

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAZILIM TANIMLI RADAR

YÜKSEK LİSANS

Elektronik ve Haberleşme Müh. Ahmet KALE

Anabilim Dalı: Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet YAKUT

KOCAELİ, 2010

YAZILIM TANIMLI RADAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektronik ve Haberleşme Müh. Ahmet KALE

Tezin Verildiği Tarih: 01 Kasım 2010

Tezin Savunulduğu Tarih: 16 Aralık 2010

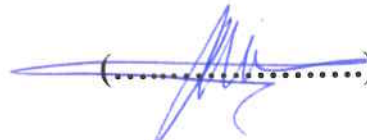
**Tez Danışmanı
Yrd.Doç.Dr. Mehmet YAKUT**

(.....)

**Üye
Prof.Dr. Sarp ERTÜRK**

(.....)

**Üye
Prof.Dr. Nizamettin AYDIN**

(.....)

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Yazılım tanımlı (tabanlı) sistemler günümüz kablosuz radyo endüstrisi alanında hem ticari hem de savunma sanayi bazında önemli bir yere sahiptir. Yazılım radyo sistemleri getirdiği yenilik ve özellikler nedeniyle gerek askeri gerek sivil alanda oldukça ilgi görmektedir. Askeri alanda özellikle A.B.D. Savunma Bakanlığı, Yazılım Haberleşme Mimarisi (Software Communication Architecture - SCA) ve Birleşik Taktik Radyo Sistemi (Joint Tactical Radio System - JTRS) programı ile Yazılım Tabanlı Radyo sistemlere olan ilgisini göstermektedir. JTRS programı ile birçok farklı radyo türünün birbiriyle kolayca haberleşmesini sağlayacak bir açık mimari ileri radyo dalgaformu teknolojisi geliştirilmektedir. Başka ülkelerde de benzer programlar ve çalışmalar yürütülmektedir. Bu ve benzer örnekler bize Yazılım Tabanlı Radyo sisteminin önemini daha iyi açıklamaktadır. Yazılım Tabanlı Radyo sistemleri sadece haberleşme sistemlerinde değil interferometri, astronomi, sonar ve radar gibi sistemlerde de kullanılmaktadır. Günümüzde radarların çoğu hala prob sinyali üretmek için magnetron yâda diğer yüksek güçlü-yüksek frekanslı aygıtları kullanmaktadır. Yazılım Tanımlı Radar sistemlerinde ise prob sinyali tamamen sayısal olarak üretilebilmekte ve böylece pratik olarak sonsuz türden prob sinyali üretmek mümkün olabilmektedir. Ayrıca kullanılan algoritmalar uyarlamalı olarak değiştirilebilmekte ve kolayca güncelleme yapılabilmektedir.

Bu tezde yazılım tabanlı genel amaçlı bir radar alıcı katı tasarımı yapılarak FPGA donanımı üzerinde uygulaması gerçekleştirilmiştir. Öğrenim hayatım boyunca bana her türlü maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve beni bugünlere getiren aileme ve desteklerinden dolayı tüm dost ve arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez danışmanım ve değerli hocam Yrd. Doç.Dr. Mehmet YAKUT'a, bu konuyu seçmeme sebep olan ve radar sistemleri konusundaki deneyimlerini benimle paylaşan ve yol gösteren Dr.Faruk SARI'ya ve ayrıca NERC MST Radar verilerini kullanımına açarak yaptığım çalışmalarda bana destek olan Dr. David Hooper'a gönülden teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
TABLolar DİZİNİ.....	v
SİMGELER.....	vi
ÖZET	vii
İNGİLİZCE ÖZET	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	1
1.2. Konu Başlıklarının Organizasyonu	2
2. YAZILIM TABANLI RADYO'YA GİRİŞ.....	3
2.1. Yazılım Tabanlı Radyo	3
2.1.1. YT Radyo'nun sağladığı yararlar.....	4
2.2. Yazılım Tabanlı Radyo Nedir?.....	5
2.2.1. Yazılım Tabanlı Radyo ve Yazılım Radyo	5
2.2.1.1. Yazılım Tabanlı Radyo tanımı.....	6
2.2.1.2. Yazılım Radyo tanımı.....	6
2.2.2. Uyarlamalı Akıllı Yazılım Radyo ve diğer tanımlar.....	7
2.2.2.1. Uyarlamalı Akıllı Yazılım Radyo tanımı	7
2.2.2.2. Sayısal Radyo, Çoklu-bant ve Çoklu-mod tanımları.....	8
2.2.3. YT Radyo'nun gelişimi	9
3. RADAR'A GİRİŞ	11
3.1. Radar Kuramı	11
3.2. Radar Türleri ve Radar Frekans Bantları	12
3.3. Menzil.....	14
3.4. Menzil Çözünürlüğü.....	16
3.5. Hassas Zaman Kontrolü (STC).....	18
3.6. I ve Q Sinyalleri	19
3.7. Doppler Frekansı.....	22
3.8. Evreuyumluluk.....	25
3.9. Radar Denklemi	26
3.10. Radar Kesit Alanı (RKA)	28
3.11. Radar Tespiti.....	30
3.12. Yanlış Alarm Olasılığı	31
3.12.1. Hücre Ortalamalı CFAR.....	32
3.13. Radar Kargaşaları.....	34
3.14. Hareketli Hedef Göstergesi (MTI).....	34
3.14.1. Tek Gecikme-Hattı Bastırıcı.....	36
3.14.2. Optimum ağırlıklı Gecikme-Hattı Bastırıcıları.....	37
4. YAZILIM TANIMLI RADAR.....	39
4.1. Yazılım Tanımlı Radar Konsepti.....	39
4.2. Yazılım Tanımlı Radar Çalışma Prensibi.....	40

5.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	42
5.1.	NERC MST Radar Data Çalışmaları	42
5.1.1.	NERC MST Radar özellikleri.....	43
5.1.2.	MATLAB uygulaması.....	46
5.2.	Yazılım Tanımlı Radar Çalışması.....	55
5.2.1.	MATLAB ve VHDL simülasyonu.....	55
5.2.2.	FPGA uygulaması	58
6.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	66
	KAYNAKLAR.....	67
	ÖZGEÇMİŞ	70

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1: Basit Radar sistem mimarisi	11
Şekil 3.2: Gönderilen ve alınan darbe dizileri.....	15
Şekil 3.3: Menzil belirsizliğinin gösterimi.....	16
Şekil 3.4: (a) Tanımlanamayan iki hedef (b) Tanımlanabilen iki hedef.....	17
Şekil 3.5: Eko ve STC genliğinin zaman (yâda menzil) ekseninde gösterimi	18
Şekil 3.6: Sinüs sinyali denklemi	19
Şekil 3.7: Sinüs sinyalinin kutupsal gösterimi	20
Şekil 3.8: I ve Q'nun kutupsal formda gösterimi	21
Şekil 3.9: Dikaçı-örnekleme blok diyagramı	22
Şekil 3.10: Hareketli hedefin yansıyan eşfazlı dalga formuna etkisi	23
Şekil 3.11: (a) Ardışık darbeler arasındaki faz sürekliliği. (b) Herhangi iki darbenin eş fazlı dalga cepheleeri arasında dalgaboyunun tamkatı sağlandığında evreyuumluluk sağlanır	25
Şekil 3.12: Radar alıcı çıkışının zarfının zamana göre fonksiyonu.....	30
Şekil 3.13: Geleneksek CA-CFAR.....	33
Şekil 3.14: (a) Hedef ve Kargaşanın bulunduğu bir ortamda radarın PSD grafiği (b) MTI filtresi frekans yanıtı (c) MTI filtre çıkışı.....	36
Şekil 3.15: Tek gecikme-hattı bastırıcı	37
Şekil 3.16: N-kademeli gecikme-hattı filtresi	37
Şekil 4.1: Yazılım Tanımlı Radar basitleştirilmiş mimarisi	40
Şekil 5.1: NERC MST 46.5MHz Pulse Doppler Radarı, Aberystwyth, Galler	43
Şekil 5.2: NERC MST Radar huzme yönleri.....	45
Şekil 5.3: MST Radar verilerinin örnek MATLAB çıktısı	51
Şekil 5.4: MST Radar 0 nolu huzme (Dikey) için Doppler hız spektrumu	52
Şekil 5.5: MST Radar 9 nolu huzme (297.5° NW) için Doppler hız spektrumu	53
Şekil 5.6: MST Radar 11 nolu huzme (27.5° NE) için Doppler hız spektrumu	53
Şekil 5.7: MST Radar 13 nolu huzme (117.5° SE) için Doppler hız spektrumu	54
Şekil 5.8: MST Radar 15 nolu huzme (207.5° SW) için Doppler hız spektrumu.....	54
Şekil 5.9: Simülasyon için kullanılan YTR blok şeması	57
Şekil 5.10: CA-CFAR algoritmasının VHDL simülasyonu çıktısı	57
Şekil 5.11: Yazılım Tanımlı Radar alıcı katı blok şeması	58
Şekil 5.12: YTR ile yapılan testlere ait örnek bir PPI Skop görüntüsü	59
Şekil 5.13: CA-CFAR birimi sadeleştirilmiş blok şeması	62
Şekil 5.14: MTI birimi sadeleştirilmiş blok şeması.....	63

TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1: Standart radar frekans bantları.....	13
Tablo 3.2: Radar frekans bantları ve kullanım alanları	14
Tablo 5.1: PB bloğu parametre listesi.....	49
Tablo 5.2: Aberystwyth MST Radarı parametre listesi	50
Tablo 5.3: SDR Kontrol birimi tasarım özet.....	60
Tablo 5.4: Radar Dedektör birimi tasarım özet.....	60
Tablo 5.5: Zarf Dedektörü birimi tasarım özet	61
Tablo 5.6: Evreuyumlu Tümlęştirme birimi tasarım özet	61
Tablo 5.7: Evreuyumlu olmayan Tümlęştirme birimi tasarım özet	62
Tablo 5.8: CA-CFAR birimi tasarım özet	62
Tablo 5.9: MTI tasarım özet	63
Tablo 5.10: Doppler İşlemci birimi tasarım özet	64
Tablo 5.11: FFT birimi tasarım özet.....	64
Tablo 5.12: Doppler Kestirimi birimi tasarı özet	65
Tablo 5.13: SRAM Veri Tamponu birimi tasarım özet	65

SİMGELER

Kısaltmalar

ADC	Analog-to-Digital Converter
AI-SR	Adaptive Intelligence Software Radio
ASIC	Application Specific Integrated Circuit
BADC	British Atmospheric Data Centre
CA-CFAR	Cell Averaging-Constant False Alarm Rate
CFAR	Constant False Alarm Rate
CW	Continious Wave
CUT	Cell Under Test
DP	Dik açılı Polarizasyon
DPS	Doppler Power Spectrum
DSP	Digital Signal Processor
FFT	Fast Fourier Transform
FIR	Finite Impulse Response
FM-CW	Frequency Modulated Continious Wave
FPGA	Field Programmable Gate Array
GPP	General Purpose Processor
IF	Intermediate Frequency
IPP	Inter Pulse Period
JTRS	Joint Tactical Radio System
MST	Mesosphere-Stratosphere-Troposphere
MTI	Moving Target Indicator
NERC	Natural Environment Reseach Council
PC	Personal Computer
PRF	Pulse Repetation Frequency
PRI	Pulse Repetation Interval
PSD	Pulse Spectral Density
RF	Radio Frequency
RCS	Radar Cross Section
RKA	Radar Kesit Alanı
SCA	Software Communication Architecture
SDR	Software Defined Radar
STC	Sensitivity Time Control
SoC	System on Chip
STALO	STAble Local Oscilator
TP	Temel Polarizasyon
UA-YR	Uyarlamalı Akıllı-Yazılım Radyo
VHDL	Very high speed Hardware Description Language
YR	Yazılım Radyo
YTR	Yazılım Tanımlı (Tabanlı) Radar
YT Radyo	Yazılım Tabanlı Radyo

YAZILIM TANIMLI RADAR

Ahmet KALE

Anahtar Kelimeler: Yazılım Tabanlı Radyo, Yazılım Tanımlı Radar, YTR, Radar, Yazılım Radar, FPGA, VHDL

Özet: Yazılım Tanımlı (Tabanlı) Radar (Software Defined Radar - YTR) sistemlerinde tipik olarak donanımla gerçekleştirilen bileşenler (mikser, filtre, modülatör/demodülatör, yükselteç, dedektör vs.) yeniden programlanabilir sistemler (FPGA ve/veya DSP) kullanılarak yazılımsal olarak çeşitli sinyal işleme yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. YTR, farklı radar sistemine uyarlanabilecek yazılım tabanlı genel bir radar sisteminin geliştirilmesi fikrine dayanmaktadır. Farklı radar türleri için çeşitli parametrelerin değiştirilebildiği çeşitli sinyal işleme kütüphaneleri oluşturulması sağlanmakta ve bu kütüphaneler istenilen şekilde uyarlanabilmektedir.

Bu tezde yapılan çalışmanın amacı genel amaçlı bir Yazılım Tanımlı Radar alıcı katının tasarımı ve donanımsal olarak gerçekleştirilmesidir. Tez sonunda genel amaçlı basit bir YTR alıcı kartı tasarımı yapılarak FPGA'a gömülmüş ve testleri gerçekleştirilmiştir.

SOFTWARE DEFINED RADAR

Ahmet KALE

Keywords: Software Defined Radio, Software Defined Radar, SDR, Radar, Software Radar, FPGA, VHDL

Abstract: In Software Defined Radar systems the components (for instance; mixer, filter, Modulator/Demodulator, amplifier, detector etc.) which typically realized by hardware are can be implemented by using reconfigurable systems (FPGAs and/or DSPs) and signal processing techniques in software. The idea behind the SDR is implementing a general purpose software based radar system which can be applied to any kind of radar systems. For any kind of radar systems it can be realized reconfigurable signal processing libraries and they can be easily adapt to the radar systems.

The purpose of the work in this thesis is for designing and implementing a general purpose Software Defined Radar receiver. A simple generic design has been implemented and tested on FPGA.

1. GİRİŞ

1.1. Tezin Amacı

Bu tezin temel amacı Yazılım Tanımlı (Tabanlı) Radyo ve Radar sistemlerinin incelenerek radar kuramının ve radar algoritmaları ile sinyal işleme tekniklerinin anlaşılması, elde edilen bilgiler ışığında bir Yazılım Tanımlı Radar (Software Defined Radar - YTR) alıcı katı tasarımının gerçekleştirilmesidir.

Yazılım Tanımlı Radar sistemlerinde tipik olarak donanımla gerçekleştirilen bileşenler (mikser, filtre, modülatör/demodülatör, yükselteç, dedektör vs.) yeniden programlanabilir sistemler (FPGA ve/veya DSP) kullanılarak yazılımsal olarak çeşitli sinyal işleme yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. YTR, sistemlerinde analog RF / IF yâda temel banttaki I (in-phase) ve Q (quadrature) sinyalleri yüksek hızlı Analog/Sayısal dönüştürücüler (ADC) kullanılarak sayısala dönüştürülür ve bu sayısal sinyaller üzerinde çeşitli sinyal işleme yöntemleri uygulanır. Yazılım tabanlı sistemlerin en önemli özelliklerinden biri, sistemde yapılacak iyileştirmeler için donanım üzerinde bir müdahale gerektirmemesi ve sistem özelliklerinin sistem çalışırken adaptif olarak değiştirilebilmesidir.

Bu tezde YTR'ler için alıcı katı algoritmaları PC ortamında geliştirilerek sistemin blok tasarımı yapılacak ve FPGA üzerinde uygulaması gerçekleştirilecektir. Sistemin genel özelliklerine bakacak olursak, temel radar fonksiyonlarının yanında hedef tespiti ve hedef hızı gibi bilgilerde elde edilebilecektir. Sistemin en önemli özelliklerinden biride yazılım tabanlı mimarinin bir sonucu olarak parametrelerinin adaptif olarak değiştirilebilmesidir. MTI, CFAR gibi blokların parametreleri sistem aktif durumdayken değiştirilebilecek istendiği takdirde aktif yâda pasif yapılabilecektir. Sistem ayrıca değişik radar sistemlerine uyum sağlayacak şekilde esnek bir yapıda tasarlanacaktır.

Yazılım Tanımlı Radar alıcı katının test edilmesi amacıyla temel bantta sentetik radar dönüş ekoları (I ve Q sinyalleri) üretilecektir. Üretilen radar dönüş ekoları FPGA tabanlı YTR alıcı kartına enjekte edilecek ve alıcının ürettiği çıktılar Ethernet portu aracılığıyla PC'ye aktarılarak PPI arayüzü üzerinden izlenecektir.

1.2. Konu Başlıklarının Organizasyonu

İkinci bölümde Yazılım Tabanlı Radyo (YT Radyo) sistemleri ile ilgili genel bilgiler ve faydaları üzerinde durulacak, YT Radyo çeşitleri olan Yazılım Radyo (YR), Uyarlamalı Akıllı Yazılım Radyo (UA-YR) sistemleri açıklanacaktır. Ardından Sayısal Radyo, Çoklu-Bant ve Çoklu-Mod terimleri üzerinde durulacak ve YT Radyo'nin gelişimi anlatılacaktır.

Üçüncü bölümde radar ile ilgili genel bilgiler, radar çeşitleri ve frekans bantları verilecektir. Ardından radar sistemlerinde sıkça kullanılan menzil çözünürlüğü, I ve Q sinyalleri, doppler frekansı, evreuyumluluk gibi terimler tanımlanıp radar denklemi verilecektir. Bölümün ikinci kısmında hedef tespiti konusu ele alınarak radar kesit alanı, yanlış hata olasılığı gibi konular üzerinde durulacak, radar ortamındaki istenen ve istenmeyen hedefler incelenecektir.

Dördüncü bölümde radarların yazılım tabanlı sistemlerdeki yeri ve Yazılım Tanımlı Radar sistemlerinin çalışma prensibi üzerinde durulacaktır.

Beşinci bölüm ise tezle ilgili yapılan çalışmalara ayrılmıştır. Önce NERC MST Radar verilerinin incelenmesi ve bu verilerden elde edilen sonuç grafikleri gösterilecek, ardından radar alıcı katı üzerine yapılan PC simülasyonu ve FPGA uygulama çalışmaları anlatılacak ve bu çalışmaların sonuçları gösterilecektir.

2. YAZILIM TABANLI RADYO'YA GİRİŞ

Bu bölümde Yazılım Tanımlı Radar'ın da temelini teşkil eden Yazılım Tabanlı Radyo (YT Radyo) sistemleri incelenmektedir. Öncelikle YT Radyo'nin açıklaması yapılacak ve faydaları üzerinde durulacaktır. Ardından YT Radyo'nun türevleri olan Yazılım Radyo (YR) ve Uyarlamalı Akıllı Yazılım Radyo (UA-YR) terimleri açıklanacaktır. İleriki bölümlerde ise Sayısal Radyo, Çoklu-Bant ve Çoklu-Mod terimleri üzerinde durulacak ve son olarak YTR'nin gelişimi anlatılacaktır. Bu bölüm, referans [1-4] ile birlikte çeşitli internet kaynaklarından yararlanılarak hazırlanmıştır.

2.1. Yazılım Tabanlı Radyo

Yazılım Tabanlı Radyo, aynı zamanda yazılım tanımlı radyo yâda yazılım radyo olarak da bilinir, kablosuz haberleşmenin birçok türü için gelen teknolojik yenilik çağıdır. Bu teknoloji için birçok farklı perspektif olduğundan YT Radyo/YR terminolojisi için ortak belirlenmiş bir tanım yoktur[1]

İnsanların haberleşme ihtiyacının hızla artması ve farklı haberleşme yollarının ortaya çıkmasıyla birlikte (ses, veri ve video haberleşmesi, broadcast mesajlaşma, komuta ve kontrol haberleşmesi, acil durum haberleşmesi vb.), radyo aygıtlarının kolay ve uygun maliyetle değiştirilebilmesi kritik bir mesele haline gelmiştir. YT Radyo teknolojisi servis sağlayıcıları ve ürün geliştiricilerinden son kullanıcıya kadar geniş bir alana ulaşan faydalar sağlayacak ve haberleşmeyi ileriye taşıyacak uygun maliyet, esneklik, geliştirilebilirlik sağlayan bir yapı sunmaktadır[2].

Yazılım Tabanlı Radyo, YT Radyo Forum tarafından basitçe şu şekilde tanımlanmaktadır:

“Fiziksel katman fonksiyonlarının tümü yâda bir kısmı yazılım tabanlı olarak gerçekleştirilen radyo sistemidir.”[2]

Radyo, enformasyon transferini kolaylaştırmak için elektromanyetik spektrumun radyo frekans (RF) bölümünde sinyallerin kablosuz olarak gönderilmesi ve alınmasını sağlayan her çeşit ayardır. Günümüz dünyasında, radyolar cep telefonları, bilgisayarlar, araçlar ve televizyonlar gibi birçok öğede bulunmaktadır. Geleneksel donanım tabanlı radyo aygıtlarında fonksiyonlar sınırlıdır ve sadece fiziksel işlemlerle değiştirilebilir. Bu durum yüksek ürün maliyeti ve çoklu dalgaformu desteğinde minimum esneklik sağlar. Buna karşılık, Yazılım Tabanlı Radyo teknolojisi, bu soruna çözüm olarak verimli ve yazılım güncellemesiyle geliştirilebilen çok-modlu, çok-bantlı ve/veya çok-fonksiyonlu nispeten ucuz kablosuz aygıtlara olanak sağlar.

