

**YERALTI GÖRÜNTÜLEME ALGILAYICILARI İÇİN
GÖRÜNTÜ İŞLEME ALGORİTMALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Bülent ŞEN
504960021011

100962

100962

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11 Şubat 2000
Tezin Savunulduğu Tarih : 03 Şubat 2000

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Bingül YAZGAN
Diğer Jüri Üyeleri Doç. Dr. Sedef KENT
Doç. Dr. Tayfun GÜNEL

[Handwritten signatures of Prof. Dr. Bingül Yazgan, Doç. Dr. Sedef Kent, and Doç. Dr. Tayfun Günel]

ŞUBAT 2000

ÖNSÖZ

Son yirmi yıldır iki boyutlu işaret işleme ile iki boyutlu görüntü işleme konuları çok büyük önem kazanmıştır ve kazanmaya devam edecektir. Donanım teknolojisindeki gelişmeler çok hızlı çalışabilen işaret işleme kırımları ve mikroişlemcilerin üretilmesine olanak sağlamıştır. Bu yüzden çok gelişmiş işaret işleme ve görüntü işleme algoritmaları gerçek zamanlı olarak haberleşme, endüstriyel elektronik, savunma, robotik ve jeofizik alanlarında kullanılabilmektedir.

Tek boyutlu işaret işleme ile iki boyutlu işaret işleme arasında büyük benzerlikler vardır. Tek boyutlu işaret işlemede kullanılan araçlar: filtreleme, Fourier dönüşümü, ayrık Fourier dönüşümü, hızlı fourier dönüşümü gibi algoritmalar. Benzer şekilde iki boyutlu işaret işlemede de aynı araçlar kullanılmaktadır. Yalnızca, iki boyutlu işaret işlemedeki araçlar, tek boyutlu araçların bir ileri basamağıdır.

Daha detaya incek olursak, tek boyutlu işaret işleme ile iki boyutlu işaret işleme arasında azımsanmayacak farklar da vardır. En önemli farklardan birisi de uygulamalardaki veri sayısıdır. Örneğin ses işlemede, ses genellikle 10 kHz/s hızında örneklenmektedir, bu da demektir ki bir saniyede işlenecek veri miktarı 10.000'dir. Video işlemede ise, herbiri 500x500 veri noktası içeren 30 çerçeve kullanılmaktadır, bu da saniyede işlenecek veri olarak 7.5 milyon veriye tekabül etmektedir.

Görüldüğü gibi, tek boyutlu işaret işleme ile iki boyutlu işaret işleme arasında azımsanmayacak benzerlikler ve azımsanmayacak farklar bulunmaktadır. Temelde iki boyutlu işaret işleme tek boyutlu işaret işlemenin özel bir halidir.

Önemli bir iki boyutlu işaret işleme uygulaması görüntü işlemedir. Görüntü işleme, büyük ölçüde insan görüşüne bağlıdır ve birçok alanda uygulama imkanı bulmuştur.

İşte bu tezde de yeraltındaki cisimleri sezmeye yönelik olarak kullanılan teknolojilerden ikisi olan Mikrodalga Radarı (GPR) ve Kızılötesi Kamera ile elde dilmiş ham görüntülerin işlenmesine yönelik iki yaklaşım sunulmuştur. Bunlardan birincisi rastlantısal bir süreç olan Markov Rastgele Alan Yaklaşımıdır; ikincisi ise dairesel cisim bulmaya yönelik bir yaklaşımdır.

Bölüm I'de GPR teknolojisi konusuna giriş yapılmış, GPR sistemi için önemli olan parametreler, sistemin bu parametrelere nasıl bağlı olduğu ve sistemi etkileyen faktörler incelenmiştir. Amaç görüntü işlemede kullanılan GPR görüntülerinin kolayca değerlendirilmesine yardımcı olmaktır.

Bölüm II'de Kızılötesi kamera ile cisim tespiti konusuna teorik bazda giriş yapılmış, yeraltı cisim sezme işleminde kızılötesi kameranın kullanım alanı, sistemi etkileyen faktörler incelenmiştir.

Bölüm III'te Markov Rastlantısal Alanı ve dairesel cisim bulmaya yönelik yaklaşımın teorisi anlatılmış ve yapay, radar, kızılötesi görüntüler kullanılarak teorik sonuçlar pratik uygulamalarla desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	IV
ŞEKİL LİSTESİ	V
SEMBOL LİSTESİ	VI
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
1. GİRİŞ	1
1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
2. GPR İLE GÖMÜLÜ CİSİMLERİN TESPİTİ	2
2.1 Giriş	2
2.1.1 Uygulamalar	3
2.2 GPR Sistemi	6
2.2.1 Derinlik Çözünürlüğü	7
2.2.2 Yatay Çözünürlük	8
2.3 Değerlendirme	10
3. KIZILÖTESİ ALGILAYICI İLE GÖMÜLÜ CİSİMLERİN TESPİTİ	11
3.1 Giriş	11
3.1.1 Kızılötesi Spektrum	11
3.2 IR Algılayıcı ile Cisim Tespiti	12
3.2.1 Orta-Dalga ve Uzun-Dalga Kızılötesi	13
3.2.2 Cisim Tespiti	15
4. GIBBS RASTLANTISAL ALANLAR KULLANILARAK GÜRÜLTÜLÜ GÖRÜNTÜLERİN MODELLENMESİ VE AYRIŞTIRILMASI	17
4.1 Giriş	17
4.2 Markov Rastgele Alan Yaklaşımı (MRF)	18
4.2.1 Gibbs Dağılımının Temel Tanımlamaları	18
4.2.2 Bir Gibbs Dağılım Sınıfı	22
4.2.3 Gibbs Dağılımının Oluşturulması	23
4.2.4 Bölütleme Problemi	24
4.3 MAP Bölütleme Algoritması	25
4.3.1 Beyaz Gürültü Eklenmiş Bir Görüntü İçin MAP Bölütleme Algoritması	25
4.4 GIBBS Dağılım Parametrelerinin Belirlenmesi	29
4.5 Diferansiyel Markov Rastlantısal Alanı	34

