG dizilerinin rasgele ve birbirinden bağımsız olmasından dolayı sıfırdır. $h_i(k), h_j(k) \in [-1, 1]$ ve birbirinden bağımsız oldukları için Denklem 4.18 aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$E[(A_{li})^2] = \sum_{k=0}^{6N-1} \left[E \left[\left(\int_{kT_c}^{(k+1)T_c} M_{\tau,1}(t) dt \right)^2 \right] E[\alpha^2] + E \left[\left(\int_{kT_c + \alpha T_c}^{(k+1)T_c} M_{\tau,2}(t) dt \right)^2 \right] E[(1-\alpha)^2] \right] \quad (4.19)$$

Denklem 4.19'daki rasgele değişken α , $[0, \alpha_{\max}]$ arasında düzgün dağılmaktadır. Bu durumda;

$$E[\alpha^2] = \frac{\alpha_{\max}^2}{3}, \quad E[(1-\alpha)^2] = 1 - \alpha_{\max} + \frac{\alpha_{\max}^2}{3} \quad (4.20)$$

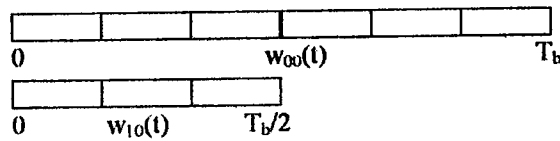
elde edilir. Eğer $\alpha_{\max} = 1$ ise $E[\alpha^2] = E[(1-\alpha)^2] = \frac{1}{3}$ olur. Bu sonucu kullanarak Denklem 4.19 aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$E[(A_{li})^2] = \frac{1}{3} \sum_{k=0}^{6N-1} \left[E \left[\left(\int_{kT_c}^{(k+1)T_c} M_{\tau,1}(t) dt \right)^2 \right] + E \left[\left(\int_{kT_c + \alpha T_c}^{(k+1)T_c} M_{\tau,2}(t) dt \right)^2 \right] \right] \quad (4.21)$$

Denklem 4.21 ve 4.17 kullanılarak ψ_{A1} 'in varyansı hesaplanır. İkinci ölçekteki kullanıcılardan gelen karışımları sırasıyla hesaplayalım. İlk önce $w_{10}(t)$ dalgacığını kullanan kullanıcılardan kaynaklanan ÇEK'i, ψ_{A2} 'yi bulalım.

$$\boxed{w_{10}(t)}$$

Şekil 4.5'te $w_{00}(t)$ ile $w_{10}(t)$ dalgacıklarının eşzamanlı durumu sembolik olarak gösterilmiştir. Birinci ölçekteki gibi önce Denklem 4.22 ve Denklem 4.23 bulunur.



Şekil 4.5 Birinci ölçek $w_{00}(t)$ ile $w_{10}(t)$ arasındaki ilişki.

$$\psi_{12} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{10i} \int_0^{T_b} \cos \theta_i w_{10}(t - \tau_i) w_{00}(t) p_{16}(t) p_{13}(t - \tau_i) dt = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{10i} \cos \theta_i A_{2i} \quad (4.22)$$

$$A_{2i} = \int_0^{T_b} w_{10}(t - \tau_i) w_{00}(t) p_{16}(t) p_{13}(t - \tau_i) dt$$

Denklem 4.16 ifadesinin benzerinden yararlanarak Denklem 4.22 aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$A_{2i} = \sum_{k=0}^{3N-1} \left(\int_{kT_c}^{kT_c + \alpha T_c} M1_{\tau_{11}}(t) h_i(k) h_j(k-1) \alpha dt + \int_{kT_c + \alpha T_c}^{(k+1)T_c} M1_{\tau_{12}}(t) h_i(k) h_j(k)(1-\alpha) dt \right) \quad (4.23)$$

Denklem 4.23'teki $M1_{\tau_{11}}(t)$ ve $M1_{\tau_{12}}(t)$ ifadeleri aşağıdaki ifade kullanılarak Denklem 4.16 ifadesine benzer şekilde elde edilir.

$$M1_{\tau_i}(t) = w_{10}(t - \tau_i) w_{00}(t) \quad (4.24)$$

İlk ölçekteki hesaba benzer şekilde birinci ölçğe ikinci ölçğin ilk dalgacığından gelen karışım kolayca elde edilir.

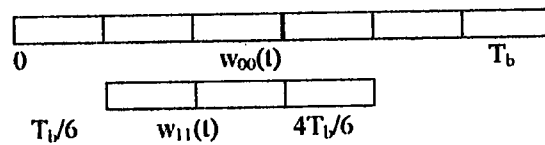
$$E[(A_{2i})^2] = \frac{1}{3} \sum_{k=0}^{3N-1} \left[E \left[\left(\int_{kT_c}^{kT_c + \alpha T_c} M1_{\tau_{11}}(t) dt \right)^2 \right] + E \left[\left(\int_{kT_c + \alpha T_c}^{(k+1)T_c} M1_{\tau_{12}}(t) dt \right)^2 \right] \right] \quad (4.25)$$

Ana ölçğe $w_{10}(t)$ 'deki kullanıcılardan gelen ÇEK ifadesinin varyansı Denklem 4.25 aşağıdaki denklem ile elde edilir.

$$x_2 = E[\psi_{12}^2] = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^L E[(A_{2i})^2] \quad (4.26)$$

$w_{11}(t)$

Şekil 4.6'da $w_{00}(t)$ ile $w_{11}(t)$ dalgacıklarının eşzamanlı durumu sembolik olarak gösterilmiştir. Birinci ölçekteki gibi önce Denklem 4.27 ve 4.28 bulunur.



Şekil 4.6 Birinci ölçek $w_{00}(t)$ ile $w_{11}(t)$ arasındaki karışım.

$$\psi_{A3} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{1i} \int_0^{T_b} \cos \theta_i w_{11}(t - \tau_i) w_{00}(t) p_{16}(t) p_{13}(t - \tau_i - T_b/6) dt = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{1i} \cos \theta_i A_{3i} \quad (4.27)$$

$$A_{3i} = \int_0^{T_b} w_{11}(t - \tau_i) w_{00}(t) p_{16}(t) p_{13}(t - \tau_i - T_b/6) dt$$

Denklem 4.16 ifadesinin benzerinden yararlanarak Denklem 4.27 aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$A_{3i} = \sum_{k=0}^{3N-1} \left(\int_{kT_c + T_b/6}^{kT_c + \alpha T_c + T_b/6} M2_{\tau_{i1}}(t) h_i(k) h_j(k-1) \alpha dt + \int_{kT_c + \alpha T_c + T_b/6}^{(k+1)T_c + T_b/6} M2_{\tau_{i2}}(t) h_i(k) h_j(k)(1-\alpha) dt \right) \quad (4.28)$$

Denklem 4.28'teki $M2_{\tau_{i1}}(t)$ ve $M2_{\tau_{i2}}(t)$ ifadeleri aşağıdaki denklem yardımıyla ifade edilir.

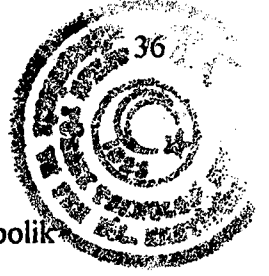
$$M2_{\tau_i}(t) = w_{11}(t - \tau_i) w_{00}(t) \quad (4.29)$$

İlk ölçekteki hesaba benzer şekilde birinci ölçeğe ikinci ölçeğin ilk dalgacığından gelen karışım kolayca yapılır.

$$E[(A_{3i})^2] = \frac{1}{3} \sum_{k=0}^{3N-1} \left[E \left[\left(\int_{kT_c + T_b/6}^{kT_c + \alpha T_c + T_b/6} M2_{\tau_{i1}}(t) dt \right)^2 \right] + E \left[\left(\int_{kT_c + \alpha T_c + T_b/6}^{(k+1)T_c + T_b/6} M2_{\tau_{i2}}(t) dt \right)^2 \right] \right] \quad (4.30)$$

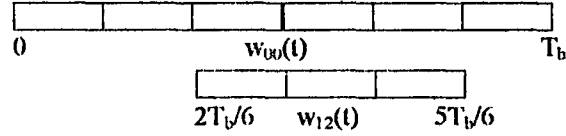
Ana ölçeğe $w_{11}(t)$ 'deki kullanıcılardan gelen ÇEK ifadesinin varyansı aşağıdaki denklem ile elde edilir.

$$x_3 = E[\psi_{A3}^2] = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^L E[(A_{3i})^2] \quad (4.31)$$



$$w_{12}(t)$$

Şekil 4.7’de $w_{00}(t)$ ile $w_{11}(t)$ dalgacıklarının eşzamanlı durumu sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Birinci ölçek $w_{00}(t)$ ile $w_{12}(t)$ arasındaki karışım.

Birinci ölçekteki gibi önce aşağıdaki Denklem 4.32 bulunur.

$$\psi_{A4} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{12i} \int_0^{T_b} \cos \theta_i w_{12}(t - \tau_i) w_{00}(t) p_{16}(t) p_{i3}(t - \tau_i - 2T_b/6) dt = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{12i} \cos \theta_i A_{4i} \quad (4.32)$$

$$A_{4i} = \int_0^{T_b} w_{12}(t - \tau_i) w_{00}(t) p_{16}(t) p_{i3}(t - \tau_i - 2T_b/6) dt$$

Denklem 4.16 ifadesinin benzerinden yararlanarak Denklem 4.32 aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$A_{4i} = \sum_{k=0}^{3N-1} \left(\int_{kT_c + 2T_b/6}^{kT_c + \alpha T_c + 2T_b/6} M3_{\tau_1}(t) h_i(k) h_j(k-1) \alpha dt + \int_{kT_c + \alpha T_c + 2T_b/6}^{(k+1)T_c + 2T_b/6} M3_{\tau_2}(t) h_i(k) h_j(k) (1-\alpha) dt \right) \quad (4.33)$$

Denklem 4.33’deki $M3_{\tau_1}(t)$ ve $M3_{\tau_2}(t)$ aşağıdaki denklem yardımıyla ifade edilir.

$$M3_{\tau_i}(t) = w_{12}(t - \tau_i) w_{00}(t) \quad (4.34)$$

İlk ölçekteki hesaba benzer şekilde birinci ölçeğe ikinci ölçeğin üçüncü dalgacığından gelen karışım elde edilir.

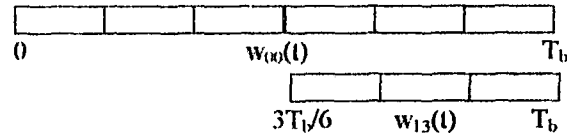
$$E[(A_{4i})^2] = \frac{1}{3} \sum_{k=0}^{3N-1} \left[E \left[\left(\int_{kT_c + 2T_b/6}^{kT_c + \alpha T_c + 2T_b/6} M3_{\tau_1}(t) dt \right)^2 \right] + E \left[\left(\int_{kT_c + \alpha T_c + 2T_b/6}^{(k+1)T_c + 2T_b/6} M3_{\tau_2}(t) dt \right)^2 \right] \right] \quad (4.35)$$

Ana ölçeğe $w_{12}(t)$ 'deki kullanıcılardan gelen ÇEK ifadesinin varyansı aşağıdaki denklem ile elde edilir.

$$x_4 = E[\psi_{A4}^2] = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^L E[(A_{4i})^2] \quad (4.36)$$

$w_{13}(t)$

Şekil 4.8'de $w_{00}(t)$ ile $w_{13}(t)$ dalgacıklarının eşzamanlı durumu sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.8 Birinci ölçek $w_{00}(t)$ ile $w_{13}(t)$ arasındaki karışım.