YT Radyo, tüm yâda bir kısım radyo fonksiyonlarının programlanabilir işlem teknolojileri üzerinde işletilen değiştirilebilir yazılım yâda belenim (firmware) aracılığıyla gerçekleştirilen, yazılım ve donanım teknolojisinin bileşimini ifade eder. Bu aygıtlar sahada programlanabilir kapı dizileri (FPGA), sayısal sinyal işlemcileri (DSP), genel amaçlı işlemciler (GPP), yonga üzerinde programlanabilir sistemler (SoC) yâda diğer uygulamaya özgü işlemcileri içerir. Bu teknolojilerin kullanılması mevcut radyo sistemlerine yeni donanım eklemeyi gerektirmeden yeni kablosuz özellikleri ve kabiliyetler sağlar.

2.1.1. YT Radyo’nun sağladığı yararlar

Yazılım Tabanlı Radyo’nun sağladığı yararları sistem üreticileri, servis sağlayıcılar ve kullanıcı düzeyindeki faydalarını inceleyecek olursak:

Radyo donanım üreticileri ve sistem entegratörleri için YT Radyo:

- Pazara çok hızlı bir şekilde sunulabilen yeni ürünlere olanak sağlayan, ortak bir mimari platformu kullanılarak gerçekleştirilebilen radyo ürünleri ailesidir.

- Geliştirme maliyetini önemli ölçüde azaltarak radyo ürünlerinde yeniden kullanılabilen yazılımdır.
- Radyo hizmet içi iken, havadan yâda uzaktan yeniden programlamayla hata düzeltmelerinin (Bug fix) yapılmasına olanak sağlar, böylece işlem ve bakım maliyetlerini ve süresini azaltır.

Radyo Servis Sağlayıcıları için YT Radyo:

- Büyük masraflar yapmaya gerek olmadan mevcut altyapıya yeni özellikler ve yetenekler eklenebilmektedir.
- Çoklu pazarlar için ortak bir radyo platformu kullanımı, lojistik destek ve işletme masraflarının önemli ölçüde azaltılmasını sağlar.
- Uzaktan yazılım güncellemesi ile kapasite artırılabilir, yetenek güncellemesi aktif edilebilir ve yeni gelir üreten özellikler eklenebilir.

Son kullanıcı (seyahatteki işadamlarından savaş alanındaki askerlere kadar) açısından YT Radyo teknolojisinin amaçları:

- Son kullanıcıya sağlanan, her yerde mevcut bulunan kablosuz haberleşme erişiminin maliyetini azaltmakta ve her kimle ne zaman ve ne şekilde isterse haberleşebilmesine olanak sağlamaktadır.

2.2. Yazılım Tabanlı Radyo Nedir?

YT Radyo, YR, UA-YR terimleri YT Radyo'nun özel uygulama sayfalarını belirtirler. YT Radyo terimi, bu geniş teknoloji ve kavram topluluğu için genel bir ifade olarak kullanılır. Bu ifadenin kullanımı enformasyonun, tüm teknolojik göstergelere karşı genel olarak uygulanabileceği anlamına gelir. YT Radyo, radyo sinyali ve radyo parametrelerinin yazılım kontrolünün her ikisini de yönlendiren yazılım sinyallerini içerir.

2.2.1. Yazılım Tabanlı Radyo ve Yazılım Radyo

“Yazılım Tabanlı Radyo” denildiğinde akla birçok anlam gelebilir. YT Radyo genel olarak sayısallaştırılmış radyo sinyalleri üzerinde kullanılan bir yazılım tekniği olarak tanımlanabilir. Temel niyet, geleneksel donanım odaklı, uygulamaya özgü yaklaşımlar geliştirmekten, bilgisayar platformunda radyo görevlerinin gerçekleştirilmesi için yazılım geliştirmeye kaymaktır.

YT Radyo ’nun mümkün olan gelişim kademelerini açıklamak ve anlamak için ortak kabul görmüş iki terimi inceleyebiliriz: “YT Radyo” ve “YR”. Teknolojik gelişim olarak YT Radyo, sayısallaştırmanın antende (yâda antene yakın) yapıldığı ve tüm işlemlerin yüksek hızlı sayısal sinyal işlemcilerinde yazılımsal olarak gerçekleştirilen YR’a kaydırılabilir. Böyle bir gelişim uygulamanın bir fonksiyonu olabilir. Örnek olarak bir baz istasyonu uygulaması, yazılım radyoya (YR) geçiş kolaylığına ve teknolojik gelişilebilirlik özelliğine sahip olmayı gerektirebilir yâda bunlara sahip olabilir, fakat el cihazları yâda portatif terminaller sayısız kısıtlamalardan dolayı YT Radyo ’nun ötesinde bir gelişime ihtiyaç duymayabilir yâda böyle bir gelişim yeteneğine sahip değildir.

2.2.1.1. Yazılım Tabanlı Radyo tanımı

YT Radyo, alıcıda sayısallaştırmanın antenden aşağıya doğru tipik olarak geniş-bant filtreleme, düşük gürültülü yükseltme ve takip eden kademelerde düşük frekansa dönüştürme işleminden sonra (bu işlemin tersi verici sayısallaştırma işleminde de gerçekleştirilir) gerçekleştirildiği radyo olarak tanımlanır. Esnek ve yeniden düzenlenebilir fonksiyon bloklara sahip sayısal sinyal işleme, radyonun karakteristiğini tanımlamaktadır.

2.2.1.2. Yazılım Radyo tanımı

Yazılım Radyo (YR)’da sayısallaştırmanın antende (yâda antene yakın) yapıldığı ve tüm işlemlerin yüksek hızlı sayısal sinyal işlemcilerinde yazılımsal olarak

gerçekleştirdiği radyo olarak tanımlanır. Günümüzde yüksek hızlı analog sayısal dönüştürücülerin hız ve yeteneklerinin artması ile Yazılım Tabanlı Radyo'dan yazılım radyo'ya geçiş kolaylaşmaktadır. YT Radyo' dan YR'a değişimde anahtar bir geçiş aşaması vardır. Bu değişim, kablosuz ürünlerin kısıtları ve tasarım kriterinin bütün kapsamına karşı dengeli bir biçimde gelişen çekirdek teknolojinin bir işlevidir. Bu çekirdek teknoloji, analog ortam frekansı içinde gerekli dönüşümleri ve frekans uzayının içinde radyo sinyallerinin işletilmesi ve sayısallaştırılması için gerekli benzer temel yapı bloklarının nitelikleri dâhil, en az analog-sayısal-analog dönüşüm kapasitesine, sayısal sinyal işleme yeteneğine, algoritmalara, hafıza tertibine sahiptir. Tasarım kriteri ve kısıtları, maliyet, karmaşıklık, performans, boyut, ağırlık, güç tüketimi gibi faktörleri kapsar.

2.2.2. Uyarlamalı Akıllı Yazılım Radyo ve diğer tanımlar

2.2.2.1. Uyarlamalı Akıllı Yazılım Radyo tanımı

Uyarlamalı akıllı yazılım radyo (UA-YR), kendi çalışma ortamına uyarlanabilme kapasitesine sahiptir dolayısıyla gelişmiş performans ve spektral verimlilik sağlamaktadır.

Bu terminolojinin altında yatan ana fikir radyonun yüksek performans ve verimlilik elde etmek için kendi çalışma modunu, çalışma ortamına otomatik olarak (insan müdahalesi olmadan) uyarlayabilmesidir. Bu, uyarlamalı algoritmaların gerçek zamanlı işlenmesi ve mobil ağ altyapısı, mevcut radyo frekans (RF) bantları (uygulamaya bağlı olduğu gibi kullanıcıya da bağlı olabilir), hava arayüz protokolleri, kullanıcı gereksinimleri, uygulamalar, minimum performans gereksinimleri, yayılım ortamı ile YT Radyo platformunun kapasitesi dâhil birçok kaynaktan gerçek zamanlı verilerin işlenmesi için önemli derecede hesaplama gücü gerektiren yapay zekâ kullanımını gerektirir. Bu yüzden, UA-YR radyo daha önce tanımlanan YT Radyo ve YR kavramlarının genişletilmiş halidir. Bu genişlemeye basit bir örnek olarak radyo, yayılım ortamı hızla kötüleşirken dinamik olarak daha dirençli bir dalga formu geliştirerek yayılım ortamına gerçek zamanlı olarak uyum

sağlayabilmektedir. İlk bakışta bu kolayca gerçekleştirilebilir gibi gözükürken, gerçekte mobil ağ altyapısını etkilemesi ve radyo için yukarıda belirtilen tüm girişlerin işlenmesi gereksinimi nedeniyle oldukça karmaşıktır.

2.2.2.2. Sayısal Radyo, Çoklu-bant ve Çoklu-Mod tanımları

Sayısal radyo anten ve giriş/çıkış aygıtlarının arasında herhangi bir noktada bilginin sayısallaştırıldığı bir radyodur. Sayısal radyo bunun bir YT Radyo olduğu anlamına gelmez. Radyo sayısal olabilir fakat eğer A/D çeviriciden sonra gelen sinyalin işlenmesi özel amaçlı, uygulamaya özgü tümleşik devreler (ASIC) tarafından gerçekleştiriliyorsa bu bir YT Radyo değildir. Çoklu-bant, el cihazları veya baz istasyonlarının spektrumun birçok bandında çalışabilmesi kabiliyetidir. Çoklu-mod ise el cihazları veya baz istasyonlarının birçok moda çalışabilmesini (örn. çoklu hava arayüz standartları, çoklu modülasyon tekniği veya çoklu erişim metotları) ifade eder. Çoklu-bant/Çoklu-Mod kabiliyeti YT Radyo dâhil, çeşitli donanım ve/veya yazılım tekniği kullanılarak uygulanabilir. Buradan YT Radyo'nun birçok farklı kablosuz pazarlara uygulanabileceği anlaşılmaktadır.

Burada üç büyük pazardan söz edilebilir:

- Ticari kablosuz pazarı (örn: cep telefonu, kişisel haberleşme servisleri (PCS), karasal mobil cihazlar v.s.).
- Sivil yönetim pazarı (örn: kamu güvenliği, yerel, bölgesel ve ulusal haberleşme v.s.).
- Askeri pazar.

Bu büyük pazarların her biri doğrudan YT Radyo'nun uygulama ve tanımını etkileyen farklı kriterlere sahiptir (örn: maliyet, ağırlık, boyut, performans, özellikler v.s.). Bu YT Radyo'nun gelişimini ve etkisini anlamak için dikkate alınmalıdır. YT Radyo'nun bu pazar alanlarında önemli bir örtüşme (çakışma) vardır ve bu YT Radyo'nun gelişmesi ve benimsenmesi için güçlü bir neden oluşturur.

Artan bir şekilde yeniden yapılandırılabilirlik, esneklik, çoklu-bant ve çoklu-Mod karakteristikleri ticari kablosuz servisler, askeri haberleşme ve sivil yönetim servisleri dâhil tüm radyo tabanlı haberleşme sistemlerinde gereklidir. Bu sistemlerin birçoğu yeni nesil karşılıklarına dönüşmektedir. Sonuç olarak, bu sistemler yaygın gömülü temelleri ve yeni sistem ile eski sistemlerin her ikisinin karşılıklı devamlılığını koruma gereksinimlerine bağlı problemlerle karşılaşacaktır. Sistem üreticileri de bu pazarlara ürün sağlarken benzer şeylerle karşılaşmaktadır. Sonuç olarak, birçok frekans bandı kullanarak değişik sistemler arasında beraber çalışabilir ve sıklıkla küresel temelde, şimdi ve gelecekteki temel istekleri şekillendirmektedir. Uzun vadede, altyapı ve terminal aygıtlarının her ikisinde bir kablosuz sistemlerin gömülü temelde geliştirme kabiliyeti ilaveten bir anahtar tasarım faktörü olacaktır. Dinamik yeniden düzenlenebilirlik çözümleri çok yönlü donanım ve yazılım ortamlarının her ikisini ve yükleme mekanizmasıyla güncellenmiş, geliştirilmiş yâda değiştirilmiş kapasiteleri sağlama kabiliyetini kapsamaktadır.

2.2.3. YT Radyo'nun gelişimi

Yukarıdaki temel tanımlamalar ve kavramlar ışığında, bir radyo içine dâhil edilebilen yazılım fonksiyonelliğinin açıkça iki farklı yönü olduğunu vurgulamaktayız.

1. Enformasyon sinyalinin yazılımsal işlenmesi,
2. Radyo otomatik olarak çalışma ortamına uyum sağlarken yüksek performans (örn. veri transferinde düşük bit hata oranı) ve/veya büyük spektral verimlilik (örn. saniyede Hertz başına düşen yüksek bit sayısı) sağlamak için uyarlamalı akıllı radyo parametrelerine sahip yazılım kontrolü.

Mevcut ve gelecek radyo teknolojisindeki yazılım işlevselliğindeki bu iki fark kablosuz sistemlerdeki şu iki temel soruyla doğrudan bağlantılıdır:

1. YT Radyo teknolojisinin kablosuz haberleşme sistemi çokluğundan kaynaklanan ortak çalışma sorunlarını halledebilme kabiliyeti,

2. YT Radyo teknolojisinin büyük spektral verimlilik ve spektrum kullanım (dinamik spektrum paylaşımı ve kesilebilir spektrum) yeteneği.

Terazinin bir ucunda, endüstri YT Radyo'nun birçok türdeki uygulamaları ve kısa vadede ticari kablosuz sistemlere çoklu-mod, çoklu bant kapasitesi sağlamak için kritik ortak çalışma sorunlarını halledebilme yeteneklerine karşı istek duymaktadır. Diğer taraftan, endüstri genel olarak YT Radyo'yu desteklemektedir, uyarlamalı akıllı radyo kavramını kullanarak 10 yıllar yâda daha fazla zamandır spektrum verimliliği ve yönetim sorunlarını çözmektedir. Eninde sonunda uyarlamalı, dinamik spektrum paylaşımını getirecek olan YR'in uyarlamalı akıllı hali radyo teknolojisinin uzun vadeli gelişimi olarak görülebilmektedir.

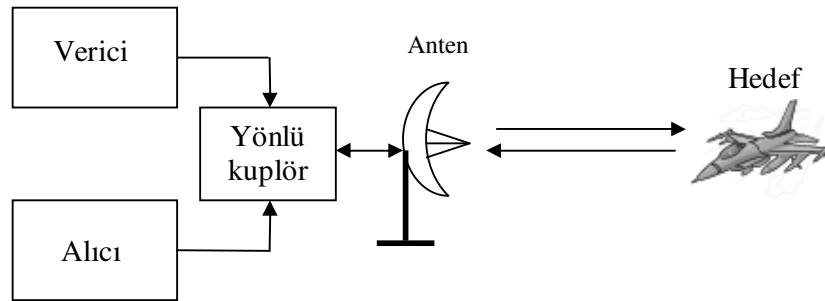
YT Radyo'dan YR'a olan gelişimi tetikleyen mekanizma A/D ve D/A çeviriciler, hızlı sinyal işlemciler, hafıza yongaları v.s. dâhil olarak sinyal işleme teknolojilerinin ilerlemesidir. Bu çekirdek teknolojilerdeki ilerlemeler, radyo sinyallerinin sayısallaştırılmasının temel banttan ara frekans (IF) katına, radyo frekans (RF) katına (ideal YR radyoda antene yakın yere) taşınmasını gerektirmektedir. Akıllı ağ algoritmalarındaki gelişmeler YR'dan, uyarlamalı spektrum paylaşımı ve yönetimi sayesinde gelişmiş spektral verimliliğe sahip UA-YR'a doğru ileri yönde gelişimini tetiklemek için gereklidir. Ele alınan tüm seviyelerde bu teknolojinin bütün faydalarından yararlanmak için, tamamen yazılım tabanlı el cihazları ve yazılım tabanlı baz istasyonları geliştirilmesi gerektirmektedir. Bu gelişime ek olarak sistem seviyesine hitabeden karmaşık uyarlamalı algoritmalarda geliştirilmelidir.

3. RADAR'A GİRİŞ

Bu bölümde radar ile ilgili genel bilgiler, radar çeşitleri ve frekans bantları verilecek, ardından radarların menzil çözünürlüğünden doppler etkisine ve hedef takibine kadar çeşitli fonksiyonları açıklanacaktır. Buradaki bilgilerin birçoğu temel radar kitapları [5-6,13,16]'da bulunmaktadır. Bu bölümün hazırlanmasında [5-17] arasındaki referanslardan ve [28-29]'dan yararlanılmıştır.

3.1. Radar Kuramı

RADAR kelimesi, İngilizce “RADio Detecting And Ranging” kelimelerinin baş harflerinden türetilmiştir[6]. Adında geçen iki kelimedenden de anlaşılacağı üzere temel olarak, hedef tespiti ve menzil tayini işlerini gerçekleştirmektedir. Bununla beraber birçok radar sistemi açısız yön ve doppler hızı tahmini fonksiyonlarını da gerçekleştirir. Bu fonksiyonları gerçekleştirmek için radarlar radyo dalgalarını kullanmaktadır. Genelde radar sistemleri, yönlendirilmiş bir anten vasıtasıyla elektromanyetik enerjiyi belirli bir yönde havaya göndererek hedef tespiti yapmaya çalışırlar. Arama yönünde radarın menzili içerisinde bulunan nesnelere, radarın gönderdiği elektromanyetik enerjinin bir kısmını geri yansıtırlar (Radar dönüş yada eko sinyali). Yansıyan sinyaller radar alıcısında işlenerek hedefle ilgili menzil, hız, açı pozisyonu gibi bilgiler elde edilir[5]. Şekil 3.1'de temel bir radar sistemi mimarisi örneği verilmiştir.



Şekil 3.1: Basit Radar sistem mimarisi

3.2. Radar Türleri ve Radar Frekans Bantları

Radarlar birçok farklı kategoride sınıflandırılabilmesine karşın genel olarak iki tür radar mevcuttur[11]:

- Sürekli Dalga (CW) Radarı: sürekli olarak yüksek frekanslı bir sinyal gönderirler. Yansıyan sinyal sürekli olarak alınır ve işlenir. İki tür sürekli dalga radarı vardır:
 - Doppler Radarı: Genellikle hassas hız ölçümleri gerçekleştirmek için kullanılır. Polis trafik radarları örnek olarak verilebilir. Doppler radarları sabit frekansta sürekli bir sinyal gönderir. Hedefe çarpıp dönen sinyal ölçülerek frekansta meydana gelen doppler kaymasından hız bilgisi elde edilir.
 - Frekans Modüleli Sürekli Dalga (FM-CW) Radarı: Belirli aralıklarla frekansı değişen sürekli bir sinyal gönderilir. Bu özelliğinden dolayı Doppler radarından farklı olarak hız bilgisinin yanında menzil bilgisi de elde edilir.
- Darbe Radarı: Kısa ancak güçlü darbelerden meydana gelen sinyaller gönderir. Darbe radarları gönderilen sinyalin hedefe çarpıp geriye dönmesine kadar geçen süreyi hesaplayarak menzil tayini işlemini gerçekleştirir. Aynı zamanda hedef hızı bilgisi de darbe radarları ile elde edilebilir.

Radarlar ayrıca uygulama alanlarına göre kara, deniz, hava, uzay, hareketli, taşınabilir, hava-trafik kontrolü, askeri, toprağa nüfuz eden, ultra geniş bant, ufuk ötesi, lazer (veya lidar) olarak yâda çalışma frekansı bandına göre (UHF, L, S, X v.s.) sınıflandırılabilir.

Elektromanyetik dalgaların spektrumu çok yüksek frekanslara (10^{24} Hz) kadar olan bir bölgeyi kapsar. Bu geniş frekans aralığı farklı fiziksel nitelikleri dolayısı ile farklı alt bantlara ayrılmışlardır. Tablo 3.1'de bantlara ayrılmış elektromanyetik spektrum ve ilgili bantta ITU tarafından önerilen radar frekans aralıkları görülmektedir.

Tablo 3.1: Standart radar frekans bantları[6].

Bant tanımı	Nominal frekans aralığı	ITU 2. bölge frekans tahsisine bağlı Radara özgü frekans aralığı
HF	3–30 MHz	
VHF	30–300 MHz	138–144 MHz 216–225 MHz
UHF	300–1000 MHz	420–450 MHz 890–942 MHz
L	1–2 GHz	1215–1400 MHz
S	2–4 GHz	2.3–2.5 GHz 2.7–3.7 GHz
C	4–8 GHz	4.2–4.4 GHz 5.25–5.925 GHz
X	8–12 GHz	8.5–10.68 GHz
K _u	12–18 GHz	13.4–14 GHz 15.7–17.7 GHz
K	18–27 GHz	24.05–24.25 GHz 24.65–24.75 GHz
K _a	27–40 GHz	33.4–36 GHz
V	40–75 GHz	59–64 GHz
W	75–110 GHz	92–100 GHz

Radarlar için ayrı bantlar belirlenmesinin bir nedeni, mikrodalga bölgesinde radar uygulamaları ve yayılım karakteristiğinin hızlıca değişmesidir[6]. Birçok mikrodalga bölgesinin üzerinde yağmurdaki zayıflama (db cinsinden ölçümü) yaklaşık $f^{2.8}$ kadar değişirken, yağmurdan kaynaklanan geri saçılım (backscatter) ve diğer küçük parçacıklar yaklaşık f^4 kadar değişim gösterir[6]. İyonosferik etki ise frekansla ters orantılı bir değişim gösterir ve 3GHz altındaki frekanslarda önemli bir etmen olabilmektedir. Tablo 3.2’de Radar frekans bantları ve kullanım alanları verilmiştir[6].

Tablo 3.2: Radar frekans bantları ve kullanım alanları[6].

