

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AŞIRI GENİŞ BANTLI RADAR VERİLERİ İLE ÜÇ BOYUTLU KISA
MESAFE HEDEF KONUMLANDIRMA ALGORİTMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Özge IRMAK**

Anabilim Dalı : Elektronik ve Haberleşme Müh.

Programı : Telekomünikasyon Mühendisliği

HAZİRAN 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AŞIRI GENİŞ BANTLI RADAR VERİLERİ İLE ÜÇ BOYUTLU KISA
MESAFE HEDEF KONUMLANDIRMA ALGORİTMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Özge IRMAK
(504091377)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 09 Haziran 2011

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Selçuk PAKER (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Sedef KENT (İTÜ)
Prof. Dr. Serhat ŞEKER (İTÜ)**

HAZİRAN 2011

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince tüm hayatım boyunca olduğu gibi sonsuz desteklerini bana hissettirmiş olan sevgili aileme, tez çalışmam için maddi kaynak ve veri sağlamış olan Netaş kurumu ve çalışanlarına ve İTÜ ETA Vakfına, yüksek lisans eğitimim süresince gösterdikleri anlayış için Serkan Yerer ve Nalan Yerer'e, bu süreçte benden desteklerini esirgememiş olan tüm dostlarım ve hocalarımın en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezi gerçekleştirmemi sağlayan danışmanım Doç. Dr. Selçuk Parker'e ilgisi, anlayışı ve yol göstericiliği çok teşekkür ederim.

Haziran 2011

Özge Irmak
Elektronik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Yöntem	2
2. RADAR SİSTEMLERİ VE AGB RADAR KAVRAMI.....	3
2.1 Aşırı Geniş Bantlı (AGB) Radar Tarihi	5
2.2 AGB Sistemlerin Avantajları	6
2.3 AGB Sistemlerin Dezavantajları	6
2.4 AGB Radar Sistemlerinin Kullanım Alanları	7
3. KULLANILAN SİSTEM	9
3.1 Amaç	9
3.2 Donanım	9
3.3 Ham veri	11
4. SİNYAL ÖN İŞLEMESİ	15
4.1 Amaç	15
4.2 Filtreleme	16
4.3 Güç Kazanç Kompanzasyonu	18
4.4 Arka Planın Çıkarımı	19
4.5 Dekonvolüsyon.....	20
4.6 Zarf Alma	20
5. ÜÇ BOYUTLU HEDEF KONUMLANDIRMA	23
5.1 Zamansal – Uzamsal Büyüklük Dönüşümü	23
5.1.1 Geometrik migrasyon.....	24
5.1.2 Kirchoff migrasyonu	25
5.1.3 Stolt migrasyonu	25
5.1.4 Ters problem	25
5.1.5 Migrasyon algoritmalarının karşılaştırılması	25
5.2 SNR – Olasılık İlişkisi.....	26
5.3 Önerilen Algoritma	29
5.3.1 Akış diyagramı	29
5.3.2 Programın girdileri.....	29
5.3.3 Programın çıktıları	30
5.3.4 Algoritmanın avantajları	31
5.3.5 Algoritmanın kısıtlamaları	32

6. TEST VE SONUÇLAR.....	35
6.1 Ölçüm Ortamı.....	35
6.2 Test Senaryosu.....	35
6.3 Konumlandırma Sonuçları.....	35
6.4 Sonuçların Yorumu	43
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	45
7.1 Çalışmanın Sonuçları.....	45
7.2 Gelecekteki Çalışmalar İçin Öneriler	45
KAYNAKLAR.....	47
ÖZGEÇMİŞ	49

KISALTMALAR

AGB	: Aşırı Geniş Bant
AFD	: Ayrık Fourier Dönüşümü
DFT	: Discrete Fourier Transform
IPG	: Integrated Pulse Generator – Darbe Üreteci
İGO	: İşaret Gürültü Oranı
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
RF	: Radyo Frekansı
SNR	: Signal to Noise Ratio – İşaret Gürültü Oranı
UWB	: Ultra Wide Band – Aşırı Geniş Bant

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Radar Frekans Bantları.....	4
Çizelge 3.1 : IPG0 – Orta frekans darbe üreticinin özellikleri.....	9
Çizelge 3.2 : IPG1 – Düşük frekans darbe üreticinin özellikleri	10
Çizelge 3.3 : RF alıcı parametreleri.....	11
Çizelge 6.1 : Ölçüm Sonuçları.....	43

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Örnek darbe	10
Şekil 3.2 : Alınan bir çerçeve cevabı	12
Şekil 3.3 : Ölçüm ortamı.....	13
Şekil 3.4 : Alınan 1000 adet çerçeve cevabının birlikte gösterimi	13
Şekil 3.5 : 650. çerçeve cevabı	14
Şekil 4.1 : Ön işleme yapılacak ham veri.	15
Şekil 4.2 : Ayrık Fourier Dönüşümü sonucu frekans spektrumu.	17
Şekil 4.3 : Filtreleme sonucu frekans spektrumu.....	17
Şekil 4.4 : Filtreleme sonucu.	18
Şekil 4.5 : Güç kompanzasyonu işlemi sonucu.	19
Şekil 4.6 : Arka plan çıkartımı işlemi sonucu.	20
Şekil 4.7 : Zarf alma işlemi sonucu.	21
Şekil 5.1 : Akış diyagramı 1.	30
Şekil 5.2 : Akış diyagramı 2.	31
Şekil 5.3 : Optimum yarıçap hata fonksiyonu.	34
Şekil 6.1 : Ölçüm düzeneği.(a) Gerçek ortam, (b) Düzlemde görselleştirme.....	36
Şekil 6.2 : 3B görünüm – 110cm	37
Şekil 6.3 : 3B görünüm 2 – 110cm	37
Şekil 6.4 : y-z projeksiyonu görünümü – 110cm.....	38
Şekil 6.5 : x-y projeksiyonu görünümü – 110cm	38
Şekil 6.6 : x-z projeksiyonu görünümü – 110cm.....	38
Şekil 6.7 : 3B görünüm – 165cm	39
Şekil 6.8 : 3B görünüm 2– 165cm	39
Şekil 6.9 : x-y projeksiyonu görünümü – 165cm	40
Şekil 6.10 : z-y projeksiyonu görünümü – 165cm.....	40
Şekil 6.11 : x-z projeksiyonu görünümü – 165cm.....	40
Şekil 6.12 : 3B görünüm – 4m.....	41
Şekil 6.13 : x-y projeksiyonu görünümü – 4m	41
Şekil 6.14 : x-z projeksiyonu görünümü – 4m	42
Şekil 6.15 : 3B görünüm – 2m.....	42
Şekil 6.16 : x-y projeksiyonu görünümü – 2m	43
Şekil 6.17 : x-z projeksiyonu görünümü – 2m	43

AŞIRI GENİŞ BANTLI RADAR VERİLERİ İLE ÜÇ BOYUTLU KISA MESAFE HEDEF KONUMLANDIRMA ALGORİTMASI

ÖZET

Aşırı Geniş Bant(AGB) teknolojileri son yıllarda üzerinde çok çalışılan ve gelecek vaad eden bir konudur. Aşırı Geniş Bant teknolojileri genel olarak geniş bir frekans bandı kullanılarak düşük güçte sinyal ile kablosuz iletişim temeline dayanır. Gönderilen geniş bantlı sinyallerin gücünün çok düşük olması bant içinde çalışan diğer teknolojileri engellemeden çalışmasına olanak vermektedir. Düşük güç sebebiyle sinyaller kısa mesafe yol katedebilse de bantın genişliği sebebiyle çok yüksek hızla veri transferi mümkündür. Ayrıca geniş bir frekans bandının kullanılması optik dalgaların geçemediği katı cisimlerden de geçerek duvar arkası, yer altı, göçük altı cisim ya da canlı algılama, konumlandırma ve görüntüleme gibi uygulamalarda kullanım için AGB radarları uygun hale getirmektedir. Bu tez kapsamında da AGB radar kullanılarak alınan verilerden hedef belirleme uygulaması için bir algoritma geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda literatürde olan veri ön-işleme yöntemleri incelenmiş ve gerçekleştirilmiş, daha sonra zaman domeninden uzamsal düzleme geçiş yapan migrasyon algoritmaları ele alınmıştır. Bu migrasyon algoritmaları arasından geometrik migrasyon yöntemi olan SAR migrasyon yöntemi seçilmiştir. Genlik ve işaret gürültü oranı büyüklüğünden olasılık bilgisine geçilmesi ve bu olasılık değerlerini üç boyutlu uzayda birim hacimlere doğru olarak atanması için bir algoritma geliştirilmiştir. Novelda firmasının üretmiş olduğu aşırı geniş bantlı radar kiti ile ölçümler yapılarak geliştirilmiş olan algoritmanın başarımı test edilmiştir. Sonuçlar oldukça başarılı bulunmuş ve çalışmanın devamı olarak yapılacak duvar arkası konumlandırma uygulamalarında duvar kompanzasyonu yapılması ile birlikte uygulanabilir olduğu öngörülmüştür.

A THREE-DIMENSIONAL SHORT RANGE TARGET POSITIONING ALGORITHM FROM ULTRA WIDE BAND RADAR DATA

SUMMARY

Ultra Wide Band(UWB) technology has become a very promising and highly studied subject of late years. Ultra wide band Technologies are generally based on wireless communications using a wide frequency band and low signal power. The use of low signal power enables working with other wireless technologies operating in the band without high interference. Use of low power results in a low range however it is possible to reach very high data transfer rates due to the use of wide band. Use of wide frequency band also gives the ability to penetrate through walls, earth and solid materials which optical waves cannot. In this study, our aim was to develop a three dimensional target detection and positioning algorithm using UWB data. As first step, the data pre-processing techniques are researched and implemented. Then, the migration algorithms which do the transformation between time domain and spatial domain are researched. A geometrical method called SAR migration algorithm is chosen among the migration techniques. An algorithm has been developed to gather probability information using amplitude and signal to noise ratio (SNR) and assigning the probabilities to unit volumes truly. The success of the algorithm has been tested with the measurements using the UWB radar kit produced by Novelda. The results have been considered as successful and our algorithm is considered as usable with through wall positioning system on condition that a wall compensation will also be implemented.

1. GİRİŞ

Son yıllarda kablosuz teknolojilerin kullanımının artması ile bu teknolojilerin sağladığı olanaklar, bu teknolojileri farklı ihtiyaçlara cevap verebilir hale getirmiştir. Önceleri ağırlıklı olarak veri transferi gibi işlemlerde kullanılan kablosuz kanallar, günümüz koşullarında görüntüleme de dahil olmak üzere bir çok probleme çözüm olan teknolojilere ev sahipliği etmektedirler. Ancak bu kanalların kısıtlı olması sebebiyle yeni teknolojilerin bir kısmı kullanılmakta olan sistemlerin kaynaklarını kullanarak asıl sistemi rahatsız etmeden çalışmakta ve dolayısıyla oldukça büyük ilgi görmektedirler. Özellikle kişisel ağların yaygınlaşması ve kısa mesafede yapılabilecek uygulamaların genişlemesi bu alanda yapılan çalışmalara hız katmıştır. Kısa mesafede ve düşük güçte çalışan Aşırı Geniş Bant (AGB) uygulamaları da bu çalışmaların örneklerindedir. AGB, diğer teknolojilerin varlığından etkilenmeden ve diğerleri üzerinde büyük bir olumsuz etki yaratmadan çalıştığı için hem kısa mesafe yüksek hızlı veri aktarımı, hem de duvar arkası hedef belirleme ve konumlandırma, canlı algılama gibi uygulamalarda kullanılabilir.

1.1 Tezin Amacı

Tezin amacı yakın mesafe görüntüleme için kullanılan Aşırı Geniş Bantlı (AGB) radar işaretlerinin işlenerek hedeflerin üç boyutlu uzaydaki yerlerinin belirlenmesi ve görüntülenmesidir. Bu tür algoritmalar engel arkası görüntüleme sistemleri için kullanılabilir olan algoritmaların temelini oluşturmaktadır. Duvar arkası hedef algılama ve konumlandırma sistemleri savunma ve arama-kurtarma çalışmalarında büyük önem taşımaktadır. Örnek olarak depremde göçük altında kalmış insanların bulunma çalışmaları verilebilir. Hem duvarların arkasındaki insanın konumu hem de aradaki duvarların sayıları ve konumları bu tip bir uygulamada hayati önem taşımaktadır. Aynı şekilde yangın durumunda içerideki insan, duvar konumları gibi bilgilerin elde edilmesi çok önemli olacaktır. Bu amaç doğrultusunda literatürde var olan görüntüleme yöntemlerinin araştırılması ve yeni bir olasılıksal nesne bulma ve konumlandırma yönteminin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

1.2 Yöntem

Öncelikle veriler üzerinde ön işleme yapılması gerektiği öngörülmüş ve bu teknikler araştırılıp gerçekleştirilmiştir. Ön işleme için sırasıyla filtreleme, güç kompanzasyonu, arka plan çıkarımı, dekonvolüsyon ve zarf alma işlemleri uygulanmıştır.

Ön işlemenin ardından bir üç boyutlu konumlandırma algoritması yapılmıştır. Bu algorithmada öncelikle zaman boyutunda alınan sinyalin uzamsal boyuta (derinlik) dönüştürülmesi yapılmıştır. Bu işlem için Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) görüntüleme de kullanılan geometrik yaklaşım tercih edilmiştir. Daha sonra sinyal genliklerinden olasılık elde edilmiştir. Bu olasılıklar üç boyutlu uzayda karşılık düşen uzaklıklara atılarak birden çok alıcıdan alınmış verilerden cismin tam konumu bulunmuştur.

2. RADAR SİSTEMLERİ VE AGB RADAR KAVRAMI

Radar, bir hedefin uzaklığını, yere olan yüksekliği, yönü, hızı belirlemede uçak, gemi, uzay gemisi, motorlu taşıtlar gibi kullanım alanları bulunan, elektromanyetik dalgaları kullanarak hedef algılayan sistemlere verilen genel addır. Radyo dalgaları ve mikrodalga darbeleri bir verici anten aracılığıyla bir yön boyunca iletilir ve bu iletilen dalganın bir kısmı antene ya da alıcıya döner. Bu şekilde konum ve menzil belirleme gibi işlevler gerçekleştirilebilir.

Günümüzde kullanılan radar sistemleri II. Dünya Savaşı sırasında Büyük Britanya ve diğer ulusların katılımı ile gizli bir şekilde oluşturulmuştur. Radar kavramı 1940'lı yıllarda Birleşik Devletler donanması tarafından "RADio Detection And Ranging" ifadesinin kısaltması olarak kullanılmıştır. Günümüzde hemen hemen tüm dillere "radar" kelimesi olarak geçmiştir [1].

Radar sistemlerinin kullanımı zaman geçtikçe çeşitlenmiştir. Günümüzde hava trafik kontrolü, hava savunma sistemleri, füze savunma sistemleri, uçaklarda çarpışmayı önleyen sistemler, okyanus izleme sistemleri, denizaltı ve gemilerin yer belirleme sistemleri, uzay-gözlem ve uzay-buluşma sistemleri, meteorolojik tahmin sistemleri, yönlendirilmiş füze sistemleri radar teknolojisi ile çalışmaktadır.

Radarlar çalıştıkları frekans aralığına göre gruplandırılabilirler. Çizelge 2.1'de çalışma frekanslarına göre radar çeşitleri görülmektedir.

Bu tez kapsamında Aşırı Geniş Bantlı (AGB) radar sistemi üzerinde çalışılmıştır. AGB radarlar çok geniş bantta çalışmaları nedeniyle diğer frekans bantlarına göre birçok avantaj sağlamaktadırlar (Bölüm 2.2).

