

SAYISAL İŞARET İŞLEYİCİLERDE OFDM TASARIMI

Ahmet EMİR

Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

ZONGULDAK

Temmuz 2014

KABUL:

Ahmet EMİR tarafından hazırlanan “SAYISAL İŞARET İŞLEYİCİLERDE OFDM TASARIMI” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 17/07/2014

Başkan: Prof. Dr. Ertan ÖZTÜRK
Bülent Ecevit Üniversitesi



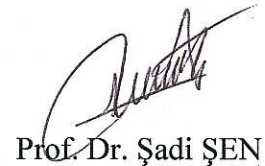
Üye : Doç. Dr. Zehra SARAÇ
Bülent Ecevit Üniversitesi



Üye : Yrd. Doç. Dr. Selman KULAÇ
Düzce Üniversitesi

ONAY:

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. .../.../2014



Prof. Dr. Şadi ŞEN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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


Ahmet EMİR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SAYISAL İŞARET İŞLEYİCİLERDE OFDM TASARIMI

Ahmet EMİR

Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ertan ÖZTÜRK

Temmuz 2014, 85 Sayfa

Bu çalışmada Dik Frekans Bölmeli Çoğullama (Orthogonal Frequency Division Multiplexing-OFDM) tasarımı TMS320C6713 Sayısal İşaret İşleyici (Digital Signal Processors-DSP) Başlangıç Kartında (DSP Starter Kit-DSK) gerçekleştirilmiştir. Alıcı, verici ve haberleşme kanalı aynı kart üzerinde tasarlanmıştır. Tasarımlar ilk olarak Matlab Simulink ortamında oluşturulup test edilmiştir, sonrasında C6713 DSK yapılandırma parametreleri oluşturularak, C6713 DSK ile ilgili simulink blokları tasarıma eklenmiştir. Tasarımın derlenmesiyle oluşan makine kodu karta yüklenmiştir.

Çalışmada öncelikle Toplanır Beyaz Gauss Gürültülü (TBGG) ve Rayleigh Sönümlenmeli kanalda Dördün Faz Kaydırmalı Anahtarlama (Quadrature Phase Shift Keying-QPSK) modülasyonlu OFDM simülasyonu yapılmıştır. Farklı İşaret Gürültü Oranı (İGO) değerlerine göre bit hata oranları (BHO) simülasyonla elde edilmiştir.

ÖZET (devam ediyor)

İkinci olarak İkili Faz Kaymalı Anahtarlama (Binary Phase Shift Keying-BPSK) modülasyonlu OFDM tasarımının performansı TBGG ve Rayleigh sönümlemeli kanalda incelenmiştir.

Farklı İGO değerlerine göre, giriş çıkış bitlerinin yıldız kümeleri gösterilmiştir. Simülasyon ortamında BHO değerleri elde edilmiştir. Daha sonra teorik ve simülasyon BHO karşılaştırılarak kanalların performans grafikleri çizdirilmiştir.

Son olarak, TBGG Kanaldaki BPSK modülasyonlu OFDM tasarımı Simulink tasarımında gerekli değişiklikler yapılarak derlenmiştir ve oluşan makine kodları C6713 DSK kartına yüklenmiştir. Gerçek zamanlı uygulamada C6713 DSK kartına ses girişi olarak her bir verisi 16 bit olan ve 128 kb/sn örnek hızında ses müziği kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: TMS320C6713 DSK, OFDM, Rayleigh Sönümleme, Matlab, Simulink

Bilim Kodu:609.02.07

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DESIGN OF OFDM ON DIGITAL SIGNAL PROCESSORS

Ahmet EMİR

Bülent Ecevit University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Engineering

Thesis Advisor: Prof. Ertan ÖZTÜRK

July 2014, 85 pages

In this work, Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) is implemented on TMS320C6713 Digital Signal Processors (DSP) Starter Kit (DSK). Transmitter, receiver and communication channel are all implemented on a same kit. Firstly the design is tested within Matlab Simulink environment, and then by configuring C6713 DSK parameters, Simulink blocks relating to C6713 DSK are added into the design. The machine codes generated by compiling the design are loaded to the DSP kit.

In this study, firstly OFDM signals with Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) modulation is simulated over Additive White Gaussian Noise (AWGN) and Rayleigh fading channel. In various Signal to Noise Ratio (SNR) values, the bit error rate (BER) values are obtained via simulation.

ABSTRACT (continued)

Secondly, OFDM signals Binary Phase Shift Keying (BPSK) modulation is simulated over AWGN and Rayleigh fading channel. In various SNR values, the signal constellations of input and output bits are presented. The BER values are also calculated via simulation. Then, the theoretical and simulation results are depicted.

Finally, the BPSK-OFDM design over AWGN channel is compiled by conducting necessary changes on the Simulink project and then the generated machine codes are loaded in to the C6713 DSK. In the real time application, voice music sampled at 128kb/s rate with 16 bit per symbol is used as an input voice signal to the C6713 DSK kit.

Keywords: TMS320C6713 DSK, OFDM, Rayleigh fading, Matlab, Simulink

Science Code: 609.02.07

TEŞEKKÜR

Tezin her aŐamasında benden desteğini ve yardımını esirgemeyen, tezle ilgili her konuda engin bilgisini aktaran, değerli danıŐman hocam Sayın Prof. Dr. Ertan ÖZTÜRK'e teşekkür ederim. Önceki yıllarda bilimsel araştırma projesinde kendisiyle çalışma imkânı bulduğum, bana akademik çalışma hayatında özgüven veren değerli hocam Sayın Doç. Dr. Zehra SARAÇ'a teşekkür ederim. Tezin alıŐma aŐamasında yardımcı olan değerli arkadaşlarım ArŐ. Gör. Hakan KAYA ve ArŐ. Gör. Ferdi KARA'ya teşekkür ederim. Daha küçük bir çocukken elimden tutan, aileme yardımcı olarak beni büyüten ve manevi desteğini hala benden esirgemeyen canım babaannem ve dedeme teşekkür ederim. Son olarak beni bugünlere getiren, maddi ve manevi desteklerini üzerimden hiç eksik etmeyen, bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan aileme teŐekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
1.1 ÇALIŞMANIN AMACI.....	1
1.2 LİTERATÜR ÖZETİ	2
1.3 TEZ PLANI.....	5
BÖLÜM 2 TMS320C6713DSK DSP KARTI.....	7
2.1 DSP TEKNOLOJİSİ	7
2.2 DSP MİMARİLERİ.....	7
2.2.1 Von Neumann Mimarisi	8
2.2.2 Harvard Mimarisi.....	8
2.3 TMS320C6713DSK GENEL ÖZELLİKLERİ	9
2.3.1 Donanım Özellikleri	9
2.3.2 İşlevsel Özellikleri	10
2.4 TMS320C6713DSK EDMA	11
2.4.1 Genel Bakış.....	11
2.4.2 Durum Servis Önceliği	12
2.4.3 Parametre RAM (PaRAM)	13
2.4.4 C6713DSK EDMA Parametreleri	13

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.4.5 EDMA Senkronizasyonu	14
2.4.6 Transfer Senkronizasyonu	15
2.4.7 Bir boyutlu transfer	16
2.4.7.1 Eleman Transferi	16
2.4.7.2 Çerçeve Transferi	16
2.4.8 İki boyutlu transfer	17
2.4.8.1 Dizi Senkronizasyonu İki Boyutlu Transfer	18
2.4.8.2 Blok Senkronizasyonu İki Boyutlu Transferi.....	19
2.4.9 Tamamlama Kodu Tabanlı EDMA Kesmesi Oluşumu	19
2.4.10 Zincir Tetiklemeli Transfer İsteği.....	20
2.5 TMS320C6713DSK McBSP	20
2.5.1 McBSP Temel İşlevleri.....	20
2.5.2 McBSP ara yüzü	21
2.5.3 McBSP Ara yüz Pinleri	22
2.5.4 McBSP Okuma ve Yazma İşlemleri.....	22
2.5.5 Alıcı Kontrol (RCR) ve Verici Kontrol Saklayıcıları (XCR)	22
2.5.6 Saat ve Çerçeve Senkronizasyonunun Giriş Çıkış Yapılandırması	23
2.5.7 Saat Çıkışı Üretimi	24
2.5.8 Çerçeve Senkronizasyonu Çıkış Üretimi	24
2.5.9 RRDY/XRDY Durum ve Kesmeleri	24
2.5.10 Diğer Alıcı ve Verici Kesme Kaynakları.....	25
2.5.11 Çok Kanallı Seçim İşlemi	26
BÖLÜM 3 DİKGEN FREKANS BÖLMELİ ÇOĞULLAMA(OFDM) TEKNOLOJİSİ	29
3.1 GİRİŞ.....	29
3.2 OFDM SİNYAL YAPISI	30
3.2.1 OFDM’de Dikgenlik ve Alt Taşıyıcıların Üretilmesi.....	30
3.2.2 Temel Bant Modülasyon Yöntemleri	32
3.2.3 OFDM Sisteminde AFD ve TAFD Özellikleri.....	34
3.3 SAK SORUNU VE DAİRESEL ÖN EK	34

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.3.1 SAK Sorunu.....	34
3.3.2 Dairesel Ön Ek.....	35
3.4 OFDM BLOK DİYAGRAMI	37
3.5 OFDM AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI	38
BÖLÜM 4 KABLOSUZ HABERLEŞME KANALI	39
4.1 TBGG KANAL	39
4.2 SÖNÜMLEMELİ KANAL	40
4.2.1 Frekans Seçici Sönümleme	41
4.2.2 Düz Sönümleme	42
4.2.3 Rayleigh Sönümleme	43
4.2.4 Kanal Denkleştirme	44
BÖLÜM 5 OFDM-QPSK SİMÜLASYONU	47
5.1 GİRİŞ.....	47
5.2 OFDM SİMULİNK BLOKLARI	47
5.2.1 Rasgele Bit Üretici	47
5.2.2 QPSK Modülasyonu ve Seri/Paralel Dönüşüm	49
5.2.3 CP Fonksiyonu.....	50
5.2.4 Rayleigh Kanal İle Konvolüsyon Bloğu	50
5.2.5 Kanalda Yayılan Veriye Beyaz Gauss Gürültüsünün Eklenmesi.....	50
5.2.6 CP Kaldırılması	50
5.2.7 Kanal Denkleştirici Fonksiyonu	51
5.2.8 Paralel /Seri Dönüşüm ve QPSK Demodülasyonu	51
5.2.9 BHO Grafiğinin Çizdirilmesi ve OFDM Simulink Modeli	51
5.2.9.1 BHO Grafiğinin Çizdirilmesi	51
5.2.9.2 OFDM Simulink Modeli	53

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 6 BPSK MODÜLASYONLU SES GİRİŞLİ OFDM UYGULAMALARI	55
6.1 GİRİŞ	55
6.2 SES GİRİŞLİ OFDM BPSK SİMÜLASYONU	55
6.2.1 Örnek Ses İşareti.....	55
6.2.2. Tamsayıdan Bite Dönüştürücü Bloğu.....	56
6.2.3 BPSK Temel Bant Modülatör Bloğu.....	56
6.2.4 BSPK Modülatör ve Demodülatör arası yapılan işlemler	57
6.2.5 BPSK Temel Bant Demülatör Bloğu.....	57
6.2.6 Bitten Tamsayıya Dönüştürücü Bloğu.....	57
6.2.7. OFDM BPSK Simulink Şeması.....	58
6.3 TBGG KANALDA OFDM BPSK SİMÜLASYONU	59
6.3.1 TBGG Simulink Bloğu	59
6.3.2 TBGG Kanalda OFDM-BPSK Simulink Projesinin Oluşturulması.....	59
6.3.3 Deneysel Sonuçlar	61
6.3.3.1 Sanal Osiloskop Sonuçları.....	61
6.3.3.2 TBGG Kanaldaki Simülasyon ve Teorik BHO'ları.....	61
6.4 RAYLEIGH SÖNÜMLÜ KANALDA OFDM BPSK SİMÜLASYONU.....	61
6.4.1 Rayleigh Sönümlenmeli Kanalda OFDM-BPSK Simulink Projesinin Oluşturulması..	61
6.4.2 Simülasyon Sonuçlar	63
6.4.2.1 Rayleigh Sönümlü Kanal Denkleştirme Yapılmadığında Bulunan Sonuçlar	64
6.4.2.2 TBGG Eklenmediğinde Denkleştirilmiş Rayleigh Sönümlenmeli Kanal Sonuçları	66
6.4.2.3 CP Kullanılmadığında Denkleştirilmiş Rayleigh Sönümlenmeli Kanal Sonuçları .	68
6.4.2.4 İdeal Bloklar ile Denkleştirilmiş Rayleigh Sönümlenmeli Kanal Sonuçları.....	68
6.5 OFDM BPSK UYGULAMALARININ C6713DSK' DA GERÇEKLEŞTİRİLMESİ	72
6.5.1 Simulink Yapılandırma Parametreleri.....	73
6.5.2 C6713 ADC ve DAC Blokları.....	75
6.5.3 Simulink Model Tasarımlarının Derlenmesi ve C6713DSK' da Çalıştırılması	76
6.5.4 Matlab Simulinkde Gerçek Zamanlı OFDM BPSK Uygulamaları.....	78

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 7 SONUÇLAR.....	79
KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ	85

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Von Neumann mimari bloğu.	8
2.2 Harvard mimari bloğu.	9
2.3 C6713 DSK blok diyagramı	10
2.4 C6000 EDMA blok diyagramı.	12
2.5 EDMA parametre tablosu	13
2.6 Eleman senkronizasyonu transferi	16
2.7 Çerçeve senkronizasyonu transferi	17
2.8 İki boyutlu transfer veri bloğu	18
2.9 Dizi senkronizasyonu transferi	19
2.10 Blok transferi	19
2.11 McBSP blok diyagramı.	21
2.12 XCR ve RCR çerçeve kontrolü.	23
2.13 RRDY/XRDY durumları ve kesmeleri.	25
2.14 Diğer alıcı ve verici kesme kaynakları.	26
2.15 McBSP çoklu kanal yetkilendirmesi.	27
2.16 128 Kanal için RCER/XCER yetkilendirmesi.	27
2.17 EDMA kanal sınıflandırması.	28
3.1 FDM sinyal yapısı.	31
3.2 OFDM sinyal yapısı.	31
3.3 BPSK yıldız kümesi gösterimi.	33
3.4 QPSK yıldız kümesi gösterimi.	33
3.5 OFDM sembollerine koruma bandı eklenmesi.	35
3.6 OFDM bloğuna CP yerleştirilmesi.	36
3.7 OFDM sistemi blok diyagramı.	37
4.1 Sıfıra zorlayan denkleştirme blok diyagramı.	46
5.1 Rasgele tamsayı üretici ve simulink parametreleri.	48
5.2 Tamsayıdan bit dönüştürücü ve parametreleri.	49
5.3 Simulink QPSK bloğunda yıldız kümesi gösterimi.	49

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
5.4 QPSK demodülasyon ana parametreleri.	51
5.5 BHO hesaplama bloğu ve ilgili parametreleri.	52
5.6 OFDM TBGG ve rayleigh kanal performansı.	53
5.7 OFDM QPSK simulink modeli.	54
6.1 Ses sinyali bloğu ve ilgili parametreleri.	56
6.2 Simulink BPSK bloğunda yıldız kümesi gösterimi.	57
6.3 Ses girişli OFDM BPSK simulink projesi.	58
6.4 TBGG kanal bloğu ve ilgili parametreleri.	59
6.5 Ses girişli TBGG kanalda OFDM BPSK simulink projesi.	60
6.6 Farklı İGO değerlerine sahip TBGG kanallarda sanal osiloskop sonuçları.	62
6.7 TBGG kanalda OFDM-BPSK için simülasyon ve teorik BHO karşılaştırılması.....	63
6.8 Teorik olarak rayleigh sönümlü ve TBGG kanalları performans karşılaştırması.	64
6.9 Rayleigh sönümlemeli kanalda OFDM-BPSK simulink modeli.	65
6.10 Denkleştirilmemiş rayleigh sönümlemeli kanalda OFDM-BPSK BHO'ları.	66
6.11 Denkleştirilmemiş kanalda sanal osiloskop sonuçları.	67
6.12 TBGG eklenmediğinde denkleştirilmiş kanalda sanal osiloskop sonuçları.	68
6.13 CP kullanılmadığında rayleigh sönümlemeli kanalda OFDM-BPSK BHO'ları.	69
6.14 CP kullanılmadığında sanal osiloskop sonuçları.	70
6.15 İdeal bloklarla rayleigh sönümlemeli kanalda sanal osiloskop sonuçları.	71
6.16 İdeal bloklarla teorik ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırmalı grafiği.	72
6.17 Uygulamalarda kullanılan C6713 DSK ekran görüntüsü.	73
6.18 Simulink yapılandırma parametreleri sekmesi.	73
6.19 Simulink çözücü yapılandırması.	74
6.20 Simulinkde CCS bağlantı yapılandırması.	75
6.21 C6713 ADC bloğu ve ilgili parametreleri.	75
6.22 C6713 DAC bloğu ve ilgili parametreleri.	76
6.23 Uygulama derlendiği sırada matlab komut penceresi.	77
6.24 Uygulama derlendiği sırada CCS 3.1 ekran görüntüsü.	77
6.25 TBGG kanalda C6713DSK vasıtasıyla OFDM-BPSK uygulaması.	78

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

B_c	: Kanalın Evre Uyumlu Bant Genişliği
c	: Doğrusal Denkleştiricinin Katsayı Adım Vektörü
d	: İletimdeki Gecikme
$C(z)$: Kanal Denkleştiricinin Z Dönüşümü Yanıtı
D_p	: Denleştirilmiş Kanalın Tepe Bozunumu
e_d	: Mükemmel Denleştirme
f_i	: Alt Taşıyıcı Frekansı
f_c	: Taşıyıcı Frekansı
$g(n)$: Haberleşme Kanalını Belirten Vektör
$g(t)$: Temel Bant Dalga Formu
$G(z)$: Haberleşme Kanalının Z dönüşümü Yanıtı
$h[n]$: Doğrusal Zamanla Değişmez Ayrık Zamanlı Haberleşme Kanalı
$h(t)$: Haberleşme Kanalının Karmaşık Sönümlenme Katsayısı
$H[i]$: Ayrık Zamanlı Haberleşme Kanalının Frekans Yanıtı
k	: Bit Sayısı
L	: Kanal Uzunluğu
M	: Modülasyon Seviyesi
$n(t)$: TBGG'nin Örnek Bir Fonksiyonu
N	: Alt Taşıyıcı Sayısı
N_0	: TBGG'nin Gücü
$p(n)$: TBGG'nin Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu
$p(\alpha)$: Rayleigh Dağılımının Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu
P_b	: Bit Hata Oranı
q	: Denleştirilmiş Kanal Vektörü
\hat{q}	: İstenen Denleştirilmiş Kanal Vektörü
q_d	: Denleştirilmiş Kanal Vektörünün Gecikme Bileşeni
q_n	: Denleştirilmiş Kanal Vektörünün Bileşenleri
$Q(z)$: İstenen Denleştirilmiş Kanalın Z Dönüşümü Cevabı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

$r(t)$: Alınan Sürekli Zaman Bilgi İşareti
$R(t)$: Temel Bant Dalga Formunun Zarf Genliği
$s[n]$: Ayrık Zamanlı OFDM Sembolü
$s(t)$: İletilen Sürekli Zaman Bilgi İşareti
$\tilde{s}[n]$: Çevrimsel Ön Ek Eklenmiş Ayrık Zamanlı OFDM Sembolü
$S[i]$: Temel Bant Modülasyon Sonucu Elde Edilen Karmaşık OFDM Sembolü
t	: Zaman
T	: Periyot
T_g	: Koruma Aralığı Süresi
T_M	: Çoklu Yol Yayılım Gecikme Süresi
T_S	: İletilen İşaretin Sembol Süresi
$x[n]$: Haberleşme Sistemine Giriş Vektörü
\tilde{x}_n	: Doğrusal Denkleştirci Çıkışı
\hat{x}_n	: Doğrusal Denkleştirme Çıkışının Kestirimi
$y[n]$: Kanaldan Alınan Sayısal İşaret
y_n	: Uyumlu filtrenin çıkışındaki örneklenmiş işaret dizisi
$Y[i]$: Kanaldan Alınan Sayısal İşaretin Frekans Yanıtı
$\alpha(t)$: Haberleşme Kanalının Karmaşık Sönümlenme Katsayısının Zarfi
Δf	: İki Tane Komşu Alt Taşıyıcı Arasındaki Frekans Mesafesi
η	: Çevrimsel Ön Ekli İşaretin İletim Hızı Verimi
$\theta(t)$: Haberleşme Kanalının Karmaşık Sönümlenme Katsayısının Fazı
ρ_b	: Bit Başına İşaret Gürültü Oranı
σ^2	: TBGG' nin Değişintisi
σ_a^2	: Rayleigh Dağılımının Değişintisi
φ_k	: Bitişik Alt Taşıyıcılar
$\phi(t)$: Temel Bant Dalga Formunun Fazı

KISALTMALAR

ADC	: Analog to Digital Converter (Analogdan Sayısala Dönüştürücü)
AFD	: Ayrık Fourier Dönüşümü
BHO	: Bit Hata Oranı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

BPSK	: Binary Phase Shift Keying (İkili Faz Kaymalı Anahtarlama)
CCS	: Code Composer Studio (Kod Yazıcı Stüdyo)
CP	: Cyclic Prefix (Çevrimsel Ön-ek)
CPLD	: Complex Programmable Logic Device
CPU	: Central Processing Unit (Merkezi İşlem Birimi)
DAB	: Digital Audio Broadcasting (Sayısal Ses Yayıncılığı)
DAC	: Digital to Analog Converter (Sayısalda Analoga Dönüştürücü)
DVB	: Digital Video Broadcasting (Sayısal Video Yayıncılığı)
DIP	: Dual In Line Package (Çift Giriş Hat Paketi)
DMA	: Direct Memory Access (Doğrudan Hafıza Erişimi)
DRAM	: Dynamic Random Access Memory (Dinamik Rasgele Okunabilir Bellek)
DSL	: Digital Subscriber Line (Sayısal Abone Hattı)
DSK	: DSP Starter Kit (DSP Başlangıç Kiti)
DSP	: Digital Signal Processors (Sayısal İşaret İşleyiciler)
EDMA	: Enhanced Direct Memory Access (Genişletilmiş Doğrudan Bellek Erişimi)
EMIF	: External Memory Interface (Harici Bellek Ara yüzü)
FDM	: Frequency Division Multiplexing (Frekans Bölmeli Çoğullama)
FIR	: Finite Impulse Response (Sınırlı Dürtü Cevabı)
FPGA	: Field Programmable Gate Array (Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri)
HDTV	: High Definition Television (Yüksek Çözünürlüklü Televizyon)
IEEE	: The Institute of Electrical and Electronic Engineers
İGO	: İşaret Gürültü Oranı
ISR	: Interrupt Service Routine (Kesme Servis Programı)
JTAG	: Joint Test Action Group
LAN	: Local Area Network (Yerel Alan Ağı)
LED	: Light Emitting Diode (Işık Yayan Diyot)
LTE	: Long Term Evolution (Uzun Dönem Evrim)
KB	: Koruma Bandı
McBSP	: Multi Channel Buffered Serial Port (Çok kanallı Tamponlanmış Seri Port)
MIMO	: Multi Input Multi Output (Çok giriş çok çıkış)
MQAM	: M'li Dördün Genlik Modülasyonu
MPSK	: M'li Faz Kaydırmalı Anahtarlama

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

- OFDM : Dik Frekans Bölmeli Çoğullama
- PaRAM : Parameter Random Access Memory (Parametre Rasgele Okunur Bellek)
- QAM : Quadrature Amplitude Modulation (Dördün Genlik Modülasyonu)
- RAM : Random Access Memory (Rasgele Okunur Bellek)
- QPSK : Quadrature Phase Shift Keying (Dördün Faz Kaymalı Anahtarlama)
- SAK : Semboller Arası Karışım
- SDRAM : Synchronous Dynamic Random Access Memory (Senkronize DRAM)
- SRAM : Static Random Access Memory (Statik Rasgele Okunur Bellek)
- TAFD : Ters Ayrık Fourier Dönüşümü
- TBGG : Toplanır Beyaz Gauss Gürültülü Kanal
- USB : Universal Serial Bus (Evrensel Seri Veri Hattı)
- WIMAX : Worldwide Interoperability for Microwave Access

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 ÇALIŞMANIN AMACI

Dik Frekans Bölmeli Çoğullama (Orthogonal Frequency Division Multiplexing-OFDM) tekniği frekans spektrumunu etkin kullanmak ve frekans seçici sönmleme etkisi gösteren geniş bant kablosuz radyo kanallarında yüksek veri hızlarında iletim yapmak için kullanılmaktadır. OFDM ile yüksek veri hızlarındaki bit dizileri paralel hatlara bölünerek iletilir. Bu işlem Semboller Arası Karışım (SAK) etkisini giderir ve alıcı karmaşıklığını azaltır. OFDM tekniği özellikle son yıllarda karasal yayıncılık, kablosuz yerel alan ağları (local area network-LAN), kablosuz geniş alan ağları ve yeni nesil hücresele ağları gibi sayısal haberleşme sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Genellikle OFDM konusunda yapılan bilimsel çalışmalar teorik hesaplamalara ve bilgisayar benzetimlerine dayanmaktadır. OFDM sistemlerin sönmlemeli kanallarda Bit Hata Oranı (BHO) performansları birçok çalışmaya konu olmuştur (Tunçkaya 2009). Genelde sayısal modülasyon ve kodlama tekniklerinin özelde OFDM'in donanım üzerinde gerçekleşmesi endüstrinin konusu olmasına rağmen bu konuda üniversitelerde de yapılan çalışmalar vardır. OFDM'in üzerinde gerçekleştirildiği donanımlar Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri (Field Programmable Gate Array- FPGA) ve Sayısal İşaret İşleyiciler (Digital Signal Processors-DSP) lerdir. Temel bantta işlem yapan DSP ve FPGA ile temel bant modülasyon ve temel bant OFDM gerçekleştirilmesi mümkündür. Günümüzde mevcut DSP aileleri; Texas Instruments C6000 ailesi, çok çekirdekli Freescale ailesi, çok çekirdekli XMOS ailesi, CEVA-TeakLite, CEVA-X, CEVA-XC DSP aileleri, NXP Semiconductors DSP'leri, Analog Device firmasının ADSP-21xx, Blackfin, Sharc, SigmaDSP, TigerSHARC serisi DSP aileleri ve üzerinde DSP bulunan FPGA kartlarıdır. Bunlar arasında haberleşme (modülasyon, kodlama vb.) için Texas Instruments C6000 DSP ailesi genellikle kullanılmaktadır. Bu çalışmada Texas Instruments firmasının TMS320C6713 DSP Başlangıç Kartı (DSP Starter Kit-DSK) tercih edilmiştir. Bu

tercihin sebebi kolay temini ve ekonomikliği gibi avantajlarının yanı sıra sayısal haberleşme tekniklerini gerçekleştirmeye uygun olması, kayan noktalı işlem yapabilen C6000 yüksek seviyeli DSP ailesine mensup olması, üzerinde karmaşık algoritmaları yerine getirebilen C6713 işlemcisi ve diğer çevre arabirimlerin, saklayıcılarının mevcut olmasıdır. Ayrıca kart; iki tane Analogdan Sayısala Dönüştürücüsü (Analog to Digital Converter-ADC) ve Sayısalan Analoga Dönüştürücüsü (Digital to Analog Converter-DAC) bulunan AIC23 ses kod çözücüsüne sahiptir ve temel bant işaretleri işleyebilmektedir.

Bu çalışmada MATLAB simulink ortamında tasarlanan OFDM işaretlerini C6713 DSK'da gerçekleştirmek, giriş ve çıkış bitleri arasında performans analizi yapabilmek hedeflenmiştir. Bu amaçla ilk olarak OFDM Dördün Faz Kaymalı Anahtarlama (Quadrature Phase Shift Keying-QPSK) modülasyonu ile Matlab simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. Rayleigh Sönümlemeli kanalda 0 ile 35 dB arasındaki İşaret Gürültü Oranı (İGO) değerlerine göre BHO sonuçları elde edilmiştir ve teorik BHO sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. C6713 DSK'ya yüklenmesi gereken uygulamalarda OFDM tekniğinde QPSK yerine İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama (Binary Phase Shift Keying-BPSK) modülasyonu tercih edilmiştir. Karta göndermeden önce hem Toplanır Beyaz Gauss Gürültülü (TBGG) kanalda hem de Rayleigh sönümlemeli kanalda Matlab simulink model dosyasında simülasyon yapılmıştır. Kart ses işleyeceği için sistemlerin girişine bilgisayardan ses girişi eklenerek simülasyon yapılmıştır. TBGG Kanalda ve Rayleigh sönümlemeli kanalda ses girişi olarak 8kHz frekansında her bir örnek veri 16 bit uzunluğunda olan ve 128 kb/sn örnekleme hızında olan "HISTORIA_DE_UN_AMOR.wav" ses müziği kullanılmıştır. Teorik sonuçlar ve simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmada son olarak TBGG kanaldaki OFDM-BPSK tasarımını C6713 DSK'da gerçekleştirmek hedeflenmiştir. C6713 DSK ile ilgili bloklar ve yapılandırma parametreleri simulink model dosyasına eklenerek derlenmiştir. TBGG kanalda bilgisayardan ses kablosuyla "HISTORIA_DE_UN_AMOR.wav" ses müziği C6713 DSK'ya yüklenmiştir. C6713 DSK kartı çıkışına ise hoparlör bağlanmıştır. Karta yüklenen programlar çalıştırılarak farklı İGO değerleri için hoparlör çıkışındaki seste olan bozulmalar izlenmiştir.

1.2 LİTERATÜR ÖZETİ

OFDM sistemlerinin DSK ve içerisinde DSP bulunan elektronik kartlarda tasarımıyla ilgili literatürde pek çok çalışma yapılmıştır.

(Tariq et al. 2002)'de TMS320C6201 DSP kullanarak OFDM temelli yüksek hızlı LAN tasarlanmıştır. Kullanılan C6201 sabit noktalıdır. Çalışmada gerçek zamanlı DSP sonuçlarıyla C++ dilinde yazılan kayan noktalı simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Tasarlanan haberleşme sistemlerinde sıkıştırılmamış video çerçeveleri kullanılmıştır. TBGG kanalda, simülasyonla elde edilenle DSP ile elde edilen BHO grafikleri arasında 0.5dB fark olduğu görülürken, Rayleigh sönümlenmeli kanalda BHO grafikleri arasında 2.5 dB'lik fark olduğu görülmüştür.

Gerçek zamanlı OFDM, DSP uygulamalarında osiloskop gibi laboratuvar ekipmanları sinyal analizi ve kanal etkilerini gözlemleyebilmek için kullanılabilir (Karabetsos et al. 2005). Bu çalışmada verici ile alıcı sistemleri iki ayrı C6713 DSK'da uygulanmıştır. Bu iki kart kablo ile birbirlerine bağlanmıştır. Verici kartın ve alıcı kartın çıkışları osiloskoba bağlanarak yapılan analizlerde kanal koruma bandı (KB) süresinin uzunluğuna dolayısıyla OFDM sembol süresine pratik olarak karar verilmiştir. Bu çalışmada 128 alt taşıyıcı kullanılarak QPSK modülasyonundan yararlanılmıştır.

IEEE 802.11a kablosuz haberleşme standardında OFDM tekniği kullanılmaktadır. Bu durumun örnek bir uygulaması olarak 2005 yılında IEEE 802.11a standardı temelli OFDM fiziksel katman tasarımı yapılmıştır (Fuentes 2005). 64 Modülasyon Seviyeli Dördün Genlik Modülasyonlu (Quadrature Amplitude Modulation-QAM) OFDM tasarımı simulink ortamında yapılmıştır. Simulink model dosyası referans alınarak Kod Yazıcı Stüdyo (Code Composer Studio-CCS) DSK programlama editöründe proje dosyası oluşturulmuştur. Benzer bir çalışma 2006 yılında OFDM sisteminin kullanıldığı kablosuz geniş alan ağ sistemleri için de yapılmıştır (Maham and Hemmati 2006). Çalışmada CCS programında C kodu yazılarak OFDM simülasyonu yapılmıştır.

OFDM Tekniği kullanılarak yürütülen DSP projelerinde, verici ile alıcı sistemleri arasında işaret optik olarak iletilebilir. Bu durumda verici sistemi çıkışına optik iletim devresi tasarlanır. Alıcı sistemin girişinde ise optik alıcı devresi tasarlanır. Optik iletim devresinin ana elemanı beyaz Işık Yayan Diyot (Light Emitting Diode-LED) iken; optik alıcı devresinin ana elemanı bir foto diyottur. (Elgala et al. de 2007)'de optik iletim kanalının var olduğu, Matlab simulink kullanılarak tasarlanan C6713 DSK alıcı ve verici kartlarında yürütülen bir çalışma yapılmıştır. İleri hata düzeltimi kullanılarak farklı modülasyonlara göre BHO analizleri

yapılmıştır. Örneğin QPSK modülasyonuna göre alıcı ile verici arasında 90 cm bulunuyorsa BHO 2×10^{-5} olarak bulunmuştur.

(Ting et al.de 2007)'de Çok Giriş Çok Çıkışlı (Multiple Input Multiple Output-MIMO) OFDM tasarımında kanal kestirimi yapılmıştır. Kanal kestirim algoritması 4 verici anten ve 8 alıcı antene uyumlu olarak TMS320C6416 DSP de yapılmıştır. Algoritmalar CCS' de yazılmış. Daha sonra simüle edilmiştir. Kaynak kodlar C6416 DSK'ya yüklenmiştir. Çalışmayı gözlemleyebilmek için MATLAB ile CCS arasında bağlantı kurulmuş. DSP saklayıcılarından bilgiler çekilmiş ve MATLAB'a aktarılmıştır. Çalışmayı yapanlar MATLAB CCS bağlantısıyla sistemden alınan gerçek zamanlı sonuçları MATLAB Şekil penceresinde çizdirerek karşılaştırma yapmışlardır.