Radar Bant tanımı	Frekans Aralığı	Kullanımı
HF	3–30 MHz	Ufuk ötesi tadar
VHF	30–300 MHz	Çok uzun menzilli gözetim
UHF	300–1000 MHz	Çok uzun menzilli gözetim
L	1–2 GHz	Uzun menzilli gözetim Yol boyunca trafik kontrolü
S	2–4 GHz	Orta menzilli gözetim Terminal hava trafik kontrolü Uzun menzil radar (200 nmi)
C	4–8 GHz	Uzun menzilli takip Hava indirme hava tespiti
X	8–12 GHz	Kısa menzilli takip Güdümlü Füze Deniz haritalama radarı Hava radarı Hava önlem
K _u	12–18 GHz	Yüksek çözünürlüklü uydu yükseklik ölçümü haritalama
K	18–27 GHz	Az kullanılır (su buharı)
K _a	27–40 GHz	Çok yüksek çözünürlüklü haritalama Kısa menzilli takip Hava gözetleme
V, W	40–110 GHz	Akıllı mühimmat, uzaktan algılama
Milimetre	110+ GHz	Deneysel, Uzaktan algılama

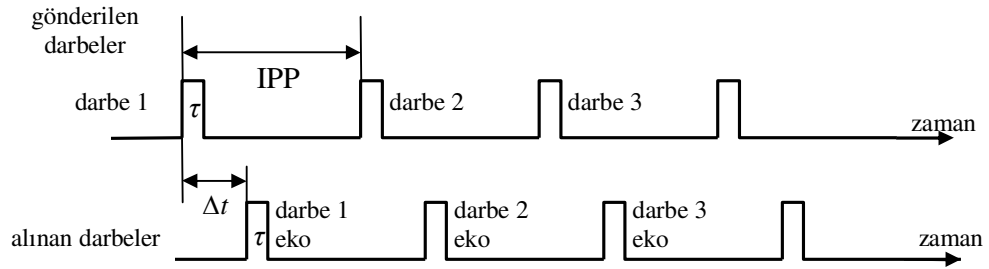
3.3. Menzil

Radarlarda hedefin menzili (uzaklığı) elektromanyetik dalgaların yayılım süresine göre hesaplanır. Elektromanyetik dalgaların boşlukta yayılma hızı bilindiğine göre ($c = 3 \times 10^8$ m/s) bir hedefin radara olan uzaklığı, radarın verici anteninden gönderilen sinyalin hedefe çarparak tekrar radar alıcısına ulaşmasına kadar geçen sürenin (Δt) hesaplanması ile bulunabilir. Burada geçen süre dalganın gidiş ve dönüşü olduğundan bu sürede kat edilen yolun yarısı hedefin gerçek uzaklığını verecektir. Sonuç olarak aşağıdaki denklem 3.1 yardımıyla hedefin menzili (R) hesaplanabilir:

$$R = \frac{c\Delta t}{2} \quad (3.1)$$

Genel olarak bir darbe radarı aşağıdaki şekil 3.2’de gösterildiği gibi bir dizi darbe gönderir ve alır. Darbeler arasındaki süre Darbe Periyodu (Inter Pulse Period - IPP) olarak bilinir ve T ile temsil edilmektedir. IPP genelde Darbe Tekrarlama Sıklığı (Pulse Repetation Interval - PRI) olarak bilinir. PRI’nın tersi PRF ise (f_r) Darbe Tekrarlama Frekansını (Pulse Repetation Frequency - PRF) vermektedir.

$$f_r = \frac{1}{PRI} = \frac{1}{T} \quad (3.2)$$



Şekil 3.2: Gönderilen ve alınan darbe dizileri

Her bir PRI süresi boyunca, radar τ saniyelik bir enerji yayar ve bir sonraki PRI’ya kadar hedeflerden gelen dönüş ekolarını dinler. Radarın gönderdiği darbenin iş süresi (duty cycle) $dt = \tau / T$ olarak tanımlanmıştır. Radarın ortalama gönderme gücü;

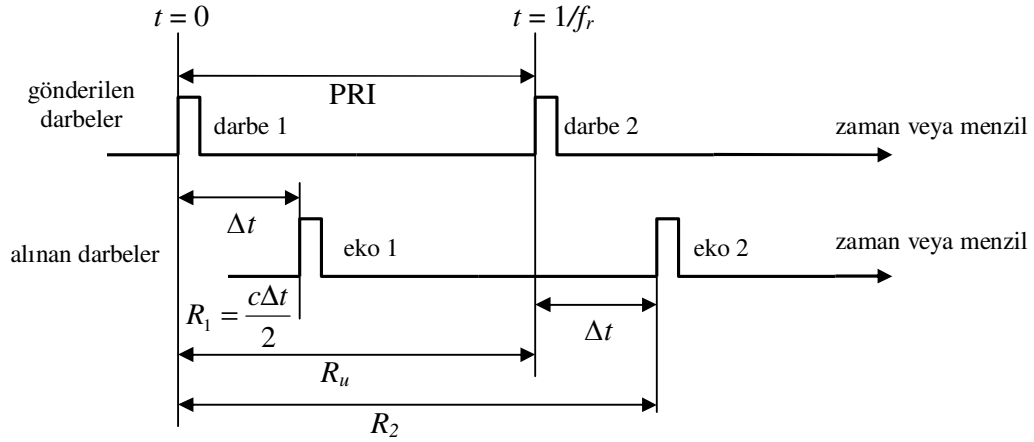
$$P_{av} = P_t d_t \quad (3.3)$$

olarak hesaplanır. Burada P_t radarın tepe gönderim gücünü göstermektedir.

Radar azami ölçüm mesafesi radar denklemi ile beraber sinyal alış süresi de dikkate alınarak hesaplanır. Her yeni darbeye menzil ölçüm işlemi baştan başlatılır. Ölçüm süresinin sınırlı olmasından dolayı bazı dönüş ekoları bir sonraki ölçüm aralığına düşebilir. Böyle bir durumda menzil belirsizliği (Range ambiguity) meydana gelir. Açık radar menzili (radar unambiguous range) T ye bağlıdır ve R_u ile gösterilir. Aşağıda şekil 3.3’deki durumu ele alacak olursak Eko-1, Darbe-1’den dolayı $R_1 = c\Delta t/2$ ‘deki hedeften gelen radar sinyalini belirtir. Eko-2, Darbe-2’den dolayı aynı

hedeften gelen dönüş sinyali olarak yorumlanabilir yâda Darbe-1'den dolayı R_2 menzilineki uzaklarda bulunan başka bir hedeften gelen bir yansıma da olabilir. Bu durumda;

$$R_2 = \frac{c\Delta t}{2} \quad \text{veya} \quad R_2 = \frac{c(T + \Delta t)}{2} \quad (3.4)$$



Şekil 3.3: Menzil belirsizliğinin gösterimi

Şekilden de görüleceği üzere menzil belirsizliği 2. eko'ya bağlıdır. Bu problemi ortadan kaldırmak için bir darbe gönderildiğinde, bir sonraki darbe gönderilmeden önce algılanabilecek en uzak mesafedeki hedef için gerekli olan süre kadar beklenilmesi gerekmektedir. Buradan maksimum açık radar menziline PRI'nın yarısına karşılık geldiğini çıkarabiliriz;

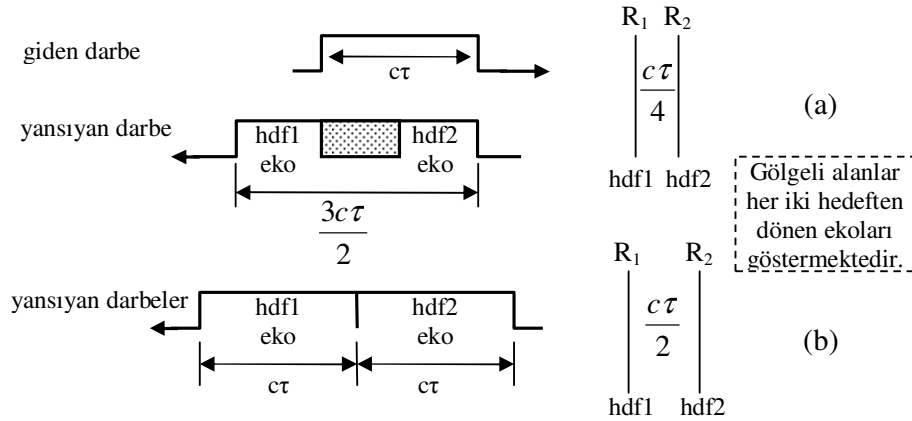
$$R_u = c \frac{T}{2} = \frac{c}{2f_r} \quad (3.5)$$

3.4. Menzil Çözünürlüğü

Menzil çözünürlüğü (ΔR), radarın birbirlerine yakın olan hedefleri tespit edebilme kabiliyetinin bir ölçüsüdür. Menzil çözünürlüğü, darbe süresi τ ile doğrudan ilişkilidir.

Bu ilişkiyi çözmek için öncelikle aralarında $c\tau/4$ kadar mesafe bulunan iki ayrı hedefi ele alalım. Bu durumda darbenin arka kenarı hedef-2'ye çarptığında ön kenar $c\tau$ kadar bir uzaklıkta geriye hareket etmiştir ve yansıyan darbe şekil 3.4 a'dan da görüleceği gibi her iki hedeften yansıyan darbenin bileşiminden oluşmaktadır. Buna karşın eğer iki hedef arasındaki mesafe en az $c\tau/2$ ise, bu durumda darbenin arka kenarı ilk hedefe çarptığında darbenin ön kenarı ikinci hedeften yansıyama başlar ve böylece şekil 3.4 b'den de görüleceği gibi iki farklı yansıyan darbe elde edilir. Sonuç olarak ΔR menzil çözünürlüğü, $c\tau/2$ 'ye eşit yâda büyük olmalıdır. Radar bant genişliği $1/\tau$ 'ya eşit olduğuna göre menzil çözünürlüğü;

$$\Delta R = \frac{c\tau}{2} = \frac{c}{2B} \quad (3.6)$$



Şekil 3.4: (a) Tanımlanamayan iki hedef (b) Tanımlanabilen iki hedef

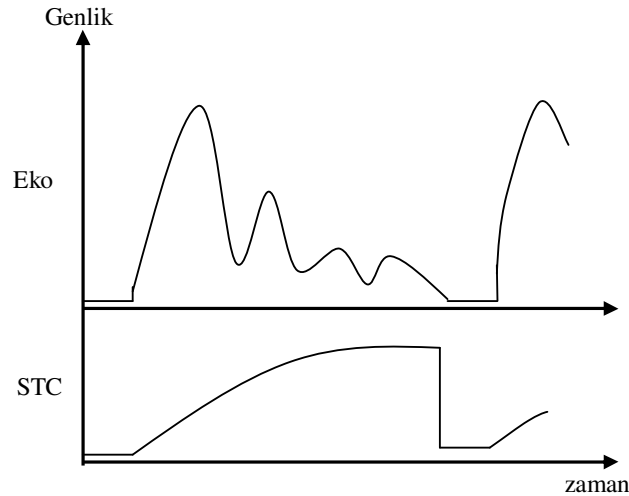
Radar sistemleri asgari ölçüm mesafesi (R_{\min}) ile azami ölçüm mesafesi (R_{\max}) arasında çalışacak şekilde tasarlanmışlardır. R_{\max} ile R_{\min} arasındaki mesafe her biri ΔR kadar olan M adet menzil hücreğine (range bins, range gates) ayrılır.

$$M = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{\Delta R} \quad (3.7)$$

Asgari menzil mesafesi gönderilen darbenin süresi ve radarın alıcı ile verici arasındaki anahtarlama hızına bağlıdır. Azami menzil mesafesi ise daha karmaşık bir formülasyonla hesaplanmakta olup genel anlamda radarın hedefleri tespit edebileceği en uzak mesafe olarak belirtilebilir.

3.5. Hassas Zaman Kontrolü (STC)

Radar alıcılarındaki dinamik menzil sınırlaması radar tasarımlarında karşılaşılan ilk problemlerden biridir. Eko sinyalinin ilk okuma anında yakınlıktan dolayı yüksek güçlü bir sinyal alınır. Bu sinyal radar alıcısının doyuma ulaşmasına neden olur. Bunu önlemek için kullanılan en yaygın teknik hassas zaman kontrolü (sensitivity time control, STC) devresidir. STC aynı zamanda süpürme kazancı (swept gain), anti-kargaşa (anti-clutter), baskılayıcı (suppressor) yâda deniz kargaşa kontrolü (sea clutter control) olarak da bilinir. STC'nin ana görevi deniz kargaşa sinyalleri tarafından engellenebilme olasılığı olan yakın hedeflerin tespit edilebilmesidir. Eğer deniz kargaşa sinyallerini yok etmek için yüksek değerlere ayarlanır ise, STC yakındaki küçük hedefleri de yok edebilir. Şekil 3.5'de deniz kargaşa sinyallerini önlemek için kullanılan STC fonksiyonunun bir örneği görülmektedir:



Şekil 3.5: Eko ve STC genliğinin zaman (yâda menzil) ekseninde gösterimi

3.6. I ve Q Sinyalleri

En basit haliyle I-Q sinyalleri bir sinüs sinyalinin genlik ve fazındaki değişimi göstermektedir. Eğer genlik ve faz değişimi önceden tanımlanmış belirli bir düzende gerçekleştirilirse, bu genlik ve faz değişimleri bir sinüs sinyali üzerinde bilginin kodlanmasında kullanılabilir.

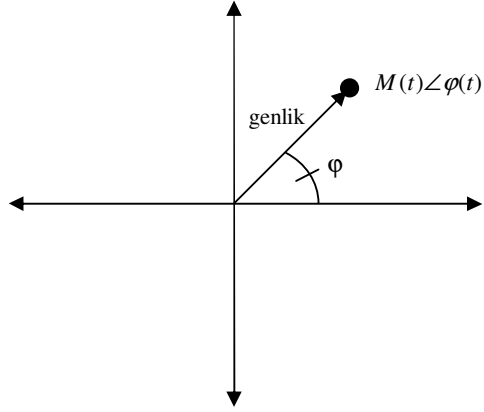
I-Q sinyalleri RF haberleşme sistemlerinde ve daha genel anlamda sinyal modülasyonunda oldukça yaygındır, çünkü sinyallerin modüle edilmesinde oldukça elverişli bir yöntemdir. Sinyal modülasyonu bilgi kodlamak amacı ile sinüs sinyallerinde yapılan değişikliklerden oluşmaktadır. Bir sinüs sinyalini gösteren matematiksel denklem şekil 3.6'daki gibidir[28]:

$$A_c \cos(2\pi f_c t + \varphi)$$

The diagram illustrates the components of the sinusoidal signal equation $A_c \cos(2\pi f_c t + \varphi)$. Three arrows point from the labels 'Genlik', 'Frekans', and 'Faz' to the corresponding parts of the equation: A_c , $2\pi f_c$, and φ respectively. A horizontal bracket is placed under the terms 'Frekans' and 'Faz', with the label 'Açı' centered below it.

Şekil 3.6: Sinüs sinyali denklemi

Eğer mümkün olan sinüs sinyali parametrelerini göz önüne alırsak, yukarıdaki eşitlikten de açıkça görüleceği gibi, bilgi kodlamak amacı ile bir sinüs sinyalinin genlik, frekans ve fazı olmak üzere üç parametresi ile oynayabiliriz. Frekans, basit anlamda bir sinüs dalgasının fazındaki değişim hızıdır (frekans, fazın birinci türevidir). Bu yüzden sinüs sinyalinin bu iki bileşeni müştereken, faz açısı olarak anılmaktadır. Dolayısı ile bir sinüs sinyalinin anlık durumunu, polar koordinat sisteminde genlik ve faz koordinatlarını içeren karmaşık düzlemdeki bir vektör ile gösterebiliriz (şekil 3.7):

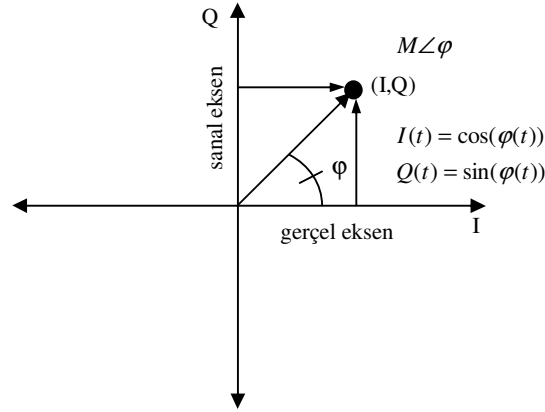


Şekil 3.7: Sinüs sinyalinin kutupsal gösterimi

Yukarıdaki grafikte, siyah noktadan orijine olan mesafe sinüs sinyalinin genliğini ve yatay eksenle olan açı da fazını göstermektedir. Sinüs sinyalinin genliği değişmedikçe orijinden noktaya olan mesafe sabit kalacaktır (modülasyon). Noktanın fazı, sinüs sinyalinin anlık durumuna göre değişecektir. Örneğin; frekansı 1 Hz olan bir sinüs sinyali saat yönünün tersine saniyede bir tur atarak dönecektir. Eğer bir dönüşte genlik değişmezse nokta, yarıçapı sinyalin genliği kadar olan bir daire oluşturacaktır.

Faz göreceli bir kavram olduğundan dolayı, frekansı genlik ve faz noktaları ile belirtilen bir sinüs sinyaline eşit bir sinüs sinyalini referans olarak kullandığımızı varsayalım. Eğer bu referans sinüs sinyali ile çizdirilen sinüs sinyalinin frekansı aynı olursa, iki sinyal arasındaki faz değişim hızı sabit olacaktır. Bu durumda tek bir genlik/faz noktası frekansı referans frekansa eşit olan bir sinüs sinyalini göstermekte kullanılabilir. Orijin etrafındaki her hangi bir faz dönüşü, referans sinüs sinyali ile çizdirilen sinüs sinyali arasında bir frekans farkı olduğunu gösterir.

Buraya kadar genlik ve faz bilgileri kutupsal koordinatlarda gösterilmiştir. Aslında I/Q sinyalleri sadece genlik ve faz sinyallerinin kutupsal koordinatlardan Kartezyen (X,Y) koordinat sistemine dönüşümüdür. Trigonometri kullanılarak, kutupsal koordinatlardaki bir sinüs sinyali bilgisi Kartezyen I/Q sinüs sinyal verisine dönüştürülebilir. Bu iki gösterim birbiri ile eşit ve aynı bilgiyi farklı formda göstermektedir. Bu eşitlik şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8: I ve Q'nun kutupsal formda gösterimi

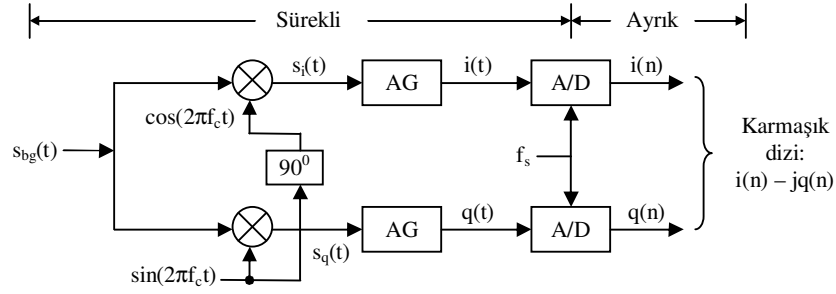
Genlik ve faz daha sezgisel kavramlar olduğundan dolayı, Kartezyen I ve Q sinyalleri yerine polar genlik ve faz verilerinin kullanılmasının gerektiği düşünülebilir. Buna karşın pratik donanım tasarımları I ve Q sinyallerini daha iyi bir seçim yapmaktadır.

Giriş mesaj sinyaline göre donanımsal bir devre içerisinde yüksek frekanslı bir sinüs taşıyıcı sinyalinin fazını kesin olarak değiştirmek oldukça zordur. Bir sinüs taşıyıcı sinyalinin fazı ve genliğini manipüle eden bir sinyal modülatörü donanımının tasarımı ve yapımı oldukça zor ve pahalı olabilir ve sonuçta I ve Q dalgaformlarını kullanan bir devre kadar esnek değildir.

I-Q sinyal formatı birçok sayısal sinyal işleme uygulamalarında kullanılmaktadır. Örnek olarak:

- Sayısal haberleşme sistemleri,
- Radar sistemleri,
- Evreuyumlu darbe ölçüm sistemleri,
- Anten ışın demeti oluşturma uygulamaları,
- Tek yan bant modülatörleri.

Bu uygulamalar dikaçı işleme (Quadrature Processing) olarak bilinen genel kategoriye girmektedir ve sinüzoidal sinyallerin fazının evreuyumlu ölçümünde ek işlem gücü sağlar.



Şekil 3.9: Dikaçı-örnekleme blok diyagramı[29].

