

YAPAY AÇIKLIKLI RADARDA UYUMLU FİLTRE UYGULAMASI

AYOUB E. KAMAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

EKİM 2012

ANKARA

AYOUB E. KAMAL tarafından hazırlanan “YAPAY AÇIKLIKLI RADARDA UYUMLU FİLTRE UYGULAMASI” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Nursel AKÇAM

.....

Tez Danışmanı, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU

.....

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, G. Ü.

Yrd. Doç. Dr. Nursel AKÇAM

.....

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, G. Ü.

Yrd. Doç. Dr. Hasan Şakir BİLGE

.....

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, G. Ü.

Tarih: 17/10/2012

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ayoub E. KAMAL

YAPAY AÇIKLIKLI RADARDA UYUMLU FİLTRE UYGULAMASI**(Yüksek Lisans Tezi)****Ayoub E. KAMAL****GAZİ ÜNİVERSİTESİ****FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ****EKİM 2012****ÖZET**

Genel anlamda radar, modüle edilmiş dalga formu ve anten ile hedef cisimleri tespit etmek için kullanılan elektromanyetik enerjinin iletilmesidir. Hedef cismin bir kısmını radara geri yansıtmaktadır. Bu yansımalar radar alıcısı tarafından hedefin hız, acısal pozisyon ve benzeri hedef karakteristiklerinin tespiti için kullanılır. Yapay açıklıklı radar (SAR- Synthetic Aperture Radar) her türlü hava koşulunda yüksek çözünürlüğe sahip görüntü elde edebilen bir radardır. Bu çalışmada, genel radar prensibi verilerek SAR radar hakkında bilgi verilmiştir. Çalışmada uyumlu filitre uygulaması analizi yapılmıştır. Uyumlu filitrenin fourier işlemi ile uyumlu filitre çıkışının hesaplanması, uyumlu filitreleme için örnek, belirsizlik fonksiyonu, uyumlu filitreyle ilişkin ideal belirsizlik fonksiyonu, dikdörtgen darbe belirsizlik fonksiyonu, darbe belirsizlik fonksiyonu (LFM), darbe sıkıştırma, detaylı darbe sıkıştırma işlemi, bant genişliği, çözünürlük ve sıkıştırma konularına yer verilmiştir. Çalışmada MATLAB programı kullanarak sonuç ve değerlendirmeler yapılmıştır.

Bilim Kodu : 905.1.034
Anahtar Kelimeler : SAR radar, uyumlu filitre uygulaması
Sayfa Adedi : 64
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Nursel AKÇAM

MATCHED FILTER APPLICATION IN SYNTHETIC APERTURE RADAR
(M.Sc. Thesis)

Ayoub E. KAMAL

GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
OCTOBER 2012

ABSTRACT

Generally the radar is modulated waveforms using the antenna to detection the target object by using the electromagnetic energy transmission. The target reflects a part of the electromagnetic to the radar. These reflections is used to detection the target speed, angular position and similar by radar receiver. SAR- Synthetic Aperture Radar can get high-resolution display in all kind of weather. In this thesis given the principle of radar to provide information about SAR radar. In this study the matched filter application analysis was made. Matched filter Fourier working and matched filter output calculation, example for matched filter, uncertainty function, related with matched filter, ideal uncertainty function, detailed pulse compression process, rectangular pulse uncertainty function, LFM- pulse uncertainty function, pulse compression, detailed pulse compression process, bandwidth, resolution and compression subjects and example of pulse compression described. In this work we use MATLAB program to get the result and evaluation made.

Science Code : 905.1.034

Key Words : SAR radar, matched filter application

Page Number : 64

Adviser : Yrd. Doç. Dr. Nursel AKÇAM

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca bana her türlü konuda yardımcı olan, düşünceleri ve önerileri ile desteğini esirgemeyen, yoğun olduğu zamanlarda bile zaman ayıran, değerli tez danışmanım Yrd. Doç. DR Nursel AKÇAM'a , ayrıca araştırmanın süresince düşünce ve yardımları ile bana destek olan anabilim dalımızdaki hocalarıma en içten teşekkürlerimi sunarım. Benden manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve beni bugünlere kadar getiren değerli babam ve anne'me, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli arkadaşım Mehmet MUSTAFA'ya aynı anda Safa SALMAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. RADAR SİSTEMLERİ TEMELLERİ.....	3
2.1. Radar Temel Prensipleri	4
2.2. Radar Menzili	5
2.3. Menzil Çözünürlüğü	7
2.4. Doppler Radar.....	8
2.5. Radar denklemi.....	12
3. YAPAY AÇIKLIKLI RADAR (SAR).....	16
3.1. SAR Tarihçesi.....	16
3.2. Bir SAR Radarının Çalışması.....	18
3.3. Menzilin Bozunumu (Distortion)	20
3.3.1. Kısaltım.....	20
3.3.2. Örtüşme.....	21
3.3.3. Gölgeleme	22
2.5. SAR-Yöntemi	22
4. UYUMLU FİLTRE.....	25
4.1. Fourier İşlemi ile Uyumlu Filtre Çıkışının Hesaplanması	29

Sayfa

4.2. Uyumlu Filtreleme için Örnek.....	30
4.3. Belirsizlik Fonksiyonu.....	34
4.4. Uyumlu Filtreye İlişkin Formülasyon	35
4.5. İdeal Belirsizlik Fonksiyonu.....	37
4.6. Dikdörtgen Darbe Belirsizlik Fonksiyonu.....	37
4.7. LFM – Darbe Belirsizlik Fonksiyonu.....	40
4.8. Darbe Sıkıştırma	42
4.9. Detaylı Darbe Sıkıştırma İşlemi	43
4.10. Bant Genişliği, Çözünürlük ve Sıkıştırma.....	49
4.10.1. Bant genişliği	49
4.10.2. Çözünürlük.....	49
4.10.3. Sıkıştırma.....	50
4.11. Darbe Sıkıştırma Örneği.....	51
5. SİMİLASYON SONUÇLARI	54
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR.....	60
EKLER.....	61
EK -1. MATLAB Programı	62
ÖZGEÇMİŞ.....	64

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.2. Basitleştirilmiş darbe radar blok diyagramı	6
Şekil 2.3. Hedefin yansıyan eşit fazlı dalga formlarına etkisi.....	9
Şekil 2.4. Hedef1 sıfır Doppler, hedef2 maksimum Doppler, hedef3 ortalama Doppler.....	10
Şekil 2.5. Radyal hız azimuth ve yükselti açısına bağlıdır.....	11
Şekil 3.1. Ocean Master ISAR-Bilgisayarı tarafından çizilen bir gemi silueti[6].....	18
Şekil 3.2. Kısaltım (foreshortening) [6].	21
Şekil 3.3. Örtüşme (overlap) [6].....	21
Şekil 2.5. SAR-yöntemi, Şerit Haritalama (Stripmap) [6].	23
Şekil 3.6. SAR-yöntemi, Işıldak (Spotlight) [6].....	24
Şekil 2.7. SAR-yöntemi, Tarama (Scan) [6].	24
Şekil 4.1. FFT işlemi ile uyumlu filitre gerçekleştirilmesi.....	30
Şekil 4.2. Uyumlu filitre örneği, iletilmiş dikdörtgen darbe	31
Şekil 4.3. Uyumlu filitre örneği, alınmış gürültüsüz sinyal	32
Şekil 4.4. Uyumlu filitre örneği, normal dağıtılmış gürültü sinyali	32
Şekil 4.5. Uyumlu filitre örneği, alınmış toplanır gürültülü sinyal	33
Şekil 4.6. Uyumlu filitre örneği, uyumlu filitrenin çıkışı.....	33
Şekil 4.7. Radar belirsizlik fonksiyonu tarafından temsil edilen ideal belirsizlik fonksiyonu.....	38
Şekil 4.8. a) radar belirsizlik diyagramında, b) 2D zaman gecikmeli Doppler kayma düzleminde normalleştirilmiş dikdörtgen darbe belirsizlik fonksiyonu....	39
Şekil 4.9. a) radar belirsizlik diyagramında, b) 2D zaman gecikmeli Doppler kayma düzleminde normalleştirilmiş LFM darbe belirsizlik fonksiyonu.....	41

Şekil	Sayfa
Şekil 4.10. Upchirp sinyali için zaman – frekans değişimi	46
Şekil 4.11. Downchirp sinyali için zaman – frekans değişimi	47
Şekil 4.12. Darbe sıkıştırma işlemi sonrasındaki çıkış sinyali [14].	48
Şekil 4.13. Uyumlu filitre örneği, iletilen chirp tipi sinyal	51
Şekil 4.14. Uyumlu filitre örneği, normal dağıtılmış gürültü sinyali	52
Şekil 4.15. Uyumlu filitre örneği, alınan sinyal (iletilmiş + gürültü),.....	52
Şekil 4.16. Uyumlu filitre örneği, uyumlu filitre çıkışı.....	53
Şekil 5.1. İletilen dikdörtgen darbe.....	54
Şekil 5.2. Uyumlu filitre alıcısı.	55
Şekil 5.3. Alınan gürültüsüz sinyal.	55
Şekil 5.4. Normal dağıtılmış gürültü sinyali.	56
Şekil 5.5. Alınmış toplanır gürültülü sinyal.	57
Şekil 5.6. Uyumlu filitrenin çıkışı.	58
Şekil 5.7. Uyumlu filitre devresi.	58

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
SAR	Yapay Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar)
SNR	Sinyal- Gürültü Oran (Signal-to-Noise Ratio)
GWN	Gauss Beyaz Gürültü (Gaussian White Noise)
PSD	Güç Spektral Yoğunluğu (Power Spectral Density)
FFT	Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform)
IFFT	Ters Hızlı Fourier Dönüşümü (Inverse Fast Fourier Transform)
AWGN	Katkılı Gauss Beyaz Gürültü (Additive White Gaussian Noise)
LFM	Doğrusal Frekans Modüleli (Linear Frequency Modulated)

1. GİRİŞ

Radarın icadı ve geliştirilmesinde birçok bilim adamının katkısı olmuştur. Radarın tarihçesinde ki en önemli gelişmeler, 1865 İngiliz fizikçi James Clerk Maxwell elektromanyetik dalgaları ve bunların yayılmasını açıklayan elektromanyetik ışık kuramını ortaya atmasıyla başlamıştır. 1903 Alman yüksek frekans teknisyeni Christian Hulsmeyer su üzerindeki trafiği denetlemek için telemobiloskopu icat etti. Bu alet metal bir nesneden çarparak dönen elektromanyetik dalgaların süresini ölçüyor ve böylece menzil hesaplanabiliyordu. Bu ilk pratik radar denemesi için Hulsmeyer patent başvurusunda bulundu. 1921 Albert Wallace Hull tarafından güçlü gönderici tüpü magnetron icat edildi. 1930 ABD’de radarı kullanarak ilk uçak algılandı. 1931 Almanya da günümüzde sonar dediğimiz (deniz radarı) icat edildi. 1936 Metcalf ve Hahn tarafından yükselteç veya osilatör olarak kullanılan klistron bulundu. 1940 İngiltere’de ilk savaş uçağına etkili radar takıldı.

2.Dünya Savaşı sırasında silah sistemlerinin gelişmesi, radar teknolojisinde olağanüstü gelişmelere yol açtı ve özellikle buna bağlı olarak hava savunma sistemleri kurulmaya başlandı. Savaş sonrasında NATO ve Varşova paktı üyesi ülkelerin ortak sınırlarında birçok radar sistemi yerleştirildi. İkinci Dünya Savaşından sonra radar yöntemi barışçıl kullanım olarak adlandırılan bir yönde kullanılmaya başlandı. Günümüzde radar günlük hayatta çok sık kullanılmaktadır [1].

L.M. Novak, G.J. Owirka, ve C.M. Netishen bir çalışmalarında SAR radarda uzaysal uyumlu filitre kullanarak otomatik hedef tanıma sorununu araştırmışlardır MIT Lincoln Laboratuvarında. Yapılan ilk çalışmalara göre kullanımını araştıran farklı uzaysal uyumlu filitre çerçevesinde 2B SAR ATR sistemi özetlenmiştir. Özellikle yeni bir uygulama kayma –bağımsız yöntemi sunulmuş ve mekansal frekans alanı 2D uyumlu SAR bilgisi olarak verilmiştir. Ayrıca, bu sınıflandırıcının performansını (yapay ayırt edici fonksiyonu, asgari ortalama korelasyon enerji filitresi ve karesel mesafe korelasyon sınıflandırıcı) ile karşılaştırılmıştır [2].

Sherif A. Elgamel, Carmine Clemente ve John J. Soraghan tarafından yapılan Kesirli Fourier dönüşümü kullanarak radarda uyumlu filitreleme adlı çalışmada, frekans içinde çarpma yoluyla gerçekleştirilebilir Fourier dönüşümü (FT-Fourier Transform) uygulayarak etki anlatılıyor. Uyumlu filitre en ideal linear filitredir, uyumlu filitre genellikle radar sisteminde kullanılır burada iletilen sinyal bellidir ve sinyal çoğaltma olarak ta kullanılabilir, Kesirli Fourier dönüşümü (FrFT-Fractional Fourier Transform) genel bir çözümdür, FT de ve Optimum FrFT kullanarak üstün bir chirp darbe sıkıştırması sağlamıştır [3].

Uyumlu filitrede ters tabanlı zaman domeninde Yer Radarı Verileri için Algoritma adlı çalışmayı Carlton J. Leuschen ve Richard G. Plumb tarafından yapılmıştır. Çalışmada ters linear saçılması teorisi kullanarak, uyumlu filitrenin yanıt sorununu geliştirmek için bir çalışma yapmışlardır. Yerel etkili radar bir uzaktan algılama tekniğidir. Yüzeyin altından bilgi verileri toplamak için kullanılır. Veri toplama işlemi bir nesnenin görüntü alanı haritalaması olarak görünebilir. Çoğu yerel etkili radar geniş açılı radarı kullanır, gömülü yapıdan yansıyan enerji görüntü alanında büyük bir yanal açıklık olarak görüntülenir. Migrasyon algoritması yeniden odaklanan doğru saçılma haritası kullanır [4].

Bu tez çalışmasının ikinci bölümünde Radar sistemlerinin temelleri ve radar için önemli olan mesafe, mesafe çözünürlüğü Doppler frekansı ve radar denklemi anlatılmıştır. Üçüncü bölümde Yapay Açıklıklı Radar tarihçesi, çalışması, menzilin bozunumu ve yöntemi açıklanmıştır. Dördüncü bölümde uyumlu filitre, örnek, belirsizlik fonksiyonu, formülasyon, ideal belirsizlik fonksiyonu, darbe sıkıştırma anlatılmıştır. Similasyon sonuçlar beşinci bölümde verilmiş olup, sonuç ve öneriler altıncı bölümde yer almaktadır.

2. RADAR SİSTEMLERİ TEMELLERİ

Radar kelimesi (RAdio Detection And Ranging) cümlesi kelimelerinin baş harflerinin kısaltmasıdır. Radar cihazı uzaktaki hedefleri mikrodalga yansıtma metodu ile tespit eder. Genelde radar sistemi modüleli dalga ve yönlü anteni kullanarak elektromanyetik enerjiyi yayarak istenilen hedefi bulmak için kullanılır. Radar cihazı ile karanlık bulut veya sis içinde olup görünmeyen cisimler dahi durumunu ve yerini mikrodalgalarla tayin edilir [5]. Radarın teorik temelleri oldukça karmaşık olmasına karşın, çalışma prensibini anlamak kolaydır. Ancak radar sistemlerinden azami seviyede faydalanmak ve radarı verimli biçimde kullanmak için teorinin iyice kavranılmış olması gerekir. Radar binasının inşaatından başlayarak, radar sistemlerin kullanılmasına kadar her noktada inşaat, makine ve elektrik mühendisliği, yüksek güç mikrodalga mühendisliği ve gelişmiş hızlı sinyal ve veri işleme teknikleri gibi birçok değişik disiplinlerin katkısı gerekir. Başta fizik olmak üzere, bazı doğa kanunları da burada hayati bir öneme sahiptir.

Her radarın çalışmasında aşağıdaki üç temel fizik kuralı rol oynar:

1. Elektromanyetik dalgaların yansıması:

Elektromanyetik dalgalar elektriksel iletken bir yüzeye çarpmaları halinde yansır. Yansıma sinyali dalganın çıkış merkezinde (“yankı” olarak) yeniden kaydedilir ve bu da bize dalganın yayıldığı yönde bir cismin varlığını kanıtlar.

2. Elektromanyetik dalgaların sabit yayılma hızı:

Elektromanyetik dalgalar ışık hızına yakın bir hızla yayılırlar. Hesaplamalarda hız olarak ister 300000 km/s, ister hassas ışık hızı değeri olan 299792458 m/s alınsın fark etmez, ancak hesapların tamamında aynı değer kullanılması gerekir. Elektromanyetik dalgaların sabit hızla yayılma özelliğinden faydalanarak ışınların çarparak yansıdığı hedeflerin (uçaklar, gemiler, taşıtlar) mesafelerini (menzillerini) bu radar darbelerinin geri dönüş sürelerini ölçülerek hassas bir şekilde belirlenebilmektedir.

3. Elektromanyetik dalgaların doğrusal yayılması:

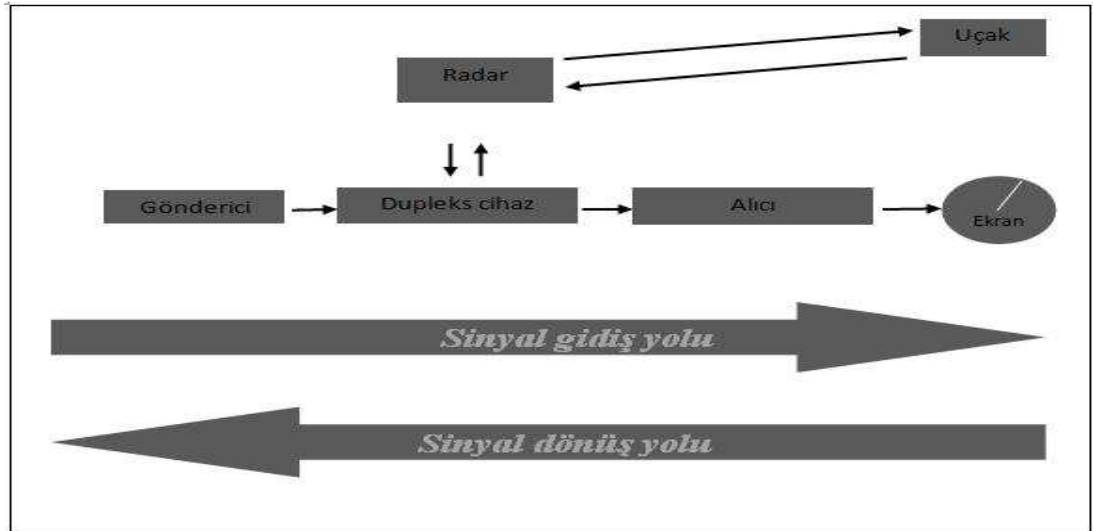
Elektromanyetik dalgalar radarların frekans bölgesinde doğrusal olarak yayılırlar. Bazı özel antenler kullanarak elektromanyetik dalgalar belli bir yönde yoğunlaştırılabilir. Böylece hedefin açısal koordinatlarını (yatay (azimut) açısını ve yükseklik açısını) bulunabilir.

Yukarıda bahsedilen üç fiziksel kanunu kullanarak radar aygıtı ile bir hedefin menziline, yatay açısını ve yüksekliği belirlenebilir. Ancak elektromanyetik dalgalar yayılması bazı optik-benzeri kanunlara da tabidir.

Bunlar arasında bükülme, kırılma ve yansıma gibi bazı optik kurallarıdır. Bunlardan bükülme ve kırılmadan kaynaklanan etkiler çalışmamız için önemli değildir.

2.1. Radar Temel Prensipleri

Şekil 2.1. bir birincil radarın çalışma prensiplerini göstermektedir. Radar anteni hedefe bir mikrodalga sinyali yollar, hedefe çarpan sinyal yansır ve bir alıcı cihaz tarafından alınır. Alıcı anten tarafından alınan elektrik sinyaline yansıma veya dönüş sinyali denir. Radar sinyali güçlü bir yüksek frekans üretici tarafından üretilir ve çok hassas bir alıcı tarafından yeniden alınır.