Çizelge 2.1 : Radar Frekans Bantları

Frekans Bandı	Frekans Aralığı	Dalgaboyu Aralığı	Açıklama
HF	3–30 MHz	10–100 m	High Frequency – Yüksek Frekans Radarlar
P	< 300 MHz	1 m+	Previous(P) – Önceki / geleneksel radar sistemleri.
VHF	30–300 MHz	1–10 m	Very High Frequency – Çok Yüksek Frekans. Uzun menzilli radar sistemleri
UHF	300–1000 MHz	0.3–1 m	Ultra High Frequency – Ultra Yüksek Frekans
L	1–2 GHz	15–30 cm	Long(L) – Uzun. Uzun menzilli hava trafik kontrol sistemleri
S	2–4 GHz	7.5–15 cm	Short(S) – Kısa. Orta menzilli izleme sistemleri,terminal hava kontrol sistemleri
C	4–8 GHz	3.75–7.5 cm	Compromise(C) - .x ve S Bantları arasında durmaktadır. Uzun menzilli izleme sistemleri
X	8–12 GHz	2.5–3.75 cm	Füze yönlendirme, deniz radarı, orta çözünürlüklü görüntüleme sistemleri.
Ku	12–18 GHz	1.67–2.5 cm	Yüksek çözünürlüklü radar sistemleri
K	18–24 GHz	1.11–1.67 cm	Kurz – Kısa. Meteorolojistler tarafından bulutların konumlarının belirlenmesinde kullanılır.
Ka	24–40 GHz	0.75–1.11 cm	Upper K (Ku) – Üst K bandı. Havaalanı kontrol sistemleri, kısa menzilli sistemler.
Mm	40–300 GHz	7.5 mm – 1 mm	Millimetre(m) – Milimetre bandı. V ve W olmak üzere ikiye bölünmüştür.
V	40–75 GHz	4.0–7.5 mm	Atmosferdeki oksijen tarafından güçlü bir şekilde absorbe edilir.
W	75–110 GHz	2.7–4.0 mm	Yüksek çözünürlüklü görsel sezici sistemleri, meteorolojik gözlem ve görüntüleme
UWB	1.6–10.5 GHz	18.75 cm – 2.8 cm	Kişisel ağlarda iletişim, duvar arkası radar ve görüntüleme sistemleri

2.1 Aşırı Geniş Bantlı (AGB) Radar Tarihi

AGB teknolojisi ile ilgili temel kavramlar 1960'lı yılların sonlarında belirlenmiş ve patentler o tarihlerde Sperry Rand Coproration iştiraki olan Sperry Research Center'dan IEEE üyesi olan Dr. Gerald F. Ross başkanlığında alınmıştır. Bu dönemde “aşırı geniş bant” terimi yerine temel bant, taşıyıcısız veya impuls terimleri kullanılmaktaydı [2]. İlk defa 1978 yılında bu alandaki çalışmalar sinyallerin iletişimi amacıyla kullanılmıştır. Bu teknoloji kullanılarak ses sinyallerinin yüzlerce metre öteye iletilmesi sağlanmış ve Amerika Birleşik Devleti Hükümeti'ne bunu gösteren bir sunum yapılmıştır [3]. 1979 yılında, 19kHz ara taşıyıcı kullanılarak sinyaller çok daha uzağa iletilebilmiştir. İlk AGB iletişim sistemlerinin başarısından sonra farklı çalıştaylar oluşturulmuş ve devamında 1986 – 1997 yılları arasında Dr. Fontana ile Dr. Ross aşırı geniş bant sistemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunmaya devam etmişlerdir. 1960 – 1999 yılları arasında 200'ün üstünde yayın IEEE dergisinde yayınlanmıştır. Bu tarihler arasında aşırı geniş bant iletişimine ilişkin yüzün üstünde patent başvurusu yapılmıştır [4-9].

Aşırı geniş bant çalışmaları bu tarihlere kadar askeri amaçlı ve çoğunlukla gizli olarak yürütüldüğünden ticari faaliyetlerde 2000 yılına kadar kullanılmamıştır. 2000 yılından sonra AGB teknolojisi ticari olarak kullanıma başlanmış ve aynı zamanda kablosuz iletişim sistemleri yaygınlaşmıştır. Bu tarihlerde IEEE 802.11 (Wi-Fi) ve Bluetooth gibi teknolojiler geliştirilmiştir. Bu teknolojilerin yol göstermesi ve sistemin esnekliğini ortaya çıkarması ile birlikte kişisel bilgisayarlar arası iletişim, mobil telefonların iletişimi gibi birçok alanda AGB sistemler kullanılmaya başlanmıştır.

Aşırı Geniş Bant radar sistemleri geleneksel radar sistemlerine göre çok daha geniş bir frekans üzerinden sinyal iletimi yaparlar ve genellikle tespiti çok zordur.

Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Haberleşme Komisyonu'nun (FCC) 3.1 – 10.6 GHz'lik band genişliğini AGB sistemlerin kullanımı için tahsis etmesiyle günümüzde data ve ses iletişiminden, radar uygulamalarına kadar çok farklı alanlarda çok sayıda aşırı geniş bant teknolojisi uygulaması oluşturulmuştur. Günümüzde aşırı geniş bant uygulamaları ile ilgili çalışmalar büyük bir hızda devam etmektedir.

2.2 AGB Sistemlerin Avantajları

AGB sistemler günümüzde kullanılan genişbant ve darbant kablosuz iletişim standartlarının kullandığı lisans gerektirmeyen aralıkları kullandığı ve düşük güçte kısa mesafede çalıştığı için frekans aralığı kullanım lisans masrafı bulunmamaktadır.

Yüksek kanal kapasitesi mevcuttur (Denklem 2.1).

$$C = B \log_2(1 + \text{SNR}) \quad (2.1)$$

Yukarıdaki Hartley-Shannon denkleminde C kanal kapasitesini, B bant genişliğini ve SNR da işaret gürültü oranını göstermektedir. Denklemden rahatça görülebileceği gibi kanal kapasitesi bant genişliği ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Ayrıca gene (2.1) denkleminde görüldüğü üzere maksimum kanal kapasitesi işaret gürültü oranına logaritmik olarak bağlıdır. AGB sistemlerin bant genişlikleri çok yüksek olduğundan düşük İşaret Gürültü Oranı (İGO – SNR) değerlerinde bile yüksek kanal kapasitesine sahip olabilirler ve düşük SNR senaryolarında da çalışmaları mümkün olur. Böylece gürültülü ortamlarda dahi kullanılabilir.

AGB darbenin düşük frekanslı bileşenleri duvar gibi metaryellerden geçerek bu sistemleri duvar arkası görüntüleme uygulamaları için oldukça uygun hale getirmektedir.

Anlık yüksek çözünürlüklü video transferi yapılabilecek yüksek bant genişlikleri elde edilebilir. Düşük iletim gücü ihtiyacı vardır. Algılanması oldukça güç olduğundan güvenlidir ve sinyal boğuculara karşı dirençlidir. Askeri ortamlarda kullanmasının en önemli nedenlerinden biridir.

2.3 AGB Sistemlerin Dezavantajları

Darbe şekli distorsiyonundan kaçınmak için filtre çok önemlidir. İşaret geniş bantlı olduğundan darbenin şeklini bozmadan filtreyelen uygun filtre tasarımları kullanmak gerekmektedir. Klasik tip filtrelili alıcılarla kullanıldığında düşük performans sergilemesi söz konusudur.

Yüksek frekans senkronizasyonu da önemli bir etkidir. Gigahertz mertebesinde çok hızlı analogdan dijitale çeviriciler gerektirir.

Düşük iletim gücü kullanımı sebebiyle sinyalin iletilebileceği mesafe kısıtlıdır. Regülasyonlarla da kısıtlanan AGB sistemlerinin iletim gücü değeri, gönderilen elektromanyetik dalgaların birkaç metreden daha ileri gitmesine müsaade etmemektedir. Çünkü AGB sistemlerinin temel mantığı darbantlı kanallarda iletim yapan diğer teknolojilere engel teşkil etmeden düşük güçle iletim yapmaktır [10].

2.4 AGB Radar Sistemlerinin Kullanım Alanları

AGB sistemlerinin ticari uygulamaları arasında yüksek hızlı veri iletişimi, duvar arkası radar görüntüleme sistemleri, Altimetre (havacılık), konum belirleme sayılabilir. Askeri uygulamalarından örnek vermek gerekirse, radar uygulamaları, bozulmaya karşı dayanıklı haberleşme, sınır ihlali algılama, yüksek hassasiyetli geografik konumlandırma, canlı algılama gibi uygulamalardan söz etmek mümkündür.

Bunların yanında duvar arkasına geçebilme özelliği sayesinde arama-kurtarma uygulamalarında oldukça gelecek vaad eden bir teknolojidir. Deprem sonrası göçük altında kalan kişilerin algılanması, konumlarının belirlenmesi, ya da yangın çıkmış bir binada kurtarılacak kişinin konumunun belirlenmesi gibi hayati önem taşıyan uygulamalarda kullanılabilir.

3. KULLANILAN SİSTEM

3.1 Amaç

Bu bölümde veri almak için kullanılan sistemin açıklanması ve ileride üzerinde işlem yapılacak verinin ve gösterim şeklinin tanımlanması amaçlanmıştır.

3.2 Donanım

Verilerin alınması için Novelda firmasının üretmiş olduğu NVA6100 CMOS impuls radar çipi kullanılmıştır. Söz konusu radar çipi IPG0 ve IPG1 olarak adlandırılan iki adet RF transmit arayüzüne sahiptir. Kullanılacak olan transmitter dijital kayıt üzerinden seçilebilmektedir. Her bir arayüzün merkez frekansı yavaş, normal ya da hızlı olarak üç değişik değerde seçilebilmektedir. IPG0 ve IPG1 arayüzlerinin özellikleri aşağıdaki çizelgelerde (Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2) verilmiştir.

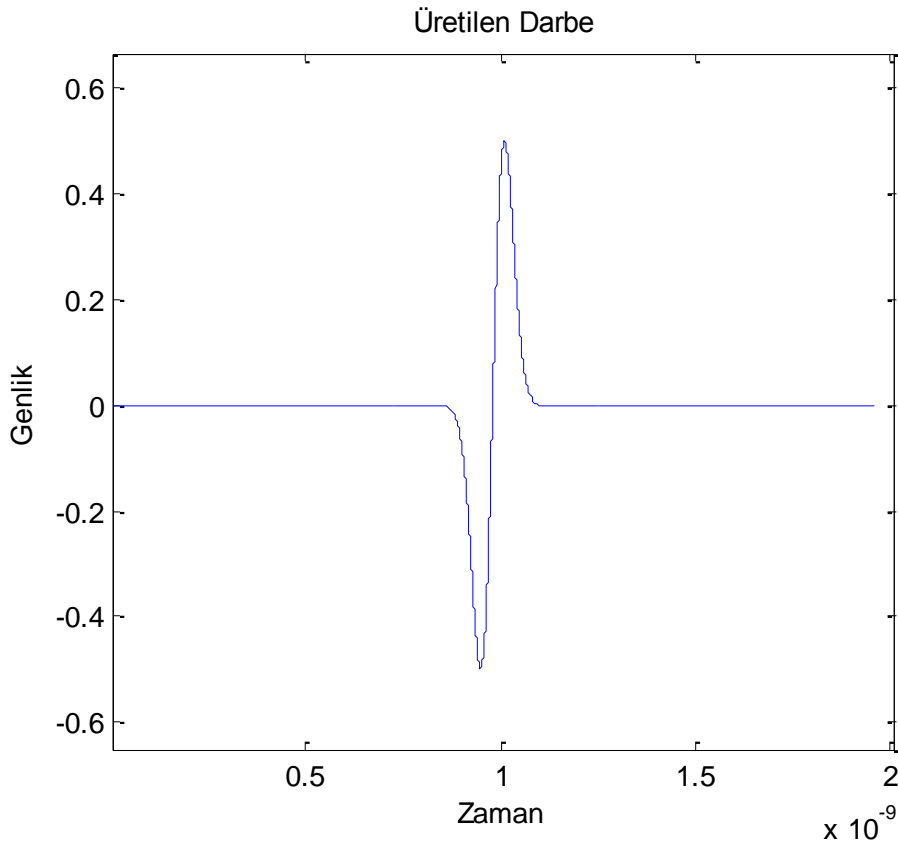
Çizelge 3.1 : IPG0 – Orta frekans darbe üreticinin özellikleri

Parametre	Minimum	Ortalama	Maksimum	Birim
Gauss darbesinin derecesi		1		
Yavaş mod -10dB alt kesim fr.	625	660	690	MHz
Normal mod -10dB alt kesim fr.	780	845	890	MHz
Hızlı mod -10dB alt kesim fr.	880	1060	1150	MHz
Yavaş mod -10dB üst kesim fr.	6960	7145	7300	MHz
Normal mod -10dB üst kesim fr.	9180	9550	9735	MHz
Hızlı mod -10dB üst kesim fr.	10300	10410	10600	MHz
TSP		65535		darbe

Çizelge 3.2 : IPG1 – Düşük frekans darbe üreticinin özellikleri

Parametre	Minimum	Ortalama	Maksimum	Birim
Gauss darbesinin derecesi		1		
Yavaş mod -10dB alt kesim fr.	420	435	440	MHz
Normal mod -10dB alt kesim fr.	445	450	460	MHz
Hızlı mod -10dB alt kesim fr.	480	485	495	MHz
Yavaş mod -10dB üst kesim fr.	3115	3165	3230	MHz
Normal mod -10dB üst kesim fr.	3490	3555	3635	MHz
Hızlı mod -10dB üst kesim fr.	3970	4065	4150	MHz
TSP		65535		darbe

Bu değerlerden yola çıkılarak, yapılan ölçümlerin tümünde IPG0 arayüzü ve normal merkez frekans ayarı tercih edilmiştir. Bu şekilde üretilen örnek darbenin zaman domenindeki gösterimi Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 : Örnek darbe

Şekil 3.1’de zaman domeninde gösterilmiş olan darbe, transmitterden gönderildiğinde havada ilerler ve bir yansıtıcı ile karşılaştıklarında geri yansır. Bu yansıyan dalgaları algılamak için sistemde özellikleri Çizelge 3.3 içinde verilmiş olan bir RF alıcı kullanılmaktadır.

Çizelge 3.3 : RF alıcı parametreleri

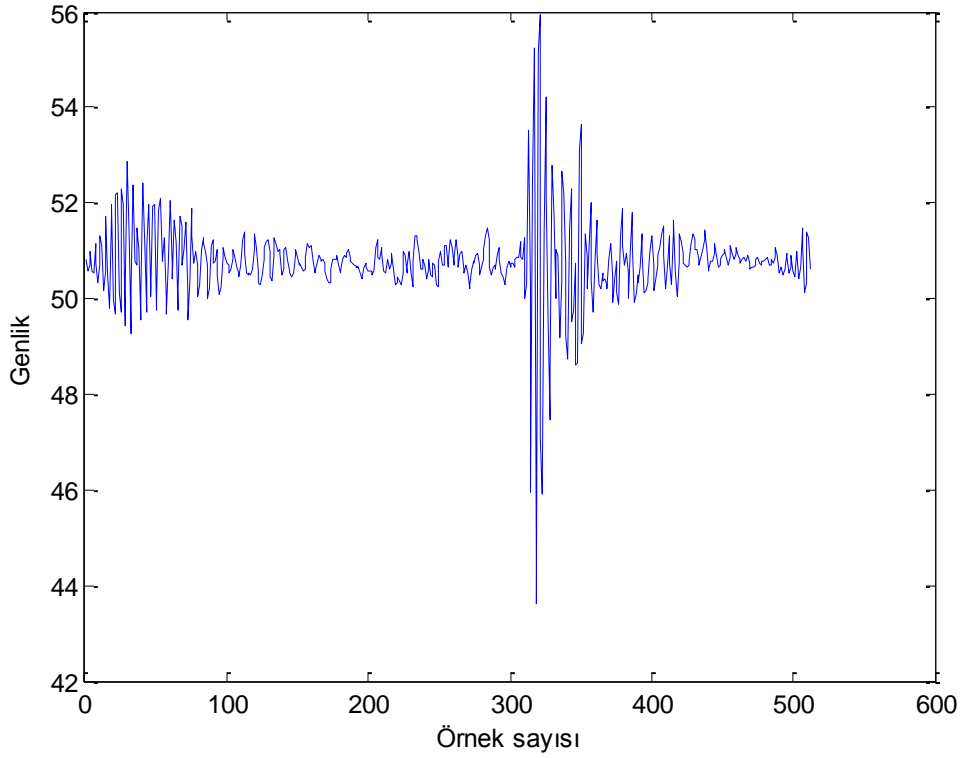
Parametre	Minimum	Ortalama	Maksimum	Birim
Çerçevedeki örnek sayısı		512		
Örnekleme hızı (SamplingRate=0)	35.5	39.0	41.0	GS/s
Örnekleme hızı (SamplingRate=1)	18.0	20.0	21.0	GS/s
Örnekleme hızı (SamplingRate=2)		3.8		GS/s
Sıcaklık katsayısı (SamplingRate=0)		-60		MS/s/°C
Sıcaklık katsayısı (SamplingRate=1)		-31		MS/s/°C
Sıcaklık katsayısı (SamplingRate=2)				MS/s/°C

Alıcı tarafından algılanan elektromanyetik işaretler çip aracılığıyla USB kablo ve Matlab programları kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılarak kaydedilmiştir. Bu tez kapsamında yapılan tüm ölçümler kaydedilerek daha sonra üzerinde çalışılmıştır, ancak ileride isteğe bağlı olarak özelleştirilecek bir DSP kartı ile yazılımsal olarak gerçekleştirilen işlemler donanımsal olarak ve eş zamanlı gerçekleştirmek mümkündür.