Buraya kadar açıklanan bilgiler ışığında I-Q'nun kullanımının bize sağladığı faydaları anlamak açısından dikaçı-örnekleme işlemini ele alabiliriz (bkz. şekil 3.9). Dikaçı-örnekleme, sürekli (analog) bantgeçiren sinyalin sayısal dönüşürülmesi ve spektrumunun 0 Hz merkez frekansına dönüştürme işlemidir. Dikaçı-örnekleme işleminin bize sağladığı bazı faydalar şunlardır[29]:

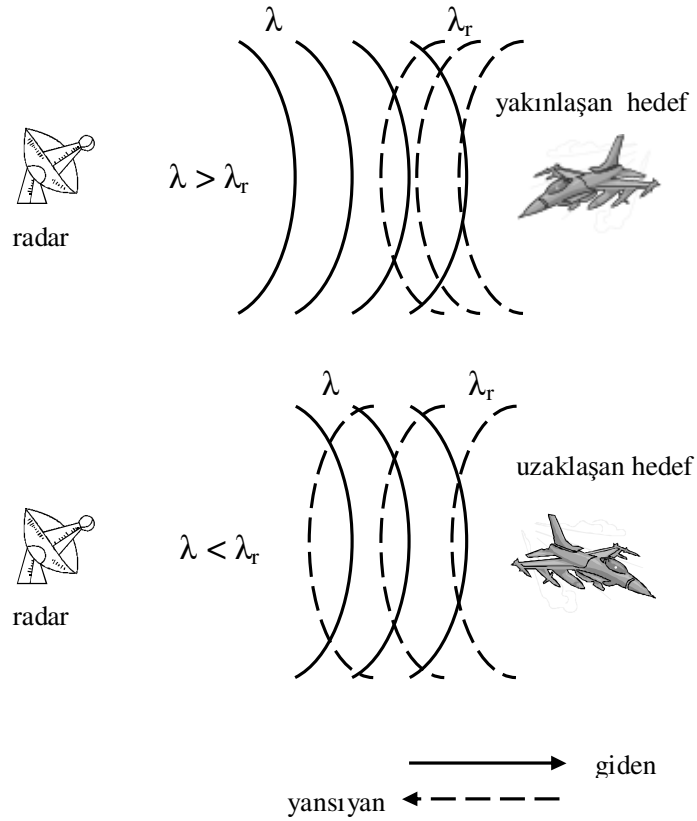
- I ve Q kanallarındaki A/D dönüştürücüler standart gerçek sinyal örnekleme hızının yarısı oranda çalışırlar,
- Birçok donanım uygulamasında düşük saat hızlarında çalıştığından güç kazancı sağlar,
- Verilen bir f_s örnekleme hızında, daha geniş bantta analog sinyal örneklenebilir,
- Dikaçı dizileri, geniş frekans aralığı kapsamı nedeni ile FFT işlemlerinin daha verimli gerçekleştirilmesini sağlar,
- Sinyallerin fazının bilinmesi evreyumlu işlemlere (örn. doppler radarı) olarak sağlar,
- Dikaçı-örnekleme aynı zamanda, bir sinyalin demodülasyonu sırasında anlık olarak genlik ve fazın ölçülmesini kolaylaştırır.

3.7. Doppler Frekansı

Radarların gerçek hedefler ile clutter'ları ayırt etmek için kullandığı temel tekniklerden biri hedefin doppler frekansının elde edilmesidir[6]. Genellikle ilgilenilen hedefler hareketli hedeflerdir, kargaşalar ise sıfır yâda sıfıra yakın menzil hızına sahiptir. Dolayısı ile hedeflerin menzil hızlarına bakılarak gerçek hedef yâda

kargaşa olduğu tespit edilmeye çalışılır. Doppler frekansı aynı zamanda hedeflerin tek boyutlu (menzil yönünde) hızını elde etmek için de kullanılır.

Doppler olayı, hedefin yayın kaynağına göre olan hareketinden dolayı giden dalganın fazında yâda diğer bir deyişle, merkez frekansında meydana gelen kaymayı tanımlar. Hedefin hareket yönüne bağlı olarak frekanstaki bu kayma negatif veya pozitif yönde olabilir. Hedefe doğru giden her bir eşfazlı dalga cephesi birbirine λ kadar uzaktır. Yaklaşan bir hedef, yansıyan eşfazlı dalga cephesinin birbirine yaklaşmasına neden olur. Buda frekansta pozitif yönde bir etki yapar. Alternatif olarak uzaklaşan bir hedef, yansıyan eşfazlı dalga cephesinin birbirinden uzaklaşmasına sebep olur ve merkez frekansını negatif yönde kaydırır (Bkz. Şekil 3.10)[5].



Şekil 3.10: Hareketli hedefin yansıyan eşfazlı dalga formuna etkisi

Fazın zamana göre değişimi ile doppler frekansı arasındaki ilişki, tek bir hedeften dönen sinyali ele alarak açıklanabilir. Radarın gönderdiği sinyali başlangıç fazı ϕ

olan $\cos(\omega t)$ sinyali olarak ele alırsak, radyal menzili R olan tek bir hedeften dönen sinyal I-Q dedektörü çıkışında aşağıdaki formda olacaktır[10]:

$$I(t) = A \cos\left(\omega t + \frac{4\pi R}{\lambda_r} + \varphi\right) \cos(\omega t) = \frac{A}{2} \cos\left(2\omega t + \frac{4\pi R}{\lambda_r} + \varphi\right) + \frac{A}{2} \cos\left(\frac{4\pi R}{\lambda_r} + \varphi\right) \quad (3.8a)$$

$$Q(t) = A \cos\left(\omega t + \frac{4\pi R}{\lambda_r} + \varphi\right) \sin(\omega t) = \frac{A}{2} \sin\left(2\omega t + \frac{4\pi R}{\lambda_r} + \varphi\right) + \frac{A}{2} \sin\left(\frac{4\pi R}{\lambda_r} + \varphi\right) \quad (3.8b)$$

Dedektör çıkışlarını bir alçak geçiren filtre ile süzdüğümüzde temel banttaki I ve Q sinyalleri elde edilecektir:

$$I(t) = \frac{A}{2} \cos\left[\frac{4\pi R}{\lambda_r} - \varphi\right] \quad (3.9a)$$

$$Q(t) = \frac{A}{2} \sin\left[\frac{4\pi R}{\lambda_r} - \varphi\right] \quad (3.9b)$$

Burada;

- A, sinyalin genliği (hedefin RKA değerine göre oranlı)
- λ_r , radar dalga boyu
- $\frac{4\pi}{\lambda_r}$, 2R menzil propagasyonuna bağlı faz
- φ , gönderilen sinyalin başlangıç fazı

Eğer menzil (R) zamanla değişirse (hedefin radara olan bağlı hareketi), formüldeki $\frac{4\pi R}{\lambda} - \varphi$, zamana bağlı bir fonksiyon olur. Fazdaki zamana bağlı değişim açısal hızı (ω) verir:

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{4\pi R(t)}{\lambda} - \varphi \right] = \frac{4\pi}{\lambda} \frac{d[R(t)]}{dt} = \frac{4\pi}{\lambda} v_r = \omega \quad (3.10)$$

Menzilin zamana göre değişim oranı ($d[R(t)]/dt$) radyal hızı (v_r) verir. Açısal hız da ($\omega=2\pi f$), frekans ile ilişkili olduğundan:

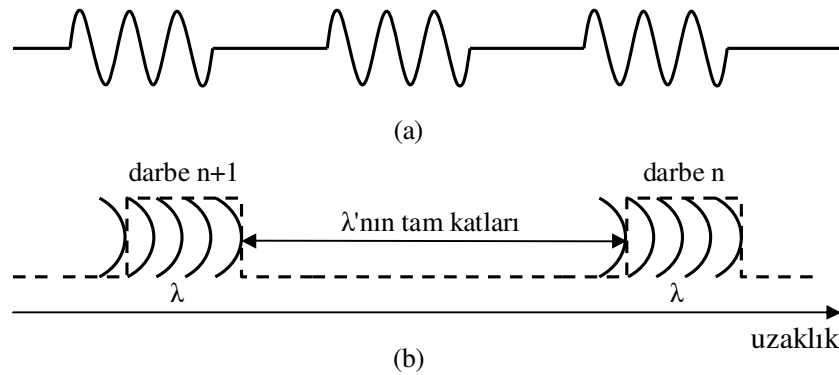
$$2\pi \frac{2v_r}{\lambda} = 2\pi f_d \quad (3.11)$$

ve doppler frekansı, f_d :

$$f_d = \frac{2v_r}{\lambda} \quad (3.12)$$

3.8. Evreyuyluluk

Gönderdiği darbelerin fazları arasında uyumluluk olan radarlar evreyuylu olarak adlandırılırlar[5]. Evreyuylu sistemlerde, şekil 3.11'den de görüleceği gibi, gönderilen darbeler arasında radar dalgaboyunun tam katı kadar bir mesafe vardır. Evreyuylu bir sistem, Kararlı Lokal Osilatör (STABLE Local Oscillator, STALO) kullanılarak gerçekleştirilebilir. Gönderdiği darbelerin fazını bir hafızada depolayan radarlar, alıcıda-evreyuylu yâda sözde evreyuylu radar olarak adlandırılırlar. Bu durumda alıcının faz referansı en son gönderilen darbenin fazıdır.



Şekil 3.11: (a) Ardışık darbeler arasındaki faz sürekliliği. (b) Herhangi iki darbenin eş fazlı dalga cepheleri arasında dalgaboyunun tam katı sağlandığında evreyuyluluk sağlanır.

Evreyuyluluk aynı zamanda radarın alınan sinyal fazını doğru bir şekilde ölçebilme kabiliyetini gösterir. Doppler, alınan bir sinyalin frekansındaki kayma olduğundan

yalnızca evreyumlu veya alıcıda-evreyumlu radarlar doppler bilgisini elde edebilirler. Bunun nedeni bir sinyalin anlık frekansı sinyalin fazının zamana göre türevine oranı olmasıdır. Daha açık bir ifadeyle;

$$f_i = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} \phi(t) \quad (3.13)$$

3.9. Radar Denklemi

Radar denklemi radarın menzili, alıcı, verici, anten, hedef ve çevre karakteristiklerine bağlıdır[13]. Radardan hedefe olan maksimum uzaklığın belirlenmesi dışında radar kuramının ve radar tasarımının temellerinin anlaşılmasına da yardımcı olur.

Yönsüz (izotropik, tüm yönlere eşit miktarda enerji yayan) bir anteni ele aldığımızda radara R mesafedeki bir noktada meydana gelen güç yoğunluğu, gönderilen gücün (P_i), R yarıçaplı hayali bir kürenin yüzey alanına ($4\pi R^2$) bölümü ile elde edilir:

$$P_D = \frac{P_i}{4\pi R^2} \left[\frac{\text{watts}}{m^2} \right] \quad (3.14)$$

Radarlar gönderilen gücü belirli bir yönde yoğunlaştırmak için yönlü anten kullanmaktadırlar. Yönlü antenler genellikle, antenlerin yönelticilik kabiliyetini belirten anten kazancı G ve antenin etkili açıklığı A_e ile karakterize edilirler.

$$A_e = \frac{G\lambda^2}{4\pi} \quad (3.15)$$

Kazancı G olan yönlendirilmiş bir anten kullanan radardan R kadar mesafedeki güç yoğunluğu aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$P_D = \frac{P_i G}{4\pi R^2} \quad (3.16)$$

Radar tarafından gönderilen enerji bir hedefe çarptığında, hedef üzerindeki yüzey akımları tüm yönlerde elektromanyetik enerji yayarlar. Bu yayılan enerjinin miktarı, hedefin boyutuna, yönüne, fiziksel şekline ve kullanılan materyale orantılıdır. Bir hedefe ait olan tüm bu parametreler Radar Kesit Alanı (RKA) olarak adlandırılır ve σ ile gösterilir.

Radar kesit alanı, hedeften dönen gücün (P_r), hedefe gönderilen güce (P_D) oranı olarak tanımlanmaktadır:

$$\sigma = \frac{P_r}{P_D} [m^2] \quad (3.17)$$

Sonuç olarak hedeften dönen ve radar tarafından alınan sinyalin gücü aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$P_r = \frac{P_t G \sigma}{(4\pi R^2)^2} A_e \quad (3.18)$$

Denklem 3.15'den A_e 'nin değerini denklem 3.18'de yerine yazarsak:

$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \quad (3.19)$$

elde edilir.

Radarın hedefleri tespit edebileceği en uzak mesafe R_{\max} , radarın algılayabileceği en düşük sinyal seviyesi S_{\min} 'e bağlıdır. Bu durumda:

$$R_{\max} = \left(\frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 S_{\min}} \right)^{1/4} \quad (3.20)$$

3.10. Radar Kesit Alanı (RKA)

Bir hedefe doğru gönderilen elektromanyetik dalgalar hedefe çarptığında hedefin yapısına bağlı olarak tüm yönlere doğru saçılır. Radar tarafından hedefe gönderilen elektromanyetik dalganın enerjisinin, hedeften radara geri yansıyan elektromanyetik dalganın enerjisine oranı radar kesit alanı (RKA) olarak adlandırılır. Geriye yansıyan enerjinin miktarı gönderilen dalganın dalgaboyu, hedef geometrisi, yönü ve yansıtıcılığı gibi birçok parametreye bağlıdır.

Saçılan dalgalar iki kısma ayrılırlar. İlk kısım alıcı antenle aynı polarizasyona sahip dalgalardan oluşur. Saçılan dalgaların diğer kısmı alıcı antenin yanıt vermediği farklı bir polarizasyona sahip dalgalardır. Bu iki polarizasyon temel polarizasyon (TP) ve dik açılı polarizasyon (DP) olarak adlandırılırlar[5]. Anten ile aynı polarizasyondaki geriye saçılan enerjinin yoğunluğu hedefin RKA değerini saptamada kullanılır. Bir hedef RF enerjisi ile aydınlatıldığında bir anten gibi davranır ve yakın alan ve uzak alan bölgelerine sahip olur. Yakın alanda ölçülen yansıyan enerji genellikle küreseldir. Uzak alandaki dalga cephesi ise düzlem dalgaların lineer bileşiminden meydana gelir.

Radardan R kadar uzaklıkta bulunan bir hedefe doğru giden bir dalganın güç yoğunluğunun P_{Di} olduğunu varsayalım. Bu durumda hedeften dönen yansıyan gücün yoğunluğu:

$$P_r = \sigma P_{Di} \quad (3.21)$$

Burada σ hedefin kesit alanını göstermektedir. Alıcı antene gelen saçılan dalganın güç yoğunluğunu P_{Dr} ile tanımlarsak, alıcı antendeki güç yoğunluğu:

$$P_{Dr} = \frac{P_r}{4\pi R^2} \quad (3.22)$$

Denklem 3.21'yi denklem 3.22'de yerine yazarsak, radar kesit alanı:

$$\sigma = 4\pi R^2 \left(\frac{P_{Dr}}{P_{Di}} \right) \quad (3.23)$$

olur ve alıcı antenin uzak alanda olduğunu doğrulamak için denklem 3.23 aşağıdaki gibi düzenlenebilir:

$$\sigma = 4\pi R^2 \left(\frac{P_{Dr}}{P_{Di}} \right) \quad R \gg \lambda \quad (3.24)$$

Denklem 3.24, genellikle monostatik RKA, geri saçılım RKA veya basit hedef RKA olarak tanımlanır.

Geri saçılım RKA, radar yönünde ve alıcı antenle aynı polarizasyondaki tüm dalgaların ölçümüyle hesaplanır. Bu değer, toplam geri saçılan hedef RKA değeri olan σ_t 'nin bir bölümünü ($\sigma_t > \sigma$) temsil eder.

Hedeften geri saçılan toplam RKA değeri:

$$\sigma_t = \frac{1}{4\pi} \int_{\varphi_s=0}^{2\pi} \int_{\theta_s=0}^{\pi} \sigma(\theta_s, \varphi_s) \sin \theta_s \quad d\theta_s \quad d\varphi_s \quad (3.25)$$

ile hesaplanmaktadır.

Bir hedeften geri saçılan elektromanyetik dalgaların miktarı giden dalganın dalga boyu λ ve hedefin boyutu ile orantılıdır. Radarlar kullandığı dalgaboyundan küçük hedefleri tespit edemezler. Örneğin L-bandında çalışan bir hava radarı için yağmur damlaları, radar dalga boyundan daha küçük olacağından neredeyse görünmez olur.

seviyesinin belirlenmesinin gerçek hedeflerin tespitinde ne kadar önemli bir problem olduğunu anlamaktayız.

3.12. Yanlış Alarm Olasılığı

Yanlış alarm olasılığı P_{fa} , radarda sadece gürültü mevcutken, radar eko sinyalinin radarın zarf detektörü çıkışındaki genliği r 'nin R 'deki bir örneğinin eşik gerilimini (V_T) geçme olasılığını tanımlamaktadır. Aşağıda Rayleigh dağılımlı gürültünün olduğu bir ortamdaki yanlış alarm olasılığı verilmiştir[5].

$$P_{fa} = \int_{V_T}^{\infty} \frac{r}{\psi^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\psi^2}\right) dr = \exp\left(\frac{-V_T^2}{2\psi^2}\right) \quad (3.27)$$

Burada ψ^2 , gürültünün varyansını belirtmektedir.

Hedef tespit eşiği, radar alıcısının önceden tanımlı bir yanlış alarm olasılığını sağlaması için hesaplanmaktadır. Denklem 3.28, yanlış alarm olasılığı P_{fa} ile eşik gerilimi V_T arasındaki ilişkiyi göstermektedir:

$$V_T = \sqrt{2\psi^2 \ln\left(\frac{1}{P_{fa}}\right)} \quad (3.28)$$

Bu denklemi incelediğimizde ortamdaki gürültü gücünün sabit olması durumunda sabit bir eşik geriliminin elde edilebileceği görülmektedir. Fakat pratikte ortamdaki gürültü değişken olduğundan sabit bir yanlış alarm olasılığı elde edebilmek için ortamdaki gürültünün değişimi (varyansı) dikkate alınarak eşik gerilimi sürekli güncellenir. Bunu sağlamak için kullanılan teknik sabit yanlış alarm oranı, CFAR olarak bilinmektedir.

3.12.1. Hücre Ortalamalı CFAR

Modern radar sistemlerinde, gerçek hedeflerin dış ortamdan kaynaklanan gürültülerden ayrıştırılması için adaptif eşik algoritmaları kullanılmaktadır. CFAR, en çok kullanılan adaptif eşik hesaplama algoritmalarından biridir. Literatürde birçok CFAR tekniği olmasına karşın hedef tespitinde Hücre Ortalamalı CFAR (CA-CFAR) en çok kullanılan adaptif sinyal işleme tekniğidir[9].

CA-CFAR'da menzil veya doppler hücreleri dizisi üzerinden işlem yapılır. O an işlem yapılan hücreye test hücresi (Cell Under Test - CUT) adı verilir. Test hücresinin sağında ve solunda bulunan belirli sayıdaki (toplam M adet) hücreler "CFAR Referans Penceresi" olarak adlandırılır. Ayrıca CUT ile pencere hücreleri arasında kalan hücreler de "Koruma Hücreleri" olarak ele alınırlar.

CA-CFAR'da referans penceresindeki tüm hücrelerin ortalaması alınarak adaptif eşik hesaplanır. CA-CFAR'da gürültülü bir ortamdan hedefin tespiti kararı iki test hipotezi ile modellenebilir:

$$H_{1(\text{hedef var})} : Y = d + g \quad (3.29)$$

$$H_{2(\text{hedef yok})} : Y = g$$

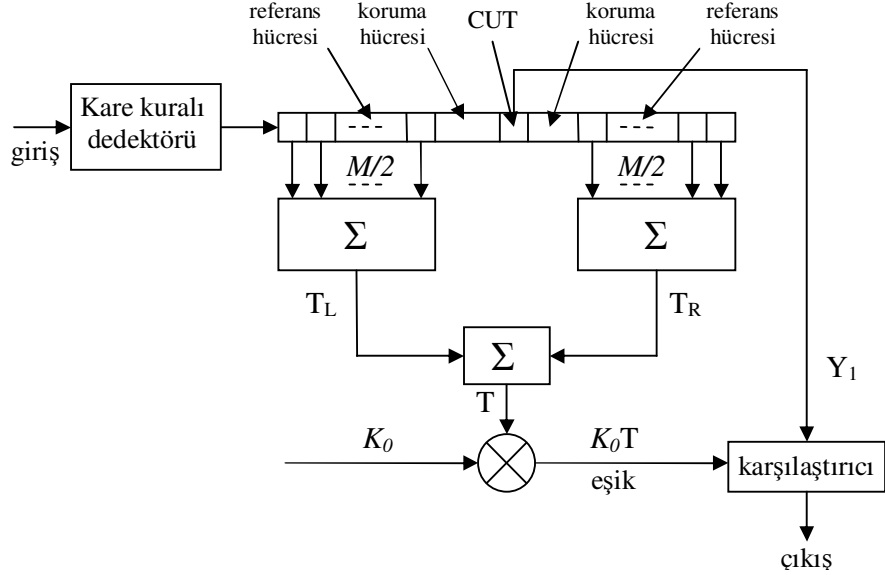
Burada d, alıcı sinyali g ise ortamdaki gürültü bileşenini göstermektedir. Burada hipotezler için karar işlemi test örneği x_i ile CFAR tarafından hesaplanan eşik değerinin karşılaştırılması ile gerçekleştirilir:

$$H_1 : x_i > T \quad (3.30)$$

$$H_2 : x_i < T$$

CA-CFAR'da amaç arka planda sürekli değişen bir ortamda yanlış alarm olasılığını istenen seviyede tutmaktır. Şekil 3.13'de bir CA-CFAR algoritmasının blok şeması görülmektedir. Burada test hücresinin (CUT) sağında M/2 ve solunda M/2 olmak üzere toplam M adet referans pencere hücresinin ortalaması alınmaktadır. Ayrıca gürültünün hesaplanmasını etkileyen birbirine yakın hedeflerin ortalama işlemine

dâhil edilmesini önlemek amacıyla test hücresi ile referans pencereler arasında koruma hücreleri seçilmiştir.