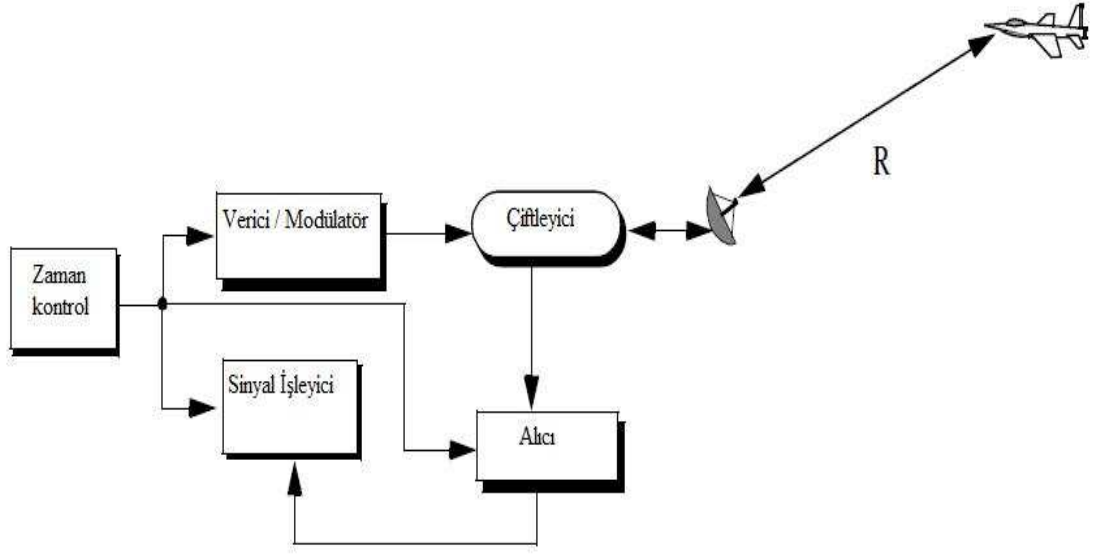
Şekil 2.1. Bir birincil radar öbek şeması

Tüm hedefler dağınık, yani her yöne yansıma yaparlar. Yansıma sinyallerine serpm adı verilir. Backscatter (Geri Serpme) hedefe gidiş yönünün tam tersine olan yansıma sinyalleri için kullanılan bir İngilizce terimdir.

Radar sinyalleri geleneksel PPI (Plan Position Indicator) olarak adlandırılan ekranlarda görüntülenir. Bununla beraber çok daha gelişmiş radar görüntüleme sistemleri de bulunmaktadır. Ekranda merkezden kenara doğru, dönen çizgi antenin yönünü ve hedefin yan açısını belirtir [6].

2.2. Radar Menzili

Şekil 2.2. de basitleştirilmiş darbe tipi radar blok diyagramını görülmektedir. Burada zaman kontrol kısmı sistemin tamamında eş zamanlı sinyalin elde edilmesi için kullanılır. İletilen ve geri alınan dalgaların ayrımı çiftleme tarafından sağlanır. Duplexler sayesinde tek bir anten ile hem iletme hemde geri alama işlemi yapılmaktadır. Elektromanyetik dalganın gönderilmesi durumunda dalga antene doğru iletilir. Tekrar yansımaları alma durumunda ise ilk olarak antene dalga gelir ve yükseltilme işlemi yapılır. Daha sonra sinyal işleme bloğu (signal processor block) sayesinde hedefe ait bilgiler elde edilir. Hedefin radara olan mesafesi R , zaman gecikmesi Δt , hesaplanarak elde edilir (Δt süresi, radar ve hedef arasındaki elektromanyetik dalganın iletimi için geçen süredir). Elektromanyetik dalgaların ışık hızında hareket ettiği göz önüne alınarak hedefin radara olan uzaklığı aşağıdaki eşitlikte verilir.



Şekil 2.2. Basitleştirilmiş darbe radar blok diyagramı

$$R = \frac{c\Delta t}{2} \quad (2.1)$$

Burada;

R metre, Δt saniye, iki yolun zaman gecikmesi için $\frac{1}{2}$ kullanılır. Periyod T ve darbe genişliğide τ dur. Gömme darbe periyodu (IPP)=T, Darbe Tekrarlama Aralığı (PRI). PRI'nın tersi ise PRF olmaktadır. Radar frekansı;

$$f_r = \frac{1}{PRI} = \frac{1}{T} \quad (2.2)$$

olarak elde edilir. PRI süresince τ saniye radar enerji yayar ve diğer sürede radar yansımayı algılar. Görev periyodu (duty cycle) ise

$$d_t = \tau/T \quad (2.3)$$

eşitliği ile verilir. Ortalama iletilen güç;

$$P_{av} = P_t \times d_t \quad (2.4)$$

olarak bulunur. P_t : iletilen güç değeridir. Darbe enerjisi ise:

$$E_p = P_t \tau = P_{av} T = P_{av} / f_r \quad (2.5)$$

olarak elde edilir. R_1 ve R_2 birinci ve ikinci darbelerin yankıları ise aşağıdaki eşitliklerde verilmektedir.

$$R_1 = \frac{c\Delta t}{2} \quad (2.6)$$

$$R_2 = \frac{c(T+\Delta t)}{2} \quad (2.7)$$

Burada c , ışık hızıdır. $c = 3 \times 10^8 \text{m/sn}$

2.3. Menzil Çözünürlüğü

Mesafe çözünürlüğü (Range resolution), ΔR ile gösterilir ve radarların nesneyi algılama mesafesi olarak tanımlanır. Radar sistemleri minimum mesafe $R_{\min}$ ve maksimum mesafe $R_{\max}$ arasında çalışmak için tasarlanmıştır. $R_{\min}$ ve $R_{\max}$ arasındaki farkın ΔR 'ye oranları M mesafe noktalarını verir.

$$M = (R_{\max} - R_{\min}) / \Delta R \quad (2.8)$$

Hedef radar arasındaki mesafe ΔR oranında parçalara ayrılır. Aynı mesafe noktası içinde bulunan hedefler aynı sinyal değerlendirme tekniğine tabi tutulur. Örneğin iki hedef R_1 ve R_2 mesafelerinde, zaman gecikmeleri t_1 ve t_2 olsun. İki mesafe arasındaki fark ΔR ;

$$\Delta R = R_2 - R_1 = c \frac{(t_2 - t_1)}{2} = c \frac{\delta t}{2} \quad (2.9)$$

biçimde elde edilir. Radar bant genişliği B olmak üzere,

$$B = 1/\tau \quad (2.10)$$

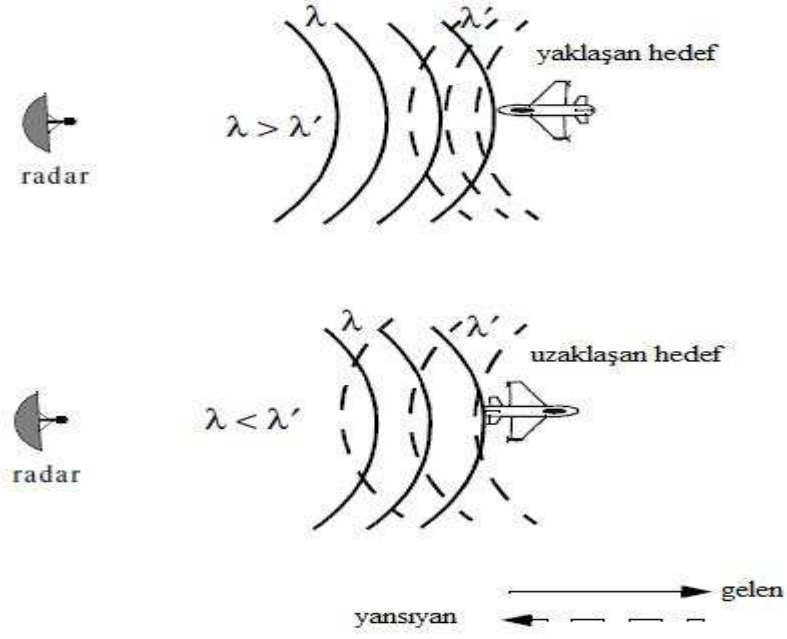
eşitliği ile verilir ve ΔR 'yi, bant genişliği cinsinden aşağıdaki biçimde ifade etmek mümkündür.

$$\Delta R = \frac{c\tau}{2} = \frac{c}{2B} \quad (2.11)$$

Genel olarak ΔR 'nin minimum olması tercih edilir. Bunun için B bant genişliğinin minimum olması gerekmektedir [7]. Bu da ortalama iletilen gücün azalmasına sebep olur.

2.4. Doppler Radar

Radarlar hedefin radyal hızını ölçmek için Doppler frekansını kullanır. Doppler frekansı, radar tarafından yayılan elektromanyetik dalganın frekansının hedefe çarpıp geri radara gelmesi sırasındaki sapması olarak tanımlanır. Hedefin yönüne bağlı olarak pozitif veya negatif olabilir. Dalga boyu λ olarak kabul edilirse radara yaklaşan ve uzaklaşan cisimler eşit fazlı dalgaların yansımaya sebep olacaktır. Yaklaşan hedefler için $\lambda > \lambda'$ ve radardan uzaklaşan hedefler için $\lambda < \lambda'$ olacaktır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Hedefin yansıyan eşit fazlı dalga formlarına etkisi

Darbe genişliği τ saniye olduğu ve radara doğru v hızıyla hedefin geldiği kabul edilirse, hedefin Δt süresince aldığı yol d olmak üzere,

$$d = v\Delta t \quad (2.12)$$

Eşitliğinden bulunur. Darbe ışık hızında hareket ettiğinden;

$$c\tau = c\Delta t + v\Delta t \quad (2.13)$$

ve

$$c\tau' = c\Delta t - v\Delta t \quad (2.14)$$

oran olarak;

$$\frac{c\tau'}{c\tau} = \frac{c\Delta t - v\Delta t}{c\Delta t + v\Delta t} \quad (2.15)$$

olur. $\Delta t'$ yi sadeleştirirsek,

$$\tau' = \frac{c-v}{c+v} \tau \quad (2.16)$$

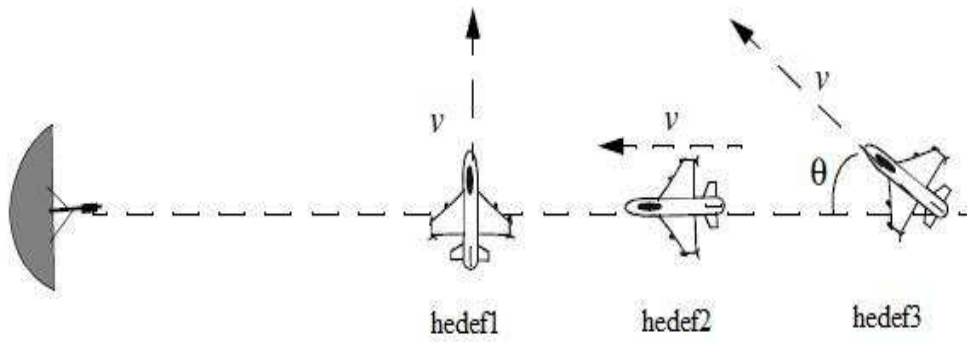
olarak elde edilir. Doppler frekansı ise;

$$f_d \approx \frac{2v}{c} f_0 = \frac{2v}{\lambda} \quad (2.17)$$

olur ve burada,

$$c = \lambda f_0 \quad (2.18)$$

olmaktadır.



Şekil 2.4. Hedef1 sıfır Doppler, hedef2 maksimum Doppler, hedef3 ortalama Doppler.

Şekil 2.4’de de görüldüğü üzere hedefi görme durumuna göre Doppler frekansı da değişir. Bu durumda Doppler frekansı;

$$f_d = \frac{2v}{\lambda} \cos \theta \quad (2.19)$$

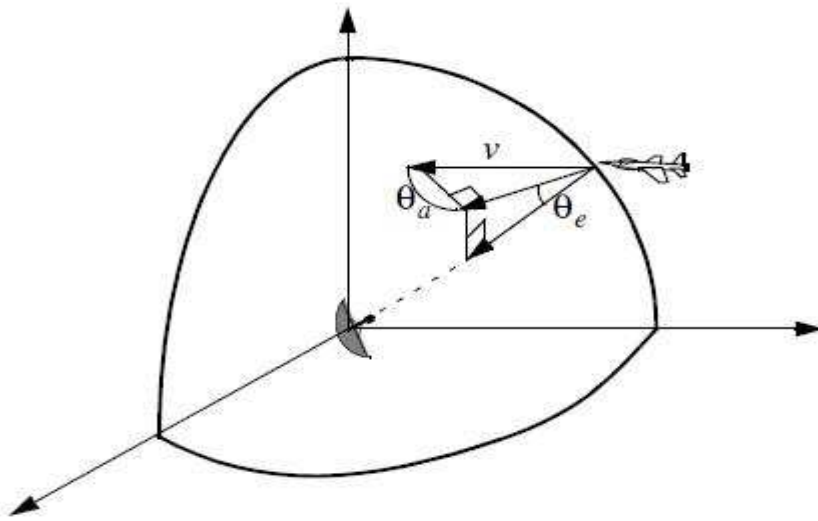
olarak elde edilir. Uzaklaşan hedefler için Doppler frekansı

$$f_d = \frac{-2v}{\lambda} \cos \theta \quad (2.20)$$

olur. Burada;

$$\cos \theta = \cos \theta_e \cos \theta_a \quad (2.21)$$

θ_e : Yükseklik (elevation) Açısı θ_a : Azimuth açısıdır. Şekil 2.5’de Radyal hız bu iki açıya bağlı olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Radyal hız azimuth ve yükselti açısına bağlıdır.

2.5. Radar Denklemi

Tüm yönlerde enerjiyi eşit olarak yayan bir anten (Omnidirectional anten) düşünölsün. Bu antenler dairesel yayılım özelliğı gösterdiğinden güç yoğunluğunun genliğı uzaydaki herhangi bir nokta için tanımlandığında güç yoğunluğu kayıpsız yayılma ortamı ve R mesafesi için;

$$P_D = \frac{P_t}{4\pi R^2} \quad (2.22)$$

olarak ifade edilir. $4\pi R^2$ küre yüzeyidir.

Radar sistemlerinde güç yoğunluğunu artırmak için yönlü antenler kullanılır [5]. Yönlü antenlerde antenin etkin açıklığı A_e (antenna effective aperture) ve anten kazancı da G olarak gösterilse, kazanç;

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \quad (2.23)$$

olur. Antenin verici ve alıcı kazancı aynı kabul edilip;

$$G = k \frac{4\pi}{\theta_e \theta_a} \quad (2.24)$$

eşitliğı elde edilir. Burada k bir sabittir ve $k \leq 1$ için bu denklem yaklaşık olarak

$$G \approx \frac{26000}{\theta_e \theta_a} \quad (2.25)$$

şeklinde olur. Bu durumda güç yoğunluğu;

$$P_D = \frac{P_t G}{4\pi R^2} \quad (2.26)$$

olarak elde edilir. Radar tarafından iletilen elektromanyetik dalga hedefe çarptığı zaman hedef yüzeyinde bir akım endükler. Bu endüklenen akım elektromanyetik enerjinin tüm yönlerde yayılmasını sağlar. Bu yayılan elektromanyetik alan sayesinde hedefe ait bilgiler, hedefin boyutu, yönü, fiziksel şekli, cismin malzeme tipi gibi hedefle ilgili bazı bilgiler tespit edilir. Tüm bu bilgileri içeren radar özel parametresine Radar Kesit Alanı (RCS- Radar Cross Section) denir ve σ sembolüyle gösterilir.

RCS, hedef tarafından yansıtılan elektromanyetik dalganın gücünün yoğunluk oranı olarak tanımlanır.

$$\sigma = \frac{P_r}{P_D} m^2 \quad (2.27)$$

Bu eşitlikte; P_r hedef tarafından yansıtılan güçtür.

Anten tarafından radara gelen toplam güç ise;

$$P_{Dr} = \frac{P_t G \sigma}{(4\pi R^2)^2} A_e \quad (2.28)$$

ve

$$P_{Dr} = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \quad (2.29)$$

ifadeleri ile verilir. Ayırt edilebilen minimum sinyal gücü S_{min} olmak üzere radarın maksimum mesafesi elde edilir.

$$R_{max} = \left(\frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 S_{min}} \right)^{1/4} \quad (2.30)$$

Ayrıca radar mesafesi hesaplamalarında pratikte etkili olan gürültü faktörünün hesaba katılması gerekir. Gürültü tüm radar frekanslarında istenmeyen gerilimleri oluşturmakta ve istenilen sinyal algılanamamaktadır. Gürültü rastgeledir ve güç spektrum yoğunluğu (PSD) olarak tanımlanır.

$$N = Noise\ PSD \times B \quad (2.31)$$

Burada; N, gürültü gücünü göstermektedir.

Kayıpsız antenlerdeki giriş gürültü gücü ise;

$$N_i = k T_e B \quad (2.32)$$

eşitliği ile verilir. $k = 1,38 \times 10^{-23}$ T_e; etkin gürültü sıcaklığı (Kelvin), S_{min} 'in gürültüden büyük olması arzu edilir. Gürültü faktörü F ise girişteki sinyal gürültü oranı (SNR)_i 'nin çıkıştaki sinyal gürültü oranı (SNR)_o 'ya orandır.

$$F = \frac{(SNR)_i}{(SNR)_o} = \frac{S_i/N_i}{S_o/N_o} \quad (2.33)$$

Burada; S_i: giriş sinyal gücü, N_i: giriş gürültü gücüdür.

$$S_i = kT_e BF(SNR)_o \quad (2.34)$$

ve

$$S_{min} = kT_e BF(SNR)_{o_{min}} \quad (2.35)$$

Bu durumda maksimum radar mesafesi R_{max} :

$$R_{max} = \left(\frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 kT_e BF(SNR)_{o_{min}}} \right)^{1/4} \quad (2.36)$$

olarak elde edilir. Çıkıştaki minimum sinyal gürültü oranı da aşağıdaki formülden bulunur [8].

$$(SNR)_{o_{min}} = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 kT_e BFR_{max}^4} \quad (2.37)$$

3.YAPAY AÇIKLIKLI RADAR (SAR)

Yapay Açıklıklı Radar, her türlü hava koşulunda yüksek çözünürlüğe sahip görüntüler elde edebilen bir radar türü olup, yirminci yüzyılın mühendislik alanında gerçekleştirilen en önemli icatlarından birisi olarak kabul edilmektedir. SAR, uçak ya da uydu platformlarında kullanılan, arazilerin ve buna benzer yüzeylerin üzerinde yer alan hedeflerin yüksek çözünürlüklü haritalarının elde edilmesini sağlayan bir radar sistemidir. Bu haritalar, hedefin radar işaretleri kullanarak eş zamanlı yayılım ile aydınlatılması ve geri yansıyan yankı işaretlerinin işlenmesi yolu ile elde edilmektedir. SAR sistemi, verinin elde edilmesi ve işlenmesi açısından yüksek seviyede duyarlı elektronik donanım, söz konusu verinin yüksek çözünürlüklü görüntülere dönüştürülebilmesi amacıyla ileri matematik ve fizik prensipleri içeren bir radar sistemi olarak yorumlanabilir [9].

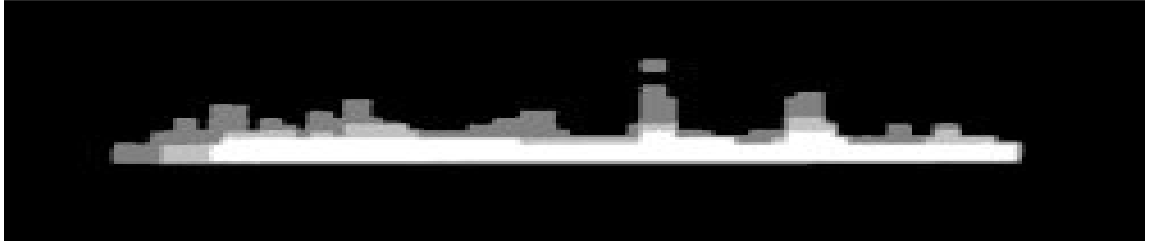
3.1. SAR Tarihçesi

SAR ve radar tarihçesi genel anlamda SAR görüntüleme yöntemlerinin araştırılmasında önem taşır. Radar ilk olarak II.Dünya Savaşı'nda gemi ve uçakların takibi için geliştirilmiştir. Kullanılan radyo frekansının, görülebilir ışıkla birlikte uzaktan algılama sağlamadığı durumlarda hedeflerin belirlenmesi için ağır hava koşullarında ve karanlıkta yayılabilme avantajı vardı. Geleneksel radar sistemleri, radar darbesinin hedefe ulaşması ve geri yansıması için gerekli olan süreden hedefe olan menzili ve anten yönü ile karşılaştırıldığında hedefe olan yönden sinyalin ne kadarının alındığının ölçülmesi yolu ile çalışırlar. Hedefi yansıtan darbenin Doppler kayması da hedefin hız bilgisini de taşır. 1947 yılında holografıyı bulan İngiliz Thomson-Houston'da mühendislik olan Dennis Gabor, dalga cephesi yeniden oluşturma prensipleri ile birlikte SAR için temel oluşturmuştur. Goodyear Aerospace'den Carl Wiley Doppler kayma bilgisinin sonradan işlem görmesinin ışının hareket yönünde daha iyi bir çözünürlük sağladığını keşfetmiştir. Doppler kayması sonradan işlem tekniği ve dalga cephesi yeniden oluşturma teorisini kullanarak Wiley 1951 yılında, hedeflerin iki boyutlu görüntüleri ve dünya yüzeyinin radar kullanılarak inşa edildiği SAR görüntüleme olarak bilinen süreci geliştirmiştir.