Birinci ölçekteki gibi önce aşağıdaki denklem bulunur.

$$\psi_{A5} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{13i} \int_0^{T_b} \cos \theta_i w_{13}(t - \tau_i) w_{00}(t) p_{16}(t) p_{13}(t - \tau_i - 3T_b/6) dt = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{13i} \cos \theta_i A_{5i}$$

$$A_{5i} = \int_0^{T_b} w_{13}(t - \tau_i) w_{00}(t) p_{16}(t) p_{13}(t - \tau_i - 3T_b/6) dt$$

(4.37)

Denklem 4.16 ifadesinin benzerinden yararlanarak Denklem 4.37 aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$A_{5i} = \sum_{k=0}^{3N-1} \left(\int_{kT_c + 3T_b/6}^{kT_c + T_c + 3T_b/6} M 4_{\tau_1}(t) h_i(k) h_j(k-1) \alpha dt + \int_{kT_c + \alpha T_c + 3T_b/6}^{(k+1)T_c + 3T_b/6} M 4_{\tau_2}(t) h_i(k) h_j(k) (1 - \alpha) dt \right) \quad (4.38)$$

Denklem 4.38'deki $M 4_{\tau_1}(t)$ ve $M 4_{\tau_2}(t)$ aşağıdaki denklem yardımıyla ifade edilir.

$$M 4_{\tau_i}(t) = w_{13}(t - \tau_i) w_{00}(t) \quad (4.39)$$

İlk ölçekteki hesaba benzer şekilde birinci ölçeğe ikinci ölçeğin dördüncü dalgacığından gelen karışım elde edilir.

$$E[(A_{s_i})^2] = \frac{1}{3} \sum_{k=0}^{3N-1} \left[E \left[\left(\int_{kT_c + 3T_b/6}^{kT_c + \alpha T_c + 3T_b/6} M 4_{\tau_i}(t) dt \right)^2 \right] + E \left[\left(\int_{kT_c + \alpha T_c + 3T_b/6}^{(k+1)T_c + 3T_b/6} M 4_{\tau_i}(t) dt \right)^2 \right] \right] \quad (4.40)$$

Ana ölçeğe $w_{13}(t)$ 'deki kullanıcılardan gelen ÇEK ifadesinin varyansı aşağıdaki denklem ile elde edilir.

$$x_5 = E[\psi_{A5}^2] = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^L E[(A_{s_i})^2] \quad (4.41)$$

Birinci ölçekte ana dalgacık içindeki bir kullanıcıya etki eden toplam ÇEK'in varyansı $I_1 = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5$ ve gürültünün varyansı $\sigma^2 = E[\eta^2] = \frac{N_0 E_b}{4}$ olur. Bu kullanıcı için bit hata olasılığı detektör çıkışının ortalaması $\mu = E_b/2$ ve performansı etkileyen toplam gürültü karışımının varyansı $\sigma_{00}^2 = I_1 + \sigma^2$ olmak üzere aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$Pe_{00} = \frac{1}{2} \times \text{erfc} \left(\frac{\mu^2}{2\sigma_{00}^2} \right) = \frac{1}{2} \times \text{erfc} \left(\frac{(E_b/2)}{N_0 + 4 \times (I_1/E_b)} \right) \quad (4.42)$$

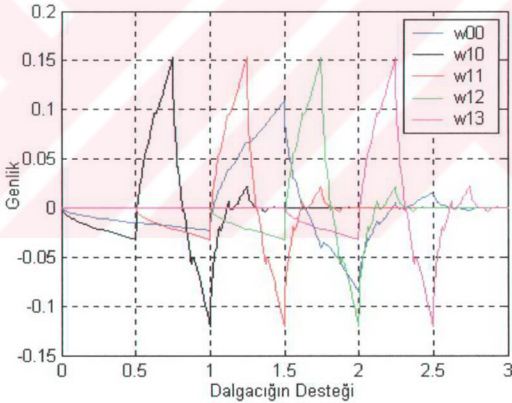
Denklem 4.42'de verilen ifade YE ÖZ-KBÇE sisteminde birinci ölçek içindeki herhangi bir kullanıcının bit hata olasılığı performansdır. İkinci ölçekteki kullanıcılar için yapılan analiz EKLER kısmında verilmiştir.

EKLER kısmında bulunduğu üzere; I_2, I_3, I_4, I_5 ÇEK'lerinin varyansları kullanılarak ikinci ölçekteki yavru dalgacıklar içindeki kullanıcıların bit hata olasılığı denklemleri bulunur. EKLER'de E24, E52, E89 ve E117 ile verilen denklemler, Denklem 4.42'de verilen bit hata olasılığı denklemine benzerdir. Bit hata olasılığı performansını ifade eden bu denklemlerde yalnızca arzu edilen kullanıcıya etki eden ÇEK ifadelerinin varyansları (I_x) değişmektedir.



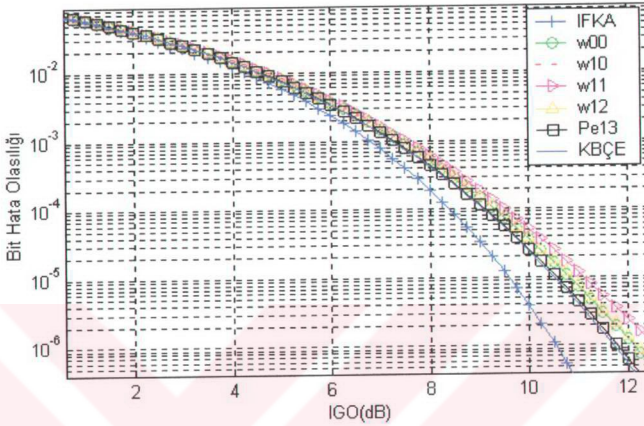
4.3 Sistemin Performansının İncelenmesi

Bu kısımda sistemin analizinde bulunan denklemler kullanılarak ölçeklerdeki kullanıcılar için bit hata olasılığı performansı hesaplanmıştır. Sistem tanımlanırken bahsedildiği gibi ilk olarak Db dalgacıkları kullanılarak YE durum için sistemin performansı incelenmiştir. MATLAB programında YE ÖZ-KBÇE sisteminin performansı Db2 için hesaplanır. Bu hesaplamalar sırasında YE durumunu iyi analiz edebilmek için $[0, T_c]$ aralığında gecikmeler çok hassas incelenmiştir. MATLAB programının Dalgacıklar araç kutusunda üretilen Db2 dalgacığı farklı iterasyonlar için üretilebilir. Dalgacıkların ortogonalliğinin iterasyon artışıyla iyileştiği görülmektedir. Ana ölçekteki SG kodlarının uzunluğu 6×64 uzunluğunda, ikinci ölçekteki dalgacıkların uzunluğu da 3×64 uzunluktadır. Db2 ana dalgacığı ve ikinci ölçekteki yavru dalgacıklar Şekil 4.9'da görülmektedir.



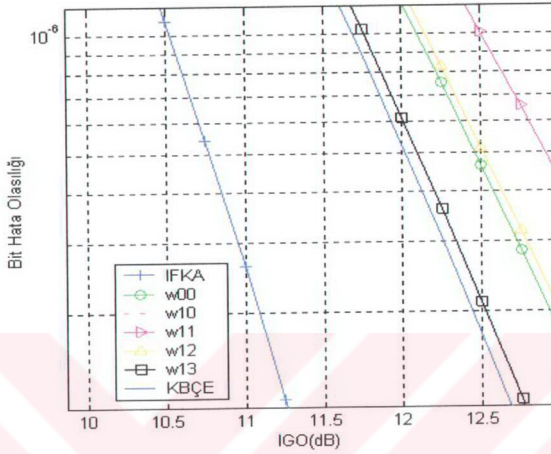
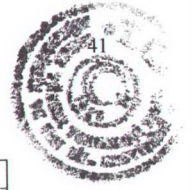
Şekil 4.9 Db2 ortogonal dalgacıkları.

Sistemin analizi yapılırken her dalgacık aralığında $L=5$ kullanıcı olmak üzere toplam $N_u=25$ kullanıcıli ÖZ-KBÇE sistemi aynı sayıda kullanıcıli YE-KBÇE sistemiyle karşılaştırılmıştır. Şekil 4.9'da görülen ortogonal dalgacıklar kullanılarak elde edilen bit hata olasılığı performansı eğrileri Şekil 4.10'da görülmektedir. Şekil 4.10'da karşılaştırma maksadıyla İFKA ve YE-KBÇE'nin performansları da eklenmiştir.



Şekil 4.10 Db2 dalgacıklarının bit hata olasılığı performansı ($N_u=25$).

Bit hata performans eğrilerini daha rahat inceleyebilmek için 10^{-6} seviyesinde Şekil 4.11'deki gibi çizimler tekrar elde edilmiştir. Şekil 4.11'de görüldüğü gibi $w_{10}(t)$ ve $w_{13}(t)$ yavru dalgacıkları içindeki kullanıcılar için ortalama bit hata olasılığı performansı diğer dalgacıklara göre daha iyidir. Bunun sebebi en iyi ortogonallığın bu yavru dalgacıklarda sağlanmasıdır. Şekil 4.9'da görülebileceği gibi bu iki dalgacığın birbiriyle olan iç çarpımı bütün gecikmelerde sıfırdır. Bu dalgacıkların birbirine olan ÇEK etkisi diğer dalgacıklara göre daha azdır. $w_{00}(t)$ ana dalgacığının performansı ise $w_{10}(t)$ ve $w_{13}(t)$ yavru dalgacıklarının performansından biraz daha kötüdür. $w_{11}(t)$ ve $w_{12}(t)$ yavru dalgacıkları bit hata olasılığı performansları bakımından en kötü olanlarıdır. Bu aralıklardaki ÇEK karışımı diğer dalgacıklara nazaran daha fazladır. En fazla ÇEK'in bu bölgede olmasının temel nedeni ise ikinci ölçek dalgacıklarıyla $[0, T_b]$ zaman aralığı içinde çakışmasıdır.



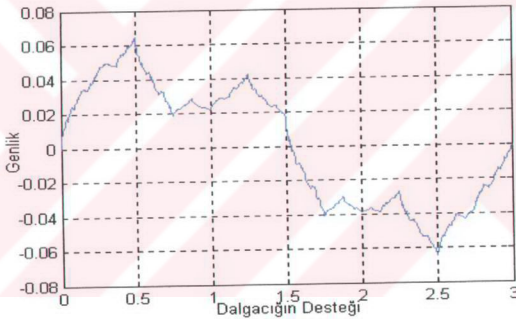
Şekil 4.11 Db2 dalgacıklarının bit hata olasılığı performansı(Nu=25).

Şekil 4.11'da görüldüğü gibi Db2 dalgacıkları kullanılarak tasarlanan ÖZ-KBÇE sisteminin YE durumdaki performansı YE-KBÇE sistemine göre biraz kötüdür (0.05 dB-0.8 dB). MATLAB'da farklı iterasyonlarla üretilen Db2 dalgacıklarının bit hata olasılığı performansı iterasyon arttıkça iyileşse de YE-KBÇE'den daha iyi performans elde etmek zordur. Performans iyileşmesi kullanılan dalgacıkların ortogonalliğinden kaynaklanmaktadır. Bu yüzden dalgacık kısıtlamaları kullanılarak optimum dalgacık tasarımı yapmak gerekir.

4.4 Optimum Dalgacık Tasarımı

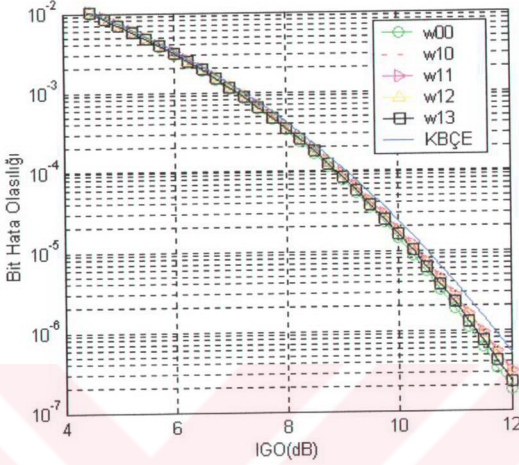
Optimum dalgacığı bulmak için MATLAB içindeki Optimizasyon araç kutusu kullanılır. Burada bulunan “fmincon” komutu kullanılarak hedef fonksiyon olarak tanımlanan toplam ÇEK azaltılmaya çalışılır. “fmincon” komutu çok değişkenli skaler bir hedef fonksiyonun en küçük değerini tahmini bir başlangıç noktasından başlayarak belli kısıtlamalar çerçevesinde bulur. Bu yöntem kısıtlamalı lineer olmayan optimizasyon olarak adlandırılır. Bu yöntem için kullanılan komut çok değişkenli hedef fonksiyonunun değerini en aza indirgerken belli bir başlangıç noktası seçer ve bu noktayı değiştirerek kısıtlamalar çerçevesinde çalışır.

Optimum dalgacığın kısıtlamaları ikinci bölümde 2.8, 2.9, 2.10 denklemleri ile verilmiştir. Bu eşitlikler kullanılarak optimizasyon işlemi yapılır. Burada verilen ortogonalite ve düzenlilik şartları optimizasyon esnasında istenilen bit hata olasılığı performansı için gevşetilebilir. MATLAB’da gerekli kısıtlamalar tanımlandıktan sonra, “fmincon” komutu ile kısıtlamalar çerçevesinde ÇEK en aza indirgenir. Bu işlem değişik başlangıç noktalarıyla yaklaşık 600 defa tekrarlanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda oluşan dalgacıklar arasından en iyisi seçilmiştir. Optimum dalgacık seçilirken dalgacığın oluşturduğu toplam ÇEK’e ve bu dalgacıkların sistemde kullanılması sonucu oluşacak ortogonalliklere bakılır. Optimizasyon sonucunda dalgacıkların ortogonallikleri Db_2 ’ye nazaran biraz bozulur; fakat bit hata olasılığı performansında iyileşme elde edilir [ONA04]. Elde edilen optimum dalgacık Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12 Optimum Dalgacık.