DSP Kartlarını doğrudan kullanmadan CCS programında DSP yazılım tabanlı sistemler de geliştirilebilir. Matlab simülasyonunda gerçekleştirilen OFDM sistemlerinin, CCS programında assembly kodu yazılarak gerçekleştirilmiştir (Yeh and Ramirez 2007). Farklı modülasyon tekniklerinde İGO değerlerine göre BHO çizdirilmiştir.

İki DSP kartının kullanıldığı uygulamalarda alıcı kısımda OFDM çerçevelerinin başlangıç adresini saptayabilmek, senkronizasyon açısından önemlidir. OFDM çerçevelerinin başlangıç adreslerini saptayan bir çalışma mevcuttur (Nguyen et al.2009). Çevrimsel ön eklerin öz ilinti vektörü alıcı tarafta hesaplanmıştır. Öz ilinti vektörünün maksimum olduğu yer alınan tamponda OFDM çerçevesinin başlangıç noktasını vermektedir. Başlangıç noktası tespit edildikten sonra alınan tamponda bulunan OFDM çerçevesinin ilk kısmı, bir sonra alınan tamponda bulunan OFDM çerçevesinin ikinci kısmına eklenerek geri çatılan OFDM çerçevesi geçici tamponda depolanmaktadır. Geçici tampondaki OFDM işareti yıldız gösterimi araştırmacıların yazdığı grafiksel kullanıcı ara yüzünde çizdirilmiştir.

İki DSP kartının bulunduğu OFDM sistemleri su altı akustik haberleşmesinde de test edilebilmektedir. Örneğin (Yan et al. 2010)'de C6713 DSK kartlarına bağlı durumda bulunan haberleşmeyi sağlayacak akustik iki alıcı ve verici su tankına konulmuştur. Su altı haberleşme sistemlerinde OFDM tasarımlarının performans analizi yapılmıştır.

İki kartın kullanıldığı OFDM tasarımlarında Matlab kullanımının araştırmacılara sağladığı yararlar literatürde belirtilmiştir. Matlabda üretilen iletim dizisi gönderici karta yüklenir. Alıcıya ulaşan veri tekrar Matlab'a aktırılabilir. OFDM giriş ve çıkış işaretleri Matlab çizimlerinde karşılaştırılabilir (Manzoor et al. 2012).

OFDM Sistemlerinin genel olarak tek DSP kartı üzerinde gerçekleştirildiği çalışmalar da literatürde mevcuttur. (Pikasis et.al. 2012)'de alıcı verici blok aynı kartın üzerindedir. Simulink kullanılarak OFDM vericisi tasarlanmıştır. Bit dizisi üretilmiş QAM modülasyonuna uğrayan veri C6713 DSK kitinin DAC çıkışına yollanmış. DAC çıkışında bulunan anten ile haberleşme kanalına yollanmıştır. Aynı kartın ADC girişine alıcı anten bağlanmış. Antenden alınan veri ADC girişinde sayısal çevrilmiş ve QAM demodülasyonuna uğramış ve BHO sayım bloğuna yollanmıştır. BHO tespiti için C6713 DSK'da yapılacak işlemler için simulinkdeki hafıza bölüşüm bloğundan yararlanılmıştır.

2013 yılında yapılan bir çalışmada (Verma and Sharma 2013). OFDM alıcı verici sistemi C6713 DSK kartı vasıtasıyla simulinkde TBGG kanalın var olduğu durumda tasarlanmıştır. Derlenen tasarımın makine kodları karta yüklenmiştir. Kart üzerinde bulunan Çift Giriş Hat Paketi (Dual In Line Package-DIP) anahtarları ve LED'ler kullanılarak OFDM sisteminin geçerliliği, farklı İGO değerlerine göre tasdik edilmiştir. Aynı kişiler tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise yine OFDM alıcı verici sistemi Simulink ortamında C6713 DSK kartı vasıtasıyla tasarlanmıştır (Verma and Sharma 2013). Sırasıyla TBGG Kanalda İGO değerleri 10dB, 20 dB ve 50dB iken giriş-çıkış sinyalleri ve bu sinyallerin yıldız kümesi diyagramları simulink ortamında sanal osiloskoplara gönderilerek analiz edilmiştir.

1.3 TEZ PLANI

Tezin birinci bölümünde çalışmanın amacı, literatür özeti ve tez planından bahsedilmiştir. İkinci bölümde gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılan TMS320C6713 DSK kartı tanıtılmış ve kullanılan kartın donanımsal özelliklerine ayrıntılı şekilde değinilmiştir. Üçüncü bölümde OFDM teknolojisinin gelişim süreci ve teorik bilgileri anlatılmaktadır. Dördüncü bölümde kablosuz haberleşme kanalları anlatılmaktadır. TBGG kanal ve Sönümlenmeli Kanal hakkında teorik bilgiler verilmektedir. Beşinci bölümde Matlab simulink' de gerçekleştirilen OFDM-QPSK simülasyonuna değinilmiştir. Altıncı bölümde ses girişli BPSK Modülasyonlu OFDM uygulamalarına değinilmektedir. Bu bölümde TBGG ve Rayleigh Sönümlenmeli kanallarda

çalışmalarda gerçekleştirilen hem simülasyon uygulamaları hem de gerçek zamanlı uygulamalar anlatılmıştır. En son bölümde ise bulunan sonuçlar değerlendirilmiş ve yorumlar yapılmıştır.

BÖLÜM 2

TMS320C6713DSK DSP KARTI

2.1 DSP TEKNOLOJİSİ

Bazı genel amaçlı işlemciler ve işletim sistemleri işaret işleme algoritmalarını yerine getirebilir fakat büyük güç kaynağı ihtiyacı ve çip üzerindeki yer problemleri yüzünden cep telefonu gibi taşınabilir aygıtlarda uygun olmadığından, bu teknolojilerde DSP kullanılması gerekmektedir. DSP'ler çok yüksek hesap yükü gerektiren algoritmaları hızlı şekilde yerine getirdikleri için tercih edilmektedirler. Ayrıca DSP ile tasarım yapmanın mikroişlemcilerle göre yüksek hızlı işaret işleme, güvenilirlik, yüksek performans, ucuz sistem maliyeti gibi avantajları mevcuttur. Bu gibi sebeplerden ötürü 1980'li yıllardan itibaren özel sayısal işaret işleme işlemlerini yerine getirecek DSP'ler Analog Device, Motorola, Texas Instruments gibi büyük firmalar tarafından geliştirilmektedir.

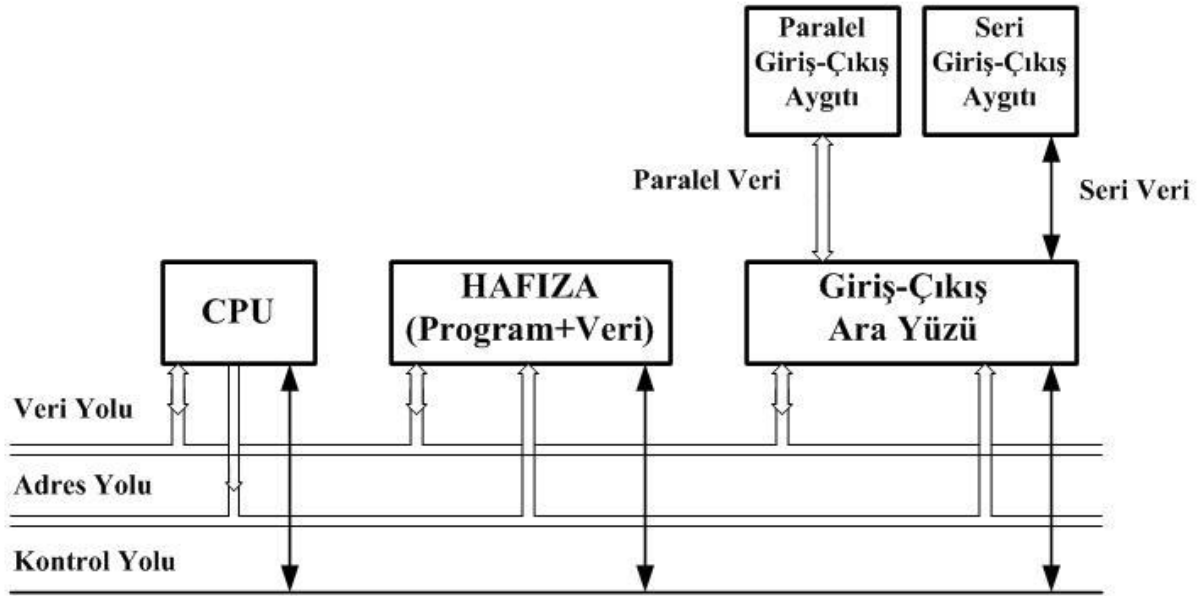
Bu çalışmada kullanılan TMS320C6713 DSK kartında, mikrofondan gelen ses analogdan sayısala dönüştürülüp sayısal işaret işleyiciler tarafından belirli bir algoritmaya göre işlendikten sonra bilgi DAC'a gönderilip tekrardan analog ses işaretine çevrilip bilgi hoparlöre veya dış dünyaya gönderilmektedir.

2.2 DSP MİMARİLERİ

DSP'ler kendine özgü kodlarla programlanmaktadır. Program yüklü işaret işleyicilerde her saat çevriminde hangi matematiksel işlemi yerine getireceği tanımlanmıştır. DSP bellekten gelen verileri ve komutları alır, bu verileri ilgili komutlara göre işler ve tekrardan belleğe geri gönderir. Bu işlemler için iki farklı donanım mimarisi oluşturulmuştur; bunlar Von Neumann ve Harvard mimarileridir.

2.2.1 Von Neumann Mimarisi

Von Neumann Mimarisi günümüzde birçok mikroişlemci sisteminde kullanılmaktadır. Veri yolu işlemci ve çevre birimleri arasında bilgi taşımakta olup çift yönlüdür. İşlemci çevre birimlerden veri okuyabilir ya da diğer çevre birimlere veri yazabilir. Adres yolu ise işlemci tarafından hangi çevre birime erişileceğini göstermektedir. Adres yolunda işlemci çevre birimlere adres bilgisi yazmaktadır. Kontrol yolunda ise işlemci ve çevre birimleri arasındaki veri ve adres akışını yönetmek ve eş zamanlandırmak için kontrol sinyalleri taşımaktadır. Von Neumann Mimarisinde tek bir hafızada program ve veri saklanabilir. Şekil 2.1’de mimari gösterilmiştir. Merkezi İşlem Birimi (Central Processing Unit-CPU), hafıza, paralel ve seri aygıtlarla giriş çıkışı sağlayan ara yüzün kontrol, adres ve veri yolları aynıdır.



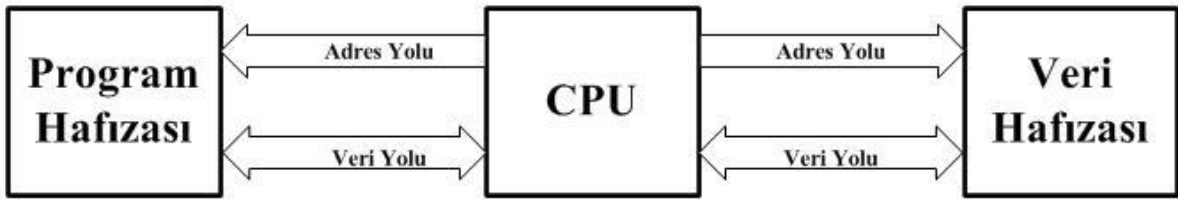
Şekil 2.1 Von Neumann mimari bloğu.

2.2.2 Harvard Mimarisi

Bu çalışmada kullanılan C6713DSK Kartı Harvard Mimarisi prensibine göre Texas Instruments firması tarafından tasarlanmıştır. Harvard Mimarisi Von Neuman Mimarisinin aksine iki türlü yol sistemi kullanılmaktadır.

- **Program Yolu:** Program komutlarını program hafızasından işlemciye taşımak için kullanılır.
- **Veri Yolu:** Veriyi işlemciden hafızaya veya çevre birimlere taşımak ve hafızadan, diğer çevre birimlerden işlemciye veri iletmek için kullanılmaktadır.

Örnek Harvard Mimarisi Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Şekil 2.2’den görüleceği üzere Harvard Mimarisinde program ve veri hafızası ayrıdır. CPU ile hafızalar farklı adres ve veri yolları üzerinden haberleşmektedirler.



Şekil 2.2 Harvard mimari bloğu.

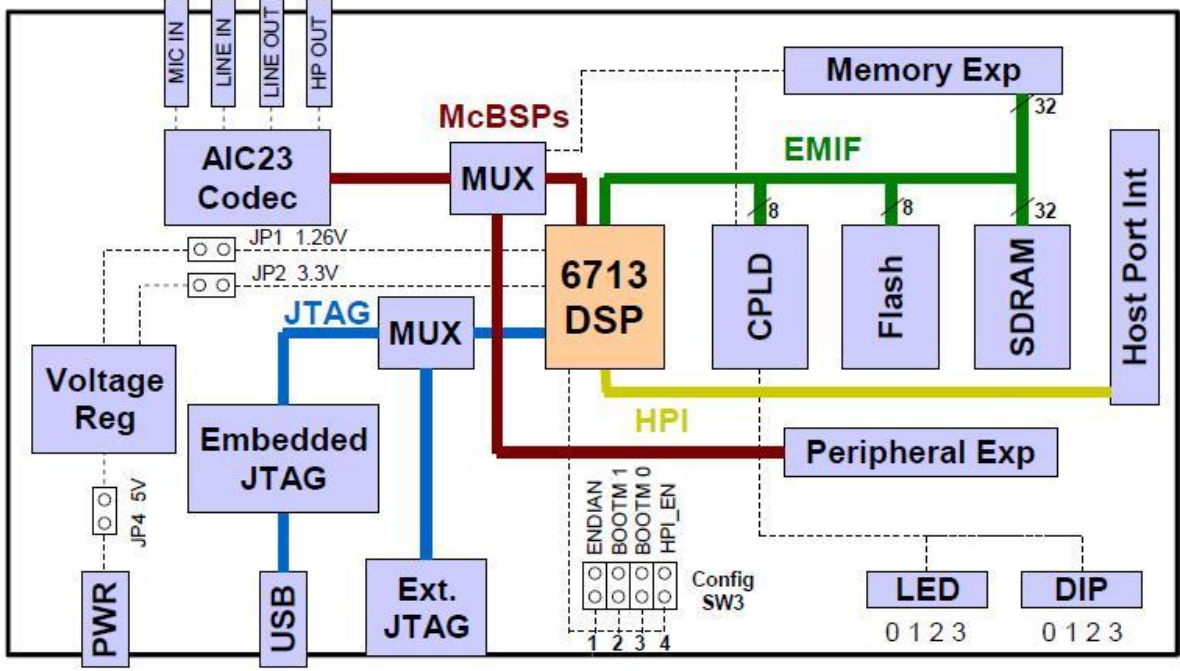
2.3 TMS320C6713DSK GENEL ÖZELLİKLERİ

TMS320C6713 DSK kartı C67xx sayısal işaret işleyiciler ailesi için uygulama geliştirmek ve yürütebilmek için kullanıcılara destek sağlayan, düşük maliyetli tek başına çalışan uygulama platformudur. C6713 DSK, TMS320C6713 DSP işleyicisi, çevre arabirim, giriş-çıkış portları ve saklayıcılarıyla programlanabilen donanım ürünüdür. Uygulama geliştirmesini kolaylaştırmak ve geliştirme zamanını azaltmak için çok miktarda şema, mantıksal denklemler ve uygulama notları C6713 kiti için mevcuttur. Şekil 2.3’te C6713 DSK için genel donanım şeması gösterilmiştir.

2.3.1 Donanım Özellikleri

C6713 DSK kartı çeşitli donanımsal özelliklere sahiptir:

- C6713 DSP 225 MHz frekansında çalışır.
- Kart AIC23 stereo ses kodeğine sahiptir.
- 16 MB eşzamanlı Dinamik Rasgele Okunur Bellek (Dynamic Random Access Memory- DRAM) mevcuttur.



Şekil 2.3 C6713 DSP blok diyagramı (URL-5 2003).

- 512 KB Flaş Hafızası vardır. Fakat başlangıç konfigürasyonunda 256 KB kullanılabilen ayarlıdır.
- 4 kullanıcı erişimli LED ve DIP anahtar kontrol amaçlı görev yapmaktadır.
- Saklayıcılar aracılığıyla yazılımla kart konfigürasyonu yapılabilmektedir.
- Yapılandırılabilir ön yükleme seçeneklerine sahiptir.
- Ek kart kullanımı için standart genişleme konnektörlerine sahiptir.
- Evrensel Seri Veri Hattı (Universal Serial Bus-USB) ara yüzüyle veya harici emulasyonlarla iletişim kuran JTAG(Joint Test Action Group) emülasyonuna sahiptir.
- +5V güç desteğiyle çalışmaktadır.

2.3.2 İşlevsel Özellikleri

- Sayısal İşaret İşleyici kart üstündeki çevre arabirimlere Harici Hafıza Ara Yüzü (External Memory Interface-EMIF) ile bağlıdır. Senkronize Dinamik Rasgele Okunabilir Bellek (Synchronous Dynamic Random Access Memory-SDRAM), Karmaşık Programlanabilir Mantıksal Aygıt (Complex Programmable Logic Device-CPLD) ve Flaş saklayıcıları bu yolla bağlıdır. EMIF ara yüzü aynı zamanda ek kart genişleme yuvalarına bağlanırlar.
- DSP, AIC23 Ses Kod Çözücüsü ve dört adet 3,5 mm ses konnektörü (Mikrofon Girişi, Hat Girişi, Hoparlör Çıkışı, Hat Çıkışı) vasıtasıyla ses sinyallerini işlemektedir. Kod

çözücü mikrofon ya da hat girişinden hangisinin aktif olacağını seçebilir. Analog çıkış sinyali ise hem hat çıkışı (sabit kazançlı) hem de hoparlör (çıkış kazancı ayarlanabilir) çıkışına aktarılmaktadır.

- 0 numaralı Çok Kanallı Tamponlanmış Seri Port (Multi Channel Buffered Serial Port 0-McBSP0), 1 numaralı Çok Kanallı Tamponlanmış Seri Port (Multi Channel Buffered Serial Port 1-McBSP1) sayısal ses verisi için kullanılırken, kod çözücü kontrol ara yüzünü sağlar. McBSP0 ve McBSP1 yazılımda görevlendirilmektedir.
- CPLD denilen programlanabilir mantıksal aygıt kart bileşenlerini birbirine bağlayan lojik yapıyı gerçekleştirmek için kullanılır. CPLD'nin kartın saklayıcılarına okuma ve yazmayla kullanıcıların kartı yapılandırmasına izin veren saklayıcı temelli bir ara yüzü mevcuttur.
- DSK'da mevcut olan 4 LED ve 4 anahtar interaktif geri dönüşümü kullanıcılara sağlamak için en basit yol olarak kullanılmaktadır. Her ikisine CPLD saklayıcılarına okuma ve yazmayla erişilmektedir.
- 5V güç beslemesi DSK'ya uygulanmaktadır. 1,26V'u DSP çekirdek gerilimini, 3,3V'u giriş/çıkış beslemesini sağlamaktadır.
- CCS Programı DSK ile USB ara yüzü gömülü JTAG emülatörü aracılığıyla haberleşmektedir.

2.4 TMS320C6713DSK EDMA

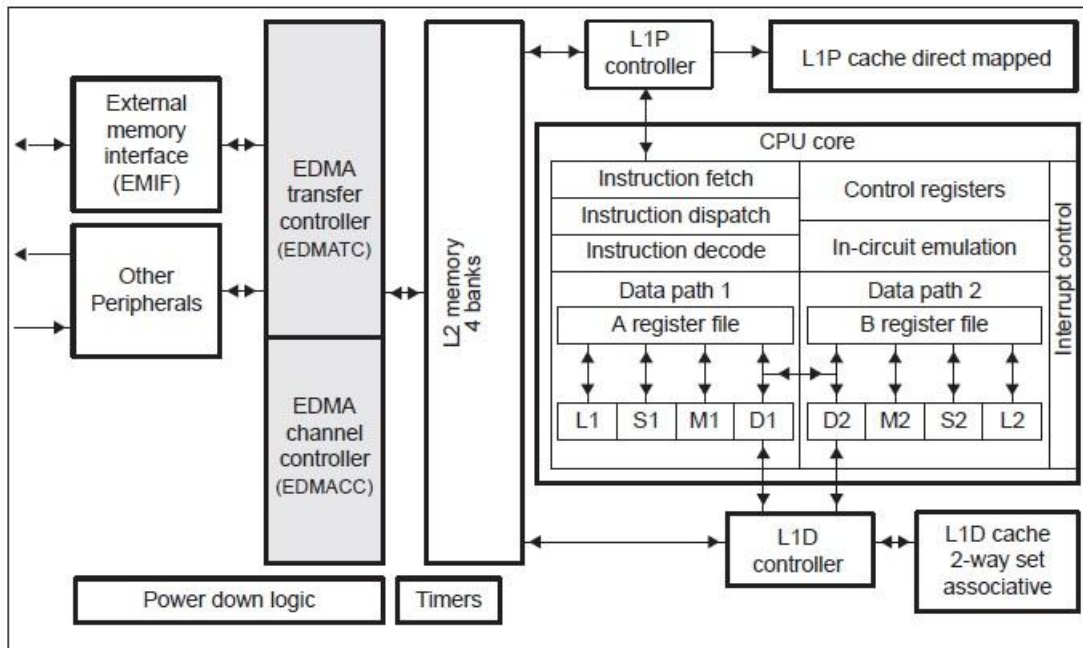
2.4.1 Genel Bakış

Genişletilmiş doğrudan hafıza erişimi (Enhanced Direct Memory Access-EDMA) denetleyicisi Şekil 2.4' te gösterildiği gibi C6713 DSP çevre arabirim aygıtları ve iki seviye (L2) önbellek / hafıza denetleyicisi arasında veri transferini yürütür. Bu veri transferleri önbellek işlemlerini, ön belleklendirilemeyen hafıza erişimini, kullanıcı tarafından programlanmış veri transferini ve host erişimini içerir.

C6713'deki EDMA denetleyicisi programlama öncelikli ve veri transferini zincirleme, bağlama yeteneğini sahip 16 kanala sahiptir. EDMA verinin adreslenebilir hafıza boşlukları, L2 seviyesinde Statik Rasgele Okunur Bellek (Statik Random Access Memory-SRAM), çevre arabirimler ve harici hafıza arasında iletimine izin veren bir donanım yapısına sahiptir.

EDMA iki öncelikli bileşenden oluşmaktadır:

- **Transfer Denetleyicisi (EDMATC):** L2 önbellek/hafıza denetleyicisi ile C6713 DSP aygıt çevre arabirimleri arasında bütün veri transferini yürütür.
- **Kanal Denetleyicisi (EDMACC):** Kullanıcı tarafından programlanabilen denetleyicidir. 1 boyutlu ve 2 boyutlu transferin iyi bir şekilde yürütülmesini denetler. Transferin durum tetiklemeli, zincir ya da işlemci tetiklemeli olup olmayacağına karar verir. Esnek geri yüklemeyi sağlar. Ping pong tampon, çevrimsel tampon, çerçeve çıkartımı, sıralama gibi adresleme modlarını içerir.



Şekil 2.4 C6000 EDMA blok diyagramı (URL-6 2006).

2.4.2 Durum Servis Önceliği

EDMA durum saklayıcısı (ER) 16 durum içermektedir. Bu yüzden, EDMA durum girişlerinde aynı anda durumları oluşturmak mümkündür. Aynı anda varan durumlar için, en yüksek durum numarasına sahip kanal transfer isteğini ilk önce oluşturur. Bu mekanizma sadece eşzamanlı durumları sıralar ve durumların önceliğini oluşturmak için bir şey yapmaz. Transferlerin önceliği EDMA' nın Parametre Rasgele Okunur Bellek (Parameter Random Access Memory-PaRAM)'inde depolanan EDMA Parametreleri tarafından karar verilir.

2.4.3 Parametre RAM (PaRAM)

Saklayıcı temelli olan C620x/C670x Doğrudan Hafıza Erişimi (Direct Memory Access-DMA) denetleyicilerinin aksine C6713 EDMA denetleyicisi Rasgele Okunur Bellek (Random Access Memory-RAM) tabanlı mimariye sahiptir. EDMA'da kanal parametreleri ve geri yükleme kanal parametrelerinden oluşan PaRAM vardır. Kullanıcı kanal ve geri yükleme kanal parametrelerini programlar. EDMA'nın transferi yürütmek için gereksinim duyduğu bütün bilgileri içerir. Bir transfer bittiğinde ilgili geri yükleme kanalından kanal parametreleri geri yüklenir.

2.4.4 C6713DSK EDMA Parametreleri

EDMA'yı programlamadan önce parametre tablosundaki parametrelere karar vermek gerekir. Şekil 2.5'te EDMA Parametreleri gösterilmiştir:

	31	0	EDMA parameter
Byte 0	EDMA Channel Options Parameter (OPT)		OPT
Byte 4	EDMA Channel Source Address (SRC)		SRC
Byte 8	Array/frame count (FRMCNT)	Element count (ELECNT)	CNT
Byte 12	EDMA Channel Destination Address (DST)		DST
Byte 16	Array/frame index (FRMIDX)	Element index (ELEIDX)	IDX
Byte 20	Element count reload (ELERLD)	Link address (LINK)	RLD

Şekil 2.5 EDMA parametre tablosu (URL-6 2006).

EDMA parametreleri aşağıda açıklanmıştır.

Kanal OPT (Seçenek) Parametresi: Yapılandırma seçeneklerini transfer eder. Bu seçenekler aşağıda liste halinde belirtilmiştir:

- EDMA durumu için öncelik seviyesi (PRI)
- 32/16/8 bit eleman boyutu (ESIZE)
- Kaynak Boyutu (2DS)
- Kaynak adres güncelleme modu (SUM)

- Hedef Boyutu(2DD)
- Hedef adres güncelleme modu (DUM)
- Transfer tamamlama kesme yetkilendirmesi (TCINT)
- Transfer tamamlama kodu (TCC)
- Bağlantı (LINK)
- Çerçeve eş zamanlandırması (FS)

Kanal SRC (Kaynak) adresi: Transfer edilen verinin adresini gösterir.

Eleman sayısı (ELECNT): Tek boyutlu transferde çerçeve başına eleman sayısı, çift boyutlu transferde dizi başına eleman sayısını gösterir

Çerçeve sayısı (FRMCNT): Tek boyutlu transferde blok başına çerçeve sayısının bir eksiğini, çift boyutlu transferde blok başına dizi sayısının bir eksiğini gösterir.

Eleman İndisi (ELEIDX): Sadece tek boyutlu transferde bir çerçeve içindeki elemanların ofset adresini gösterir.

Çerçeve İndisi (FRMIDX): Tek boyutlu transferde bir blok içerisindeki çerçevelerin ofset adresini, çift boyutlu transferde bir blok içerisindeki dizilerin ofset adresini belirtmektedir.

Bağlantı (LINK): Bağlantı kurulacak parametre kümesini içeren PaRAM adresini içerir.

Eleman sayı geri yükleme parametresi (ELERLD): Sadece tek boyutlu transferde her çerçevenin bitiminde yüklenecek sayı değerini içerir.

2.4.5 EDMA Senkronizasyonu

Bir transferi başlatmak için iki metot vardır.

(1) CPU Başlatması: senkronize EDMA olarak bilinir. EDMA Transferini başlatmak için Merkezi İşletim Birimi (CPU) Durum Kurulum Saklayıcısı (ESR) aracılığıyla Durum Saklayıcısına (ER) yazar.

(2) Durum Tetiklemeli Başlatım: Bu koşulda durum ER' de kilitlenir. Daha sonra transferi tetikler.16 farklı EDMA durumları aşağıda listelenmiştir. Bir durum CPU tarafından Durum Temizleme Saklayıcısı (ECR)'na yazılarak silinebilir.

DSPINT: DSP Kesmesi.

TINT0: 0 numaralı zamanlayıcı kesmesi.

TINT1: 1 numaralı zamanlayıcı kesmesi.

EXT_INT4,5,6,7: 4,5,6 ve 7 numaralı harici kesme pinleri.

EDMA_TCC8: EDMA transfer tamamlama kodu 1000b kesmesi.

EDMA_TCC9: EDMA transfer tamamlama kodu 1001b kesmesi.

EDMA_TCC10: EDMA transfer tamamlama kodu 1010b kesmesi.

EDMA_TCC11: EDMA transfer tamamlama kodu 1011b kesmesi.

XEVT0: McBSP0'ye veri gönderme durumu.

REVT0: McBSP0'dan veri alma durumu.

XEVT1: McBSP1'e veri gönderme durumu.

REVT1: McBSP1'den veri alma durumu.

2.4.6 Transfer Senkronizasyonu

Senkronizasyon modu transferin iki boyutlu olup olmamasına bağlıdır. Bu sebeple EDMA Seçenekler (OPT) saklayıcısının sırasıyla 23. ve 26.bitlerinde bulunan 2DS (Kaynak Boyutu) ve 2DD (Hedef Boyutu) seçeneklerinin programlanması gerekmektedir. 0b tek boyutu 1b iki boyutu ifade etmektedir.

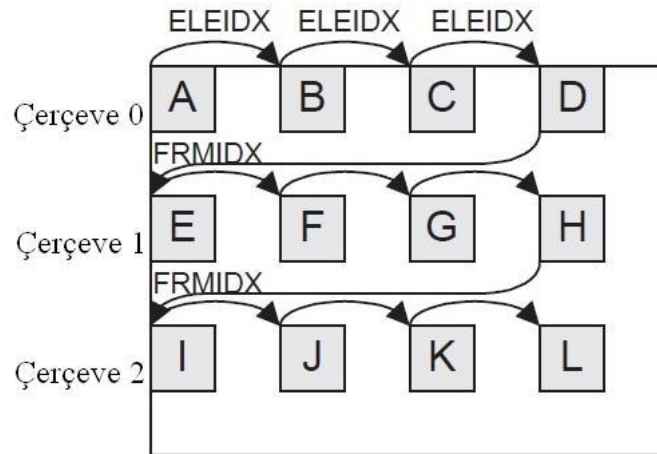
2.4.7 Bir boyutlu transfer

Bir boyutlu transferde iki tip senkronizasyon modu bulunmaktadır. Eleman senkronizasyonunda her durum bir elemanın transfer edilmesine neden olur. Çerçeve senkronizasyonunda ise her durum bütün çerçevenin transfer edilmesine neden olur. Çerçeve senkronizasyon biti (FS) senkronizasyon modunu belirtmek için kullanılır.

2.4.7.1 Eleman Transferi

FS biti 0 iken eleman senkronizasyonu gerçekleştirilir. Senkronizasyon durumu alındıktan sonra bütün çerçeve transfer edilene kadar her eleman transfer edilir. Daha sonra eleman sayısı geri yüklenir. Çerçeve sayısı azaltılır. Çerçeve indisi, sonraki iletilecek çerçeve başlangıç adresini hesaplamak için sonraki eleman adresine eklenir. Eğer bağlantı parametresi yetkilendirilirse (LINK=1b) transfer bittikten sonra transfer parametreleri geri yüklenir.

Şekil 2.6'da görüldüğü gibi her bir durum senkronizasyonu oluştuğunda bir eleman transfer edilir. Sonra, çerçevedeki (frame) diğer durum senkronizasyonunda diğer eleman transfer edilir. Çerçeve tümüyle transfer edildikten sonra sonraki çerçeve transfer edilmeye başlanır.

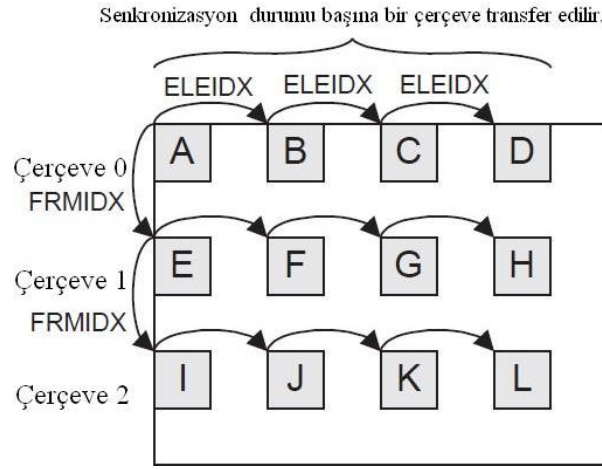


Şekil 2.6 Eleman senkronizasyonu transferi (URL-6 2006'dan değiştirilerek).

2.4.7.2 Çerçeve Transferi

Çerçeve transferi FS biti 1 olduğu durumda gerçekleşir. Senkronizasyon durumu alındıktan sonra her eleman transferi için yeni bir duruma gereksinim duymaksızın EDMA bütün bir

çerçeveyi transfer eder. Şöyle ki her çerçevede elemanlar senkronize edilmezler bunun yerine kanal durumu her çerçeve transferini senkronize eder. Çerçeve indisi (FRMIDX) komşu çerçevelerin başlangıç adresleri arasındaki farkı temsil eder. Eleman indisi (ELEIDX) ise elemanları çerçevede çakışmayacak şekilde düzenlemek için kullanılır. Şekil 2.7’de her çerçevede 4 eleman (ELECNT=4) ve toplamda üç çerçevenin (FRMCNT=2) çerçeve senkronizasyonlu bir boyutlu transferin adres indisi gösterilmiştir. Bu örnekte toplam 3 senkronizasyon durumu transferi tetikler. Eğer bağlantı parametresi yetkilendirilirse (LINK=1) bütün çerçeveler gönderildikten sonra bütün transfer parametreleri geri yüklenebilmektedir.