Askeri SAR teknolojisinin sivil topluma yayılması ve radar görüntülemenin görsel sensorların yerini büyük ölçüde alması 1970'li yıllara kadar gerçekleşmemiştir. Radar görüntüleme çözümleri, yetersiz güneş ışığına maruz kalma veya hava şartları nedeniyle optik sensorların kullanışsız olarak kabul edildiği durumlarda büyük yeteneklere sahiptir. SAR görüntüleme ile ilgili ilk çalışmalar uçaklar üzerinde olsa da, NASA'nın okyanusları uzaktan algılamak için 1978 yılında ilk olarak dünya yörüngesine oturttuğu uydusu olan SEASAT'a kadar, radarın uzaktan algılama amaçlı kullanımı yaygınlaşmamıştır. SEASAT 800 km yükseklikte, 23 derece geliş açısı ile ve 100 km eninde alan ile 1.175 GHz L-Bant frekansını kullanmaktaydı. Menzilde ve azimut yönlerinde 25 m çözünürlüğünde görüntüler elde edebiliyordu. Azimut platformun hareketine paralel yöndür ve menzil azimuta normal veya platformun hareketine dik yöndür. SEASAT'ten önce, optik işleme SAR işlemenin mevcut olan tek formuydu. Radar verisi, toplandıktan ve alıcı anten tarafından bir katot tüpün yükseklik modülasyonu ile film üzerinde depolandıktan sonra, özellikle odaklanmamıştır ve faza duyarlı işlemciler ile gönderilmesi gerekmiştir. Fourier optik prensipleri ile, bağdaşık lazer kullanılarak, dikkatli bir biçimde konumlandırılan lens sisteminin Fourier dönüşüm verisini alabildiği ve herhangi bir diğer Fourier dönüşümü yapmadan ve son görüntüyü mekansal alana döndürmeden önce mekansal frekans alanında filitreleme gerçekleştirebildiğini keşfedilmiştir. Optik işlem yaklaşımının kısıtları ve radar verisinin film üzerinde depolanması gerekliliği uydular üzerinde SAR işleme dijital işlemi ile ilgili araştırmalara ara verilmesine neden olmuş ve SEASAT için dijital bir işlemci geliştirilmesine sebep olmuştur. İlk dijital işlem algoritması olan RDA, SEASAT'ta kullanılması amacıyla 1978 yılında MacDonald Dettwilder ve Jet Propulsion Laboratuvarı tarafından geliştirilmiştir. Menzil ve azimut alanlarında ayrı ayrı SAR verilerinin işlenmesi tekniği, lensler yerine dijital olarak hızlı Fourier dönüşümlerinin (FFT) kullanımı ile uygulanmıştır. 1978 yılında bu algoritma 40 saat hareketlilik içinde 25 kilometrekarelik bir çözünürlük ile 40 kilometrekare görüntü olarak gelişebilmiştir. Ortalama modern bilgisayarlar aynı görüntüyü saniyenin dörtte birinden daha kısa bir sürede işleyebilirler. SEASAT 10 Ekim 1978 yılında ilk uzaya gönderilmesinden sonra önemli bir kısa devre hatasının görevini sonlandırmasına kadar geçen 105 gün boyunca işlevselliğini korumuştur. Ancak, SEASAT üzerinde dijital SAR

işlemcisinin uygulanmasının işlevsel ve etkili olduğu kanıtlanmış ve RDA modifikasyonları bugün çeşitli uygulamalarda geniş ölçüde kullanılmaktadır [10].

Her bireysel çevrimde ortaya çıkan değişik Doppler frekansları hedefin geometrisinin çiziminde hesaba katılır. Böylece gerçek bir antenin açıklık açısının elverebildiğinin çok ötesinde yüksek açısal çözünürlüklü bir radar resmi elde edilir. Şekil 3.1.de Ocean Master ISAR-Bilgisayarı tarafından çizilen bir gemi silueti görülmektedir.



Şekil 3.1. Ocean Master ISAR-Bilgisayarı tarafından çizilen bir gemi silueti[6].

3.2. Bir SAR Radarının Çalışması

SAR faz dizi antene benzer şekilde çalışır, fakat faz dizi antenin aksine çok sayıda paralel anten elemanı kullanmaz. Buna karşılık sadece bir anteni zaman çoklayarak (time-multiplexing) kullanır. Değişik geometrik konumlar uçuş hızının sonucu meydana gelir.

Bir SAR- radar bilgisayarı A uçuş noktasından C uçuş noktasına kadar ki T zamanı içinde ki tüm darbe tekrarlama sürelerinin yansımalarının genliklerini ve faz açılarını kaydeder. Bu verilerden faydalanılarak, ancak anten uzunluğu $v \cdot T$ (v = platform hızı) olan çok daha büyük bir antenle elde edilmesi mümkün olabilen bir sinyal yeniden elde edilir. T zamanı arttırılarak antenin “yapay açıklığı” büyütülebilir ve böylece daha iyi çözünürlük elde edilebilir.

Bir hedef (örneğin bir gemi) radar tarafından ilk kez yakalandığında gönderilen darbelerin yansımaları kaydedilmeye başlanır. Bu işlem platformun öne doğru hareket ederken, hedef radar ışınları altında kaldığı sürece devam eder. Platformun bu süre içinde kat ettiği yol antenin benzetimleşmiş (simulated) veya yapay boyunu tayin eder.

Antenin yapay olarak küçültülmüş açıklık açısı, ölçüm sırasında geçen süre ve (darbe tekrarlama frekansı vasıtasıyla) olabilmesi mümkün menzil birbirlerini dengelerler, böylece şerit (swath) üzerinde olabildiğince sabit bir açısal çözünürlük yakalanabilir. Bir SAR'ın ulaşılabilmesi mümkün azimut çözünürlüğü yaklaşık olarak gerçek anteninkinin yarısı kadardır ve bu değer platformun uçuş yüksekliğine bağlıdır. Bunun için aşağıdaki teknik koşulların sağlanmış olması gereklidir:

1. Frekansı kararlı, tam evre uyumlu bir radar sistemi
2. Güçlü bir SAR-bilgisayarı
3. Platformun uçuş rotasının/yörüngesinin ve hızının kesin olarak bilinmesi.

Uçak radar yapımcıları bu teknolojiyi kullanarak, bir uçak tarafından taşınması pratik olmayan 10 m gibi boyutlara sahip anten dizilerini kullanmadan oldukça iyi açısal çözünürlük elde etmişlerdir. SAR radarı yanında birde Ters SAR olarak adlandırılan Inverse SAR kısaca ISAR tekniği de kullanılır. Bu teknikte uçağın güzergâhı temel alınmaz, aksine lokalize olmuş hedefin hareket vektörü kullanılır. Gemi tespit devriye uçaklarında bulunan ISAR radarları gemilerin kimlikleri bile tanıyacak kadar kaliteli radar resimlerini elde edebilmesi nedeniyle büyük öneme sahiptir.

Radar sistemleri denilince akla gelen ilk şey bu cihazların askeri amaçlar için kullanılan cihazlar olduğudur. Ancak, araştırıldığında görülmektedir ki SAR askeri amaçların yanında sivil amaçlı birçok faydalı alanda da kullanılmaktadır. Bu alanlar:

- Gezegen yüzeylerinin topografik haritalarının çıkarılması,
- Okyanus zeminlerinin topografik haritalarının çıkarılması,
- Havadan keşif,

- Yeraltı kaynaklarının araştırılması,
- Gözetleme ve hava trafik kontrolü,
- Otomatik uçak inişi,
- Maden arama çalışmaları,
- Ormanlık arazide gizlenmiş hedeflerin tespiti,
- Gömülü tarihi eserlerin tespiti,
- Füze ya da güdümlü mermilerin tespit ve takibi,
- Yer hedeflerinin tespit ve takibi,
- Medikal görüntüleme,

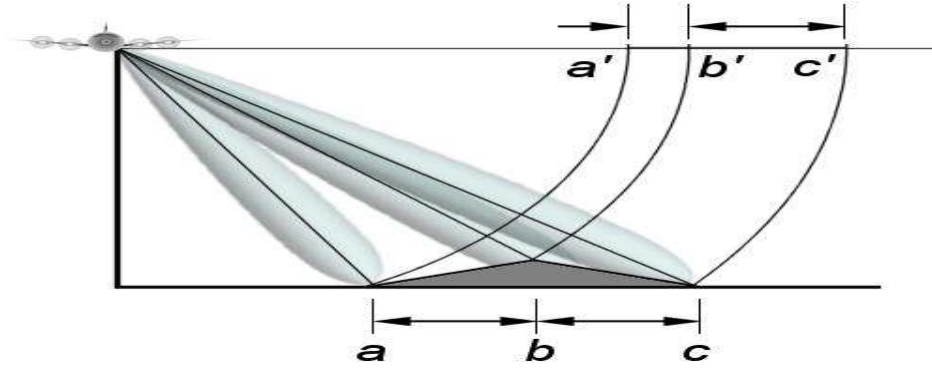
olarak sınıflandırılabilir.

3.3. Menzilin Bozunumu (Distortion)

SAR ile ölçülen yatık menzilde, gönderilen sinyallerin yer yüzeyinden yansımalarında yansımanın olduğu noktanın bir yükseltiden (bina, tepe gibi) veya bazen daha alçaktaki cisimlerden olduğuna bağlı olarak geri dönüş sürelerinde göreceli gecikmeler meydana gelebildiğinden dolayı “menzil bozunumu” denilen bir durum ortaya çıkar. Ölçülen menziller bu olay nedeniyle gerçek menzilleri tutmaz.

3.3.1. Kısaltım

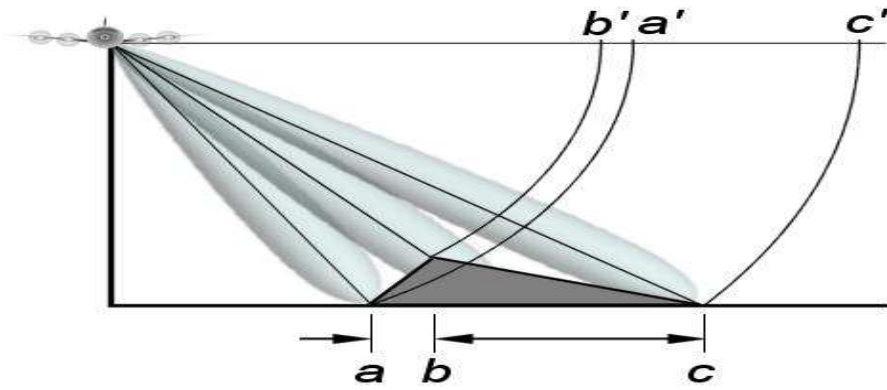
Kısaltım (foreshortening) denilen olay gerçek menzilin kısaltılmış olarak algılanmasıdır. Örneğin, bir dağın radara göre “a” dip noktasının “b” tepe noktasına doğru bir meyille yükseldiğini düşünelim. Dağın bu iki noktası arasında kalan “a-b” yatık mesafesi, dağın tepesinden yansıyan sinyalin dipten yansıyana göre daha kısa sürede dönmesi nedeniyle radarda kısaltılmış a'-b ' mesafesi olarak hesaplanacaktır (Şekil 3.2.) [9].



Şekil 3.2. Kısaltım (foreshortening) [6].

3.3.2.Örtüşme

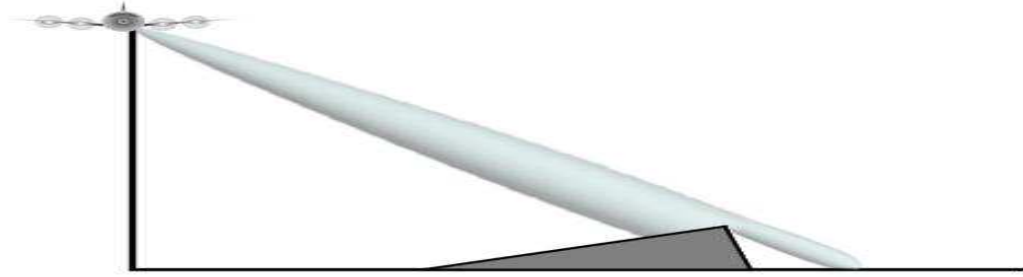
Örtüşme (overlapping) denilen olay bir arazi parçasını, örneğin bir dağın, “b” tepe noktasının yatık menzilinin “a” dip noktasına göre daha kısa olacak şekilde bir eğime sahip olması durumunda meydana gelir. Radara tepeden yansıyan sinyalin dipten yansıyana göre daha erken döneceğinden “a-b” aralığı tersine çevrilerek b’-a’ olarak algılanacak, yani biri diğerini örtecektir (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Örtüşme (overlap) [6].

3.3.3.Gölgeleme

Bir açı ile radar ışımasına maruz kalan arazi yükseltileri ayrıca bir gölgeleme etkisi meydana getirir. Bu gölgenin boyu, güneşin batışında olduğu gibi, geliş açısı büyüdükçe daha da artar (Şekil 3.4).

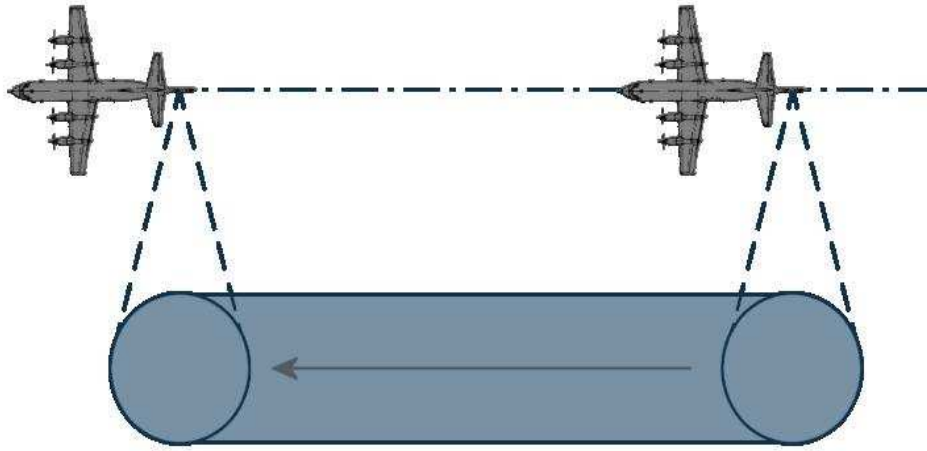


Şekil 3.4. Gölgeleme [6].

2.5. SAR-Yöntemi

SAR-Şerit haritalama (Stripmap) yöntemi, ayrıntıları SLAR (Uçağa Takılı Yana Bakan Radar) sayfasında verilen temel bir yöntemdir (Şekil 3.5.).

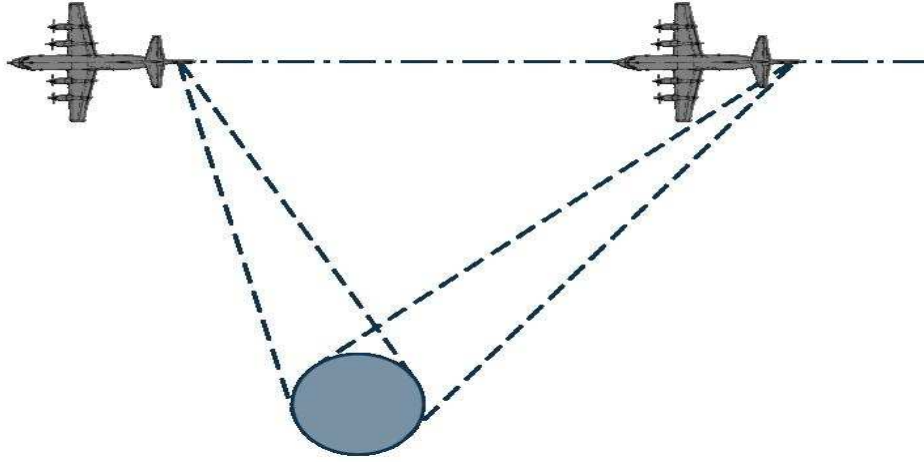
Bir SAR-resmi antenin bakış yönü platformun ana ekseninden (uçak için; pilot kabininden kuyruğa olan uzunlamasına eksen) geçen ve yeryüzüne dik düzlem içinde değil, bu eksenine içine alan düzlemde yan tarafa aşağı yönde ileriye ya da geriye doğru ışıma yapacak şekilde yerleştirilmesi ile sağlanabilir. Bu yöntem Squinted SAR (squint = gözü kısarak bakmak) yöntemi de denilir. Artık resmin hesaplanması için verilerin işlenmesinde dik açı ile kesişmeyen menzil ve Doppler frekans koordinatlarının dikkate alınması gerekir. Prensipsel nedenlerle SAR-yöntemi uçuş rotası yönünde ve yine bu uçuş rotasına dik yönde aşağıya bakan düzlemlerde uygulanamaz [6,11].



Şekil 3.5. SAR-yöntemi, Şerit Haritalama (Stripmap) [6].

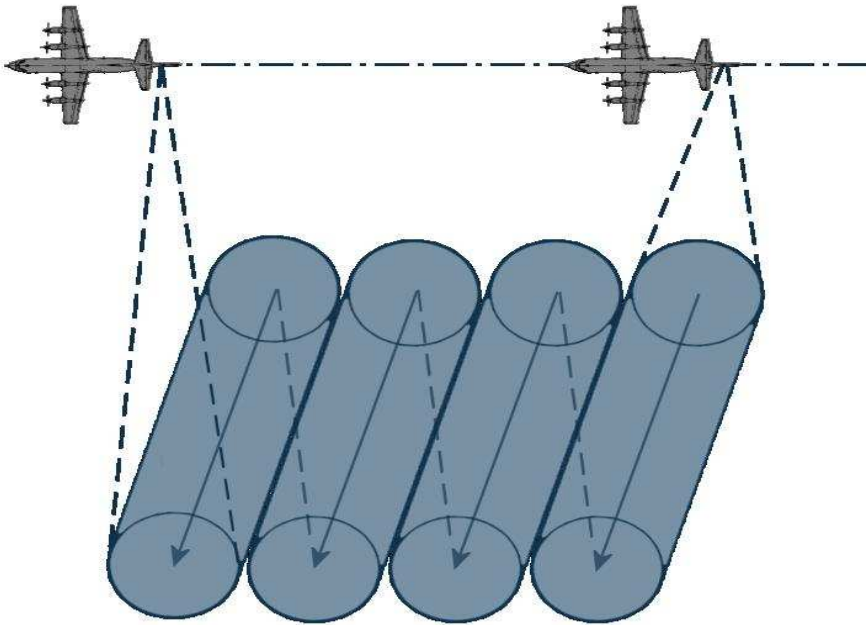
Işıldak (spotlight)-SAR yöntemiyle antenin belirli bir hedef üzerinde daha uzun süreli kalmasıyla azimut çözünürlüğü daha da iyileştirilir; bu çözünürlük azimut açısında rotayı takip eder. Hedef üzerinde olası bir daha uzun bir aydınlatma süresi (illumination time) yapay açıklığın büyümesine doğrudan etkiler ve ulaşılabilen açısal çözünürlük iyileşir, bant genişliği ve zaman çarpımı değeri yükselir (Şekil 3.6.).

Ancak çözünürlükteki bu iyileşme resimlendirilmesi mümkün olabilen alanda kayıplar karşılığında sağlanabilmektedir. Bir sonraki aydınlatılacak nokta ancak gözlemlene zamanı ve uçuş hızına bağlı olarak radarın görüş menziline girer.



Şekil 3.6. SAR-yöntemi, Işıldak (Spotlight) [6].

Şekil 3.7.'de görüldüğü gibi, tarama (Scan)-SAR yönteminde bir akış planına uygun olarak, değişik uzaklıklar ve yana-bakış açılarında birden fazla sayıda şerit ya da noktanın (spots) işlenebilmesi için faz dizi antenlerin ataklık özelliğinden faydalanılır. Bunun grafikte gösterildiği gibi mutlaka geniş kapsamlı olması gerekmez, daha ziyade bilgi ihtiyacına göredir.