3.3 Ham veri

Yukarıda anlatılmış olan donanım aracılığı ile alınan veriler kaydedilmiştir. Bu verinin üzerinde çalışmaya başlamadan önce gösterimi açıklanacaktır.

Şekil 3.2’de bir çerçeve uzunluğundaki cevabın zaman- genlik düzleminde gösterimi verilmiştir.

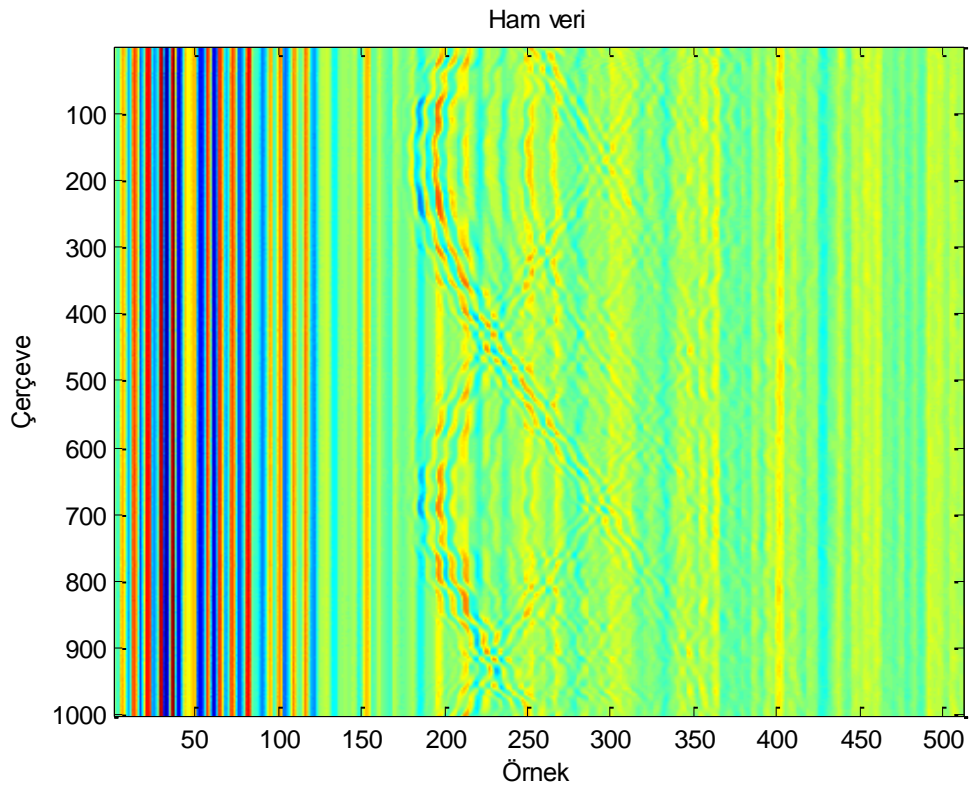


Şekil 3.2 : Alınan bir çerçeve cevabı

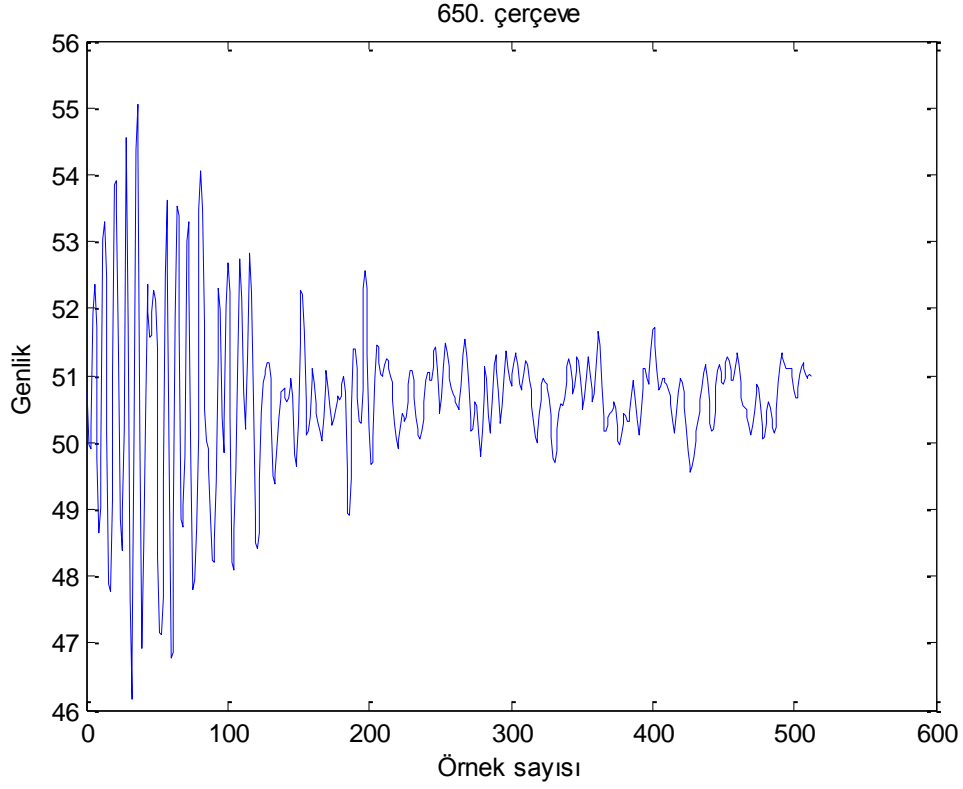
Şekil 3.2 üzerinde görüldüğü gibi en yakın mesafeye karşılık düşen ilk örneklerde yüksek, daha sonra çok düşük ve yaklaşık 320. örnek civarında çok yüksek genlikli işaretler alınmıştır. Tek çerçeveden takibin zor olması ve genliğin renk ile ifade edildiğinde daha rahat görülmesi sebebiyle alınan birden çok çerçevenin birlikte görülebildiği ve genliklerin renklerle ifade edildiği başka bir iki boyutlu gösterim şekli kullanılmıştır. Özellikle hareketli cisimlerin göz ile ayırt edilebilmesi açısından bu gösterim büyük kolaylık sağlamaktadır. Şekil 3.3, sistemin karşısında alüminyum folyo ile kaplanarak yansıtıcılıkları artırılmış ve dönmekte olan dört adet topun ölçümü alınmasını göstermektedir. Bu sistemden alınmış olan veriler Şekil 3.4 üzerinde görülebilmektedir. Şekil 3.5 ise bu verinin içinden yalnızca 650. satırın zaman-genlik gösterimini içermektedir. Burada görüldüğü gibi, çerçeve içinde hedeften yansımış olan sinyal ilk bakışta net olarak ayırt edilememektedir. Oysaki tüm verilere birden bakıldığında hareket eden hedefler oldukça ayırt edilebilir hale gelmektedir.



Şekil 3.3 : Ölçüm ortamı



Şekil 3.4 : Alınan 1000 adet çerçeve cevabının birlikte gösterimi



Şekil 3.5 : 650. çerçeve cevabı

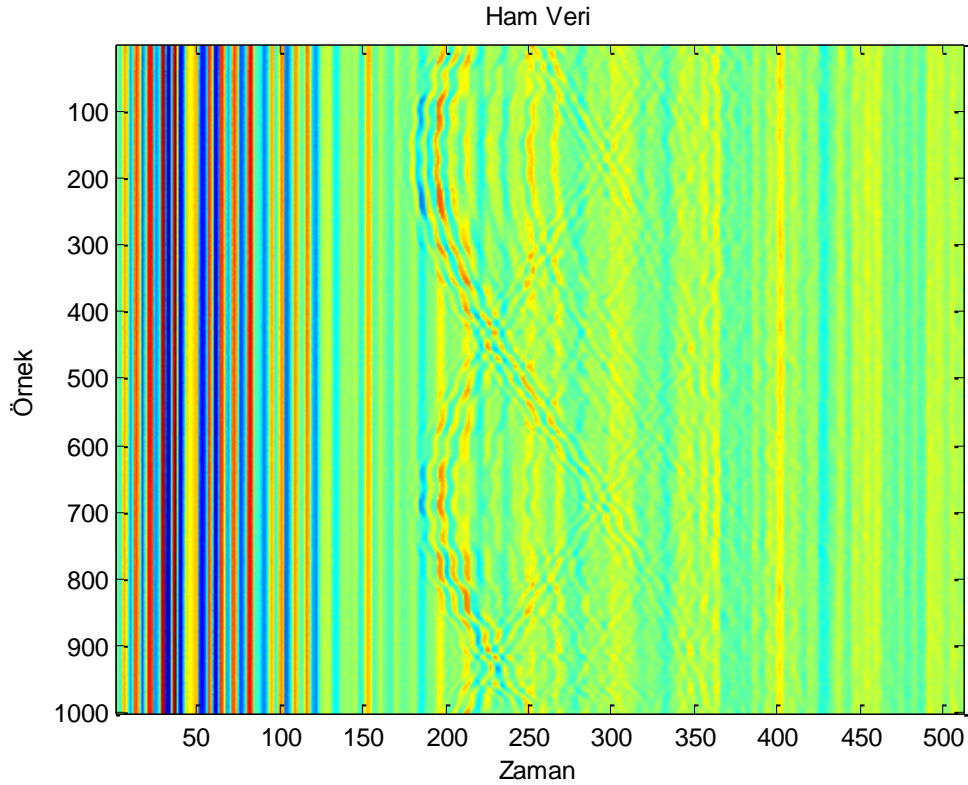
Bundan sonraki iki boyutlu çoklu veri gösterimlerinde Şekil 3.4 ile aynı düzen kullanılacaktır. Bu düzende daha önce de bahsedildiği gibi görülen her satır bir darbe cevabını göstermektedir. Satır içinde rengi kırmızı olan bölgeler en yüksek genlikli sinyali, maviye yakın bölgeler ise en düşük genlikli değeri göstermektedir.

4. SİNYAL ÖN İŞLEMESİ

4.1 Amaç

Radar sistemindeki alıcı antenlerden alınan sinyali kullanarak konumlandırma ve görüntüleme yapmadan önce veri üzerinde yapılan çeşitli işlemlerle başarıyı arttırmak mümkündür. Alıcıya gelen sinyalin içinde hedeften yansıyan darbenin yanı sıra ortam gürültüsü, çevredeki çeşitli kablosuz teknolojilerin yarattığı sinyaller gibi dış elektromanyetik dalgalar da bulunur. Bu işaretlerin sinyalden mümkün olduğunca temizlenmesi daha sonra yapılacak işlemlerde hata oranını azaltacaktır.

Bu bölümde sinyal üzerinde yapılabilecek çeşitli ön-işlemler anlatılmıştır. Bu ön işlemlerin gösteriminde Şekil 4.1'deki ham veri kullanılmıştır.



Şekil 4.1 : Ön işleme yapılacak ham veri.

Bundan sonraki iki boyutlu çoklu veri gösterimlerinde Şekil 4.1 ile aynı düzen kullanılacaktır. Bu düzende görülen her satır bir darbe cevabını göstermektedir. Satır içinde rengi kırmızı olan bölgeler en yüksek genlikli sinyali, maviye yakın bölgeler ise en düşük genlikli değeri göstermektedir.

Ön işleme sonuçlarının daha kolaylıkla görülebilmesi için hedefin hareketli ve birden çok olduğu bir seneryo üzerindeki sonuçlar gösterilmiştir. Bu senaryoda radar anteninden yaklaşık 1m uzaklıkta yavaşça dönmekte olan dört adet top bulunmaktadır. Başlangıçta çok net görülemeyen bu hedeflerin yapılan işlemler sonucunda daha kolay ayırt edilebilmesi amaçlanmıştır.

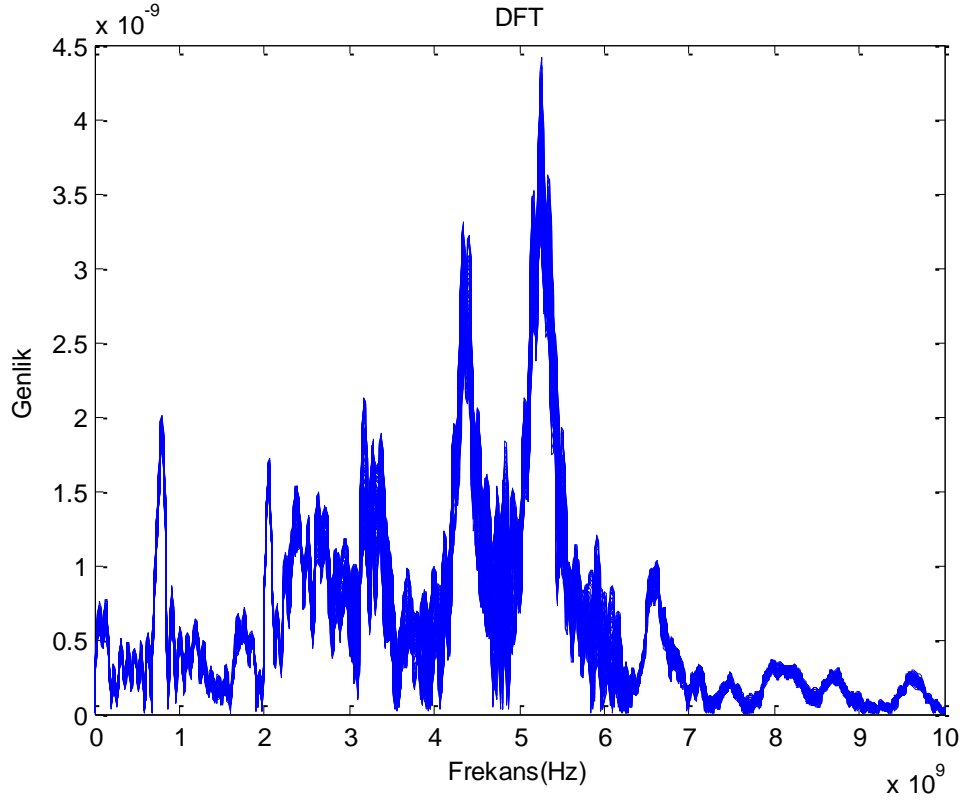
4.2 Filtreleme

Sinyalin filtrelenmesi oldukça temel bir ön-işleme işlemidir. Alıcı tarafından alınan sinyalin içinde hedeften yansıyan AGB darbe ile birlikte her frekansta gürültü ve ortamda bulunan diğer kablosuz teknolojilerin yaydığı farklı frekanslarda sinyaller olacaktır. Veri üzerinde işlem yapılmadan önce ilgilenilen frekans bandının dışında kalan frekans bölgesinin temizlenmesi daha sonraki işlemlerde kolaylık sağlayacağından önemli bir adımdır.