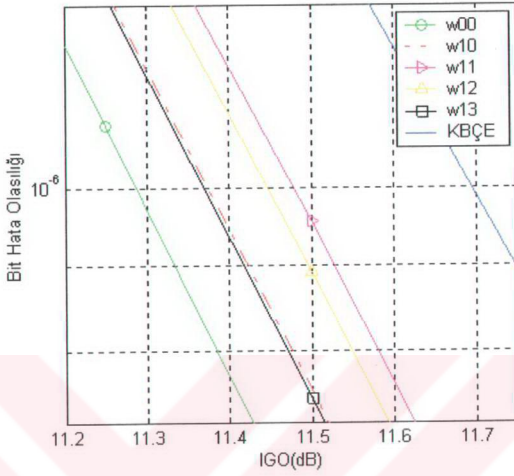
Şekil 4.12 ile verilen optimum dalgacık optimizasyon sonucu oluşan dalgacıklar arasından seçilmiştir. Dalgacık kısıtlamaları gevşetildiğinden elde edilen dalgacıklarda dalgacık olma şartları aranmıştır. Bir dalgacıkta bulunması gereken en önemli özelliklerden biri de dalgacığın yüksek frekans bileşenlerini içermemesi ve düzgün olmasıdır. Özellikle düzenlilik şartının gevşetilmesinden dolayı bu nitelik tekrar kontrol edilmiştir. Optimum dalgacıkla elde edilen dalgacıkların ortogonalliklerinin Db_2 dalgacığının ortogonallığına kıyasla kötüleşmesine rağmen bit hata performansında iyileşme meydana getirmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle sistemin bit hata olasılığı üzerindeki değişimler incelenmiştir.



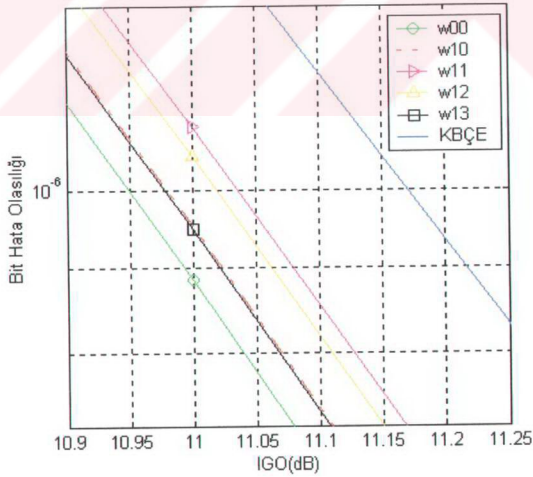
Şekil 4.13 Optimum dalgacıkla elde edilen performans. ($N_u=25$)

Şekil 4.13'te $N_u=25$ kullanıcıli sistemin bit hata olasılığı performans eğrisi görülmektedir. Bu karşılaştırma esnasında her iki sistemde de aynı sayıda kullanıcı bulunmaktadır. Bu eğride görüldüğü gibi sistemin performansı KBÇE sistemine göre iyileşmiştir. Bu iyileşmeyi daha iyi göre bilmek için $P_b = 10^{-6}$ mertebesinde hassas incelenmiştir. Optimum dalgacık için bit hata olasılığı performansı Şekil 4.14'de görüldüğü gibi YE durumunda YE-KBÇE'ye göre 0,2 dB ile 0,4 dB arasında değişen miktarlarda iyileşmiştir [ONA04].

Şekil 4.14'de elde edilen performans eğrilerinde en iyi bit hata olasılığı performansının $w_{00}(t)$ ve en kötü performansın da $w_{11}(t)$ ve $w_{12}(t)$ yavru dalgacıkları içindeki kullanıcılar için olduğu görülmektedir. ÖZ-KBÇE sisteminin bit hata olasılığı performansı farklı kullanıcı sayıları içinde incelenmiş ve KBÇE ile karşılaştırılmıştır. İlk olarak kullanıcı sayısının azaltıldığı $L=3$ ve toplamda $N_u=15$ kullanıcıli sistem incelenmiştir. Son olarak da kullanıcı sayısının artırıldığı $L=8$ ve toplamda $N_u=40$ kullanıcıli sistemin YE durumu incelenmiştir. Sırasıyla bu karşılaştırmalar Şekil 4.15 ve 4.16'da verilmiştir. Bit hata olasılığı performans eğrileri $P_b = 10^{-6}$ mertebesinde hassas incelenmiştir.

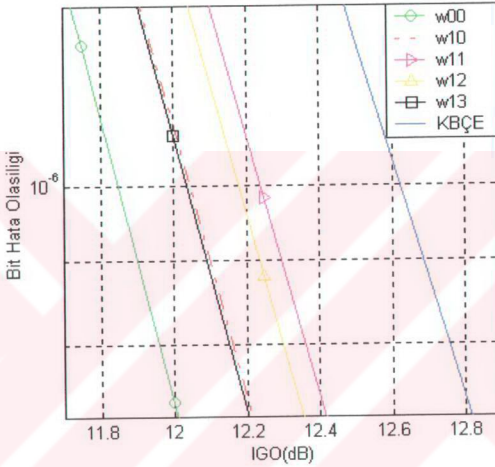


Şekil 4.14 ÖZ-KBÇE sisteminin performansı ($N_u=25$)



Şekil 4.15 ÖZ-KBÇE sisteminin performansı ($N_u=15$)

Şekil 4.15'te görüldüğü gibi ÖZ-KBÇE sisteminin bit hata olasılığı performansı, 10^{-6} mertebesinde bit hata olasılığı için aynı sayıda kullanıcıli YE-KBÇE'ye göre aynı sayıda kullanıcı için ($N_u=15$) 0,135 dB ile 0,225 dB arasında daha iyidir. Kullanıcı sayısının azaltılması sonucu sistemin bit hata olasılığı performansındaki iyileşme miktarı azalmıştır.



Şekil 4.16 ÖZ-KBÇE sisteminin performansı ($N_u=40$)

Şekil 4.16'da görüldüğü gibi ÖZ-KBÇE sisteminin bit hata olasılığı performansı 10^{-6} mertebesinde bit hata olasılığı için aynı sayıda kullanıcıli YE-KBÇE'ye göre aynı sayıda kullanıcı için ($N_u=40$) 0,35 dB ile 0,75 dB arasında daha iyidir. Kullanıcı sayısındaki artış sistemin bit hata olasılığı performansındaki iyileşme miktarını arttırmıştır.

Sonuç olarak toplam 25 kullanıcıli ÖZ-KBÇE sisteminin bit hata olasılığı performansı 10^{-6} mertebesinde bit hata olasılığı için aynı sayıda kullanıcıli YE-KBÇE'ye göre 0,2 dB ile 0,4 dB arasında daha iyidir. Kullanıcı sayısının azaltıldığı durumda 15 kullanıcıli sistem için bit hata olasılığı YE-KBÇE'ye göre 0,135 dB ile 0,225 dB arasında daha iyidir. 40 kullanıcıli sistem için ise bit hata olasılığı YE-KBÇE'ye göre 0,35 dB ile 0,75 dB arasında daha iyidir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada 2-ölçekli ÖZ-KBÇE sistemi YE durum için incelenmiştir. Ortogonal dalgacıklar kullanılarak aynı bit aralığında farklı hızlarda (multirate) sembol iletimi sağlanmıştır.

İlk olarak sistemin performansı ortogonal Db2 dalgacıkları için incelenmiştir. Şekil 4.9 ile ifade edilen ilk ölçekte ana dalgacık ve ikinci ölçekte 4 adet yavru dalgacık olmak üzere toplamda 5 adet dalgacık kullanılmıştır. Bu sistem Db2 için özel olarak tasarlanmıştır [ONA04] .

Sistemin bit hata olasılığı performansı incelendiğinde, YE durumunda ÖZ-KBÇE'nin KBÇE'ye göre biraz kötü olduğu görülmüştür. Şekil 4.11'de görüldüğü gibi aynı bit hata olasılığı için bu fark 0.05-0.8 dB civarındadır. Performansı iyileştirmek için ÖZ-KBÇE'de oluşan ÇEK en aza indirgenmek istenmiştir. Birinci ölçek $w_{00}(t)$ dalgacığı içindeki herhangi bir kullanıcı için bit hata olasılığı aşağıdaki denklemle rahatlıkla bulunur [ONA04] .

$$Pe_{00} = Q\left(\sqrt{\frac{E_b^2}{4\sigma_{00}^2}}\right) = \frac{1}{2} \times \text{erfc}\left(\frac{(E_b/2)}{N_0 + 4 \times (I_1/E_b)}\right)$$

Bu denklemde I_1 ifadesi $w_{00}(t)$ dalgacığı içindeki bir kullanıcıya etki eden toplam ÇEK'in varyansını ifade eder. ÇEK'in azalması, sistemin bit hata olasılığı performansını artırır. ÇEK'i en aza indirgeyen optimum dalgacığın bulunması gerekir. Sistemin bit hata olasılığı performansını etkileyen en önemli kriter kullanılan dalgacıkların ortogonallığıdır. Dalgacık kısıtlamaları çerçevesinde optimum dalgacık araştırılmıştır. Dalgacıkların ortogonallık kısıtlaması bit hata olasılığı performansını önemli derecede etkilemektedir. Sistem Db dalgacıklarının Db2 özel durumu için tasarlandığından Db dalgacıkları üretilirken kullanılan algoritmalarından faydalanılmıştır [STR96] . Optimum dalgacığı bulmak için MATLAB programı kullanılmıştır.

Optimum dalgacık üretimi sırasında kullanılan dalgacık kısıtlamaları daha önce ikinci bölümde verilmiştir. Bu kısıtlamalar içinde dalgacıkların ortogonallığı ve düzenlilik şartları bulunmaktadır. Optimizasyon esnasında bu kısıtlamaların

gevşetildiği durumlarda sistemin performansının iyileştiği ve YE-KBÇE sistemine göre daha iyi bir performansa ulaştığı görülmüştür. Bu yüzden kullanılan dalgacıkların ortogonalite kısıtlamasının gevşek olduğu durumlara bakılmıştır. Ayrıca performans analizinde üretilen dalgacıkların iterasyonlarının da performansa önemli derecede etkisinin olduğu anlaşılmıştır. Analizin hassasiyeti iterasyonun artırılmasıyla iyileştirilir. Optimizasyon sonucunda sistemin bit hata olasılığını en iyi yapan Şekil 4.12’de görülen ana dalgacık seçilmiştir. Şekil 4.12’deki optimum ana dalgacık kullanıldığında, ÖZ-KBÇE’nin performansının YE-KBÇE sistemininkine göre Şekil 4.14’de görüldüğü gibi iyileştiği görülmüştür.

ÖZ-KBÇE sisteminin bit hata olasılığı performansı farklı kullanıcı sayıları içinde incelenmiş ve KBÇE ile karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak toplam 25 kullanıcılı ÖZ-KBÇE sisteminin bit hata olasılığı performansı 10^{-6} mertebesindeki bit hata olasılığı için aynı sayıda kullanıcılı YE-KBÇE’ye göre 0,2dB ile 0,4dB arasında daha iyidir. Kullanıcı sayısının azaltıldığı durumda 15 kullanıcı sistem için bit hata olasılığı YE-KBÇE’ye göre 0,135dB ile 0,225dB arasında daha iyidir. 40 kullanıcılı sistem için ise bit hata olasılığı YE-KBÇE’ye göre 0,35dB ile 0,75dB arasında daha iyidir.

Kullanıcı sayısının artışı sonucu sistemin performansının iyileşmesi artmaktadır. Kullanıcı sayısının azaltılması durumunda ise KBÇE’ye göre olan iyileşme azalmakta ve belli bir kullanıcı sayısının altında sistemin performansı oldukça düşük olacaktır. Bu değer sistemde kullanılan dalgacıkların sayısıdır. Bu sistemin performansı çoklu erişim olduğunda yüksektir.

ÖZ-KBÇE sistemiyle YE durumunda YE-KBÇE’ye göre daha iyi bit hata olasılığı performansı elde edilmiştir. Bu sistem gerekli değişiklikler yapılarak çoklu ölçekli durumda diğer ortogonal dalgacıklar için de incelenebilir. Özellikle Haar dalgacığı kullanan ÖZ-KBÇE sisteminin [KUC00] YE durumu incelenebilir.



KAYNAKLAR

- [DaS93], DaSilva V. M. Sousa E. S., "Performance of Orthogonal CDMA Codes for Quasi-Synchronous Communication Systems", Proc. 2nd International Conference on Universal Personal Communications, Ottawa, pp. 995-999, Ekim 1993.
- [DaS94], DaSilva..V M. Sousa E. S., "Multicarrier Orthogonal CDMA Signals for Quasi-Synchronous Communication Systems", IEEE Journal on Selected Areas on Communications, Vol. 12 no. 5, sayfa. 842-852, Haziran 1994.
- [DAU94] Daubechies I., Ten Lectures on Wavelets, CBMS, SIAM, 61, sy.194-202,1994.
- [KUC98] Kucur O., Wavelet Based Multiple Access Communications, Doktora Tezi, Illinois Institute of Technology 1998.
- [KUC99] Kucur O., Atkin G. E., "Performance of Scale-Code Division Multiple Access(SCDMA) over the Asynchronous AWGN Channel", IEEE 49th VTC, USA, May 1999.
- [KUC00] Kucur O., Atkin G. E., "Performance of Scale-Time Code Division Multiple Access over the Synchronous AWGN Channel", International Journal of Communication Systems, vol. 13, Issue 6, pp.501-516, 2000.
- [KUC02] Kucur O., Öztürk E., "Ölçekli Çoklu Erişim Sistemi İçin Optimum Dalgacık Fonksiyonu Tasarımı", IEEE SIU2002 Kurultayı, Haziran 2002, Pamukkale.
- [ONA04] Onan C., Kucur O., Öztürk E., "Yaklaşık Eşzamanlı Ölçek-Zaman-Kod Bölmeli Çoklu Erişim Sisteminin Beyaz Gauss Gürültüsü Eklenen Kanaldaki Performansı", IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları 2004 Kurultayı, Nisan 2004, Çeşme.
- [OZT01a] Ozturk E., Atkin G. E., " Optimum Chip Waveforms for DS-CDMA Using Wavelets", IEEE PIMRC '2001 Konferansı, SanDiego, 2001.
- [OZT01b] Ozturk E., Atkin G. E., " Multi-scale DS-CDMA for 4G Wireless Ssytems", IEEE GlobeCom'2001, Vol. 6, pp. 3353-3357, San Antonio on Nov. 2001.
- [PIC82] Pickholtz R. L., Schilling D. L., Milstein L. B., "Theory of Spread Spectrum-Communications-A Tutorial", IEEE Trans. on Comm., vol. COM-30, no.5, pp. 855-884, May 1982.
- [PRO95] Proakis J. G., Digital Communication, 3. Baskı, MacGraw-Hill, 1995.