5. DAİRESEL CİSİM SEZME YAKLAŞIMI	37
5.1 Giriş	37
5.2 Ayrık Fourier Dönüşümü	39
5.2.1 İki boyutlu ayrık Fourier dönüşümü	39
5.2.2 Periyodiklik ve Eşleniklik	41
5.3 Filtre	43
5.4 Korelasyon	45
5.5 Dedeksiyon	46
5.6 Karar	46
5.7 Görüntünün Yeniden Oluşturulması	47
5.8 İndirgeme	49
5.9 Sonuç	49
6. SONUÇ	50
KAYNAKLAR	51
EKLER	55
ÖZGEÇMİŞ	69

KISALTMALAR

AM	: Amplitude Modulation (Genlik Modülasyonu)
A/S	: Analog / Sayısal
BW	: Bandwidth
EM	: Electromagnetic
GPR	: Ground Penetrating Radar
PRF	: Pulse Repetition Frequency
RF	: Radio Frequency
MRF	: Markov Random Field
MAP	: Maximum a Posteriori Estimation
IR	: Infrared

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1	GPR blok diyagramı
Şekil 2.2	Jeofiziksel yüzey modları
Şekil 3.1	Kızılötesi spektrum
Şekil 3.2	IR görüntüleme karakteristikleri
Şekil 3.3	Atmosferde IR iletim
Şekil 4.1	Hiyerarşik olarak düzenlenmiş η_{ij} komşuluk sistemi
Şekil 4.2	Klik çeşitleri
Şekil 4.3	x_{ij} ve komşuluk sistemi η_{ij}
Şekil A.1	Gürültülü yapay görüntünün MRF çıkışı
Şekil A.2	Doğal Radar görüntüsünün MRF çıkışı
Şekil A.3	Doğal Radar görüntüsünün MRF çıkışı
Şekil A.4	Doğal IR kamera görüntüsünün MRF çıkışı
Şekil A.5	Doğal IR kamera görüntüsünün MRF çıkışı
Şekil B.1	Teorik bir çalışmayla Oluşturulan görüntünün DMRF Çıkışı
Şekil 5.1	Algoritma blok şeması
Şekil 5.2	Periyodik bir dizinin bir periyodu alınarak elde edilen sonlu uzunluklu dizi
Şekil 5.3	$N=8$ elemandan oluşan bir dizinin Fourier spektrumu
Şekil 5.4	Bir görüntünün ayrık Fourier dönüşümü
Şekil C.1	Yapay görüntünün işlenmesi
Şekil C.2	Yapay görüntünün işlenmesi
Şekil C.3	Yapay görüntünün işlenmesi
Şekil C.4	Doğal kızılötesi görüntünün işlenmesi
Şekil C.5	Doğal kızılötesi görüntünün işlenmesi
Şekil C.6	Doğal radar görüntüsünün işlenmesi
Şekil C.7	Doğal radar görüntüsünün işlenmesi

SEMBOL LİSTESİ

Γ	: Yansıma katsayısı
Z_x	: x ortamına ait empedans
E_x	: x ortamına ait elektrik alan
μ	: Manyetik geçirgenlik
μ_0	: Boşluğun manyetik geçirgenliği
μ_r	: Bağıl manyetik geçirgenlik
ϵ	: Dielektrik sabiti
ϵ_0	: Boşlukta dielektrik sabiti
ϵ_r	: Bağıl dielektrik sabiti
ϵ''	: Dielektrik sabitinin sanal kısmı
ϵ'	: Dielektrik sabitinin gerçel kısmı
σ	: İletkenlik
$\tan\delta$	: Kayıp faktörü
ρ	: Korelasyon eşik değeri
G	: Kazanç
A	: Anten açıklığı
λ	: Dalga boyu
f	: Frekans
ω	: Açısal frekans
v_r	: Yayılma hızı
c	: Boşlukta yayılma hızı
BW	: Band genişliği
ΔR_z	: z yönünde çözünürlük
α	: Zayıflama sabiti
β	: Faz sabiti
γ	: Yayınım sabiti
IR	: Infrared

MWIR	: Middle Wave Infrared
LWIR	: Long Wave Infrared
FOV	: Field Of View
IFOV	: Instantaneous Field Of View
LOS	: Line Of Sight
AS	: Aperture Stop
S/N	: Signal/Noise
NEP	: Noise Equivalent Power
ROI	: Region of Interest
IRLS	: Infrared Line Scanning
FLIR	: Forward Looking Infrared
FPA	: Focal Plane Array
NETD	: Noise Equivalent Temperature Difference
VID/IR	: Video/Infrared
CCD	: Charged Couple Device
EMI	: Electromagnetic Induction
VMMD	: Vehicle Mounted Detection
ILDS	: Improved Landmine Detection System

YERALTI GÖRÜNTÜLEME ALGILAYICILARI İÇİN GÖRÜNTÜ İŞLEME ALGORİTMALARI

ÖZET

Yeraltı cisim tespiti sistemleri olarak kullanılan algılayıcılardan ikisi Mikrodalga Radarı ve Kızılötesi Kamera'dır. Bu iki araçtan elde edilen görüntülerin işlenmesi, özellikle gerçek zamanda işlenmesi son derece önemlidir. Bu tezde yukarıda sözü edilen algılayıcılardan elde edilen görüntülerin işlenmesi için iki yaklaşım sunulmuştur.

Birinci yaklaşımda, görüntü işlemede kullanılan yöntemlerden olan Gibbs Dağılımı uygulamaları için bir algoritma tanıtılmıştır. İlk olarak elde edilen görüntüdeki dağılımı modellemek için Gibbs dağılımı verilmiştir, daha sonra maksimum *a posteriori* (MAP) kriteri kullanılarak gürültülü görüntülerin ayrıştırılması için algoritma oluşturulmuştur. Algoritmada Gibbs dağılımının parametrelerini bulmak için yeni bir teknik kullanılmıştır, böylece hesap yoğunluğu da azalmıştır.