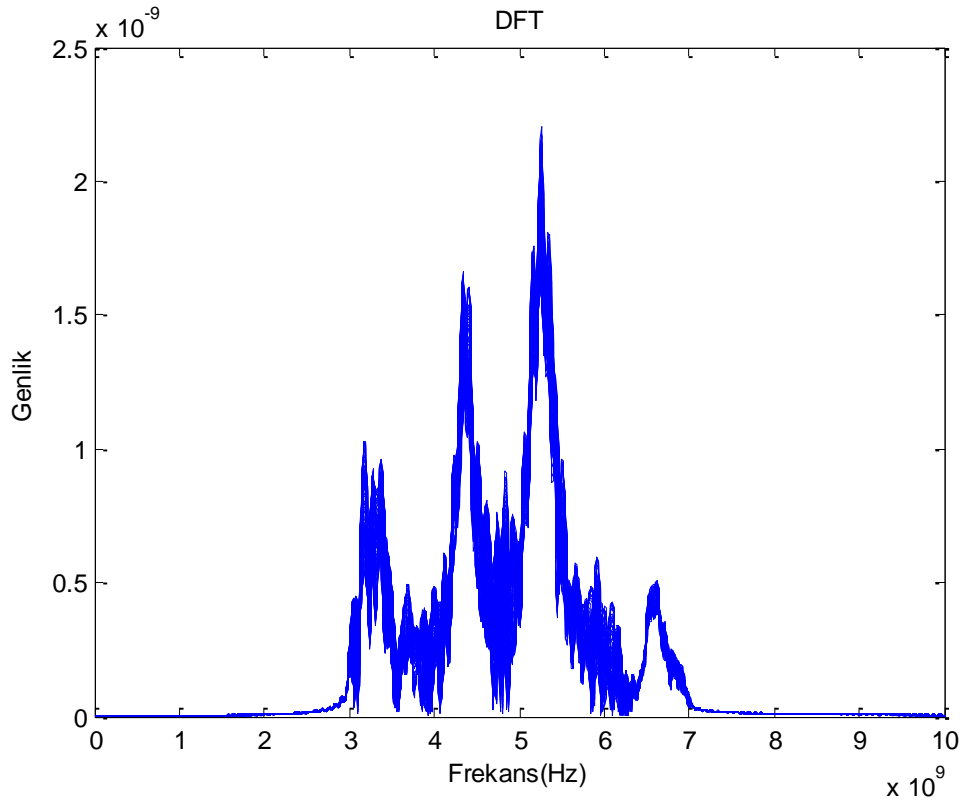
İşaretin filtrelenmeden önce Ayrık Fourier Dönüşümü(AFD / DFT) ile elde edilmiş olan 0-10GHz arası frekans spektrumu (Şekil 4.2)'de gösterilmiştir. Bu frekans spektrumundan da görüldüğü üzere, alıcı tarafından alınmış olan işaret 3-7 GHz bandı dışında birçok frekans bileşenine sahiptir.

Bu adımda bir dijital band geçiren filtre kullanılarak alıcıda alınan işaretin 3 GHz ile 7 GHz frekansları dışında kalan frekans bileşenleri sıfırlanmıştır. Bu filtreleme işleminden sonra elde edilen sinyal zaman domeninde (Şekil 4.3)'te ve frekans domeninde (Şekil 4.4)'te gösterilmiştir.

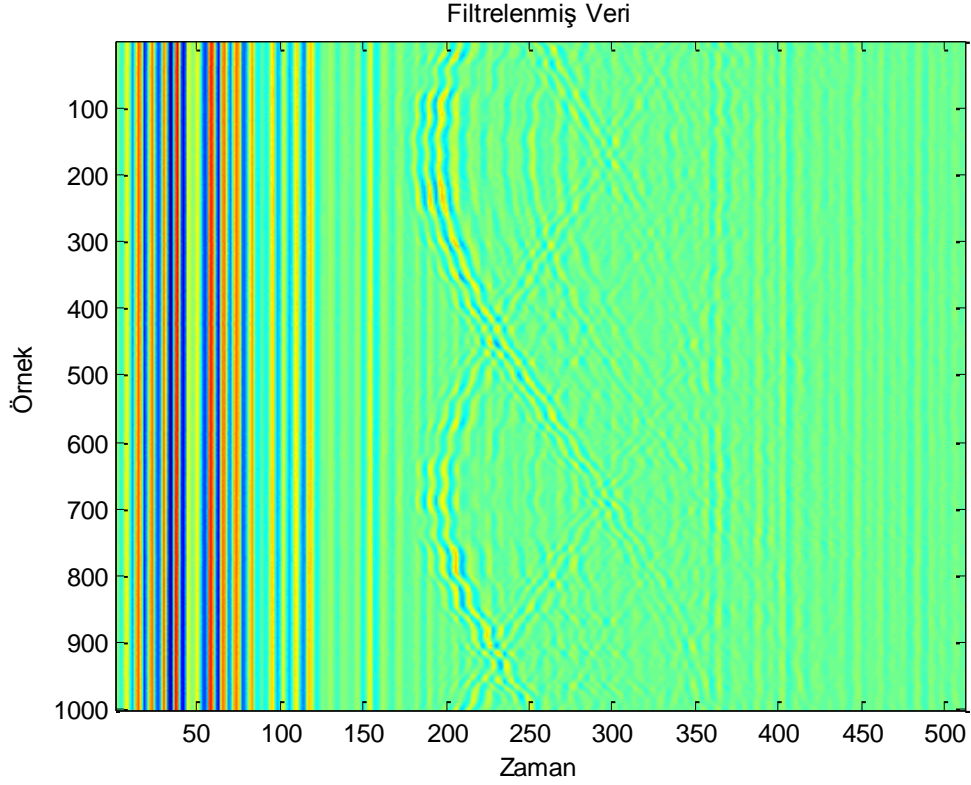
Filtreleme işleminden sonra elde edilen sonuçta görüldüğü gibi işlem sayesinde arka planda görülen birçok genlik elimine edilmiştir. Özellikle çalışılan frekans bandı dışarısında kalan GSM (900MHz,1800MHz), Wi-Fi (2.4GHz) gibi kablosuz iletişim teknolojilerinin yarattığı sinyallerin filtrelenmesi, daha sonra yapılacak olan hedef deteksiyon işleminde oluşacak problemlerin bir kısmını önlemesi açısından önemli bir adımdır.



Şekil 4.2 : Ayrık Fourier Dönüşümü sonucu frekans spektrumu.



Şekil 4.3 : Filtreleme sonucu frekans spektrumu.



Şekil 4.4 : Filtreleme sonucu.

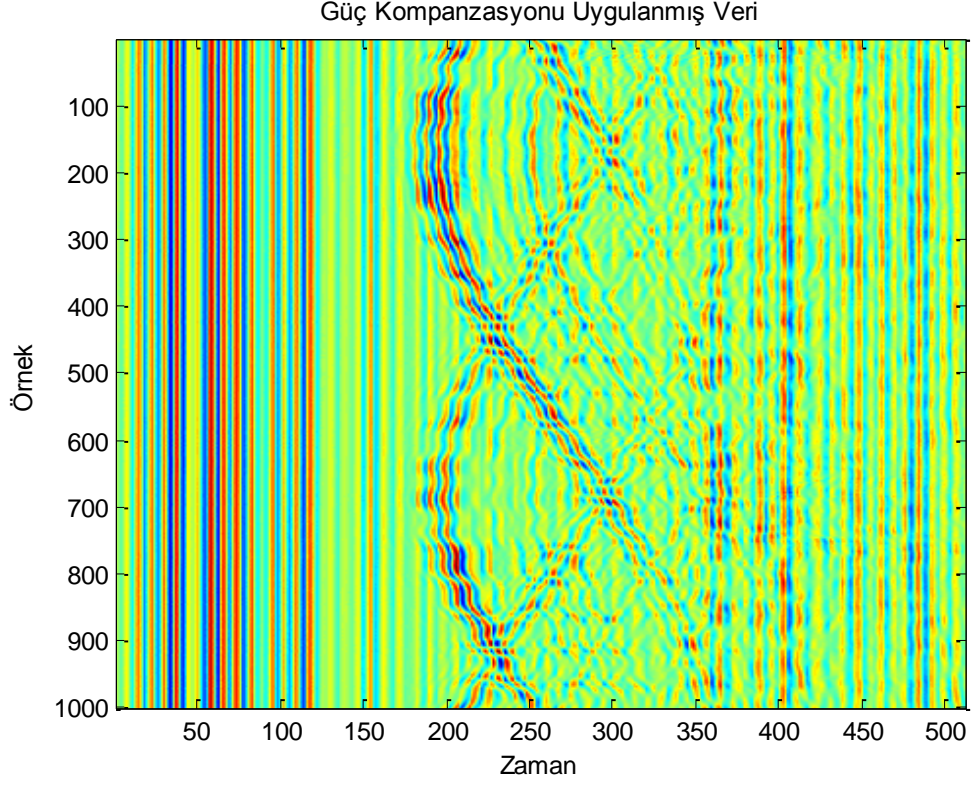
4.3 Güç Kazanç Kompanzasyonu

Elektromanyetik dalgalar uzayda yayılırken güçleri azalır. Alınan gücün uzaklığa bağlı ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$P_r = \frac{P_t G_t A_r \sigma F^4}{(4\pi)^2 R^4} \quad (4.2)$$

P_r alınan sinyal gücü, G_t anten kazancı, A_r alıcı antenin açıklığı, σ radar kesit alanı, F yayılım katsayısı ve R hedefin antenden uzaklığıdır. Hedefin alıcıya olan uzaklığı vericiye olan uzaklığına eşit kabul edilmiştir.

Buradan da görüldüğü gibi, gelen dalga'nın gücü uzaklığın dördüncü kuvvetiyle azalma göstermektedir. Bu azalmayı kompanze etmek amacıyla uzaklığın karesi oranında bir çarpım işlemi uygulanmıştır(Şekil 4.5).



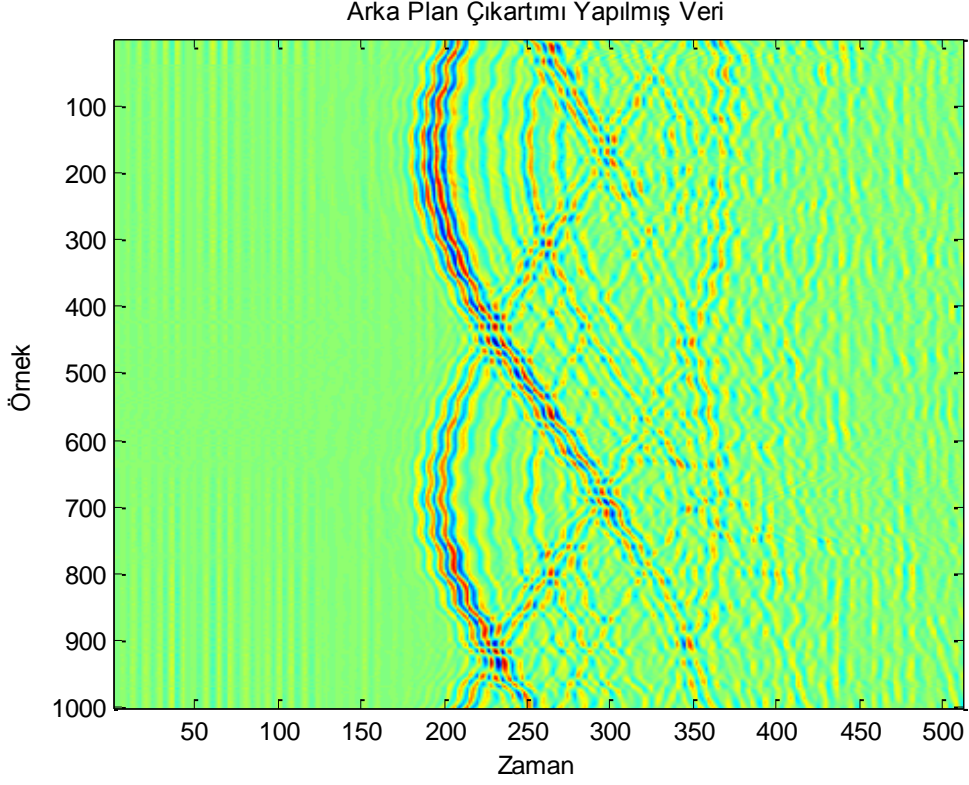
Şekil 4.5 : Güç kompanzasyonu işlemi sonucu.

Güç kompanzasyonu işlemi sonucunda hedef uzaklaştıkça genlikte oluşan azalmanın etkileri azaltılmıştır. Bu işlem sonucunda hedeften yansıyan sinyalin yanında uzak bölgedeki parazit yansımaların ve gürültünün de kuvvetlendirilmesi kaçınılmazdır. Kuvvatlendirilmiş olan parazit sinyalin çıkartımı bu sebeple oldukça önemlidir.

4.4 Arka Planın Çıkarımı

Arka plan çıkarımının amacı, parazit yansımaların bastırılarak hedefin görünürlüğünü yükseltmesidir. Bu adımda eğer hedefin hareketli olduğu biliniyorsa, hareket etmeyen arka plan sezilip sinyalden çıkarılarak temiz bir sinyal elde etmek mümkün olur (Şekil 4.6).

Hedefin hareketli olup olmadığının bilinmediği durumda ise arka plan tüm alınan işaretlerin ortalaması alındıktan sonra hesaplanan gürültü değerine bağlı olarak her bir nokta için işaret/gürültü oranının (SNR) hesaplanıp belirli bir değerden aşağıda olan kısmın arka plan gürültüsü olarak kabul edilmesi ile yapılabilecek bir arka plan çıkarımından bahsedilebilir.



Şekil 4.6 : Arka plan çıkartımı işlemi sonucu.

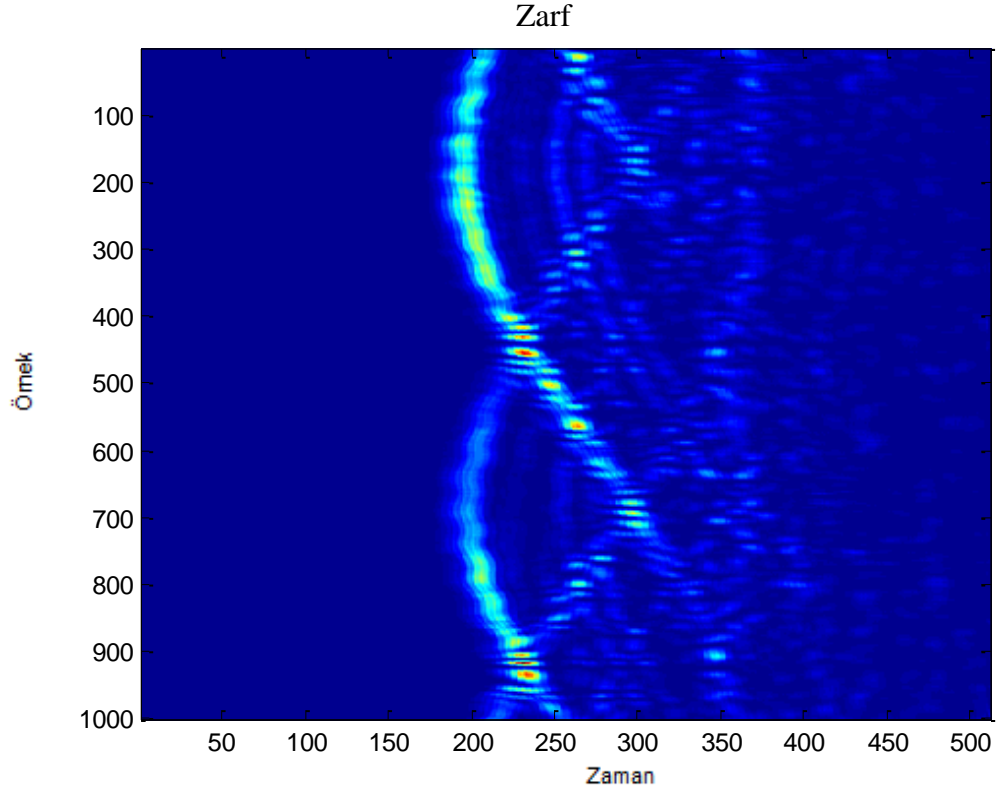
4.5 Dekonvolüsyon

Anten ve radar sisteminin impuls cevabının etkisinin alıcıdan alınmış sinyalden çıkartılması ön-işlemenin anahtar bir adımıdır. Bu konuda önerilmiş bir çok metod bulunmaktadır [11-14]. [13] numaralı kaynakta bu algoritmaların karşılaştırılmaları da bulunabilir.