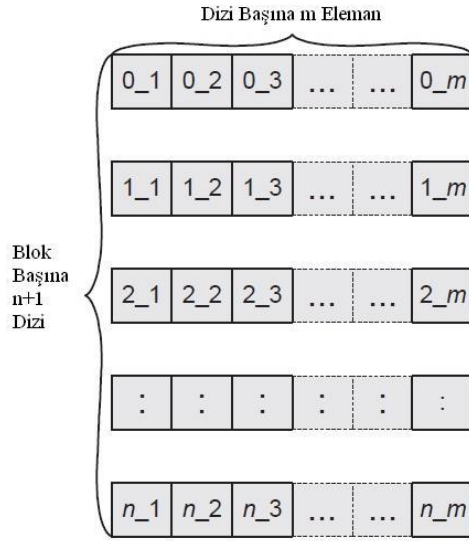
Şekil 2.7 Çerçeve senkronizasyonu transferi (URL-6 2006’dan değiştirilerek).

2.4.8 İki boyutlu transfer

İki boyutlu transfer daha çok görüntü uygulamaları gibi dizi olarak tanımlanan ardışık elemanlar kümesinin tek bir senkronizasyon durumunda transfer edilmek zorunda olduğu durumlarda kullanışlıdır (URL-6 2006). Bir dizideki elemanların arasında boşluk yoktur. Dolayısıyla 2 boyutlu transfer eleman indisi (ELEIDX) kullanmaz. Bir dizideki eleman sayısı transferin ilk boyutunu oluşturur. Dizilerin grubu da blok denilen ikinci boyutu oluşturur. Diziler arasındaki ofset dizi indisi (FRMIDX) tarafından karar verilir ve değeri transfer senkronizasyon moduna bağlıdır.

İki boyutlu transferde iki tip senkronizasyon modu mevcuttur. Bunlardan ilki dizi senkronizasyonudur. Dizi senkronizasyonunda her bir durum dizinin bir hattının transfer edilmesine neden olur. Blok senkronizasyonundaysa her durumu bütün bir bloğun transfer edilmesine neden olur. Yine FS biti senkronizasyon modunu denetlemektedir. FS biti 0 olursa

dizi senkronizasyonu transferi, FS biti 1 olursa blok senkronizasyonu transferi gerçekleşmektedir. Şekil 2.8’de m elemanlı n adet diziden oluşan iki boyutlu çerçeveyi göstermektedir.



Şekil 2.8 İki boyutlu transfer veri bloğu (URL-6 2006’dan değiştirilerek).

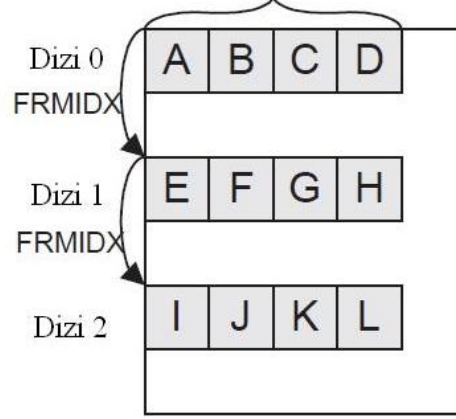
2.4.8.1 Dizi Senkronizasyonu İki Boyutlu Transfer

Bir boyutlu çerçeve transferinden farkı elemanların ardışık olmasıdır. Senkronizasyon durumu başına bir dizi iletilmektedir. EDMA PaRAM’de tanımlı çerçeve sayısı gerçekte olan çerçeve sayısının bir eksiğine eşittir. Çünkü çerçeve sayısı sıfır olduğunda, adresleme mekanizmasına son transfer isteği iletildikten sonra tüm transfer parametreleri geri yüklenebilir. Geri yüklenebilmesinin diğer koşulu bağlantı parametresinin 1 olmasıdır. Çerçeve sayısı (FRMCNT) her dizi transferinden sonra bir azaltılır. İlk dizi çerçevesi iletildikten sonra çerçeve indisi sonraki çerçeve adresini türetmek için iletilen çerçevenin başlangıç adresine eklenir. FS biti 0 olduğunda dizi senkronizasyonu transferi gerçekleşmektedir.

Şekilde 2.9’da görüleceği üzere her senkronizasyon durumunda bir dizi iletilmektedir. Dörder elemandan oluşan üç diziyi transfer etmek için toplamda üç senkronizasyon durumu gerekecektir. Tek boyutlu transferde çerçeve olarak ifade edilen bu adresleme bölgeleri elemanları ardışık olması durumunda dizi (array) olarak tanımlanmıştır.

Güncel adresleme ve eleman, dizi sayıları değişimleri seçilen güncelleme modlarının türüne bağlıdır.

Senkronizasyon durumu başına bir dizi transfer edilir

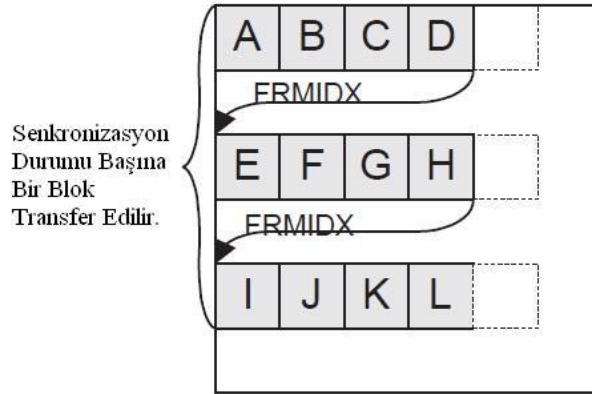


Şekil 2.9 Dizi senkronizasyonu transferi (URL-6 2006'dan değiştirilerek).

2.4.8.2 Blok Senkronizasyonu İki Boyutlu Transferi

Tek bir senkronizasyon durumu bütün bir dizi bloğunu transfer eder. Şöyle ki bir kanal durumu oluşursa ve FS biti 1 olursa bütün blok transfer edilir. Her çerçeve bitiminde, sonraki çerçevenin başlangıç adresini hesaplamak için çerçeve indisi ilgili çerçevenin son eleman adresine eklenmektedir.

Şekil 2.10'da dörder elemanlı üç diziden oluşan bir bloğun tek bir senkronizasyonla iletimi gösterilmiştir.



Şekil 2.10 Blok transferi (URL-6 2006'dan değiştirilerek).

2.4.9 Tamamlama Kodu Tabanlı EDMA Kesmesi Oluşumu

EDMA denetleyicisi işlemciye transfer tamamlama kesmesi üretmekten sorumludur. EDMA bütün 16 kanal namına CPU'ya tek bir kesme gönderir (EDMA_INT). Kullanıcı; Kanal

Kesme Bekleme Saklayıcısını (CIPR), hangi kanal kesmeye neden olduğunu veya Kesme Servis Rutini (ISR) kullanımdayken hangi kesmenin beklediğine karar vermek için okumak zorundadır.

EDMA Kanal Denetleyicisi (EDMACC) n değerinde 4 bit transfer tamamlama kodunu (TCC) EDMA Transfer Denetleyicisinden (EDMATC) almaktadır. Yani EDMATC, EDMACC'yi bir önceki transferin tamamlandığını TCC koduyla uyararak onaylamaktadır. Sonrasında EDMACC CIPR saklayıcısının n . bitini kurmaktadır. Eğer Kanal Kesme Yetkilendirme Saklayıcısının (CIER) n . biti de kurulursa, EDMA kesmesi CPU'ya gönderilmiş olur. Sonrasında ISR yürütülmektedir.

2.4.10 Zincir Tetiklemeli Transfer İsteği

Zincirleme mekanizması bir transferin tamamlandığında otomatik olarak diğer kanal için transfer isteğinin tetiklendiği mekanizmadır. Bu tetikleme mekanizması durum tetiklemesiyle benzerdir. Fakat sekizinci ile on birinci EDMA kanalları tetiklemek için kullanılmaktadır.

Transfer tamamlama kesme biti (TCINT) ve Transfer Tamamlama Kodu (TCC) bitlerine ilaveten Kanal Zincir Yetkilendirme Saklayıcısı (CCER) mevcuttur. n değerinde TCC kodu alındığında CCER n . biti kurulur ($CCER_n=1$). Daha sonra EDMACC ilgili PaRAM kanal girdisini işler. Eğer PaRAM kanal girdisi boşsa, hiçbir transfer isteği oluşmaz. Transfer isteği oluşabilmesi için yeni bir TCC alınmalıdır. Bir transfer oluştuğunda EDMACC tarafından yeni bir TCC alınır ve işlenir. Bu durum zincirleme olarak devam eder.

2.5 TMS320C6713DSK McBSP

2.5.1 McBSP Temel İşlevleri

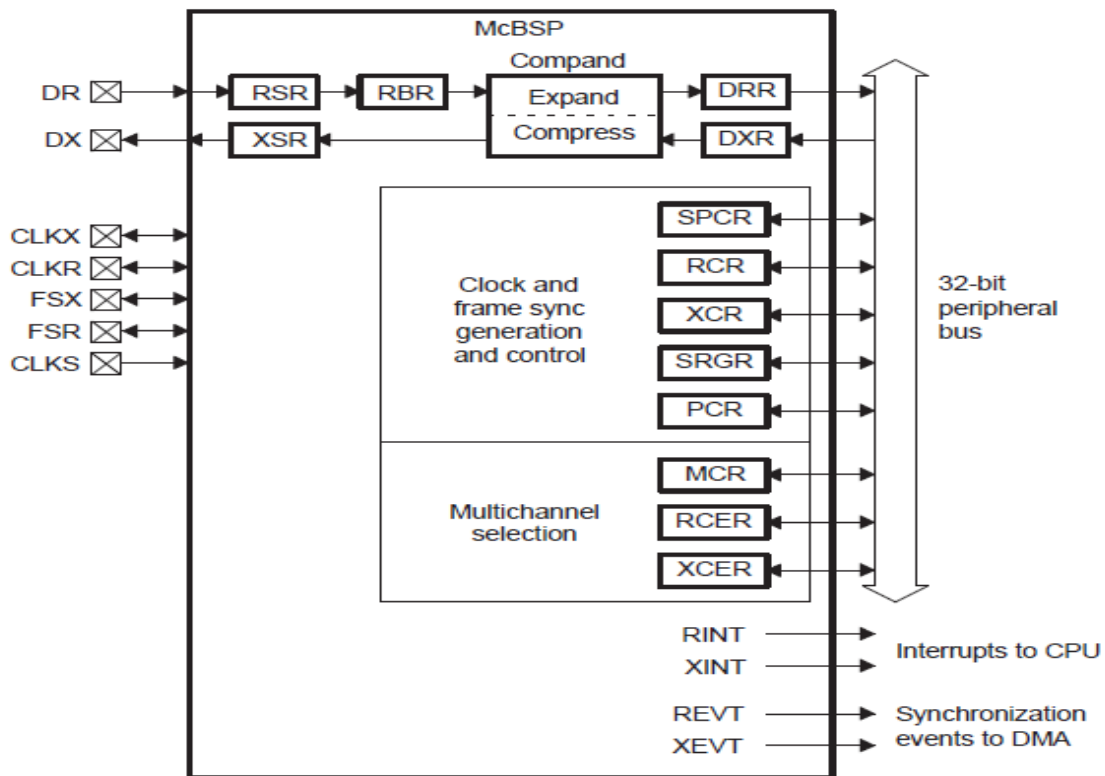
Çok Kanallı Tamponlanmış Seri Port (Multi Channel Buffered Serial Port-McBSP)'un aşağıda temel işlevleri sıralanmıştır:

- Çift yönlü haberleşme mevcuttur.
- Sürekli veri akışına izin veren çift tamponlu veri saklayıcılarına sahiptir.

- Sinyal alma ve gönderme durumlarında bağımsız çerçevesiz ve uygun saat darbesinde çalışır.
- Endüstri standartlarındaki kodlara, analog ara yüz çiplerine ve diğer seri bağlanmış ADC ve DAC'a doğrudan ara yüzü mevcuttur.
- Veri transferi için harici kaydırma saati veya dahili programlanabilir frekans kaydırma saat desteği vardır.

2.5.2 McBSP ara yüzü

McBSP harici aygıtlara bağlanabilen veri ve kontrol yollarından oluşur. Bu harici aygıtlarıyla veri haberleşebilmek için gönderici ve alıcı görevi yapan ayrı pinler mevcuttur. Diğer dört pin kontrol bilgisini haberleşmek için kullanılır. Blok diyagramda görüldüğü üzere dahili ara yüz yollarıyla McBSP'nin kontrol ve veri saklayıcılarına ulaşmak için çevre arabirimleri 32-bit yolu kullanmaktadır. McBSP pinleri, veri ve kontrol saklayıcıları temel olarak ilerleyen kısımlarda anlatılacaktır. Şekil 2.11 McBSP Blok Diyagramı Gösterilmiştir.



Şekil 2.11 McBSP blok diyagramı (URL-7 2006).

2.5.3 McBSP Ara yüz Pinleri

Veri McBSP ara yüzüyle aygıtlarla haberleştirilir. DX veri gönderim pinidir. DR ise veri alım pinidir. Çerçeve senkronizasyonu veya saatle denetim için kontrol pinleri aracılığıyla McBSP'den geçen verinin kontrolü sağlanır. Bu kontrol pinleri CLKR (Alıcı saati), CLKX (Gönderim Saati), CLKS (Harici Saat), FSR (Alıcı çerçeve senkronizasyonu), FSX (Gönderim Çerçeve Senkronizasyonu) olarak 5 tanedir.

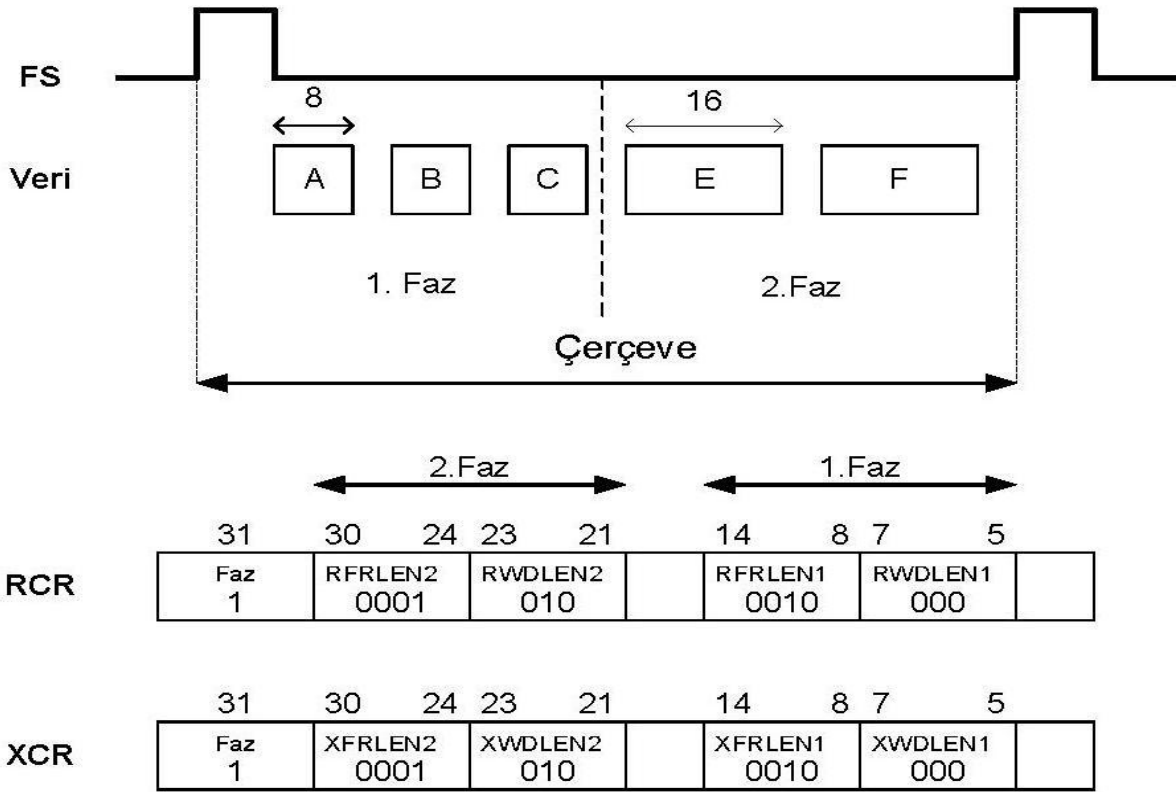
2.5.4 McBSP Okuma ve Yazma İşlemleri

Hem CPU hem de EDMA denetleyicisi veri alma saklayıcısından (DRR) alınan verileri okur ve gönderilmek üzere veriyi veri gönderme saklayıcısına (DXR) yazar. DXR' ye yazılan veri gönderim kaydırıcı saklayıcısı (XSR) aracılığıyla DX pinine kaydırılmaktadır. Benzer olarak DR'den alınan veri alıcı kaydırım saklayıcısına (RSR) aktarılır ve alıcı tampon saklayıcısına (RBR) kopyalanır. RBR ise daha sonradan DRR'ye kopyalanır. Böylelikle kopyalanan veri CPU veya EDMA denetleyicisi tarafından okunabilir.

2.5.5 Alıcı Kontrol (RCR) ve Verici Kontrol Saklayıcıları (XCR)

Çerçeve senkronizasyonu oluştuktan sonra bir dahaki senkronizasyona kadar bir çerçeve iletilmekte veya alınmaktadır. Çerçeve bir veya daha çok kelime içerir. Kelime (kanal) ise bitlerden oluşur. Çerçeveler ise geniş anlamda sadece bir veya iki faz içerir. Bu fazlar ise farklı kanallar ve bitler içerebilir.

RCR ve XCR saklayıcıları ise iki senkronizasyon arasındaki gönderilen veya alınan çerçeveyi denetlemektedir. Çerçeveler için bir karar mekanizmasıdır. Bu saklayıcılar çerçevenin kaç fazdan oluşacağını (PHASE), alıcı ve verici çerçevelerdeki her bir fazın kaç kanalının olduğunu (RFLEN1, RFLEN2, XFLEN1, XFLEN2) ve çerçevelerdeki kelimelerin (RWDLEN1, RWDLEN2, XWDLEN1, XWDLEN2) kaç bit uzunluğu olduğunu belirler. Şekil 2.12'de RCR ve XCR saklayıcılarının çerçeve senkronizasyonu veri kontrolü gösterilmiştir. Çerçeve Senkronizasyonu (FS) ile çerçeve verisi görsel olarak ifade edildikten sonra saklayıcıların ilgili bitlerinin ayarlanmasına değinilmiştir.



Şekil 2.12 XCR ve RCR çerçeve kontrolü.

Görüldüğü üzere senkronizasyon gelince çerçeve iletilmektedir. Çerçeve iki fazdan oluşmaktadır.1. faz üç kelimededen ve her kelime de 8 bitten meydana gelir. 2.faz ise iki kelimededen ve her kelime de 16 bitten meydana gelir. Çerçevenin iletimi ve alımını ayarlamak için RCR ve XCR saklayıcısının ilgili bitleri kurulup temizlenerek ayarlanmıştır.

2.5.6 Saat ve Çerçeve Senkronizasyonunun Giriş Çıkış Yapılandırması

FSR, FSX, CLKR ve CLKX uygulamaya bağlı olarak giriş ya da çıkış olarak yapılandırılabilir. Seri Portta bulunan Pin Denetim Saklayıcısının (PCR) 8- 11 bitleri arasında bulunan ilgili bit kurulup veya temizlenerek giriş çıkış moduna karar verilir. 0 biti giriş, 1 biti çıkış anlamına gelir. PCR 'de 8. bit Saat Alıcı Modu (CLKRM),9. Bit Saat Gönderim Modu (CLKXM), 10.bit Çerçeve Senkronizasyonu Alıcı Modu (FSRM), 11.bit Çerçeve Senkronizasyonu Gönderim Modudur (FSXM).

2.5.7 Saat Çıkışı Üretimi

Örnekleme Oranı Üreticinde (SRGR) 29.bit olan McBSP örnekleme oranı üretici saat modu (CLKSM) biti 0 seçilirse üreteç saati CLKS pinden üretilir.1 seçilirse CPU saatinden üretilir. 0-255 arasında değer alan ilk 7 bit ise örnekleme oranı üretici saat bölücüsüdür (CLKGDV). CLKGDV istenen örnekleme oranı saat frekansını üretmek için bölen sayısıdır. Örnekleme oranı saat üreteç sinyali (CLKG), giriş saatinin CLKGDV'nin bir fazlasına bölümünden elde edilmektedir.

2.5.8 Çerçeve Senkronizasyonu Çıkış Üretimi

SRGR'de 28. bit olan Çerçeve Senkronizasyonu Örnekleme Oranlı Üreteç Mod Biti (FSGM) PCR' de FSXM biti 1 olması durumunda kullanılmaktadır. FSGM biti 0 olursa Çerçeve senkronizasyonu gönderim sinyali (FSX) DXR'den XSR'e her kopyalamada oluşur. FSGM biti 1 olursa FSX, Çerçeve Senkronizasyonu Örnekleme Oranlı Üreteç Sinyali (FSG) tarafından oluşturulur. FSG sinyali CLKG sinyalinden, SRGR 'de bulunan 12 bit çerçeve senkronizasyon periyot bitleri (FPER) ve 8 bit çerçeve senkronizasyon darbe bitleri (FWID) yardımıyla elde edilir. Çerçeve periyot değeri sonraki çerçeve senkronizasyonlu sinyal aktif olduğunda bir azalmaktadır.1 ile 4096 CLKG periyodu arasında değeri değişmektedir. FWID ise çerçeve senkronizasyon darbe genişliğini ifade etmektedir.

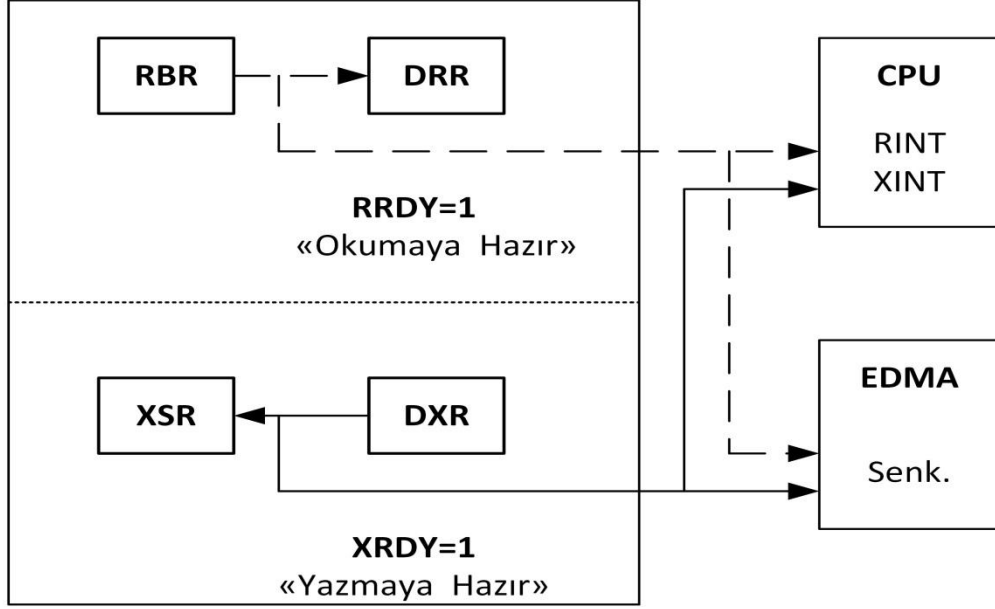
2.5.9 RRDY/XRDY Durum ve Kesmeleri

McBSP'den alınan veya gönderilen verinin hazır olduğuna seri port kontrol saklayıcısında (SPCR) bulunan okuma hazır olma biti (RRDY) ve gönderme hazır olma biti (XRDY) kontrol edilerek karar verilir. Okuma/Gönderme portlarının, RRDY/XRDY 0 ise hazır olmadığı, 1 ise okuma veya yazmaya hazır olduğunu belirtir.

Veri hazırsa denetlemenin üç yolu vardır:

- ✓ SPCR bitleri yazılımla yoklanmaktadır.
- ✓ CPU Kesmeleri (RINT/XINT) yapılandırılır.
- ✓ EDMA senkronizasyon durumları programlanır.

Sinyal RBR'den DRR'ye kopyalanırken RRDY=1 olur, CPU ve EDMA'ya McBSP'nin okumaya hazır olduğu bildirilir. Sinyal DXR'den XSR'e kopyalanırken ise XRDY=1 olur yine CPU ve EDMA'ya McBSP'nin yazmaya hazır olduğu bildirilir. Bu durum Şekil 2.13'te gösterilmiştir.



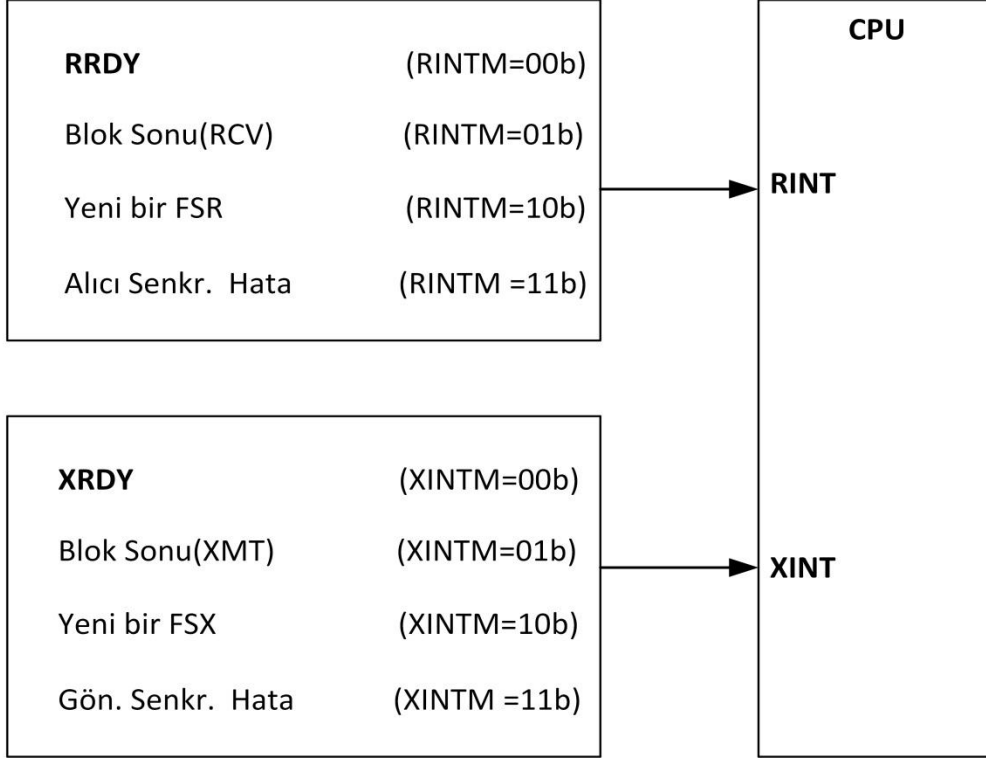
Şekil 2.13 RRDY/XRDY durumları ve kesmeleri.

2.5.10 Diğ er Alıcı ve Verici Kesme Kaynakları

Önceki bölümde CPU'ya gelen kesme kaynakları olarak SPCR' deki RRDY ve XRDY bitleri gösterilmişti. Bu bitler McBSP'nin okumaya mı yoksa yazmaya mı müsait olduğunu belirliyordu. Bu durumlarda SPCR' deki mod durumlarından Alıcı Kesme Modu (RINTM) 00b ise RRDY durumu geçerlidir. İletim Kesme Modu (XINTM) 00b ise XRDY durumu geçerlidir. XINTM ve RINTM'nin mod bitlerine göre CPU'ya hangi tetikleme durumu yansıyacağı belirlenir. RRDY ve XRDY durumları dışında alınan (RCV) veya iletilen(XMT) verinin bloklarının sonunda, yeni çerçeve alındığında (FSR) veya gönderildiğinde (FSX) alıcı ve verici senkronizasyonunda hata olması durumunda da CPU alıcı veya verici kesmesi (RINT, XINT) oluşmaktadır. Bütün bu RINTM ve XINTM' ye bağı k kesmeleri CPU tetikleyici durumları neden olmaktadır.

XINTM SPCR'nin 21. ve 20. Bitleri, RINTM ise SPCR' nin 5.ve 4. Bitleridir. CPU Tetikleyici durumları aşağıdaki Şekil 2.14'te açıklanmıştır.

«CPU Tetikleme Durumları»

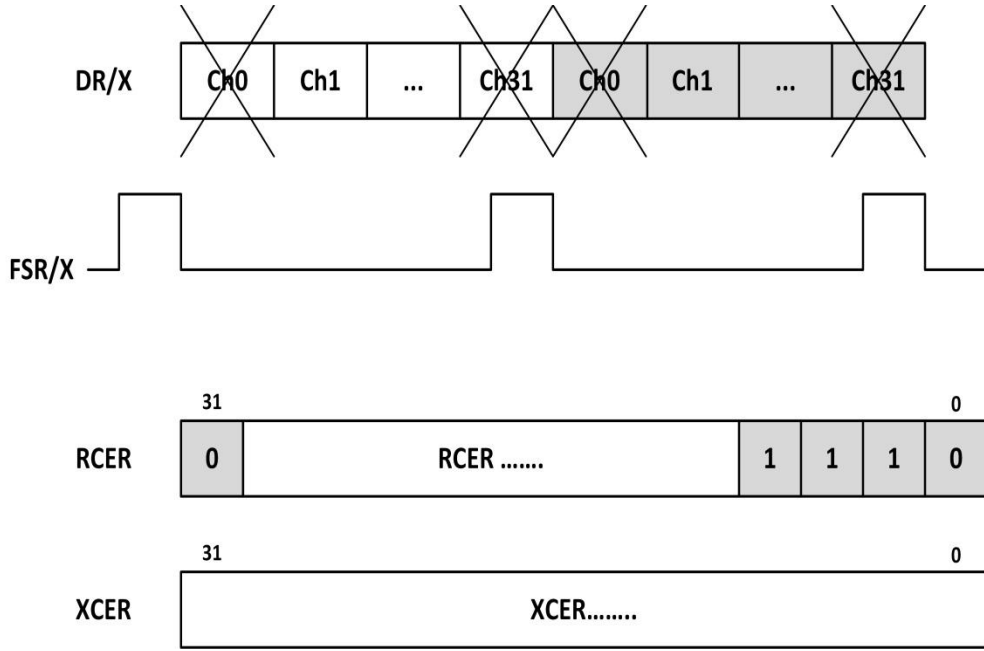


Şekil 2.14 Diğer alıcı ve verici kesme kaynakları.

2.5.11 Çok Kanallı Seçim İşlemi

C6713 DSK kartında çerçeve uzunluğu en fazla 128 kanal (kelime) olabilir. Çok kanallı seçim modu McBSP'nin iletim ve alım işlemi için tek bir faz çerçevesinde bağımsız kanallar seçmesine izin verir. McBSP 128 elemanlı bit dizisinden 32 kelimeyi istediği zamanda yetkilendirebilir.

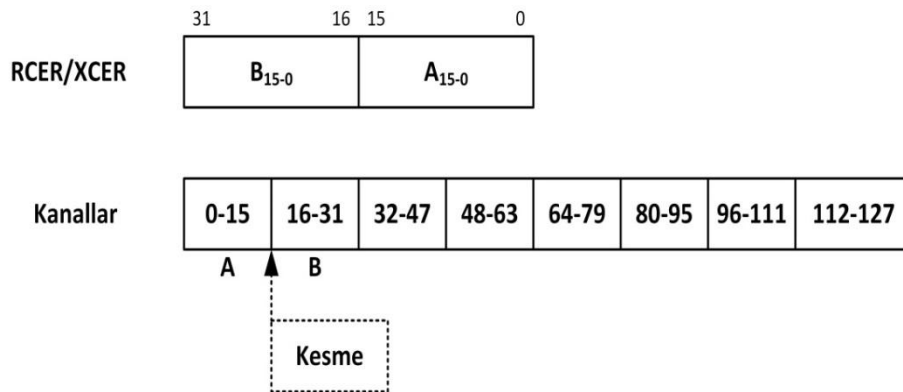
Alıcı Kanalı Yetkilendirme Saklayıcısı (RCER) 32 adet kanaldan herhangi birilerini almak için yetkilendirir. Gönderim Kanalı Yetkilendirme Saklayıcısı (XCER) ise bu kanalları gönderim için yetkilendirir. RCER/XCER yetkilendirme bitleri kanalı yetkilendirir. Örneğin RCER' de 28.bit 1 olursa 28.kanal alıcı kanal olarak yetkilendirilmiş olur. RCER/XCER 'de yetkilendirilebilen 32 kanaldan ilk 16 kanal A kısmı olarak, son 16 kanal B kısmı olarak alt çerçeve meydana getirmektedir. RCER/XCER sayesinde iki çerçeve senkronizasyonu arasında gönderilebilecek 32 kanaldan istenilen kanal gönderilebilir veya alınabilir. Şekil 2.15'te McBSP Çoklu Kanal yetkilendirilmesi gösterilmiştir. RCER ve XCER saklayıcılarına değinilmiştir.



Şekil 2.15 McBSP çoklu kanal yetkilendirmesi.