Şekil 3.7. SAR-yöntemi, Tarama (Scan) [6].

4. UYUMLU FİLTRE

Radarda farklı filitreler yer almaktadır bunlardan bazıları, Alçak Geçiren Filtre (Low Pass Filter), Zemin Dağınıklığı Özyinelemeli Filtresi (Ground Clutter Recursive Filter), Kalman filitre, Yığılmayı Reddeden Filtre (Clutter Rejection Filter), uyumlu filitredir. Uyumlu filitre, gürültünün varlığında yansıtılmış dalganın sinyal gürültü oranının SNR (Signal to Noise Ratio) maksimuma çıkarmak için radar sinyali işlemede yaygın şekilde kullanılan en uygun bir lineer filitredir. İletilen sinyal bilindiği için, yansıtılan gürültülü sinyal toplanır, gürültü üzerinden yansıtılan dalga içerisindeki sinyal enerjisini maksimuma çıkarmak için aynı tip bir sinyal ile test edilir. Uyumlu filitre operasyonunu kullanan yaygın bir prosedür darbe sıkıştırma olarak adlandırılır.

Eğer uyumlu filitre alıcısı, frekans yanıtına, $H(f)$, sahip ise, filitrenin darbe yanıtı $h(t)=\{H(f)\}'$ dir.

Alıcı, $\sin(t)$ sinyali ile katkılı beyaz gürültü $n(t)$ dediğimizin toplamı ile kabul edilir. Gerekli olmamakla birlikte, beyaz Gauss gürültüsü (GWN- Gaussian White Noise) yaygın olarak varsayılır.

$n(t)$ ' nin oto korelasyon fonksiyonu aşağıda verilmektedir.

$$R_{n(t)} = \int_{-\infty}^{\infty} n(\tau)n^*(t - \tau)d\tau \quad (4.1)$$

$$= \frac{N_0}{2} \delta(t).$$

Burada $()^*$ karmaşık eşlenik işlemini ifade etmektedir. Bu nedenle, gürültünün güç spektral yoğunluğu (PSD- Power Spectral Density) oto korelasyon fonksiyonunu dönüştüren Fourier tarafından aşağıdaki formülle bulunabilir.

$$\text{PSD}_n(f) = F\{R_n(t)\} \quad (4.2)$$

$$= \frac{N_o}{2}.$$

Gürültünün PSD' sinin frekanstan bağımsız olduğu, yani tüm frekanslar için sabittir. Alıcı filitresi, filitre dürtü yanıtı $h(t)$ ile, giriş sinyalleri $s_{in}(t)$ ve $n(t)$ ' nin evirişimi olan bir çıkışa sahiptir. Bu nedenle, çıkış sinyali $S_{out}(t)$ ve çıkış gürültüsü $n_{out}(t)$ aşağıdaki denklemlerle verilir.

$$s_{out}(t) = h(t) * s_{in}(t) \quad (4.3)$$

$$n_{out}(t) = h(t) * n(t).$$

Eş. 4.3 Fourier dönüşümü alarak aşağıdaki denklemi elde ederiz.

$$S_{out}(f) = H(f).S_{in}(f) \quad (4.4)$$

$$N_{out}(f) = H(f).N(f).$$

Filtre çıkışındaki SNR değerini filitre çıkışındaki sinyal gücünün gürültü gücüne oranı olarak tanımlanır.

$$\text{SNR}_{out} = \frac{|s_{out}(t)|^2}{|n_{out}(t)|^2}. \quad (4.5)$$

Çıkıştaki gürültünün güç spektral yoğunluğunun, girişteki gürültünün güç spektral yoğunluğu ve filitre karakteristikleri açısından yazılabilmektedir.

$$\begin{aligned} \text{PSD}_{n_{out}}(f) &= |H(f)|^2 . \text{PSD}_n(f) \\ &= |H(f)|^2 . \frac{N_o}{2}. \end{aligned} \quad (4.6)$$

Böylece, çıkış gürültü gücü, $P_{n_{out}}$, artık aşağıdaki formülde verildiği şekilde hesaplanabilir.

$$\begin{aligned}
 P_{n_{out}} &\triangleq |n_{out}(t)|^2 \\
 &= \int_{-\infty}^{\infty} PSD_{n_{out}}(f) df \\
 &= \frac{N_0}{2} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} |H(f)|^2 df.
 \end{aligned} \tag{4.7}$$

Benzer şekilde, çıkış sinyalinin gücü aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$\begin{aligned}
 P_{s_{out}} &\triangleq |s_{out}(t)|^2 \\
 &= |\mathcal{F}^{-1}\{S_{out}(f)\}|^2 \\
 &= \left| \int_{-\infty}^{\infty} H(f) \cdot S_{in}(f) \cdot e^{j2\pi ft} df \right|^2.
 \end{aligned} \tag{4.8}$$

Eğer filitre bir zaman gecikmesi, t_i , sağlarsa ve sinyal bu zaman anında ölçülürse, Eş. 4.8 aşağıdaki şekilde yeniden yazılabilir.

$$P_{s_{out}} = \left| \int_{-\infty}^{\infty} H(f) \cdot S_{in}(f) \cdot e^{j2\pi ft_i} df \right|^2. \tag{4.9}$$

Schwarz eşitsizliğine göre, Eş. 4.9 kolaylıkla aşağıdaki şekilde ayrıştırılabilir.

$$\begin{aligned}
P_{s_{out}} &\leq \int_{-\infty}^{\infty} |H(f)|^2 df \cdot \int_{-\infty}^{\infty} |S_{in}(f) \cdot e^{j2\pi f t_i}|^2 df \\
&= \int_{-\infty}^{\infty} |H(f)|^2 df \cdot \int_{-\infty}^{\infty} |S_{in}(f)|^2 df \\
&= \int_{-\infty}^{\infty} |H(f)|^2 df \cdot P_{sin}
\end{aligned} \tag{4.10}$$

Burada P_{sin} filitre girişindeki sinyal' in gücüdür. Daha sonra, Eş. 4.10 ve Eş. 4.8 i Eş. 4.5 içerisine yerleştirerek aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\begin{aligned}
SNR_{out} &\triangleq \frac{P_{s_{out}}}{P_{n_{out}}} \\
&\leq \frac{P_{sin} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} |H(f)|^2 df}{\frac{N_o}{2} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} |H(f)|^2 df} \\
&= \frac{2P_{sin}}{N_o}.
\end{aligned} \tag{4.11}$$

Böylece, çıkıştaki SNR değeri daima $2 P_{sin} / N_o$ 'ya eşittir veya ondan daha küçüktür. Schwarz eşitsizliğine göre, Eş. 4.10 içerisindeki eşitsizlik eğer aşağıdaki denklemler sağlanırsa eşit olur [12].

$$(S_{in}(f) \cdot e^{j2\pi f t_i})^* = k \cdot H(f) \tag{4.12}$$

ya da

$$\begin{aligned}
H(f) &= \frac{1}{k} \cdot S_{in}^*(f) \cdot e^{-j2\pi f t_i} \\
&= C \cdot S_{in}^*(f) \cdot e^{-j2\pi f t_i},
\end{aligned} \tag{4.13}$$

Burada k ve C bazı sabitlerdir ve işlem basitliği için 1 olarak alınabilirler. Eş. 4.13 sağlandığında, SNR maksimum değeri olan $2 P_{\text{Sin}} / N_0$ 'ya ulaşır. Filtre çıkışındaki SNR' yi maksimuma çıkaran Eş. 4.13 deki filtre $|H(f)| = |S_{\text{in}}(f)|$ olarak giriş sinyallerinin spektrumuna uyumlu olan filtre uyumlu filtre olarak adlandırılır. Filtrenin frekans yanıtını bilerek, dürtü yanıtı veya zaman – alanı karakteristikleri ters Fourier dönüşümü Eş. 4.13 ile aşağıdaki şekilde bulunabilir.

$$h(t) = \mathcal{F}^{-1}\{H(f)\}$$

$$\begin{aligned} &= \int_{-\infty}^{\infty} S_{\text{in}}^*(f) \cdot e^{-j2\pi ft_i} \cdot e^{j2\pi ft} dt \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} S_{\text{in}}^*(f) \cdot e^{j2\pi f(t-t_i)} dt \\ &= \left[\int_{-\infty}^{\infty} S_{\text{in}}(f) \cdot e^{j2\pi f(t_i-t)} dt \right]^* \\ &= s_{\text{in}}^*(t_i - t). \end{aligned} \tag{4.14}$$

4.1. Fourier İşlemi ile Uyumlu Filtre Çıkışının Hesaplanması

Uyumlu filtre çıkışı, hızlı Fourier dönüşümü (FFT- Fast Fourier Transform) işlemi ile kolayca hesaplanabilir. Filtre çıkışı, $y_{\text{out}}(t)$, alınan sinyal ve filtrenin tepki (impuls) fonksiyonu açısından aşağıdaki gibi yazılabilir.

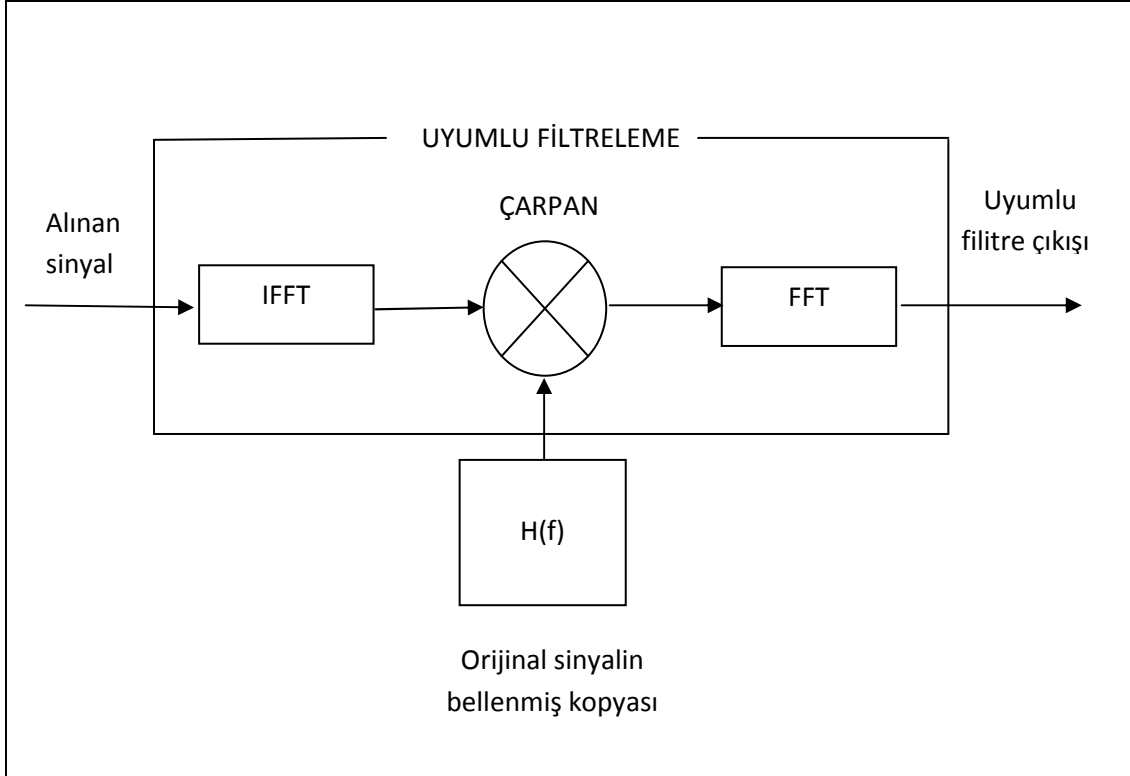
$$y_{\text{out}}(t) = x(t) * h(t). \tag{4.15}$$

Eş. 4.11 deki FT alınarak, aşağıdaki denklemi elde ederiz.

$$Y(f) = X(f) \cdot H(f). \tag{4.16}$$

Böylece, Eş. 4.15 aşağıdaki gibi daha uygun şekilde yeniden yazılabilir.

$$y_{out}(t) = IFT\{FT\{x(t)\} \cdot H(f)\}. \quad (4.17)$$



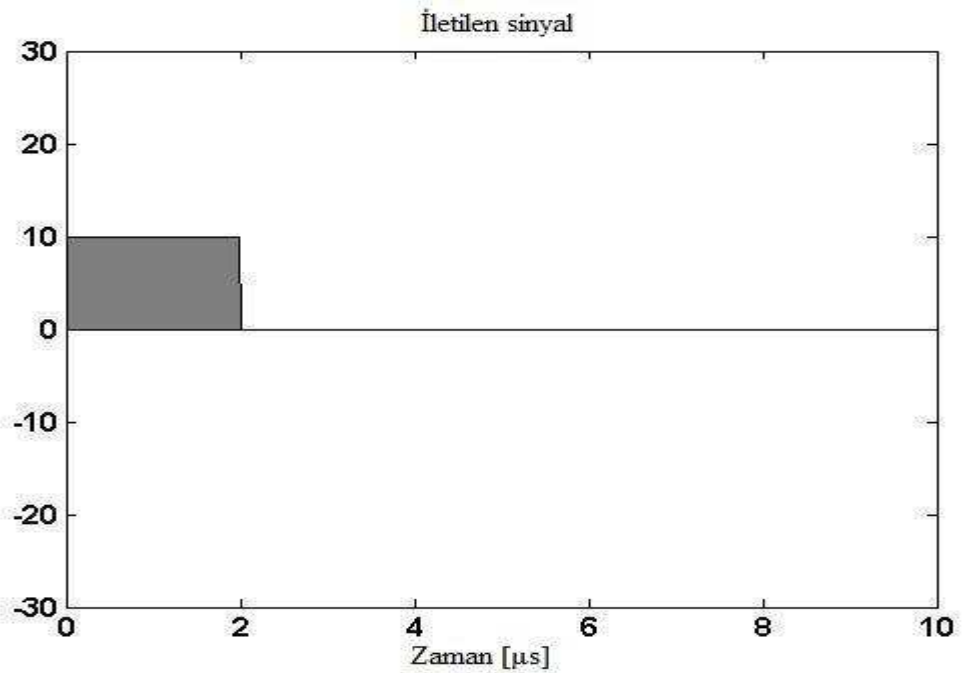
Şekil 4.1. FFT işlemi ile uyumlu filitre gerçekleştirilmesi.

Uyumlu filitre operasyonunun gerçekleşmesi için blok diyagramı Şekil 4.1’ de gösterilmektedir. Eğer alınan sinyal örnekleme ve sayısallaştırılmış ise, sinyalin FFT’ si uyumlu filitre transfer fonksiyonu (veya Eş. 4.13’ de verilen orijinal iletilmiş sinyalin belenmiş kopyası) ile çarpılır. Çarpım işleminin sonucu uyumlu filitrenin çıkışındaki son sinyali elde etmek için, ters Fourier dönüşümü (IFFT- İverse Fast Fourier Transform) işlemine maruz kalır.

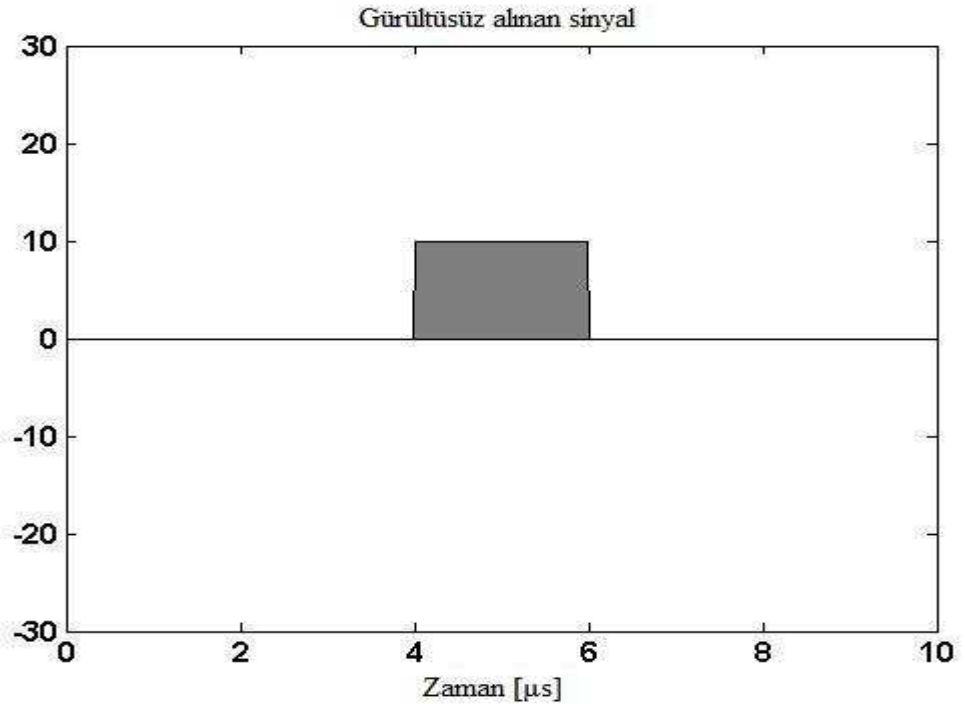
4.2. Uyumlu Filtreleme için Örnek

Uyumlu filtreleme işleminin kullanımını göstermek için. Şekil 4.2’ de verildiği gibi, bir dikdörtgen darbe dalga biçiminin radar tarafından iletileceği varsayalım. Bu darbe alıcıya erişmek için zaman içinde 4 μ s yolculuk eder (Şekil 4.3). Zaman alanı karakteristikleri Şekil 4.4’ de gösterilen toplamalı beyaz Gauss gürültüsünün yayılım

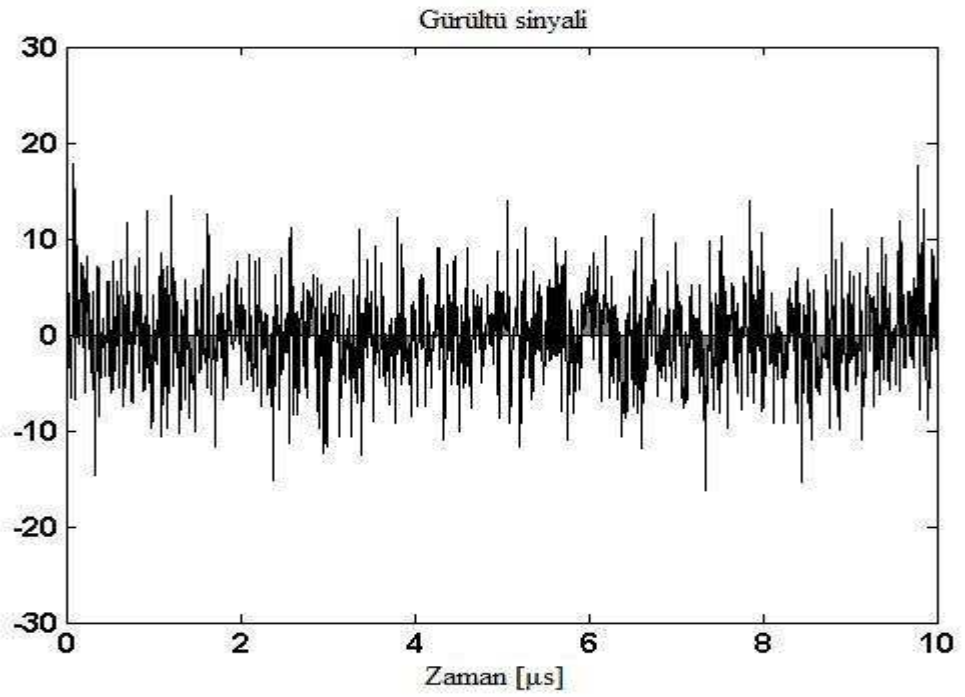
ortamında mevcut olduğu varsayılır. Alıcı, Şekil 4.5’ de tarif edildiği gibi AWGN ile saptırılan orijinal dalga biçiminin kaydırılmış versiyonunu toplar. Alınan sinyal toplandıktan sonra, uyumlu filitreleme işlemi Eş. 4.17 kullanılarak yerine getirilir. Böylece, uyumlu filitre operasyonu SNR’ yi maksimuma çıkardığı için, sonuçta oluşan Şekil 4.6’ deki filitre çıkışı elde edilir. Bu şekilden açıkça görülebileceği gibi, gürültü büyük oranda bastırılmıştır. Uyumlu filitre çıkışı dikdörtgen darbe olan giriş sinyali ile aynı biçime sahip olan filitre’ nin dürtü yanıtı ile giriş sinyalinin evrişiminden başka bir şey olmadığı için, çıkış sinyalinin biçimi üçgen darbe biçimindedir. Beklendiği gibi, çıkış sinyali 4 μ s zaman anında en yüksek değerine ulaşır.