Sistemin impuls cevabı alınan işareten dekonvolüsyon yöntemiyle çıkartılırsa, oldukça odaklanmış bir görüntü elde edilir.

4.6 Zarf Alma

Zarf alma işlemi temelde işaretin tepe noktalarından geçen bir çizgi bulunması olarak tanımlanabilir. İşaret zarfı sinyal gücünün arttığı ve azaldığı noktaların işlemede daha kolay görülmesi için oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Zarf alma yöntemi olarak tezde karesi alınarak negatif komponentleri pozitif hale gelen sinyal alçak geçiren filtreden geçirilmiştir. Bu sayede sinyal gürültüden kolaylıkla ayırt edilebilir hale gelmiştir(Şekil 4.7).



Şekil 4.7 : Zarf alma işlemi sonucu.

5. ÜÇ BOYUTLU HEDEF KONUMLANDIRMA

Hedef konumlandırma için yapılması gereken işlemler iki ana başlıkta toplanabilir. Bunlardan ilki, alıcı sinyaldeki zamana bağlı genlik bilgisinin uzaklık bilgisine çevrilmesidir. Bu işlemi yapan metodlar migrasyon algoritmaları olarak bu bölümde ele alınmıştır.

5.1 Zamansal – Uzamsal Büyüklük Dönüşümü

Radar verilerinden görüntü elde etme çalışmalarının temelinde zaman düzlemindeki genlik bilgilerinin uzamsal düzlemdeki derinlik bilgisine doğru olarak dönüştürülmesi işlemi vardır. Bu işlem ne kadar doğru şekilde yapılırsa konumlandırma o kadar doğru şekilde elde edileceği aşikardır. Bu işlem çeşitli metodlarla yapılabilir. Bu metodlar geri izdüşüm ve geri yayılım algoritmaları olarak iki ana gruba toplanabilir. Geri izdüşüm yöntemleri, geleneksel migrasyon algoritmalarını barındıran gruptur. Genellikle geometrik yaklaşımı kullanarak çözüm bulmaya yönelik yöntemlerdir. Örnek olarak SAR görüntüleme algoritması ve kırılım toplama algoritmaları gibi basit algoritmalar sayılabilir. Bu algoritmalar geometrik olarak konumlandırma ve odaklama yapabilirler, ancak dalga denklemini kullanılmadığı için hedefin elektromanyetik özellikleri konusunda bilgi vermezler.

Geri yayılım algoritmaları ise elektromanyetik dalga denklemini kullanarak çözümü bulmaktadırlar. Bu algoritmalara örnek olarak Kirchoff migrasyonu ve geleneksel olmayan SAR algoritmaları verilebilir. Bu algoritmalar, hedefin dielektrik özellikleri hakkında daha çok bilgi verebilirler. Ters problem çözümü yöntemi ile yani alınan sinyale bakarak yansıtıcının parametrelerinin kestirilmesi ile yapılan migrasyon da hedefin özellikleri hakkında daha çok bilgi veren ancak işlem karmaşıklığı oldukça yüksek olan bir yöntemdir. Bu tez kapsamında amaç üç boyutlu konumlandırma ve eşzamanlı sonuç gösterimi amaçlandığı için avantajlarına rağmen bu dalga denkleminin geriye doğru çözümüne dayanan ve integral denklem içeren uygulamalar kapsam dışı bırakılmıştır.

Tüm bu tekniklerde Born Yaklaşımı olarak bilinen bir yaklaşım kullanılmaktadır. Buna göre, saçıcının içindeki alanın başka saçıcılarla arasında oluşan etkileşimi ihmal edilerek elektromanyetik saçılma problemi lineerleştirilmektedir.

Tez kapsamında incelenmiş olan yaygın migrasyon algoritmaları aşağıda açıklanmıştır.

5.1.1 Geometrik migrasyon

Bistatik migrasyon kullanılarak yapılan SAR görüntüleme dalga'nın gidiş-dönüş süresinin hesaplanması gerekir. Hedef noktası $(x_{hedef}, y_{hedef}, z_{hedef})$ ve gönderici anten konumu (x_g, y_g, z_g) olarak gösterildiğinde dalga'nın gidiş süresi:

$$T_{gidiş} = \frac{\sqrt{(x_g - x_{hedef})^2 + (y_g - y_{hedef})^2 + (z_g - z_{hedef})^2}}{v} \quad (5.1)$$

Alıcı antenin konumu (x_a, y_a, z_a) ile gösterilirse,

$$T_{dönüş} = \frac{\sqrt{(x_a - x_{hedef})^2 + (y_a - y_{hedef})^2 + (z_a - z_{hedef})^2}}{v} \quad (5.2)$$

ve

$$T_{toplam} = T_{gidiş} + T_{dönüş} \quad (5.3)$$

olacaktır. Denklemlerde v dalga hızıdır. Bu tez kapsamında incelenecek sistemlerde dalga yayılım ortamı olarak hava kullanıldığından, uzaydaki elektromanyetik dalga hızı olan c ışık hızı kullanılacaktır. Gidiş-dönüş yolunun homojen ortam olduğu kabulüyle dalga hızının değişmediği göz önüne alınırsa, alınan sinyaldeki her hangi bir anda oluşan genliğin belirli bir uzaklıktaki noktalardan alınan yansımanın toplamı olduğu söylenebilir. Bu durumda eğer alınan sinyali $S(A, k)$ olarak gösterirsek, uzamsal düzlemde hesaplanacak her bir noktanın değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$I(x_T, y_T, z_T) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N S_n(A, k = T_{toplam_n}) \quad (5.4)$$

Denklemden $I(x_T, y_T, z_T)$ incelenen hacimdeki hedef aranan her bir noktayı gösterir. N alıcı anten sayısını, $S_n(A, k = T_{toplam_n})$ n. antenin T_{toplam_n} anında almış olduğu sinyalin genliğini göstermektedir.

5.1.2 Kirchoff migrasyonu

Kirchoff migrasyonu temel olarak skaler dalga denkleminin çözümüne dayanmaktadır. İşlemsel karmaşıklığı SAR – Geometrik migrasyon tekniği ile eşit olmasına karşın dalga denkleminin çözümünde türev alma işlemi bulundurduğundan işlem zamanı açısından SAR migrasyonundan daha dezavantajlıdır. Yöntemin matematiksel anlatımı Margrave tarafından ayrıntılı olarak açıklanmıştır [14].

5.1.3 Stolt migrasyonu

Bu migrasyon algoritması, dalga denkleminin frekans domeninde çözülebilmesine dayanır. Bu algoritmanın detayları Stolt tarafından oldukça detaylı bir şekilde açıklanmıştır [15]. Bu migrasyon tekniği frekans domeninde işlem yapma esasına dayanması sebebiyle diğer tekniklere göre daha az işlem karmaşıklığına sahiptir ancak hata olasılığı daha yüksektir [16].

5.1.4 Ters problem

Ters problemin çözümü hem hedefin konumunu hem de fiziksel parametrelerini bulmaya yönelik bir yöntemdir. Temelde basit bir görüntüleme algoritması ile hedefin başlangıç parametrelerinin kestirilmesi ve sonrasında da hedefin fiziksel parametrelerinin ve konumunun tam olarak bulunması amaçlanmaktadır. Ters problem çözümü ile yapılan Kirchoff algoritmasında yapılmaya çalışılanın tam tersidir. Ters problemde kısmi diferansiyel denklemleri çözmek yerine bilinen bir kaynağa verdiği cevap bilinirken söz konusu diferansiyel denklemin katsayılarını kestirme işlemi vardır. Her ne kadar çok bilgi veriyor olsa da işlemsel karmaşıklığı çok yüksektir ve arama-kurtarma çalışmaları gibi eşzamanlı uygulamalarda kullanılmaya elverişli değildir[17].

5.1.5 Migrasyon algoritmalarının karşılaştırılması

Migrasyon algoritmaları zamanda örneklenmiş olan genliklerin karşılık düştüğü derinlik bilgisine çevirirler. Bu algoritmaların çeşitli kaynaklarda karşılaştırmaları mevcuttur [16, 18].

Bu karşılaştırma sonuçlarına bakıldığında Kirchoff migrasyonu ve SAR geometrik migrasyon tekniklerinin Stolt yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiği ancak işlem karmaşıklıklarının daha yüksek olduğu görülür. Boş alandaki ölçümlerde tüm algoritmalar oldukça iyi sonuç verirken, bu algoritmaları özellikle duvar arkası görüntüleme için literatürde bulunan çeşitli iyileştirmelerden yararlanmak gerekir.

Bu tez çalışmasında önerilen konumlandırma algoritması içerisinde implementasyon kolaylığı nedeniyle SAR geometrik migrasyon tekniği kullanılmıştır. Bunun yanında konumlandırma algoritması migrasyon tekniklerine birebir bağımlı değildir, zaman domeninden uzamsal büyüklüğe geçiş için her hangi bir yöntemi kullanmak mümkündür.

5.2 SNR – Olasılık İlişkisi

Alıcı antenden alınmış sinyaller ön işlemlerden geçirildikten sonra genlik bilgileri zamansal düzlemden uzamsal düzleme dönüştürülmüştür. Bundan sonra yapılması gereken işlem ise genlik bilgilerinin olasılık büyüklüğüne çevirilmesidir.

5.2.1 Gürültülü ortamda modelleme

Bir radar sisteminde algılama durumu, hedeften yansıyan sinyalin ve o anda alınmış olan gürültünün toplamının seçilen eşik değeri geçtiği durum olarak tanımlanır.

$$s(t) + n(t) > V_T \quad (5.5)$$

Denklemden $s(t)$ hedeften yansıyan sinyali, $n(t)$ gürültüyü işaretini ve V_T seçilmiş olan eşik değerini göstermektedir.

Yanlış alarm durumu ise ortamdaki sinyalin seçilmiş olan eşik değeri geçmesi durumunda ortaya çıkar.

$$n(t) > V_T \quad (5.6)$$

Hedeften yansıyan sinyalin alınan sinyal içinde var olmasına karşın eşik değerden küçük olması durumunda kaçırma durumu oluşur.

$$s(t) + n(t) < V_T \quad (5.7)$$

Alınan sinyalin ilk bant geçiren filtreden geçirilmesinin ardından bileşenleri, hedef olmadığı durumda aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$V_I(t) = n_I(t) \quad (5.8)$$

$$V_Q(t) = n_Q(t)$$

Hedefin var olduğu durumda ise hedeften yansıyan sinyal A genliğinde bir sinüs dalgası olsun. Bu durumda çıkış işaretinde bu işaret ile gürültünün toplamı görünecektir.

$$V_I(t) = A + n_I(t) = r(t)\cos\varphi(t) \quad (5.9)$$

$$V_Q(t) = n_Q(t) = r(t)\sin\varphi(t)$$

Burada gösterilmiş olan $n_I(t)$ ve $n_Q(t)$ komponentleri bağımsız sıfır ortalamalı ve ψ^2 varyanslı Gauss değişkenleri olarak modellenmiştir. Birleşik olasılık yoğunluk fonksiyonu,

$$\begin{aligned} f(n_I, n_Q) &= \frac{1}{2\pi\psi^2} e^{\left(-\frac{n_I^2 + n_Q^2}{2\psi^2}\right)} \\ &= \frac{1}{2\pi\psi^2} e^{\left(-\frac{(r\cos\varphi - A)^2 + (r\sin\varphi)^2}{2\psi^2}\right)} \end{aligned} \quad (5.10)$$

Bu denklemde $r(t)$ ve $\varphi(t)$ sırasıyla işaretin genlik ve faz bileşenlerini gösterir. $r(t)$ ve $\varphi(t)$ değişkenlerinin birleşik olasılık yoğunluk fonksiyonuna geçmek için Jacobian matrisinin determinanı ile çarpım işlemi yapmak gerekir.

$$f(r, \varphi) = f(n_I, n_Q)|J| \quad (5.11)$$

Jacobian matrisi aşağıdaki gibi bulur.

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial n_I}{\partial r} & \frac{\partial n_I}{\partial \varphi} \\ \frac{\partial n_Q}{\partial r} & \frac{\partial n_Q}{\partial \varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\varphi & -r\sin\varphi \\ \sin\varphi & r\cos\varphi \end{bmatrix} \quad (5.12)$$

Bu matrisin determinanı,

$$\begin{aligned} |J| &= (\cos\varphi * r\cos\varphi) - (-r\sin\varphi * \sin\varphi) \\ &= r(\cos^2\varphi + \sin^2\varphi) = r(t) \end{aligned} \quad (5.13)$$

Buradan birleşik olasılık dağılım fonksiyonunu tekrar yazarsak,

$$f(r, \varphi) = \frac{r}{2\pi\psi^2} e^{\left(\frac{-r^2+A^2}{2\psi^2}\right)} e^{\left(\frac{-rA\cos\varphi}{\psi^2}\right)} \quad (5.14)$$

olacaktır. Genlik işaretinin tek başına olasılık dağılım fonksiyonunu elde etmek için yukarıdaki ifade φ üzerinden integre edilir ve sonunda aşağıdaki denkleme ulaşılır.

$$f(r) = \frac{r}{\psi^2} I_0\left(\frac{Ar}{\psi^2}\right) e^{\left(\frac{A^2+r^2}{2\psi^2}\right)} \quad (5.15)$$

Denklemden I_0 sıfırıncı dereceden Bessel fonksiyonunu göstermektedir. Bu denklemlerle $A/\psi^2 = 0$ olduğu durumda Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonu, A/ψ^2 terimi çok büyük olduğunda ise Gauss olasılık yoğunluk fonksiyonu elde edilir. Şimdi bu çıkarımı kullanarak olasılık ve yanlış alarm oranı bulunabilir.

5.2.2 Yanlış alarm olasılığı

Yanlış alarm olasılığı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$P_{fa} = \int_{V_T}^{\infty} \frac{r}{\psi^2} e^{\left(\frac{-r^2}{2\psi^2}\right)} dr = e^{\left(\frac{-V_T^2}{2\psi^2}\right)} \quad (5.16)$$

Kullanılacak eşik genlik değeri de yanlış alarm olasılığına bağlı olarak şu şekilde ifade edilir:

$$V_T = \sqrt{2\psi^2 \ln\left(\frac{1}{P_{fa}}\right)} \quad (5.17)$$

5.2.3 Algılama olasılığı

Algılama olasılığı aşağıdaki denklemlerle bulunabilir.

$$P_D = \int_{V_T}^{\infty} \frac{r}{\psi^2} I_0\left(\frac{Ar}{\psi^2}\right) e^{\left(\frac{A^2+r^2}{2\psi^2}\right)} dr \quad (5.18)$$

4.17 denklemini Q fonksiyonu cinsinden yazarsak:

$$P_D = \int_{\sqrt{2\psi^2 \ln\left(\frac{1}{P_{fa}}\right)}}^{\infty} \frac{r}{\psi^2} I_0\left(\frac{Ar}{\psi^2}\right) e^{\left(\frac{A^2+r^2}{2\psi^2}\right)} dr \quad (5.19)$$

$$= Q\left[\sqrt{\frac{A^2}{\psi^2}}, \sqrt{2\psi^2 \ln\left(\frac{1}{P_{fa}}\right)}\right]$$

Q, Marcum'un Q fonksiyonunu işaret etmekle birlikte, Matlab içinde Parl tarafından önerilmiş olan algoritma ile gerçekleştirilmiştir [19]. Algoritma, [20] no'lu kaynaktan uyarlanmıştır. Bu algoritmaya göre Q fonksiyonu aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$Q[a, b] = \begin{cases} \frac{\alpha}{2\beta} e^{\left(\frac{(a-b)^2}{2}\right)}, & a < b \\ 1 - \left(\frac{\alpha}{2\beta} e^{\left(\frac{(a-b)^2}{2}\right)}\right), & a \geq b \end{cases} \quad (5.20)$$

5.3 Önerilen Algoritma

Tez kapsamında üç boyutlu uzayda hedef bulunma olasılığının atanması ve görüntülenmesi için bir algoritma önerilmiştir. Üç boyutlu uzayın istenilen çözünürlükte dikdörtgen prizmalara bölünmesi ve bu prizmaların içinde bir hedefin olma olasılığının hesaplanarak kutucuğa atanması amaçlanmıştır.