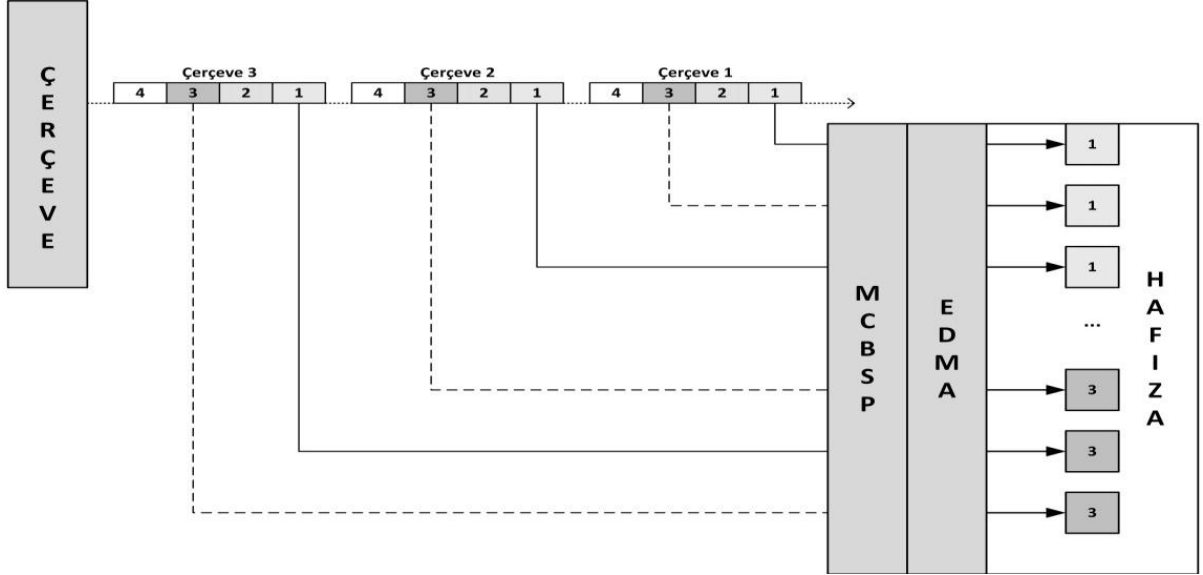
RCER/XCER saklayıcılarındaki kanallar A ve B alt çerçevelere gruplandırıldığı ifade edilmiştir. Bu alt çerçeveleri kullanarak 128 kanallı çerçeve iletilmek veya alabilmek için listelenen yollara başvurulur:

- Kanalları 16 ardışık elemandan oluşan bloklara bölmek gereklidir.
- 32 Kanala kadar kanallar (iki blok) istenilen zamanda yetkilendirilebilir.
- 16 Kanaldan sonra, McBSP Blok sonu kesmesini görevlendirir.
- CPU ISR XCER veya RCER' i 32 ile 47. Kanallar için tekrar programlar ve 128 kanal için bu işlem devam eder. Şekil 2.16'da bu maddelere bağlı olarak RCER ve XCER saklayıcıları ve kanalda 16 eleman transfer edildikten sonra kesme geldiği açıklanmıştır.



Şekil 2.16 128 Kanal için RCER/XCER yetkilendirmesi.

McBSP'den gelen bu alt çerçevelerdeki kanalları EDMA sınıflandırarak hafızaya gönderebilmektedir. EDMA'nın esnek adresleme seçeneği her kanalın ayrı tamponlarda sınıflandırmasına izin verir. Şekil 2.17'de EDMA'nın, McBSP'den gelen üç ayrı çerçevenin 1 numaralı ve 3 numaralı adreslerde bulunan kanalları sınıflandırıp iki ayrı tampon şeklinde hafızaya göndermesi açıklanmıştır.



Şekil 2.17 EDMA kanal sınıflandırması.

BÖLÜM 3

DİKGEN FREKANS BÖLMELİ ÇOĞULLAMA(OFDM) TEKNOLOJİSİ

3.1 GİRİŞ

Seri iletişim protokollerinde semboller artarda gelmektedir. Her bir sembol bütün frekans tayfını kullanmaktadır. Ayrıca yüksek veri hızlarındaki haberleşme sistemlerinde çok kısa sembol süresi gerekmektedir. Sembol süresi uzun tutulduğunda, frekans seçici kanalın cevabında sembol işaret bir sonraki sembolün spektral bileşenlerini etkilemektedir ve bunun sonucunda SAK ortaya çıkmaktadır. Bu durum yüksek veri hızlarında seri iletişimin kullanılmamasının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Paralel veri iletimi ve Frekans Bölmeli Çoğullama (Frequency Division Multiplexing-FDM) teknolojisi 1960'lı yılların ortasında geliştirilmiştir. ABD patenti ise Haziran 1970'de alındı (Prasad 2004). FDM'de bütün işaret alt kanallara bölünmektedir. Her bir alt kanal ise modüle edilmektedir. Bu kanallarda SAK'a sebep olmamak için alt kanallarda örtüşmeye izin verilmiyordu. Bu durum da bant genişliğinin verimli kullanılmamasına yol açmaktadır.

1960 yılların ortasından sonra ana sinyalin alt taşıyıcılara bölüldüğü ve her bir alt taşıyıcının bir birine dik olduğu dolayısıyla her bir alt işaretin birbirleriyle örtüşmesine izin veren, bant genişliğinin verimli kullanıldığı OFDM teknolojisi geliştirilmiştir. OFDM'de alt kanallar birbirleriyle örtüşür. Fakat alt kanallarda birbirine yakın yerleştirilen taşıyıcılar birbirine diktir. Frekans spektrumunda her bir alt taşıyıcı diğer alt taşıyıcının merkez frekansında sıfırdır. Dolayısıyla SAK oluşmaz ve alt taşıyıcılar paralel olarak alıcıya iletilebilmektedir.

1971 yılında paralel veri iletim sistemlerinde modülasyon ve demodülasyonun bir parçası olarak Ayrık Fourier Dönüşümü (AFD) ve Ters Ayrık Fourier Dönüşümü (TAFD) kullanılmıştır (Weinstein and Eber 1971). Burada OFDM sinyali, tek bir alt kanal spektrumunun aynı frekans farkıyla çoğullanmasından elde edilmiştir. Alıcıya iletilen işaret

de alt kanallar arasında SAK görülmediğinden işarete AFD uygulanıp, alıcıya ulaşan işaret bulunmuştur.

1980'lerde, OFDM yöntemi yüksek hızlı modemler, sayısal mobil haberleşme ve yüksek yoğunluklu kayıt cihazlarında kullanılmıştır. Bu sistemlerdeki sinyaller OFDM kullanılarak çoğullanmış ve QAM kullanılarak modüle edilmiştir (Hirosaki 1981).

1990'lı yıllara gelindiğinde OFDM'in veri iletiminin düşük hızlı alt taşıyıcılardan sağlanması, frekans seçici sönmülemeye karşı direnci artırması ve bant genişliğini verimli kullanılmasını sağlaması gibi özelliklerinden ötürü geniş bant veri haberleşmesinin vazgeçilmezi olmaya başlamıştır.

Günümüzde OFDM, Sayısal Abone Hatları (Digital Subscriber Line-DSL), Sayısal Ses Yayıncılığı (Digital Audio Broadcasting-DAB), Sayısal Video Yayıncılığı (Digital Video Broadcasting-DVB), Yüksek Çözünürlüklü Televizyon (High Definition Television-HDTV), kablosuz ağlar(802.11a/g/n vs.), Mikrodalga Erişimi için Dünya Çapında İşlerlik (Worldwide Interoperability for Microwave Access-Wimax) ve son olarak 4.nesil hücresele ağ Uzun Dönem Evrim (Long Term Evolution-LTE) gibi sayısal haberleşme teknolojilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

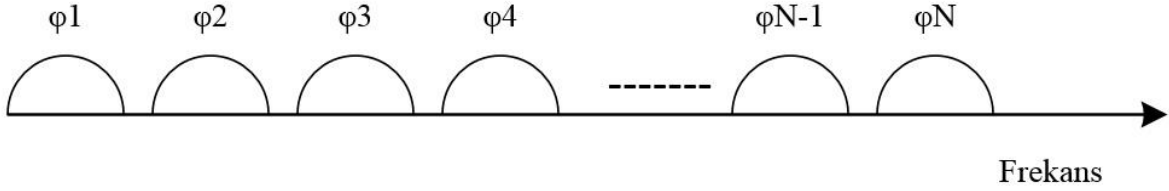
3.2 OFDM SİNYAL YAPISI

3.2.1 OFDM'de Dikgenlik ve Alt Taşıyıcıların Üretilmesi

Geleneksel FDM'de kanallar birbirine örtüşmez. Dolayısıyla kanallar arası karışım söz konusu değildir. Şekil 3.1'de FDM tekniğinde alt kanalların birbirleriyle örtüşmediği fakat bant genişliği kazancının düşük olduğu görülmektedir. Burada, ϕ_k ($k=1,2, \dots, N$) her bir alt taşıyıcılardaki komşu işaretleri göstermektedir. OFDM tekniğinde ise FDM'den farklı olarak alt taşıyıcılardaki işaretler arasındaki dikgenlik dolayısıyla örtüşme söz konusudur. Fakat her bir alt taşıyıcının merkez frekansında diğer alt taşıyıcı sinyalleri sıfırdır. Dolayısıyla kanallar arası karışım yine sıfırdır. Şekil 3.2'de N adet alt kanallı bir OFDM sinyali içeriği gösterilmiştir. Şekil 3.2'den görüldüğü üzere SAK oluşmaması için alt taşıyıcılar birbirine dik olacak şekilde iletilebilmesi için Δf frekans farklarıyla yerleştirilmiştir. OFDM'de SAK

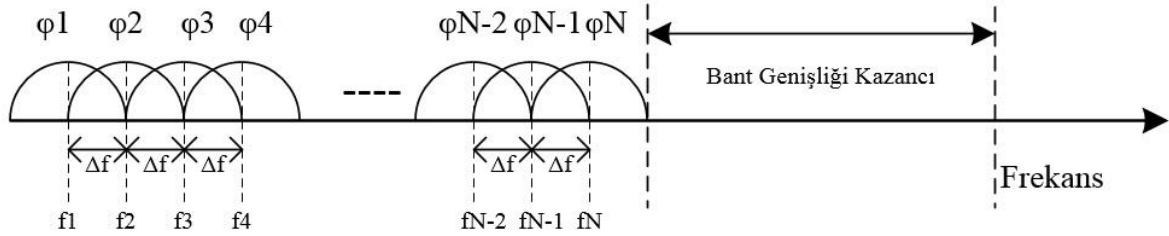
oluşmaz ancak alt taşıyıcılarda bulunan sinyaller arasında örtüşme olduğundan sistemde bant genişliği kazancı mevcuttur.

FDM Kanallar



Şekil 3.1 FDM sinyal yapısı.

OFDM Kanallar



Şekil 3.2 OFDM sinyal yapısı.

N alt kanala sahip bir OFDM Sisteminde her bir alt taşıyıcı birbirine dikgen olması sonucu; bitişik kanallar arası frekans farkı

$$\Delta f = f_{k+1} - f_k = \frac{1}{T}, k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (3.1)$$

biçimindedir ve T simge aralığını göstermektedir.

Teorik olarak, zaman bölgesinde $0 < t < T$ arasında N tane birbirine dik işaretten k. işaret aşağıdaki denklemde ifade edildiği gibidir (Proakis ve Salehi 2010):

$$\varphi_k(t) = \sqrt{\frac{2}{T}} \cos(2\pi(f_c + k\Delta f)t) \quad 0 < k < N-1 \quad (3.2)$$

Burada f_c merkezi taşıyıcı frekans ve Δf frekans aralığı (3.1)'de tanımlanmıştır.

Denklem (3.2)'de belirtilen φ_i ve φ_j OFDM sistemindeki bitişik alt kanallarda taşıyıcılardaki işaretler olmak üzere arasında aşağıdaki denklemde gösterildiği gibi matematiksel durum varsa bu iki işaret birbirine diktir:

$$\begin{aligned} \langle \varphi_i, \varphi_j \rangle &= \frac{2}{T} \int_0^T \cos(2\pi(f_c + i\Delta f)t) \cdot \cos(2\pi(f_c + j\Delta f)t) \cdot dt \\ &= \frac{2}{T} \int_0^T \frac{1}{2} (\cos(2\pi(i-j)\Delta f \cdot t) + \cos(2\pi(2f_c + (i+j)\Delta f)t)) \cdot dt = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases} \end{aligned} \quad (3.3)$$

N tane taşıyıcı varsa bunların her biri birbirine dik olması için her birinin frekansı bir öncekinin frekansına göre $1/T$ kadar artar. i 'inci alt taşıyıcının frekansı aşağıda verilmiştir:

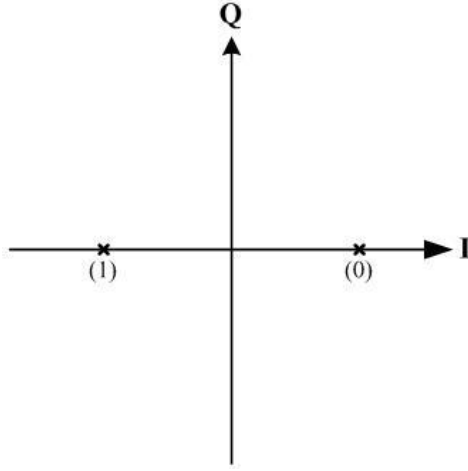
$$f_i = f_c + \frac{i}{T}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (3.4)$$

3.2.2 Temel Bant Modülasyon Yöntemleri

Modülasyon modern iletişim teknolojilerinin vazgeçilmez unsurudur. OFDM'de sayısal genlik, faz veya frekans modülasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Modüle edilen işaret sayısaldır. Sayısal modülasyon yapılacak giriş işareti 0/1 bitlerinden oluşmaktadır. Gerçekleştirilen temel bant sayısal modülasyon yöntemine göre girişteki bit dizisi karmaşık şekilde haritalandırılır. Bu haritalandırmada yatay eksen(I) eşfaz, dikey eksen(Q) dikfaz olarak isimlendirilir.

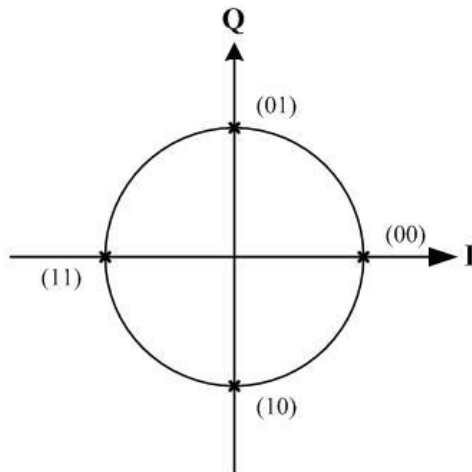
OFDM sistemlerinde en çok kullanılan sayısal modülasyonlar M 'li Dördün Genlik Modülasyonu (M -ary Quadrature Amplitude Modulation-MQAM) ve M 'li Faz Kaydırmalı Anahtarlama (M -ary Phase Shift Keying-MPSK) modülasyonlarıdır. Burada M değeri modülasyon seviyesini temsil eder; $M = 2^k$ eşitliğine göre iki ve ikinin katları şeklinde değerler almaktadır. k değeri ise sayısal modülasyonda bir sembol başına iletilecek bit sayısını(bit/sembol) göstermektedir. Örneğin 4-QAM'de sembol başına 2 bit iletilmektedir. BPSK'da ise sembol başına 1 bit iletilmektedir.

Bu çalışmada BPSK ve QPSK modülasyonları kullanılmıştır. Şekil 3.3'te ikili faz kaydırmalı anahtarlamamanın yıldız kümesi haritalandırması gösterilmektedir. İki farklı bittten oluşan $\{0, 1\}$ dizisine $\{1, -1\}$ vektörü karşılık gelmektedir. Gelen bitlere göre modülasyon sonuçları Şekil 3.3'te yıldız kümesinde gözükmektedir.



Şekil 3.3 BPSK yıldız kümesi gösterimi.

QPSK Modülasyonunda ise modülasyona uğrayan veri iki bittir. 4 farklı bit girişine $\{00, 01, 11$ ve $10\}$ karşılık modülasyon sonucunda $\{1, j, -1, -j\}$ değerleri elde edilir. Şekil 3.4'te QPSK yıldız gösterimi çizilmiştir.



Şekil 3.4 QPSK yıldız kümesi gösterimi.

Bit hatalarını en aza indirmek ve kullanılan bant genişliğini sınırlandırmak için Temel Bant Modülasyonlarda Gray kodlaması kullanılmaktadır. Gray kodlamasında komşu semboller arasında en çok bir bit değişimi olmaktadır. Örneğin QPSK modülasyonunun Şekil 3.4'teki

yıldız kümesi gösterimi incelenirse 00 değerinin 11'e değil 01'e veya 10 değerine komşu olduğu görülmektedir.

3.2.3 OFDM Sisteminde AFD ve TAFD Özellikleri

OFDM'de gelen bit dizileri kullanılan sayısal modülasyon tekniğinin yıldız kümesine göre haritalandırılıp karmaşık değerli N tane temel bant modüleli sembolden oluşan bloğa dönüştürülür. Verici kısmında veri bloğuna TAFD uygulanarak OFDM sembolü elde edilmektedir. Denklem (3.5)'te $s[n]$, $0 \leq n \leq N - 1$ ayrık zamanlı OFDM sembolü göstermektedir.

$$TAFD\{S[i]\} = s[n] = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} S[i] e^{j \frac{2\pi ni}{N}}, 0 \leq n \leq N - 1 \quad (3.5)$$

Burada $S[i]$, $0 \leq i \leq N - 1$ dizisi temel bant modülasyon sonucu elde edilen karmaşık sembolleri göstermektedir. Alıcı tarafında ise OFDM sembolünün AFD'si alınarak oluşturulan veri bloğu sayısal demodülasyon bloğuna gönderilir. AFD'nin matematiksel ifadesi aşağıda gösterilmiştir:

$$AFD\{s[n]\} = S[i] = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} s[n] e^{-j \frac{2\pi ni}{N}}, 0 \leq n \leq N - 1 \quad (3.6)$$

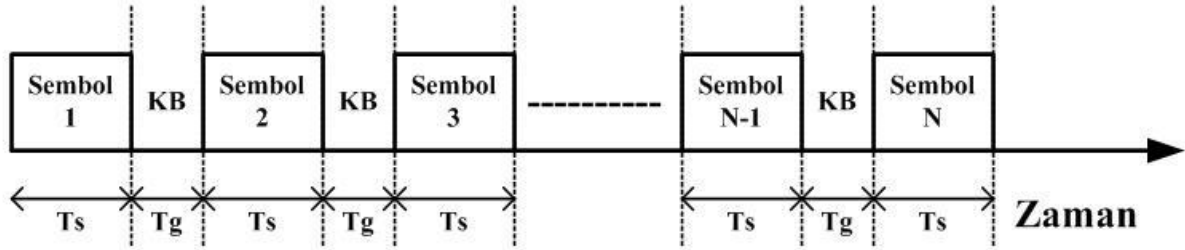
Burada $s[n]$, $0 \leq n \leq N - 1$ ayrık zamanlı OFDM sembolünden $S[i]$, $0 \leq i \leq N - 1$ temel bant modüleli semboller AFD ile geri elde edilir.

3.3 SAK SORUNU VE DAİRESEL ÖN EK

3.3.1 SAK Sorunu

Her bir alt taşıyıcıda bulunan OFDM sembol süresi T_s , kanalın gecikme yayılımı T_m 'den küçük olabilir. Bu durumda alt taşıyıcılar arasındaki OFDM sembolleri arasında SAK görülmektedir. SAK etkisinden kurtulabilmek için OFDM sembolleri arasına koruma bandı (KB) eklenmelidir.

KB süresi T_g , T_m 'den büyük olacak şekilde seçilmelidir. Şekil 3.5'te N adet alt taşıyıcı sembollerinin komşu taşıyıcıları arasında KB bırakıldığı görülmektedir.



Şekil 3.5 OFDM sembollerine koruma bandı eklenmesi.

En etkin KB her sembol başına eklenen dairesel ön ektir. Bu ön ek OFDM sembolünün son parçasının kopyasıdır.

3.3.2 Dairesel Ön Ek

OFDM Sisteminde semboller arasına KB eklenmezse, iletilen semboller Sınırlı Dürtü cevabı (Finite Impulse Response-FIR) süzgeç ile modellenen kanalın katsayıları ile doğrusal konvolüsyona uğrayarak alıcıya ulaşmaktadırlar. Giriş OFDM sembolü $s[n]$ doğrusal zamanla değişmez ayrık-zamanlı kanalın dürtü cevabı $h[n]$ 'den geçirilerek verici tarafına gitmesi gerekmektedir. Bu durumda kanal çıkışı $y[n]$, $s[n]$ 'in $h[n]$ ile doğrusal konvolüsyonudur:

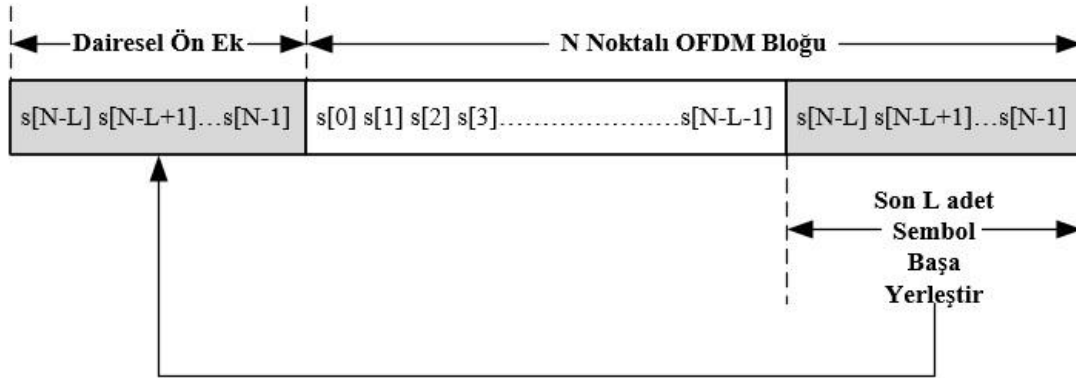
$$y[n] = h[n] * s[n] = s[n] * h[n] = \sum_k h[k] s[n-k]. \quad (3.7)$$

Alıcıya iletilen OFDM işareti SAK etkisi yaratmaması için kanal uzunluğu L 'nin dikkate alınması gerekmektedir. Dolayısıyla OFDM bloğunun baş tarafına L uzunluğunda bir çevrimsel ön ek (cyclic prefix-CP) eklenir. CP eklenmiş ayrık işaret $\tilde{s}[n]$ ile ifade edilir.

Şekil 3.6'da bu durum gösterilmiştir. N noktalı OFDM Bloğunun son L adet sembolü, bloğun başına eklenerek CP eklenmiş OFDM Sembolü elde edilir. CP işleminden sonra, $\tilde{s}[n]$ ile $h[n]$ 'in doğrusal konvolüsyonu, $s[n]$ OFDM işaretinin $h[n]$ kanal işaretiyle dairesel konvolüsyonuna eşittir. $y[n]$ kanal çıkışındaki işaret aşağıdaki gibi bulunur:

$$y[n] = \tilde{s}[n] * h[n] = \sum_{k=0}^{L-1} h[k] \tilde{s}[n-k] = \sum_{k=0}^{L-1} h[k] s[n-k]_N = s[n] \otimes h[n] \quad (3.8)$$

Denklem (3.8)'deki $\tilde{s}[n-k]$, $s[n-k]$ 'nin döngüsel hale getirilmiş şeklini ifade etmektedir. Bu ifade aynı zamanda $s[n-k]_N$ olarak da gösterilir. Dairesel konvolüsyonu \otimes temsil eder.



Şekil 3.6 OFDM bloğuna CP yerleştirilmesi.

$y[n]$ ise L uzunluğundaki kanaldan geçerek alıcıya ulaşan sembol dizisidir. $y[n]$ 'den iletim sembol dizisi $s[n]$ 'in geri elde edilmesi (3.9)'da gösterilmiştir. $Y[i]$ haberleşme kanalının çıkışında alınan ayrık zamanlı işaretin frekans yanıtını temsil ediyor; $H[i]$ ayrık zamanlı kanal işaretinin frekans yanıtını temsil etmektedir.

$$y[n] = s[n] \otimes h[n] \Rightarrow Y[i] = S[i] H[i]$$

$$s[n] = TAFD \left\{ \frac{Y[i]}{H[i]} \right\} = TAFD \left\{ \frac{AFD \{y[n]\}}{AFD \{h[n]\}} \right\} \quad (3.9)$$

Denklem (3.9)'dan görüleceği üzere; kanalın alıcıda bilinmesi durumunda $s[n]$ alıcıda hiçbir girişime uğramadan geri elde edilir. Sonuç olarak OFDM'de bloklar arası SAK meydana gelebilir, ancak CP yardımıyla SAK ortadan kaldırılır.

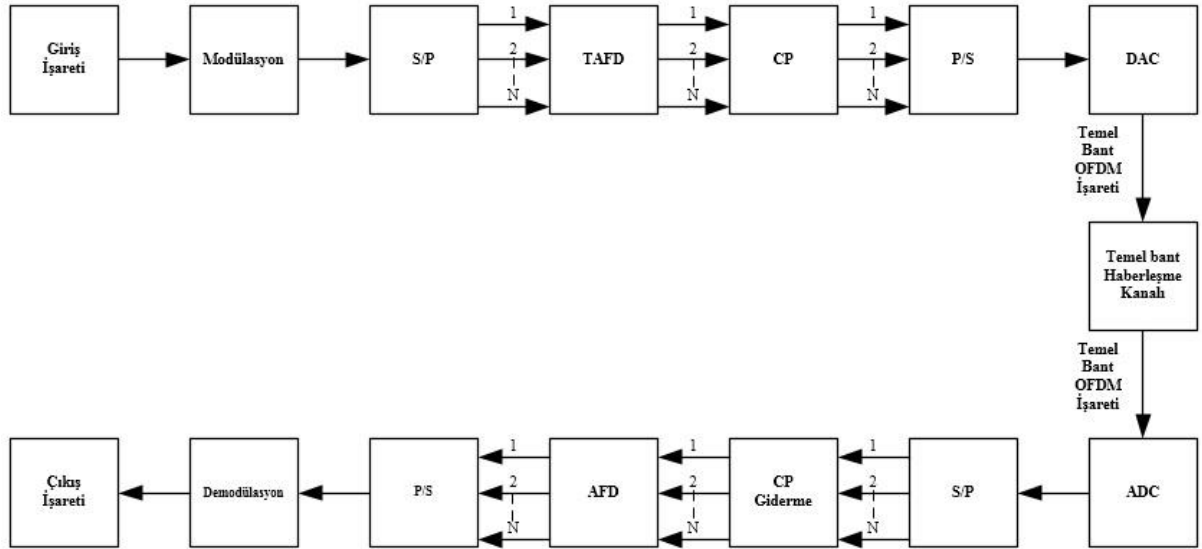
CP eklenmesi iletişim hızını da etkilemektedir. Bir veri paketi gönderildiğinde $N+L$ sembol süresi harcanmakta fakat N sembol gönderilmektedir. Bu sebeple iletişim hızı verimi aşağıdaki gibi olur:

$$\eta = N / (N + L) \quad (3.10)$$

L'nin artmasıyla iletişim hızı verimi düşer.

3.4 OFDM BLOK DİYAGRAMI

OFDM Bloğunda ilk olarak 1 ve 0'lerden oluşan sayısal giriş verisi temel bant modülasyona tabi tutulur. Sonra S/P dönüşümü uygulanır. Daha sonra TAFD işlemi uygulanarak ayrıık OFDM sembolleri zaman boyutunda elde edilirler. SAK engellemek için KB belirlenmesi gerekmektedir. KB, CP kullanılarak oluşturulur. İşaret kanaldan iletilmeden önce seri bit dizisi olarak DAC'ye gönderilir. Sayısal veri DAC vasıtasıyla analog işarete çevrilerek haberleşme kanalına gönderilir. Alıcıya gelen veri önce ADC ile tekrar sayısala çevrildikten sonra, S/P dönüşümü uygulanır. Kanal etkisi ortadan kaldırmak için CP giderilir. AFD uygulanarak temel bant modüleli semboller geri elde edilir. P/S dönüşümü sonrasında demodüle edilen işaret seri 1/0 dizisine dönüştürülür. Şekil 3.7'de anlatılanların şemasal gösterimi mevcuttur:



Şekil 3.7 OFDM sistemi blok diyagramı.

3.5 OFDM AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

OFDM Tekniği aşağıdaki avantajlara sahiptir.

- Toplam hız sabit olmak üzere veri akışı daha düşük hızlı alt taşıyıcılar üzerinden iletilmektedir.
- Alt taşıyıcılar frekans tayfında üst üste binerek bant genişliği daha verimli kullanılır.
- Çevrimsel ön ek kullanılarak semboller arası girişim yok edilmektedir.
- Alt taşıyıcılar için sembol süresi artmaktadır.
- Sistem frekans seçici sönmülemeye veya dar bant girişime karşı daha dayanıklı hale gelmektedir.
- AFD ve TAFD gibi etkili sayısal teknikler uygulanabilmektedir.

OFDM tekniğinin dezavantajları ise aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- Sistem taşıyıcı frekans kaymalarına karşı hassastır.
- TAFD çıkışı gürültü benzeri yüksek bir işarete sahip olduğundan yüksek tepe ortalama güç oranı mevcuttur.
- Alıcıda senkronizasyon problemi vardır.
- Doğrusal olmayan kuvvetlendiriciler kullanıldığında OFDM sinyalinin dikgenliği bozulmaktadır.

BÖLÜM 4

KABLOSUZ HABERLEŞME KANALI

Sayısal kablosuz haberleşme kanallarında vericiden gönderilen işaret alıcıya atmosferde iletilir. Bu ortamda işarete gürültü, yansıma, kırılma, saçılma gibi çeşitli bozucu etkiler yansır. İletilen işaret doğrudan alıcıya ulaşabileceği gibi binalardan, dağlardan, açık alandaki duvarlardan yansiyabilir ve kırılabilir. Ağaçlar ve diğer bitki örtüsü arasından ise saçılabilir. Bu ortamda işaret yayılım ortamında zamanda gecikmeli olarak alıcıya ulaşır. Zaman gecikmesi alıcı ile verici arasındaki ortamın yapısından veya birbirlerine karşı bağıl hareket ve konumlarından dolayı ortaya çıkar. Kablosuz haberleşme ortamı zamanla değişen filtre ile modellenebilir (Rappaport 2002). İşaret farklı yollardan ilerlerken, işaretin çok yollu bileşenleri farklı faz konumuna sahiptir. Alıcının girişinde toplanan çok yollu bileşenlerden zıt fazlı olanlar birbirlerinin etkilerini zayıflatır. Bu durum sönümlenme olarak adlandırılır. Sönümlenmeye bağlı olarak iletilen işaret genliğinde ve fazında önemli değişimlere uğrayarak alıcıya ulaşır. Kullanılan bant genişliğine göre kanal frekans seçici ya da düz sönümlenme etkisi gösterebilmektedir.

4.1 TBGG KANAL

Bir haberleşme kanalının matematiksel olarak modellenmesinde kullanılan en basit model TBGG modelidir. TBGG'yi oluşturan elektronik devreler ve iletkenlerdeki elektronların hareketleriyle oluşan ısı gürültüdür. Bu modelde iletilecek sinyal $s(t)$, TBGG'yi temsil eden $n(t)$ tarafından bozuluma uğrar. Alınan işaret $r(t)$ aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$r(t) = s(t) + n(t) \quad (4.1)$$

TBGG modelindeki $n(t)$ bir rasgele süreçtir. Tüm frekanslarda sabit $N_0/2$ güç yoğunluğuna sahiptir, bu yüzden beyaz süreç olarak isimlendirilir. $n(t)$ rasgele sürecinin zaman boyutundaki her bir örneğinin genliği Gauss olasılık yoğunluk fonksiyonuna sahiptir. Bu

gürültü örnekleri birbirlerinden bağımsızdır Dolayısıyla kendi öz ilintileri ideal olarak dürtü işaretidir. Bu sebeple TBGG örneklerinin tüm frekans bileşenleri eşit güç yoğunluğu $N_0/2$ 'ye sahiptir. Sıfır beklenen değerli Gauss gürültüsü n olarak tanımlanırsa olasılık yoğunluk fonksiyonu, aşağıdaki $p(n)$ ile ifade edilir.

$$p(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(\frac{-n^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4.2)$$

Burada σ^2 beyaz gürültünün varyansdır ve

$$\sigma^2 = \frac{N_0}{2} \quad (4.3)$$

ile tanımlanır.

4.2 SÖNÜMLEMELİ KANAL

İdealde alıcı ile verici arasında iletilen sinyalin TBGG kanalında geçtiği düşünülür ve Gauss gürültü örnekleri istatistiksel olarak bağımsız olduğundan semboller arası girişim yoktur. Fakat gerçekte sinyal çoklu iletim ortamında alıcıya ulaşır. Alınan işaret zaman gecikmesine uğrar, bu durumun frekans boyutunda karşılığı sönmülemedir.

Sönmülemde iki farklı analiz mevcuttur. İletilen işaretin zaman dağılımına göre veya kanalın zaman değişimine göre sönmülemeyi analiz edilebilir. Bu analizler zaman ve frekans boyutunda açıklanabilir. Kanalın zaman değişimine göre; sönmülenme derecesi hızlı veya yavaş sönmüleme olarak belirlenebilir. İşaret dağılımına göre; sönmüleme derecesi frekans seçici veya düz (frekans seçici olmayan)sönmüleme olarak belirlenebilmektedir.