[Pur77] Pursley M. B., "Performance Evaluation of Phase-Coded Spread Spectrum Multiple Access Communication-Part I", IEEE Transaction on Communications, Vol. Com-25, No. 8, pp. 795- 799, Aug. 1977.

[RAP96] Rappaport Theodore S., Wireless Communications, Prentice Hall, 1996.

[STR96] Strang G., Nguyen T., Wavelet and Filter Banks, Wellesley-Cambridge Press, 1996.

[VET91] Vetterli M., Rioul O., "Wavelets and Signal Processing", IEEE SP Magazine, Ekim 1991.

[ZIE85] Ziemer R. E., Peterson R.L., Digital Communications and Spread Spectrum Systems, New York: Mac Millan, 1985.





EKLER

İkinci ölçekteki birinci yavru dalgacığı kullanan i. kullanıcının belirlenmesi

Alınan $r(t)$ işaretinin detektör çıkışı aşağıdaki denklemde ifade edilir.

$$r_2 = \int_0^{T_b} r(t) w_{10}(t) p_{13}(t) \cos(\omega_c t) dt = \int_0^{T_b} (s(t) + n(t)) w_{10}(t) p_{13}(t) \cos(\omega_c t) dt \quad (E1)$$

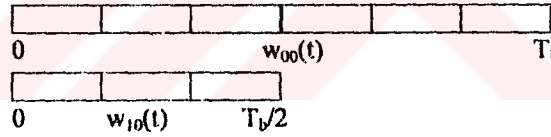
İstenilen kullanıcı için eşzamanlılık durumu oluşturulurken kanala erişim zaman ve faz farkları $\theta_i = 0$ ve $\tau_i = 0$ olur. Alıcı detektör çıkışı aşağıda ifade edilir.

$$r_2 = + \frac{E_b}{2} + \psi_{B1} + \psi_{B2} + \psi_{B3} + \psi_{B4} + \psi_{B5} + \eta$$

İkinci ölçekteki $w_{10}(t)$ içindeki i. kullanıcının bit hata performansını bulmak için bütün dalgacıklardaki kullanıcılardan gelen karışım ayrı ayrı bulunmalıdır. İlk olarak $w_{00}(t)$ dalgacığı içindeki kullanıcıların karışımı incelenir.

$$w_{00}(t)$$

Şekil EK.1'de $w_{00}(t)$ ile $w_{10}(t)$ dalgacıklarının eşzamanlı durumu sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil EK.1 İkinci ölçek $w_{00}(t)$ ile $w_{10}(t)$ arasındaki karışım.

Bu dalgacık içindeki kullanıcılar için önce aşağıdaki denklem bulunur.

$$\psi_{B1} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{00i} \int_0^{T_b} \cos \theta_i w_{00}(t - \tau_i) w_{10}(t) p_{13}(t) p_{16}(t - \tau_i) dt = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{00i} \cos \theta_i B_{1i} \quad (E2)$$

$$B_{1i} = \int_0^{T_b} w_{00}(t - \tau_i) w_{10}(t) p_{13}(t) p_{16}(t - \tau_i) dt$$

Denklem 4.16 ifadesinin benzerinden yararlanarak Denklem E2 aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$B_{1i} = \sum_{k=0}^{3N-1} \left(\int_{kT_c}^{kT_c + \alpha T_c} MB_{\tau,1}(t) h_i(k) h_j(k-1) \alpha dt + \int_{kT_c + \alpha T_c}^{(k+1)T_c} MB_{\tau,2}(t) h_i(k) h_j(k) (1 - \alpha) dt \right) \quad (E3)$$



Denklem E3'deki $MB_{\tau,1}(t)$ ve $MB_{\tau,2}(t)$ aşağıdaki denklem yardımıyla ifade edilir.

$$MB_{\tau_i}(t) = w_{00}(t - \tau_i)w_{10}(t) \quad (E4)$$

Ara adımlar sonucunda ikinci ölçek $w_{10}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{00}(t)$ 'den gelen karışım aşağıda ifade edilir.

$$E[(B_{li})^2] = \frac{1}{3} \sum_{k=0}^{3N-1} \left[E \left[\left(\int_{kT_c}^{(k+1)T_c} MB_{\tau,1}(t) dt \right)^2 \right] + E \left[\left(\int_{kT_c + \alpha T_c}^{(k+1)T_c} MB_{\tau,2}(t) dt \right)^2 \right] \right] \quad (E5)$$

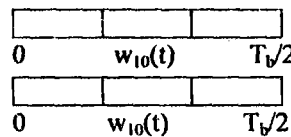
Analizde kolaylık açısından k . çip aralığındaki dalgacık parçası için $w_{00}^k(t)$, $kT_c \leq t \leq (k+1)T_c$; $k = 0 : \dots (N-1)$, kullanılmaktadır. Bu durumda önceki bitten karışan dalgacık için $w_{00}^{-1}(t - \tau_i) = [w_{00}^{6N-1}(t - \tau_i)]$ olarak ifade edilir. Bu ölçekte önceki bitten ikinci ölçekteki $w_{13}(t)$ dalgacığından da karışım meydana gelir ve performans hesabında gözönüne alınmalıdır.

İkinci ölçek $w_{10}(t)$ 'deki kullanıcılara ana ölçekteki kullanıcılardan gelen ÇEK ifadesinin varyansı aşağıdaki denklemle elde edilir.

$$a_1 = E[\psi_{B1}^2] = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^L E[(B_{li})^2] \quad (E6)$$

$w_{10}(t)$

Şekil EK2'de $w_{10}(t)$ ile $w_{10}(t)$ dalgacıklarının eşzamanlı durumu sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil EK.2 İkinci ölçek $w_{10}(t)$ ile $w_{10}(t)$ arasındaki karışım.

Bu dalgacık içindeki kullanıcılar için önce aşağıdaki denklem bulunur.

$$\psi_{B2} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{10i} \int_0^{T_b} \cos \theta_i w_{10}(t - \tau_i) w_{10}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_i) dt = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{10i} \cos \theta_i B_{2i} \quad (E7)$$

$$B_{2i} = \int_0^{T_b} w_{10}(t - \tau_i) w_{10}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_i) dt$$

Denklem 4.16 ifadesinin benzerinden yararlanarak Denklem E7 aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$B_{2i} = \sum_{l=0}^{3N-1} \left(\int_{kT_c}^{kT_c + \alpha T_c} MC_{r,1}(t) h_i(k) h_j(k-1) \alpha dt + \int_{kT_c + \alpha T_c}^{(k+1)T_c} MC_{r,2}(t) h_i(k) h_j(k) (1-\alpha) dt \right) \quad (E8)$$

Denklem E8'deki $MC_{r,1}(t)$ ve $MC_{r,2}(t)$ aşağıdaki denklem yardımıyla ifade edilir.

$$MC_{r_i}(t) = w_{10}(t - \tau_i) w_{10}(t) \quad (E9)$$

Ara adımlar sonucunda ikinci ölççek $w_{10}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{10}(t)$ 'den gelen karışım aşağıda ifade edilir.

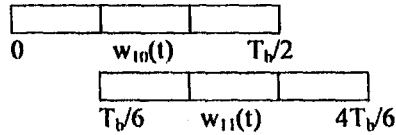
$$E[(B_{2i})^2] = \frac{1}{3} \sum_{k=0}^{3N-1} \left[E \left[\left(\int_{kT_c}^{kT_c + \alpha T_c} MC_{r,1}(t) dt \right)^2 \right] + E \left[\left(\int_{kT_c + \alpha T_c}^{(k+1)T_c} MC_{r,2}(t) dt \right)^2 \right] \right] \quad (E10)$$

İkinci ölççek $w_{10}(t)$ içindeki kullanıcılardan gelen ÇEK ifadesinin varyansı aşağıdaki denklemle elde edilir.

$$a_2 = E[\psi_{B2}^2] = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^L E[(B_{2i})^2] \quad (E11)$$

$w_{11}(t)$

Şekil EK3'te $w_{11}(t)$ ile $w_{10}(t)$ dalgacıklarının eşzamanlı durumu sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil EK.3 İkinci ölççek $w_{10}(t)$ ile $w_{11}(t)$ arasındaki karışım.

Bu dalgacık içindeki kullanıcılar için önce aşağıdaki denklem bulunur.

$$\psi_{B3} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{1i} \int_0^{T_b} \cos \theta_i w_{11}(t - \tau_i) w_{10}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_i - T_b/6) dt = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{1i} \cos \theta_i B_{3i}$$

$$B_{3i} = \int_0^{T_b} w_{11}(t - \tau_i) w_{10}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_i - T_b/6) dt \quad (E12)$$

Denklem 4.16 ifadesinin benzerinden yararlanarak Denklem E12 aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$B_{3i} = \sum_{k=0}^{2N-1} \left(\int_{kT_c + T_c \alpha + T_b / 6}^{kT_c + T_c \alpha + T_b / 6} MD_{\tau,1}(t) h_i(k) h_j(k-1) \alpha dt + \int_{kT_c + T_c \alpha + T_b / 6}^{(k+1)T_c + T_b / 6} MD_{\tau,2}(t) h_i(k) h_j(k) (1-\alpha) dt \right) \quad (E13)$$

Denklem E13'deki $MD_{\tau,1}(t)$ ve $MD_{\tau,2}(t)$ aşağıdaki denklem yardımıyla ifade edilir.

$$MD_{\tau}(t) = w_{11}(t - \tau_i) w_{10}(t) \quad (E14)$$

Ara adımlar sonucunda ikinci ölçek $w_{10}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{11}(t)$ 'den gelen karışım aşağıda ifade edilir.

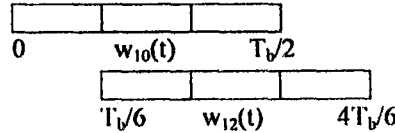
$$E[(B_{3i})^2] = \frac{1}{3} \sum_{k=0}^{2N-1} \left[E \left[\left(\int_{kT_c + T_b / 6}^{kT_c + \alpha T_c + T_b / 6} MD_{\tau,1}(t) dt \right)^2 \right] + E \left[\left(\int_{kT_c + T_b / 6 + \alpha T_c}^{(k+1)T_c + T_b / 6} MD_{\tau,2}(t) dt \right)^2 \right] \right] \quad (E15)$$

İkinci ölçeğe $w_{10}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{11}(t)$ içindeki kullanıcılardan gelen ÇEK ifadesinin varyansı aşağıdaki denklemle elde edilir.

$$a_3 = E[\psi_{H3}^2] = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^L E[(B_{3i})^2] \quad (E16)$$

$w_{12}(t)$

Şekil EK4'te $w_{12}(t)$ ile $w_{10}(t)$ dalgacıklarının eşzamanlı durumu sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil EK.4 İkinci ölçek $w_{10}(t)$ ile $w_{12}(t)$ arasındaki karışım.

Bu dalgacık içindeki kullanıcılar için önce aşağıdaki denklem bulunur.

$$\psi_{H4} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{12i} \int_0^{T_b} \cos \theta_i w_{12}(t - \tau_i) w_{10}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_i - 2T_b / 6) dt = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{12i} \cos \theta_i B_{4i}$$

$$B_{4i} = \int_0^{T_b} w_{12}(t - \tau_i) w_{10}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_i - 2T_b / 6) dt$$

(E17)

Denklem 4.16 ifadesinin benzerinden yararlanarak Denklem E12 aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$B_{4i} = \sum_{k=0}^{N-1} \left(\int_{kT_c + 2T_b/6}^{kT_c + \alpha T_c + 2T_b/6} ME_{\tau,1}(t) h_i(k) h_j(k-1) \alpha dt + \int_{kT_c + \alpha T_c + 2T_b/6}^{(k+1)T_c + 2T_b/6} ME_{\tau,2}(t) h_i(k) h_j(k) (1-\alpha) dt \right) \quad (E18)$$

Denklem E18'deki $ME_{\tau,1}(t)$ ve $ME_{\tau,2}(t)$ aşağıdaki denklem yardımıyla ifade edilir.

$$ME_{\tau_i}(t) = w_{12}(t - \tau_i) w_{10}(t) \quad (E19)$$

Ara adımlar sonucunda ikinci ölçek $w_{10}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{12}(t)$ 'den gelen karışım aşağıda ifade edilir.