5.3.1 Akış diyagramı

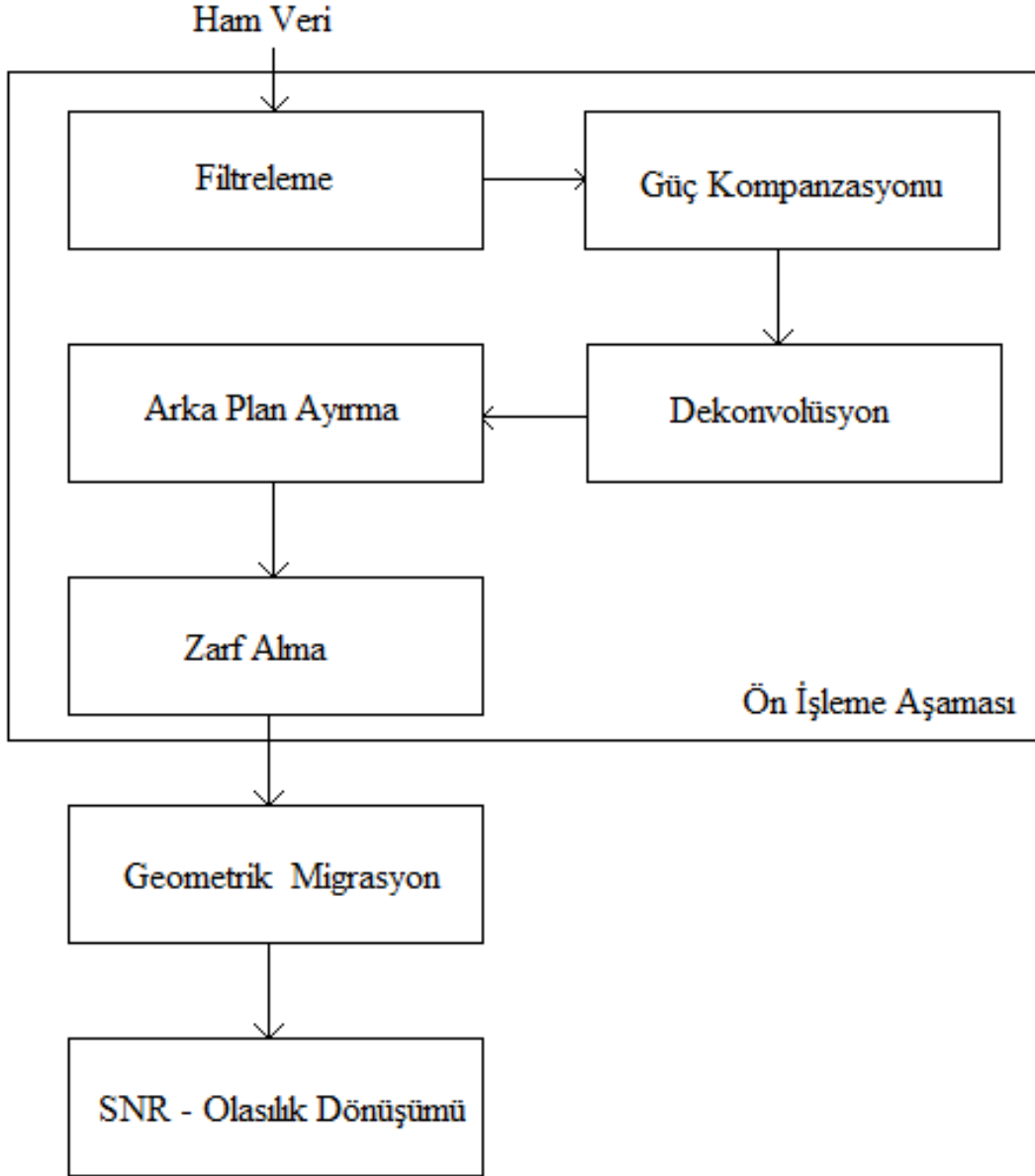
Tüm programı iki adımda ele almak mümkündür. İlk adım verinin hazırlanması işlemlerini içeren bloktur. Bu adımda ön işleme, migrasyon ve SNR-olasılık dönüşümü yer almaktadır. Kısaca bu kısım alıcıdan alınan ham verinin işlenerek, mümkün olduğunca temizlenip derinliğe bağlı olasılık bilgisine dönüştürülmesi olarak ele alınabilir. (Şekil 5.1)

Programın ikinci bölümünde ise daha önce bulunmuş olan derinliğe bağlı olasılık bilgilerini maksimum doğrulukta üç boyutlu hacime yerleştirme işlemi vardır. Bu bölümün akış diyagramı Sekil 5.2'de verilmiştir.

5.3.2 Programın girdileri

Alıcılardan gelen sinyaller, alıcıların koordinatları, filtrelenecek frekans aralığı (alt ve üstü sınır), radarın (varsa) zaman ofset değeri, iki örnekleme arası süre, x

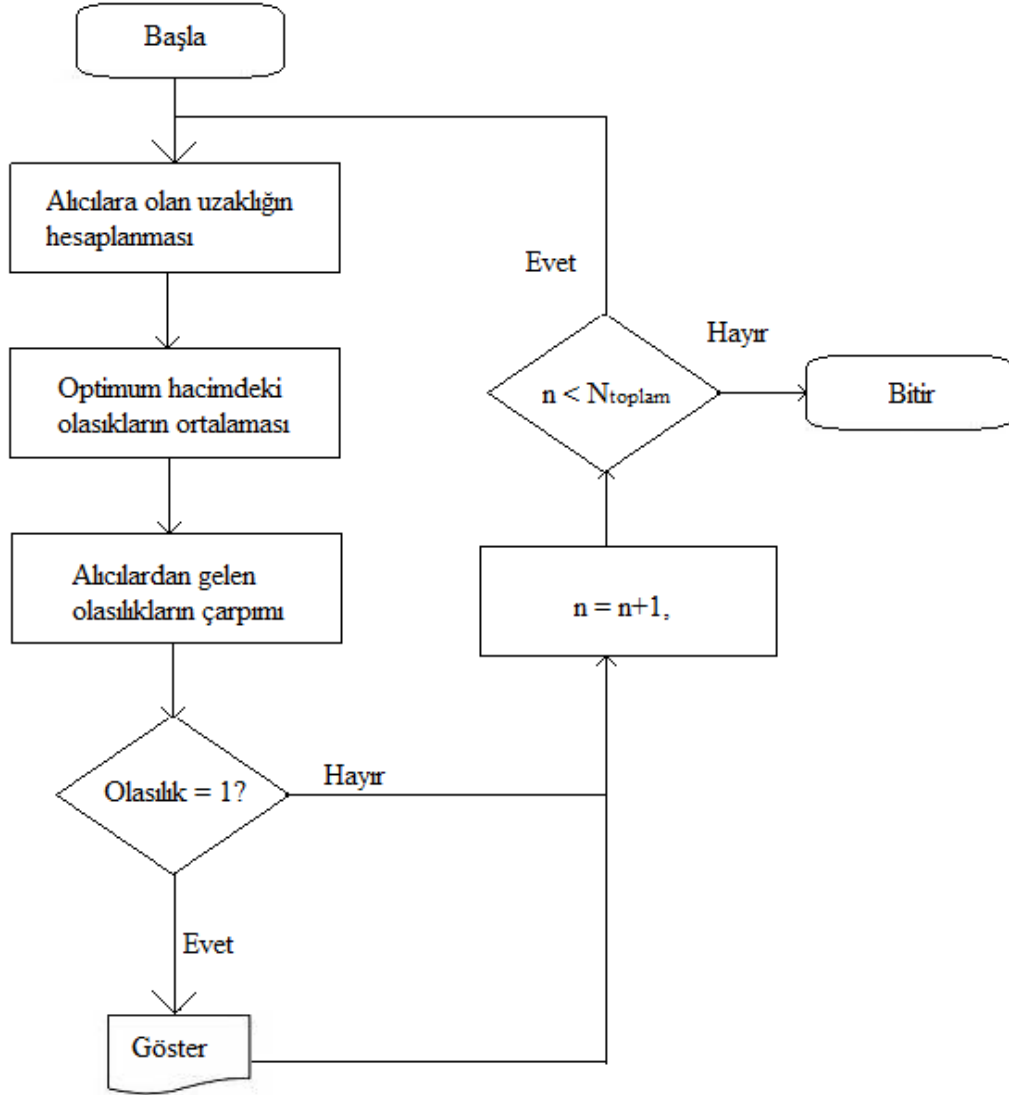
çözünürlüğü, y çözünürlüğü ve z çözünürlüğü, x y ve z düzlemlerindeki menzil, yanlış alarm oranı büyüklükleri sistem girdisi olarak kullanılmaktadır.



Şekil 5.1 : Akış diyagramı 1.

5.3.3 Programın çıktıları

Hesaplanan tüm ön işlem sonuçları, SNR, olasılık değerleri, olasılığı 1 olarak bulunan noktaların koordinatları sistemin çıktılarıdır.



Şekil 5.2 : Akış diyagramı 2.

5.3.4 Algoritmanın avantajları

Bu algoritmanın en önemli özelliği alıcıdaki sinyale göre alıcı antenin menzilineki tüm hacmi istenen çözünürlükte tarayabilmesidir. Çözünürlük azaltılarak istenildiğinde kısa bir işlem süresi ile hedef pozisyonu bulunabilirken, istenildiğinde büyük çözünürlükle taranan hacimdeki küçük birim hacimlerden hedefin şekli de belirlenebilecektir.

Algoritma 512 örneklili bir darbe cevabını tüm ön işleme de dahil olmak üzere, x, y ve z düzlemlerinde 4m menzilli alanda 10cmx10cmx10cm çözünürlüklü küpler ile yapılan bir olasılık atama işlemini Intel i3 2.53GHz işlemci üzerinde 4 saniyeden daha kısa bir sürede tamamlamaktadır.

5.3.5 Algoritmanın kısıtlamaları

İşlem süresini ve karmaşıklığını azaltmak amacıyla her bir birim hacmin olasılığı hesaplanırken alıcı ile hacmin orta noktası arasındaki uzaklıktan $\pm\Delta d$ kadar olan uzaklıkların olasılığı göz önüne alınarak söz konusu hacime olasılık ataması yapılmıştır. Δd aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Delta d = k \sqrt{\frac{3a^2}{4}} + (1 - k) \frac{a}{2} \quad (5.21)$$

Burada a değişkeni kullanılacak küpün bir kenarının uzunluğunu, k ise hesaplama yapılırken hacimlerin ne kadar üstüste bineceğini belirleyen bir katsayıyı göstermektedir. Burada hacimsel olarak birim hacim başına yapılan hata aşağıdaki gibi bulunur.

$$\begin{aligned} E_{dış} &= 6 \int_{\frac{a}{2}}^{\Delta d} \pi(\Delta d - x)^2 dx \\ &= 6\pi \int_{\frac{a}{2}}^{\Delta d} (\Delta d - x)^2 dx \\ &= 6\pi \left| \frac{(\Delta d - x)^3}{3} \right|_{\frac{a}{2}}^{\Delta d} \\ &= 6\pi \left| \frac{(\Delta d - \Delta d)^3}{3} \right| - 6\pi \left| \frac{\left(\frac{a}{2} - \Delta d\right)^3}{3} \right| \\ &= 6\pi \left| \frac{\left(\frac{a}{2} - \Delta d\right)^3}{3} \right| \end{aligned} \quad (5.22)$$

Yukarıdaki denklemde $E_{dış}$, Δd yüzeyli kürenin a kenarlı küpten dışarı taşan hacminin ifadesidir. Bu ifadeyi bulduktan sonra, yapılan yaklaşıklıkta dolayı, Δd birim hacmin orta noktasından köşesine olan uzaklıktan küçük olması durumunda oluşan ikinci hata türünün ifadesi de aşağıdaki gibi bulunur.

$$\begin{aligned}
E_{i\check{c}} &= a^3 - \left(\frac{3\pi\Delta d^3}{4} - \int_{\frac{a}{2}}^{\Delta d} \pi(\Delta d - x)^2 dx \right) \\
&= a^3 - \left(\frac{3\pi\Delta d^3}{4} - E_{dış} \right)
\end{aligned} \tag{5.23}$$

Eşitlikte $E_{i\check{c}}$ ile gösterilen büyüklük, Δd yarıçaplı kürenin dışında kalan a kenarlı küpün köşelerinin toplam hacmini gösterir. Kısaca kürenin hacminden, küpün dışında kalan hacimleri çıkarılarak küpün içinde kalan küre hacmi bulunmuştur. Daha sonra küpün toplam hacminden bulunan büyüklük çıkartılmış ve boşta kalan hacim elde edilmiştir. Bu hacim, aslında seçmiş olduğumuz kübik birim hacmin içinde kalmasına rağmen koyduğumuz Δd koşulunun dışında kalıp olasılığı hesaplanmadığı için hata kabul edilebilir.

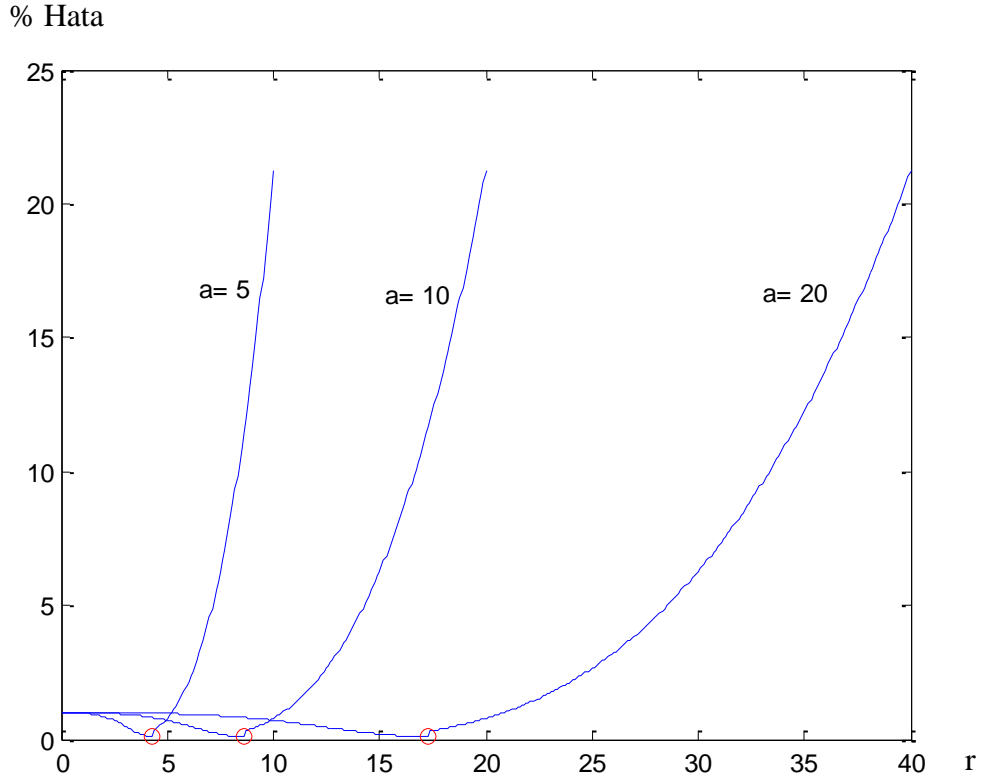
Yapılan yaklaşıklık nedeniyle iç ve dışta oluşan hataların toplanmasıyla toplam hata, bu değerın küpün toplam hacmine bölünmesiyle de yüzde hata büyüklükleri elde edilir.

$$E_{Toplam} = E_{i\check{c}} + E_{dış} \tag{5.24}$$

$$\begin{aligned}
E_{Toplam}(a, \Delta d) &= a^3 - \frac{3\pi\Delta d^3}{4} + 2E_{dış} \\
&= a^3 - \frac{3\pi\Delta d^3}{4} + 2\pi \left| \frac{\left(\frac{a}{2} - \Delta d\right)^3}{3} \right|
\end{aligned} \tag{5.25}$$

$$\%E = \frac{E_{Toplam}}{a^3} \tag{5.26}$$

Bu eşitliklerin elde edilmesinin ardından belirli bir a değeri için hata teriminin enküçüklenmesi, hata fonksiyonunun Δd değişkenine göre türevi alınıp sıfıra eşitlenerek yapılabilir. Örnek teşkil etmesi açısından Şekil 5.3'te a 'nın 5, 10 ve 20 değerleri için yüzde hata fonksiyonu verilmiştir. En düşük değerdeki toplam hata yaklaşık 8% değerindedir. Bu hata değerine karşılık yapılmış olan yaklaşıklık sayesinde test senaryolarında %60 oran ında işlem zamanında azalma görülmüştür.