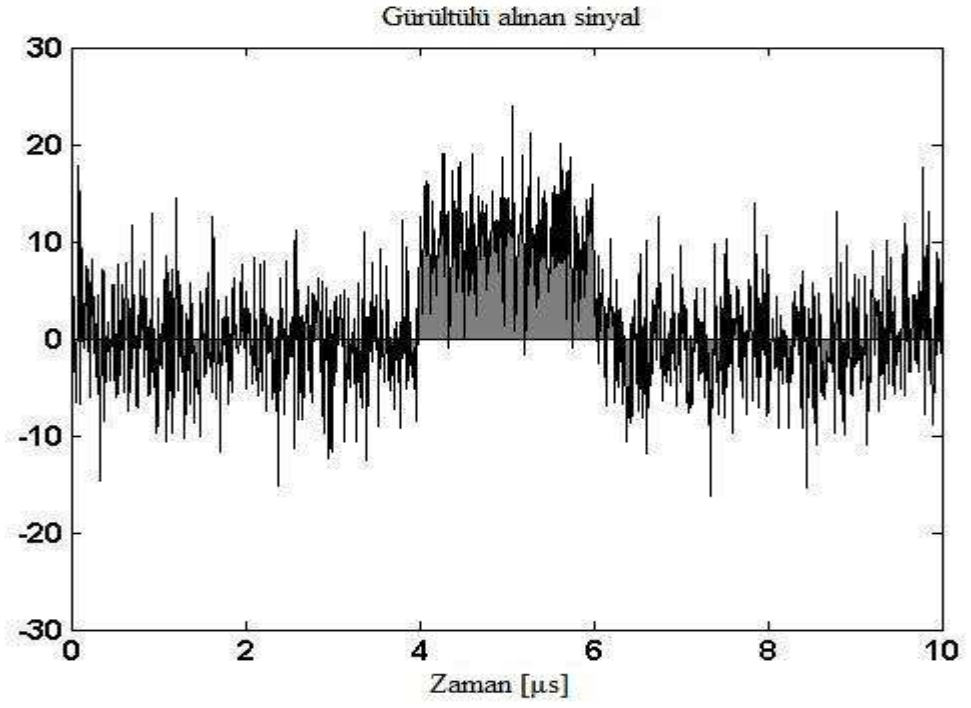
Şekil 4.2. Uyumlu filitre örneği, iletilmiş dikdörtgen darbe



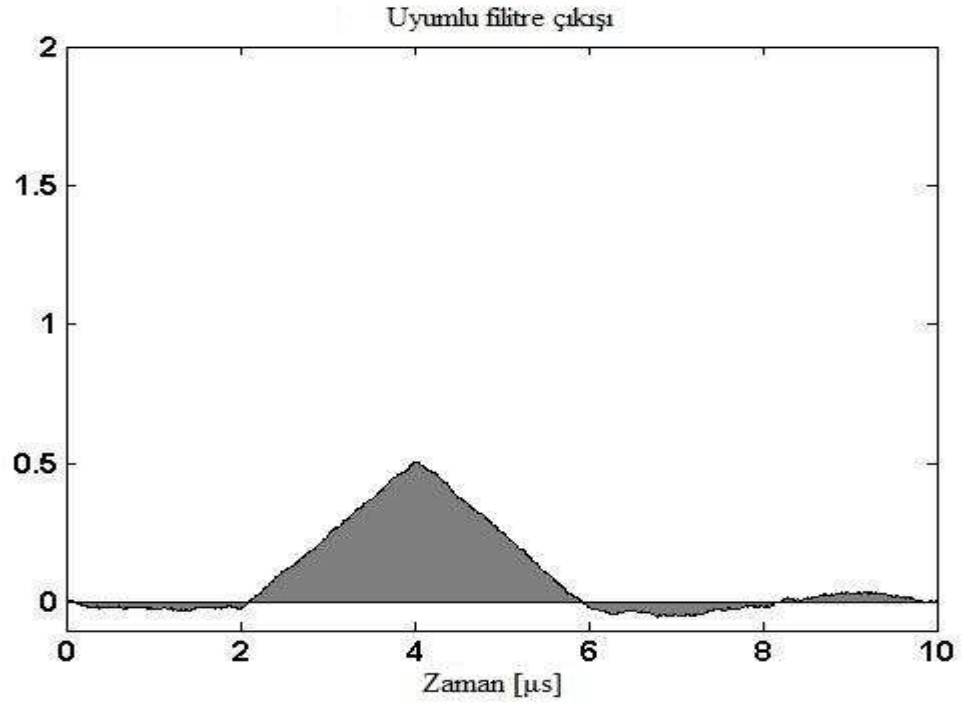
Şekil 4.3. Uyumlu filitre örneği, alınmış gürültüsüz sinyal



Şekil 4.4. Uyumlu filitre örneği, normal dağıtılmış gürültü sinyali



Şekil 4.5. Uyumlu filitre örneği, alınmış toplanır gürültülü sinyal



Şekil 4.6. Uyumlu filitre örneği, uyumlu filitrenin çıkışı.

4.3. Belirsizlik Fonksiyonu

Darbeli radar sinyal işlemede, belirsizlik fonksiyonu çeşitli radar uygulamaları için farklı dalga biçimlerinin kullanımı ile ilgili anlayış elde etmek için kullanılır. Belirsizlik fonksiyonu zaman gecikmesi ile Doppler frekansının bir 2D fonksiyonudur. Aslında, belirsizlik fonksiyonu radar darbesini sıkıştırmada kullanılan uyumlu filitrenin çıkışı olarak kabul edilebilir.

Belirsizlik fonksiyonunun formülü aşağıda verildiği gibi, darbenin hem zaman hem de frekans içinde gecikmiş versiyonu ile korelasyonu tarafından verilir.

$$\chi_g(t, f_D) = \left| \int_{-\infty}^{\infty} g(\tau) \cdot g^*(\tau - t) \cdot e^{-j2\pi f_D \tau} d\tau \right|. \quad (4.18)$$

Genellikle, zaman kayması, t , yansımış dalga biçimini temsil eder ve frekans kayması, f_D , hareketli hedef veya hareketli radar veya her ikisine bağlı olarak Doppler frekansı kaymasını temsil eder. Eğer hedef radara göre hareketsiz ise (yani, $f_D = 0$), belirsizlik fonksiyonu sinyalin $g(t)$ oto korelasyon fonksiyonuna azaltır. Eş. 4.18 teki formülün belirttiği gibi, belirsizlik fonksiyonu, $(t = 0, f_D = 0)$ ' da yer alan aynı tip bir referans (veya pilot) hedefle karşılaştırıldığında, bir menzil ve / veya Doppler kaymasının neden olduğu bir araya girmeyi tanımlar.

Böylece, $\chi(t, f_D)$ menzilleri ve Doppler frekansı kayması çözünürlüklerini karşılaştırarak farklı radar dalga biçimlerinin test edilmesi ve değerlendirilmesi için radar tasarımcıları tarafından uygun şekilde kullanılabilir, öyle ki belirli bir radar uygulaması için uygun dalga biçimi kararlaştırılabilir. Bu incelemeyi görselleştirmek için, belirsizlik fonksiyonuna karşı zaman gecikmesi ve Doppler frekansı kaymasının bir 3D grafiği (radar belirsizlik diyagramı olarak adlandırılır) kullanılır.

4.4. Uyumlu Filtreye İlişkin Formülasyon

Aşağıdaki gibi bir tek frekansta salınan bir monoton iletilmiş sinyal $s_{tx}(t)$ biçimde ifade edilir.

$$s_{tx}(t) \sim e^{-j2\pi f_c t} \quad (4.19)$$

Eğer saçıcı (scatterer) bir radara göre radyal çevirmeli bir harekete sahipse, alınan sinyal $s_{tx}(t)$ aşağıdaki biçime sahip olacaktır.

$$\begin{aligned} s_{rx}(t) &\sim s_{tx}(t) \cdot e^{-j2\pi f_D t} \\ &\sim e^{-j2\pi(f_c + f_D)t}. \end{aligned} \quad (4.20)$$

Burada f_D hedefin hareketi nedeni ile oluşan Doppler kaymasıdır. Uyumlu filtre kullanıldığı zaman, alınan sinyalin deseni bilinmeyen bir olgudur. Böylece, uyumlu bir filtre tasarımında en iyi yaklaşım iletilmiş sinyalin tıpatıp aynı kopyasını kullanmaktır. Hedef hareketli olduğu zaman, uyumlu filtre çıkışı $s_{out}(t)$ aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\begin{aligned} s_{out}(t) &= h(t) * s_{rx}(t) \\ &= h(t) * s_{tx}(t) \cdot e^{-j2\pi f_D t} \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} h(t - \tau) \cdot s_{tx}(\tau) \cdot e^{-j2\pi f_D \tau} d\tau. \end{aligned} \quad (4.21)$$

Yukarıda bahsedildiği gibi, $h(t)$ geleneksel olarak $s_{tx}^*(-t)$ ' ye eşit olarak seçilebilir. Bu durumda,

$$\begin{aligned} h(t - \tau) &= s_{tx}^*(-(t - \tau)) \\ &= s_{tx}^*(\tau - t). \end{aligned} \quad (4.22)$$

Böylece, uyumlu filitre çıkışı aşağıdaki denklemde verilene eşit olur:

$$\begin{aligned} s_{out}(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} s_{tx}(\tau) \cdot s_{tx}^*(\tau - t) \cdot e^{-j2\pi f_D \tau} d\tau \\ &\triangleq \chi_{s_{tx}}(t, f_D). \end{aligned} \quad (4.23)$$

Bu sonucu Eş. 4.18 deki belirsizlik fonksiyonunun tanımı ile karşılaştırsak, uyumlu filitrenin çıkışı iletilmiş dalga biçiminin, s_{tx} , belirsizlik fonksiyonu ile aynıdır.

Belirsizlik fonksiyonunun diğer uygulanması ise onun yalnızca $s_{tx}(t)$ ve $s_{tx}(t) \cdot e^{-j2\pi f_D t}$ nin çapraz korelasyonu olmasıdır. Böylece, belirsizlik fonksiyonunun zaman değişkenine, t , ve Doppler frekansı değişkenine, f_D , ye göre grafiği zaman kayması ve Doppler kayması açısından iletilen dalga biçimi için alınan dalga biçiminin belirsizliğinin bir 2D haritasını sunar. Zaman kayması normal olarak, hedefin menzilde sınırlı bir mesafede yerleştirildiği ve Doppler kaymasının genel olarak hedefin hareketi nedeni ile oluştuğu gerçeğine bağlıdır. Böylece, radar tasarımcıları hem zaman hem de Doppler kaymasında belirsizlikler ve çözünürlükler açısından farklı radar dalga biçimlerini test etmek için radar belirsizlik diyagramını kullanırlar. Bundan sonra, bazı temel radar dalga biçimleri için radar belirsizlik diyagramlarını göstereceğiz.

4.5. İdeal Belirsizlik Fonksiyonu

İdeal Belirsizlik Fonksiyonu bitişik hedeflerin birbirlerine ne kadar yakın olduklarına bağlı olmaksızın çözümleneabilecekleri mükemmel çözünürlük sağlamalıdır. Radar belirsizlik diyagramında ideal belirsizlik fonksiyonu Şekil 4.7.’ da gösterildiği gibi ($t=0$, $f_D=0$) ‘ da yerleşik 2D darbe (veya Dirac delta) fonksiyonudur. Böylece, ideal belirsizlik fonksiyonu matematiksel olarak aşağıdaki şekilde gösterilebilir

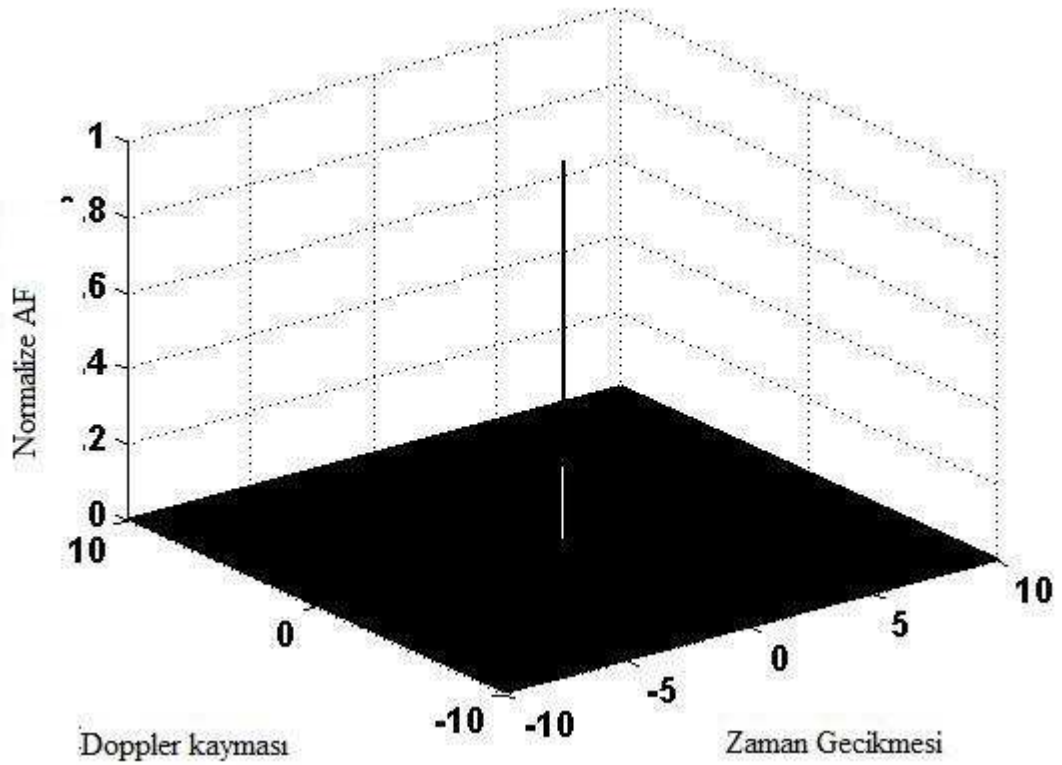
$$\chi_{ideal}(t, f_D) = \delta(t, f_D). \quad (4.24)$$

“ideal” terimi bu fonksiyon sıfır zaman gecikmesi ve sıfır Doppler kayması sağlayarak en küçük şekilde hiç bir belirsizlik göstermediği için kullanılmaktadır. İdeal belirsizlik fonksiyonu gerçekte elde edilemez. Çünkü Eş. 4.18’ in Korelasyon entegralini uyguladıktan sonra $\chi_{ideal}(t, f_D) = \delta(t, f_D)$ belirsizlik fonksiyonunu elde edecek hiç bir gerçek sinyal yoktur [14].

4.6. Dikdörtgen Darbe Belirsizlik Fonksiyonu

En basit radar sinyallerinden biri, matematiksel ifadesi aşağıdaki şekilde yazılabilen dikdörtgen darbedir.

$$g(t) = \begin{cases} A & 0 \leq t \leq T \\ 0 & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (4.25)$$



Şekil 4.7. Radar belirsizlik fonksiyonu tarafından temsil edilen ideal belirsizlik fonksiyonu.

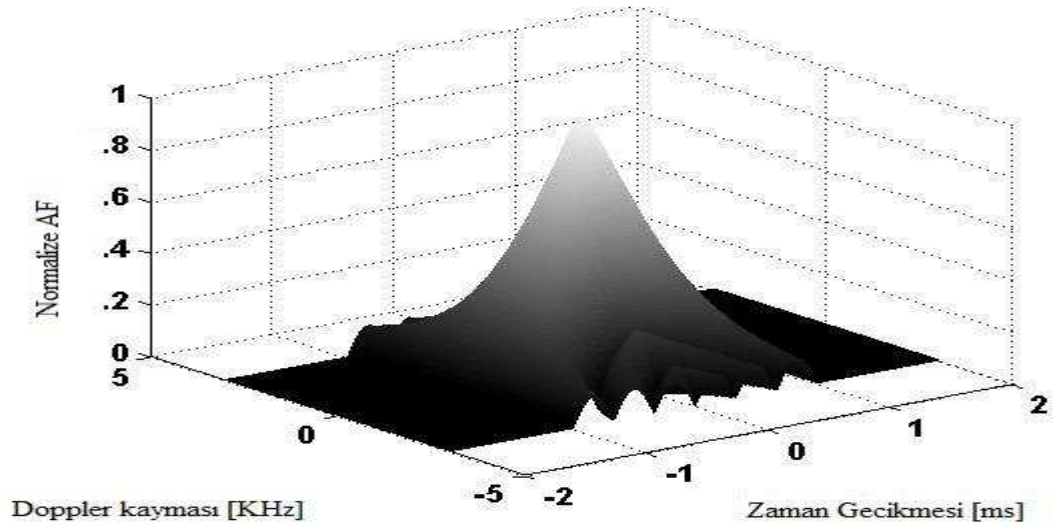
Eş. 4.25 i Eş. 4.18 içerisine yerleştirerek, dikdörtgen darbe için belirsizlik fonksiyonu analitik olarak aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$\chi(t, f_D) = \begin{cases} A^2(T - |t|) \cdot \text{sinc}(f_D(T - |t|)) & |t| \leq T \\ 0 & \text{diğer yerlerde.} \end{cases} \quad (4.26)$$

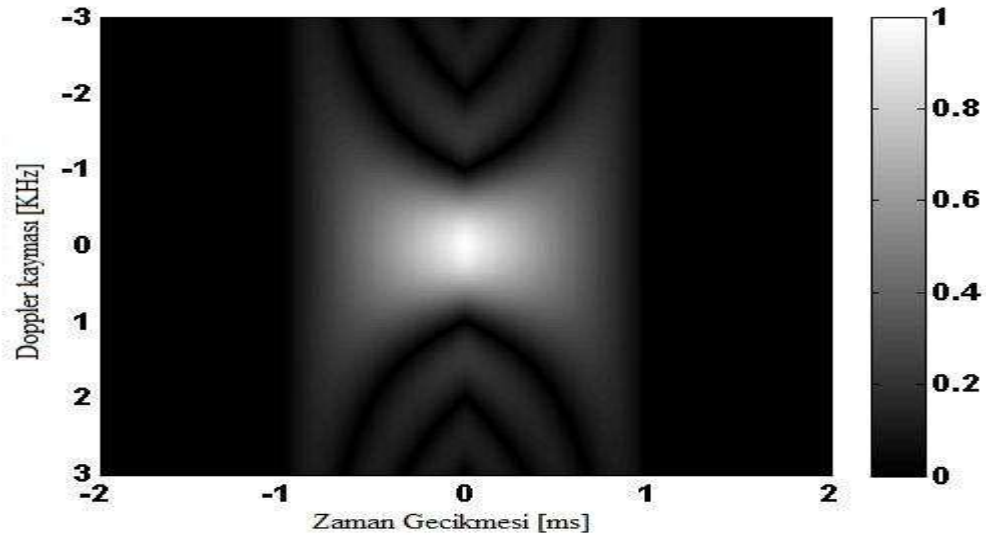
Burada, $\text{sinc}(\cdot)$ matematiksel ifadesi basit olarak aşağıdaki şekilde gösterilen sinus cardinalis fonksiyonunu temsil etmektedir.

$$\text{sinc}(t) = \frac{\sin(\pi t)}{\pi t}. \quad (4.27)$$

Sayısal bir örnek, $T=1 \mu\text{S}$ genliliğindeki dikdörtgen bir darbe ile $A=1$ genliği için belirsizlik fonksiyonunun normalleştirilmiş bir çizimini Şekil 4.8. da görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 4.8. a) radar belirsizlik diyagramında, b) 2D zaman gecikmeli Doppler kayma düzleminde normalleştirilmiş dikdörtgen darbe belirsizlik fonksiyonu.