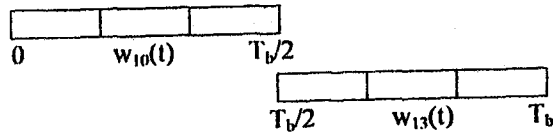
$$E[(B_{4i})^2] = \frac{1}{3} \sum_{k=0}^{N-1} \left[E \left[\left(\int_{kT_c + 2T_b/6}^{kT_c + \alpha T_c + 2T_b/6} ME_{\tau,1}(t) dt \right)^2 \right] + E \left[\left(\int_{kT_c + \alpha T_c + 2T_b/6}^{(k+1)T_c + 2T_b/6} ME_{\tau,2}(t) dt \right)^2 \right] \right] \quad (E20)$$

İkinci ölçek $w_{10}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{12}(t)$ içindeki kullanıcılardan gelen ÇEK ifadesinin varyansı aşağıdaki denklemle elde edilir.

$$a_4 = E[\psi_{B4}^2] = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^L E[(B_{4i})^2] \quad (E21)$$

$w_{13}(t)$

Şekil EK5'te $w_{13}(t)$ ile $w_{10}(t)$ dalgacıklarının eşzamanlı durumu sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil EK.5 İkinci ölçek $w_{10}(t)$ ile $w_{13}(t)$ arasındaki karışım.

Bu dalgacık içindeki kullanıcılar için önce aşağıdaki denklem bulunur.

$$\psi_{B5} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{13i} \int_0^{T_b} \cos \theta_i w_{13}(t - \tau_i) w_{10}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_i - 3T_b/6) dt = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{13i} \cos \theta_i B_{5i}$$

$$B_{5i} = \int_0^{T_b} w_{13}(t - \tau_i) w_{10}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_i - 3T_b/6) dt \quad (E22)$$

$B_{5i} = 0$; Bu iki dalgacık arasında girişim olmaz. Ancak, bu ölçekte önceki bitin ikinci ölçek $w_{13}(t)$ dalgacığından da karışım meydana gelir ve performans hesabında gözönüne alınmalıdır.

İkinci ölçeğe $w_{10}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{13}(t)$ içindeki kullanıcılardan gelen ÇEK'in varyansı aşağıdaki denklemle elde edilir.

$$a_5 = E[\psi_{B5}^2] = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^L E[(B_{5i})^2] = 0 \quad (E23)$$

İkinci ölçekte $w_{10}(t)$ dalgacığı içindeki bir kullanıcıya etki eden toplam ÇEK ifadesinin varyansı $I_2 = a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5$ ve gürültünün varyansı $\sigma^2 = E[\eta^2] = \frac{N_0 E_b}{4}$ olur. Bu kullanıcı için bit hata olasılığı detektör çıkışının ortalaması $\mu = E_b / 2$ ve performansı etkileyen toplam gürültü karışımının varyansı $\sigma_{10}^2 = I_2 + \sigma^2$ olmak üzere aşağıdaki şekilde ifade edilir.

Bu kullanıcı için bit hata olasılığı ise ;

$$Pe_{00} = \frac{1}{2} \times \text{erfc} \left(\frac{\mu^2}{2\sigma_{10}^2} \right) = \frac{1}{2} \times \text{erfc} \left(\frac{(E_b/2)}{N_0 + 4 \times (I_2/E_b)} \right) \text{ olur.} \quad (E24)$$

Denklem E24'de verilen ifade YE ÖZ-KBÇE sisteminde ikinci ölçek $w_{10}(t)$ dalgacığı içindeki herhangi bir kullanıcının bit hata olasılığı performansdır.

İkinci ölçekteki ikinci yavru dalgacığı kullanan i. kullanıcının belirlenmesi:

Alınan $r(t)$ işaretinin detektör çıkışı aşağıdaki denklemde ifade edilir.

$$r_3 = \int_0^{T_b} r(t) w_{11}(t) p_{13}(t) \cos(\omega_c t) dt = \int_0^{T_b} (s(t) + n(t)) w_{11}(t) p_{13}(t) \cos(\omega_c t) dt \quad (E25)$$

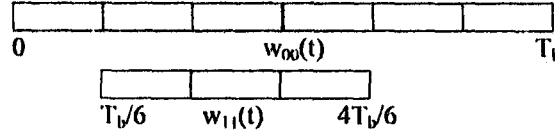
İstenilen kullanıcı için eşzamanlılık durumu oluşturulurken kanala erişim zaman ve faz farkları $\theta_1 = 0$ ve $\tau_1 = 0$ olur. Alıcı detektör çıkışı aşağıda ifade edilir.

$$r_3 = +\frac{E_b}{2} + \psi_{C1} + \psi_{C2} + \psi_{C3} + \psi_{C4} + \psi_{C5} + \eta \quad (E26)$$

İkinci ölçekteki $w_{11}(t)$ içindeki i. kullanıcının bit hata performansını bulmak için bütün dalgacıklardaki kullanıcılardan gelen karışım ayrı ayrı bulunmalıdır. İlk olarak $w_{00}(t)$ dalgacığı içindeki kullanıcıların karışımı incelenir.

$$w_{00}(t)$$

Şekil EK6'de $w_{00}(t)$ ile $w_{11}(t)$ dalgacıklarının eşzamanlı durumu sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil EK.6 İkinci ölçek $w_{11}(t)$ ile $w_{00}(t)$ arasındaki karışım.

Bu dalgacık içindeki kullanıcılar için önce aşağıdaki denklem bulunur.

$$\begin{aligned} \psi_{C1} &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L h_{00i} \int_0^{T_b} \cos \theta_i w_{00}(t - \tau_i) w_{11}(t) p_{13}(t) p_{16}(t - \tau_i) dt = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L h_{00i} \cos \theta_i C_{1i} \\ C_{1i} &= \int_0^{T_b} w_{00}(t - \tau_i) w_{11}(t) p_{13}(t) p_{16}(t - \tau_i) dt \end{aligned} \quad (E27)$$

Denklem 4.16 ifadesinin benzerinden yararlanarak Denklem E27, Denklem E28'deki gibi ifade edilir.

$$C_{1i} = \sum_{k=0}^{3N-1} \left(\int_{kT_c + \frac{T_b}{6}}^{kT_c + \alpha T_c + \frac{T_b}{6}} MF_{\tau,1}(t) h_i(k) h_j(k-1) \alpha dt + \int_{kT_c + \alpha T_c + \frac{T_b}{6}}^{(k+1)T_c + \frac{T_b}{6}} MF_{\tau,2}(t) h_i(k) h_j(k)(1-\alpha) dt \right) \quad (E28)$$

Denklem E28'deki $MF_{\tau,1}(t)$ ve $MF_{\tau,2}(t)$ aşağıdaki denklem yardımıyla ifade edilir.

$$MF_{\tau_i}(t) = w_{00}(t - \tau_i) w_{11}(t) \quad (E29)$$

Ara adımlar sonucunda ikinci ölçek $w_{11}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{00}(t)$ 'dan gelen karışım aşağıda ifade edilir.

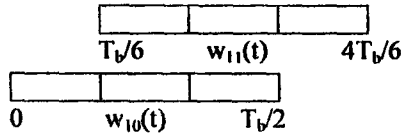
$$E[(C_{1i})^2] = \frac{1}{3} \sum_{k=0}^{3N-1} \left[E \left[\left(\int_{kT_c + \frac{T_b}{6}}^{kT_c + \alpha T_c + \frac{T_b}{6}} MF_{\tau,1}(t) dt \right)^2 \right] + E \left[\left(\int_{kT_c + \alpha T_c + \frac{T_b}{6}}^{(k+1)T_c + \frac{T_b}{6}} MF_{\tau,2}(t) dt \right)^2 \right] \right] \quad (E30)$$

İkinci ölçek $w_{11}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{00}(t)$ 'den gelen ÇEK ifadesinin varyansı aşağıdaki denklemle elde edilir.

$$b_1 = E[\psi_{c1}^2] = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^L E[(C_{1i})^2] \quad (E31)$$

$w_{10}(t)$

Şekil EK.7'de $w_{10}(t)$ ile $w_{11}(t)$ dalgacıklarının eşzamanlı durumu sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil EK.7 İkinci ölçek $w_{11}(t)$ ile $w_{10}(t)$ arasındaki karışım.

Bu dalgacık içindeki kullanıcılar için önce aşağıdaki denklem bulunur.

$$\psi_{c2} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{10i} \int_0^{T_b} \cos \theta_i w_{10}(t - \tau_i) w_{11}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_i) dt = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{10i} \cos \theta_i C_{2i} \quad (E32)$$

$$C_{2i} = \int_0^{T_b} w_{10}(t - \tau_i) w_{11}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_i) dt$$

Denklem 4.16 ifadesinin benzerinden yararlanarak Denklem E32 aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$C_{2i} = \sum_{k=0}^{2N} \left(\int_{kT_c + \frac{T_b}{6}}^{kT_c + \alpha T_c + \frac{T_b}{6}} MG_{\tau_1}(t) h_i(k) h_j(k-1) \alpha dt + \int_{kT_c + \alpha T_c + \frac{T_b}{6}}^{(k+1)T_c + \frac{T_b}{6}} MG_{\tau_2}(t) h_i(k) h_j(k) (1-\alpha) dt \right) \quad (E33)$$

Denklem E33'deki $MG_{\tau_1}(t)$ ve $MG_{\tau_2}(t)$ aşağıdaki denklem yardımıyla ifade edilir.

$$MG_{\tau_i}(t) = w_{10}(t - \tau_i) w_{11}(t) \quad (E34)$$

Ara adımlar sonucunda ikinci ölçek $w_{11}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{11}(t)$ 'den gelen karışım aşağıda ifade edilir.



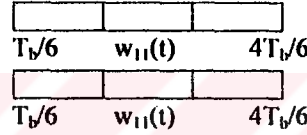
$$E[(C_{2i})^2] = \frac{1}{3} \sum_{k=0}^{2N} \left[E \left[\left(\int_{kT_c + \frac{T_b}{6}}^{kT_c + aT_c + \frac{T_b}{6}} M_{\tau,1}(t) dt \right)^2 \right] + E \left[\left(\int_{kT_c + aT_c + \frac{T_b}{6}}^{(k+1)T_c + \frac{T_b}{6}} M_{\tau,2}(t) dt \right)^2 \right] \right]$$

İkinci ölçek $w_{11}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{10}(t)$ 'daki kullanıcılardan gelen ÇEK ifadesinin varyansı aşağıdaki denklemle elde edilir.

$$b_2 = E[\psi_{c,2}^2] = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^L E[(C_{2i})^2] \quad (E36)$$

$w_{11}(t)$

Şekil EK.8'te $w_{11}(t)$ ile $w_{11}(t)$ dalgacıklarının eşzamanlı durumu sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil EK.8 İkinci ölçek $w_{11}(t)$ ile $w_{11}(t)$ arasındaki karışım.

Bu dalgacık içindeki kullanıcılar için önce Denklem E37 bulunur.

$$\begin{aligned} \psi_{c,3} &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{1i} \int_0^{T_b} \cos \theta_i w_{11}(t - \tau_i) w_{11}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_i - T_b/6) dt = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{1i} \cos \theta_i C_{3i} \\ C_{3i} &= \int_0^{T_b} w_{11}(t - \tau_i) w_{11}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_i - T_b/6) dt \end{aligned} \quad (E37)$$

Denklem 4.16 ifadesinin benzerinden yararlanarak Denklem E37 aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$C_{3i} = \sum_{k=0}^{3N-1} \left(\int_{kT_c + \frac{T_b}{6}}^{kT_c + aT_c + \frac{T_b}{6}} MH_{\tau,1}(t) h_i(k) h_j(k-1) \alpha dt + \int_{kT_c + aT_c + \frac{T_b}{6}}^{(k+1)T_c + \frac{T_b}{6}} MH_{\tau,2}(t) h_i(k) h_j(k) (1-\alpha) dt \right) \quad (E38)$$

Denklem E3'deki $MH_{\tau,1}(t)$ ve $MH_{\tau,2}(t)$ aşağıdaki denklem yardımıyla ifade edilir.

$$MH_{\tau_i}(t) = w_{11}(t - \tau_i) w_{11}(t) \quad (E39)$$

Ara adımlar sonucunda ikinci ölçek $w_{11}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{11}(t)$ 'den gelen karışım aşağıda ifade edilir.

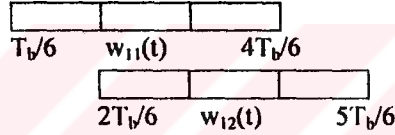
$$E[(C_{3i})^2] = \frac{1}{3} \sum_{k=0}^{3N-1} \left[E \left[\left(\int_{kT_c+T_h/6}^{kT_c+\alpha T_c+T_h/6} MH_{\tau_{i1}}(t) dt \right)^2 \right] + E \left[\left(\int_{kT_c+\alpha T_c+T_h/6}^{(k+1)T_c+T_h/6} MH_{\tau_{i2}}(t) dt \right)^2 \right] \right] \quad (E40)$$

İkinci ölçek $w_{11}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{11}(t)$ 'deki diğer kullanıcılardan gelen ÇEK ifadesinin varyansı aşağıdaki denklemle elde edilir.

$$b_3 = E[\psi_{C3}^2] = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^L E[(C_{3i})^2] \quad (E41)$$

$w_{12}(t)$

Şekil EK.9'da $w_{12}(t)$ ile $w_{11}(t)$ dalgacıklarının eşzamanlı durumu sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil EK.9 İkinci ölçek $w_{11}(t)$ ile $w_{12}(t)$ arasındaki karışım.