Algoritma, görüntünün piksel piksel taranması ve herbir piksel için MAP kriterinin uygulanması esasına dayanmaktadır. MAP kriterinin hesap yoğunluğu çok olduğundan dolayı modelde bazı varsayımlara gidilmiştir. Bu varsayımların algoritmanın başarımını nasıl etkilediği karşılaştırmalı şekilde tezde incelenmiştir. Gibbs Dağılımıyla modellenen bir görüntünün ayrıştırılması için MAP kriteri yerine uygulanabilecek yöntemler Geman ve Geman [1] ve Cohen ve Cooper [2] tarafından sunulmuştur.

Algoritmanın amacı: çok sayıda farklı bölge içeren bir görüntüyü daha az, fakat doğru bölgeler ile temsil edebilmektir. (256 bölge (seviyeli) bir görüntüyü 8 bölge (seviye) ile temsil edebilmek). Bu da bir bölütleme işlemidir. Bölütleme probleminin temeli verilen bir gürültülü Y görüntüsünden onun alt kümesi olan bir X kümesini elde etmektir. Kısaca $x=X(y)$ değerini bulmaktır. Problemi istatistiksel olarak ortaya koyunca çözüm için maksimum öncelikli tahmin (MAP : Maximum *a posteriori* Estimation) kriterini kullanabiliriz. Amaç $P(X=x / Y=y)$ koşullu olasılığını maksimum yapacak x değerini belirli bir kurala göre belirleyecek algoritmayı oluşturmaktır.

Bu algoritma temelde bir ters problem algoritmasıdır. Yani, herhangi bir ortamdan gelen işaret kullanılarak ve ortam modellenerek ortamdaki saçıcıların tespiti yapılmıştır.

İkinci yaklaşım ise dairesel tabanlı cisimleri sezmeye yönelik bir algoritmadır. Algoritma girişi olarak radar ve kızılötesi algılayıcılarla elde edilen görüntüler verilmiştir ve çeşitli teknikler kullanılarak gürültülü görüntüler içerisinden dairesel tabanlı cisimler tespit edilmiş ve sonuçta var veya yok bilgisi olarak kullanıcıya sunulmuştur. Algoritma içerisinde en önemli işaret işleme araçlarından olan ayrık Fourier dönüşümü ve radar alıcı birimlerinde çok kullanılan Korelatör bloğu kullanılmıştır Böylece, bu iki güçlü aracın bir uygulaması gerçekleştirilmiştir.

IMAGE PROCESSING ALGORITHMS FOR UNDERGROUND IMAGING SENSORS

SUMMARY

Microwave Radar and Infrared Camera are the two sensors used for underground object detection. Processing images acquired by these two sensors at real time is a primary case. In this thesis two approaches are presented for processing the images taken from the above sensors.

In the first approach, the application of Gibbs Distribution for the problems in image processing is introduced. First, a method for modelling image data using such models is presented. Then algorithms are derived for segmenting noisy images, using a posteriori (MAP) criterion. Due to computational concerns, however, suboptimal versions of these algorithms are devised through simplifying approximations in the model. Finally, a new parameter estimation technique is developed for estimating the parameters in a GD.

The algorithm is based on scanning the image pixel by pixel and applying MAP criterion on each of the pixel. The magnitude of the computational requirements for calculating the (optimal) MAP estimate necessitate that we revert to simplifying assumptions in the model. These assumptions influencing the suboptimality of the estimate and the tradeoff between the degree of optimality and computation time are discussed. Alternative approaches to MAP segmentation of images modelled by GD have been recently proposed by Geman and Geman [1], and Cohen and Cooper [3].

The goal of the algorithm is to represent an image contains huge amount of various regions, with less amount of but true regions. This is a segmentation problem. The problem is to obtain an estimate $x^* = X^*(y)$ of the scene X , based on a realization y . Having set up the problem statistically, maximum *a posteriori* (MAP) estimation is chosen as statistical criterion (H. Derin, A.H.Elliott, 1987). So the objective now is to have an estimation rule, that is, an algorithm, which will yield x^* that maximizes the *a posteriori* distribution $P(X = x|Y = y)$ for a given y .

This algorithm is basically an inverse problem. Using only object response without knowing something about the object and the media, the object is detected and noise is reduced.

The second approach is based on circular based object detection. The images acquired using microwave radar and infrared camera are inputted to the algorithm and some mathematical techniques are utilized to reduce noise and detect circular objects. The result of the algorithm is presented as 'yes there is' or 'No, there isn't' to the operator. In the algorithm, remarkable signal processing algorithms as "Discrete Fourier Transform" and a "Correlator" block that can be met much in radar receivers, are used. So an application for these two powerful tools is carried out.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada mikrodalga radarı (GPR) ve kızılötesi kameradan alınan iki boyutlu görüntülerin işlenmesi için iki yaklaşım sunulmuştur.

Bunlardan birincisi Markov Rastlantısal Alanı olarak adlandırılan yaklaşımdır. Bu yaklaşımda ortam rastlantısal olarak modellenir ve Maksimum Olasılık Teorisi (Maximum Likelihood Theory) kriteri kullanılarak görüntü yeniden oluşturulur.

İkinci yaklaşım ise dairesel bazlı cisimleri bulmaya yönelik bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımda ayrık Fourier dönüşümü, filtreleme gibi frekans domeni teknikleri ile korelasyon gibi zaman domeni teknikleri beraber kullanılmıştır.