Sönmülemeli kanallarda karmaşık notasyon kullanarak iletilen sürekli zaman işaret

$$s(t) = \text{Re}\{g(t)e^{j2\pi f_c t}\} \quad (4.4)$$

ile ifade edilir.

Burada f_c , taşıyıcı frekansdır. $g(t)$ temel bant dalga formudur ve $s(t)$ 'nin karmaşık zarfidır.

$$g(t) = |g(t)|e^{j\phi(t)} = R(t)e^{j\phi(t)} \quad (4.5)$$

ile ifade edilir.

$R(t)$, $g(t)$ 'nin zarf genliğidir, $\phi(t)$ ise fazıdır. Faz ya da frekans modülasyonlu işaretlerde $R(t)$ 'nin $1/f_c$ ile karşılaştırıldığında çok yavaş değişeceği için, $R(t)$ sabit ve 1 kabul edilir (Sklar 2001).

Sönümlenmeli kanallarda alıcıda alınan işaret ise aşağıdaki gibi modellenir:

$$r(t) = s(t) * h(t) + n(t) \quad (4.6)$$

Burada $h(t)$ kanalın karmaşık sönümleme katsayısı, $*$ ise konvolüsyon işlemidir. $h(t)$

$$h(t) = \alpha(t)e^{j\theta(t)} \quad (4.7)$$

ile modellenir. Burada $\alpha(t)$ ifadesi $h(t)$ 'nin zarfi, $\theta(t)$ ise fazıdır. $\alpha(t)$ haberleşme kanalının yapısına göre farklı olasılık yoğunluk fonksiyonuna sahip rasgele süreçtir. Haberleşme sistemlerinde $\alpha(t)$ 'yi modellemek için en çok kullanılan olasılık yoğunluk fonksiyonları Rayleigh ve Rician dağılımlarıdır. $\theta(t)$ ise $[0, 2\pi]$ aralığında tekdüze (uniform) dağılımlı rasgele süreçtir.

4.2.1 Frekans Seçici Sönümleme

Sönümlenmeli bir kanala bir darbe işareti radyo kanalına gönderildiğinde alıcıda ilk alınan sinyal ile son alınan sinyal arasındaki zamansal farka maksimum zaman gecikmesi denilir ve T_m ile gösterilir. Kanal evre uyumlu band genişliği ise kanalın iletilen işareti eşit kazançta ve doğrusal fazda geçirdiği frekans bantıdır. Kanal evre uyumlu bant genişliği B_c ile ifade edilir. B_c ile T_m arasında aşağıdaki ilişki mevcuttur:

$$B_c \approx \frac{1}{T_m} \quad (4.8)$$

İletilen işaretin bant genişliği, kanalın evre uyumlu bant genişliğinden büyükse bu kanal frekans seçici sönümlenmeli bir kanaldır. Bu durumda kanal, iletilen işaretin band genişliğinden daha dar bir frekans bandında sabit kazanç ve doğrusal faz yanıtına sahiptir.

Frekans seçici sönümle alınan sinyalde farklı frekanslarda farklı zayıflamalara yol açar. Fakat frekans seçici sönümleme sadece orijinal sinyali frekans ve zaman boyunda bozmaz, aynı zamanda ciddi semboller arası karışıma neden olur (Chen and Guizani 2006). Semboller arası karışım, çok yollu kanaldan kaynaklanan maksimum zaman gecikmesinin iletilen sembolün periyodunu geçmesinden kaynaklanır. Frekans seçici kanalda iletilen sembol periyodu T_s ile maksimum zaman gecikmesi T_m arasında

$$T_s < T_m \quad (4.9)$$

eşitsizliği mevcuttur.

4.2.2 Düz Sönümleme

Kablosuz haberleşme kanalında iletilen bir işaretin bant genişliği kanalın evre uyumlu bant genişliğinden çok çok küçükse ve haberleşme kanalı, işaretin bant genişliğinden daha büyük bir frekans bandında sabit kazanç ve doğrusal faz yanıtına sahipse kanal düz sönümleme etkisi gösterir. Bu durumda iletilen işaretin sembol süresi maksimum zaman gecikmesinden büyüktür ($T_s > T_m$).

Düz sönümlenmeli kanalda, evre uyumlu bant genişliğinin işaretin bant genişliğinden çok büyük olmasından ötürü gönderilen sinyalin tüm frekansları kanal tarafından aynı etkiye maruz bırakılırlar. Fakat alınan sinyalin gücü, çok yollu etkinin neden olduğu kanal kazanç dalgalanmasından dolayı zamanla değişecektir.

İletin işaretin sembol süresi maksimum zaman gecikmesinden çok uzun olduğundan SAK gerçekleşmez dolayısıyla sembollerin gecikmiş kopyaları bir sonraki sembolle örtüşmez. Düz sönümlenmeli kanal iletilen işarete derin sönümlemeye neden olabilir. Derin sönümlemeden

kaynaklanan güç kaybını telafi etmek için gönderilen işaretin gücü 20-30 dB kadar kuvvetlendirilerek alıcıya iletilmelidir (Chen and Guizani 2006).

4.2.3 Rayleigh Sönümlenme

Kablosuz haberleşme kanalında direk görüş hattının bulunmadığı durumlarda, yansıma, kırılma ve saçılma nedeniyle diğer yollardan gelen sinyaller alıcı girişinde birleşir. Bileşke sinyal karmaşık Gauss rasgele değişkeni olacaktır. Alınan bileşke sinyal çok sayıda düzlem dalgalardan oluşacaktır (Stüber 2000). Kanalı temsil eden karmaşık sönümlenme katsayısı

$$h(t) = h_r(t) + jh_o(t) \quad (4.10)$$

olur. Karmaşık zarfın genliği $\alpha(t)=|h(t)|$ ile ifade edilir. Direk görüş hattının olmaması durumunda $h(t)$ 'nin gerçekte ve sanal bileşenleri sıfır beklenen değerli Gauss sürecidirler. Bu durumda karmaşık kanal katsayısının zarfı $\alpha(t)$ aşağıda verilen Rayleigh olasılık dağılımına sahiptir:

$$p(\alpha) = \frac{\alpha}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{\alpha^2}{2\sigma^2}\right), \quad 0 \leq \alpha < \infty \quad (4.11)$$

Burada σ^2 'dik bileşenlerin yani sıfır beklenen değerli gerçekte ve sanal bileşenlerin varyansdır. Rayleigh dağılımının ortalama değeri

$$E[\alpha] = \int_0^{\infty} \alpha \cdot p(\alpha) d\alpha = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cong 1.2533\sigma \quad (4.12)$$

olur.

Rayleigh dağılımının varyansı ise

$$\begin{aligned}\sigma_a^2 &= E[\alpha^2] - E^2[\alpha] = \int_0^{\infty} \alpha^2 \cdot p(\alpha) d\alpha - \frac{\sigma^2 \cdot \pi}{2} \\ &= \sigma^2 \left(2 - \frac{\pi}{2} \right) \cong 0.4292 \sigma^2\end{aligned}\quad (4.13)$$

eşitlikleriyle bulunmaktadır.

4.2.4 Kanal Denkleştirme

Vericiden alıcıya gönderilen işaret düz sönümlenmeli kanalda da değişime uğrar. İletilen sembollerin alıcıda geri elde edilebilmesi gerekir. Sembollerin kestiriminin yapılabilmesi için iletilen alt taşıyıcıların genliklerindeki zayıflama ve fazlarındaki değişime göre diğer alt taşıyıcılarla gelen işaretlerin genliklerinin ve fazlarının düzeltilmesi işlemine frekans bölgesinde kanal denkleştirme denilir.

Haberleşme kanalının frekans seçici spektral bileşenlerini düzeltirmek için doğrusal denkleştirme yapılmaktadır. Kanalın frekans seçiciliğini ortadan kaldırmak ve kanalın neden olduğu SAK etkisini iptal etmek, doğrusal denkleştirmenin iki önemli özelliğidir. Yapılan çalışmada Rayleigh sönümlü kanal için bir doğrusal denkleştirme yöntemi olan sıfıra zorlayan denkleştirme kullanılmıştır.

Doğrusal denkleştirici, ayarlanabilir katsayı adımlı filtreden oluşmaktadır. Denkleştiricinin katsayı adımları c sütun vektörüyle ifade edilmektedir. $c = (c_0, c_1, c_2, \dots, c_{N-1})^T$ eşitliği vardır. N denkleştirici adımlarının sayısını göstermektedir.

Doğrusal sistemlerde uyumlu filtrenin çıkışındaki örneklenmiş işaret dizisi y_n ile gösterilirse; denkleştiricinin çıkışı;

$$\tilde{x}_n = \sum_{j=0}^{N-1} c_j y_{n-j} \quad (4.14)$$

olur.

\tilde{x}_n denkleştirme çıkışıdır. \hat{x}_n denkleştirme çıkışının kestirimini tanımlarsa, \hat{x}_n kestirim vektörü, \tilde{x}_n denkleştirme çıkışının en yakın bilgi sembolüne nicemlenmesiyle elde edilir (Stüber 2000).

Haberleşme kanal vektörü $g(n)=(g_n, g_{n-1}, g_{n-2}, \dots, g_{n-N+1})^T$ ile tanımlanır. Bu vektörün bileşenleri g_i ; L haberleşme kanalının uzunluğunu belirtmek üzere $0 < i < L$ durumunda sıfırdır.

Ayrık zamanlı TBGG ve denkleştirici iletilen işarete tek bir filtre etkisi göstermektedir. Bu durum dikkate alındığında, denkleştirilmiş kanal vektörü $q=(q_0, q_1, q_2, \dots, q_{N+L-1})^T$ olarak tanımlanmaktadır. Sıfıra zorlayan denkleştirme işleminde istenen denkleştirilmiş kanal vektörü ise $\hat{q}=(\hat{q}_0, \hat{q}_1, \hat{q}_2, \dots, \hat{q}_{N+L-1})$ olarak ifade edilir. Burada q denkleştirilmiş vektörü, g denkleştirilmemiş kanal vektörü ile c denkleştirici katsayı adım vektörünün ayrık konvolüsyonudur. Dolayısıyla q'nun her bir bileşeni q_n bulunurken,

$$q_n = \sum_{j=0}^{N-1} c_j g_{n-j} = c^T g(n) \quad (4.15)$$

eşitliği mevcuttur.

Sıfıra zorlayan denkleştirmede D_p denkleştirilmiş kanalın tepe bozunumunu ifade etmek üzere, D_p 'yi minimum düzeyde tutacak c adım katsayılarının seçilmesi gerekmektedir. q_d , q vektörünün gecikme bileşeni olması ve d iletimdeki gecikmeyi göstermesi itibariyle, D_p 'yi bulabilmek için;

$$D_p = \frac{1}{|q_d|} \sum_{\substack{n=0 \\ n \neq d}}^{N+L-1} |q_n - \hat{q}_n| \quad (4.16)$$

matematiksel işlemi çözümlenmelidir.

Mükemmel denkleştirme e_d ile ifade edilir. Şayet,

$$\hat{q} = e_d = \underbrace{\{0, 0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0\}^T}_{d-1 \text{ adet sıfır}} \quad (4.17)$$

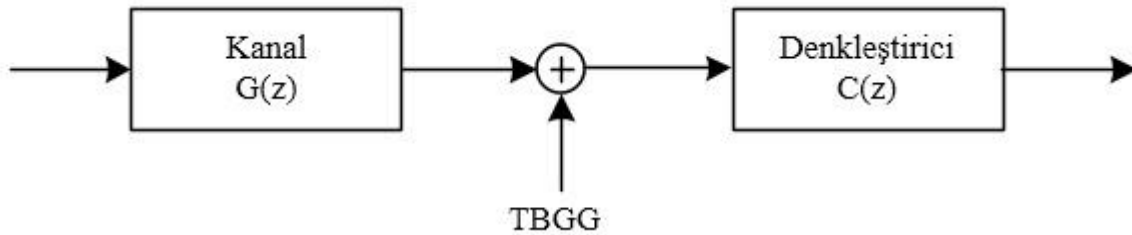
olması isteniyorsa böyle bir denkleştirme sıfıra zorlayan denkleştirme olarak adlandırılır.

Sonsuz sayıda denkleştirme adımı uygulanırsa, $q = \hat{q}$ olmakta ve bu sebeple $D_p=0$ olacağı açıktır. Bu durumda; $Q(z)$ istenen denkleştirilmiş kanalın Z dönüşümü cevabı, $C(z)$ kanal denkleştiricinin Z dönüşümü yanıtı ve $G(z)$ haberleşme kanalının Z dönüşümü yanıtı olmak üzere sıfıra zorlayan denkleştirmede,

$$Q(z) = C(z).G(z) = 1 \Rightarrow C(z) = \frac{1}{G(z)} \quad (4.18)$$

eşitliği mevcuttur.

Bu durum frekans bölgesinde, sıfıra zorlayan denkleştirme çıkışının, alınan işaretin kanalın frekans etkisine bölümüyle elde edildiğini gösterir. Şekil 4.1'de sıfıra zorlayan denkleştirme blok diyagramı gösterilmiştir. $x[n]$ giriş vektörü kanaldan geçmekte ve daha sonra TBGG gürültüsü üzerine binmektedir. Denkleştirme sonucundaysa \hat{x}_n kestirim vektörü bulunmaktadır.



Şekil 4.1 Sıfıra zorlayan denkleştirme blok diyagramı.

BÖLÜM 5

OFDM-QPSK SİMÜLASYONU

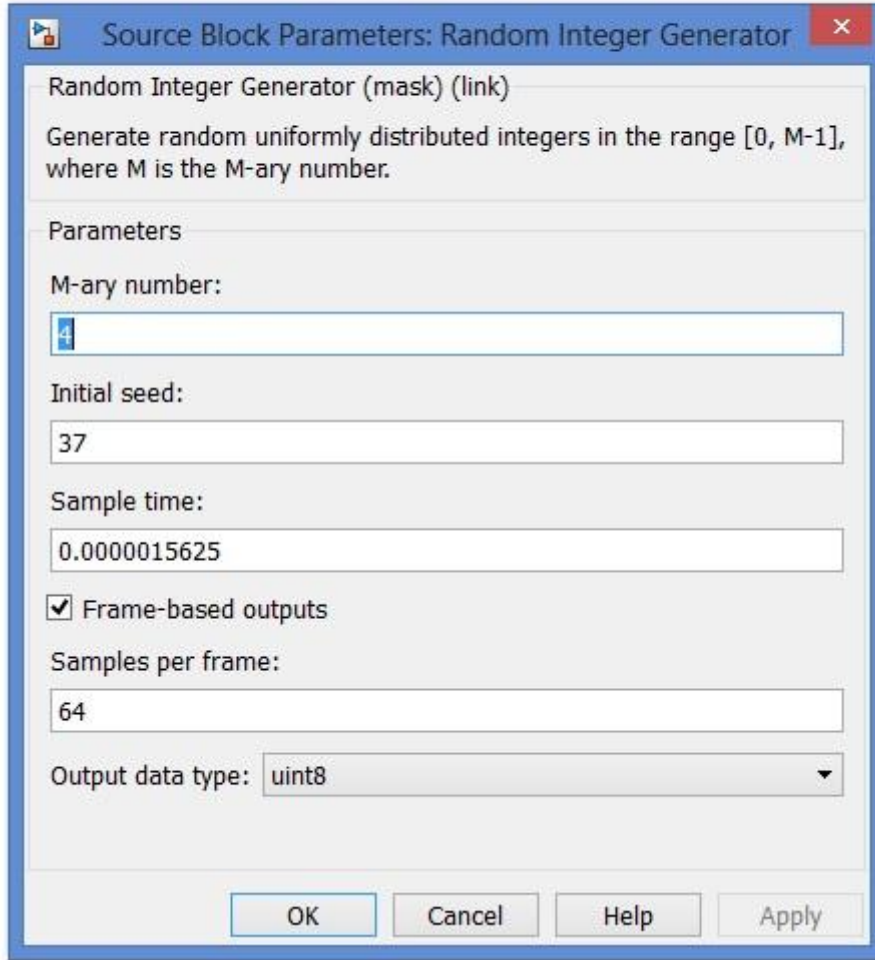
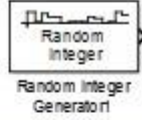
5.1 GİRİŞ

OFDM-QPSK Simülasyonu Matlab 2013a Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. BHO'nun 10^{-4} değeri ile sistemi gerçekleştirebilmek için, saniyede 10000 OFDM sembolü kullanılmıştır. Her bir sembol 64 adet OFDM alt kanallarında iletim yapan verici-alıcı sisteminde tasarlanmıştır. Toplamda sistem saniyede 1280000 bit veri işleme hacmine sahiptir. Sayısal Modülasyon olarak her biri 2 bit veri taşıyan QPSK temel bant modülasyonu kullanılmıştır. İşarete modülasyondan sonra CP eklenmiştir. Teorik olarak verici ile alıcı arasında Rayleigh Kanalın mevcut olduğu ve kanalda iletilen işarete TBGG eklendiği düşünülmüştür. Alıcıda demodülasyon yapıldıktan sonra CP kaldırılmış ve AFD ile frekans uzayına geçildikten sonra kanal denkleştirici kullanılarak kanal etkisi yok edilmiştir. Alıcıdan alınan işaret ile vericinin girişindeki işaret arasında bit hata analizi yapılmıştır. Sırasıyla 5dB aralıklarla 0 ile 35dB İGO (Bit düzeyinde) göre sistemde elde edilen BHO'lar karşılaştırılarak simülasyon ve teorik sonuçlar çizdirilmiştir.

5.2 OFDM SİMULİNK BLOKLARI

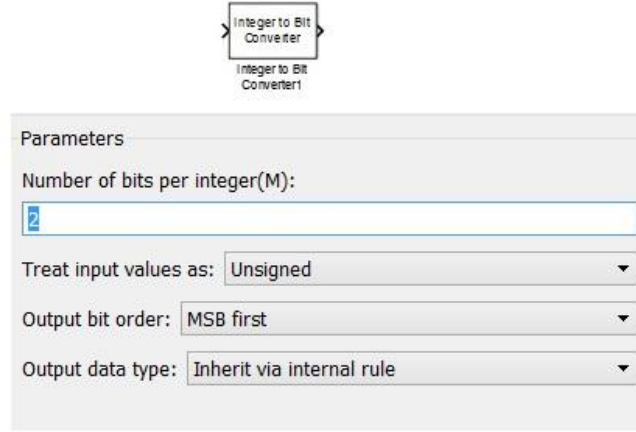
5.2.1 Rasgele Bit Üretici

Rasgele Sayı Üreticinde bitler çerçeve temelli olarak üretilmesi amaçlandı. Bu sebeple ilk olarak tamsayı üretici ile tamsayı veriler üretildi. Bu tamsayı veriler 1 saniyede 10000 OFDM sembolünü ifade etmektedir. Her bir sembol bir çerçeve olarak düşünülürse, bir sembol 64 adet OFDM alt kanalı kullanılacağı için 64 adet tamsayı örnekten oluşmaktadır. Dolayısıyla rasgele tamsayı üreticinin $1/10000/64 = 1.5625 \times 10^{-6}$ saniye örnekleme zamanında tamsayı üreterek tamsayıdan oluşan paketleri bit dönüştürücüye göndermesi gerekmektedir. Simulink ortamında rasgele tamsayı üretici ve gerekli üreteç parametreleri Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Rasgele tamsayı üretici ve simulink parametreleri.

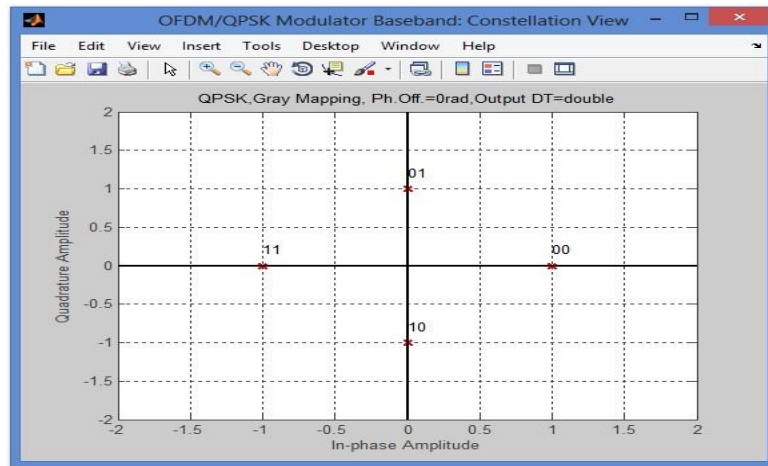
Üretilen tamsayılar OFDM alt kanallarında QPSK Sembol kullanıldığında 2 bitlik veriler öngörüldüğünden 0 ile 3 arasında düzgün dağılımlı olmalıdır. Rasgele üretilen veriler 0 ile 3 arasında olacaktır. Tamsayıdan bite dönüştürücü çıkışında her bir örnekleme zamanında 2 bit olmak üzere bir OFDM sembol iletiminde $2 \times 64 = 128$ bit veri iletilecektir. Simulinkde tamsayıdan bite dönüştürücü bloğu ve parametreleri Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Tamsayıdan bit dönüştürücü ve parametreleri.

5.2.2 QPSK Modülasyonu ve Seri/Paralel Dönüşüm

Veriler paralel taşıyıcılara göndermek için taşıyıcılar için gerekli genlik ve faz bilgilerini kullanacak olan QPSK Modülasyon bloğuna iletilir. Modülasyon bloğunda bit giriş verileri, gray kodlama sıralamasına göre faz ofset değeri sıfır olmak üzere yıldız kümesinde Şekil 5.3'deki gibi yerleştirilmiş olmalıdır.



Şekil 5.3 Simulink QPSK bloğunda yıldız kümesi gösterimi.

QPSK ile bulunan karmaşık veriler seri şekilde dizilmiştir. QPSK Modülatör bloğundan sonra seriden paralele dönüştürücü bloğu ile 64 adet taşıyıcıda paralel olarak iletilir.

5.2.3 CP Fonksiyonu

Paralel olarak iletilen her biri 64 birim uzunluğundaki karmaşık veri dizileri TAFD bloğuyla zamansal dizilere aktarılır. Bu paketlere 16 birim uzunluğundaki Rayleigh Kanalı etkisi yansıdığı düşünülmektedir. Bu sebeple koruma aralığı olarak sondaki 16 birim paketin başına eklenir ve kanala girmeden önce veri dizileri 80 birim uzunluğunda olmaktadır.

5.2.4 Rayleigh Kanal İle Konvolüsyon Bloğu

OFDM İşaretiyle Rayleigh Kanalı konvolüsyonu simulink içerisine Matlab fonksiyonu yazılarak oluşturulmuştur. Kanal; Rayleigh dağılımlı karmaşık yapıdaki 16 adet veri dizisini oluşturacak şekilde $1/\sqrt{2}(\text{randn}(1,16)+j\text{randn}(1,16))$; biçimindeki matlab ifadesiyle modellenmektedir. Burada $\text{randn}(1,16)$ komutuyla Gauss dağılımlı rasgele 16 adet veriden oluşan dizi üretmektedir. sqrt matlab hazır fonksiyonu ise fonksiyon parametresi olacak reel sayının kare kökünü almaktadır. Modellenen Rayleigh kanal; CP eklenmiş 80 birimlik dizi ile konvolüsyon yapıldığında her bir OFDM sembolü 95 birim olarak elde edilmektedir.

5.2.5 Kanalda Yayılan Veriye Beyaz Gauss Gürültüsünün Eklenmesi

OFDM sembol dizisine Beyaz Gauss Gürültüsü eklenmektedir. Bu sebeple TBGG fonksiyon bloğu oluşturulmuştur. Desibel düzeyinde İGO değerine göre hesaplanan standart sapma, rasgele elde edilen Beyaz Gauss Gürültüsü ile çarpılmaktadır ve bu bulunan sonuç dizisi, kanaldaki alıcıya gönderilen veriye eklenmektedir. Farklı İGO değerlerine göre simülasyon sonuçları bulunurken, bu İGO ifadelerine göre elde edilen standart sapmalar gürültüyü etkilemekte ve BHO sonuçlarını değiştirdiği görülecektir.

5.2.6 CP Kaldırılması

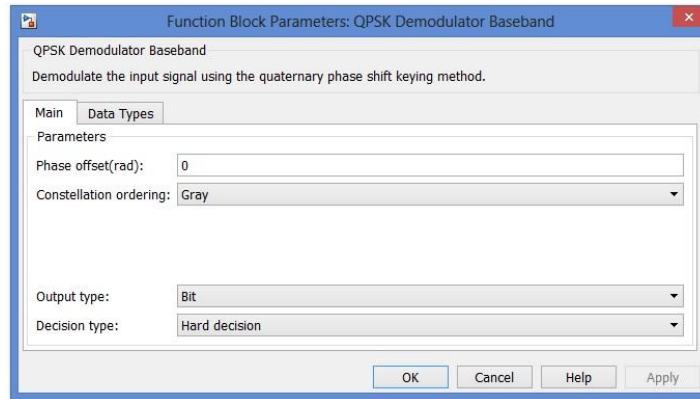
Alıcıda koruma bandı aralıkları seçilmeyerek 64 birimlik veri aralığı seçilir. Bu sebeple 95 birimlik gürültülü verinin 17. ile 80. dizi aralığı seçilerek koruma aralığı için ayrılan bölgeler yok edilir.

5.2.7 Kanal Denkleştirici Fonksiyonu

Kanal Denkleştirici, demodülasyon işleminden önce kanal etkisinin giderilmesi için kullanılır. CP kaldırıldıktan sonra elde edilen veri dizisinin AFD yanıtı, kanalın frekans yanıtına bölünür. Kanal etkisi giderilen veriler Paralel/Seri Dönüşüm bloğuna iletilir.

5.2.8 Paralel /Seri Dönüşüm ve QPSK Demodülasyonu

Kanal denkleştirici çıkışındaki veri çıkışa aktarılmadan önce paralelden seriye dönüştürülür. Bunun için Seri/Paralel Dönüşüm işleminde olduğu gibi giriş sinyalinin transpozitesinin alındığı Simulink bloğu kullanıldı. QPSK Demodülasyon bloğu ise sinyal çıkışa aktarılmadan önce kullanıldı. QPSK Modülasyonundaki koşulların aynısı demodülasyon için de ayarlandı. Demodülasyon ana parametrelerinde çıkış bit olacak şekilde oluşturuldu. Şekil 5.4'te QPSK Modülator yapısı görülmektedir.

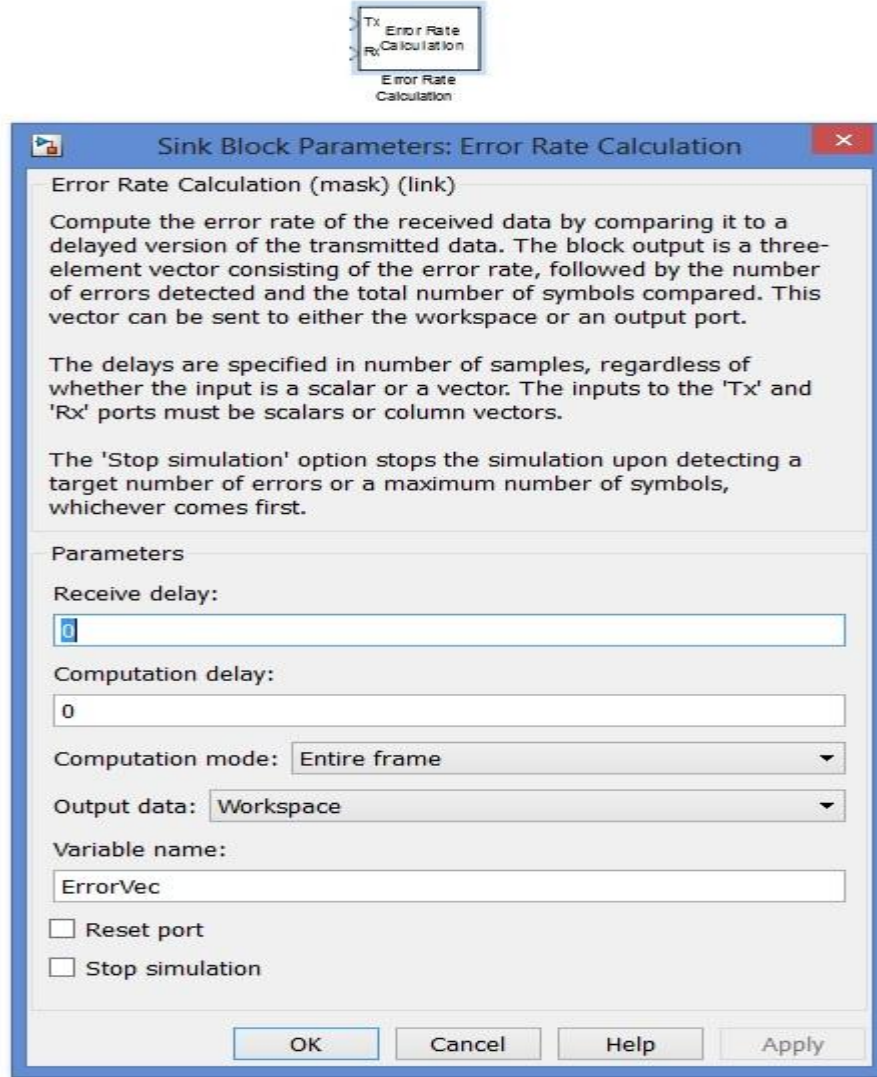


Şekil 5.4 QPSK demodülasyon ana parametreleri.

5.2.9 BHO Grafiğinin Çizdirilmesi ve OFDM Simulink Modeli

5.2.9.1 BHO Grafiğinin Çizdirilmesi

OFDM Simulink Bloğunun sonunda çıkış ile giriş arasındaki bit hata oranını çerçeve bazlı hesaplayan Bit Hata Oranı bloğu bulunmaktadır. Bu bloğun iki girişi vardır, çıkışı yoktur. Giriş ile çıkışı karşılaştırarak hata oranlarını, çıkış ile giriş arasında kaç bit hata olduğunu ve toplam kaç bit karşılaştırıldığını MATLAB Workspace'e yazdırmaktadır. Şekil 5.5'te BHO bloğu ve parametrelerine değinilmiştir.

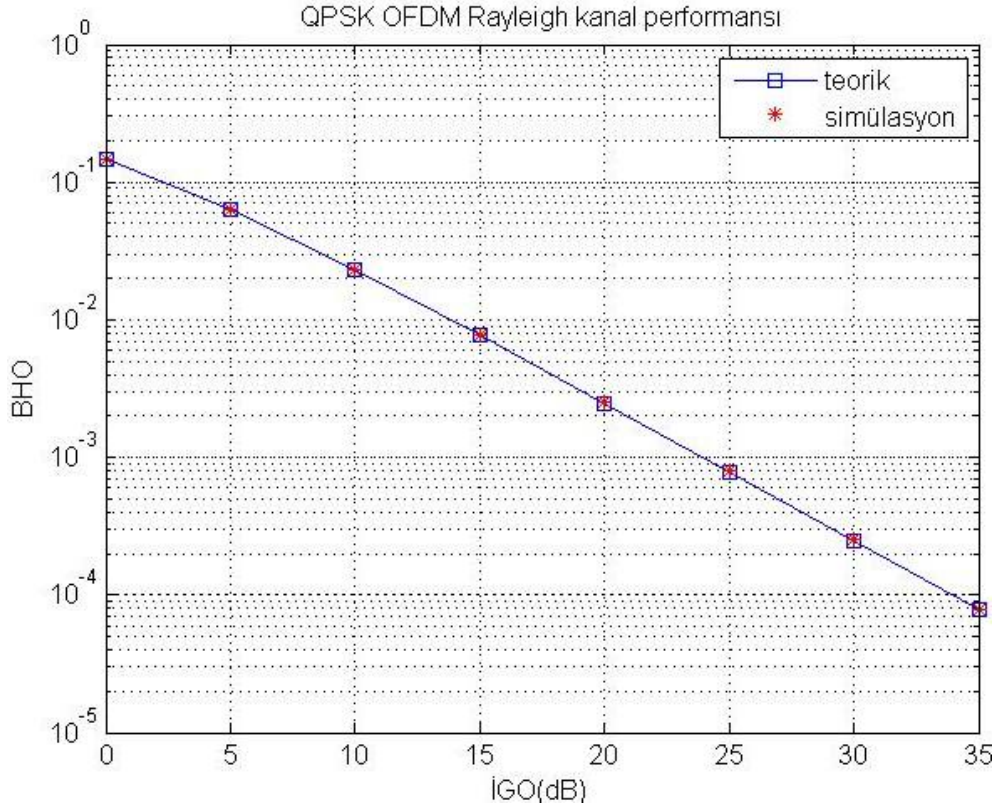


Şekil 5.5 BHO hesaplama bloğu ve ilgili parametreleri.