Şekil 3.13: Geleneksek CA-CFAR

Ortalama hesaplama işleminde test hücresinin solunda ve sağındaki referans hücreler toplanarak ortalamaları (T_L ve T_R) alınır. Her iki ortalama değeri, sinyaldeki yerel gürültü seviyesinin hesaplanması için birleştirilir. Bu amaçla ortalama, en büyük ve en küçük olmak üzere üç farklı yaklaşım kullanılır:

$$T = \begin{cases} \frac{1}{2}(T_L + T_R) \\ \max(T_L, T_R) \\ \min(T_L, T_R) \end{cases} \quad (3.31)$$

Gürültü kestirimi, elde edilen ortalama değerin ölçekleme faktörü K_0 ile çarpımı ile elde edilir ve bu değer test hücresi ile karşılaştırılır. Aşağıdaki koşul sağlandığında tespit işlemi gerçekleşmiş demektir:

$$Y_1 \geq K_0 T \quad (3.32)$$

K_0 ölçekleme sabiti ortamdaki gürültü dağılımına bağlıdır ve arzu edilen yanlış alarm olasılığını düzenler.

3.13. Radar Kargaşaları

Kargaşa (Clutter), istenmeyen radar dönüş ekosu üreten nesnelere tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Antenin ana lobundan giren parazitik ekolara Ana lob kargaşası denir, aksi takdirde yan lob kargaşası olarak adlandırılır[5]. Kargaşalar iki ana kategoride sınıflandırılırlar: yüzey kargaşaları ve hava veya hacim kargaşaları. Yüzey kargaşaları ağaçlar, bitki örtüsü, yer yüzeyi, insan yapımı yapılar ve deniz yüzeyidir (deniz kargaşası). Hava kargaşaları ise genellikle radar menzil hücrelerine göre oldukça büyük olabilirler ve karıştırma reflektörü (chaff), yağmur, kuşlar ve haşereleri içerirler. Kargaşa ekoları yeterince güçlü olduğunda radar alıcılarının hassasiyetini sınırlandırabilirler ve sonuç olarak menzil performansını etkileyebilirler.

Kargaşa ekoları fazı ve genliği rastgele değişen sinyallerdir ve termal gürültüye benzer karakteristikleri vardır ve genellikle alıcının gürültü seviyesinden daha yüksek genlik seviyesine sahiptirler.

Kara, deniz, yağmur ve diğer benzer nesnelere yansıyan radar ekoları her zaman istenmeyen sinyaller olarak kabul edilmezler. Örneğin meteoroloji radarları havadaki yağmur, dolu, toz, bulut ve benzeri atmosferik nesnelere ölçümünde kullanılırlar. Böylece meteorolojistler hava tahminleri yapabilmektedir. Karadan yansıyan saçılma ekoları birçok radar için performansı azaltan bir etken iken, sentetik açıklık radarlarının (SAR veya ISAR) ilgilendiği hedeflerdir. Sonuç olarak aynı nesne bir uygulama için hedefken, farklı bir uygulama için kargaşa ekosu olabilir.

3.14. Hareketli Hedef Göstergesi (MTI)

Hareketli Hedef Göstergesi (MTI) sistemleri istenmeyen durağan nesnelere kaynaklanan kargaşanın çok olduğu bir ortamda hareketli hedeflerin tespit

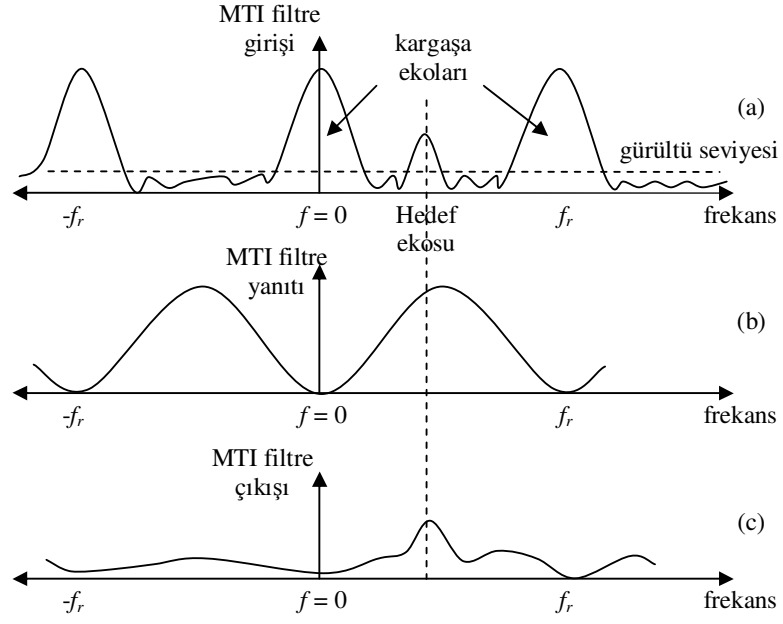
edilmesinde çok kullanılan bir radar türüdür. Kargaşalar bir örnekten diğerine ilişkilidir ve göreceli olarak dar, düşük frekanslı spektrumları nedeniyle alıcı gürültüsünden ayırt edilebilirler. Bu özelliğinden dolayı filtreleme yapılarak kargaşa frekansındaki etkiler bastırılıp kargaşalardan daha yüksek doppler kaymalarına sahip hareketli hedeflerin filtreden geçmesi sağlanabilir. Spektrumlarının farklı olmasından faydalanarak hareketli hedefleri kargaşa içerisinden ayırabilen işlemciler Hareketli Hedef Göstergesi yâda kısaca MTI olarak adlandırılmaktadır[6]. En basit MTI filtresi aynı bölgeden gelen iki geçerli ekoyu birbirinden çıkaran tek gecikme-hattı bastırma filtresidir. Burada sabit nesnelere gelen yansımalar bastırılırken hareketli hedeflerden gelen ekolar değişken sinyaller üretir.

Şekil 3.14 a'da hedef ve kargaşa sinyallerinin bulunduğu bir radar ekosunun güç spektral yoğunluğu (PSD) görülmektedir. Kargaşa ekolarının spektrumu DC ($f=0$) etrafında yoğunlaştığından MTI filtreleri, DC ve PRF (f_r)'in tam katlarında yüksek bastırma oranı olan durdurma bandına sahip olmalıdır. Şekil 3.14 b'de tipik bir MTI filtre cevabı verilmişken şekil 3.14 c'de ise a'daki giriş karşılık MTI filtrenin vereceği yanıt gösterilmiştir.

Yukarıda da belirtildiği gibi MTI filtreleri gecikme-hattı bastırıcılarıdır. Bu tür MTI filtrelerinin frekans yanıtları sıfır ve PRF'in tam katlarında periyodiktir. Bunun sonucunda doppler frekansı nf_r olan hedefler önemli biçimde zayıflatılır. Doppler frekansı hedefin hızı ile orantılı olduğundan, hedefin f_r 'nin tam katlarında doppler üreten hızları “kör hız” olarak bilinir. Daha açık bir ifadeyle:

$$v_{blind} = \frac{\lambda f_r}{2}; n \geq 0 \quad (3.33)$$

Radar sistemleri çoklu PRF tertipleri uygulayarak veya yüksek PRF kullanarak kör hızların meydana gelmesini önleyebilirler.

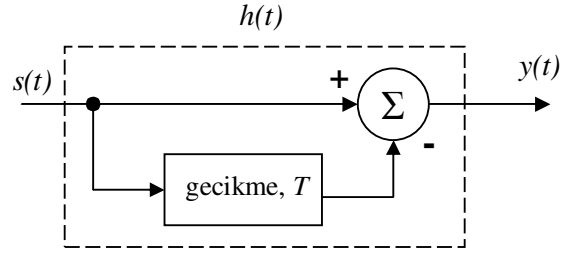


Şekil 3.14: (a) Hedef ve Kargaşanın bulunduğu bir ortamda radarın PSD grafiği (b) MTI filtresi frekans yanıtı (c) MTI filtre çıkışı

3.14.1. Tek Gecikme-Hattı Bastırıcı

Tek gecikme-hattı bastırıcıları şekil 3.15’de görüldüğü gibi gerçekleştirilmektedir. Gecikme-hattındaki zaman gecikmesi darbe tekrarlama sıklığı kadar olmalıdır. Gecikme-hattı bastırıcıları kargaşanın dc bileşenlerini yok eden bir filtre gibi davranmaktadır. Periyodik yapısından dolayı aynı zamanda darbe tekrarlama frekansını ve bunun harmoniklerini de bastırmaktadır.

Bastırıcının dürtü yanıtı $h(t)$ olarak tanımlanırsa filtrenin çıkışı $y(t)$ dürtü yanıtı ile giriş sinyali $s(t)$ ’nin konvolüsyonuna eşittir. Tek gecikme-hattı bastırıcıları, çıkış üretmeden önce iki farklı giriş darbesi gerektirdiğinden sıklıkla “çift darbe bastırıcı” olarak da adlandırılırlar.



Şekil 3.15: Tek gecikme-hattı bastırıcı

Burada gecikme T , radarın PRI değerine eşittir. Gecikme-hattının çıkış sinyali:

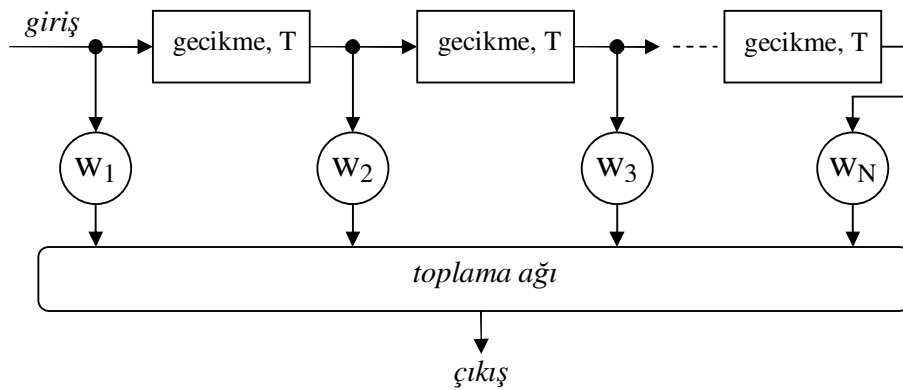
$$y(t) = s(t) - s(t - T) \quad (3.34)$$

Sistemin dürtü yanıtı ise:

$$h(t) = \delta(t) - \delta(t - T) \quad (3.35)$$

3.14.2. Optimum ağırlıklı Gecikme-Hattı Bastırıcıları

Gecikme-hattı bastırıcıları genellikle “kademeli gecikme-hattı” olarak bilinen çapraz Sonlu Dürtü Yanıtı (FIR) filtre ailesinden biridir. Şekil 3.16’da N -kademeli gecikme-hattı uygulaması görülmektedir.



Şekil 3.16: N -kademeli gecikme-hattı filtresi.

Ağırlıkların seçiminde binomial katsayıları (genişletme katsayıları $(1-x)^N$) sinyalleri değiştirilerek seçilir. Ardından meydana gelen MTI filtresi, N-kademeli kaskat bağlanmış tek gecikme-hattı bastırıcısına eşittir. Binomial katsayılar genel olarak aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$w_i = (-1)^{i-1} \frac{N!}{(N-i+1)!(i-1)!} \quad ; i = 1, \dots, N+1 \quad (3.36)$$

Sinyalleri değiştirilerek binomial katsayıların kullanılmasıyla MTI filtresi optimal filtreye yaklaşmaktadır. Buda tespit olasılığı ile birlikte iyileştirme faktörünün de yükseltilmesine neden olmaktadır.

4. YAZILIM TANIMLI RADAR

Burada Yazılım Tanımlı Radar (YTR) konsepti ve YTR sistemlerinin çalışma prensibi anlatılmaktadır. Bu bölümde referans [23-27] ve çeşitli internet kaynaklarından yararlanılmıştır.

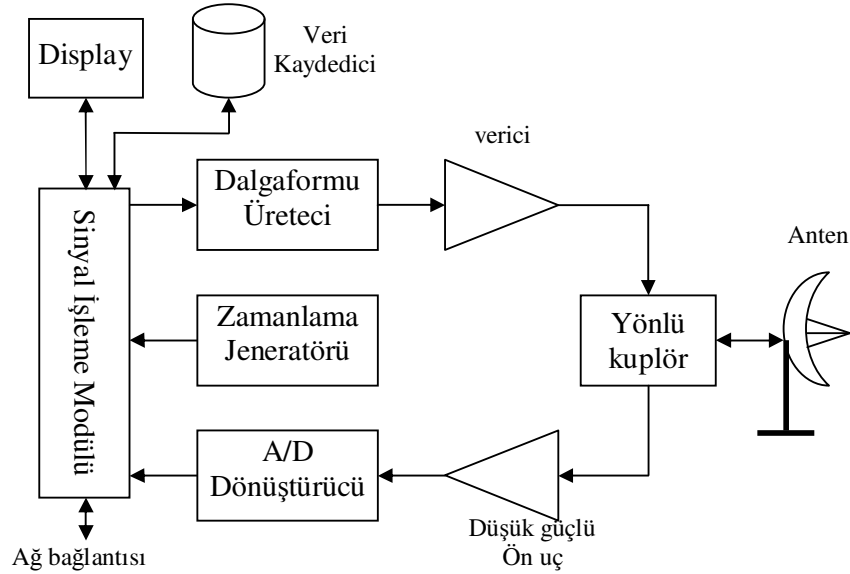
4.1. Yazılım Tanımlı Radar Konsepti

Yazılım Tabanlı Radyo kavramı sadece haberleşme amaçlı olarak değil, aynı zamanda diğer radyo teknolojisi ve bilimleri alanlarına da uygundur. Bunlar radyo interferometri, astronomi, sonar ve radar sistemleri olarak sayılabilir. Birçok radar cihazı günümüzde hala Magnetron yâda diğer yüksek güçlü frekans aygıtlarını prob sinyal üretici olarak kullanmaktadır. Karmaşık yapılı prob sinyalleri gecikme elemanları yâda anahtarlar (switch) yardımıyla üretilmektedir. Yazılım Tanımlı Radar, bunun yerine tamamen sayısal prob sinyal üretici kullanabilir. Böylece pratik olarak farklı şekil, süre ve darbe modülasyonlu sonsuz sayıda farklı prob sinyali üretilebilir. İhtiyaçlar arttığında her yeni prob çevriminde farklı prob sinyali kullanılabilir. Bu bize uyarlamalı olarak değiştirilebilir prob sinyali oluşturabilme fırsatı sunar. Diğer bir deyişle radar, mevcut hedefin en uygun şekilde tespiti ve takibi için prob sinyalini otomatik olarak değiştirebilir. Düşük enerjili kısa darbeler kısa mesafeli gözetleme, yüksek enerjili uzun modülasyonlu darbeler uzun mesafeli gözetleme radarları için uygundur.

Yazılım Tanımlı Radar aygıtının fiziksel boyutları, ağırlığı ve güç tüketimi basitçe sadece aygıtın analog parçaları tarafından belirlenmektedir. Pratik olarak boyutları değiştirilemeyen tek parça, boyutları kullanılan dalgaboyu ve gerekli yönlendirme çözünürlüğüne bağlı olan antendir. Modern sayısal devreler küçük, hafif ve enerji kullanımını bakımından da verimlidirler, böylece fazla yer kaplamazlar.

4.2. Yazılım Tanımlı Radar Çalışma Prensibi

Yazılım radar mimarisini iki ana modüle ayırabiliriz. Analog modül yükselteçler, frekans dönüştürücüleri, anten ve prob sinyalini yükseltmek, göndermek ve almak için gerekli diğer ekipmanları içermektedir. Analog modül, sayısal dalgaformu üreticinin çıkış sinyalini istenen frekans bandına dönüştürür ve gücünü istenen seviyeye yükseltir. Yükseltilebilen prob sinyali daha sonra anten tarafından yayılır. Alınan eko sinyalleri yükseltir ve frekansı IF'e geri dönüştürülür. Sonuç olarak analog modül radar frekansı, çıkış gücü ve başlangıç hassasiyetini belirler. Şekil 4.1'de YTR'nin basitleştirilmiş bir mimarisi verilmiştir[23].



Şekil 4.1: Yazılım Tanımlı Radar basitleştirilmiş mimarisi

Radar ve diğer cihazlar arasındaki ortak girişimi azaltmak ve düşük olasılıklı kesişim kabiliyetini arttırmak için frekans atlama kullanılabilir. Sayısal modül, prob sinyali üretmek için sayısal dalgaformu üreticini içermektedir. Sayısal dalgaformu üretici hızlı FIFO kaymalı kaydedicileri veya benzer aygıtlar tarafından gerçekleştirilebilmektedir. Dalgiformu üretici aynı zamanda prob sinyalini analog forma dönüştürmek için analog-sayısal dönüştürücü de içermelidir. Bu tür sinyal üretici mimarisi pratik olarak sayısız farklı prob sinyali üretebilmemizi ve ihtiyaç olduğunda uyarlamalı prob sinyal şekillendirici kullanabilmemizi sağlar. Sayısal

modülün alıcı kısmı analog-sayısal dönüştürücü ve sayısal sinyal işleme sistemini kapsamaktadır.

Zamanlama üretici radar aygıtının tüm parçalarının senkronizasyonundan ve radar ağı gibi durumlarda farklı aygıtlar arasında veri senkronizasyonundan sorumludur. GPS saat senkronizasyonu bu gibi durumlarda çözüm olarak kullanılmaktadır.

PC veya bazı özel hesaplama aygıtları sistem kontrolü, sonuçların görüntülemesi ve kaydedilmesi ve radar aygıtı ile ağı arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. Radar prob sinyali çevrimi PC'den gelen başlatma sinyali ile başlar.

Bu sinyal sayısal dalgaformu üreticini başlatır. Aynı zamanda ayrıca alıcı ADC 'si girişindeki sinyali sayısal forma dönüştürmeye başlar ve sonuçları ön belleğe kaydeder. Alma işleminin süresi gözlem uzaklığı ile belirlenir. Alınan verinin miktarı da mesafe ölçüm çözünürlüğü ve alıcının dinamik diyapazonuna bağlıdır. Ham verilerin miktarını azaltmak için üretilen prob sinyalinin bitiminden itibaren kayıt işlemi başlatılması mümkündür.

5. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu bölümde iki ana başlık halinde yapılan çalışmalar anlatılmaktadır. Öncelikle Birinci bölümde NERC MST Radarı ile ilgili bilgiler verilerek NERC’den alınan radar verileriyle MATLAB üzerinde yapılan çalışmalar açıklanmıştır. İkinci bölümde ise Yazılım Tanımlı Radar çalışmasının MATLAB simülasyonundan FPGA uygulamasına kadar olan aşamalarda gerçekleştirilen tüm çalışmalar anlatılmıştır.

5.1. NERC MST Radar Data Çalışmaları

YTR geliştirme aşamasında gerçek radar dönüş ekolarının incelenmesi ve doppler frekansı hesaplanmasının anlaşılması amacıyla, Doğal Ortamı Araştırma Konseyi (Natural Environment Research Council, NERC)’nin atmosfer bilimi veri merkezi olan Britanya Atmosferik Veri Merkezi (British Atmospheric Data Centre, BADC)’nden 19.05.2000 tarihinde NERC Mezosfer-Stratosfer-Troposfer (MST) meteoroloji radarı tarafından kaydedilmiş I-Q radar dönüş eko verileri akademik araştırma amaçlı alınmıştır.

Burada yapılan çalışmada öncelikle BADC’den alınan verilerin doğru bir şekilde okunması için dosya içinde kullanılan veri kayıt formatı incelenmiş ve buna uygun bir kod yazılarak I-Q verileri MATLAB ortamına aktarılmıştır. Daha sonra bu veriler kullanılarak ilgili bakış açısında her bir menzil hücresindeki doppler kaymaları hesaplanmış, elde edilen değerler aynı zamanda grafiksel olarak da incelenmiştir. Bu bölümde referans [12,18-22]’den ve ayrıca Dr. D. Hooper’dan edinilen bilgilerden yararlanılmıştır.

5.1.1. NERC MST Radar özellikleri

NERC MST Radarı Galler'in batısında Aberystwyth yakınlarında Capel Dewi'de konumlanmış 46.5 MHz'de çalışan bir darbe doppler radarıdır (Bkz. Şekil 5.1). Bu radar Birleşik Krallığın (UK) en güçlü ve çok amaçlı rüzgâr profili cihazıdır[22].



Şekil 5.1: NERC MST 46.5MHz Darbe Doppler Radarı, Aberystwyth, Galler.

MST radarı 2 ila 20 km aralığındaki yüksekliği ifade eden ST modu ağırlıklı olarak çalışmakta ve yüksek çözünürlükte üç boyutlu rüzgâr vektörünün sürekli olarak ölçülmesine olanak sağlamaktadır. M modunda ise 60 ila 96 km aralığındaki yükseklikte çalışmaktadır. Ayrıca MST radarı belirli koşullar altında atmosferik stabilite, türbülans ve yağışlar hakkında bilgiler sağlamaktadır. Bu sayede büyük ölçekli hava sistemlerinden küçük ölçekli atmosferik olaylara kadar her alandaki çalışmalarda kullanılabilir. Radar 1990'da çalışmaya başlamış olup 1997'den beri yarı-sürekli çalışmaktadır.

MST Radarının teknik özellikleri aşağıda verilmiştir:

Çalışma frekansı (Dalga boyu):

46.5MHz (6.45 m)

Verici tepe gücü:

160kW

Verici darbe uzunluğu, μs (menzil çözünürlüğü):

1 μs (150 m), 2 μs (300 m), 4 μs (600 m),
8 μs (1200 m), 16 μs (2400 m), 32 μs (4800 m)

Darbe tekrarlama aralığı (PRI), μs (maksimum açık menzil, km):

80 μs (12 km), 160 μs (24 km), 320 μs (48 km), 640 μs (96 km)

Anten tipi:

4 elementli yağı 20x20 dizi anten, 0.85 λ aralıklı

Anten boyutları:

109.6 x 109.6 m

Anten dizisinin lokasyonu:

Latitude 52.42°N, Longitude 4.01°W, ortalama deniz seviyesinden 50m
yüksekte.