Şimdi bu iki yaklaşımı teorik altyapısı ve pratik uygulamalarıyla beraber inceleyelim

2. GPR İLE GÖMÜLÜ CİSİMLERİN TESPİTİ

2.1 Giriş

Gömülü cisimlerin bulunabilme olasılığı insanoğlunu asırlarca etkilemiştir. Yeraltının ve içindekilerin açıkça görülebilmesini sağlayan uygun araştırma yöntemlerinin bulunabilmesi için önemli ölçüde bilimsel ve mühendislik gayreti sarf edilmiştir. Henüz çözümü sağlayan tek bir yöntem bulunamamıştır. Ancak sismik, elektriksel-direnç, indüksiyon-kutuplama, yerçekimi araştırması, manyetik araştırma, nükleer, radyometrik, termografik ve elektromanyetik yöntemler umut verici bulunmuştur. Özellikle prob yönteminin (Ground-probing) ve yere nüfuz eden radarın (Ground Penetrating Radar - GPR) etkin seçenekler olduğu görülmüştür. Konu, elektromanyetik dalganın kayıplı ortamda ilerlemesi, çok geniş bantlı anten teknolojisi ve radar sistemlerinin tasarımı, sinyal işleme ve görüntü işleme gibi uygulamaları kapsadığı için, pratikle uğraşan mühendisler ve bilim adamları için oldukça ilgi çekicidir. Birçok GPR ultra band genişliğinde darbe radar teknolojisinin özel bir gerçekleştirmesidir. Skolnik (1990), darbe radar teknolojisinin yenilikçi mühendisin ilgisini kamçılayan bir gelişme olduğunu belirtmiştir. Gerçekten de GPR geleneksel radarlara göre daha küçük ölçekli uygulama alanına sahip olmasına karşın başarılı bir ticari girişim olmuştur.

GPR sistemleri, yeraltına gömülmüş veya ışık geçirmeyen bir yapıya yerleştirilmiş nesnelerin veya ara yüzeylerin yerini belirlemek için elektromanyetik teknikler kullanılarak tasarlanmışlardır. GPR teknolojisi, genelde uygulama eksenslidir ve tüm tasarım felsefesi özellikle donanım tasarımı, hedefin türüne ve hedefin malzemesine ve içinde bulunduğu çevre koşullarına bağlıdır. GPR sistemlerinin uygulama alanları geniştir ve sinyal işleme, donanım tasarımı ve çalışma şeklinin pratikleşmesi, ilerleyen teknoloji ile gelişmektedir. Son gelişmeler, araca yerleştirilmiş GPR'larla yüksek hızda taramayı ve uçağa veya uyduya yerleştirilmiş GPR sistemleri ile taramayı içermektedir.

1960 ve 1970'lerde ABD ve İngiltere'de bulunan laboratuvarlardaki gelişmelerle, GPR teknolojisini ticari ürün olarak elde etmek daha kolay bir hale gelmiş ve GSSI firmasının darbe radarları sıkça kullanılan sistemler haline gelmiştir. Son zamanlarda değişik modülasyon tekniklerini kullanan alternatif ürünler çıkmış ve pazar genişlemiştir. Bununla birlikte, darbe radarı şimdiye kadar en başarılı tasarım olup, tahmini olarak bu alandaki uygulamaların %95'inde kullanılmaktadır.

2.1.1 Uygulamalar

Son günlerdeki çalışmalar, ileri teknik uygulamalarının devamı olmaktadır. Gereksinimlerin de artması ile donanımların, tekniklerin ve veri işleme yöntemlerinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi gerekmektedir.

Tekniğin asıl işlemsel üstünlüğü; GPR antenlerinin yeryüzüne temas etmesinin gerekmemesi, dolayısıyla hızlı taramanın mümkün olmasıdır. Gerçekte Stanford Research Institute tarafından geliştirilen GPR sistemi ile sentetik açıklıklı radar (SAR) modunda, 400m yükseklikten uçarak gömülü metal gömülü cisimlerin görüntülenmesi mümkün olmuştur.

Özellikle anten-yer arasındaki mesafenin küçük olması gereken uygulamalarda anten tasarımında optimum performans, yerin doğasının ve geometrinin detaylarının dikkate alınması durumunda elde edilebilir. Antenler band genişliği ve ışıma deseni uygun özelliklere sahip olacak şekilde tasarlanmalıdır.

Sinyal kaynakları nano saniyelerin altında darbe üretebilir veya alternatif olarak geniş aralıkta modülasyonlu sinyal üretebilmek için programlanabilir olmalıdır.

Genelde GPR verilerini kullanarak herhangi bir dielektrik süreksizliği algılamak mümkündür. Hedefler ise geometrilerine göre sınıflandırılabilir: Düzlemsel ara yüzey; uzun, ince cisimler; küresel veya kübik cisimler. GPR sistemleri kullanılarak üç boyutlu görüntü oluşturma konusunda oldukça az çalışma bulunmasına rağmen sistem incelenecek hedef tipini algılayabilecek şekilde tasarlanmalı ve üç boyutta hedefin görüntüsünü üretebilecek potansiyele sahip olmalıdır.

Verilen malzeme içerisinde GPR sisteminin kullanışlılığı değerlendirilirken arzulanan çalışma frekansındaki sinyal zayıflatması en temel faktör olarak kabul

edilebilir. Kural olarak, düşük frekans iletkenliği yüksek olan malzemenin sinyal zayıflatması büyük olur. Bu yüzden çakıl, kum, kuru taş ve saf suda radar yöntemlerini kullanarak inceleme yapmak; tuzlu su, killi toprak ve iletken madenler ya da minerallere göre daha kolaydır ve bu tür malzemelerde inceleme yaparken verici frekansının düşürölmesi durumunda, hedefler arasındaki çözünürlük artmasına rağmen, malzemelerin tespiti mümkün olabilmektedir.

GPR sistemlerinin işlevsel etkinliği şu şartların sağlanmasına bağlıdır:

Elektromanyetik dalga toprağın içersine etkin olarak iletilebilmelidir,

Radyasyon hedef derinliđine göre toprağa uygun şekilde nüfuz ettirilebilmelidir,

Yere gömölü hedeften veya diğer dielektrik süreksizliklerden alıcıya yeterli büyüklükte saçılan sinyal gelmelidir,

Algılanan sinyalde istenilen çözünürlük ve gürölü seviyesine uygun bir band genişliği sağlanmalıdır.