BHO simülasyon sonuçlarının teorik sonuçlarla karşılaştırılması gerekmektedir. ρ_b bit başına İGO'yu, P_b BHO'yu temsil etmek üzere teorikte P_b aşağıdaki denklemdeki gibi hesaplanmaktadır:

$$P_b = 0.5 \times \left(1 - \sqrt{\frac{\rho_b}{\rho_{b+1}}} \right) \quad (5.1)$$

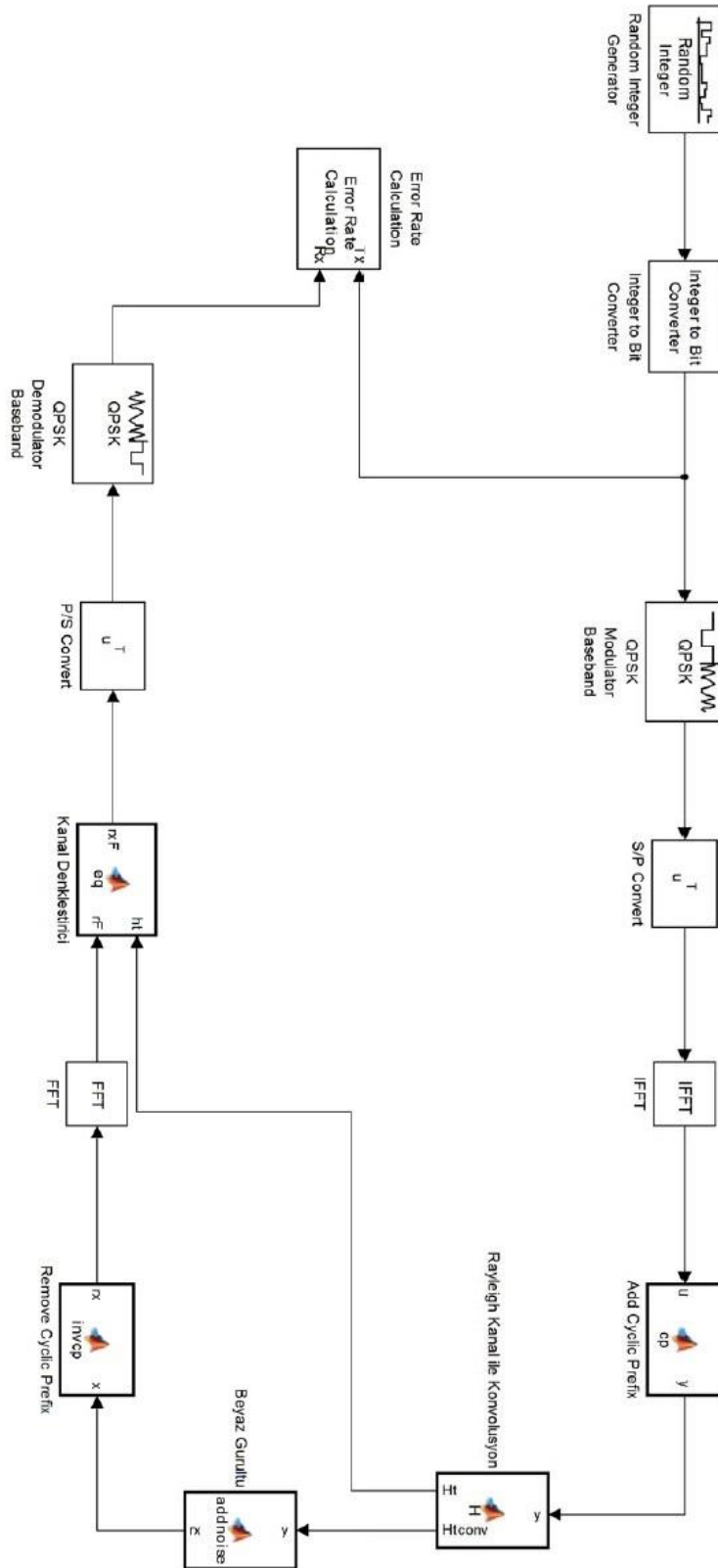
Bit başına İGO değerini 0 ile 35 dB arasında 5 dB aralıklarla teorik hata sonuçlarıyla bu OFDM Simulink modeli ile bulunan simülasyon sonuçları karşılaştırılarak Şekil 5.6'da çizilen grafikten görüleceği üzere gerçek sonuçlara minimum hatayla yaklaşılmıştır. Böylelikle kanal performans analizi yapılabilmektedir.



Şekil 5.6 OFDM TBGG ve rayleigh kanal performansı.

5.2.9.2 OFDM Simulink Modeli

Model bir saniye çalıştırıldı. Çerçeve bazlı bit üretimi yapılarak simülasyon sürecinde blokların çıkışındaki verileri gözlemleyebilmek için Workspace'e kaydedildi. BHO bloğunun iki girişi olup Tx girişi tamsayıdan bit dönüştürücünün çıkışına bağlandı, Rx girişi ise QPSK Demodülatör çıkışına bağlanıp BHO hesaplandı. Bu model bit düzeyindeki 5dB aralıklarla 0 ile 35 dB arasındaki İGO değerlerine göre tekrar tekrar çalıştırılarak BHO sonuçları kaydedildi. Daha sonra Şekil 5.6'da gösterilen simülasyon grafik sonuçları çizdirildi. Grafikten görüleceği üzere teorik ve simülasyon grafikleri birbirine çok yakın çıkmıştır. Şekil 5.7'de simülasyonun yapıldığı OFDM QPSK Simulink modeli gösterilmiştir.



Şekil 5.7 OFDM QPSK simülasyon modeli.

BÖLÜM 6

BPSK MODÜLASYONLU SES GİRİŞLİ OFDM UYGULAMALARI

6.1 GİRİŞ

Bu bölümde C6713 DSK kartı kullanılarak gerçek zamanlı ses uygulamalarının gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Kolaylık olması açısından QPSK yerine BPSK modülasyonu tercih edilmiştir.

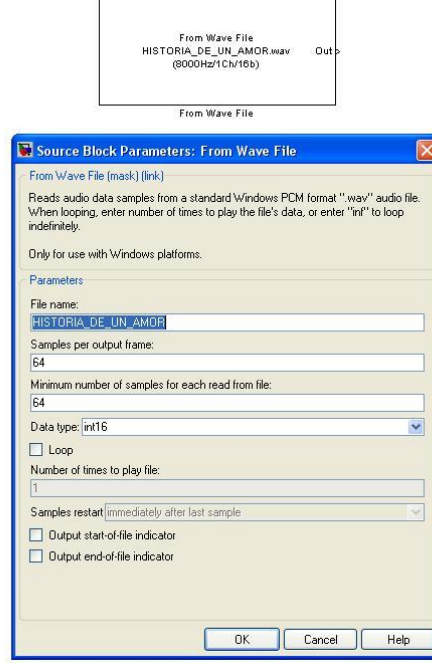
C6713DSK CCS 3.1 programı aracılığıyla programlanmaktadır. Yapılan simulink tasarımları sadece Matlab 2007a’ da yapılırsa CCS3.1’e yazılım projesi olarak dönüştürülebilmektedir. Bu sebeple proje Matlab 2007a’da yapılmıştır. İlk başta BPSK OFDM simülasyonu ses sinyali girişli ve hoparlör çıkışlı olacak şekilde tasarlanıp test edilmiştir.

Testler bittikten ses girişi ve çıkışı kaldırılıp giriş C6713ADC ve C6713 DAC blokları eklenip gerekli simulink yapılandırma değişiklikleri yapıldıktan sonra simulink model dosyası derlenince Matlab 2007a CCS 3.1 proje dosyasını otomatik oluşturmakta ve programı çalıştırmaktadır. Uygulamalar sırasıyla tanıtılacaktır.

6.2 SES GİRİŞLİ OFDM BPSK SİMÜLASYONU

6.2.1 Örnek Ses İşareti

Örnek olarak “HISTORIA_DE_UN_AMOR.wav” ses işareti girişe eklenmiştir. Bu ses sinyali 8000Hz frekansında ve her örneklemede 16 bit veri bulunmaktadır. Sinyal bloğunun yapılandırma parametreleri int16 ve çerçeve temelli çıkış üreteceği ayarlanmıştır. Her çerçeve 64 örnek olacak şekilde paketlenmiştir. Ses okuma bloğu ve yapılandırma özellikleri Şekil 6.1’de belirtilmiştir.



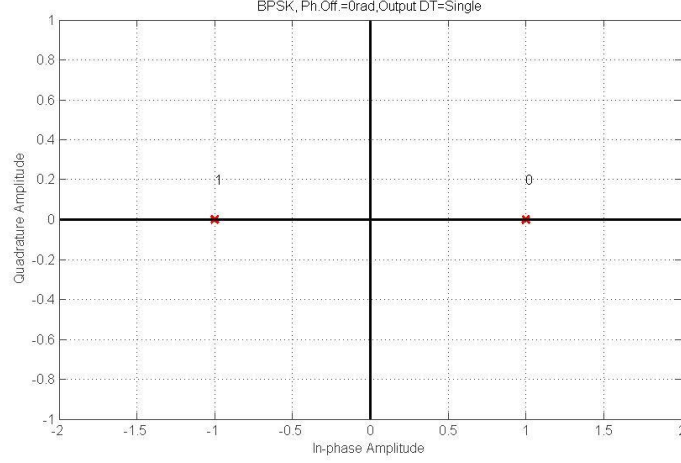
Şekil 6.1 Ses sinyali bloğu ve ilgili parametreleri.

6.2.2. Tamsayıdan Bite Dönüştürücü Bloğu

Girişten gelen 64 adet işaretli tamsayı(int16) verisi tamsayıdan bite dönüştürücüye gelmeden önce işaretsiz tamsayı değerine(uint16) dönüştürülmesi gerekmektedir. Tamsayıdan bite dönüştürücü bloğu 16 bit işaretsiz tamsayı verisini kabul etmeyeceğinden bu metoda başvurmak gerekmektedir. Her veri 16 bit değerinde olduğundan her uint16 veri tamsayıdan bite dönüştürücü bloğu vasıtasıyla 16 bit veriye dönüştürülür. Dolayısıyla her bir çerçeve 64 veriden oluştuğu için bu alt çerçeveler $64 \times 16=1024$ bit olacaktır.

6.2.3 BPSK Temel Bant Modülör Bloğu

BSPK bir bit faz modülasyonudur. Girişten gelen bite göre çıkışa karar vermektedir. Giriş 0 ise çıkış 1, giriş 1 ise çıkış -1 sonucunu vermektedir. BPSK Modülasyonu yıldız kümesi bağlantısı Şekil 6.2'deki gibi olmalıdır.



Şekil 6.2 Simulink BPSK bloğunda yıldız kümesi gösterimi.

6.2.4 BSPK Modülâtör ve Demodülâtör arası yapılan işlemler

Modülâtör çıkışında 1024'lük çerçeve verisi seriden paralele döndürülür ve TAFD'si alınır. 1024 bit veri alıcı sistemine ulaştığında ise AFD dönüşümüne tabi tutulduktan sonra iki boyutu dönüşür. Paket veri BPSK Demodülâtöre ulaşmadan önce tekrardan bir boyut olmak zorundadır. Bu sebeple veri hazır blokla bir boyuta dönüştürülür ve seri şekilde demodülâtöre yollanır. Veriler seri halinde yollanırken örnek temelli olarak demodülâtöre ayrı ayrı ulaşacaktır. Ses girişinde olduğu 1024 bit halinde demodülâtöre ulaşmalıdır. Veri tekrar çerçeve halinde demodülâtöre yollanır Bu simülasyonda kanal etkisi değerlendirilmemiştir.

6.2.5 BPSK Temel Bant Demülâtör Bloğu

BPSK Temel Bant Modülâtörü, BPSK Modülâtörünün tersi biçimde çalışmaktadır. Girişine -1 değeri gelirse çıkışa 1, 0 değeri gelirse çıkışa 1 bit aktarılmaktadır. Çıkışına konulacak bitten tamsayıya dönüştürücü bloğu uint16 girişi desteklediğinden yapılandırma parametrelerinde çıkış uint16 olarak seçilmelidir.

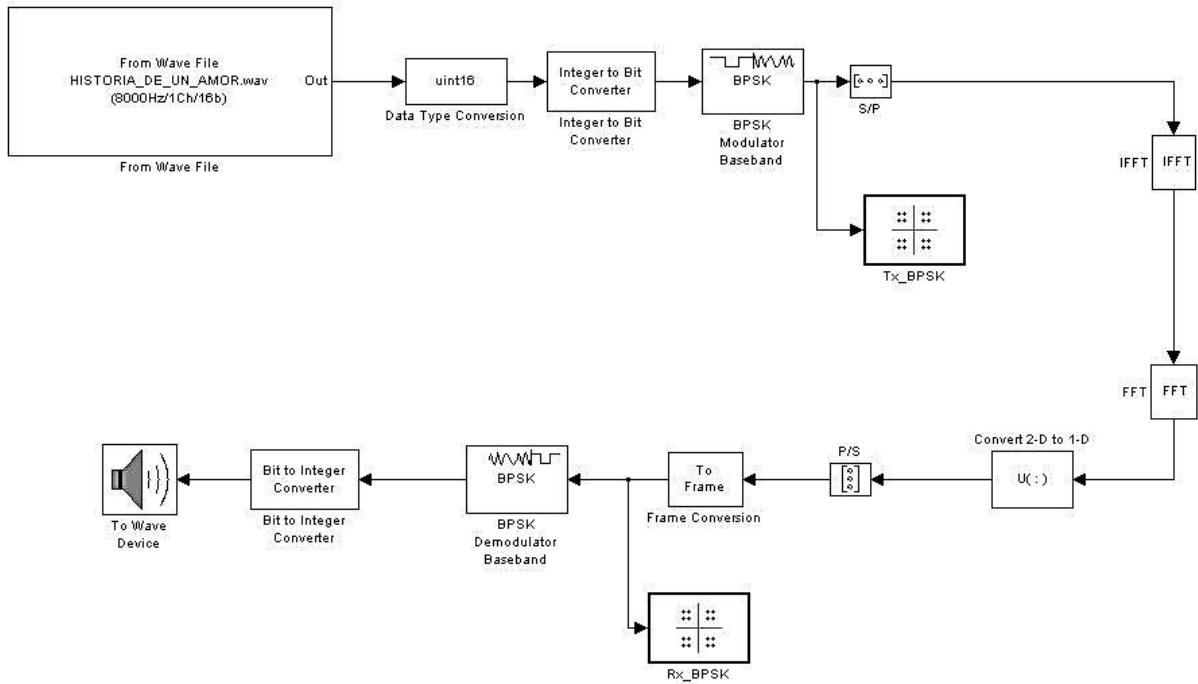
6.2.6 Bitten Tamsayıya Dönüştürücü Bloğu

Demodülâtör çıkışında veri tekrar tamsayıya dönüştürülüp veri hoparlöre gönderilmesi gerekmektedir. Bitten tamsayıya dönüştürücü her tamsayı 16 bitten oluşacak şekilde programlandı. Çıkış parametresi ise işaretli tamsayı(int16) seçilerek hoparlör bloğuna veriler

gönderildi. Girişteki ses sinyali OFDM alıcı ve verici işlemlerinde sonra bozulmadan çıkışta elde edildi.

6.2.7. OFDM BPSK Simulink Şeması

Anlatılan bloklar birleştirilerek OFDM BPSK Ses girişli simülasyon gerçekleştirilmiştir. BPSK Modülör Çıkışına ve BPSK Demodülör girişine ayırık zamanlı dağıtıcı çizimli osiloskoplar yerleştirilerek gelen her bitin verici kısmı ve alıcı kısmı osiloskoplarında Şekil 6.2' de gösterilen İşaret Yıldız Kümesinde belirtilen alanlara düştüğü saptanmıştır. Sistemde gürültü olmadığı varsayıldığı için osiloskop şekilleri Şekil 6.2' deki gibi çıkmıştır. Bölümde bahsedilen simulink projesi Şekil 6.3' te gösterilmiştir.

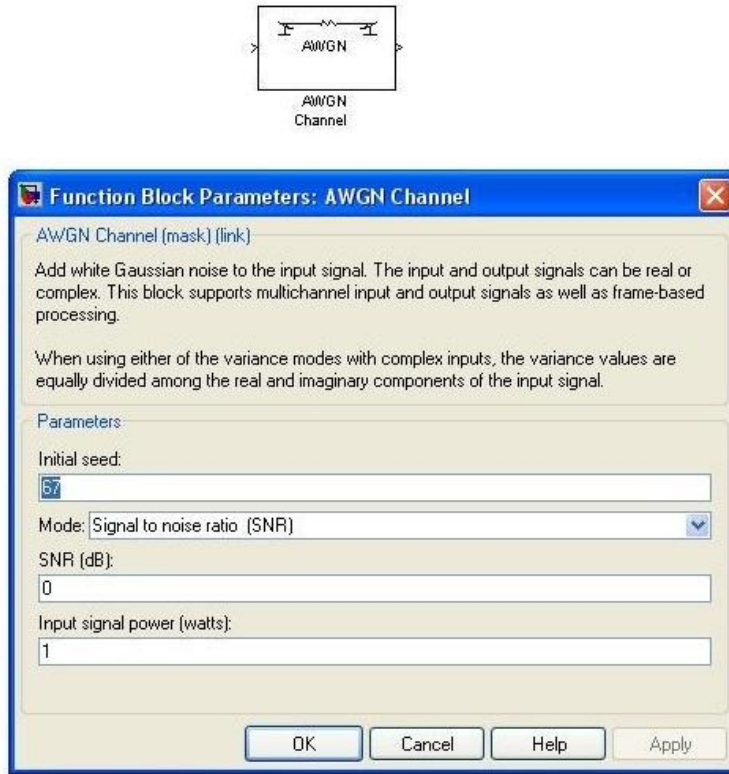


Şekil 6.3 Ses girişli OFDM BPSK simulink projesi.

6.3 TBGG KANALDA OFDM BPSK SİMÜLASYONU

6.3.1 TBGG Simulink Bloğu

Matlab Simulink Ortamında TBGG Kanal için simulink bloğu ve ilgili parametreleri şekilde gösterilmiştir. Bu blokta İGO değiştirilerek simülasyonda giriş ile çıkış bitleri arasındaki BHO karşılaştırılacaktır. Şekil 6.4'te TBGG kanalı simulink bloğu gösterilmiştir:



Şekil 6.4 TBGG kanal bloğu ve ilgili parametreleri.

6.3.2 TBGG Kanalda OFDM-BPSK Simulink Projesinin Oluşturulması

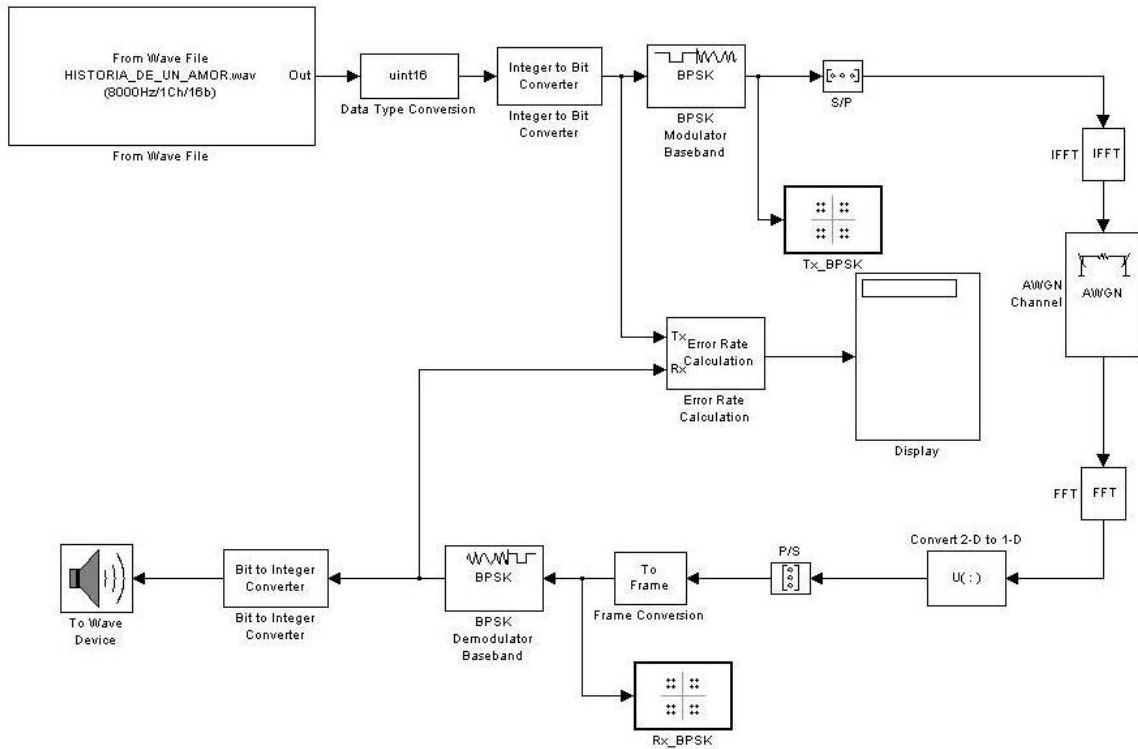
Bir önceki bölümde kanalda gürültü olmadığı farz edilerek simulink model dosyası geliştirilmiştir. Fakat gerçekte kablosuz iletişim sistemlerinde alıcı ile verici arasındaki iletim kanalındaki işarete gürültü binmektedir. Bu sebeple alıcı ile verici kısımları arasında TBGG gürültüsü olduğu farz edilip simülasyon yapılmıştır. Gürültüsüz simülasyondaki bloklar kullanılarak sadece kanal olarak TBGG bloğu eklenmiştir ve farklı decibel boyutundaki İGO değerlerine göre çıkış test edilmiştir.

TBGG Kanalda BPSK Modülasyonu kullandığında, BHO bulunurken teorik olarak BHO (6.1)'deki eşitlikle bulunmaktadır ve matematiksel ifadesi

$$P_b = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi/2} \exp\left(-\frac{\rho_b}{\sin^2(\phi)}\right) d\phi \quad (6.1)$$

şeklindedir. Bu ifadede ρ_b bit başına İGO'dur. Simülasyonda da BHO bulunarak bu teorik denklemle bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Diğer bir husus BPSK Modülör çıkışı ve BPSK Modülör girişlerine sanal osiloskoplar bağlanarak farklı İGO değerlerine göre osiloskop çıkışları gözlemlenerek yorumlanmıştır. Girişe verilen "HISTORIA_DE_UN_AMOR.wav" ses müziği 128 kb/sn örnekleme hızında olup her bir örnek veri 16 bit uzunluğunda ve mono yapıdadır.

Oluşturulan Simulink Projesi Şekil 6.5'te gösterilmiştir.



Şekil 6.5 Ses girişli TBGG kanalda OFDM BPSK simulink projesi.

6.3.3 Deneysel Sonuçlar

6.3.3.1 Sanal Osiloskop Sonuçları

Simulink projesinde BPSK Modülatör çıkışına ve BPSK Demodülatör girişine yıldız kümesini gösterecek şekilde osiloskoplar bağlanmıştır. Eğer kanal gürültüsüz olsaydı bu osiloskoplardaki sonuçlar birbirinin aynı çıkacaktı. Fakat farklı İGO değerlerine göre şekil 6.6'daki sonuçlar irdelendiğinde, düşük İGO meydana getirecek TBGG kanalında, yıldız kümesinin yüksek derecede bozulduğu ve işaret noktalarının olması gereken noktalardan gittikçe uzaklaştığı; yüksek İGO değerlerini meydana getirecek TBGG kanallarında ise yıldız kümesi gösteriminde iyileşme olduğu ve işaret noktalarının olması gereken yerlere yaklaştığı gözlemlenmiştir. Doğal olarak verici tarafında bulunan BPSK Modülatör ıkışı ideal sonuçlar vermesine rağmen, kanaldan sonra alıcı tarafta bulunan BPSK Demodülatör girişinde çeşitli İGO değerlerinde farklı sonuçlar elde edilmiştir.

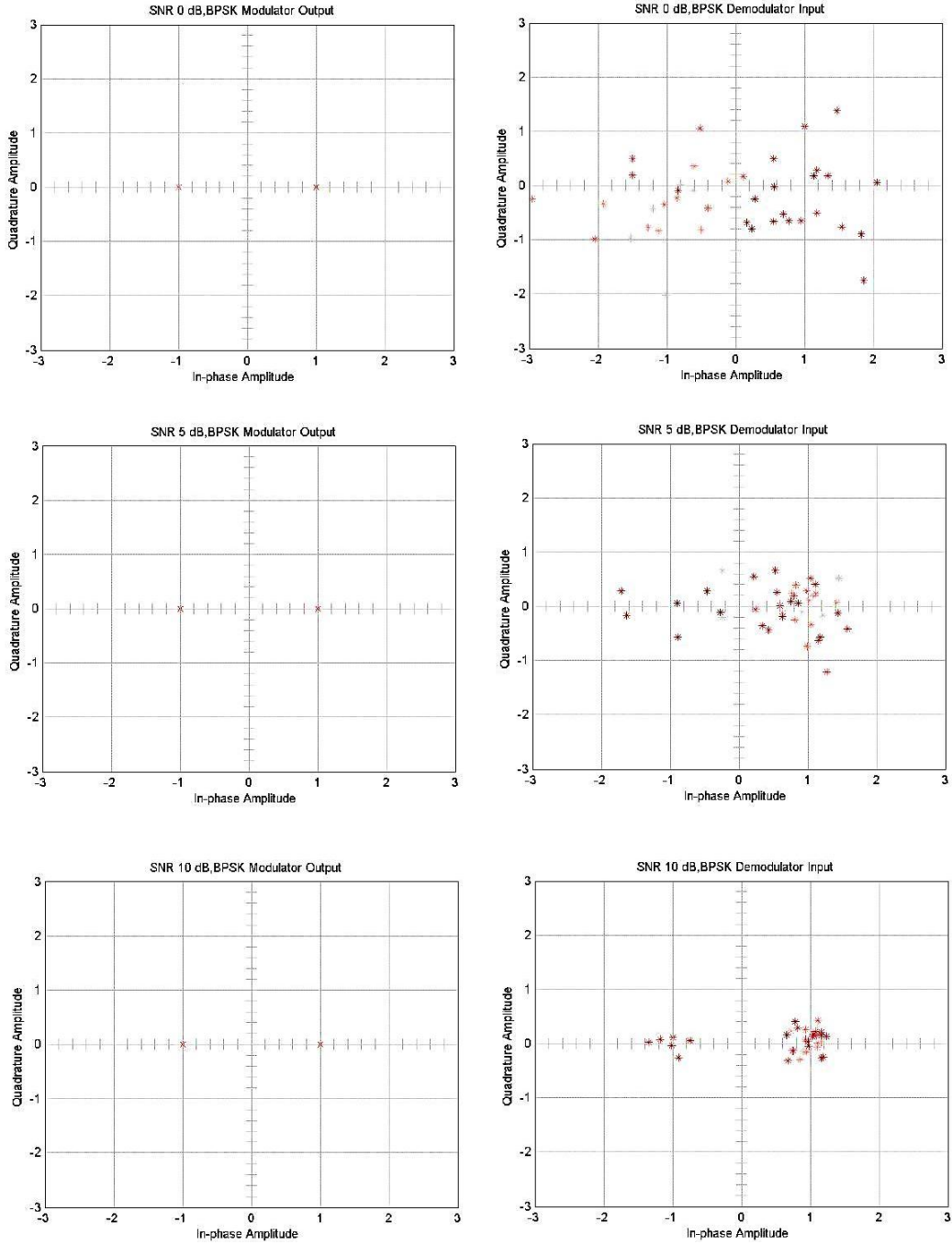
6.3.3.2 TBGG Kanaldaki Simülasyon ve Teorik BHO'ları

İGO'nun 0 ile 10 dB arasındaki 2 dB aralıklarla simülasyonda bulunan BHO'lar kaydedilmiştir. Teorik sonuçlar ise (6.1)'de yazılan eşitlikle bulunduğu açıklanmıştı. şekil 6.7'de simülasyon ve teorik BHO'lar MATLAB'da çizdirilmiştir ve bu grafikler karşılaştırıldığında simülasyon sonuçlarının teorik sonuçlarla yaklaşık olarak aynı çıktığı gözlemlenmiştir.

6.4 RAYLEIGH SÖNÜMLÜ KANALDA OFDM BPSK SİMULASYONU

6.4.1 Rayleigh Sönümlmeli Kanalda OFDM-BPSK Simulink Projesinin Oluşturulması

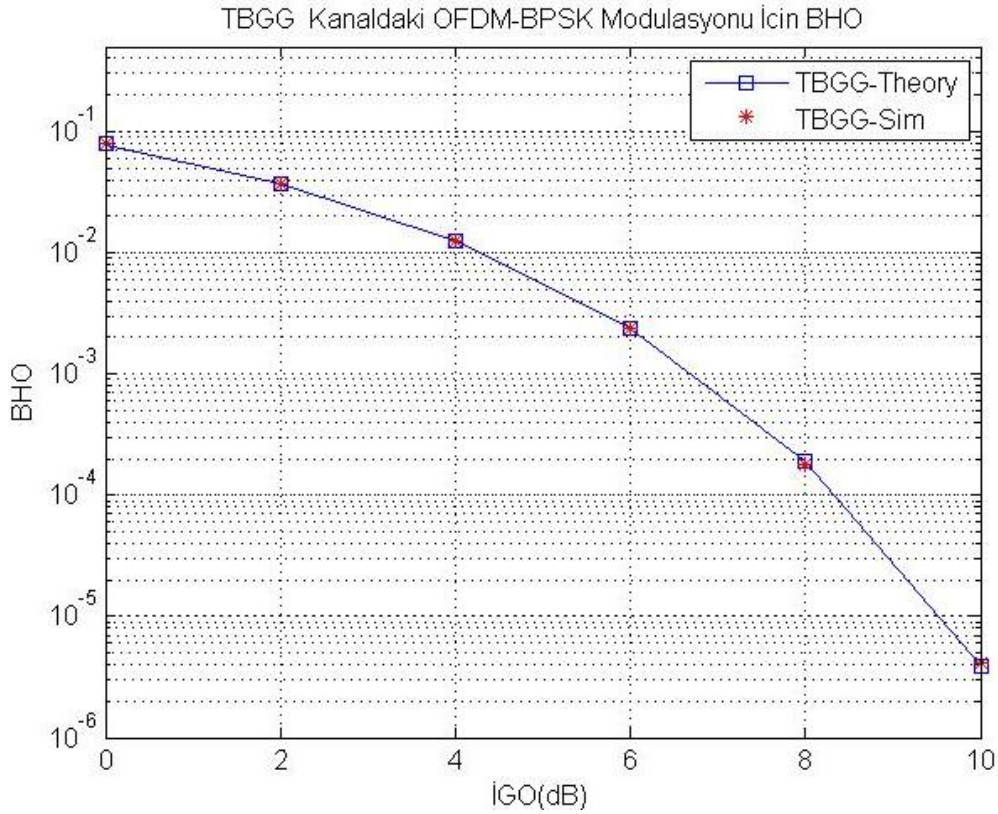
nceki bölümde tanıtılan Rayleigh Sönümlmeli kanalda gerçekleştirilmiş OFDM-QPSK Simulink projesiyle Rayleigh Sönümlmeli kanalda gerçekleştirilen OFDM-BPSK Simulink Projesi kullanılan BPSK Modülatör ve Demodülatör Blokları ve girişte kullanılan ses sinyal bloğu dışında tamamen aynıdır.



Şekil 6.6 Farklı İGO değerlerine sahip TBGG kanallarda sanal osiloskop sonuçları.

Ses sinyal bloğu ve BPSK Modülör Bloğu tezin 6.2 kısmında tanıtılmıştır. Ses sinyali olarak TBGG kanaldaki uygulamaya benzer şekilde bu uygulamada da sistem girişine 128 kb/sn örnekleme hızındaki “HISTORIA_DE_UN_AMOR.wav” ses müziği eklenmiştir. Simulink projesi oluşturulduktan sonra giriş bitleri ile çıkış bitleri arasındaki teorik ve simülasyon için BHO’lar hesaplanmıştır.

Teorik olarak BHO elde etmek için (5.1)'deki denklemden yararlanılmıştır. Simülasyonlar sonucu, her iki kanaldaki uygulamalarda 10^{-3} değerinde BHO elde edebilmek için; TBGG kanaldaki sistemde yaklaşık olarak 7dB'lik İGO yeterli olurken Rayleigh Sönümlmeli kanalda yaklaşık olarak sistemin 25dB'lik İGO değerine sahip olması gerektiği ortaya çıkmıştır. Simulink Projesi Şekil 6.9'da gösterilmiştir.