Mevcut ışın yünleri (17.5° azimut ofsetle birlikte):

N4.2°, E4.2°, S4.2°, W4.2°
NE6°, SE6°, SW6°, NW6°,
N8.5°, E8.5°, S8.5°, W8.5°
NE12°, SE12°, SW12°, NW12°

En düşük evreuyumlu tümleştirme zamanı:

81.92 ms

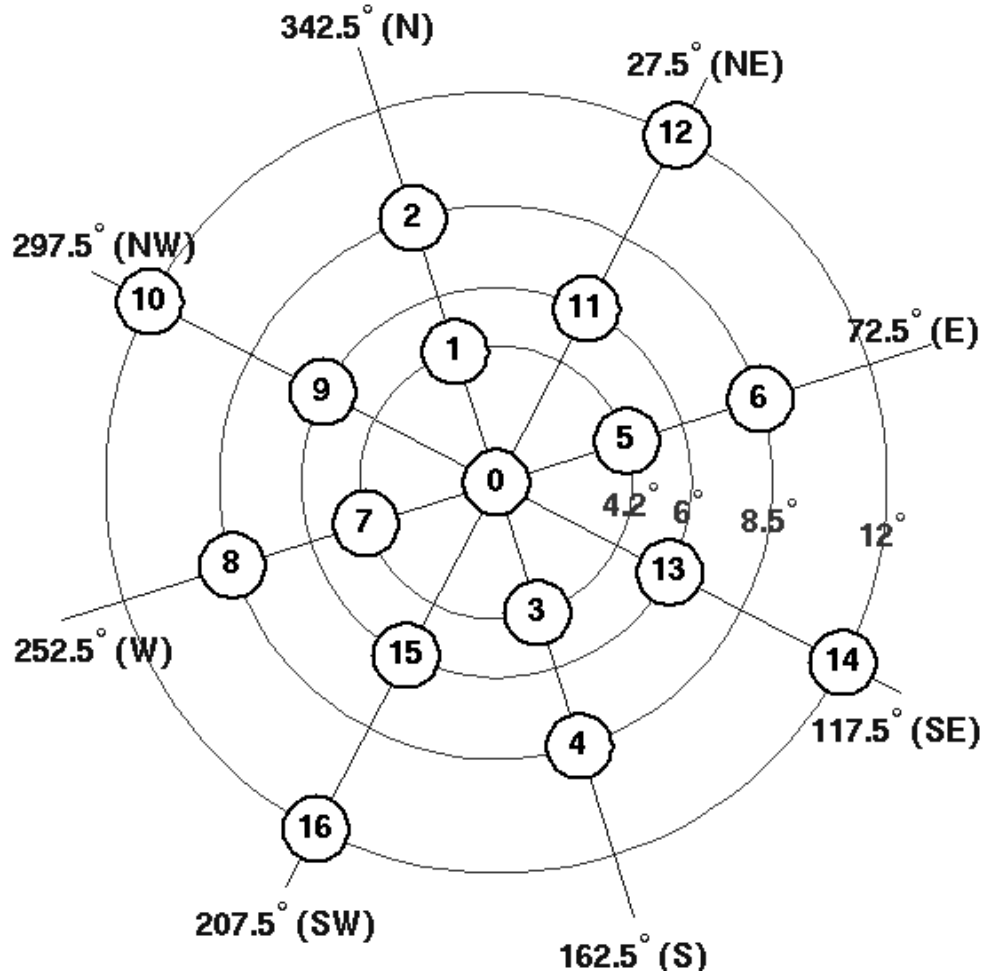
Mevcut ayırık fourier dönüşüm uzunlukları:

64, 128, 256, 512

MST radar alıcı sinyali gönderilen bir darbeden sonra 1 μs 'lik aralıklarla örneklenmektedir. Bu süre menzil bazında radardan itibaren her 150m'ye karşılık gelmektedir. Örnekleme işleminde alınan eko sinyalinin karmaşık bileşenleri olan I ve Q bileşenleri Doppler kaymalarının hesaplanması için kaydedilmektedir. Radar dönüş ekoları önceden tanımlanmış darbe sayısı kadar bir süre boyunca toplandıktan sonra elde edilen veriler işlenmektedir. Bu veri toplama aralığı "dwell" olarak adlandırılmaktadır. Tipik olarak bir dwell, her bir menzil için darbe tekrarlama aralığı kadar bir zaman aralığıyla birbirlerinden ayrılmış I ve Q örneklerinin karmaşık zaman serilerinden meydana gelmektedir.

NERC MST Radarı için Mevcut Huzme Yönleri:

Üç boyutlu rüzgâr vektörünü elde etmek için NERC MST radarı Doppler Huzme Çevrimi (Doppler Beam Swinging) tekniğini kullanmaktadır. Bu teknikte rüzgâr vektörünü elde etmek için dikey de dâhil olmak üzere iki birbirine ortogonal azimutta dikeye göre 6° açığa sahip en az 3 tane birbirine eş düzlem olmayan huzme doğrultusunda gözlem yapılmalıdır. Toplamda 17 olası huzme pozisyonu mevcuttur: Dikey ve dikeye göre 4.2° , 6° , 8.5° ve 12° azimut açılı. Huzme yönleri tipik olarak gerçek azimuttan saat yönünde 17.5° döndürülmüş nonimal azimut cinsinden tanımlanmaktadır. Standart modda NE6 (Kuzey Doğu), SW6 (Güney Batı), Dikey, SE6 (Güney Doğu), NW6 (Kuzey Batı), W4.2 (Batı) ve N4.2 (Kuzey) yönündeki gözlemler gerçekleştirilmektedir. Bu gözlemler çevrim başına yaklaşık 2.5 dakika sürmektedir. Aşağıda şekil 5.2'de mevcut MST radar huzme yönleri gösterilmiştir[18].



Şekil 5.2: NERC MST Radar huzme yönleri

5.1.2. MATLAB uygulaması

NERC'den incelenmek üzere 2000 yılı mayıs ayına ait Aberystwyth MST rüzgâr-profilî (wind-profiler) radarı meteorolojik gözlem verileri alınmıştır. İlk aşamada alınan dosyalardan I-Q değerlerinin doğru bir şekilde okunarak MATLAB ortamına aktarılması için dosya formatı incelenmiştir. NERC web sitesinde anlatıldığı şekliyle dosya formatı aşağıda açıklanmaktadır:

Dosya içerisindeki veriler "IEEE Big-Endian" formatında (verinin düşük anlamlı baytı önce gelecek şekilde) kaydedilmiştir. Dosya içerisindeki veriler parametre bloğu (PB), Veri bloğu (DB) ve kuyruk bloğu (TB) olmak üzere üç farklı bloktan meydana gelmektedir.

I ve Q verileri Ken Slater'ın sıkıştırma formatından elde edilmiştir. Aşağıda Ken Slater'ın veri toplama tanımı ve verileri meydana getiren bloklar açıklanmıştır.

Ken Slater'ın orijinal tanımı:

- MST radarından veri elde edileceğinde bir ayar dosyasındaki parametreler kullanılarak veriler kaydedilir.
- Veri toplamaya başlanmadan önce, her bir huzme için radar sistemi ayar dosyasındaki bilgileri kullanarak radar parametrelerini ayarlar.
- Ayar dosyasında belirtilen FFT bant genişliği ve FFT uzunluğu için gerekli veriler verilen huzme yönünde yeterince uzun bir sürede toplanır.
- Her bir huzme için toplanan veriler "Dwell" olarak adlandırılmaktadır. Veriler toplanırken toplam 20'ye kadar huzme kullanılabilir.
- Bir huzme seti için toplanmış verilere "Çevrim" adı verilir ve bir gözlemden birden fazla çevrim olabilir. Sonuç olarak her bir huzme ilgili Dwell ve Çevrim numarasıyla etiketlenmektedir.
- İlk yükseklik menzili 30 Km'nin altında (ST modunda) toplanmış verileri, ikinci yükseklik menziline toplanmış veriler ise 58 Km'nin üzerinde (M modunda) toplanan verileri göstermektedir.

- Toplanan verilerin yüksekliği menzil hücreleriyle ilgilidir ve her bir menzil hücresi arasında 150 metrelik bir aralık bulunmaktadır.
- I-Q verileri önişlemci verilerinden elde edilmektedir. Önişlemci verileri, radar alıcısının I ve Q faz dedektörlerinden 81.92 ms kadar sürede bir toplanan (evreuyumlu birleştiren) değerlerdir.
- Veriler toplama işleminde sırada taşma olmasını önlemek amacıyla sağa kaydırılabilmektedir.

Veri Formatı:

PB (çevrim 1, dwell 1)
 DB (çevrim 1, dwell 1)
 TB (çevrim 1, dwell 1)

 PB (çevrim x, dwell y)
 DB (çevrim x, dwell y)
 TB (çevrim x, dwell y)

Parametre Bloğu (PB) formatı (her bir Dwell için):

Kaydın ilk 48 baytını kullanmaktadır. PB her zaman kaydın başlangıcında bulunur.

Kayıt uzunluğu = 64 bayt,
 $record_nr = 1 + \text{fix}(byte_nr/64)$
 $byte_nr = (record_nr - 1) \times 64$ (kaydın başlangıcı)

Dosya, "byte_nr = 0" ve "record_nr = 1" değerleri ile başlamaktadır.

Veri türleri: B = Bayt, I2 = Integer x 2, I4 = Integer x 4 olmak üzere PB bloğunun içerdii parametreler tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1: PB bloğu parametre listesi

Parametre	Veri Tipi	Açıklama
LTX	B	Verici Darbe Uzunluğu (uSec)
NCC	B	Darbe Kod Çözünürlüğü 0 = Kodlanmamış, 1 = 8uS, 2 = 4uS, 3 = 2uS, 4 = 1uS
IPP	I2	Darbeler Arası Periyot (Darbe tekrarlama sıklığı) (uSec).
NCI	I2	Evreyumlu tümleştirme sayısı
LFT	I2	FFT uzunluğu
NII	I2	Evreyumlu olmayan tümleştirme sayısı
NH1	I2	İlk yükseklik menziline başlangıcı (Hücre no.)
NH2	I2	İlk yükseklik menziline sonu (Hücre no.)
NBM	I2	Huzme Numarası
IY	I2	90,91,92 v.s. formunda YIL. (2000 = 100)
IMN	I2	AY (0 – 12)
ID	I2	GÜN (0 – 31)
IH	I2	SAAT (0 – 23)
IM	I2	DAKİKA (0 – 59)
IS	I2	SANİYE (0 – 59)
NH3	I2	İkinci yükseklik menziline başlangıcı (Hücre no.)
NH4	I2	İkinci yükseklik menziline sonu (Hücre no.)
NHI	I2	Hücre bazında yükseklik aralığı
NRX	B	Alıcı Bant genişliği (uSec).
DMP	B	Raw Veri Toplama Bayrağı Raw veri dosyası üretildiğinde negatif değer alır.
NDW	I2	Dwell Sayısı
NCY	I2	Çevrim Sayısı
MST	I2	Yürütme Sayısı
NRS	I2	Giriş verisindeki sağa kaydırma sayısı
NXR	I2	Bir sonraki PB kayıt numarası

FFT işleminin gerçekleştirilmesi için veri değerlerinin 2^{NRS} değeriyle çarpılmalıdır. Dosyadaki son dwell için NXR değeri 1'dir.

Veri bloğu (DB):

Veri bloğundaki her bir değer 2 baytlık (I2) yer kaplamaktadır. Veriler aşağıdaki sırada kaydedilmiştir:

I(1), I(2), . . . I(FFT)	(hücre no. nh1)
Q(1), Q(2), . . . Q(FFT)	(hücre no. nh1)
I(1), I(2), . . . I(FFT)	(hücre no. nh1 + 1)
Q(1), Q(2), . . . Q(FFT)	(hücre no. nh1 + 1)

.....
I(1), I(2), . . . I(FFT) (hücre no. nh2)
Q(1), Q(2), . . . Q(FFT) (hücre no. nh2)

Kuyruk bloğu (TB):

Eğer gerekli ise, bir sonraki PB bloğuna kadar kalan yerler 0 değeri ile doldurulur. Dosyadaki en son veri bloğu için TB bloğu gerekmemektedir.

Verilerin İşlenmesi:

Yukarıda açıklanan veri formatına uygun olarak MATLAB ortamında yazılan program vasıtası ile MST Radar verileri dosyalardan okunmuştur. Her bir dosya üç çevrimlik verilerden meydana gelmiştir. Her bir çevrim ise toplam 5 farklı huzme (NE6, SW6, Dikey, SE6, NW6) pozisyonundan ikişer kez alınmış verilerden oluşmaktadır. Veriler işlenmeden önce MST Radar verilerinden doppler hızının elde edilebilmesi için kullanılan radar parametreleri aşağıda tablo 5.2’de listelenmiştir:

Tablo 5.2: Aberystwyth MST Radarı parametre listesi

Parametre	Değer
Radar dalga boyu, λ	6.45 m (46.5 MHz)
Darbe uzunluğu	1 μ s
Menzil çözünürlüğü	150 m
Darbeler Arası Periyot, T_{IPP}	1000 μ s
Evreuyumlu Tümeleştirme sayısı, M	512
Örnekler arası süre, T	0.512 s
FFT uzunluğu, N	128

Doppler Spektral frekansı denklem 5.1’deki formül kullanılarak hesaplanmaktadır[12]. Burada frekans hücresi B, $-\frac{N}{2}+1$ ile $\frac{N}{2}$ aralığında değer almakta ve ω (açısal) frekansına karşılık gelmektedir.

$$\omega = 2\pi \frac{B}{NT} \quad rad / s \quad (5.1)$$

Her bir açısal frekans hücrelerinin karşılık geldiği doppler hız miktarı aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$V_D(B) = \frac{\omega \lambda}{2\pi} \quad m/s \quad (5.2)$$

Yukarıdaki parametreler formülde yerine konularak frekans hücrelerinin çözünürlüğü denklem 5.1'den:

$$\omega = 2\pi \frac{B}{NT} = 2\pi \frac{1}{128 \times 0.512} = 0.0153 \quad rad/s$$

Elde edilen değer denklem 5.2'de yerine konulup B yerine de 1 değeri konularak doppler hız çözünürlüğü;

$$V_D(B) = \frac{\omega \lambda}{2\pi} = \frac{0.0153 \cdot 6.45}{2\pi} = 0.0492 \quad m/s$$

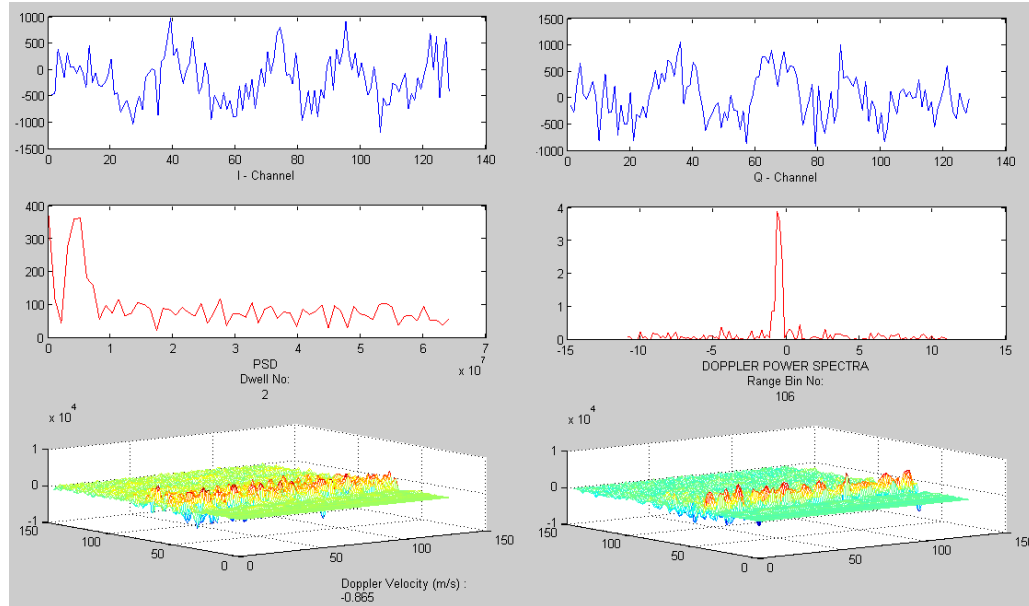
olarak hesaplanmaktadır.

Doppler çözünürlüğü hesaplandıktan sonra I ve Q örnekleri için referans [12,19-20,22]'den ve MATLAB'ın yardım menüsünden yararlanılarak çeşitli sinyal işleme teknikleri uygulanmıştır. Öncelikle okunan I-Q verileri ölçekleme faktörü 2^{NRS} ile çarpılarak ölçeklenmiş ve fourier dönüşümü işlemine tabi tutulmadan önce I-Q verilerine dikdörtgen pencere fonksiyonu uygulanmıştır. Daha sonra bu I-Q verilerinden Güç Spektral Yoğunluk (PSD) fonksiyonu hesaplanmış ve ardından her menzil hücreindeki doppler hız bilgisinin elde edilmesi amacıyla Doppler Güç Spektrumu (DPS) I-Q verilerinin karmaşık Fourier dönüşümü yapılarak elde edilmiştir. Elde edilen doppler spektrumu negatif ve pozitif değerlerin grafiksel olarak da düzgün bir şekilde görüntülenebilmesi amacıyla fftshift komutuyla kaydırılmıştır. I-Q verilerinde radar ölçüm ekipmanlarından kaynaklanan dc biasın yok edilmesi amacı ile [12]'de belirtilen frekans domeninde düzeltme işlemi

uygulanmıştır. Ardından Doppler Güç Spektrumu'ndan her bir menzile ait Doppler hız bilgisi tek tek hesaplanmıştır.

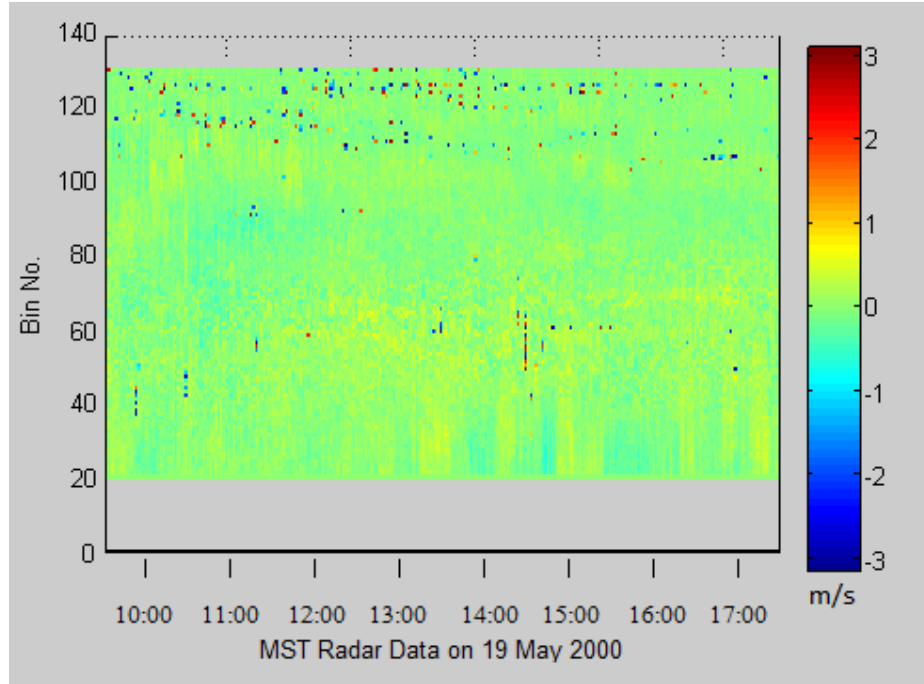
Grafiksel Gösterim:

MST Radarına ait I-Q verilerinden doppler hızlarının hesaplanması sırasında işlenen verilerin görsel olarak da incelenmesi amacıyla Matlab'ın grafik gösterim fonksiyonları kullanılmıştır. Verilerin aynı anda kolayca izlenmesi amacıyla tek bir grafik figürü kullanılmıştır. Grafik ekranı 6 parçaya ayrılmış ve subplot komutu kullanılarak her bir menzil için işlenen veriler şekil 5.3'de görüldüğü gibi ekrana bastırılmıştır. Grafik figürünün üst kısmında o an işlem yapılan menzile ait I ve Q veri dizisi gösterilmiştir. Orta bölümdeki grafiklerde ise yukarıdaki I ve Q verilerinden elde edilen Güç Spektral Yoğunluk (PSD) fonksiyonu ve Doppler Güç Spektrumu görülmektedir. Grafiklerin alt kısmında ise o an işlenen dosyadaki Dwell numarası ve menzil hücre numarası bilgileri gösterilmiştir. Alt bölümdeki grafikler ise işlem yapılan huzmeye ait tüm I ve Q verilerini üç boyutlu olarak göstermektedir. Figürün en alt kısmında ise o anki menzil hücresi için Doppler Güç Spektrumu'ndan hesaplanan Doppler hız bilgisi gösterilmiştir.