Tekniğin esası, yaygın olarak kullanılan havada çalışan radarlarınkinden farklı değildir. Yeraltı radar çalışmalarında radar sisteminin tasarım ve çalıştırılmasında yukarıda bahsedilen gereksinimler özellikle önem kazanır. Özellikle yayılma kaybı, parazit yansıma karakteristiği ve hedef karakteristikleri açıkça farklıdır.

Radar tekniği genelde hedef üzerinden gelen geri saçılmayı sezebilmek için kullanılır. Ölçülen verilere uygun dönüşümler uygulanarak görüntü elde edilebilir.

Bir GPR tasarımcısının geleneksel radar tasarımcısının karşılaştımadığı iki problemi vardır: Kısıtlı bir bütçeyle tasarım yapmak ve sinyali geri alma probleminin üstesinden gelmek. İşlemcilerin fiyatlarının düşmesiyle, tasarımcı daha önce ekonomik olmayan sinyal işleme stratejilerini dikkate alabilir. Bunun sistem tasarımı ve aynı zamanda ticari gelişimi üzerinde önemli bir etkisi vardır.

Örneğin yeraltı uygulamaları için ilk zamanlarda kullanılan radarlarda anten cevabının ters evrişimindeki güçlüklerden dolayı, doğrusal faz karşılığı olan geniş bantlı antenlerin gerekliliği kabul edilmiştir. Bununla birlikte günümüzde eğer

istenirse yazılımda geliştirilen uygun sinyal işleme teknikleri kullanılarak makul bir fiyata doğrusal olmayan faz karakteristiklerini düzeltmek mümkündür.

GPR sistemlerinde kısa erimde oldukça yüksek seviyedeki parazit yansıma ile karşı karşıya kalınır. Bu durum, sinyal/gürültü oranının küçük olmasından daha önemli teknik bir engeldir. Tasarlanacak sistemde bu engel göz önünde bulundurulmalıdır.

Hedef parametrelerinin tam olarak belirlenmesi önemlidir. Gömülü bir borudan, metalden, bir boşluktan ve düzlemsel ara yüzeyden gelen sinyaller arasında önemli farklılıklar vardır. Bu durumun anten tasarımı, polarizasyonu ve sinyal işleme stratejisine büyük bir etkisi vardır ve kullanılmalıdır.

Çözünürlük ve derinlik istekleri açıkça belirlenmelidir. Bu özellikler , modülasyon tekniğinin seçilmesinde ve aynı zamanda donanım tasarımında etkili olan frekans ve band genişliğinin belirlenmesinde faydalı olur.

İletim kayıp karakteristikleri sistem seçimini etkileyecektir. Yapay açıklıklı ya da holografik tasarımlar yüksek kayıplı malzemelerde beklenmedik şekilde iyi çalışır.

Görüntü istekleri sistem maliyetinde oldukça etkilidir. Görüntü isteklerinin gerekli olan sinyal işleme tipini belirlemede temel rolü vardır. Görüntü sunumunda hedefin belirlenmesi ve sınıflandırılması için ayrıca sinyal işleme algoritmalarının kullanımına gereksinim vardır. Sinyal işleme algoritmaları gerçekleştirirken, kullanıcının istekleri göz önünde bulundurulmalıdır ve eğer GPR tekniklerinin boru ve kablo bağlantıları gibi rutin işler için kullanılması isteniyorsa, mümkün olduğu kadar sinyal yorum süreci de otomatik olmalıdır.

Antenin yeryüzünden fiziksel olarak ayrılması gibi kullanıma ait gereksinimler, oldukça gerekli olduğu durumlarda incelenmelidir. Bu sadece güç transferi açısından değil, parazit yansımaların azaltılması ve iletim etkinliği açısından da basit değildir.

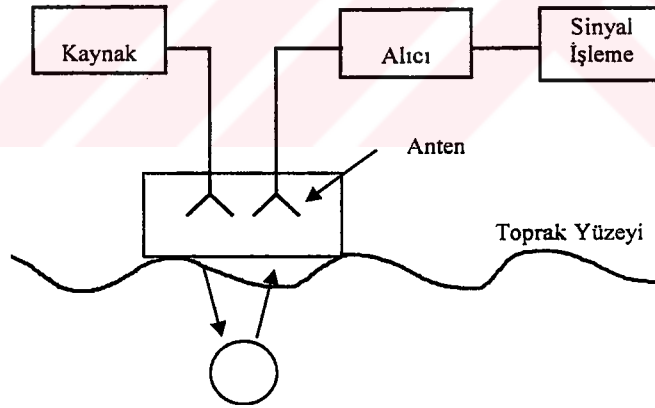
Kullanıma hazır bir GPR sisteminde bazı yardımcı donanıma gereksinim vardır. Örneğin, yeraltı araştırma teknikleri için GPR'la birlikte doğru gösteren, küçük boyutlu, düşük ücretli konum referans sistemine ihtiyaç vardır. Özellikle kamu kuruluşları için sayısal haritalar oluşturulurken ve güvenli çalışma alanları belirlenirken, doğru bir coğrafi referansa göre değerlendirilmiş veri oldukça önemlidir. Bazı durumlarda antenlerin tarama yapması gerekli olabilir. Bunun için

basit bir yaklaşım elle tutulan cihazdır, fakat elle taşınan sistemin sinyal işleme stratejilerine getirdiği bazı kısıtlar vardır. Alternatifleri robot kolları ve araca monte edilmiş sistemlerdir. Bu sistemlerin tüm uygulama alanlarında kullanımı mümkün değildir, ancak yol ve kaldırım alanlarını incelemek için daha ucuz bir yöntem olabilir. Sistem hangi yolla tarama yaparsa yapsın doğru konum referansı gereklidir.

Eğer GPR sistemi kullanıcıya yeraltındaki hedeflerin görüntülerini sağlıyorsa, anında (online) sinyal işlemeye gerek vardır. Gelişmiş mikroişlemcilerle yapılan tasarımlar sayesinde önümüzdeki yıllarda oldukça yüklü sinyal işleme algoritmalarının anında işlenmesi ekonomik olarak mümkün olacaktır.