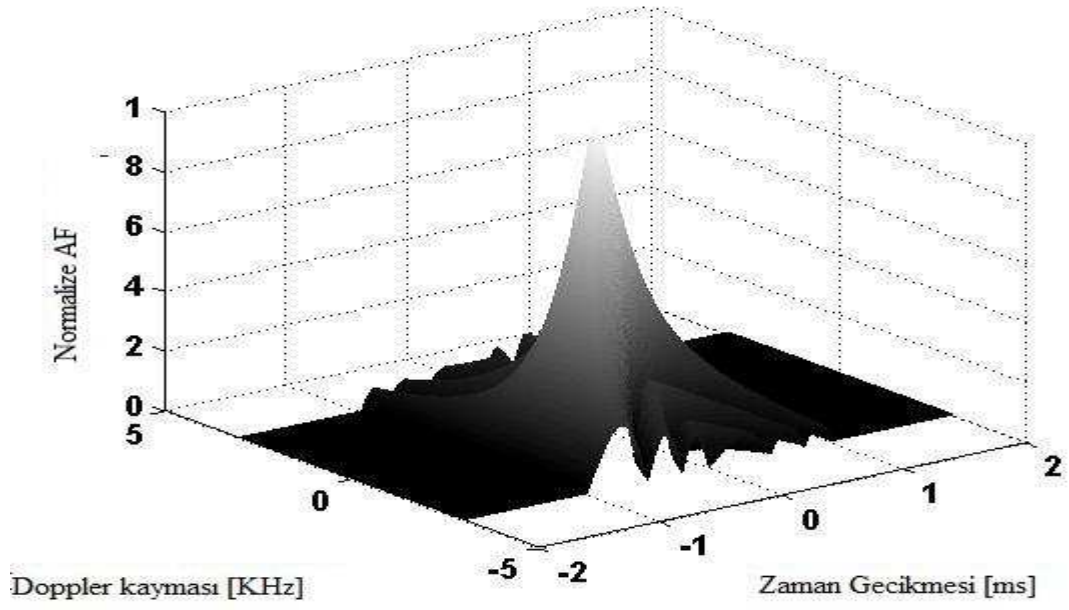
4.7. LFM – Darbe Belirsizlik Fonksiyonu

Daha sonra gösterileceği gibi, modüle linear frekans, (LFM- Linear Frequency Modulated), veya cıvıltı (chirp) darbesi bir uzaklık çözünürlüğüne sahip olmak için en uygun dalga biçimlerinden biridir. Bu nedenle, bu tip bir darbeden kaynaklanan belirsizliği bir radar belirsizlik diyagramı kullanarak karşılık gelen belirsizlik diyagramını çizerek inceleyeceğiz. T genişliğine sahip yukarı doğru bir LFM darbesinin matematiksel ifadesi aşağıdaki şekilde verilmektedir

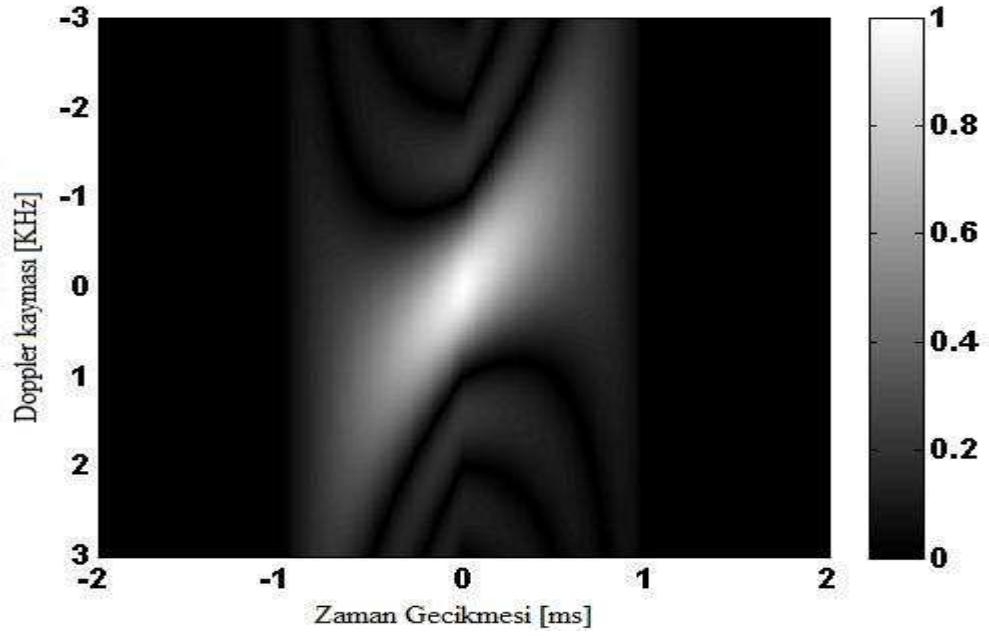
$$g(t) = \begin{cases} A \cdot e^{-j\pi K t^2} & 0 \leq t \leq T \\ 0 & \text{diğer yerlerde .} \end{cases} \quad (4.28)$$

Eş. 4.24’u Eş. 4.18 içerisine yerleştirerek, LFM darbe için belirsizlik fonksiyonu analitik olarak aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$\chi(t, f_D) = \begin{cases} A^2(T - |t|) \cdot \text{sinc}((Kt - f_D) \cdot (T - |t|)) & |t| \leq T \\ 0 & \text{diğer yerlerde .} \end{cases} \quad (4.29)$$



(a)



(b)

Şekil 4.9. a) radar belirsizlik diyagramında, b) 2D zaman gecikmeli Doppler kayma düzleminde normalleştirilmiş LFM darbe belirsizlik fonksiyonu.

Sayısal bir örnek, $T=1 \mu\text{S}$ genişliğinde dikdörtgen bir darbe ile $A=1$ genliği için belirsizlik fonksiyonunun normalleştirilmiş bir çiziminin Şekil 4.9. de görülmektedir. Cıvıltı (chirp) oranı parametresi, $K=2 \cdot 10^6$ olarak seçilmiştir. Şekilde de gösterildiği gibi, Doppler kayması da LFM fonksiyonunun yapısına göre değişmektedir.

4.8. Darbe Sıkıştırma

Görüntüleme radarı söz konusu olduğunda, LFM dalga biçimi kullanmak ve darbe sıkıştırma uygulamak, menzili sıkıştırılmış dalga biçimi elde etmek ve iyi bir menzil çözünürlüğüne ulaşmak için genel uygulamadır. LFM dalga biçimi kullanımı, alıcıda iyi bir SNR değeri için yeterli enerjiyi arttırabilmek için yeterli darbe süresi sağlar. T_1 süresinin bir monoton darbe dalga biçimi için, menzil çözünürlüğü aşağıdaki gibidir.

$$\Delta r = \frac{c}{2} T_1. \quad (4.30)$$

Bu nedenle, darbe süresi kısaldıkça menzil çözünürlüğü daha keskin olur. Diğer yandan, aşağıdaki gibi bir sinyalin, $s(t)$, enerjisi onun süresi, T_1 , ile orantılı olduğundan, çok kısa bir darbeye yeterli enerji (E) vermek çok zordur.

$$E = \int_0^{T_1} |s(t)|^2 dt. \quad (4.31)$$

Eğer gürültü gücü yoğunluğu N_0 ise, uyumlu filitre çıkışındaki SNR değeri $2E/N_0$ olur. Böylece, eğer bir tekdüze darbe dalga biçimi kullanılırsa, T_1 kısa süresi boyunca maksimum güç önemli derecede arttırılmalıdır ki bu mikrodalga tüpleri ile mümkün

olmayabilir. Bu soruna bir çözüm önermek için, Oliver LFM (veya cıvıltı) dalga biçiminin kullanılmasını önermiştir öyle ki iletilen darbe – monoton darbenin bant genişliği ile aynı bant genişliğini sağlayan – daha uzun bir zaman süresi boyunca uzatılır. Bundan dolayı, maksimum gücü arttırmadan T_1 ' in süreklilik zamanını arttırarak sinyal enerjisini yükseltmek mümkün olur. Darbe sıkıştırma şeması, alınan sinyali zaman içinde yeterince kısa süreli bir sinyale "sıkıştırmak" için sinyal alımı üzerinde uyumlu filitre işlemini uygulayarak sonuçlandırılır, böylece menzilde iyi bir çözünürlük elde edilir [13].

4.9. Detaylı Darbe Sıkıştırma İşlemi

Aşağıda iletilen sinyal, LFM (cıvıltı) darbe dalga biçimi kullanıldığından

$$s_{tx} = \begin{cases} e^{j2\pi\left(f_c t + \frac{Kt^2}{2}\right)} & |t| \leq T_1/2 \\ 0 & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (4.32)$$

ki burada K cıvıltı (chirp) hızıdır ve upchirp durumu için pozitif işaretli, downchirp durumu için negatif işaretlidir, T_1 darbe süresidir. Darbenin büyüklüğü basitlik için 1'e normalize edilmiştir. İletilen darbenin anlık frekansı aşağıdaki şekilde fazının zaman türevi olarak hesaplanabilir.

$$f_i = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} \left\{ 2\pi \left(f_c t + \frac{Kt^2}{2} \right) \right\} \quad (4.33)$$

$$= f_c + K \cdot t$$

Eğer upchirp sinyali seçilirse, iletilen sinyalin frekansı $(f_c - K \cdot T_1/2)$ ' den $(f_c + K \cdot T_1/2)$ ' ye yükselir. Bu upchirp dalga biçiminin zaman – frekans grafiği Şekil 4.10' da görülmektedir. Downchirp dalga biçimi için, frekans zaman – frekans grafiği Şekil 4.11' da gösterildiği gibi $(f_c + K \cdot T_1/2)$ ' den $(f_c - K \cdot T_1/2)$ ' ye düşmektedir. Böylece, LFM darbesinin (upchirp veya downchirp) bant genişliği,

$$B = K \cdot T_1 \quad (4.34)$$

olarak verilir.

Eğer zaman – bant genişliği çarpımı, D, zaman içindeki sinyallerin süresinin sinyali toplam bant genişliği (B) ile çarpımı olarak tanımlanırsa, chirp sinyalinin zaman – bant genişliği çarpımını aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$D = B \cdot T_1 \quad (4.35)$$

$$= K \cdot T_1^2$$

Bu değer, bu bölümde daha sonra gösterileceği gibi dağılım faktörü ve sıkıştırma oranı olarak adlandırılır.

Tipik bir upchirp sinyali Eş. 4.28' te verilen dalga biçimi karakteristiklerine sahiptir. Eğer R_i menziline bir nokta hedef varsa, bu durumda alıcıdaki geri saçılmış sinyal $t_i = 2 R_i/c$ zaman gecikmesine sahip olacaktır. Böylece, alınan sinyal aşağıdaki faz terimine sahip olacaktır.

$$s(t) \sim e^{j2\pi(f_c(t-t_i) + \frac{k}{2}(t-t_i)^2)} \quad (4.36)$$

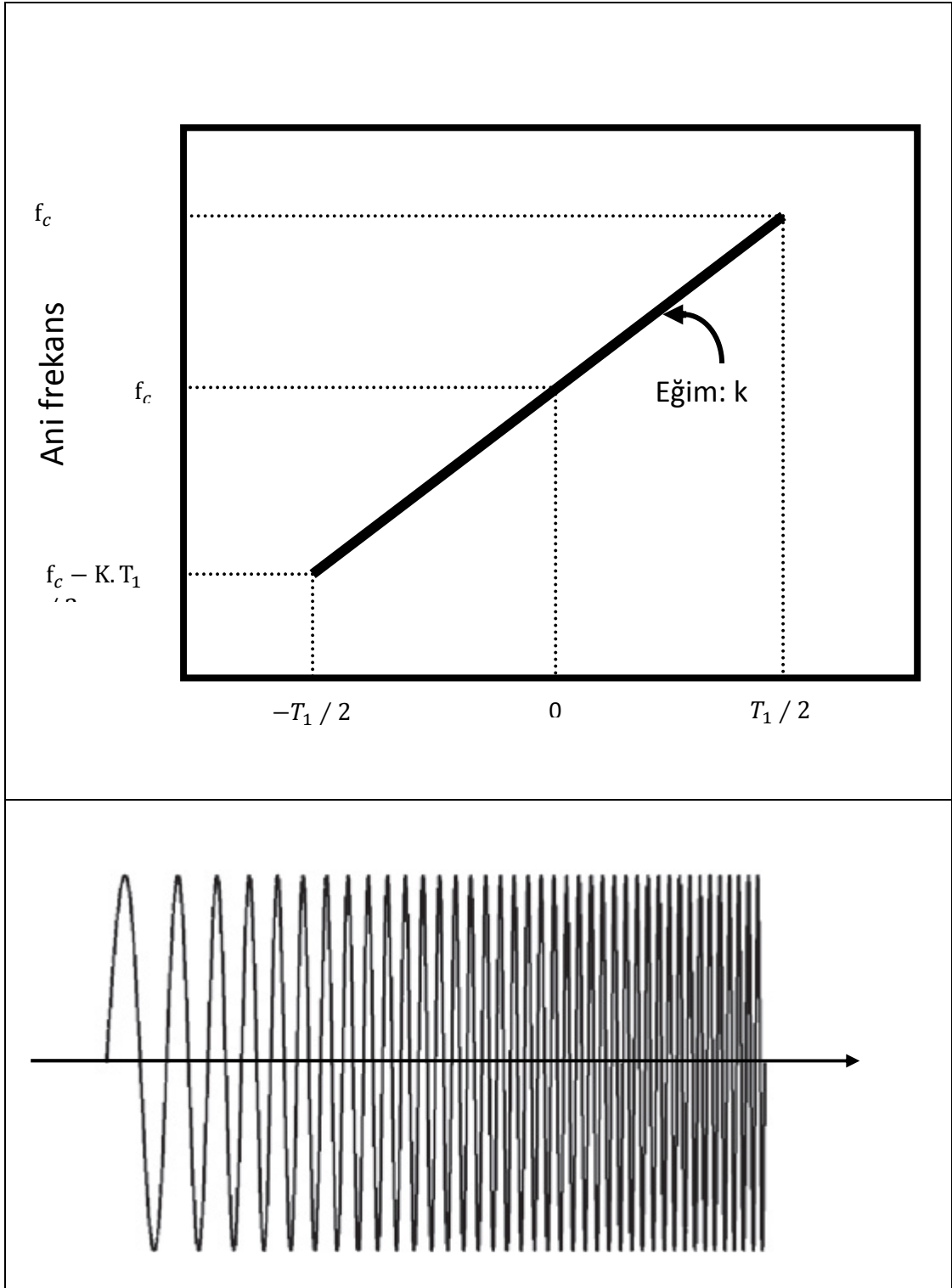
Burada, hedef hareketsiz kabul edilmektedir ve bu nedenle, alınan sinyalin frekans içeriğinde hiç bir Doppler kayması yoktur. Aksi takdirde, frekans $f'_c = f_c + \Delta f$ ile değişecektir, burada Δf hedefin radara göre hareketine bağlı olan Doppler kaymasıdır. Eş. 4.14' da gösterildiği gibi, uyumlu filitrenin dürtü yanıtı aşağıdaki gibi orijinal sinyal ile ilgilidir.

$$h(t) = s_{in}^*(-t) \quad (4.37)$$

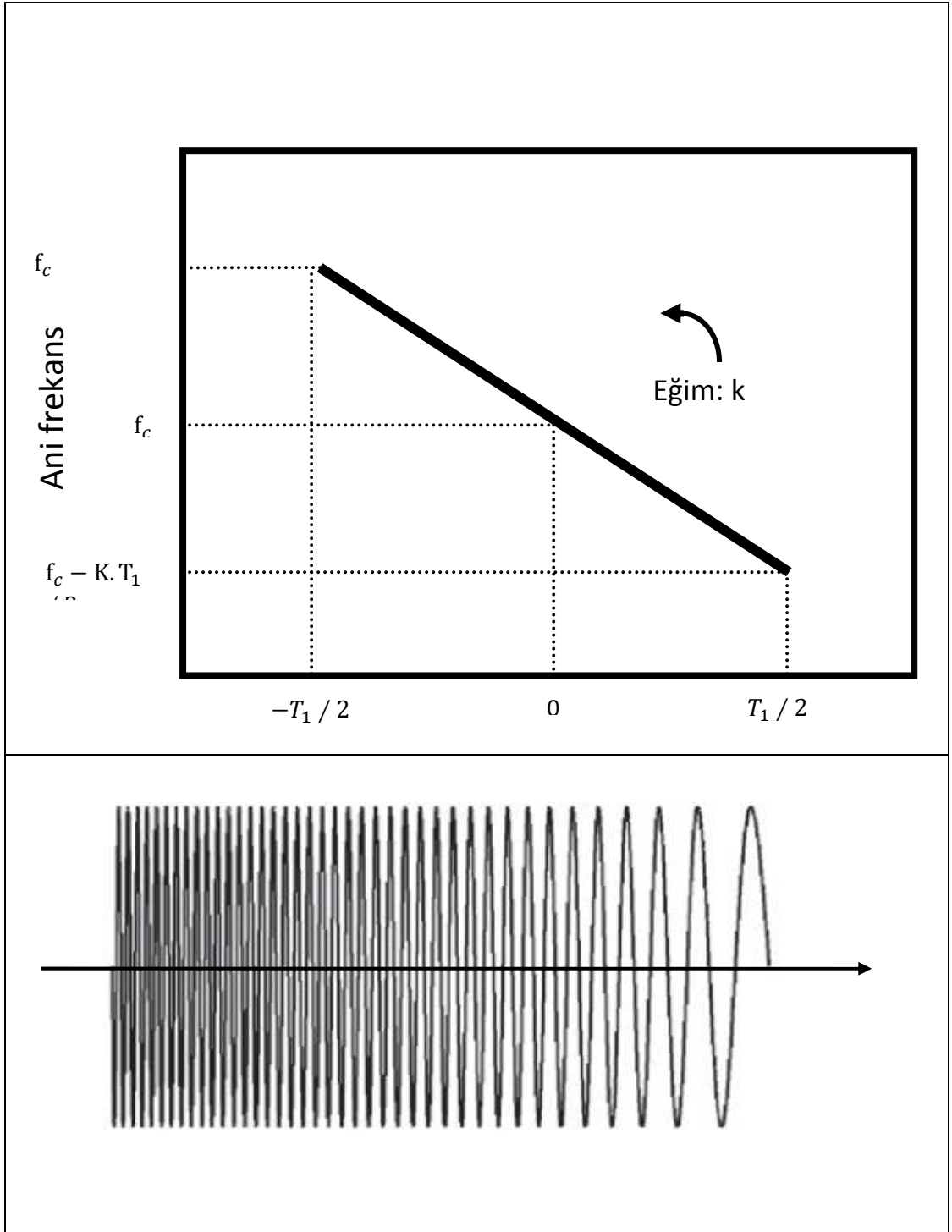
$$= e^{j2\pi(f_c t - \frac{K \cdot t^2}{2})}, |t| \leq T_1/2.$$

Daha sonra, uyumlu filitre çıkış sinyali, $s_{out}(t)$, aşağıdaki gibi alınan sinyal ve uyumlu filitrenin dürtü yanıtı arasındaki evirişim olarak yazılabilir.