Şekil 5.3 : Optimum yarıçap hata fonksiyonu.

Hatayı minimize etmek için x , y ve z düzlemlerindeki çözünürlük eşit olarak ayarlanmalıdır. Bu büyüklükler her ne kadar birer parametre olarak ayrı tanımlanmış olsalar da, farklı değerlerde olmaları önerilmemektedir. Ortamdaki her bir birim hacmin olasılık hesaplamasında kullanılan sabit genişlik büyüklüğü sebebiyle farklı büyüklükler olarak tanımlanmış x , y ve z çözünürlükleri daha yüksek hataya sebep olacaktır.

6. TEST VE SONUÇLAR

Önceki bölümlerde bahsedilmiş olan tüm işlemler MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir. Bunun için `f_filtre`, `f_guckomp`, `f_dekonv`, `f_arkaplanayir`, `f_zarf`, adlarında beş adet ön işlem fonksiyonu, `f_olasilikhesapla` adında olasılık hesaplama fonksiyonu ve son olarak önerilen konumlandırma algoritması gerçekleştirilmiştir.

6.1 Ölçüm Ortamı

Çalışma alanı olarak İTÜ Elektrik Elektronik Binası Elektromanyetik Alanlar Laboratuvarı kullanılmıştır. Temel olarak duvar arkasında hedef, açık alanda hedef, ve hareketli hedef olmak üzere üç çeşit ölçüm yapılmıştır. Tez kapsamında açık alanda hedef ölçümleri kullanılmıştır. Hareketli hedef ölçümleri aynı anda birden fazla alıcıda alınamadığından konumlandırma testi kapsamına alınamamıştır.

6.2 Test Senaryosu

Önerilen algoritmanın testi ve başarımlar ölçümü amacıyla Şekil 6.1’de kuşbakışı görülen ölçüm ortamı gerçekleştirilmiştir.

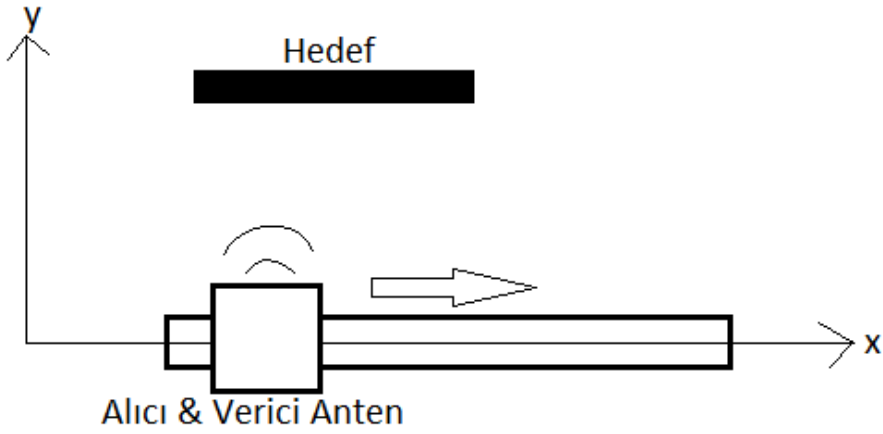
Alıcı ve verici anten bir ray üzerinde x düzleminde kaydırılarak veriler alınmıştır. Antenin her ölçümde y ve z düzlemlerindeki konumu sabittir.

6.3 Konumlandırma Sonuçları

Test konumlandırma sonuçları, tez çalışması kapsamında yapılan algoritmanın başarımlarını gösterecek en önemli aşamadır. Bu aşamada bilinen bir uzaklıkta ölçülmüş olan cisimlerin asıl konumları ile konumlandırma algoritmasından elde edilen sonuçlar karşılaştırılacaktır. Dört farklı senaryo için sonuçların çeşitli açılardan görünümü verilecek ve belirlenen uzaklığın beklenen değeri karşılaştırma için kullanılacaktır.



(a)

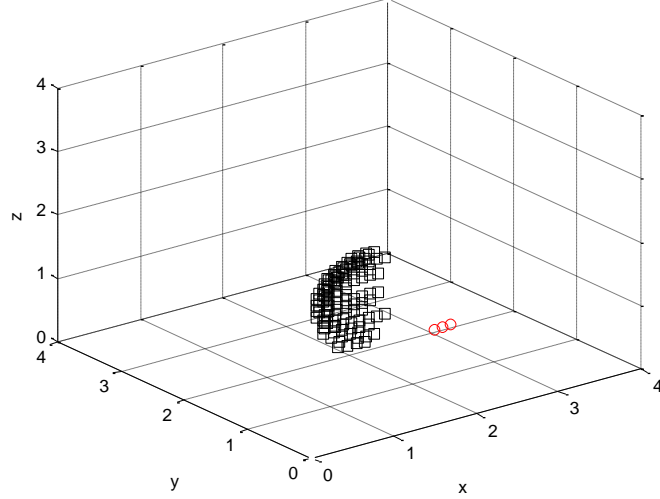


(b)

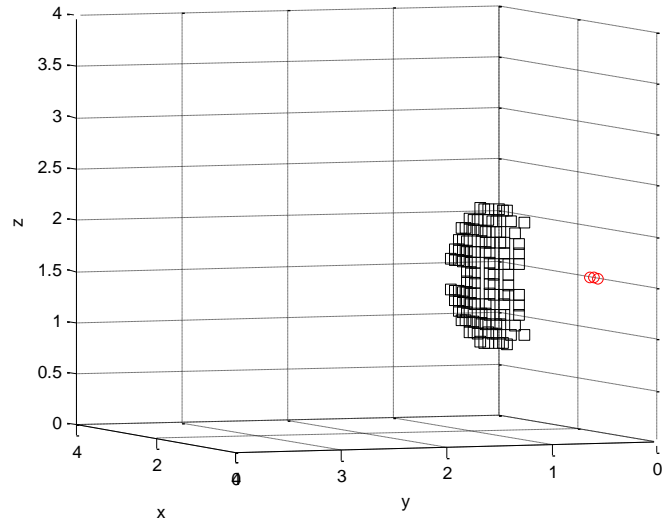
Şekil 6.1 : Ölçüm düzeneği.(a) Gerçek ortam, (b) Düzlemde görselleştirme.

İlk olarak 40x50 cm boyutlarındaki metal plakanın 110 cm ve 165 cm, daha sonra içinde gümüş iyonları olan T-Shirt giydirilmiş cansız mankenin 2 ve 4 metredeki ölçümleri gösterilmiştir. İki boyutlu görünümünden daha iyi anlaşılabilmesi için her ölçümün x-y ve x-z düzlemlerine olan projeksiyonu da dahil edilmiştir.

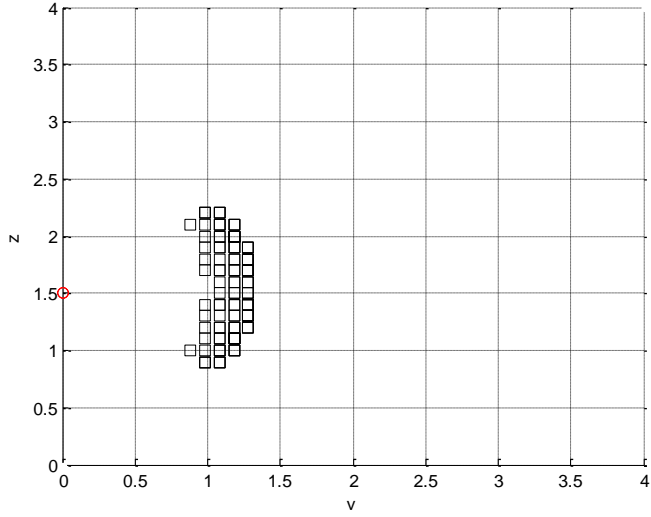
Alıcı antenden 110cm ileride duran 40x50 metal plakanın 3 boyutlu görüntüsü Şekil 6.2 ve 6.3'te görülmektedir. Ayrıca Şekil 6.4'ten cismin tahmin edilmiş olan yerden yüksekliği, Şekil 6.5'te kuşbakışı olarak alıcıdan uzaklığı, Şekil 6.6'da alıcı antenin arkasından bakıldığında algılanan yaklaşık cisim şekli de görülebilmektedir.



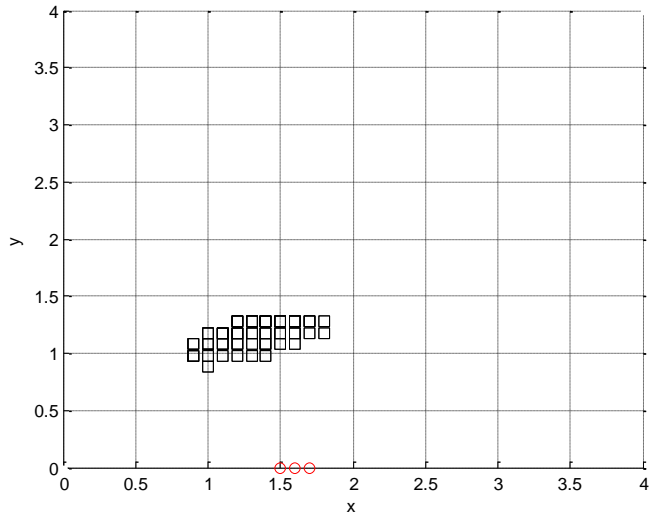
Şekil 6.2 : 3B görünüm – 110cm



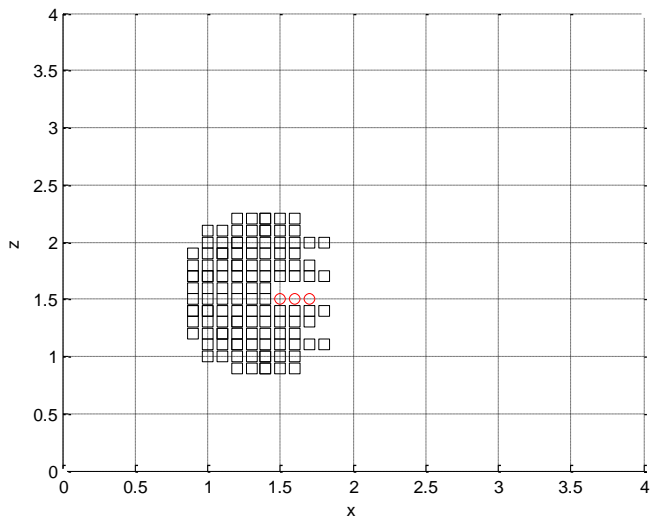
Şekil 6.3 : 3B görünüm 2 – 110cm



Şekil 6.4 : y-z projeksiyonu görünümü – 110cm

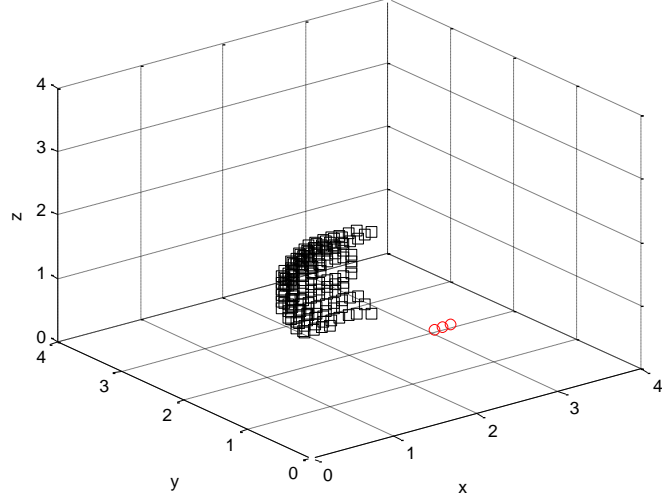


Şekil 6.5 : x-y projeksiyonu görünümü – 110cm

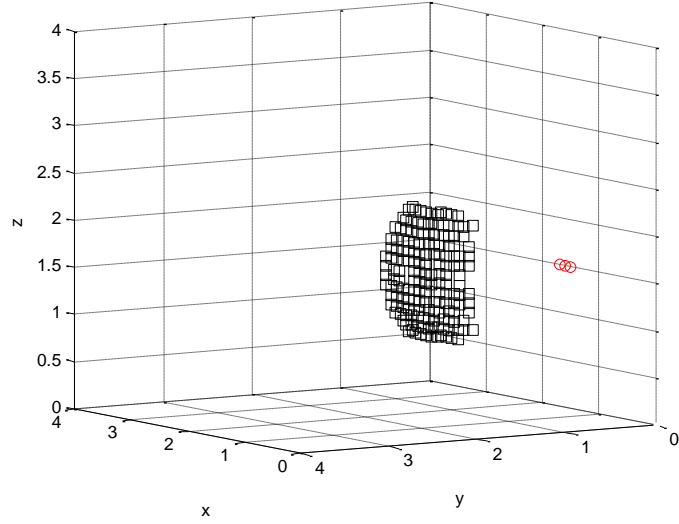


Şekil 6.6 : x-z projeksiyonu görünümü – 110cm

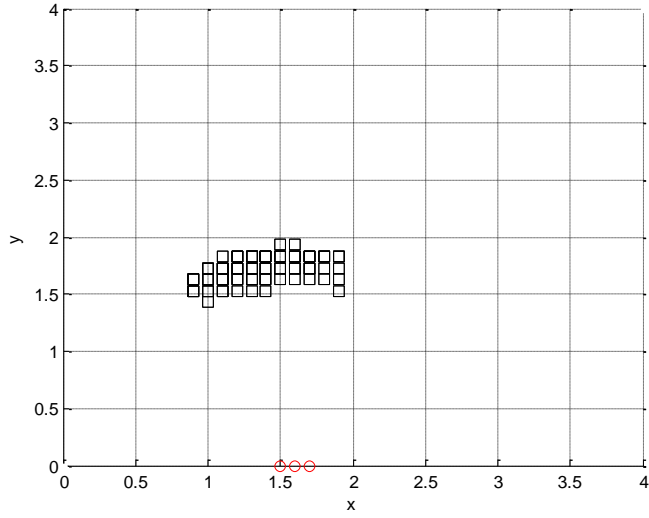
Y düzleminde antenden 165cm ileride duran 40x50 cm boyutundaki metal plakanın üç boyutlu görüntüsü Şekil 6.7 ve Şekil 6.8’de görülmektedir. Ayrıca Şekil 6.9’da kuşbakışı olarak alıcıdan uzaklığı, Şekil 6.10’da cismin tahmin edilmiş olan yerden yüksekliği ve Şekil 6.11’de cismin algılanan şekli de görülebilmektedir.