2.2 GPR Sistemi

Radar tekniği, genel olarak hedeften gelen geri saçılımı algılama üzerine kurulmuştur. GPR sistemlerinde de, gönderilen elektromanyetik dalga yeraltındaki saçıcı cisimlere çarparak geri döner ve bu yansımalar alıcı antenler tarafından algılanarak çeşitli sinyal işleme yöntemleri ile değerlendirilir. Tipik bir GPR sisteminin blok diyagramı Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1 GPR blok diyagramı.

Bir GPR sisteminin etkin olarak çalışmasında aşağıda verilen isterler karşılanmalıdır:

Elektromanyetik dalganın toprağa sağlıklıca iletilebilmesi için anten ile toprak arasında iyi bir kuplaj olmalıdır,

İletilen dalga toprağın içinde hedefin bulunduğu derinliğe kadar nüfuz edebilmelidir,

Yerüstünden algılama yapabilmek için gömülü cisimden veya diğer dielektrik süreksizliklerden yeterince büyük saçılım sinyali elde edilebilmelidir,

Arzulanan çözünürlüğü sağlamak için uygun band genişliği sağlanmalıdır.

Bu isterleri karşılayacak sistem özelliklerinin belirlenmesinde benzeticiler (simülatörler) önemli bir araçtır.

2.2.1 Derinlik Çözünürlüğü

Görüntülenmesi istenen toprağın altı birçok malzeme ile doludur. GPR sistemlerinin önemli bir kullanımı hedef cismin kalınlığını belirlemektir. Tek bir katmanın özelliklerinin incelendiği GPR uygulamalarında derinlik bilgisini tam olarak elde etmek mümkündür. Ancak farklı hedeflerin birbirinden ayırt edilmesi ve hedefin yapısındaki detayların belirlenmesi söz konusu olduğunda dikey çözünürlük özellikle önem kazanır. Bu durumda sinyalin band genişliğinin büyük olması gereklidir, fakat alıcıda algılanan sinyalin band genişliği gönderilen sinyalinkinden daha önemlidir. Toprak, fiziksel ve elektriksel özelliklerine bağlı olarak vericiden gönderilen sinyale alçak geçiren süzgeç etkisi yapar.

İstenen alıcı bandgenişliği alınan sinyalin güç spektrumu düşünülerek belirlenebilir. Güç spektrumu, alınan dalgacığın Fourier dönüşümünden elde edilir. Dalgacık fonksiyonunun zarfı düşünülürse, alıcının band genişliğini belirlemek için çözünürlük Rayleigh kriterinden yararlanılır. Diğer bir yöntem ise sinyal dalgacığının otokorelasyonundan türetilir [4].

Eğer $f(t)$ bir dalgacıksa, otokorelasyon fonksiyonu şöyle verilir:

$$R_{11}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(t)f(t - \tau)dt \quad (2.1)$$

Verilen bir band genişliği için daha nemli malzemelerde daha büyük dikey çözünürlük elde edilebilmesine karşın, bu tür malzemeler daha yüksek zayıflamaya

sahiptir. Bu karakteristik etkin band genişliğini azaltır. Dikey çözünürlük ise yaklaşık olarak dalganın yayıldığı ortamdaki zayıflamadan bağımsızdır.

Toprak birçok katmanın bir araya gelmesiyle oluşmuş gibi modellenebilir. Ara yüzeyler arasındaki uzunluğun yarım dalgaboyundan daha büyük olduğu durumlarda bir ara yüzeyden yansıyan sinyal diğerinden yansıyanla evrişim işlemi uygulanacaktır. İlgili ara yüzden gelen cevabı tanımak ve karakterize edebilmek için bazı ters evrişim işlemlerinin uygulanması gerekecektir.

Toprağın homojen olduğu ve ϵ_r dielektrik sabitine sahip olduğu kabulü altında, dikey çözünürlük sınırı ΔR_z , radar için darbe genişliği ile doğru veya band genişliği ile ters orantılıdır. BW band genişliği, ϵ_r dalganın ilerlediği ortamın dielektrik sabiti ve c dalganın boşlukta yayılım hızı olmak üzere dikey çözünürlük,

$$\Delta R_z = \frac{c}{2 \cdot BW \cdot \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.2)$$

olarak verilir.

2.2.2 Yatay Çözünürlük

Yeraltına yerleştirilmiş insan yapımı cisimler araştırılırken ve aynı derinlikte birden fazla hedefin ayırt edilmesine gereksinim olduğunda yatay çözünürlük önemlidir [17].