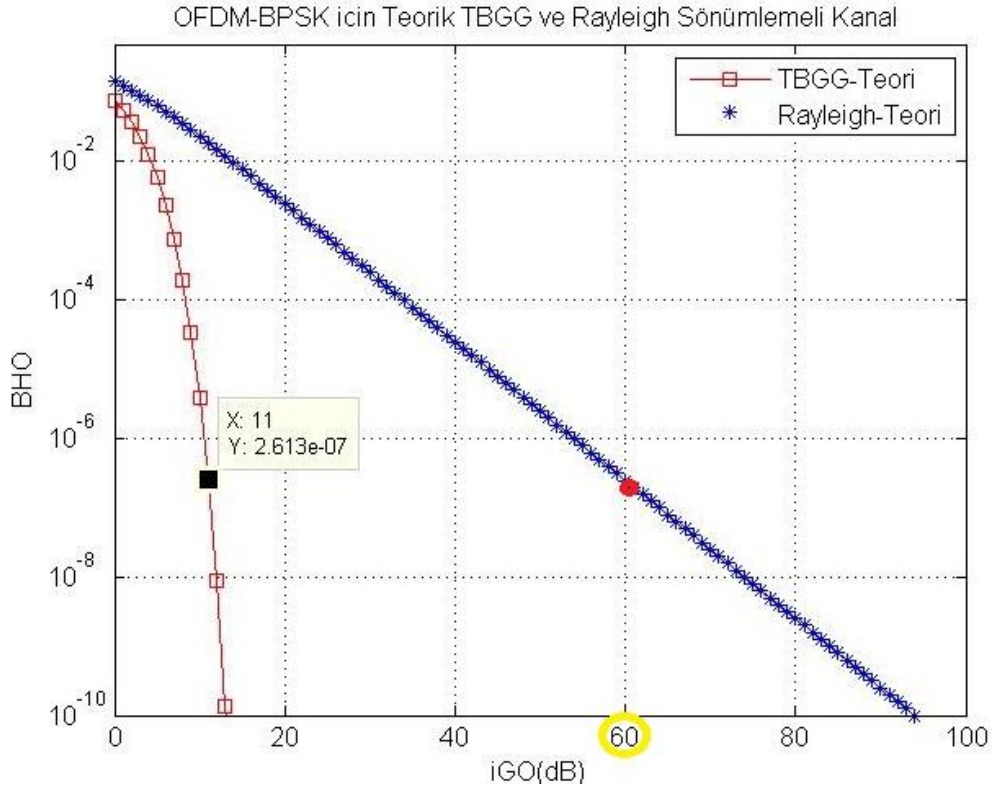


Şekil 6.7 TBGG kanalda OFDM-BPSK için simülasyon ve teorik BHO karşılaştırılması

6.4.2 Simülasyon Sonuçlar

TBGG Kanalda yapılan OFDM-BPSK simulink uygulamasında 10 dB'den sonraki İGO değerlerinde hoparlörden gürültü duyulmamıştır. Bu durumda 11 dB'de TBGG kanalda gürültünün bastırıldığı söylenebilir. Şekil 6.8 OFDM-BPSK uygulamasının TBGG kanaldaki ve Rayleigh Sönümlmeli kanaldaki teorik karşılaştırmalı performans grafiğini göstermektedir. TBGG kanalda 11dB İGO değerinde 2.613×10^{-7} BHO sonucu ile sistem gerçekleştirilmektedir. Yaklaşık olarak aynı BHO sonucunu Rayleigh Sönümlmeli kanalda elde edebilmek için 60dB'lik İGO değerine ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 6.8'de 60 dB İGO değerinde BHO sonucunun veren nokta Rayleigh sönümlmeli teorik kanal performans

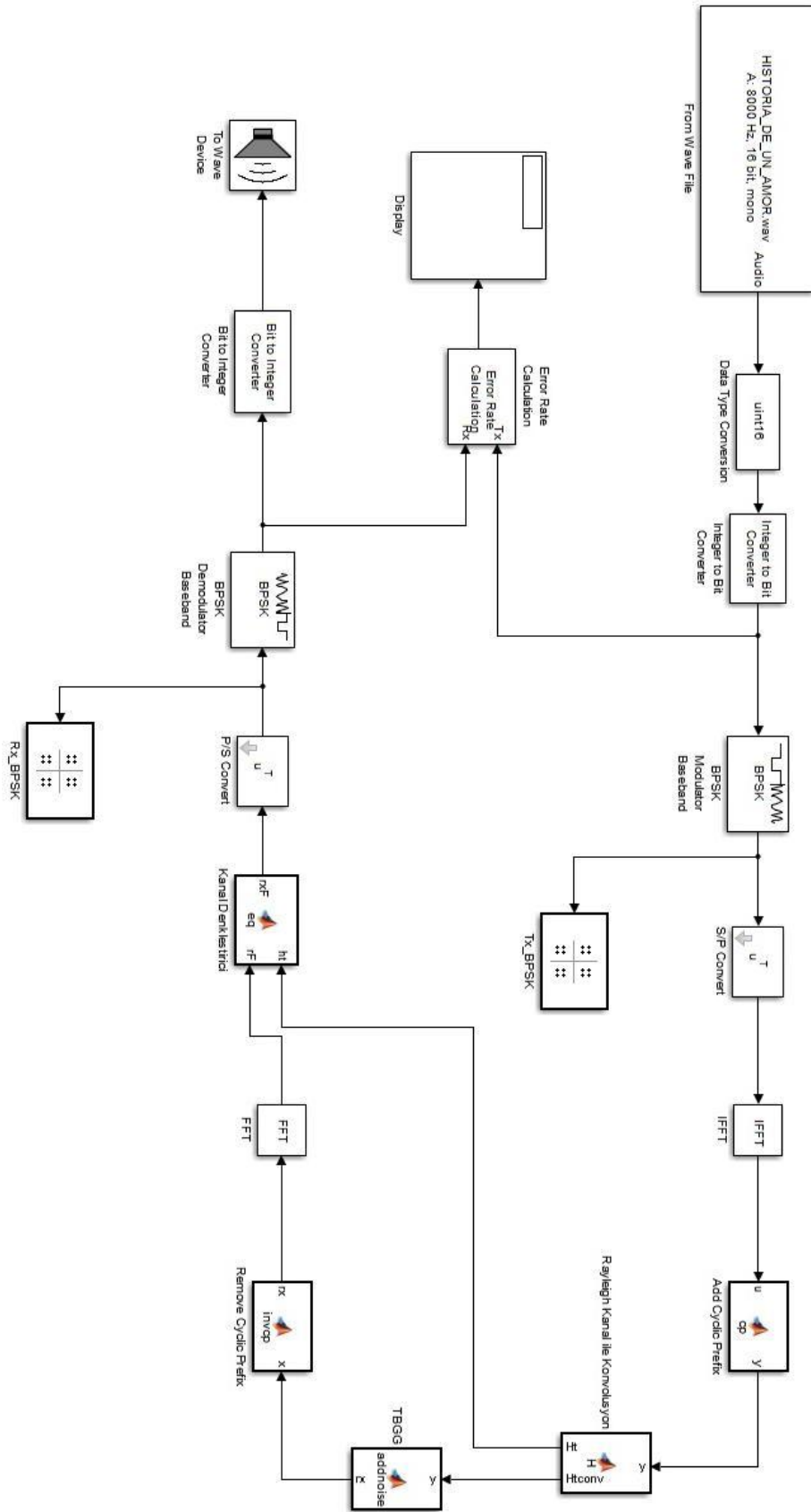
grafiginde kırmızı ile işaretlenmiştir. Bu sebeple OFDM-BPSK'nın Rayleigh sönümlü kanaldaki uygulamasında TBGG bloğundaki İGO değeri desibel düzeyinde 60dB'ye kadar artırılarak çalıştırılmıştır. CP ekli ve TBGG uygulanmış Rayleigh Sönümlü kanaldaki simulink projesinde 60dB İGO değerinde hoparlörden gürültü duyulmamıştır.



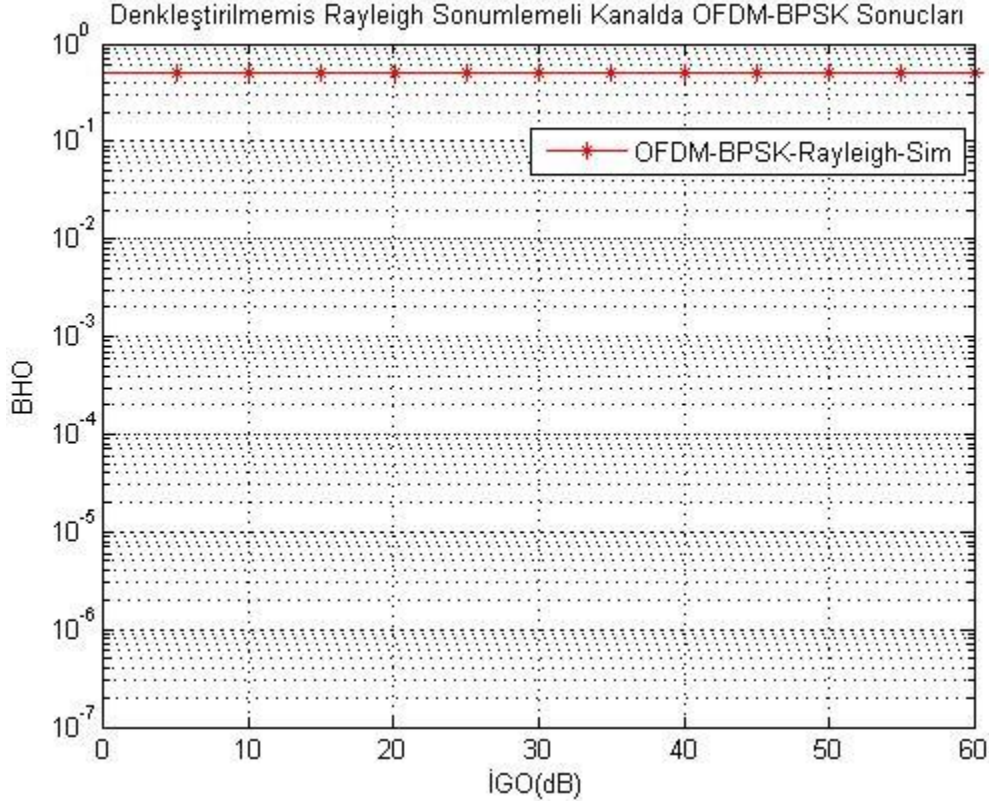
Şekil 6.8 Teorik olarak rayleigh sönümlü ve TBGG kanalları performans karşılaştırması.

6.4.2.1 Rayleigh Sönümlü Kanal Denkleştirme Yapılmadığında Bulunan Sonuçlar

Şekil 6.9'daki simulink projesinde kanal denkleştirmeyle ilgili blok çıkartılmıştır. Bu durumda Şekil 6.10'daki sonuçlar bulunmaktadır.



Şekil 6.9 Rayleigh sönümlmeli kanalda OFDM-BPSK simulink modeli.

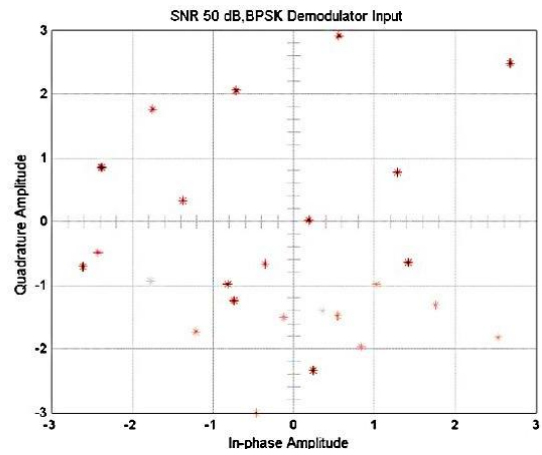
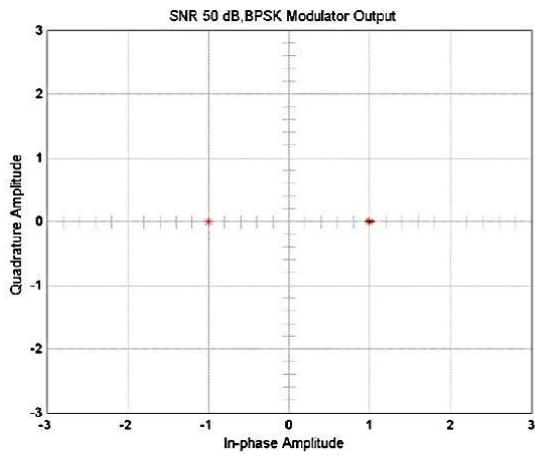
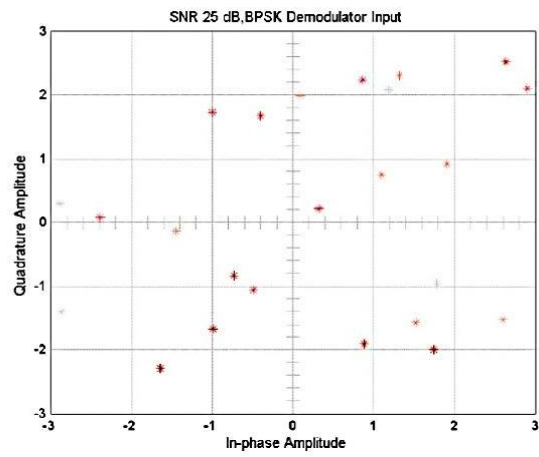
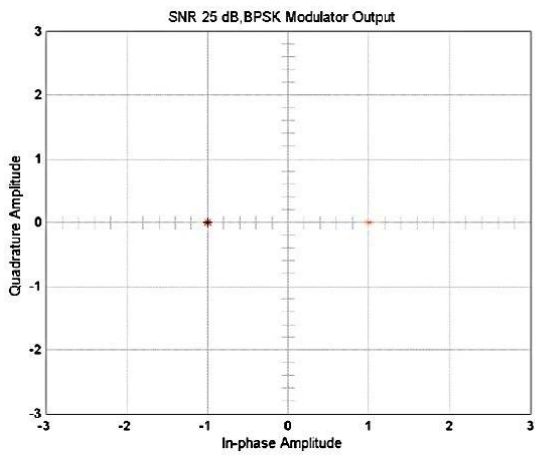
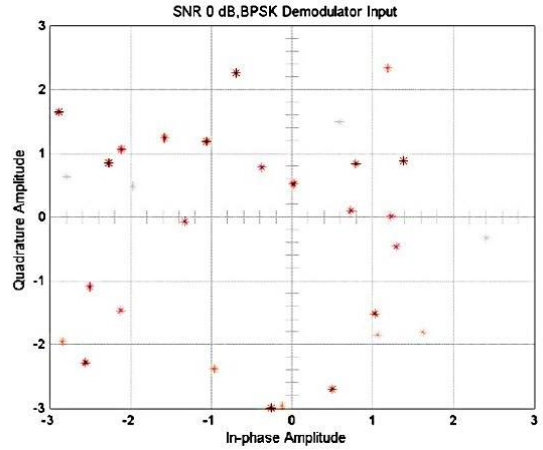
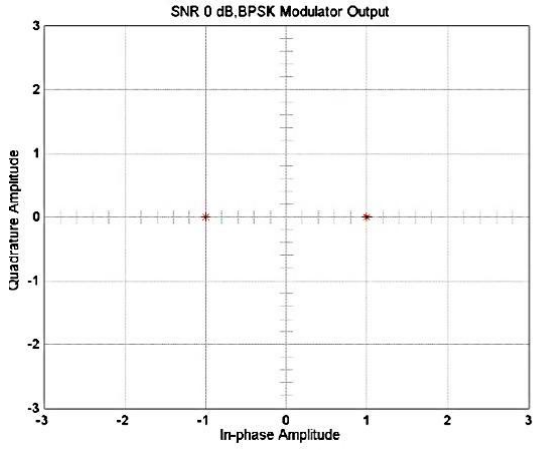


Şekil 6.10 Denkleştirilmemiş rayleigh sönümlmeli kanalda OFDM-BPSK BHO'ları.

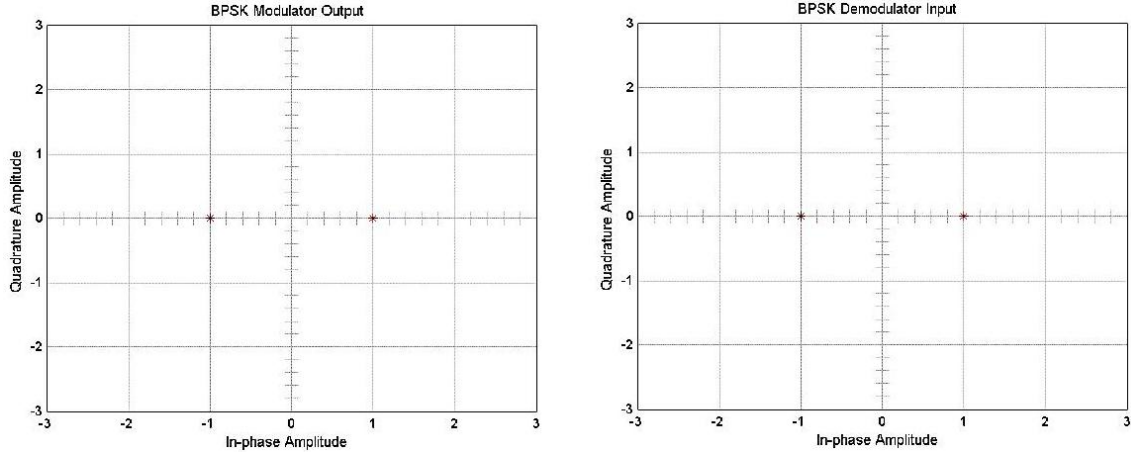
Her İGO değerinde BHO değeri 0.5 bulunmuştur. Diğer bir durum ise projede BPSK Modülör çıkışına ve BPSK Demodülör girişine sanal osiloskop blokları bağlanarak yıldız kümeleri bulunmuştur. Şekil 6.11'de sanal osiloskop sonuçları görülmektedir. Farklı desibel düzeyindeki İGO değerlerinde farketmeksizin her zaman BPSK Demodülör girişindeki osiloskoplardaki yıldız kümelerinde bulunan noktalar olması gereken yerlerden uzak çıkmıştır. Sonuç olarak kanal denkleştirmenin olmadığı durumda tüm sonuçlar hatalı çıkmaktadır.

6.4.2.2 TBGG Eklenme diğinde Denkleştirilmiş Rayleigh Sönümlmeli Kanal Sonuçları

Şekil 6.9'daki projeden TBGG bloğu çıkartıldığında, sistemde gürültü olmadığından kanal mükemmel bir şekilde denkleştirilmiştir. Şekil 6.12'deki sanal osiloskop sonuçlarından görüleceği üzere BPSK demodülör girişindeki yıldız kümelerinde noktalar tam da olması gereken yerlerde çıkmıştır.



Şekil 6.11 Denkleştirilmemiş kanalda sanal osiloskop sonuçları.



Şekil 6.12 TBGG eklenmediğinde denkleştirilmiş kanalda sanal osiloskop sonuçları.

6.4.2.3 CP Kullanılmadığında Denkleştirilmiş Rayleigh Sönümlmeli Kanal Sonuçları

Şekil 6.9'daki Matlab simulink uygulamasından CP ve CP kaldırma blokları çıkartılarak Şekil 6.13'teki teorik ve simülasyon BHO grafiği elde edilmiştir. Şekil 6.13'den görüleceği üzere yaklaşık 15 dB İGO değerinden sonra simülasyon BHO grafiğiyle teorik BHO grafiği tamamen birbirlerinden uzaklaşmışlardır. Şekil 6.14'teki sanal osiloskop sonuçlarında ise, BPSK demodülatör girişindeki yıldız kümelerindeki noktalar olması gereken yerlerden her zaman uzaktadırlar. Sonuç olarak CP kullanılmadığında.SAK'm etkisiyle BHO değerleri kötü çıkmaktadır.

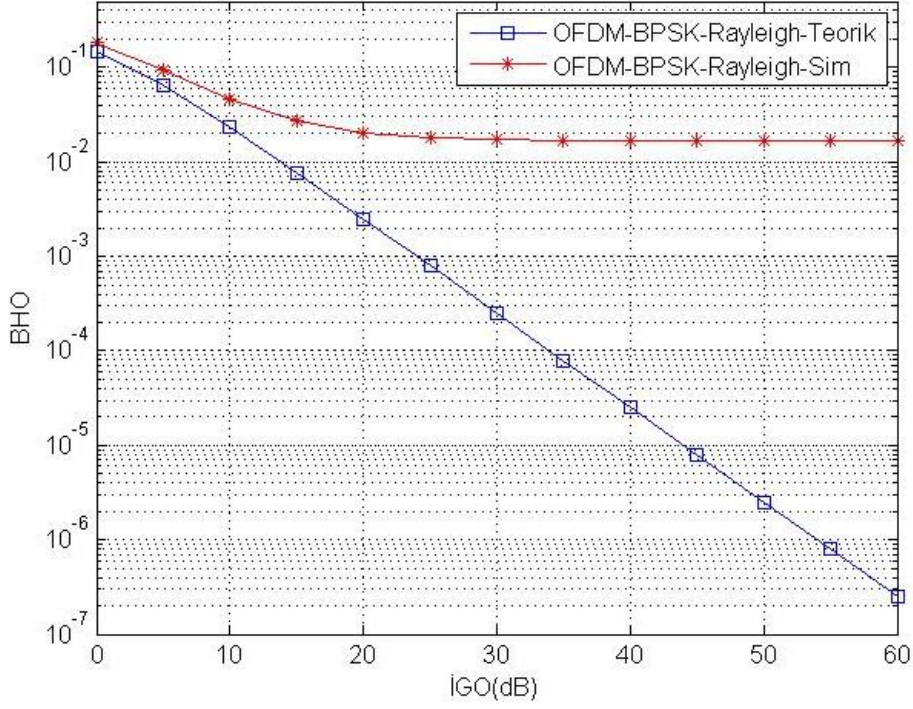
6.4.2.4 İdeal Bloklar ile Denkleştirilmiş Rayleigh Sönümlmeli Kanal Sonuçları

Kablosuz iletişim ortamında alıcıya iletilen işarete Rayleigh sönümlmeli kanalda TBGG eklenmelidir ve koruma aralığı bırakmak için iletilen işarete kanaldan önce CP eklenmelidir.

İdeal olarak CP kullanılmış ve TBGG ekli Rayleigh sönümlmeli kanaldaki simülasyonda da BPSK Modülatör Çıkışına ve BPSK Demodülatör çıkışına osiloskoplar bağlanılarak yıldız kümeleri Şekil 6.15'te gösterilmiştir.

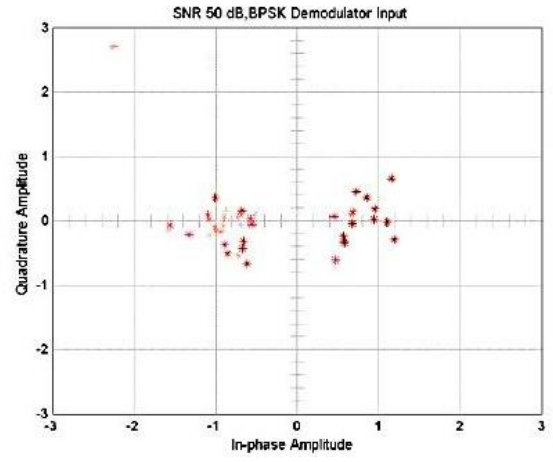
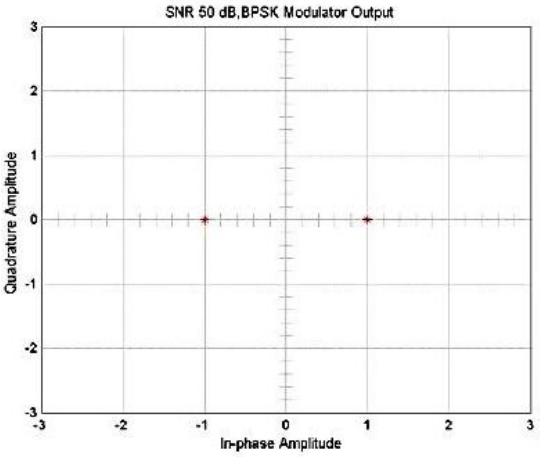
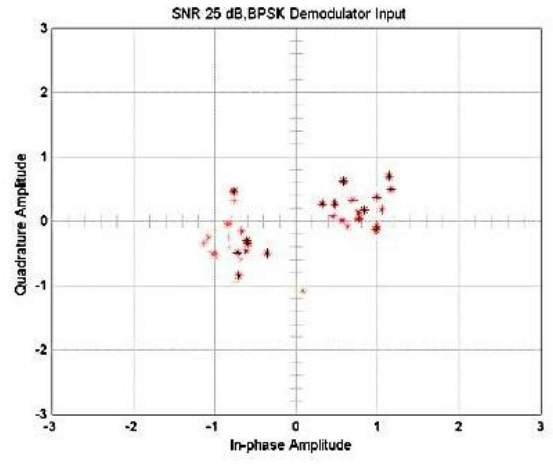
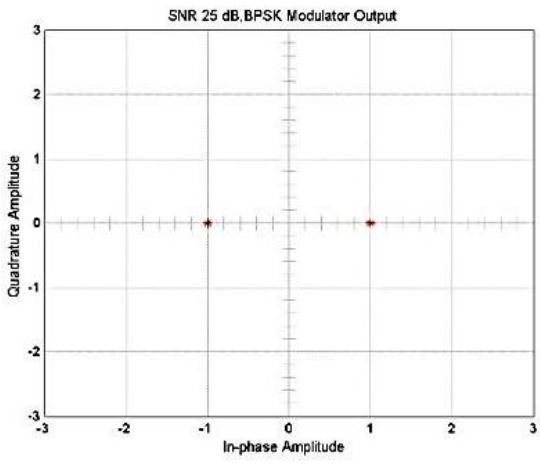
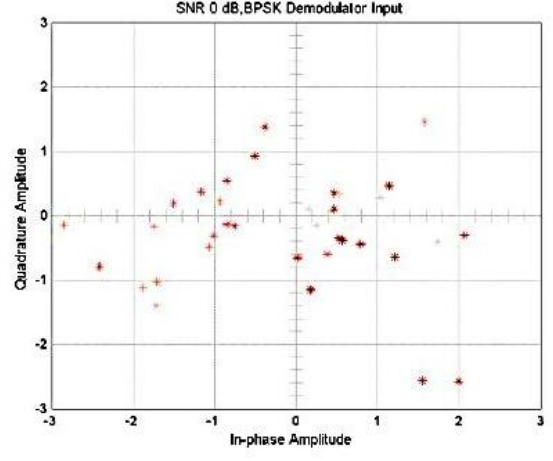
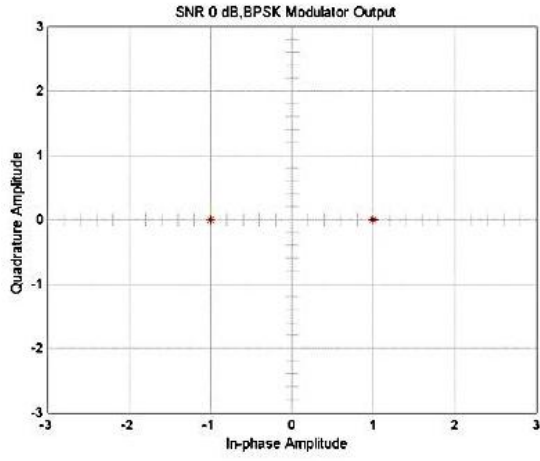
Yüksek İGO değerlerinde yıldız gösteriminde sinyallere daha az gürültü eklendiği için işaret noktaları olması gereken yerlere daha yakınken, düşük İGO değerlerinde gürültü çok fazladır, bu yüzden işaret noktaları olması gereken yerlerden uzaklaşmıştır.

Sadece TBGG Ekli Denkleştirilmiş Rayleigh Sönümlmeli Kanalda OFDM-BPSK Sonuçları

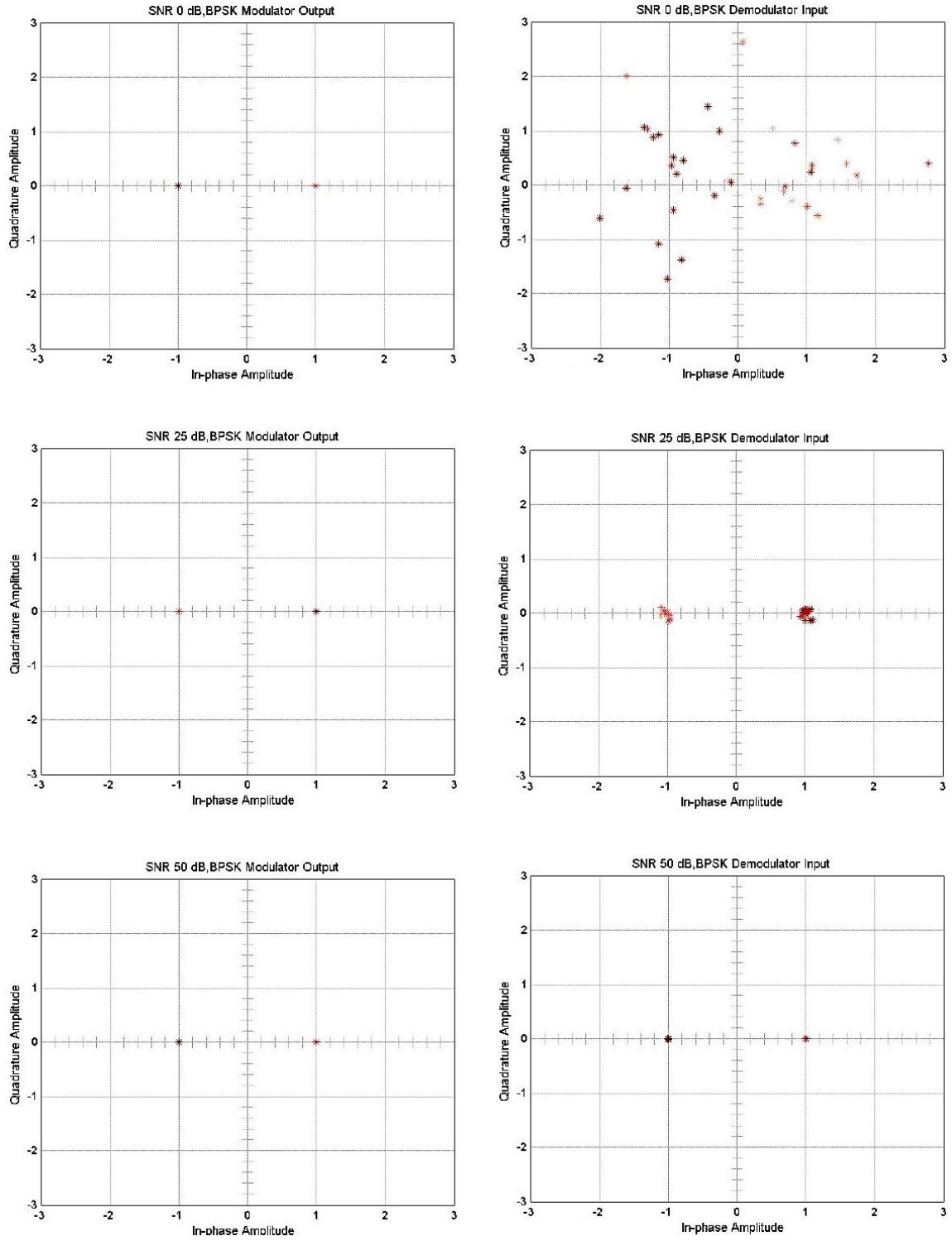


Şekil 6.13 CP kullanılmadığında rayleigh sönümlmeli kanalda OFDM-BPSK BHO'ları.

Simulink dosyasında bulunan TBGG bloğundaki İGO değeri desibel düzeyinde değiştirilerek bulunan BHO'lar çıkışta gösterge bloğuna yazdırılmıştır. 5 dB aralıklarla 0 ile 60dB arasındaki farklı İGO değerlerine göre bulunan BHO'lar kaydedilmiştir. Teorik sonuçlar önceki bölümde verilen (5.1) yardımıyla bulunmaktadır Şekil 6.16'da teorik sonuçlarla simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Şekilde görüldüğü gibi teorik ve simülasyon sonuçları yaklaşık aynı çıkmıştır. Sonuç olarak kanal denkleştirme ve CP'in olduğu durumda BPSK-OFDM işaretleri Rayleigh Sönümlmeli kanalda teorik sonuçlarla aynı olmaktadır.

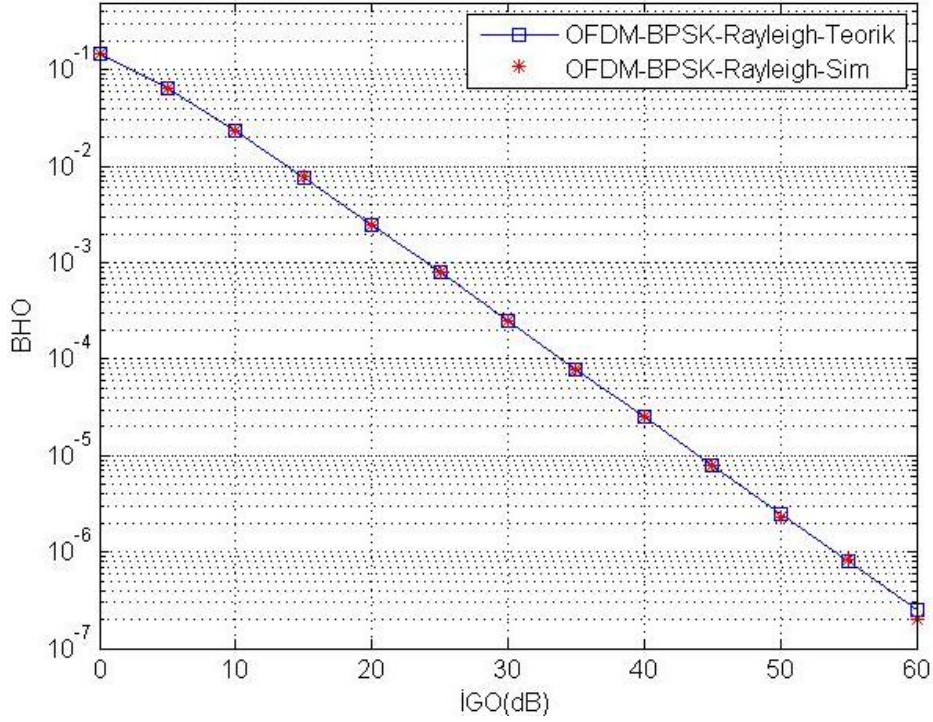


Şekil 6.14 CP kullanılmadığında sanal osiloskop sonuçları.



Şekil 6.15 İdeal bloklarla rayleigh sönümlmeli kanalda sanal osiloskop sonuçları.