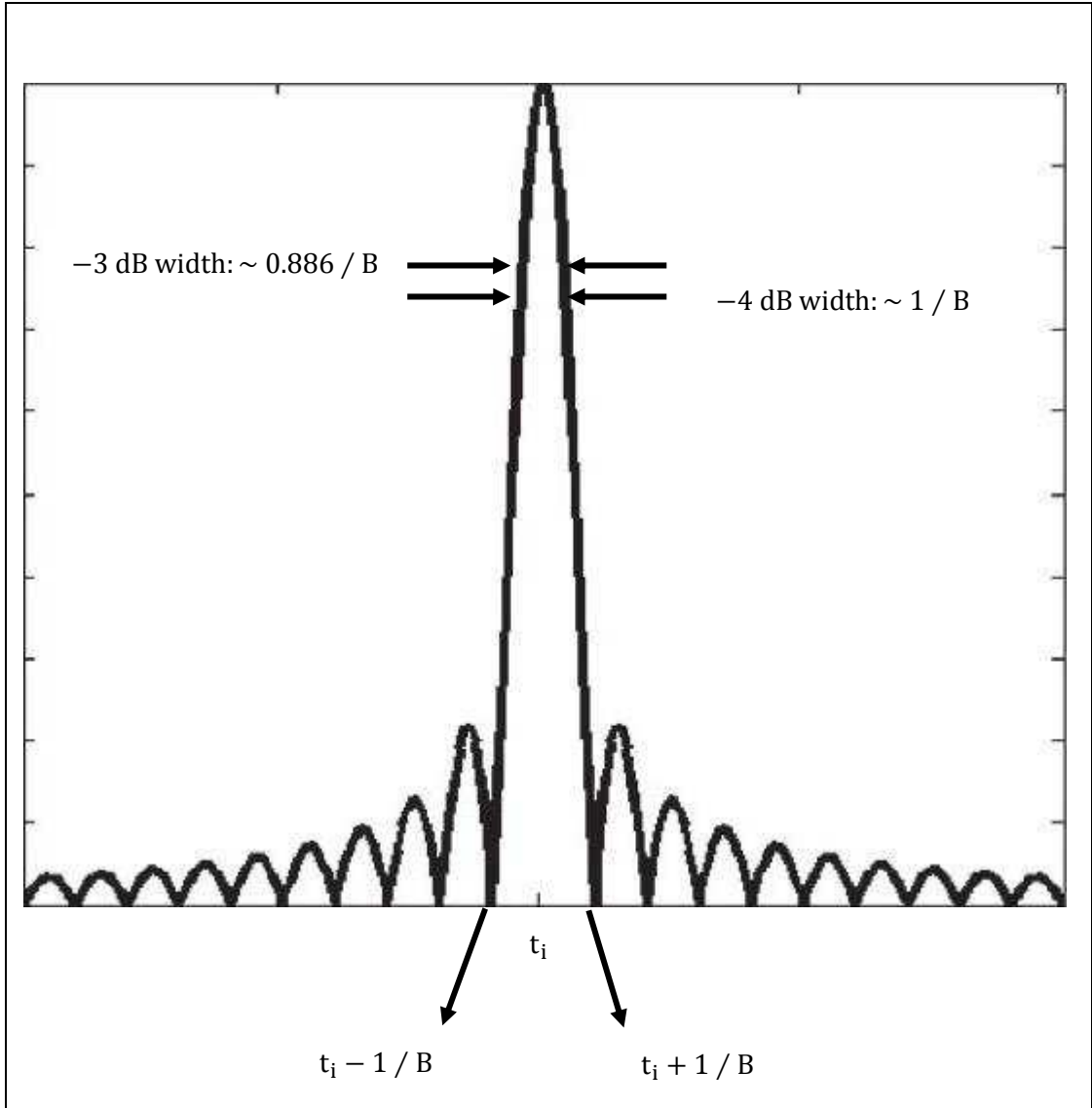
$$\begin{aligned} s_{out}(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} s(t - \tau) h(\tau) d\tau \\ &= \int_{-T_1/2}^{T_1/2} e^{j2\pi(f_c(t-\tau-t_i) + \frac{K}{2}(t-\tau-t_i)^2)} e^{j2\pi(f_c \tau - \frac{K \cdot \tau^2}{2})} d\tau \\ &= e^{j2\pi(f_c(t-t_i) + \frac{K}{2}(t-t_i)^2)} \cdot \int_{-T_1/2}^{T_1/2} e^{-j2\pi[K(t-t_i)\tau]} d\tau \\ &= e^{j2\pi(f_c(t-t_i) + \frac{K}{2}(t-t_i)^2)} \cdot \frac{\sin(K\pi T_1(t-t_i))}{K\pi(t-t_i)} \\ &= T_1 \cdot e^{j2\pi(f_c(t-t_i) + \frac{K}{2}(t-t_i)^2)} \cdot \text{sinc}[KT_1(t-t_i)]. \end{aligned} \quad (4.38)$$



Şekil 4.10. Upchirp sinyali için zaman – frekans değişimi.



Şekil 4.11. Downchirp sinyali için zaman – frekans değişimi.



Şekil 4.12. Darbe sıkıştırma işlemi sonrasındaki çıkış sinyali [14].

Eğer Eş. 4.38' teki çıkış sinyali dikkatle incelenirse, ilk faz terimi sinyalinin $t_i = 2 R_i/c$ zaman gecikmesi ile iletilen sinyalin gecikmiş bir versiyonu olduğu kolayca fark edilebilir. O sadece bir faz sinyali olduğundan, herhangi bir genlik bilgisi sunmaz. Bu faz terimi genellikle uyumlu filtre operasyonundan sonra bir zarf algılayıcısı uygulayarak bastırılır. Eş. 4.38'teki ikinci terim t_i zaman anında maksimum değere sahip olan ve Şekil 4.12. de gösterildiği gibi sinc fonksiyonunun sağladığı zaman içerisindeki azalan yan kulaklara sahip olan bir genlik sinyalidir.

4.10. Bant Genişliği, Çözünürlük ve Sıkıştırma

4.10.1. Bant genişliği

Şekil 4.10. da gösterildiği gibi, iletilen sinyalin frekansı ($f_c - K \cdot T_1/2$) ile ($f_c + K \cdot T_1/2$) arasında değişmektedir, böylece frekans bant genişliği aşağıdaki gibidir.

$$B = K \cdot T_1 \quad (4.39)$$

4.10.2. Çözünürlük

Eş. 4.38' da hesaplandığı gibi, darbe sıkıştırma sonrası çıkış sinyalinin büyüklüğü aşağıdaki denklemin sinc tipi karakteristiklerine sahiptir.

$$\begin{aligned} |s_{out}(t)| &= T_1 \cdot |\text{sinc}[KT_1(t - t_i)]| \\ &= T_1 \cdot |\text{sinc}[B(t - t_i)]|. \end{aligned} \quad (4.40)$$

Eş. 4.40' in bir grafiği çıkış sinyalinin çözünürlüğü ve sıkıştırma oranı üzerinde yorum yapmak için Şekil 4.12. de verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi, ilk sıfırlar t_i 'deki sinc merkezinden uzakta B 'de oluşmaktadır. Yani, eğer zaman içerisinde $\Delta t = 1/B$ zamanında bir ikinci nokta saçılacağı ortaya çıkarsa, ilk nokta saçılacağından çözünebilir ve tespit edilir. Böylece, zaman içerisindeki çözünürlük $\Delta t = 1/B$ ' dir. Daha sonra, menzilde çözünürlük aşağıdaki hesaplama ile bulunabilir.

$$\Delta r = \Delta t \cdot \frac{c}{2} = \frac{c}{2B}, \quad (4.41)$$

4.10.3. Sıkıştırma

Sıkıştırma terimi darbe sıkıştırma operasyonu sırasında mevcut olan giriş ve çıkış sinyallerinin sürelerinin karşılaştırılması için kullanılır. İletilen darbe genişliğinin sıkıştırılmış sinyalin ana lob genişliğine oranı darbe sıkıştırma oranı olarak tanımlanır.

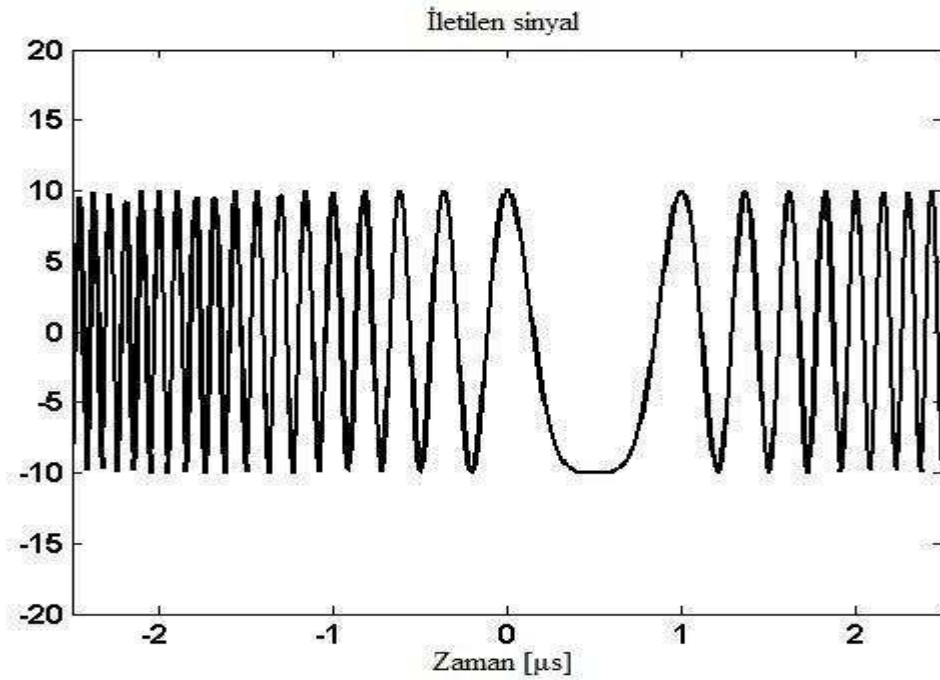
Başlangıçta, iletilen darbe T_1 genişliğine sahiptir. Çıkış sinyali teorik olarak zaman içerisinde sonsuz mesafeye sahip olan sinc tipi karakteristiğine sahiptir. Çıkış zaman sinyalinin ana lobunun -3 dB genişliği yaklaşık $0.886/B$ ’ dir. Ana lobun efektif genişliği genel olarak yaklaşık $1/B$ olan -4 dB olarak alınır. Böylece, sıkıştırma oranı, CR, aşağıdaki şekilde kolayca hesaplanabilir.

$$\begin{aligned}
 CR &= \frac{\text{giriş sinyalin genişliği}}{\text{çıkış sinyalin genişliği}} \\
 &= \frac{T_1}{1/B} \\
 &= \frac{T_1}{1/(K \cdot T_1)} \\
 &= K \cdot T_1^2 \\
 &\triangleq D,
 \end{aligned}
 \tag{4.42}$$

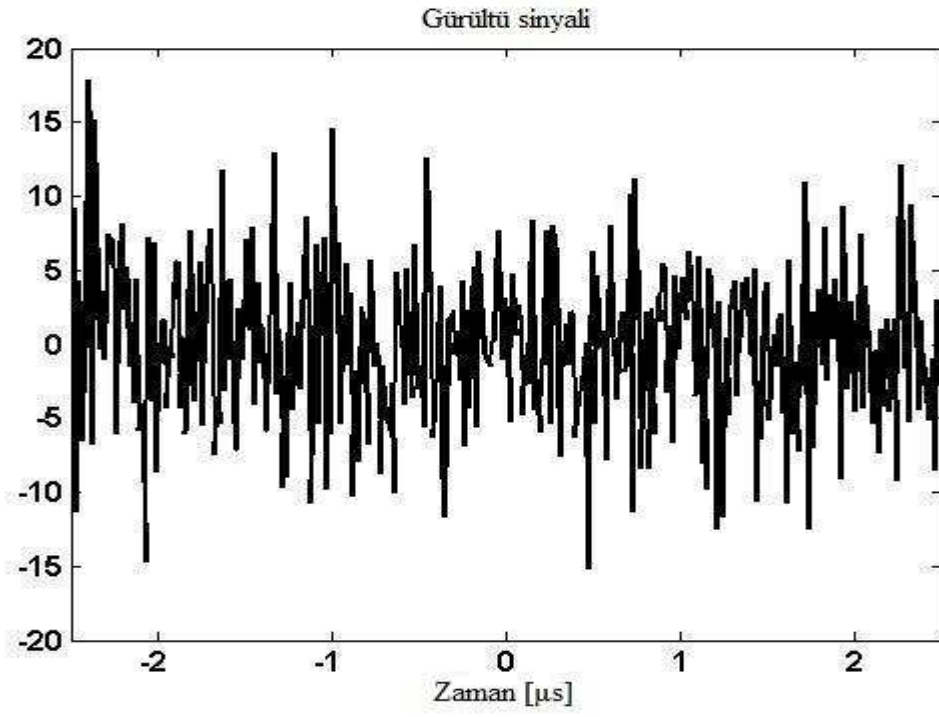
Sıkıştırma oranı CR’nin yaklaşık olarak zaman – bant genişliği çarpımı, D’ye eşit olduğu görülmektedir. Böylece, darbe sıkıştırma oranını yükseltmek için, zaman – bant genişliği çarpımı yükseltilmelidir (veya tersi).

4.11. Darbe Sıkıştırma Örneği

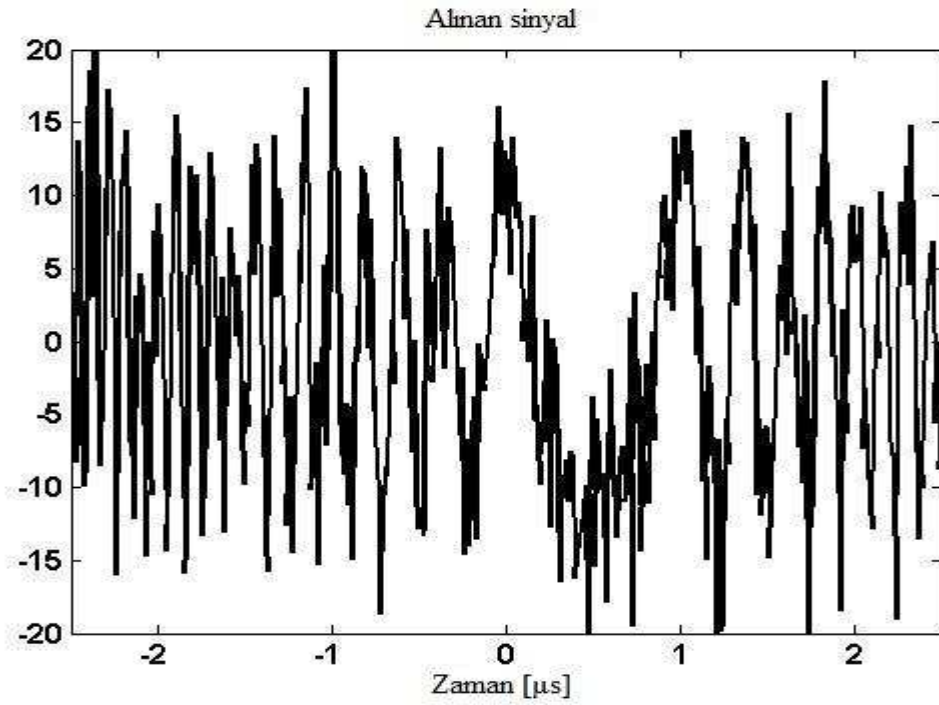
SAR / ISAR görüntülemeye uyumlu filitreleme ve darbe sıkıştırmanın kullanımını göstermek için bir örnek sağlanabilir, Şekil 4.13. radardan iletilen sinyali temsil eden bir (chirp) dalga biçimini göstermektedir. Normal dağıtılmış rastgele gürültü (Şekil 4.14.) eklenmiştir, böylece alınan sinyal Şekil 4.15’ de gösterildiği gibi toplanır. 1µs zaman gecikmesinin radarın iletme ve alma zamanları arasında olduğu kabul edilir.



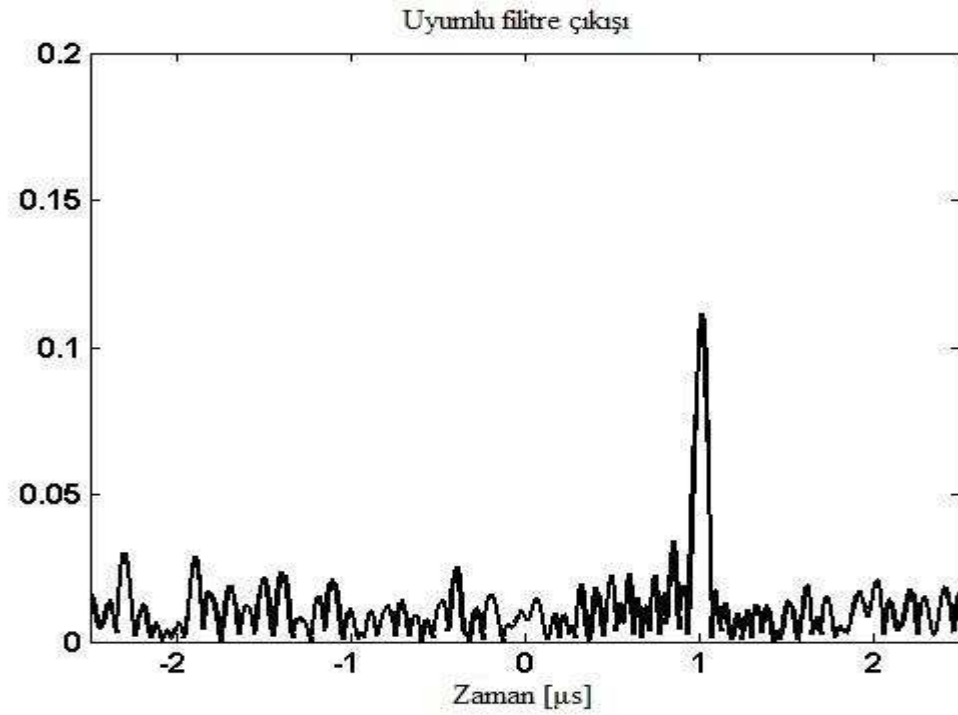
Şekil 4.13. Uyumlu filitre örneği, iletilen chirp tipi sinyal



Şekil 4.14. Uyumlu filitre örneği, normal dağıtılmış gürültü sinyali



Şekil 4.15. Uyumlu filitre örneği, alınan sinyal (iletilmiş + gürültü),

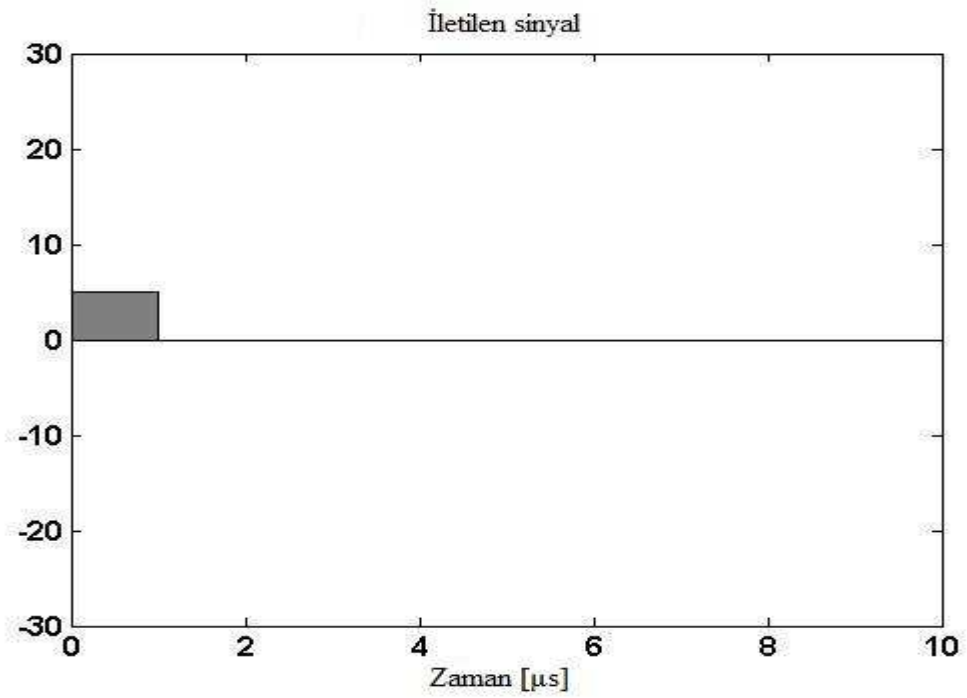


Şekil 4.16. Uyumlu filitre örneği, uyumlu filitre çıkışı.

Şekil 4.15' den görüleceği gibi, alınan dalga biçimi gürültüye bağlı olarak oldukça bozulmuştur. Uyumlu filitreleme sonrası çıkış sinyali, alınan yankının chirp sinyalinin özelliğine bağlı olarak zaman içinde daha kısa olduğu Şekil 4.16' da görülmektedir. Ayrıca, SNR büyütülmüştür öyle ki çıkış sinyali 1 μ s zaman içinde doğru konumunda gözlenmektedir.

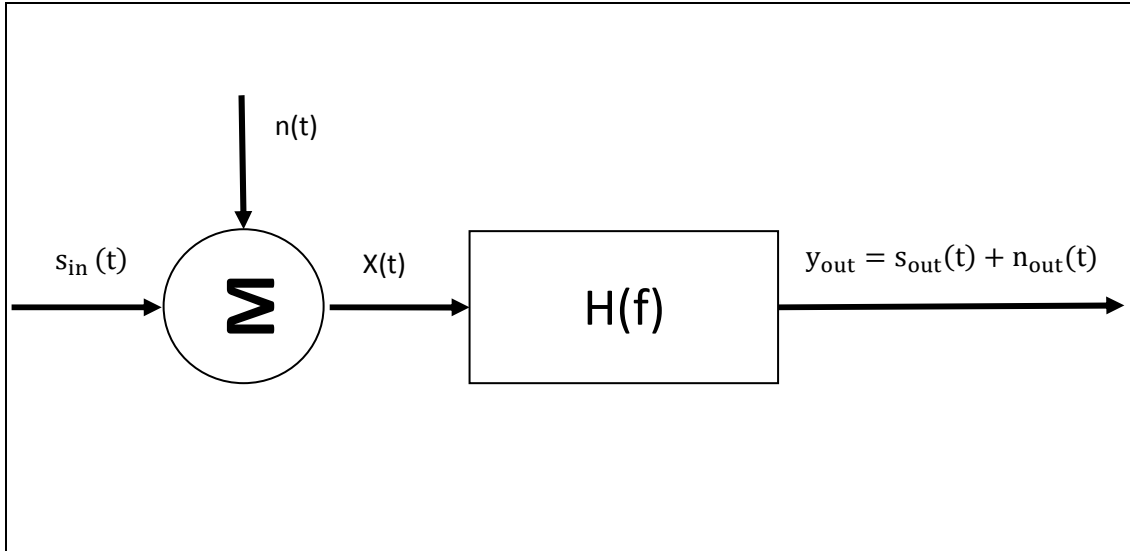
5. SİMİLASYON SONUÇLARI

Simülasyon MATLAB programlama dili kullanarak gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda uyumlu filitre örneği, MATLAB dilinde yazılan bir program ile gerçekleştirilmiştir. Simülasyonda kullanılan bu MATLAB programı kaynak kodları EK 1’ de sunulmaktadır. Similasyonda uyumlu filitre örneği için Şekil 5.1’de gösterilen bir dikdörtgen darbe dalga şekli radar tarafından iletildiği kabul edilmiştir.