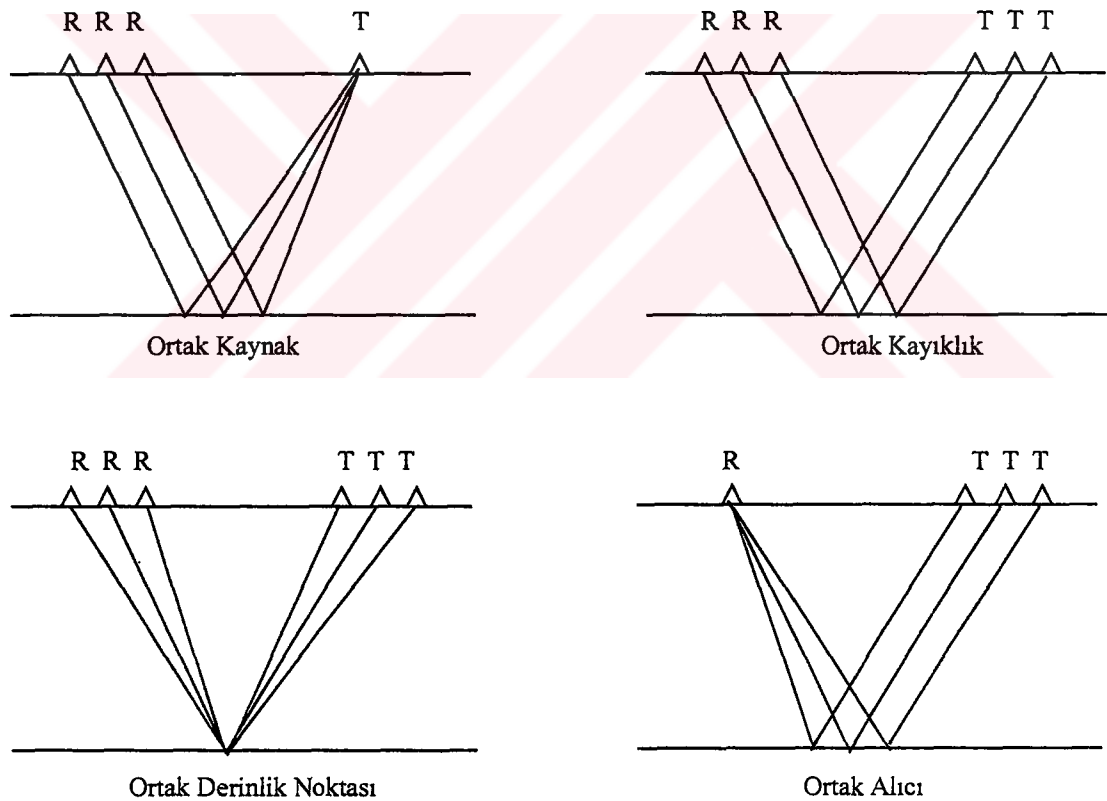
Yatay çözünürlük, anten karakteristiği ve uygulanan sinyal işleme ile belirlenir. Genelde beklenen yatay çözünürlüğe ulaşmak için yüksek anten kazancı gereklidir. Bu durum, düşük frekanslarda iletebilen uygun bir anten açıklığını gerektirir. Küçük anten boyutları ve yüksek kazanç elde edebilmek yüksek taşıyıcı frekansı kullanımını gerektirir. Oysa bu durumda enerji, gereken derinliğe kadar nüfuz edemez. Özel uygulamalar için sistem tasarlanırken, yatay çözünürlüğün, anten boyutu, sinyal işleme olanakları ve sistemin nüfuz etme kabiliyeti ile birlikte göz önünde tutulması gerekir.

Parazit yansımanın baskın olduğu durumlarda gerçek sinyali ayırt etmenin mümkün olduğu kabulü ile zayıflama artarken, yatay çözünürlüğü iyileştirmek mümkündür.

Düşük zayıflamalı ortamlarda, yatay tarama teknikleri kullanılarak elde edilen çözünürlük iyileştirilebilir, ancak bu koşullar altında gelişmiş sinyal işleme teknikleri kullanılmalıdır.

Genellikle tek bir antenin kullanıldığı radarlardan farklı olarak GPR sistemlerinde bistatik mod olarak bilinen, verici ve alıcı için iki ayrı antenin kullanıldığı durum yaygındır. Ancak anten konfigürasyonu normalde hareketli olduğundan bistatik terimi bu duruma tam olarak karşı düşmez.

GPR sistemlerinin konfigürasyon yapıları incelenirken, jeofiziksel incelemelerde kullanılan terimler daha uygun düşer. Jeofizikçiler incelemeleri ortak kaynak, ortak alıcı, ortak kayıklık ve ortak derinlik noktası olmak üzere 4 ana sınıfta yaparlar [5] (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Jeofiziksel yüzey modları

Çoğu GPR uygulaması alıcı ve verici arasındaki uzaklığın sabit olduğu ortak kayıklık modunda tasarlanır. Farklı sinyal işleme teknikleri kullanılarak ortak derinlik, ortak kaynak ve ortak alıcı modlarının kullanıldığı da görülmektedir.

Ortak kayıklık modunda verici ve alıcı antenler gömülü hedefin üzerinde toprağı tarar. Uzak alan için noktasal bir kaynak saçıcı için alınan güç,

$$P_r = \frac{P_t \cos^4 \theta}{d^4} \exp(-2\alpha d \sec \theta) \quad (2.3)$$

olarak ifade edilir. Burada α zayıflama katsayısı ve θ verici alıcı anten çiftinin orta noktası ile hedefe dik doğru arasında kalan açıdır.

Düzlemsel yüzeyde saçıcının geri yansıttığı gücün yarıya düştüğü nokta olarak da tanımlanan yatay çözünürlük yaklaşık olarak,

$$\Delta x = 4d \sqrt{\frac{\ln 2}{2 + \alpha d}} \quad (2.4)$$

ifadesiyle verilir. Bu yaklaşık formülde ne x, ne de y doğrultusunda anten demet paterni göz önüne alınmamıştır. Ancak zayıflama arttıkça, uygun sinyal-gürültü ve sinyal-parazit yansıma oranı sağlanması durumunda çözünürlük iyileştirilir. Dikkat edilirse, düşük zayıflamaya sahip malzemelerde, yapay açıklıklı işlemler uygulanabilir ve yatay çözünürlük iyileştirilebilir.

2.3 Değerlendirme

GPR'ın, değişik uygulama alanları bulunmakla birlikte, geliştirilmiş bir sistemin bütün uygulamalarda kullanılamadığı görülmektedir. Bu ise uygulama alanlarının çokluğunun ve çeşitliliğinin bir sonucudur. Hemen hemen her bir uygulama için ayrı bir sistem tasarımına ihtiyaç bulunmaktadır. Özellikle başarı oranı oldukça az olan gömülü plastik cisimlerin tespiti için oldukça detaylı bir sistem tasarımına ihtiyaç vardır.

Bölümde verilen sistemler ve uygulamalar gözönüne alındığında hedefin tesbiti ve sınıflandırılması için üç boyutlu görüntüleme yapmak bir zorunluluk olarak ortaya çıkmaktadır. Bu ise özellikle belirli bir hız isteri olan gerçek zamanlı uygulamalar için önemli bir kısıtlama ve zorluk getirmektedir. Bu problem ancak çok hızlı veri işleyiciler ve optimum algoritmalar kullanılarak aşılabılır.