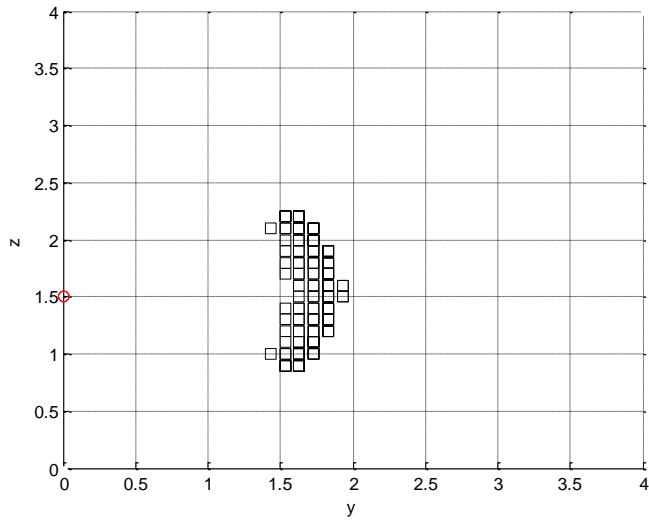
Şekil 6.7 : 3B görünüm – 165cm



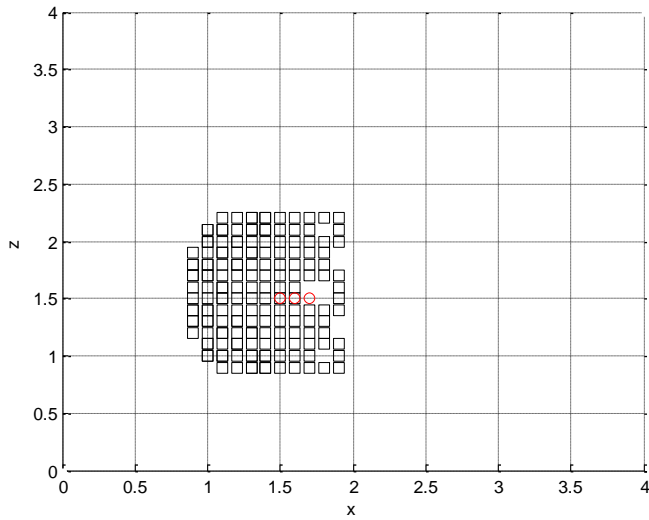
Şekil 6.8 : 3B görünüm 2– 165cm



Şekil 6.9 : x-y projeksiyonu görünümü – 165cm

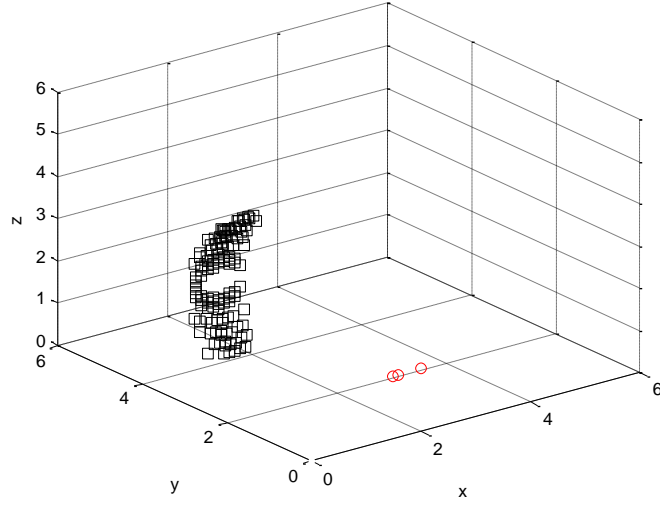


Şekil 6.10 : z-y projeksiyonu görünümü – 165cm

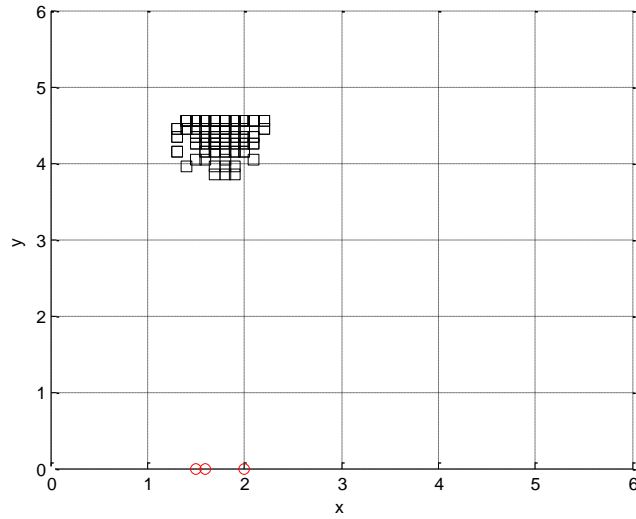


Şekil 6.11 : x-z projeksiyonu görünümü – 165cm

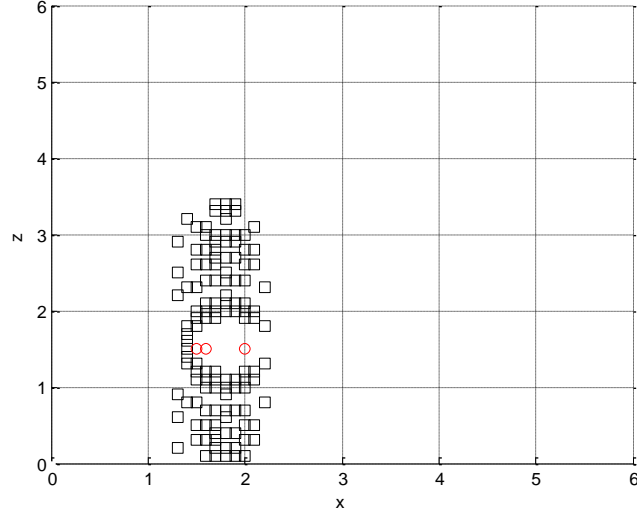
Y düzleminde antenden 4m ileride duran içinde gümüş iyonları olan T-Shirt giydirilmiş cansız mankenin elde edilen üç boyutlu görüntüsü Şekil 6.12’de görülmektedir. Ayrıca Şekil 6.13’de kuşbakışı olarak alıcıdan uzaklığı ve Şekil 6.14’de cismin algılanan şekli de görülebilmektedir.



Şekil 6.12 : 3B görünüm – 4m

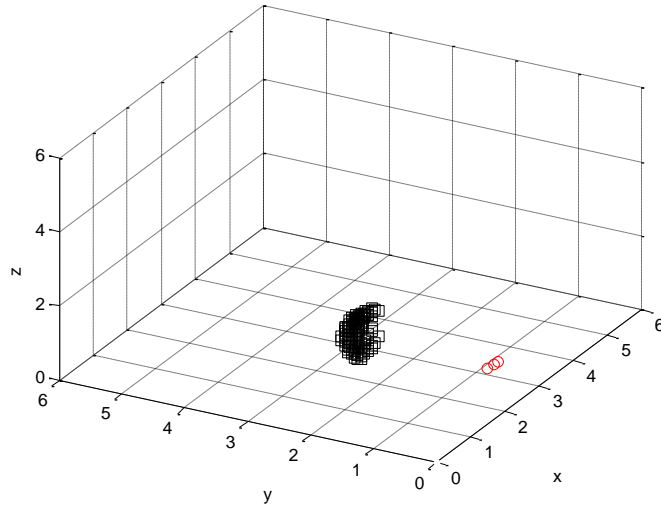


Şekil 6.13 : x-y projeksiyonu görünümü – 4m

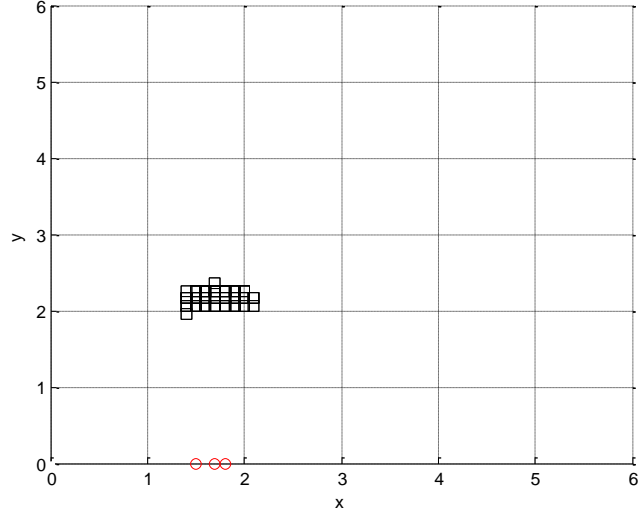


Şekil 6.14 : x-z projeksiyonu görünümü – 4m

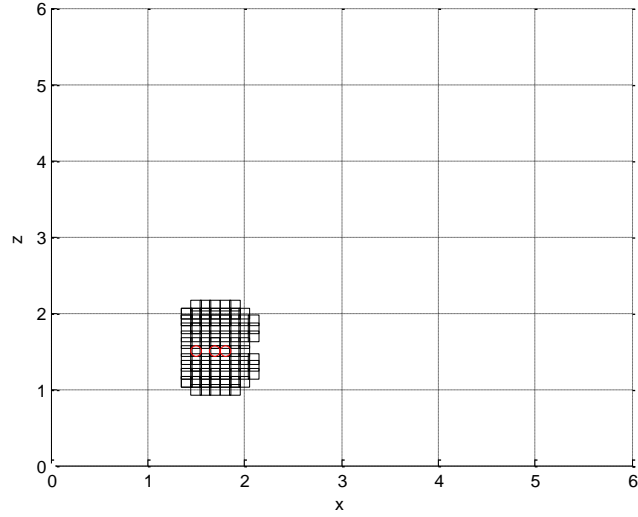
Son olarak y düzleminde antenden 2m ileride duran içinde gümüş iyonları olan T-Shirt giydirilmiş cansız mankenin elde edilen üç boyutlu görüntüsü Şekil 6.15'te görülmektedir. Ayrıca Şekil 6.16'da kuşbakışı olarak alıcıdan uzaklığı ve Şekil 6.17'de cismin algılanan şekli de görülebilmektedir.



Şekil 6.15 : 3B görünüm – 2m



Şekil 6.16 : x-y projeksiyonu görünümü – 2m



Şekil 6.17 : x-z projeksiyonu görünümü – 2m

6.4 Sonuçların Yorumu

Sonuçların özet hali Çizelge 6.1’de verilmiştir. Çizelgede görülen hesaplanan uzaklıklar işaretlenmiş verilerden elde edilmiş olan beklenen değerdir.

Çizelge 6.1 : Ölçüm Sonuçları

Test No	Gerçek Uzaklık	Hesaplanan Uzaklık(ortalama)	% Hata
1	1.10m	1.1816	7.4
2	1.65m	1.6932	2.6
3	4m	4.2443	6.1
4	2m	2.1139	5.7

Bu sonuçlara bakılarak hatalar kısmen yüksek gibi görölse de ortalama değerlerde arkaya doğru cismin kalınlığından ya da tekrarlayan yansımalarından kaynaklanan bir kalınlık söz konusu olmuştur. Çok hassas bir konumlandırma yapabilmek için dekonvolüsyon algoritması geliştirilerek daha iyi bir odaklama yoluna gidilmeli ve tekrarlayan yansımaların silinmesi için bir metod uygulanmalıdır. Odaklamanın çok iyi olmamasının yarattığı hata dışında, uygulamada kullanılabilir sonuçlar ürettiği görölmektedir. Cisim x y ve z düzleminde doğru olarak konumlandırılmıştır. Ölçüm sonuçlarının gerçeğe yakınlığının yanı sıra, cisimlerin şekil olarak da hedefe benzerliği bu algoritmanın daha sonra cisim algılama gibi uygulamalarda da kullanılabilirliğinin sinyallerini vermektedir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında AGB radar verilerinden kısa mesafede değişken çözünlüklü bir konumlandırma algoritması oluşturulmuş ve başarımı test edilerek incelenmiştir.

7.1 Çalışmanın Sonuçları

Yapılan işlemler ve testler sonucu algoritmanın konumlandırma işlemini büyük doğrulukla ve hızla yaptığı, cismin şeklini de yaklaşık olarak gösterebildiği gözlemlenmiştir.

7.2 Gelecekteki Çalışmalar İçin Öneriler

Bu çalışmanın devamı olarak duvar arkası konumlandırmaya geçiş yapılacaktır. Duvar arkası görüntüleme için ek olarak yüksek doğruluklu bir duvar kompanzasyonu işlemi ihtiyacı söz konusudur. Buna ek olarak hareketli cisim algılama ve takip etme metotları da yapılan uygulamaya implemente edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **NASA.** "RADAR means: Radio Detection and Ranging". Nasa Explores. Archived from the original on 2011-04-08.
- [2] **Bennett, C.L. & Ross, G.F.,** Time-domain electromagnetics and its application. Proc. IEEE 66, 299-318, 1978.].
- [3] **Taylor, J.D. (Ed.),** Introduction to Ultra-Wideband Radar Systems, CRC Press, Boca Raton, FL,1995.
- [4] **Ross, G.F.,** Transmission and reception system for generating and receiving base-band duration pulse signals for short base-band pulse communication system. U.S. Patent 3,728,632 dated Apr 17, 1973.
- [5] **Ross, G.F.,** Energy amplifying selector gate for base-band signals. U.S. Patent 3,750,025 dated July 31, 1973.
- [6] **Ross, G.F. & Lamensdorf, D.,** Balanced radiator system, U.S. Patent 3,659,203 dated Apr, 25,1972.
- [7] **Ross, G.F. & Mara, R.M.,** Coherent processing tunnel diode ultra wideband receiver. U.S.Patent 5,337,054 dated Aug. 9, 1994.
- [8] **Ross, G.F. & Robbins, K.W.,** Base-band radiation and reception system. U.S. Patent 3,739,392 dated June 12, 1973.
- [9] **Ross, G.F. & Robbins, K.W.,** Narrow range-gate baseband receiver. U.S. Patent 4,695,752 dated Sep 22, 1987.
- [10] **Nekoogar, Faranak,** Ultra-Wideband Communications: Fundamentals and Applications: Fundamentals and Applications, Apr 22, 2011, Prentice Hall.
- [11] **Scheers B.,** "Ultra-wideband ground penetrating radar, with application to the detection of anti personnel landmines," Ph.D. dissertation, Universit Catholique de Louvain, Belgium, 2001.
- [12] **Savelyev T.,** L. van Kempen, and H. Sahli, "GPR Antipersonnel Mine Detection: Improved Deconvolution and Time-Frequency Feature Extraction," SPIE, Nondestructive Evaluation and Health Monitoring of Aerospace Materials and Composites II, vol. 5046, pp. 232-241, 2003, san Diego, USA.
- [13] **Robinson E. A. and Treitel S.,** Geophysical signal analysis. Southampton, United Kingdom: Prentice-Hall, Aug. 1980.
- [14] **Margrave, G. F.,** Numerical methods of exploration seismology with algorithms in matlab, Master's thesis, Department of Geology and Geophysics, The University of Calgary,2001.

- [15] **Stolt R. H.**, 1978 : Migration by Fourier transform, Geophysics, vol. 43, pp. 23-48, Feb.D. Daniels, Surface Penetrating Radar - 2nd Edition. The Institution of Electrical Engineers (IEE), 2004.
- [16] **Thanh N.T. at al**, “Comparison of Basic Inversion Techniques for Through-Wall Imaging Using UWB Radar”, 5th European Radar Conference,2008.
- [17] **Soldovieri F., Solimene R.**, “Through-Wall Imaging via a Linear Inverse Scattering Algorithm,” IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 4, pp. 513-517, Oct. 2007.
- [18] **Hantscher S.; Praher, B.; Reiszahn, A.; Diskus, C.G.;** , "Comparison of UWB Target Identification Algorithms for Through-Wall Imaging Applications," Radar Conference, 2006. EuRAD 2006. 3rd European , vol., no., pp.104-107, 13-15 Sept. 2006.
- [19] **Parl S.**, A New Method of Calculating the Generalized Q Function, IEEE Trans. Information Theory, Vol. IT-26, No. 1, January 1980, pp. 121-124.
- [20] **Muhafza Bassem R.**, Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB, 2005, pp.146-148, Chapman&Hall/CRC.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Özge IRMAK

Doğum Yeri ve Tarihi: Kadıköy – 19.10.1987

Adres: İTÜ Uzaktan Eğitim Merkezi Ayazağa Kampüsü Şişli İstanbul

Lisans Üniversitesi: İTÜ Elektronik Mühendisliği