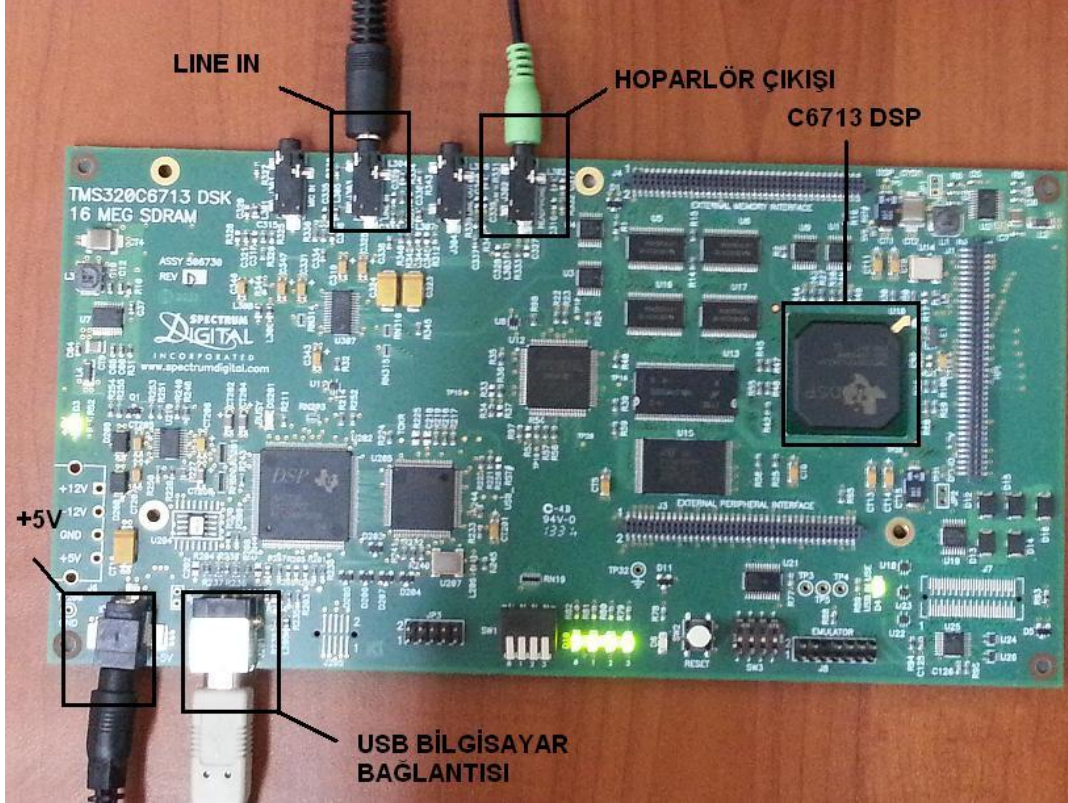
CP ve TBGG Ekli Denkleştirilmiş Rayleigh Sonumlemeli Kanalda OFDM-BPSK Sonuçları



Şekil 6.16 İdeal bloklarla teorik ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırmalı grafiği.

6.5 OFDM BPSK UYGULAMALARININ C6713DSK' DA GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

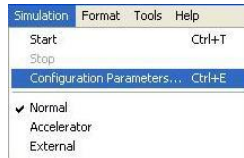
Bu alt bölümde, OFDM BPSK gerçek zamanlı uygulamaları C6713DSK kartında gerçekleştirilmiştir. Kartın genel görünümü Şekil 6.17'de gösterilmiştir. C6713 DSK kartının Line In (Bilgisayardan Ses Girişi) bilgisayar bağlantılı ses kablosu takılmıştır. Headphone (Hoparlör) girişine ise USB 2.0 bağlantısından güç alan hoparlör bağlanmıştır. C6713 DSK'yı programlayabilmek için bilgisayarla USB bağlantısı kurulmuştur. Besleme gerilimi +5V karta verilip uygulamayı gerçekleştirmek için Matlab 2007a Simulinkde tasarım yapılmıştır.



Şekil 6.17 Uygulamalarda kullanılan C6713 DSK ekran görüntüsü.

6.5.1 Simulink Yapılandırma Parametreleri

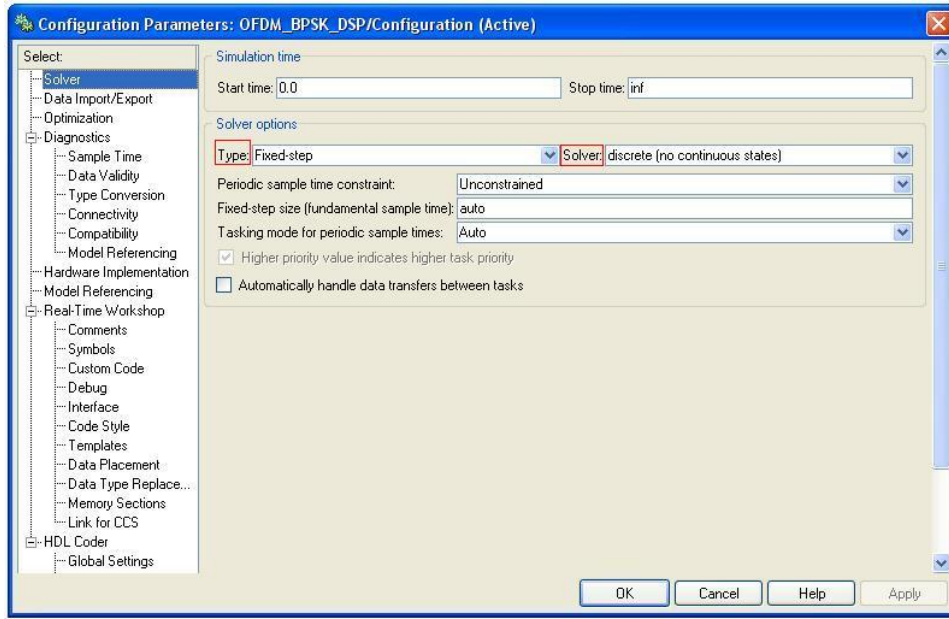
Öncelikle C6713 Aygıt Tercihleri bloğu simulink model dosyasına eklenmiştir. Eğer bu blok model dosyasına eklenmezse kartla ilgili projeye eklenen ADC ve DAC blokları kesinlikle çalışmaz. Daha sonra Şekil 6.18’de gösterilen simulink yapılandırma parametreleri sekmesi açılarak bir takım değişiklikler yapılır.



Şekil 6.18 Simulink yapılandırma parametreleri sekmesi.

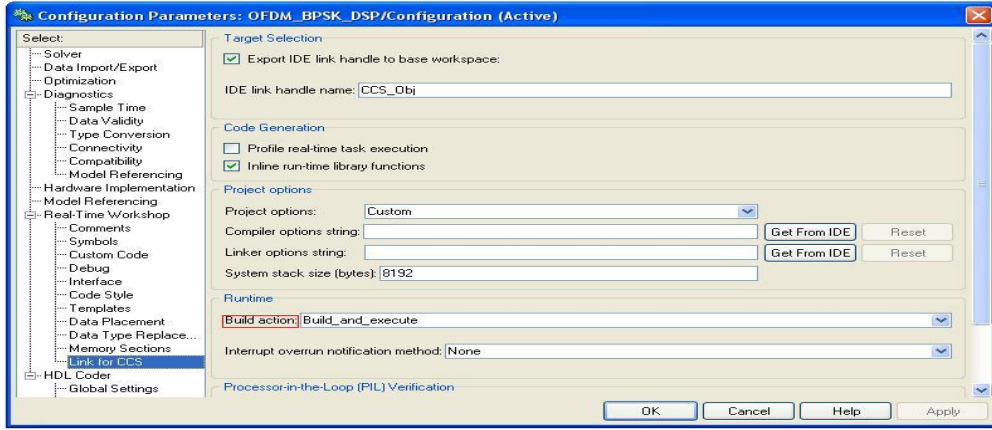
Simulink yapılandırma parametrelerinde donanım kartlarındaki matematiksel işlemlerinde kullanılacak çözücü tipi olarak iki adet seçenek bulunmaktadır. Bunlar değişken basamak (variable-step) ve sabit basamak (fixed step) çözücü tipleridir. Değişken basamak çözücüler sürekli zaman sistemlerde zamana bağlı olmadan cebirsel döngüleri rahatça çözülebilir. Fakat ayrık zamanlı çalışma gereken gerçek zamanlı uygulamalarda zaman gecikmeli çok sayıda

iterasyon gerektiren işlemler yürütülmesi gerekir. DSP'ler gibi kısa sürelerde işaret işlemesi gereken zor donanımsal kartlarda değişken basamak çözücü kullanılırsa sistem yavaşlar. Dolayısıyla cebirsel döngüleri hata hassasiyeti daha düşük bir şekilde çözen; fakat kısa sürede doğru sonuca giden, OFDM gibi paralel iletim ve ayrık zamanlı işlem yapılması gereken tekniklerde hızlı işlem yürütebilen sabit basamak çözücülerini kullanmak daha uygun olur. Bu sebeple ilk olarak Şekil 6.19'da gösterilen simulink yapılandırma parametrelerinde, model dosyası fixed-step tipi ve ayrık çalışma mantığı seçilerek yapılandırılır.



Şekil 6.19 Simulink çözücü yapılandırması.

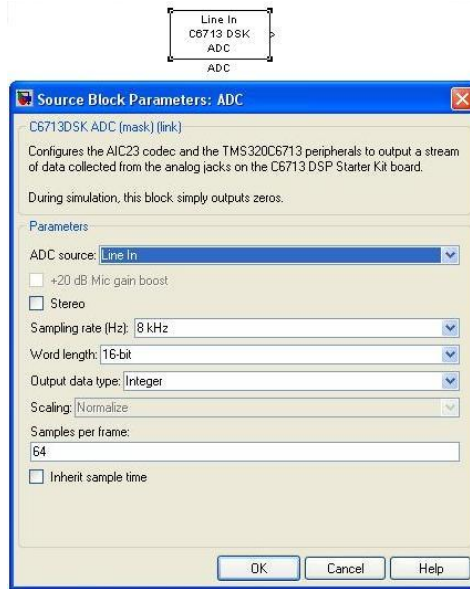
Daha sonra Matlab 2007a simulinkdeki tasarımın CCS 3.1 programının tanıyacağı kodlara dönüştürdükten sonra bağlama işlemi aşamalarını belirlemek gerekir. Otomatik olarak CCS 3.1'in kodu derlemesini ve programı koşması istenirse şekildeki bağlantı yapılandırmasının yapılması gerekmektedir. Bağlantı parametresinin nasıl yapılması gerektiği Şekil 6.20'de gösterilmiştir. Derleme işleminden sonra projenin otomatik olarak çalışması istenir (Build and execute).



Şekil 6.20 Simulinkde CCS bağlantı yapılandırması.

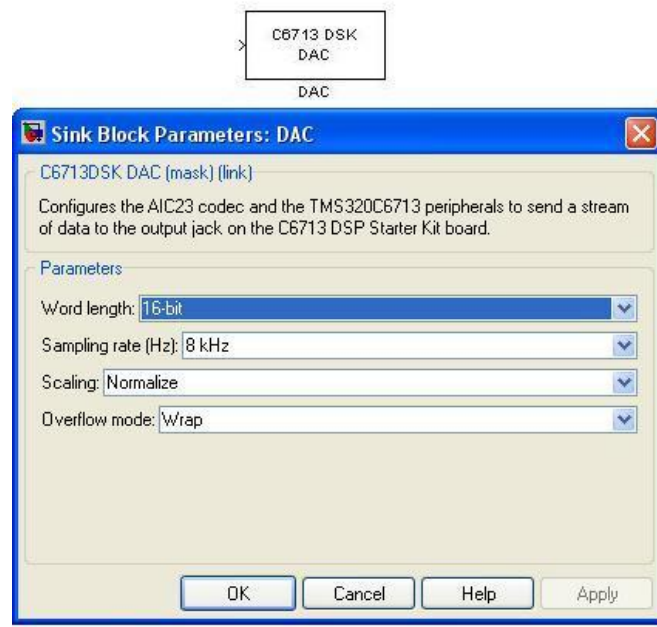
6.5.2 C6713 ADC ve DAC Blokları

Simülasyonda kullanılan ses girişi ve hoparlör blokları yerine gerçek zamanlı uygulamalarda C673 ADC ve DAC blokları kullanılması gerekmektedir. C6713 ADC bloğunda analog ses giriş kaynağı olarak “Line In” seçilmiştir. Çünkü C6713 DSK’ ya ses girişi, bilgisayarın ses kartından ses kablosu ile verilmiştir. Örneklem frekansı 8KHz olarak belirlenmiştir. Kelime boyutu 16 bit olarak belirlenmiştir. Çıkış verisi tamsayı olarak verilmiştir. Çıkış işaretli tamsayıdır. Simülasyonda bu sebeple çıkış int16 olarak seçilmiştir. Her çerçevede ise 64 örnek veri gönderilmesi ayarlanmıştır. Şekil 6.21’de C6713 ADC yapılandırması gösterilmiştir.



Şekil 6.21 C6713 ADC bloğu ve ilgili parametreleri.

C6713 DSK çıkışında da ADC bloğuna paralel olarak Şekil 6.22’de gösterildiği gibi C6713DAC bloğunda kelime boyutu 16 bit ve ses frekansı 8KHz olarak seçilmesi gerekmektedir.

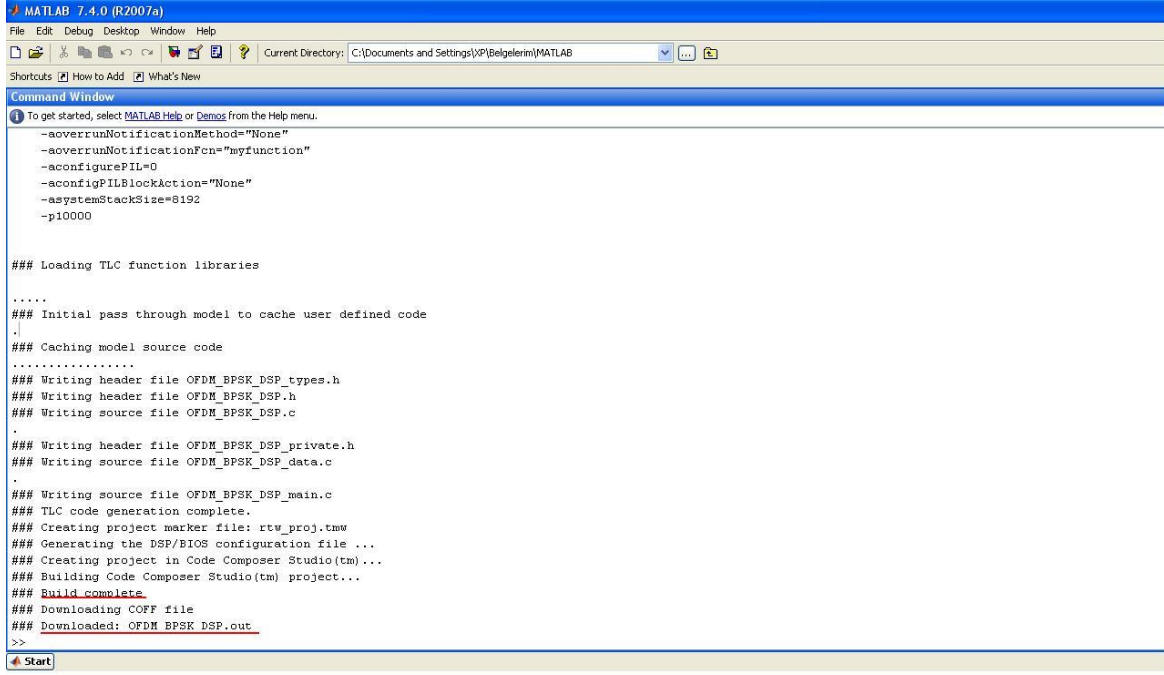


Şekil 6.22 C6713 DAC bloğu ve ilgili parametreleri.

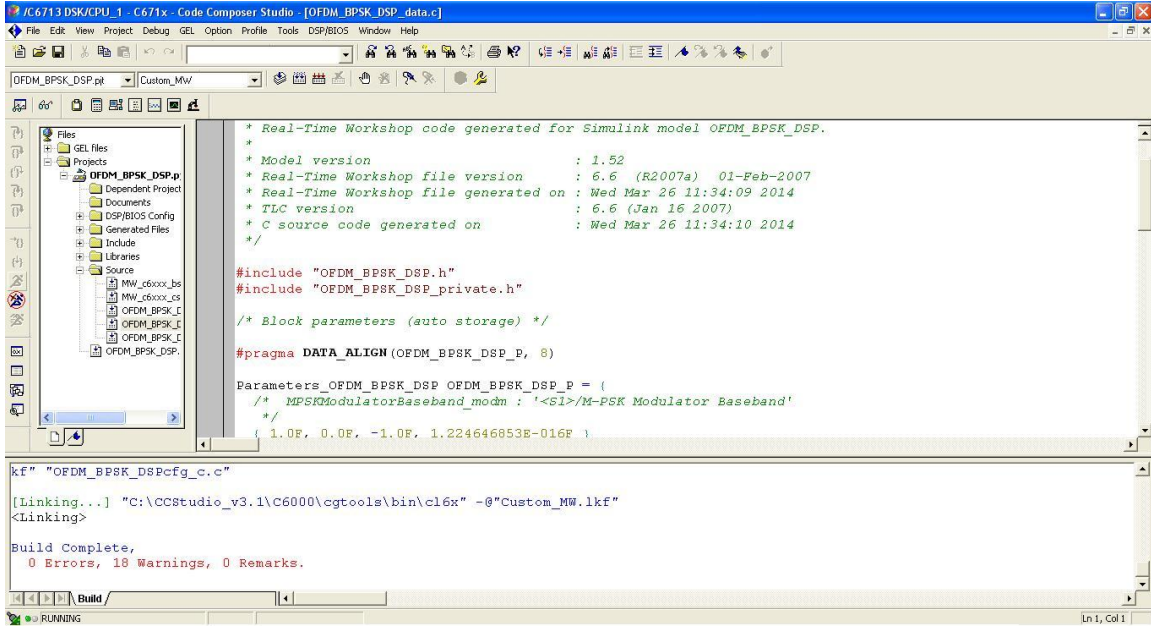
6.5.3 Simulink Model Tasarımlarının Derlenmesi ve C6713DSK’ da Çalıştırılması

Simulinkdeki model tasarımları derlendiğinde. Matlab 2007a CCS 3.1 ile bağlantı kurmaktadır. Gerekli başlık dosyaları, ana dosyalar ve diğer kod dosyalarını oluşturarak CCS 3.1 projesi açılmaktadır.

Otomatik olarak CCS 3.1 kodları derlenmekte oluşan çıkış dosyası karta yüklenmektedir. Simulink dosyası derleme işlemi sırasında, Şekil 6.23’te Matlab Komut Penceresinin (Command Window) ve Şekil 6.24’de CCS 3.1 programının ekran görüntüleri gösterilmektedir. Şekil 6.23’te Matlab Komut Penceresinde genel işlem akışını nasıl yürütüldüğü gözlenebilir. Şekil 6.24’de CCS 3.1 kodları görülmektedir. Matlab model dosyasını açıkladığımız gibi CCS 3.1 proje dosyası haline dönüştürür ve kodlar Şekil 6.24’de görüleceği üzere derlenerek çıkış dosyası otomatik olarak C6713 DSK’ya yüklenir.



Şekil 6.23 Uygulama derlendiği sırada matlab komut penceresi.



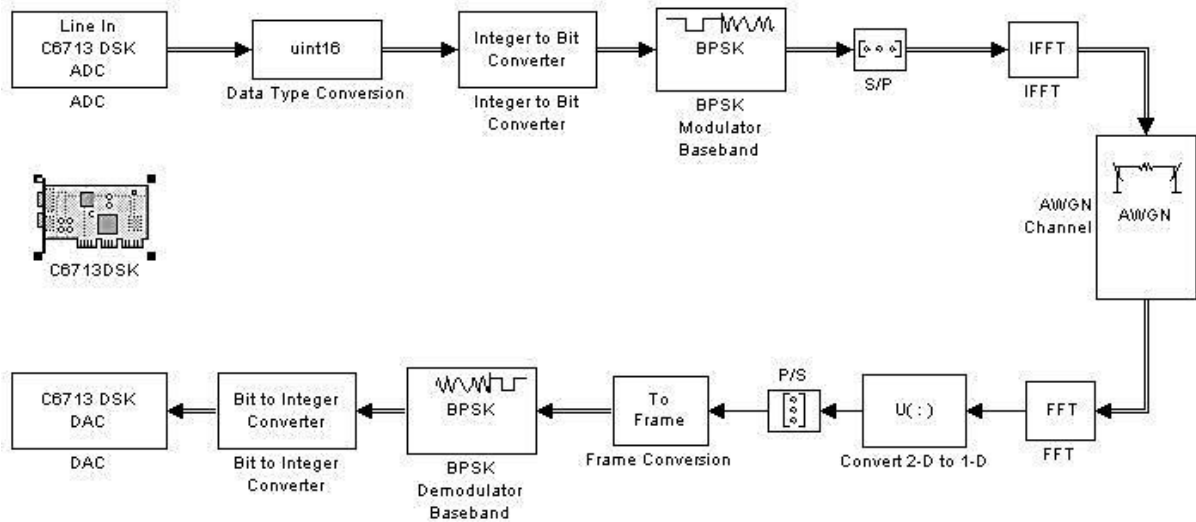
Şekil 6.24 Uygulama derlendiği sırada CCS 3.1 ekran görüntüsü.

6.5.4 MatlabSimulinkde Gerçek Zamanlı OFDM BPSK Uygulamaları

Simulink ortamında sırasıyla Gürültüsüz kanalda, TBGG Kanalda ve Rayleigh Sönümlmeli Kanalda model projeleri oluşturulmuştu. C6713 DSK 'da programı derleyebilmek için oluşturulan simülasyon dosyalarından giriş bloğu ve hoparlör bloğu çıkartılmıştır. Daha önce belirtilen C6713 DSK bloğu, C6713 DSK ADC ve DAC blokları eklenip derlenmeye hazır simulink dosyaları oluşturulmuştur.

TBGG kanal simulinkde modellenip kart üzerinde gerçekleştirilmiştir. C6713 kartında sadece ses girişi ve çıkışı mümkün olduğundan ve kartın ses verisini işlerken üzerinde aktarılan bit sayısının tespiti teknik olarak yapılamadığından bit hata oranlarına bakılamamıştır. Gürültüsüz kanal uygulamasında blokların çıkışında sesin hiç bozulmadığı görülmüştür. Gürültülü kanallarda yüksek İGO değerlerinde kartın çıkışında hoparlöre verilen sesin girişte bilgisayardan C6713 DSK' ya gönderilen ses işaretine yakın olduğu, düşük İGO değerlerindeyse yüksek İGO değerlerinin aksine çıkıştaki sese çok fazla gürültü beklendiği için çıkıştaki seste ciddi miktarda bozulma olmuştur.

TBGG kanalda gerçek zamanlı uygulama için hazırlanmış simulink dosyasını Şekil 6.25'de görmektedir.



Şekil 6.25 TBGG kanalda C6713 DSK vasıtasıyla OFDM-BPSK uygulaması.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında OFDM tekniği için farklı kanal ve durumlarda performanslar için Matlab simulinkde tasarımlar yapılmıştır. Yapılan tasarımlar önce simülasyonda çalıştırılmıştır, daha sonra tasarımlar düzenlenerek Matlab aracılığıyla derlenerek CCS 3.1 projesi oluşturularak projenin çıkış dosyası TMS320C6713 DSK kartına yüklenmiştir. Tasarımlar gerçek zamanlı uygulamalarda da test edilmiştir. Tasarımlar sonucunda kartın girişine ses işareti gönderilmiş, farklı gürültü değerlerine göre çıkışta hoparlörden duyulan ses kontrol edilmiştir.

Matlab simulink ortamında ilk olarak QPSK modülasyonlu simülasyon yapılmıştır. Giriş ile çıkış farklı İGO değerlerine göre BHO çizdirilmiş ve teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır ve aynı çıktıkları gösterilmiştir. C6713 DSK kartında QPSK modülasyonundaki fazla miktardaki karmaşık sayı işlemlerinden ötürü karmaşaya neden olacağından karta yüklenecek tasarımda BPSK modülasyonu tercih edilmiştir. BPSK Modülasyonu TBGG ve Rayleigh Sönümlmeli kanallarda simülasyonla performans analizi yapılmıştır. Analizler sonucu, her iki kanaldaki uygulamalarda 10^{-3} değerinde BHO elde edebilmek için; TBGG kanaldaki sistemde yaklaşık olarak 7dB'lik İGO yeterli olurken Rayleigh Sönümlmeli kanalda yaklaşık olarak sistemin 25dB'lik İGO değerine sahip olması gerektiği ortaya çıkmıştır.

Son olarak, C6713 DSK kartında uygulamalar çalıştırılırken alıcı, verici bloğu ve kanal aynı kart üzerinde tasarlanmıştır. Farklı İGO değerlerinde seste oluşan bozulmalar izlenmiştir. İleriki çalışmalarda alıcı ile verici farklı kartlarda tasarlanarak bu kartlar birbirleriyle haberleştirilerek çalışmalar geliştirilebilir. Böylelikle haberleşme kanalı verici-alıcı arasına bir kablo veya RF bloğu ve anten eklenerek gerçek kanal yapıları üzerinde performans incelemeleri yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Chen H H and Guizani M** (2006) Next Generation Wireless Systems and Networks. ed. 2006, John Wiley & Sons Ltd, 498 p.
- Elgala H, Mesleh R, Haas H and Pricope B** (2007) OFDM Visible Light Wireless Communication Based on White LEDs. *The 65th IEEE Vehicular Technology Conference*, 1: 2185-2189.
- Fuertes Z L** (2005) OFDM PHY Layer Implementation based on the 802.11a Standart and System Performance Analysis. Bachelor Thesis, Institute Of Technology, Electronic Systems, Linköping, 98 p.
- Goldsmith A** (2005) Wireless Communications. ed. 2005, by Cambridge University Press, pp. 350-377.
- Güngüneş R** (2011) Çok Girişli Çok Çıkışlı Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullamalı Sistemlerde Kanal Kodlaması Performans Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale, 69 sayfa.
- Hacıoğlu G** (2011) Çok Girişli Çok Çıkışlı Dikgen Frekans Bölüşümlü Çoğullama Sistemlerinde Uzay-Zaman ve Uzay-Frekans Esaslı Çeşitleme Yöntemleri. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 173 sayfa.
- Haykin S and Moher M** (2005) Modern Wireless Communications. International Edition. ed. 2005, Pearson Prentice Hall, 560 p.
- Hirosaki B** (1981) An Orthogonally Multiplexed QAM System Using the Discrete Fourier Transform. *IEEE Trans. Commuications*, 29: 982-989.
- Jeruchim M C, Balaban, P and Shanmugan, K S** (2000), Simulation of Communication Systems. Second edition, KluwerAcademic/ Plenum, New York, pp. 545-550.
- Karabetsos S H, Stavrou P D, Pikasis E K and Nassiopoulos A A** (2005) Design and Implementation of an OFDM Transceiver Framework Using Matlab and the TMS320C6713 DSK. *The International Conference on "Computer as a Tool" Proceedings*, 1: 554-557.
- Maham B and Hemmati R A** (2006) DSP Implementation Aspects of an OFDM Based Wireless MAN Modem. *WICOM 2006. International Conference on Wireless Communication, Networking and Mobile Computing*, 1: 1-4.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Manzoor F, Linton D and Loughlin M** (2012) DSP-based Implementation of a Half-Duplex Orthogonal Frequency Multiplexing System. *Signals and Systems Conference (ISSC 2012)*, 1:1-6.
- Nguyen V D, Pham V L, Hoang V X, Han H D, Nguyen H T and Nguyen T H** (2009) Implementation of and OFDM system based on the TMS320C6416 DSP. *ATC'09. International Conference on Advanced Technologies for Communications*, 1:74-77.
- Pikasis E, Karabetsos S, Nikas T and Nassiopoulou A** (2012) OFDM, SC-FDMA and MC-CDMA educational wireless transceivers using Matlab and the TMS320C6713 DSK. *5th European DSP Education and Research Conference (EDERC)*, 1: 183-187.
- Prasad R** (2004) OFDM for Wireless Communication Systems. ed. 2004, Artech House, Inc. Boston, London, pp. 11-18.
- Proakis J G ve Salehi M** (2008) Digital Communications. fifth edition, Mc Graw Hill International Edition, New York, 923 p.
- Proakis J G ve Salehi M** (2010) İletişim Sistemlerinin Temelleri, Çevirenler: Halis Altun, Ertan Öztürk ve Yusuf Erkan Yenice. ed Mart 2010, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 854 s.
- Rappaport T** (2002) Wireless Communications. Principles and Practice, Prentice Hall PTR, 736 p.
- Sklar B** (2001), Digital Communications Fundamentals and Applications. Second edition, Prentice Hall PTR, 1079 p.
- Stüber G L** (2000) Principles of Mobile Communication. Second edition, Kluwer Academic Publishers, 776 p.
- Tariq M F, Baltaci Y, Horseman T, Butler M and Nix A** (2002) Development of an OFDM Based high speed wireless LAN Platform using the TI C6x DSP. *ICC 2002. IEEE International Conference on Communications*, 1: 522-526.
- Ting M X, Yu M Z, Bing Y and Feng T X** (2007) DSP Design of Channel Estimation in MIMO-OFDM System. *IEEE 66th Vehicular Technology Conference*, 1: 1278-1282.
- Tören M** (2013) Çok Girişli Çok Çıkışlı Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (ÇGÇÇ-DFBÇ) Sistemlerinde Tepe Güç/ Ortalama Güç Oranı Azaltımı. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri, 83 sayfa.
- Tunçkaya Y** (2009) MQAM ve MPSK Modülasyonlu OFDM Sistemlerin Gürültülü ve Rayleigh Sönümlenmeli Kanallarda Başarımlarının Benzetimle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 111 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- URL-1** (2013) http://ee.istanbul.edu.tr/ogr_uye/hdogan/dersler/kablosuzhaberleme/notlar/gezginiiletisim13-OFDM.pdf (Erişim tarihi: 09.10.2013).
- URL-2** (2004) <http://users.ece.utexas.edu/~bevans/courses/ee464/AltamashJanjua/proposal.htm> (Erişim tarihi: 09.10.2013).
- URL-3** (2007) <http://software-engineer-training.com/category/computer-architecture/> (Erişim tarihi: 17.11.2013).
- URL-4** (2013) http://www.byclb.com/TR/Tutorials/dsp_appl_spc/ch3_1.htm (Erişim tarihi: 17.11.2013).
- URL-5** (2003) http://c6000.spectrumdigital.com/dsk6713/V2/docs/dsk6713_TechRef.pdf (Erişim tarihi: 26.02.2014).
- URL-6** (2006) <http://www.ti.com/lit/ug/spru234c/spru234c.pdf> (Erişim tarihi: 26.02.2014).
- URL-7** (2006) <http://www.ti.com/lit/ug/spru580g/spru580g.pdf> (Erişim tarihi: 26.02.2014).
- URL-8** (2013) http://ee.istanbul.edu.tr/labs/iletisimm/dosyalar/foyer/5-rasgele_surecler.pdf (Erişim tarihi: 20.05.2014).
- URL-9** (2008) <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/18869-a-matlab-based-object-oriented-approach-to-multipath-fading-channel-simulation> (Erişim tarihi: 05.06.2014).
- URL-10** (2011) <http://www.ee.hacettepe.edu.tr/~toker/ELE739/Week5-6.pdf> (Erişim tarihi: 05.06.2014).
- Verma S and Sharma P** (2013) Hardware Implementation of OFDM System on TMS320C6713 and verifying the results by using DIP Switches and LEDs. *International Journal of Electronics & Communication (IJEC)*, 1: 10-15.
- Verma S and Sharma P** (2013) Real Time Implementation of OFDM System on DSP Processor. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, 1: 2406-2413.
- Weinstein S B and Ebert P M** (1971) Data Transmission by Frequency Division Multiplexing Using the Discrete Fourier Transform. *IEEE Trans. Communications*, 19:628-634.
- Yan H, Zhou S, Shi Z, Cui J H, Wan L, Huang J and Zhou H** (2010) DSP Implementation of SISO and MIMO OFDM Acoustic Modems. *OCEANS 2010 IEEE-Sydney*, 1: 1-6
- Yanık K** (2012) Frekans Hoplamalı Dik Frekans Bölmeli Çoklu Erişim(FH-DFBÇE) Sistemlerin Başarım Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 65 sayfa.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

Yazgan A, Tuğcu E, Aydemir Ö ve ŐimŐek C (2009) OFDM Sisteminin AWGN Kanallardaki Performansının İncelenmesi. *Akademik BiliŐim '09 IX. Akademik BiliŐim Konferansı Bildirileri*, s. 785-790.

Yeh H G and Ramirez V R (2007) Implementation and Performance of a M-ary PSK and QAM–OFDM System in a TMS320VC5416 Digital Signal Processor. *ICDT'07 Second International Conference on Digital Telecommunications*, 1: 1-9.

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet EMİR 1985'te Zonguldak'ta doğdu 2003 yılında Zonguldak Atatürk Anadolu Lisesinden mezun oldu. Aynı yıl kazandığı Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümünden 2007 yılında mezun oldu.2008 yılında askerlik görevini kısa dönem erbaş olarak Tatvan (Bitlis)'da tamamladı. 2008-2009 yılları arasında Zonguldak Karaelmas Üniversitesinde TÜBİTAK Bilimsel Araştırma Projesi bursiyeri olarak çalıştı. 2010-2011 yılları arasında Elektrik Mühendisleri Odası Zonguldak İl Temsilciliğinde Teknik Görevli olarak görev yaptı.2011-2012 (6 ay) yılları arasında Bülent Ecevit Üniversitesi Bilgi İşlem Daire Başkanlığında uzman görevinde çalıştı.2012 Ocak ayında yüksek lisansa başladı. 2012 Mart ayından beri Bülent Ecevit Üniversitesi Uzaktan Eğitim Uygulama ve Araştırma Merkezinde uzman olarak görev yapmaktadır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : B.E.Ü. Uzaktan Eğitim Uygulama ve Araştırma Merkezi
İncivez-ZONGULDAK

Tel : 0372 257 4010-(1526)

E-posta : ahmet.emir@beun.edu.tr