Bu dalgacık içindeki kullanıcılar için önce aşağıdaki denklem bulunur.

$$\begin{aligned} \psi_{C4} &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{12i} \int_0^{T_h} \cos \theta_i w_{12}(t - \tau_i) w_{11}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_i - 2T_h/6) dt = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{12i} \cos \theta_i C_{4i} \\ C_{4i} &= \int_0^{T_h} w_{12}(t - \tau_i) w_{11}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_i - 2T_h/6) dt \end{aligned} \quad (E42)$$

Denklem 4.16 ifadesinin benzerinden yararlanarak Denklem E42 aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$C_{4i} = \sum_{k=0}^{2N-1} \left(\int_{kT_c+2T_h/6}^{kT_c+\alpha T_c+2T_h/6} MI_{\tau_{i1}}(t) h_i(k) h_j(k-1) \alpha dt + \int_{kT_c+\alpha T_c+2T_h/6}^{(k+1)T_c+2T_h/6} MI_{\tau_{i2}}(t) h_i(k) h_j(k)(1-\alpha) dt \right) \quad (E43)$$

Denklem E43'deki $MI_{\tau_{i1}}(t)$ ve $MI_{\tau_{i2}}(t)$ aşağıdaki denklem yardımıyla ifade edilir.

$$MI_{\tau_i}(t) = w_{12}(t - \tau_i) w_{11}(t) \quad (E44)$$

Ara adımlar sonucunda ikinci ölçek $w_{11}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{12}(t)$ 'den gelen karışım aşağıda ifade edilir.

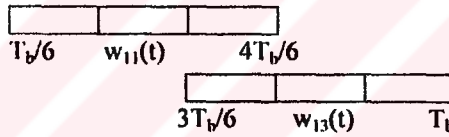
$$E[(C_{4i})^2] = \frac{1}{3} \sum_{k=0}^{2N-1} \left[E \left[\left(\int_{kT_c + 2T_b/6}^{kT_c + \alpha T_c + 2T_b/6} M J_{\tau,1}(t) dt \right)^2 \right] + E \left[\left(\int_{kT_c + \alpha T_c + 2T_b/6}^{(k+1)T_c + 2T_b/6} M J_{\tau,2}(t) dt \right)^2 \right] \right] \quad (E45)$$

İkinci ölçek $w_{11}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{12}(t)$ 'deki kullanıcılardan gelen ÇEK ifadesinin varyansı aşağıdaki denklemle elde edilir.

$$b_4 = E[\psi_{C4}^2] = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^L E[(C_{4i})^2] \quad (E46)$$

$w_{13}(t)$

Şekil EK.10'da $w_{13}(t)$ ile $w_{11}(t)$ dalgacıklarının eşzamanlı durumu sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil EK.10. İkinci ölçek $w_{11}(t)$ ile $w_{13}(t)$ arasındaki karışım.

Bu dalgacık içindeki kullanıcılar için önce aşağıdaki denklem bulunur.

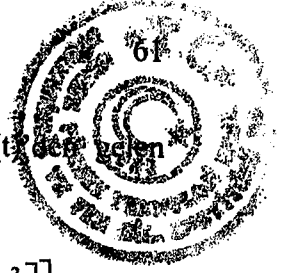
$$\begin{aligned} \psi_{C5} &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{13i} \int_0^{T_b} \cos \theta_i w_{13}(t - \tau_i) w_{11}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_i - 3T_b/6) dt = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{13i} \cos \theta_i C_{5i} \\ C_{5i} &= \int_0^{T_b} w_{13}(t - \tau_i) w_{11}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_i - 3T_b/6) dt \end{aligned} \quad (E47)$$

Denklem 4.16 ifadesinin benzerinden yararlanarak Denklem E47 aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$C_{5i} = \sum_{k=0}^{N-1} \left(\int_{kT_c + 3T_b/6}^{kT_c + \alpha T_c + 3T_b/6} M J_{\tau,1}(t) h_i(k) h_j(k-1) \alpha dt + \int_{kT_c + \alpha T_c + 3T_b/6}^{(k+1)T_c + 3T_b/6} M J_{\tau,2}(t) h_i(k) h_j(k) (1 - \alpha) dt \right) \quad (E48)$$

Denklem E48'deki $M J_{\tau,1}(t)$ ve $M J_{\tau,2}(t)$ aşağıdaki denklem yardımıyla ifade edilir.

$$M J_{\tau_i}(t) = w_{13}(t - \tau_i) w_{11}(t) \quad (E49)$$



Ara adımlar sonucunda ikinci ölçek $w_{11}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{13}(t)$ ile gürültü karışım aşağıda ifade edilir.

$$E[(C_{s_i})^2] = \frac{1}{3} \sum_{k=0}^{N-1} \left[E \left[\left(\int_{kT_c + 3T_b/6}^{kT_c + 3T_b/6 + T_c} MJ_{r_{i1}}(t) dt \right)^2 \right] + E \left[\left(\int_{kT_c + 3T_b/6}^{(k+1)T_c + 3T_b/6} MJ_{r_{i2}}(t) dt \right)^2 \right] \right] \quad (E50)$$

İkinci ölçek $w_{11}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{13}(t)$ 'deki kullanıcılardan gelen ÇEK ifadesinin varyansı aşağıdaki denklemle elde edilir.

$$b_5 = E[\psi_{C5}^2] = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^L E[(C_{s_i})^2] \quad (E51)$$

İkinci ölçekte $w_{11}(t)$ dalgacığı içindeki bir kullanıcıya etki eden toplam ÇEK ifadesi $I_3 = b_1 + b_2 + b_3 + b_4 + b_5$ ve gürültünün varyansı $\sigma^2 = E[\eta^2] = \frac{N_0 E_b}{4}$ olur.

Bu kullanıcı için bit hata olasılığı detektör çıkışının ortalaması $\mu = E_b/2$ ve performansı etkileyen toplam gürültü karışımının varyansı $\sigma_{11}^2 = I_3 + \sigma^2$ olmak üzere aşağıdaki şekilde ifade edilir.

Bu kullanıcı için bit hata olasılığı ise ;

$$Pe_{00} = \frac{1}{2} \times \text{erfc} \left(\frac{\mu^2}{2\sigma_{11}^2} \right) = \frac{1}{2} \times \text{erfc} \left(\frac{(E_b/2)^2}{N_0 + 4 \times (I_3/E_b)} \right) \quad \text{olur.} \quad (E52)$$

Denklem E52'de verilen ifade YE ÖZ-KBÇE sisteminde ikinci ölçek $w_{11}(t)$ dalgacığı içindeki herhangi bir kullanıcının bit hata olasılığı performansdır.

İkinci ölçekteki üçüncü yavru dalgacığı kullanan i. kullanıcının belirlenmesi:

Alınan $r(t)$ işaretinin detektör çıkışı aşağıdaki denklemde ifade edilir.

$$r_4 = \int_0^{T_b} r(t) w_{12}(t) p_{13}(t) \cos(\omega_c t) dt = \int_0^{T_b} (s(t) + n(t)) w_{12}(t) p_{13}(t) \cos(\omega_c t) dt \quad (E53)$$

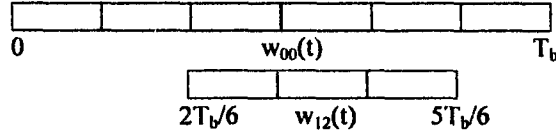
İstenilen kullanıcı için eşzamanlılık durumu oluşturulurken kanala erişim zaman ve faz farkları $\theta_1 = 0$ ve $\tau_i = 0$ olur. Alıcı detektör çıkışı aşağıda ifade edilir.

$$r_4 = + \frac{E_b}{2} + \psi_{D1} + \psi_{D2} + \psi_{D3} + \psi_{D4} + \psi_{D5} + \eta \quad (E54)$$

İkinci ölçekteki $w_{12}(t)$ içindeki i. kullanıcının bit hata performansını bulmak için bütün dalgacıklardaki kullanıcılardan gelen karışım ayrı ayrı bulunmalıdır. İlk olarak $w_{00}(t)$ dalgacığı içindeki kullanıcıların karışımı incelenir.

$w_{00}(t)$

Şekil EK11'de $w_{00}(t)$ ile $w_{12}(t)$ dalgacıklarının eşzamanlı durumu sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil EK.11. İkinci ölçek $w_{12}(t)$ ile $w_{00}(t)$ arasındaki karışım.

Bu dalgacık içindeki kullanıcılar için önce aşağıdaki denklem bulunur.

$$\psi_{11} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{00i} \int_0^{T_b} \cos \theta_i w_{00}(t - \tau_i) w_{12}(t) p_{13}(t) p_{16}(t - \tau_i) dt = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{00i} \cos \theta_i D_{1i} \quad (E55)$$

$$D_{1i} = \int_0^{T_b} w_{00}(t - \tau_i) w_{12}(t) p_{13}(t) p_{16}(t - \tau_i) dt$$

Denklem 4.16 ifadesinin benzerinden yararlanarak Denklem E55 , Denklem E56'daki gibi ifade edilir.

$$D_{1i} = \sum_{k=0}^{3N-1} \left(\int_{kT_c + \frac{T_b}{3}}^{kT_c + \alpha T_c + \frac{T_b}{3}} MK_{\tau_1}(t) h_i(k) h_j(k-1) \alpha dt + \int_{kT_c + \alpha T_c + \frac{T_b}{3}}^{(k+1)T_c + \frac{T_b}{3}} MK_{\tau_2}(t) h_i(k) h_j(k) (1-\alpha) dt \right) \quad (E56)$$

Denklem E56'daki $MK_{\tau_1}(t)$ ve $MK_{\tau_2}(t)$ aşağıdaki denklem yardımıyla ifade edilir.

$$MK_{\tau_i}(t) = w_{00}(t - \tau_i) w_{11}(t) \quad (E57)$$

Ara adımlar sonucunda ikinci ölçek $w_{12}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{00}(t)$ 'dan gelen karışım aşağıda ifade edilir.

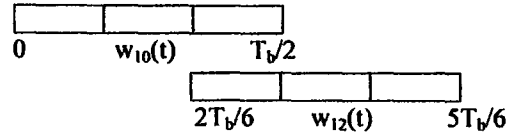
$$E[(D_{1i})^2] = \frac{1}{3} \sum_{k=0}^{3N-1} \left[E \left[\left(\int_{kT_c + \frac{T_b}{3}}^{kT_c + \alpha T_c + \frac{T_b}{3}} MK_{\tau_1}(t) dt \right)^2 \right] + E \left[\left(\int_{kT_c + \alpha T_c + \frac{T_b}{3}}^{(k+1)T_c + \frac{T_b}{3}} MK_{\tau_2}(t) dt \right)^2 \right] \right] \quad (E58)$$

İkinci ölçek $w_{12}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{00}(t)$ 'den gelen ÇEK ifadesinin varyansı aşağıdaki denklemle elde edilir.

$$c_1 = E[\psi_{D1}^2] = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^L E[(D_{1i})^2] \quad (E59)$$

$w_{10}(t)$

Şekil EK.12'de $w_{10}(t)$ ile $w_{12}(t)$ dalgacıklarının eşzamanlı durumu sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil EK.12 İkinci ölçek $w_{12}(t)$ ile $w_{10}(t)$ arasındaki karışım.

Bu dalgacık içindeki kullanıcılar için önce aşağıdaki denklem bulunur.

$$\psi_{D2} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{10i} \int_0^{T_b} \cos \theta_i w_{10}(t - \tau_i) w_{12}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_i) dt = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{10i} \cos \theta_i D_{2i} \quad (E60)$$

$$D_{2i} = \int_0^{T_b} w_{10}(t - \tau_i) w_{12}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_i) dt$$

Denklem 4.16 ifadesinin benzerinden yararlanarak Denklem E60 aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$D_{2i} = \sum_{k=0}^N \left(\int_{kT_c + \frac{T_b}{3}}^{kT_c + \alpha T_c + \frac{T_b}{3}} ML_{r,1}(t) h_i(k) h_j(k-1) \alpha dt + \int_{kT_c + \alpha T_c + \frac{T_b}{3}}^{(k+1)T_c + \frac{T_b}{3}} ML_{r,2}(t) h_i(k) h_j(k) (1 - \alpha) dt \right) \quad (E61)$$

Denklem E61'deki $ML_{r,1}(t)$ ve $ML_{r,2}(t)$ aşağıdaki denklem yardımıyla ifade edilir.

$$ML_{r,i}(t) = w_{10}(t - \tau_i) w_{12}(t) \quad (E62)$$

Ara adımlar sonucunda ikinci ölçek $w_{12}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{10}(t)$ 'den gelen karışım aşağıda ifade edilir.