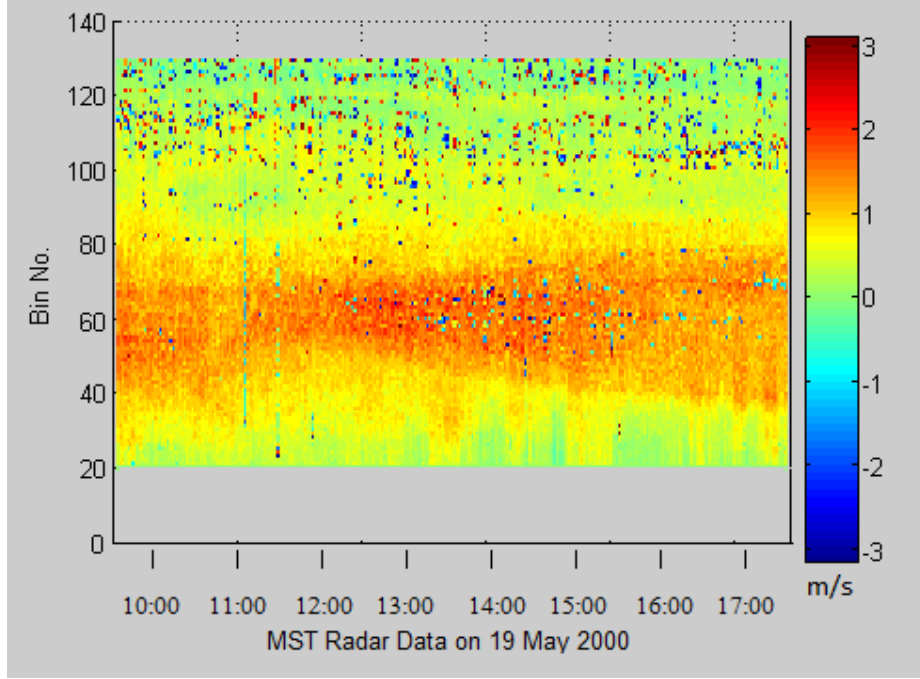


Şekil 5.3: MST Radar verilerinin örnek MATLAB çıktısı

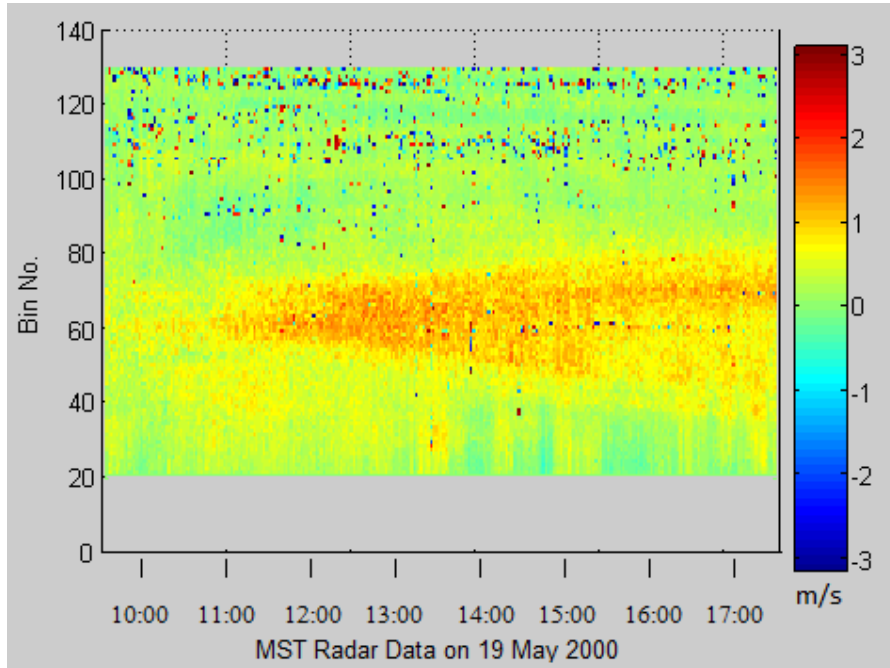
Yapılan çalışmada BADC'den alınan Aberystwyth NERC MST Radarına ait 19 Mayıs 2000 tarihinde 8:36:39 ile 17:24:41 saatleri arasında kaydedilmiş veriler kullanılmıştır. Veriler işlenerek hesaplanan NE6 (11 nolu huzme), SW6 (15 nolu huzme), Dikey (0 nolu huzme), SE6 (13 nolu huzme) ve NW6 (9 nolu huzme) huzme yönlerine ait doppler hız spektrumları şekil 5.4'den şekil 5.8'e kadar gösterilmiştir.



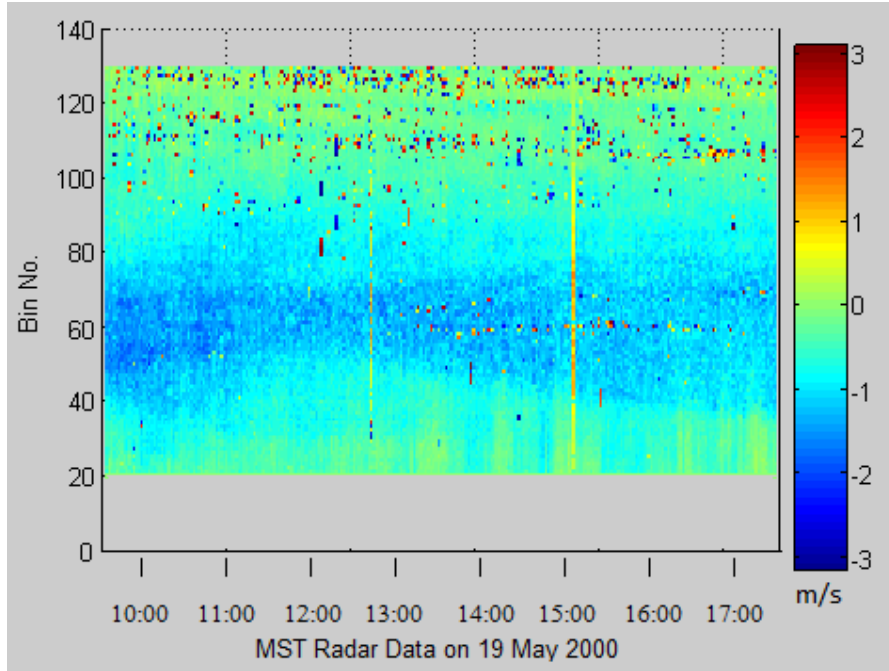
Şekil 5.4: MST Radar 0 nolu huzme (Dikey) için Doppler hız spektrumu



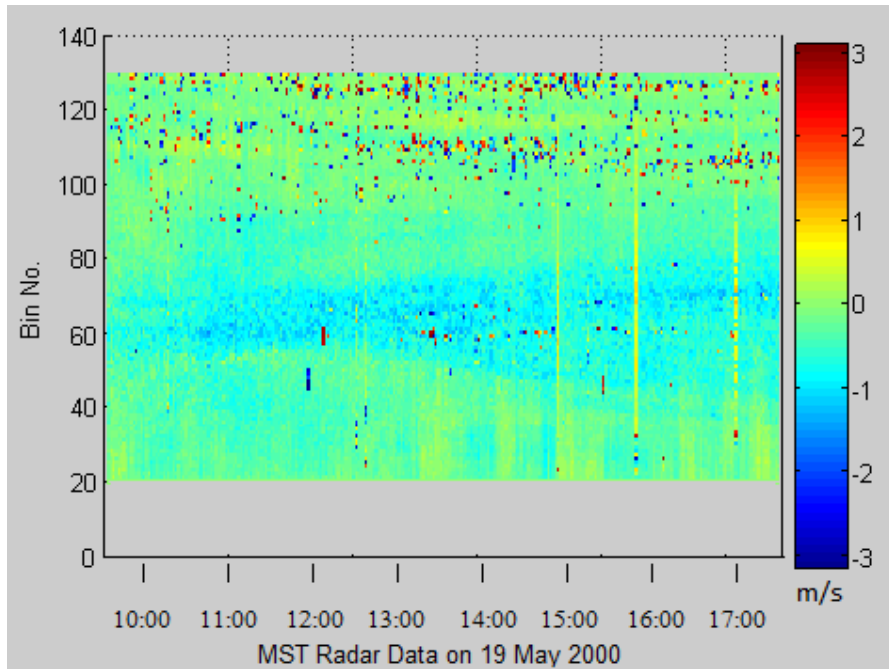
Şekil 5.5: MST Radar 9 nolu huzme (297.5° NW) için Doppler hız spektrumu



Şekil 5.6: MST Radar 11 nolu huzme (27.5° NE) için Doppler hız spektrumu



Şekil 5.7: MST Radar 13 nolu huzme (117.5° SE) için Doppler hız spektrumu



Şekil 5.8: MST Radar 15 nolu huzme (207.5° SW) için Doppler hız spektrumu

5.2. Yazılım Tanımlı Radar Çalışması

Bu tezin amacı olan YTR alıcı katının tasarımı ve gerçekleştirilmesi için radar algoritmaları ve sinyal işleme teknikleri ile ilgili çeşitli referans kaynaklar incelenmiştir. Yapılan çalışmalar ile elde edilen bilgiler neticesinde genel amaçlı bir Radar Alıcı Katı tasarımı gerçekleştirilmiştir. Radar alıcı katının bileşenlerine ait algoritmalar öncelikle MATLAB ortamında yazılıp simüle edilmiştir. Yazılım simülasyonları doğrulanan algoritmalar daha sonra FPGA uygulaması için VHDL dilinde tekrar yazılarak VHDL simülasyonları PC ortamında yapılmıştır. Doğrulanan VHDL kodları daha sonra FPGA donanımına gömülerek burada donanım testleri gerçekleştirilmiştir. Donanım testleri sonucunda radar alıcı katına ait bileşenlerin algoritmalarının gerçekleştirilmesi tamamlanmıştır. Donanımın ayrıca Ethernet portu aracılığıyla PC'ye veri aktarması sağlanmış ve PC üzerinde hazırlanan bir PPI skop yazılımı aracılığıyla radar ekranının operatöre gösterimi sağlanmıştır. Daha sonra FPGA donanımına gömülmüş olan radar alıcısına sentetik olarak üretilen radar dönüş ekoları (I ve Q sinyalleri) enjekte edilerek PPI skop üzerinden simüle edilen radar verileri izlenmiştir.

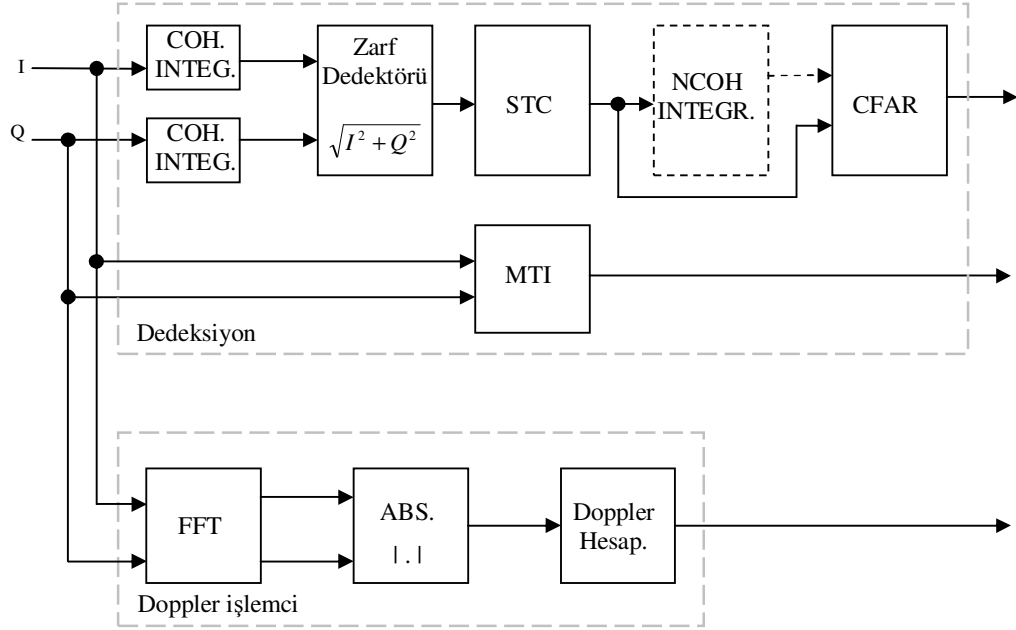
5.2.1. MATLAB ve VHDL simülasyonu

Yazılım Tanımlı Radar alıcı katı tasarımında radarların genel fonksiyonları yanında MTI, CFAR gibi özel radar fonksiyonları da gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Tasarlanan YTR alıcı katı aşağıdaki bileşenlerden meydana gelmektedir:

- Zarf Dedektörü: Karmaşık I ve Q sinyallerinden sinyalin genliğini ($\sqrt{I^2 + Q^2}$) elde eder.
- Hassas Zaman Kontrolü (STC): Alınan sinyalin genliğinin menzile göre ayarlanmasını sağlayarak yakındaki hedeflerin radar alıcısının doyuma ulaşmasını önler. Bu blok bölüm 3.5'de anlatılan STC işlevini gerçekleştirilmektedir.

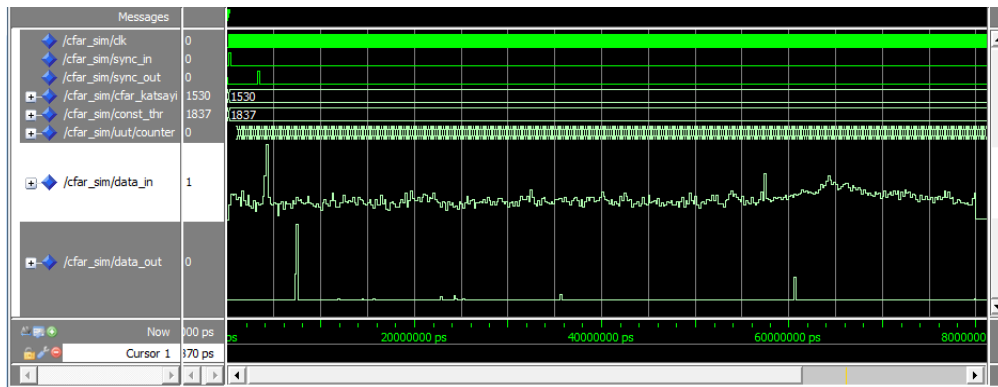
- Evreyumlu (Coherent) Tümeştirici: Darbe tümeştirme işlemi zarf dedektöründen önce gerçekleştirilir ve darbeler arasındaki faz ilişkisinin korunmasını sağlar. Bu blok bölüm 3.8’de açıklanan evreyumlu sistemler için kullanılmaktadır.
- Evreyumsuz (Non-Coherent) Tümeştirici: Radarın gönderdiği darbeler arasında bölüm 3.8’de belirtildiği gibi bir faz ilişkisi yoksa bu durumda darbe tümeştirme işlemi zarf dedektöründen sonra evreyumsuz tümeştiricide gerçekleştirilir.
- CA-CFAR: Yanlış alarm olasılığını azaltmak amacıyla tespit eşik seviyesini ortama göre adaptif olarak günceller. Bu birim bölüm 3.11.1’de açıklanan CA-CFAR algoritmasını gerçekleştirmektedir.
- Hareketli Hedef Göstergesi (MTI): Hareketli hedeflerin tespit edilerek kargaşa sinyallerinin bastırılmasını sağlar. Bu birim bölüm 3.13.2’de açıklanan optimum ağırlıklı gecikme hattı bastırıcısını kullanan MTI filtresini gerçekleştirmektedir.
- Doppler İşlemci: Hızlı Fourier Dönüştürücü, Zarf Dedektörü ile Doppler Frekans Kestirim bileşenlerinden oluşur ve hareketli hedeflerin radara göre bağıl hızını hesaplar. Bu birim bölüm 3.7’de açıklanan doppler frekansının hesaplanması işlevini gerçekleştirmektedir.

Yazılım Tanımlı Radar alıcı katını oluşturan bloklar ve aralarındaki bağlantı şekil 5.9’da gösterilmiştir.



Şekil 5.9: Simülasyon için kullanılan YTR blok şeması

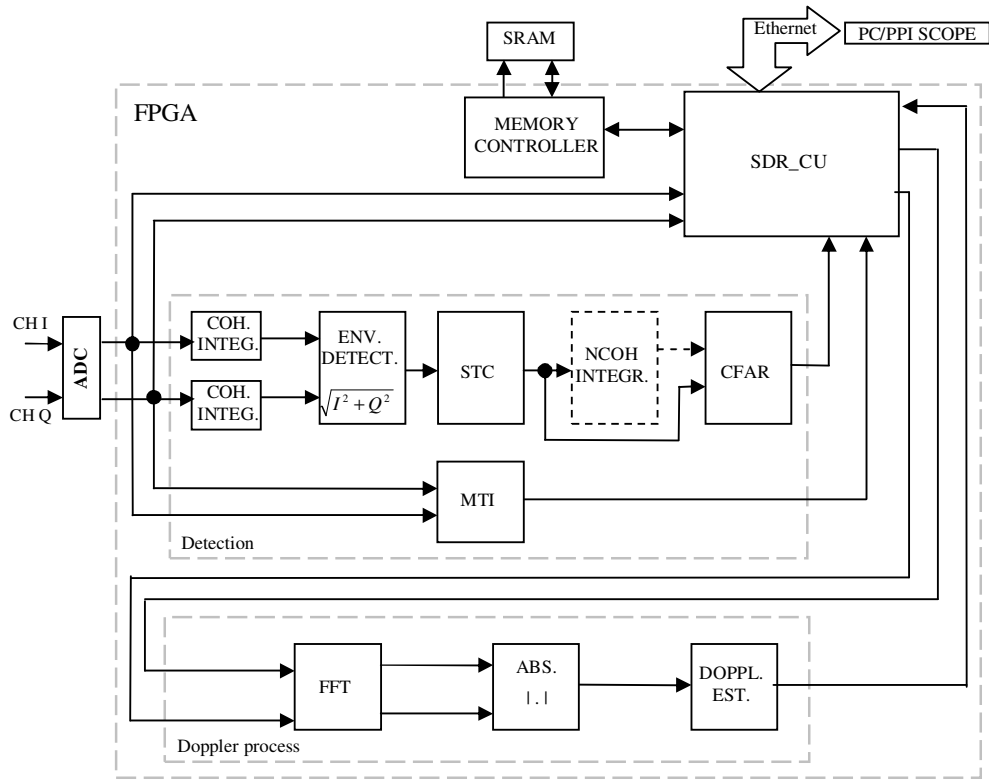
Yukarıda açıklanan ve Şekil 5.9'da da görülen TYR alıcı katı bloklarına ait algoritmalar MATLAB'da yazılarak doğrulamaları tek tek ve nihayetinde bütün olarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra geliştirilen algoritmalar donanım tanımlama dili olan VHDL'de tekrar yazılarak simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Aşağıda örnek olarak Şekil 5.10'da CA-CFAR algoritmasının simülasyonu esnasında alınan ekran çıktısı verilmiştir.



Şekil 5.10: CA-CFAR algoritmasının VHDL simülasyonu çıktısı

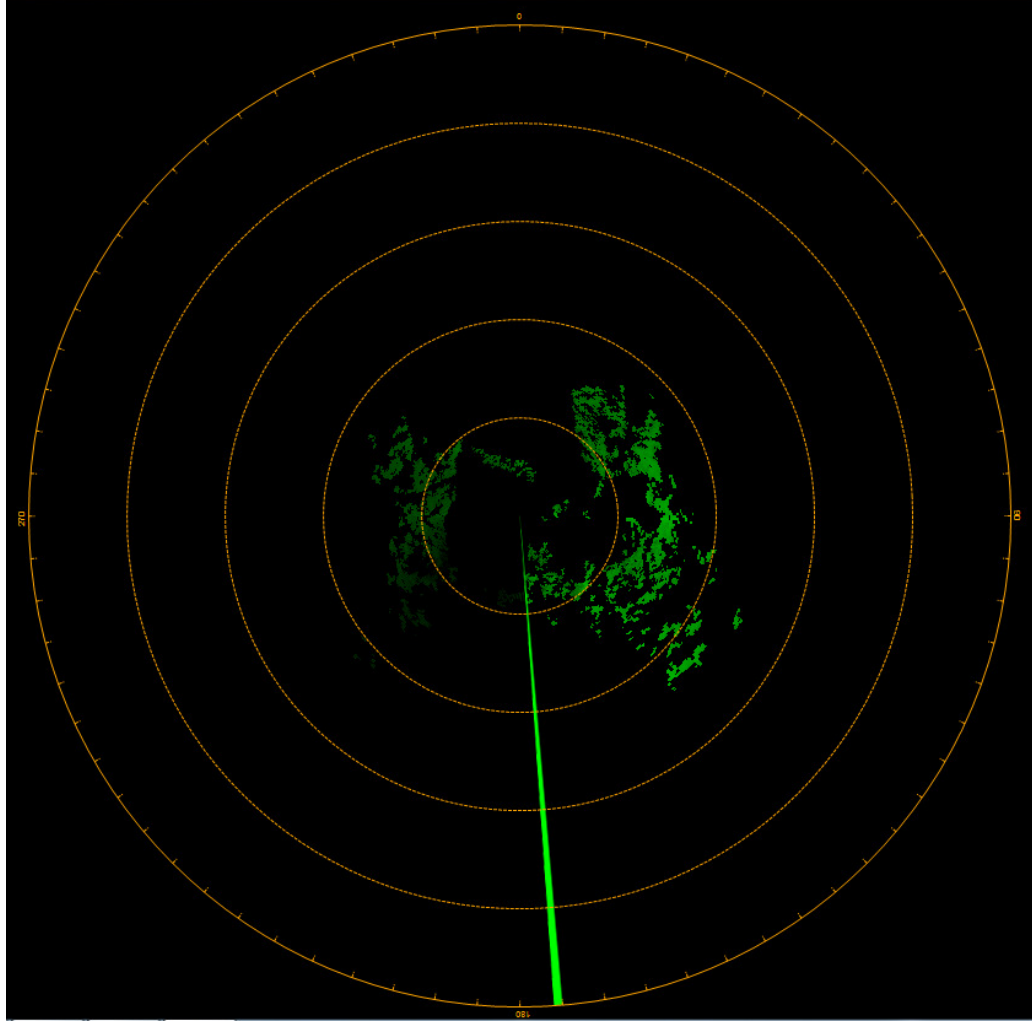
5.2.2. FPGA uygulaması

VHDL simülasyonu gerçekleştirilen YTR alıcı katı, daha sonra şekil 5.11’de da gösterildiği gibi üzerinde iki kanallı Analog/Sayısal dönüştürücü ve Spartan-3 FPGA olan bir geliştirme kartına gömülmüştür. Şekilde görülen bloklar öncelikle FPGA üzerinde tek tek test edilmiştir. Daha sonra tüm sistemin testi sentetik olarak temel bantta üretilen radar dönüş ekoları ile gerçekleştirilmiş ve sonuçlar ethernet bağlantısı aracılığıyla PC’ye aktarılarak PPI Skop ekranında gözlenmiştir.