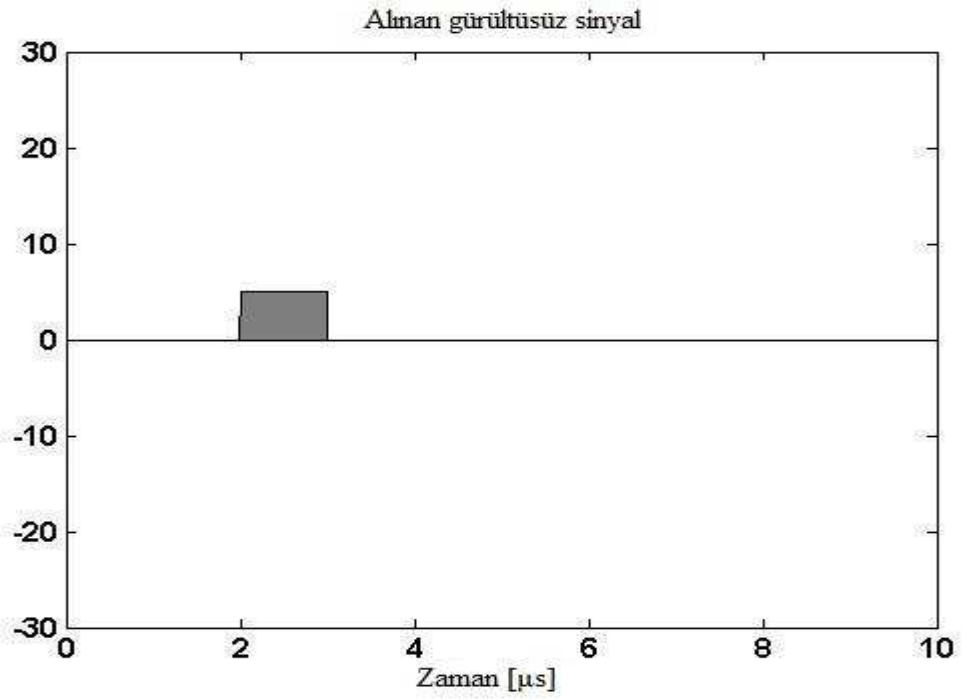


Şekil 5.1. İletilen dikdörtgen darbe.

Daha sonra bu darbe Şekil 5.2. uyumlu filitre alıcısına $2\ \mu\text{s}$ 'ile bir gecikme ile gelir. Şekil 5.3'de yaklaşık $2\ \mu\text{s}$ 'lik bir gecikme ile alınan gürültüsüz sinyal görülür.

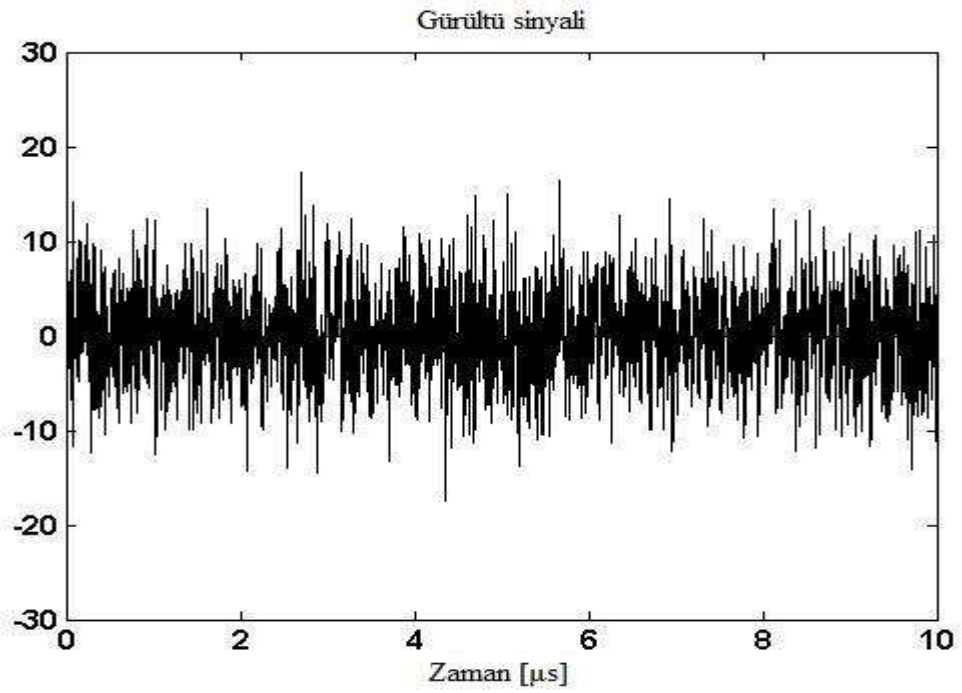


Şekil 5.2. Uyumlu filitre alıcısı.



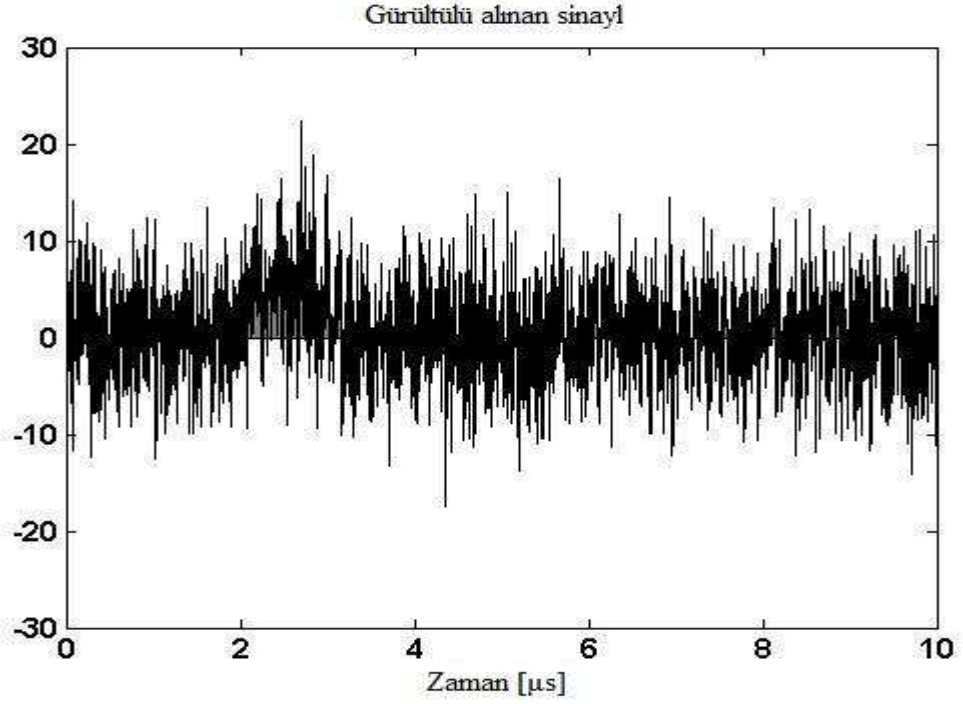
Şekil 5.3. Alınan gürültüsüz sinyal.

Gürültü sinyali Şekil 5.4. de görülmekte olup, Katkılı Beyaz Gauss Gürültü (AWGN) yayılım alanı içinde mevcut olduğu varsayılır.



Şekil 5.4. Normal dağıtılmış gürültü sinyali.

Alıcı, Katkılı Beyaz Gauss Gürültüsünü orijinal dalga bozukluğu kaydırılmış versiyonu ile birlikte topladığında Şekil 5.5. de gösterilen sinyal elde edilir. Bu sinyal alınan gürültülü sinyaldir ve uyumlu filitreden geçmesi gerekir.



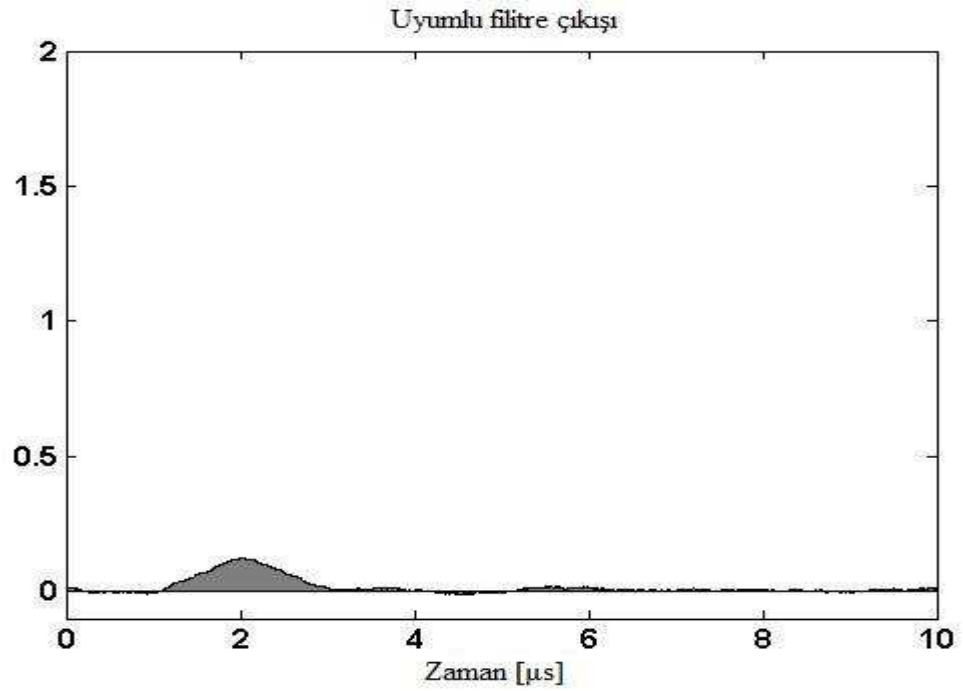
Şekil 5.5. Alınmış toplanır gürültülü sinyal.

Alınan gürültülü sinyalde sonra uyumlu filitreleme işlemi aşağıdaki denklemi kullanarak yerine getirilir.

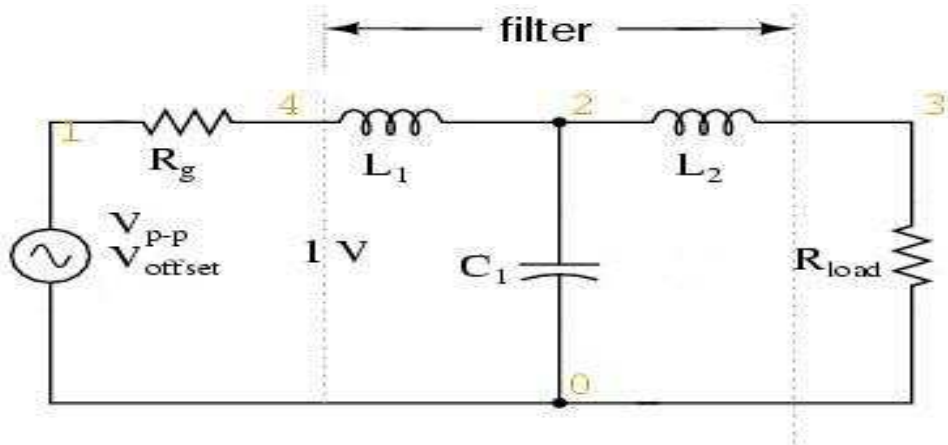
$$y_{out}(t) = IFT\{FT\{x(t)\}.H(f)\}. \quad (5.1)$$

Uyumlu filitre çıkış sonucu (uyumlu filitre işlemi Sinyal-gürültü oranı (SNR)' yi maksimuma çıkardır) Şekil 5.6. da görüldüğü gibi elde edilir.

Şekil 5.6'da da açıkça görüldüğü gibi gürültü yüksek bir şekilde bastırılmıştır. Çıkış sinyali şekli bir üçgen darbe formundadır, uyumlu filitre çıkışı filitrenin dürtü yanıtı ile giriş sinyalinin evrişimi aynı darbe şekline sahiptir, oda dikdörtgen. Beklendiği gibi çıkış sinyali 2μs zaman anında en büyük değerine varmaktadır.



Şekil 5.6. Uyumlu filitrenin çıkışı.



Şekil 5.7. Uyumlu filitrenin devresi.

Şekil 5.7. de basit bir uyumlu filitre devresi görülmektedir. Çıkış dalga formunun üçgen olarak görünme sebebi ise filitredeki bobin ve kapasitörlerdir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ön bilgi olarak radar sistemlerinin temellerinden bahsedilmiş SAR' radarı ayrıntılı olarak incelenmiş ve SAR' radarda kullanılan uyumlu filitre anlatılarak uyumlu filitre için simülasyon yapılmıştır. Radar, nesneleri bulmak ve bunlarla ilgili bilgileri belirlemek için kullanılan bir mikrodalga sistemidir. Günümüzde radarlar pek çok alanda kullanılmaktadır bunlardan bazıları: hava trafik kontrolü, hava savunma, yat limanı çarpışma önleme, füze ve akış kontrolü, uzay araç radarı ve meteorolojide bu farklı kullanım alanlarına birer örnektir.

SAR radar uzaktan algılama sistemlerinde kullanılan en karmaşık radar tekniklerinden biridir bu teknolojinin ana işlevi uzun menzilli bir platformdan dünya yüzeyindeki büyük alanların görüntülerini yüksek çözünürlükle sağlamaktır. SAR radarı ile elde edilen görüntüler hava koşullarından ve karanlıktan etkilenmez, dolayısıyla bu sistemin üretiminde kullanılan ve fonksiyonel olarak en iyi ve düzgün çalışması söz konusudur. Seçilen filitre ve elektronik devrelerinin çok önemli olduğunu bir kes daha vurgulamak isterim.

Devreler özellikle filitreler tasarımında klasik bir yaklaşımdır, önce istenen özellikler doğrultusunda LC tipi filitrelerin tasarlanmasına, ardından daha teferruatlı dönüşümler kullanılarak filitre tasarımına dayanır.

Sonuç olarak tasarlanan yapının boyutları istenen frekans davranışına göre optimize edilmelidir. Günümüzde bu, güçlü sayısal tekniklerle yapılmaktadır. Ancak, her yönü ile elde edilen işaret ve sinyal gücü optimize olup işlevini düzgün yapması ve etraftan gelen sinyallerden etkilenmemesi ayrıca sistemin çevreye yaydığı gürültülerin minimize olması standart içerisinde demek iyi bir tasarım söz konusudur. Basit yapılarda bu tasarım yaklaşımı iyi sonuç verse de özellikle çok fonksiyonel daha farklı tasarım yöntemleri ve elektronik yarı iletkenler üzerinde belli deneyler yapmak gereklidir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: FGAN-FHR, “2004 The Century Of Radar” <http://www.100-jahre-radar.de/> (2012).
2. Novak, L.M., Owirka, G.J., Netishen C.M., “Radar Target Identification Using Spatial Matched Filters”, **MIT Lincoln Laboratory**, U.S.A. (1994).
3. Sherif A. E., Carmine C., John J. S., “Radar Matched Filtering using the Fractional Fourier Transform”, **IET Digest / Volume 2010 / Issue 3, London**, UK, (2010).
4. Carlton, J. L., Richard G. P., A “Matched-Filter-Based Reverse-Time Migration Algorithm for Ground-Penetrating Radar Data”, **Ieee Transactions On Geoscience and Remote Sensing**, 39(5): 929-932 (2001).
5. Brumbi, D., “Fundamentals of radar Technology”, **KROHNE Messtechnik GmbH & Co. KG**, German, 5-7 (2003).
6. İnternet: Radartutorial, “ 2009 Radar Basics” <http://www.radartutorial.eu> (2012).
7. Ruck, G. T., Barrick D. E., Stuart, W. D., and Krichbaum, C. K., “ Radar Cross Section Handbook Volume 1”, **Plenum Press**, New York, 87-99(1970).
8. Mahafza, B. R., “Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB” **CHAPMAN & HALL/CRC**, Alabama, 20-36 (2000).
9. Soumekh, M., “Synthetic Aperture Radar Signal Processing with Matlab Alghorithms”, **John Wiley & Sons**, Canada, 12-16 (1999).
10. Matthew, S. “Synthetic Aperture Radar Imaging Simulated in MATLAB”, Yüksek Lisans tezi, **California Polytechnic State University**, California, 2-5 (2009).
11. Samuel, W., “ Principles of Synthetic Aperture Radar”, Synthetic Aperture Radar Marine User’s Manual, Christopher, R., J. John, R., A., **National Oceanic And Atmospheric Administration**, USA, 1-21 (2004).
12. Bityutskov, V., I., “Encyclopaedia of mathematics”, Bunyakovskii inequality, in M. Hazewinkel, ed., **Springer**, D, (2001).
13. Klauder, j., Price, A. And Albersheim, W., “The Theory and Design of Chirp Radars”, **The bell system technical journa**, 40 (4): 745-807 (1960)
14. Caner, Ö., “Inverse Synthetic Aperture Radar Imaging with MATLAB Algorithms”, KAI, C., **John Wiley & Sons, Inc.**, New Jersey, 79-103 (2012).

EKLER

EK -1. MATLAB Programı

```
%--- iletilen sinyal -----
fc = 8e8; % başlangıç frekansı
To = 10e-6; %darbe süresi
N = 200; %numune noktaları
td = 2e-6; % geciktirmek
t = 0:To/(10*N-1):To; %zaman vektörü
tt = t*1e6; %zaman vektörü mikro saniye ile
s = 5*ones(1,N);
s(10*N)=0; % iletilen sinyalin eşi
sr = s;% eşi
M=round(td/To*(10*N));% miktarda kaydırmak
ss=circshift(sr.',M);ss=ss.';
%---şekil 4.1(a)-----
h1=figure;
h = area(tt,sr);
set(h,'FaceColor',[.5 .5 .5])
set(gca,'FontName', 'Arial', 'FontSize',12,'FontWeight','Bold');
title('transmitted signal');
xlabel(' Time [\mus]')
axis([min(tt) max(tt) -30 30]);
%---şekil 4.1(b)-----
h1=figure;
h = area(tt,ss);
set(h,'FaceColor',[.5 .5 .5])
set(gca,'FontName', 'Arial', 'FontSize',12,'FontWeight','Bold');
title('received signal without noise');
xlabel(' Time [\mus]')
axis([min(tt) max(tt) -30 30]);
%---şekil 4.1(c)-----
%--- gürültülü sinyal -----
```

EK -1. (Devam) MATLAB Programı

```

n=5*randn(1,10*N);
% gürültülü sinyali çiz
h1=figure;
h=area(tt,n);
set(h,'FaceColor',[.5 .5 .5]);
set(gca,'FontName', 'Arial', 'FontSize',12,'FontWeight','Bold');
xlabel(' Time [\mus]'),title('noise signal ');
axis([min(tt) max(tt) -30 30]);
%---şekil 4.1(d)-----
%--- alınan sinyal -----
x=ss+n;
h1=figure;
h=area(tt,x);
set(h,'FaceColor',[.5 .5 .5]);
set(gca,'FontName', 'Arial', 'FontSize',12,'FontWeight','Bold');
xlabel(' Time [\mus]'),title('received signal with noise');
axis([min(tt) max(tt) -30 30]);
%---şekil 4.1(e)-----
%--- uyumlu filitreleme -----
X=fft(x)/N;
S = conj(fft(sr)/N);
H=S;
Y=X.*H;
y=ifft(Y);
% uyumlu filitrenin çıkışını çiz
h1=figure;
h=area(tt,real(y));
set(h,'FaceColor',[.5 .5 .5]);
set(gca,'FontName', 'Arial', 'FontSize',12,'FontWeight','Bold');xlabel(' Time [\mus]')
axis([min(tt) max(tt) -.1 2]); title('matched filter output');

```

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KAMAL, Ayoub E.
Uyruğu : IRAK
Doğum tarihi ve yeri : 19.10.1983 Kerkük
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (539) 507 08 41
e-mail : ayob_kamal@hotmail.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Kerkük üniversitesi/ Elektronik Bölümü	2007
Lise	Alhikme Lisesi	2002

Yabancı Dil

İngilizce, Arapça.