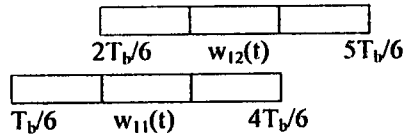
$$E[(D_{2i})^2] = \frac{1}{3} \sum_{k=0}^N \left[E \left[\left(\int_{kT_c + \frac{T_b}{3}}^{kT_c + \alpha T_c + \frac{T_b}{3}} ML_{r,1}(t) dt \right)^2 \right] + E \left[\left(\int_{kT_c + \alpha T_c + \frac{T_b}{3}}^{(k+1)T_c + \frac{T_b}{3}} ML_{r,2}(t) dt \right)^2 \right] \right] \quad (E63)$$

İkinci ölçek $w_{11}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{12}(t)$ 'deki kullanıcılardan gelen CEK ifadesinin varyansı aşağıdaki denklemle elde edilir.

$$c_2 = E[\psi_{D2}^2] = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^L E[(D_{2i})^2] \quad (E64)$$

$w_{11}(t)$

Şekil EK13'de $w_{12}(t)$ ile $w_{11}(t)$ dalgacıklarının eşzamanlı durumu sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil EK.13 İkinci ölçek $w_{12}(t)$ ile $w_{11}(t)$ arasındaki karışım.

Bu dalgacık içindeki kullanıcılar için önce aşağıdaki denklem bulunur.

$$\psi_{D3} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{1i} \int_0^{T_b} \cos \theta_i w_{11}(t - \tau_i) w_{12}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_i - T_b/6) dt = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{1i} \cos \theta_i D_{3i} \quad (E65)$$

$$D_{3i} = \int_0^{T_b} w_{11}(t - \tau_i) w_{12}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_i - T_b/6) dt$$

Denklem 4.16 ifadesinin benzerinden yararlanarak Denklem E65 aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$D_{3i} = \sum_{k=0}^{2N} \left(\int_{kT_c + T_b/3}^{kT_c + \alpha T_c + T_b/3} MN_{\tau_1}(t) h_i(k) h_j(k-1) \alpha dt + \int_{kT_c + \alpha T_c + T_b/3}^{(k+1)T_c + T_b/3} MN_{\tau_2}(t) h_i(k) h_j(k) (1 - \alpha) dt \right) \quad (E66)$$

Denklem E66'daki $MN_{\tau_1}(t)$ ve $MN_{\tau_2}(t)$ aşağıdaki denklem yardımıyla ifade edilir.

$$MN_{\tau_i}(t) = w_{11}(t - \tau_i) w_{12}(t) \quad (E67)$$

Ara adımlar sonucunda ikinci ölçek $w_{11}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{12}(t)$ 'den gelen karışım aşağıda ifade edilir.

$$E[(D_{3i})^2] = \frac{1}{3} \sum_{k=0}^{2N} \left[E \left[\left(\int_{kT_c + T_b/3}^{kT_c + \alpha T_c + T_b/3} MN_{\tau_1}(t) dt \right)^2 \right] + E \left[\left(\int_{kT_c + \alpha T_c + T_b/3}^{(k+1)T_c + T_b/3} MN_{\tau_2}(t) dt \right)^2 \right] \right] \quad (E68)$$

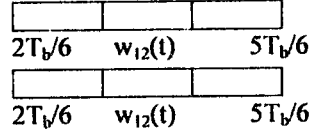


İkinci ölçek $w_{12}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{11}(t)$ 'deki kullanıcılardan gelen sinyallerin varyansı aşağıdaki denklemle elde edilir.

$$c_3 = E[\psi_{13}^2] = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^L E[(D_{3i})^2] \quad (E69)$$

$w_{12}(t)$

Şekil EK.14'de $w_{12}(t)$ ile $w_{12}(t)$ dalgacıklarının eşzamanlı durumu sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil EK.14 İkinci ölçek $w_{12}(t)$ ile $w_{12}(t)$ arasındaki karışım.

Bu dalgacık içindeki kullanıcılar için önce aşağıdaki denklem bulunur.

$$\psi_{13} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{12i} \int_0^{T_b} \cos \theta_i w_{12}(t - \tau_i) w_{12}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_i - 2T_b/6) dt = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{12i} \cos \theta_i D_{4i} \quad (E70)$$

$$D_{4i} = \int_0^{T_b} w_{12}(t - \tau_i) w_{12}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_i - 2T_b/6) dt$$

Denklem 4.16 ifadesinin benzerinden yararlanarak Denklem E70 aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$D_{4i} = \sum_{k=0}^{3N-1} \left(\int_{kT_c + 2T_b/3}^{kT_c + \alpha T_c + 2T_b/3} MO_{\tau,1}(t) h_i(k) h_j(k-1) \alpha dt + \int_{kT_c + \alpha T_c + 2T_b/3}^{(k+1)T_c + 2T_b/3} MO_{\tau,2}(t) h_i(k) h_j(k)(1-\alpha) dt \right) \quad (E71)$$

Denklem E71'deki $MO_{\tau,1}(t)$ ve $MO_{\tau,2}(t)$ aşağıdaki denklem yardımıyla ifade edilir.

$$MO_{\tau_i}(t) = w_{12}(t - \tau_i) w_{12}(t) \quad (E72)$$

Ara adımlar sonucunda ikinci ölçek $w_{12}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{12}(t)$ 'den gelen karışım aşağıda ifade edilir.

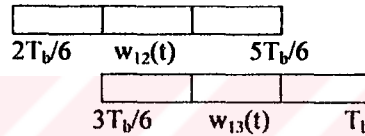
$$E[(D_{4i})^2] = \frac{1}{3} \sum_{k=0}^{3N-1} \left[E \left[\left(\int_{kT_c+2T_b/3}^{kT_c+\alpha T_c+2T_b/3} MO_{\tau,1}(t) dt \right)^2 \right] + E \left[\left(\int_{kT_c+\alpha T_c+2T_b/3}^{(k+1)T_c+2T_b/3} MO_{\tau,2}(t) dt \right)^2 \right] \right] \quad (E73)$$

İkinci ölçek $w_{12}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{12}(t)$ 'deki kullanıcılardan gelen ÇEK ifadesinin varyansı aşağıdaki denklemle elde edilir.

$$c_4 = E[\psi_{D4}^2] = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^L E[(D_{4i})^2] \quad (E74)$$

$w_{13}(t)$

Şekil EK.15'de $w_{13}(t)$ ile $w_{12}(t)$ dalgacıklarının eşzamanlı durumu sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil EK.15 İkinci ölçek $w_{12}(t)$ ile $w_{13}(t)$ arasındaki karışım.

Bu dalgacık içindeki kullanıcılar için önce aşağıdaki denklem bulunur.

$$\begin{aligned} \psi_{D5} &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{13i} \int_0^{T_b} \cos \theta_i w_{13}(t - \tau_i) w_{12}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_i - 3T_b/6) dt = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{13i} \cos \theta_i D_{5i} \\ D_{5i} &= \int_0^{T_b} w_{13}(t - \tau_i) w_{12}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_i - 3T_b/6) dt \end{aligned} \quad (E75)$$

Denklem 4.16 ifadesinin benzerinden yararlanarak Denklem E75 aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$D_{5i} = \sum_{k=0}^{2N-1} \left(\int_{kT_c+3T_b/6}^{kT_c+\alpha T_c+3T_b/6} MP_{\tau,1}(t) h_i(k) h_j(k-1) \alpha dt + \int_{kT_c+\alpha T_c+3T_b/6}^{(k+1)T_c+3T_b/6} MP_{\tau,2}(t) h_i(k) h_j(k) (1-\alpha) dt \right) \quad (E76)$$

Denklem E76'deki $MP_{\tau,1}(t)$ ve $MP_{\tau,2}(t)$ aşağıdaki denklem yardımıyla ifade edilir.

$$MP_{\tau_i}(t) = w_{13}(t - \tau_i) w_{12}(t) \quad (E77)$$

Ara adımlar sonucunda ikinci ölçek $w_{12}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{13}(t)$ 'den gelen karışım aşağıda ifade edilir.

$$E[(D_{s_i})^2] = \frac{1}{3} \sum_{k=0}^{2N-1} \left[E \left[\left(\int_{kT_c + 3T_b/6}^{kT_c + aT_c + 3T_b/6} MP_{\tau_1}(t) dt \right)^2 \right] + E \left[\left(\int_{kT_c + aT_c + 3T_b/6}^{(k+1)T_c + 3T_b/6} MP_{\tau_2}(t) dt \right)^2 \right] \right] \quad (E78)$$

İkinci ölçek $w_{12}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{13}(t)$ 'deki kullanıcılardan gelen ÇEK ifadesinin varyansı aşağıdaki denklemle elde edilir.

$$c_5 = E[\psi_{D5}^2] = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^L E[(D_{s_i})^2] \quad (E79)$$

İkinci ölçekte $w_{12}(t)$ dalgacığı içindeki bir kullanıcıya etki eden toplam ÇEK ifadesi $I_4 = c_1 + c_2 + c_3 + c_4 + c_5$ ve gürültünün varyansı $\sigma^2 = E[\eta^2] = \frac{N_0 E_b}{4}$ olur. Bu kullanıcı için bit hata olasılığı detektör çıkışının ortalaması $E[\psi_{D5}] = E_b/2$ ve performansı etkileyen toplam gürültü karışımının varyansı $\sigma_{12}^2 = I_4 + \sigma^2$ olmak üzere aşağıdaki şekilde ifade edilir.

Bu kullanıcı için bit hata olasılığı ise ;

$$Pe_{00} = \frac{1}{2} \times \text{erfc} \left(\frac{\mu^2}{2\sigma_{12}^2} \right) = \frac{1}{2} \times \text{erfc} \left(\frac{(E_b/2)}{N_0 + 4 \times (I_4/E_b)} \right) \quad \text{olur.} \quad (E80)$$

Denklem E80'da verilen ifade YE ÖZ-KBÇE sisteminde ikinci ölçek $w_{12}(t)$ dalgacığı içindeki herhangi bir kullanıcının bit hata olasılığı performansdır.

İkinci ölçekteki dördüncü yavru dalgacığı kullanan i. kullanıcının belirlenmesi;

Alınan $r(t)$ işaretinin detektör çıkışı aşağıdaki denklemde ifade edilir.

$$r_5 = \int_0^{T_b} r(t) w_{13}(t) p_{13}(t) \cos(\omega_c t) dt = \int_0^{T_b} (s(t) + n(t)) w_{13}(t) p_{13}(t) \cos(\omega_c t) dt \quad (E81)$$

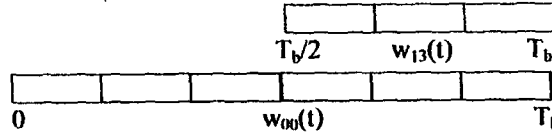
İstenilen kullanıcı için eşzamanlılık durumu oluşturulurken kanala erişim zaman ve faz farkları $\theta_1 = 0$ ve $\tau_1 = 0$ olur. Alıcı detektör çıkışı aşağıda ifade edilir.

$$r_5 = + \frac{E_b}{2} + \psi_{F1} + \psi_{F2} + \psi_{F3} + \psi_{F4} + \psi_{F5} + \eta \quad (E82)$$

İkinci ölçekteki $w_{13}(t)$ içindeki i. kullanıcının bit hata performansını bulmak için bütün dalgacıklardaki kullanıcılardan gelen karışım ayrı ayrı bulunmalıdır. İlk olarak $w_{00}(t)$ dalgacığı içindeki kullanıcıların karışımı incelenir.

$w_{00}(t)$

Şekil EK.16'da $w_{00}(t)$ ile $w_{13}(t)$ dalgacıklarının eşzamanlı durumu sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil EK.16 İkinci ölçek $w_{13}(t)$ ile $w_{00}(t)$ arasındaki karışım.

Bu dalgacık içindeki kullanıcılar için önce aşağıdaki denklem bulunur.

$$\psi_{F1} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{00i} \int_0^{T_b} \cos \theta_i w_{00}(t - \tau_i) w_{13}(t) p_{13}(t) p_{16}(t - \tau_i) dt = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{00i} \cos \theta_i F_{1i} \quad (E83)$$

$$F_{1i} = \int_0^{T_b} w_{00}(t - \tau_i) w_{13}(t) p_{13}(t) p_{16}(t - \tau_i) dt$$

Denklem 4.16 ifadesinin benzerinden yararlanarak Denklem E83 , Denklem E84'teki gibi ifade edilir.

$$F_{1i} = \sum_{k=0}^{3N-1} \left(\int_{kT_c + T_b/2}^{kT_c + \alpha T_c + T_b/2} MT_{r,1}(t) h_i(k) h_j(k-1) \alpha dt + \int_{kT_c + \alpha T_c + T_b/2}^{(k+1)T_c + T_b/2} MT_{r,2}(t) h_i(k) h_j(k) (1-\alpha) dt \right) \quad (E84)$$

Denklem E84'deki $MT_{r,1}(t)$ ve $MT_{r,2}(t)$ aşağıdaki denklem yardımıyla ifade edilir.

$$MT_{r,i}(t) = w_{00}(t - \tau_i) w_{13}(t) \quad (E85)$$

Ara adımlar sonucunda ikinci ölçek $w_{13}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{00}(t)$ 'dan gelen karışım aşağıda ifade edilir.

$$E[(F_{1i})^2] = \frac{1}{3} \sum_{k=0}^{3N-1} \left[E \left[\left(\int_{kT_c + T_b/2}^{kT_c + \alpha T_c + T_b/2} MT_{r,1}(t) dt \right)^2 \right] + E \left[\left(\int_{kT_c + \alpha T_c + T_b/2}^{(k+1)T_c + T_b/2} MT_{r,2}(t) dt \right)^2 \right] \right] \quad (E86)$$

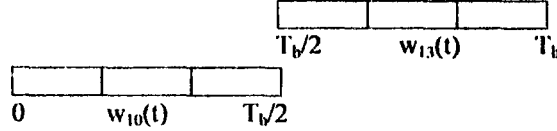
İkinci ölçek $w_{13}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{00}(t)$ 'den gelen ÇEK ifadesinin varyansı aşağıdaki denklemle elde edilir.



$$d_1 = E[\psi_{F1}^2] = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^L E[(F_{1i})^2]$$

$w_{10}(t)$

Şekil EK.17’de $w_{13}(t)$ ile $w_{11}(t)$ dalgacıklarının eşzamanlı durumu sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil EK.17 İkinci ölçek $w_{13}(t)$ ile $w_{10}(t)$ arasındaki karışım.