Şekil 5.11: Yazılım Tanımlı Radar alıcı katı blok şeması

Yapılan testlerde kullanılan kart üzerinde Spartan-3’ün xc3s1500 modeli bulunmaktadır. Radarın PC ile haberleşmesi ise Ethernet portu üzerinden gerçekleştirilmiştir. Testler sonucunda elde edilen örnek bir PPI skop görüntüsü şekil 5.12’de görülmektedir.



Şekil 5.12: YTR ile yapılan testlere ait örnek bir PPI Skop görüntüsü

Aşağıda FPGA üzerinde gerçekleştirilen ve test edilen bloklar açıklanmış ve bu bloklara ait FPGA kaynak kullanım bilgileri verilmiştir:

YTR Kontrol Birimi (SDR_CU): YTR Kontrol Birimi, radar alıcı katında gerçekleştirilen tüm işlemlerin kontrolünden sorumludur. Alıcıya gelen I ve Q sinyalleri doppler frekans hesabının yapılmasından önce hafıza birimine aktarılmaktadır. Daha sonra dedektör katında tespiti gerçekleştirilen hedefler için doppler frekansının hesaplanması amacıyla ilgili hedefe ait I - Q verileri hafıza biriminden alınarak doppler frekanslarının hesaplanması için Doppler işlem birimine aktarılmaktadır. Kontrol birimi aynı zamanda alıcı tarafından üretilen çıktıları PC'ye aktarmak için bir veri transfer birimine de sahiptir. Bu birim verileri Ethernet portu

üzerinden iletmeyi sağlayan fonksiyonları içermektedir. YTR kontrol birimi ayrıca PC’den gelen parametreleri de ilgili modüllere aktarmaktadır. Aşağıda tablo 5.3’de YTR kontrol biriminin FPGA kaynak kullanım oranları verilmiştir. Sistemin en yüksek çalışma frekansı Xilinx ISE aracı tarafından 38 MHz olarak bildirilmiştir.

Tablo 5.3: SDR Kontrol birimi tasarım özeti

Device Utilization Summary (estimated values)				[-]
Logic Utilization	Used	Available	Utilization	
Number of Slices	4270	13312	32%	
Number of Slice Flip Flops	4997	26624	18%	
Number of 4 input LUTs	9737	26624	36%	
Number of bonded IOBs	38	333	11%	
Number of BRAMs	3	32	9%	
Number of MULT18X18s	15	32	46%	
Number of GCLKs	5	8	62%	

Radar Dedektör Birimi: Radar dedektör birimi, şekil 5.11’de “Detector” olarak belirtilen modüleri içerisinde barındırmakta ve bu modüller arasındaki bağlantıları gerçekleştirmektedir. Ayrıca bir işlevi yoktur. Aşağıda tablo 5.4’de bu biriminin FPGA kaynak kullanım oranları verilmiştir.

Tablo 5.4: Radar Dedektör birimi tasarım özeti

Device Utilization Summary (estimated values)				[-]
Logic Utilization	Used	Available	Utilization	
Number of Slices	1933	13312	14%	
Number of Slice Flip Flops	1716	26624	6%	
Number of 4 input LUTs	4468	26624	16%	
Number of bonded IOBs	111	333	33%	
Number of BRAMs	1	32	3%	
Number of MULT18X18s	4	32	12%	
Number of GCLKs	3	8	37%	

Zarf Dedektörü (Envelope Detector) Birimi: Bu birim zarf dedektörü fonksiyonunu ($\sqrt{I^2 + Q^2}$) gerçekleştirmektedir. I-Q formundaki kompleks radar eko sinyalinin genlik bilgisini elde etmektedir. Aşağıda tablo 5.5’de bu biriminin FPGA kaynak kullanım oranları verilmiştir.

Tablo 5.5: Zarf Dedektörü birimi tasarım özeti

Device Utilization Summary (estimated values)				[-]
Logic Utilization	Used	Available	Utilization	
Number of Slices	460	13312	3%	
Number of Slice Flip Flops	577	26624	2%	
Number of 4 input LUTs	655	26624	2%	
Number of bonded IOBs	50	333	15%	
Number of MULT18X18s	2	32	6%	
Number of GCLKs	2	8	25%	

Evreyumlu Tümleştirme (COH_INTEGR.) birimi: Bu birim bölüm 3.8’de de anlatılan evreyumlu radarlar için evreyumlu tümleştirme fonksiyonunu gerçekleştirmektedir. Aşağıda tablo 5.6’da bu biriminin FPGA kaynak kullanım oranları verilmiştir.

Tablo 5.6: Evreyumlu Tümleştirme birimi tasarım özeti

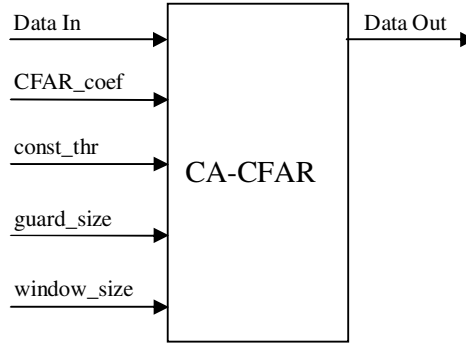
Device Utilization Summary (estimated values)				[-]
Logic Utilization	Used	Available	Utilization	
Number of Slices	487	13312	3%	
Number of Slice Flip Flops	91	26624	0%	
Number of 4 input LUTs	2330	26624	8%	
Number of bonded IOBs	42	333	12%	
Number of GCLKs	3	8	37%	

Evreyumlu olmayan Tümleştirme (NCOH_INTEGR.) birimi: Bu birim radarın evreyumlu olmayan tümleştirme fonksiyonunu gerçekleştirmektedir. Aşağıda tablo 5.7’de bu biriminin FPGA kaynak kullanım oranları verilmiştir.

Tablo 5.7: Evreyumlu olmayan Tümlleştirme birimi tasarım özeti

Device Utilization Summary (estimated values)				[-]
Logic Utilization	Used	Available	Utilization	
Number of Slices	487	13312	3%	
Number of Slice Flip Flops	91	26624	0%	
Number of 4 input LUTs	2330	26624	8%	
Number of bonded IOBs	42	333	12%	
Number of GCLKs	3	8	37%	

CA-CFAR birimi: Bu birim radarın eşik değerini adaptif olarak ayarlayan CA-CFAR fonksiyonunu gerçekleştirir. CA-CFAR birimi parametreleri adaptif olarak değiştirilebilmektedir. Koruma hücre sayısı, işlem yapılan pencere uzunluğu, sabit eşik değeri ve CFAR katsayısı gibi değerler sisteme parametre olarak girilebilmektedir. Şekil 5.13’de CA-CFAR biriminin sadeleştirilmiş blok şeması gösterilmiştir. Tablo 5.8’de bu biriminin FPGA kaynak kullanım oranları verilmiştir.

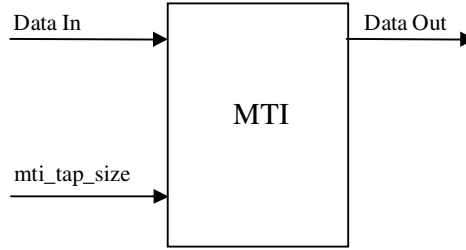


Şekil 5.13: CA-CFAR birimi sadeleştirilmiş blok şeması

Tablo 5.8: CA-CFAR birimi tasarım özeti

Device Utilization Summary (estimated values)				[-]
Logic Utilization	Used	Available	Utilization	
Number of Slices	972	13312	7%	
Number of Slice Flip Flops	955	26624	3%	
Number of 4 input LUTs	1439	26624	5%	
Number of bonded IOBs	76	333	22%	
Number of MULT18X18s	2	32	6%	
Number of GCLKs	1	8	12%	

Hareketli Hedef Göstergesi (MTI) birimi: Bu birimde, bölüm 3.13.2’de anlatılan optimum ağırlıklı gecikme hattı bastırıcısı kullanılarak radarın hareketli hedef göstergesi fonksiyonunu gerçekleştirmektedir. MTI filtrenin tap sayısı 1, 3 ve 5 olmak üzere seçilebilmektedir. Şekil 5.14’de MTI biriminin sadeleştirilmiş blok şeması gösterilmiştir. Tablo 5.8’de bu biriminin FPGA kaynak kullanım oranları verilmiştir.



Şekil 5.14: MTI birimi sadeleştirilmiş blok şeması

Tablo 5.9: MTI birimi tasarım özeti

Device Utilization Summary (estimated values)				[-]
Logic Utilization	Used	Available	Utilization	
Number of Slices	47	13312	0%	
Number of Slice Flip Flops	72	26624	0%	
Number of 4 input LUTs	50	26624	0%	
Number of bonded IOBs	41	333	12%	
Number of BRAMs	1	32	3%	
Number of GCLKs	2	8	25%	

Doppler İşlemci (Doppler Process) birimi: Bu birim şekil 5.11’de “Doppler Process” olarak belirtilen modülleri içerisinde barındırmakta ve bu modüller arasındaki bağlantıları gerçekleştirmektedir. Ayrıca bir işlevi yoktur. Aşağıda tablo 5.10’da bu biriminin FPGA kaynak kullanım oranları verilmiştir.

Tablo 5.10: Doppler İşlemci birimi tasarım özeti

Device Utilization Summary (estimated values)				[-]
Logic Utilization	Used	Available	Utilization	
Number of Slices	1809	13312	13%	
Number of Slice Flip Flops	2855	26624	10%	
Number of 4 input LUTs	2590	26624	9%	
Number of bonded IOBs	38	333	11%	
Number of BRAMs	2	32	6%	
Number of MULT18X18s	11	32	34%	
Number of GCLKs	1	8	12%	

FFT birimi: Bu birim hareketli hedeflerin doppler frekansını hesaplamak için gerekli olan FFT dönüşüm fonksiyonunu gerçekleştirmektedir. Aşağıda tablo 5.11’de bu biriminin FPGA kaynak kullanım oranları verilmiştir.

Tablo 5.11: FFT birimi tasarım özeti

Device Utilization Summary (estimated values)				[-]
Logic Utilization	Used	Available	Utilization	
Number of Slices	1345	13312	10%	
Number of Slice Flip Flops	2251	26624	8%	
Number of 4 input LUTs	1926	26624	7%	
Number of bonded IOBs	89	333	26%	
Number of BRAMs	2	32	6%	
Number of MULT18X18s	9	32	28%	
Number of GCLKs	1	8	12%	

Doppler Kestirimi (Doppler Estimator) birimi: Bu birim hedef verilerinin frekans bilgisini elde etmek amacıyla FFT’si alınan değerleri test ederek hedefin doppler frekansını bulan fonksiyonları gerçekleştirmektedir. Aşağıda tablo 5.12’de bu biriminin FPGA kaynak kullanım oranları verilmiştir.

Tablo 5.12: Doppler Kestirimi birimi tasarımı özeti

Device Utilization Summary (estimated values)				[-]
Logic Utilization	Used	Available	Utilization	
Number of Slices	29	13312	0%	
Number of Slice Flip Flops	32	26624	0%	
Number of 4 input LUTs	33	26624	0%	
Number of bonded IOBs	26	333	7%	
Number of GCLKs	1	8	12%	

SRAM (Veri Depolama) birimi: Bu birim radar dönüş ekoları olan I-Q verilerini SRAM bellek modülüne yazan ve gerektiğinde bu verileri tekrar okumayı sağlayan fonksiyonları gerçekleştiren SRAM denetleme ve veri tamponlama birimlerini içermektedir. Aşağıda tablo 5.13’de bu biriminin FPGA kaynak kullanım oranları verilmiştir.

Tablo 5.13: SRAM Veri Tamponu birimi tasarım özeti

Device Utilization Summary (estimated values)				[-]
Logic Utilization	Used	Available	Utilization	
Number of Slices	434	13312	3%	
Number of Slice Flip Flops	456	26624	1%	
Number of 4 input LUTs	695	26624	2%	
Number of bonded IOBs	127	333	38%	
Number of BRAMs	2	32	6%	
Number of GCLKs	6	8	75%	

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tezde bir Yazılım Tanımlı Radar alıcı katı tasarımı yapılarak FPGA donanımı üzerinde uygulaması yapılmıştır. Tez çalışmasının başlangıcında radar kuramı, radar terimleri ve radar algoritmaları ve sinyal işleme teknikleri birçok kaynaktan yararlanılarak incelenmiştir. Elde edilen bilgiler ışığında genel amaçlı parametreleri adaptif olarak değiştirilebilen temel bir radar alıcı katı tasarlanmıştır. Tasarlanan algoritmalar önce MATLAB’da denenmiş ardından donanım tanımlama dillerinden biri olan VHDL dilinde yazılarak simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Ardından simülasyonla doğrulanan kodlar FPGA’ya gömülmüştür. YTR alıcısının test edilmesi için gerçek radar verilerinin incelenmesi amacıyla çalışmalar yapılmış ve yapılan bu araştırmalar sonucunda Doğal Ortamı Araştırma Konseyi (Natural Environment Research Council, NERC)’ne bağlı Britanya Atmosferik Veri Merkezi (British Atmospheric Data Centre, BADC)’nden akademik araştırma amacı ile NERC MST meteoroloji radarına ait 19 Mayıs 2000 tarihli I-Q verileri alınmıştır. Alınan veri dosyaları MATLAB ortamında yazılan bir kod ile okunarak incelenmiş ve üzerinde çeşitli sinyal işleme teknikleri uygulanmıştır. Bu çalışma sonucunda radar sinyallerinin karakteristiği incelenmiş ve hedeflerin doppler frekansının eldeki verilerden nasıl hesaplandığı anlaşılmıştır. Bu bilgiler temelinde hayali bir radar ortamı düşünülerek temel bantta sentetik radar dönüş ekoları (I ve Q sinyalleri), geliştirilen ve FPGA’ye gömülen YTR alıcı katının test edilmesi amacıyla üretilmiştir. Radar alıcısına enjekte edilen sentetik radar sinyalleri alıcıya Ethernet portu aracılığıyla bağlı olan bir PC’de koşturulan PPI Skop ekranında izlenmiştir.

Bundan sonraki çalışmalarda burada kazanılan deneyimlerden de faydalanılarak YTR’ler için daha gelişmiş genel amaçlı, tekrar kullanılabilir, yeni ekleme ve değişikliklerin kolayca yapılabileceği bir “Radar Alıcı Katının” tasarımının gerçekleştirilmesi düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Walter Tuttlebee, “Software Defined Radio”, *John Wiley & Sons*, (2002).
- [2] Software Defined Radio Forum, *What is Software Defined Radio [online]*, <http://data.memberclicks.com/site/sdf/SoftwareDefinedRadio.pdf>, (**Ziyaret tarihi: 08 Haziran 2010**).
- [3] Joseph Mitola III, “Software Radio Architecture”, *John Wiley & Sons*, (2000).
- [4] Peter B. Kenington, “RF and Baseband Technique for Software Defined Radio”, *Artech House*, (2005).
- [5] Bassem R. Mahafza, “Radar System Analysis and Design Using MATLAB”, *Chapman & Hall/CRC*, (2000).
- [6] F.E. Nathanson, J.P. Rely, M.N. Cohen, “Radar Design Principles”, Second Edition, *Mc Graw-Hill*, (1999).
- [7] I.D.Brumbi, 2003, *Fundamentals of Radar Technology for Level Gauging [online]*, http://www.krohne.com/fileadmin/medialounge/PDFDownload/Level/Datasheets0306/FU_LEVELRADAR_e_72.pdf, (**Ziyaret tarihi: 08 Haziran 2010**).
- [8] J. Garcia, G. Viveros, R. Cumplido, *FPGA based architecture for Radar’s STC, FTC and Gain modules [online]*, <http://ccc.inaoep.mx/~rcumplido/papers/ReConFig04%20-%20STC%20FTC%20G%20Radar.pdf>, (**Ziyaret tarihi: 08 Haziran 2010**).
- [9] R. Cumplido, C. Torres, S.Lopez, *A Configurable FPGA-based Hardware Architecture for Adaptive Processing of Noisy Signals for Target Detection Based on Constant False Alarm Rate (CFAR) Algorithms [online]*, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.60.8990&rep=rep&type=pdf>, (**Ziyaret tarihi: 08 Haziran 2010**).

- [10] Federal Meteorological Hand Book, 2005, *Doppler Radar Meteorological Observation Part B [online]*, <http://www.ofcm.gov/fmh11/fmh11partb/2005pdf/fmh-11B-2005.pdf> , (**Ziyaret tarihi: 08 Haziran 2010**).
- [11] Radarguns.com, 2010, *Radar Types [online]*, <http://www.radarguns.com/radar-types.html>, (**Ziyaret tarihi: 08 Haziran 2010**).
- [12] D.A. Hooper, “Signal and noise level estimation for narrow spectral width returns observed by the Indian MST radar”, *Radio Science*, 34, 859-870, (1999).
- [13] Merrill I. Skolnik, “Introduction to Radar Systems”, Second Edition, *McGraw-Hill*, (1981).
- [14] L. Varshney, 29 Oct. 2002, *Technical Report: Radar Principles rev.3 [online]*, Syracuse Research Corp, <http://www.mit.edu/~lrv/cornell/publications/radar%20principles.pdf>, (**Ziyaret tarihi: 08 Haziran 2010**).
- [15] Naval Air Warfare Center (NAWC), 1999, *Electronic Warfare and Radar Systems Engineering Handbook [online]*, http://www.microwaves101.com/encyclopedia/Navy%20handbook/EW_Radar_Handbook.pdf, (**Ziyaret tarihi: 08 Haziran 2010**).
- [16] Merrill I. Skolnik, "Radar Handbook", Third Edition, *McGraw-Hill*, (2008).
- [17] S. Haykin, “Adaptive Radar Signal Processing”, *John Wiley & Sons*, (2007).
- [18] The NERC MST Radar, 2004, *AVAILABLE BEAM POINTING DIRECTIONS FOR THE NERC MST RADAR [online]*, http://mst.nerc.ac.uk/nerc_mstr_beam_dirs.html, (**Ziyaret tarihi: 08 Haziran 2010**).
- [19] D. A. Hooper, J. Nash, T. Oakley, and M. Turp. “Validation of a new signal processing scheme for the MST radar at Aberystwyth.”, *Ann. Geophys.*, 26(11), 3253-3268, (2008).
- [20] D. A. Hooper, “The significance of data weighting windows for accurate parameterisation of MST radar return signals”, *9th international workshop on technical and scientific aspects of MST radar*, 496-499, (2000).
- [21] D. A. Hooper, H. Chandra, “Compensation of broad spectral width radar return signals for the low pass filtering effect of coherent integration”, *9th international workshop on technical and scientific aspects of MST radar*, 492-495, (2000).

- [22] The NERC MST Radar, 2008, *THE NERC MST RADAR FACILITY AT ABERYSTWYTH* [online], http://mst.nerc.ac.uk/nerc_mst_radar.html, (Ziyaret tarihi: 08 Haziran 2010).
- [23] I. Müürsepp, “Software Radar”, *Electronics and electrical engineering*, 4 (84), 59-62, (2008).
- [24] G. Wojdołowicz, J. Misiurewicz, A. Piatek, “COTS Hardware for Software Radar”, *International Radar Symposium*, 1-4, (2006).
- [25] W. Wiesbeck, “SDRS: Software-Defined Radar Sensors”, *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 7, 3250-3262, (2001).
- [26] T. Grydeland, F. D. Lind, P. J. Erickson, J. M. Holt, 2005, *Software Radar signal processing* [online], <http://www.ann-geophys.net/23/109/2005/angeo-23-109-2005.pdf>, (Ziyaret tarihi: 08 Haziran 2010).
- [27] V.G. Bartenev, “Software Radar: New Reality”, *Radar CIE International Conference*, 1-4, (2006).
- [28] National Instruments, 2006, *What is I/Q Data?*[online], <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/4805>, (Ziyaret Tarihi: 08 Haziran 2010).
- [29] R.Lyons, 2000, *Quadrature signals: Complex but not complicated*[online], <http://www.bessernet.com/articles/DSP/RickQuadSignals.pdf>, (Ziyaret Tarihi: 08 Haziran 2010).

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında İzmit'te doğdu. İlk ve orta öğrenimini İzmit'te tamamladı. 1995 yılında Kocaeli Endüstri Meslek Lisesi Elektrik Bölümü'nü kazandı, 1996'da Kocaeli Teknik Lisesi Elektronik Bölümü'ne geçti ve 1998 yılında lise eğitimini bitirdi. 2000–2002 yılları arasında Kocaeli Üniversitesi Kocaeli Meslek Yüksek Okulu Elektronik Haberleşme Bölümü'nde ön lisans eğitimi aldı. 2003 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'ne dikey geçiş yaptı ve 2007 yılında bölüm birincisi olarak mezun oldu. 2007 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Halen Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda öğrenci olup mezun olma aşamasındadır.