Bu dalgacık içindeki kullanıcılar için önce aşağıdaki denklem bulunur.

$$\psi_{F2} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{10i} \int_0^{T_b} \cos \theta_i w_{10}(t - \tau_i) w_{13}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_i) dt = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{10i} \cos \theta_i F_{2i} \quad (E88)$$

$$F_{2i} = \int_0^{T_b} w_{10}(t - \tau_i) w_{13}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_i) dt$$

Denklem 4.16 ifadesinin benzerinden yararlanarak Denklem E88 aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$F_{2i} = \int_{\alpha T_c + T_b/2}^{\alpha T_c + T_b/2} MX_{r,1}(t) h_i(k) h_j(k-1) \alpha dt + \int_{\alpha T_c + T_b/2}^{T_c + T_b/2} MX_{r,2}(t) h_i(k) h_j(k) (1 - \alpha) dt \quad (E89)$$

Denklem E89’deki $MX_{r,1}(t)$ ve $MX_{r,2}(t)$ aşağıdaki denklem yardımıyla ifade edilir.

$$MX_{r_i}(t) = w_{10}(t - \tau_i) w_{13}(t) \quad (E90)$$

Ara adımlar sonucunda ikinci ölçek $w_{13}(t)$ ’deki kullanıcılara $w_{10}(t)$ ’dan gelen karışım aşağıda ifade edilir.

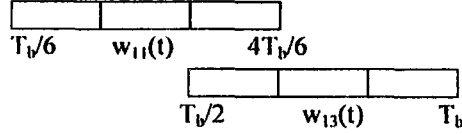
$$E[(F_{2i})^2] = \frac{1}{3} \left(E \left[\left(\int_{\alpha T_c + T_b/2}^{\alpha T_c + T_b/2} MX_{r,1}(t) dt \right)^2 \right] + E \left[\left(\int_{\alpha T_c + T_b/2}^{T_c + T_b/2} MX_{r,2}(t) dt \right)^2 \right] \right) \quad (E91)$$

İkinci ölçek $w_{13}(t)$ ’deki kullanıcılara $w_{10}(t)$ ’daki kullanıcılardan gelen ÇEK ifadesinin varyansı aşağıdaki denklemle elde edilir.

$$d_2 = E[\psi_{F_2}^2] = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^L E[(F_{2i})^2]$$

$w_{11}(t)$

Şekil EK.18'te $w_{13}(t)$ ile $w_{11}(t)$ dalgacıklarının eşzamanlı durumu sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil EK.18 İkinci ölçek $w_{13}(t)$ ile $w_{11}(t)$ arasındaki karışım.

Bu dalgacık içindeki kullanıcılar için önce aşağıdaki denklem bulunur.

$$\begin{aligned} \psi_{F_3} &= \frac{1}{2} = \sum_{i=1}^L b_{11i} \int_0^{T_b} \cos \theta_i w_{11}(t - \tau_i) w_{13}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_i - T_b/6) dt = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{11i} \cos \theta_i F_{3i} \\ F_{3i} &= \int_0^{T_b} w_{11}(t - \tau_i) w_{13}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_i - T_b/6) dt \end{aligned} \quad (E93)$$

Denklem 4.16 ifadesinin benzerinden yararlanarak Denklem E93 aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$F_{3i} = \sum_{k=0}^N \left(\int_{kT_c + T_b/2}^{kT_c + \alpha T_c + T_b/2} MY_{\tau_1}(t) h_i(k) h_j(k-1) \alpha dt + \int_{kT_c + \alpha T_c + T_b/2}^{(k+1)T_c + T_b/2} MY_{\tau_2}(t) h_i(k) h_j(k) (1-\alpha) dt \right) \quad (E94)$$

Denklem E94'teki $MY_{\tau_1}(t)$ ve $MY_{\tau_2}(t)$ aşağıdaki denklem yardımıyla ifade edilir.

$$MY_{\tau_1}(t) = w_{11}(t - \tau_i) w_{13}(t) \quad (E95)$$

Ara adımlar sonucunda ikinci ölçek $w_{13}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{11}(t)$ 'den gelen karışım aşağıda ifade edilir.

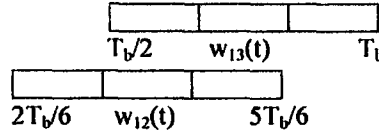
$$E[(F_{3i})^2] = \frac{1}{3} \sum_{k=0}^N \left[E \left[\left(\int_{kT_c + T_b/2}^{kT_c + \alpha T_c + T_b/2} MY_{\tau_1}(t) dt \right)^2 \right] + E \left[\left(\int_{kT_c + \alpha T_c + T_b/2}^{(k+1)T_c + T_b/2} MY_{\tau_2}(t) dt \right)^2 \right] \right] \quad (E96)$$

İkinci ölçek $w_{13}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{11}(t)$ 'deki diğer kullanıcılardan gelen ÇEK ifadesinin varyansı aşağıdaki denklemle elde edilir.

$$d_3 = E[\psi_{F3}^2] = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^L E[(F_{3i})^2] \quad (E97)$$

$w_{12}(t)$

Şekil EK.19'da $w_{13}(t)$ ile $w_{11}(t)$ dalgacıklarının eşzamanlı durumu sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil EK.19 İkinci ölçek $w_{13}(t)$ ile $w_{12}(t)$ arasındaki karışım.

Bu dalgacık içindeki kullanıcılar için önce aşağıdaki denklem bulunur.

$$\psi_{F4} = \frac{1}{2} \sum_{l=1}^L b_{12l} \int_0^{T_b} \cos \theta_l w_{12}(t - \tau_l) w_{13}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_l - 2T_b/6) dt = \frac{1}{2} \sum_{l=1}^L b_{12l} \cos \theta_l F_{4l}$$

$$F_{4l} = \int_0^{T_b} w_{12}(t - \tau_l) w_{13}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_l - 2T_b/6) dt$$

(E98)

Denklem 4.16 ifadesinin benzerinden yararlanarak Denklem E98 aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$F_{4l} = \sum_{k=0}^{2N} \left(\int_{kT_c + T_b/2}^{kT_c + \alpha T_c + T_b/2} MZ_{\tau,1}(t) h_i(k) h_j(k-1) \alpha dt + \int_{kT_c + \alpha T_c + T_b/2}^{(k+1)T_c + T_b/2} MZ_{\tau,2}(t) h_i(k) h_j(k) (1-\alpha) dt \right) \quad (E99)$$

Denklem E99'daki $MZ_{\tau,1}(t)$ ve $MZ_{\tau,2}(t)$ aşağıdaki denklem yardımıyla ifade edilir.

$$MZ_{\tau,i}(t) = w_{12}(t - \tau_i) w_{13}(t) \quad (E100)$$

Ara adımlar sonucunda ikinci ölçek $w_{13}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{12}(t)$ 'den gelen karışım aşağıda ifade edilir.

$$E[(F_{4l})^2] = \frac{1}{3} \sum_{k=0}^{2N} \left[E \left[\left(\int_{kT_c + T_b/2}^{kT_c + \alpha T_c + T_b/2} MZ_{\tau,1}(t) dt \right)^2 \right] + E \left[\left(\int_{kT_c + \alpha T_c + T_b/2}^{(k+1)T_c + T_b/2} MZ_{\tau,2}(t) dt \right)^2 \right] \right] \quad (E101)$$

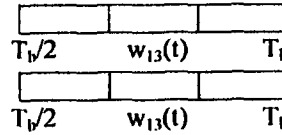


İkinci ölçek $w_{13}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{12}(t)$ 'deki kullanıcılardan gelen $w_{12}(t)$ ifadesinin varyansı aşağıdaki denklemle elde edilir.

$$d_4 = E[\psi_{F,4}^2] = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^L E[(F_{4i})^2] \quad (E102)$$

$w_{13}(t)$

Şekil EK.20'de $w_{13}(t)$ ile $w_{13}(t)$ dalgacıklarının eşzamanlı durumu sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil EK.20 İkinci ölçek $w_{13}(t)$ ile $w_{13}(t)$ arasındaki karışım.

Bu dalgacık içindeki kullanıcılar için önce aşağıdaki denklem bulunur.

$$\psi_{F,5} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{13i} \int_0^{T_b} \cos \theta_i w_{13}(t - \tau_i) w_{13}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_i - 3T_b/6) dt = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L b_{13i} \cos \theta_i F_{5i}$$

$$F_{5i} = \int_0^{T_b} w_{13}(t - \tau_i) w_{13}(t) p_{13}(t) p_{13}(t - \tau_i - 3T_b/6) dt \quad (E103)$$

Denklem 4.16 ifadesinin benzerinden yararlanarak Denklem E103 aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$F_{5i} = \sum_{k=0}^{N-1} \left(\int_{kT_c + T_b/2}^{(k+1)T_c + T_b/2} MW_{r,1}(t) h_i(k) h_j(k-1) \alpha dt + \int_{kT_c + T_b/2}^{(k+1)T_c + T_b/2} MW_{r,2}(t) h_i(k) h_j(k) (1 - \alpha) dt \right) \quad (E104)$$

Denklem E104'teki $MW_{r,1}(t)$ ve $MW_{r,2}(t)$ aşağıdaki denklem yardımıyla ifade edilir.

$$MW_{r,1}(t) = w_{13}(t - \tau_i) w_{13}(t) \quad (E105)$$

Ara adımlar sonucunda ikinci ölçek $w_{13}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{13}(t)$ 'den gelen karışım aşağıda ifade edilir.

$$E[(F_{s_i})^2] = \frac{1}{3} \sum_{k=0}^{N-1} \left[E \left[\left(\int_{kT_c + T_b/2}^{kT_c + \alpha T_c + T_b/2} MW_{r_1}(t) dt \right)^2 \right] + E \left[\left(\int_{kT_c + \alpha T_c + T_b/2}^{(k+1)T_c + T_b/2} MW_{r_2}(t) dt \right)^2 \right] \right] \quad (E106)$$

İkinci ölçek $w_{13}(t)$ 'deki kullanıcılara $w_{13}(t)$ 'deki kullanıcılardan gelen ÇEK ifadesinin varyansı aşağıdaki denklemle elde edilir.

$$d_5 = E[\psi_{r_5}^2] = \frac{1}{8} \sum_{i \neq 1}^L E[(F_{s_i})^2] \quad (E107)$$

İkinci ölçekte $w_{11}(t)$ dalgacığı içindeki bir kullanıcıya etki eden toplam ÇEK ifadesi $I_5 = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5$ ve gürültünün varyansı $\sigma^2 = E[\eta^2] = \frac{N_0 E_b}{4}$ olur. Bu kullanıcı için bit hata olasılığı detektör çıkışının ortalaması $\mu = E_b/2$ ve performansı etkileyen toplam gürültü karışımının varyansı $\sigma_{13}^2 = I_5 + \sigma^2$ olmak üzere aşağıdaki şekilde ifade edilir.

Bu kullanıcı için bit hata olasılığı ise ;

$$Pe_{13} = \frac{1}{2} \times \operatorname{erfc} \left(\frac{\mu^2}{2\sigma_{13}^2} \right) = \frac{1}{2} \times \operatorname{erfc} \left(\frac{(E_b/2)}{N_0 + 4 \times (I_5/E_b)} \right) \quad \text{olur.} \quad (E108)$$

Denklem E108'de verilen ifade YE ÖZ-KBÇE sisteminde ikinci ölçek $w_{13}(t)$ dalgacığı içindeki herhangi bir kullanıcının bit hata olasılığı performansdır.



ÖZGEÇMİŞ

Cavit Onan, 2 Haziran 1978 tarihinde İstanbul'da doğdu. İlköğretimi Yeşilırmak İlkokulu'nda tamamladıktan sonra sırasıyla Adapazarı Atatürk Ortaokulu ve Adapazarı Ali Dilmen Lisesini bitirdi. 1996 yılında İstanbul Üniversitesi Müh. Fak. Elektronik Müh. (İng) Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. Netaş A.Ş.'de 2000 yılında ve INSA A.Ş.'de 1999'da staj yaptı. İstanbul Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde öğrenci temsilciliği yaptı ve öğrenci asistan olarak 4.sınıfta çalıştı. Bitirme tezini KBÇE (Kod Bölmeli Çoklu Erişim) konusunda hazırladı. İstanbul Üniversitesi Müh. Fak. Elektronik Müh.'den Temmuz 2001 tarihinde mezun oldu. Halen Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir.