3. KIZILÖTESİ ALGILAYICI İLE GÖMÜLÜ CİSİMLERİN TESPİTİ

3.1 Giriş

IR (Infrared) sensör, adından da anlaşılacağı üzere kızılötesi bölgede çalışır ve gözlediği bölgedeki ısı değişimlikleri algılar. IR sensörlerin çalıştığı dalga boyu bölgesi 3-14 μm 'dir. Bir IR sensör bu kadar geniş dalga boyu bölgesinde aynı hassasiyetle algılama yapamayacağı için sensörler genellikle daha dar dalga boyu aralıklarında çalışmaktadırlar. Uygulamada kullanılan IR sensörlerin çalışma bölgeleri 3-5 ve 8-12 μm olmak üzere ikiye ayrılmıştır. 5-8 μm arasındaki dalga boyu atmosferde bulunan su buharı nedeniyle soğurulduğu için IR sensörler bu aralıkta tespit yapamaz.

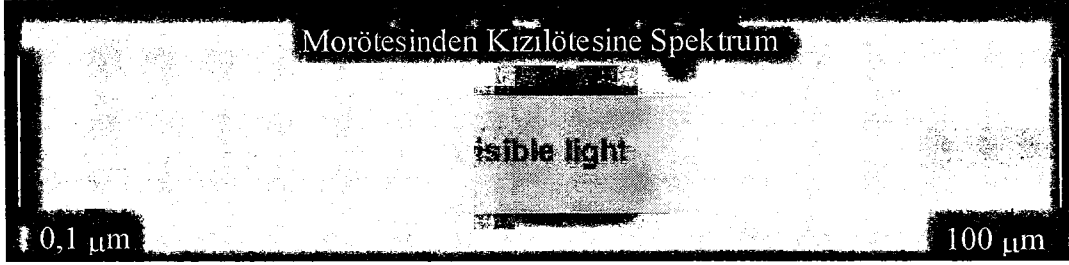
Gömülü cisimler çevrelerinde bulunan toprağa göre farklı ısı tutma özelliklerine sahiptirler. Bu nedenle gömülü cismin gömülü olduğu bölgedeki toprak, çevresine göre farklı ısı özellikler gösterecektir. Bu ısı farklılıkların IR sensör ile gözlenerek işlenmesi sonucu gömülü cisim yeri tespit edilebilir.

IR sensörlerin yaygın olarak kullanılan adı "termal kamera"dır. Binaların ısı yalıtımında oluşan kaçakların algılanması, elektrik devrelerinin arıza tespiti ve gece görme sistemleri gibi çok değişik uygulamalarda kullanılmaktadır.

3.1.1 Kızılötesi Spektrum

Canlı olsun ya da olmasın tüm nesneler yüzeylerinden enerji yayarlar. Bu enerji elektromanyetik dalgalar şeklinde yayılır ve vakum, hava veya diğer herhangi bir iletken ortam içinde ışık hızı ile hareket eder. Saydam olmayan bir cisim üzerine düştüğü zaman tekrar sıcaklığa dönüşür ve gözlenebilir.

Bir cismin sıcak veya soğuk olması, o cismin yaydığı (*emit*) ve soğurduğu (*absorb*) enerji seviyesi ile ilgilidir. Eğer cismin soğurduğu enerji miktarı yaydığı enerji miktarından daha çok ise bu durumda cisim soğuk, eğer soğurduğundan daha fazla enerjiyi yayıyorsa cisim sıcak varsayılabilir. Cisim çevre sıcaklığı ile dengeye gelmiş ise, yaydığı ve soğurduğu enerji miktarı eşit olacaktır, bu durumda cisim ne sıcak ne de soğuktur [25].



Şekil 3.1 Kızılötesi Spektrum [26].

Isıl enerji, kızılötesi dalga boyunda iletilir. İnsan gözü sadece gökkuşağındaki ışıkların renklerini çevreleyen görülebilir ışığın dar orta bandını görebilir. IR sensörler, kızılötesi dalga boyunda iletilen enerji verisini görülebilir ışık spektrumu olarak görüntülerler. Görülebilir ışık, bir ışık kaynağına (güneş veya yapay) bağlıdır; bir cisimden yansır ve göz tarafından algılanır. 0K üzerinde sıcaklığa sahip bütün cisimler termal kızılötesi enerji yayarlar buna göre, IR sensörler çevre ışığına bağlı olmaksızın pasif olarak bütün cisimleri görürler. Bu özellik görülebilir bölgede çalışan algılayıcılara göre büyük üstünlük sağlar [26].

3.2 IR Algılayıcı ile Cisim Tespiti

Toprak üzerinde veya gömülü olan cisimlerin, toprakta bir takım bozulmalara neden olurlar. Bozulmuş toprak, çevresinde bulunan bozulmamış topraktan farklı ısıl özelliklere sahiptir. Isıl özelliklerdeki bu değişim IR kamera tarafından tespit edilebilen küçük sıcaklık değişimleridir. IR kamera ile bozulmuş topraktaki ısıl değişimler algılanarak, özellikle yeni gömülmüş cisimlerin yerini tespit etmek mümkündür.

3.2.1 Orta-Dalga ve Uzun-Dalga Kızılötesi

Cisim dedeksiyonunda kullanılan IR sensörler orta-dalga (MWIR) 3-5 μm ve uzun-dalga 8-12 μm (LWIR) bandında çalışır. Şekil 3.2, ortamdan IR kameraya ışıma iletiminin temel özelliklerini göstermektedir. Görüş hattı boyunca (*Line of Sight*, LOS) kaynaktan ışımanın kameraya gelmesi dört farklı yolla olur.

Kendiliğinden ışıma yayma,

Cismin arkasındaki kaynaktan ışıma iletimi,

Cismin önündeki kaynaktan uzak ışımanın iletimi,

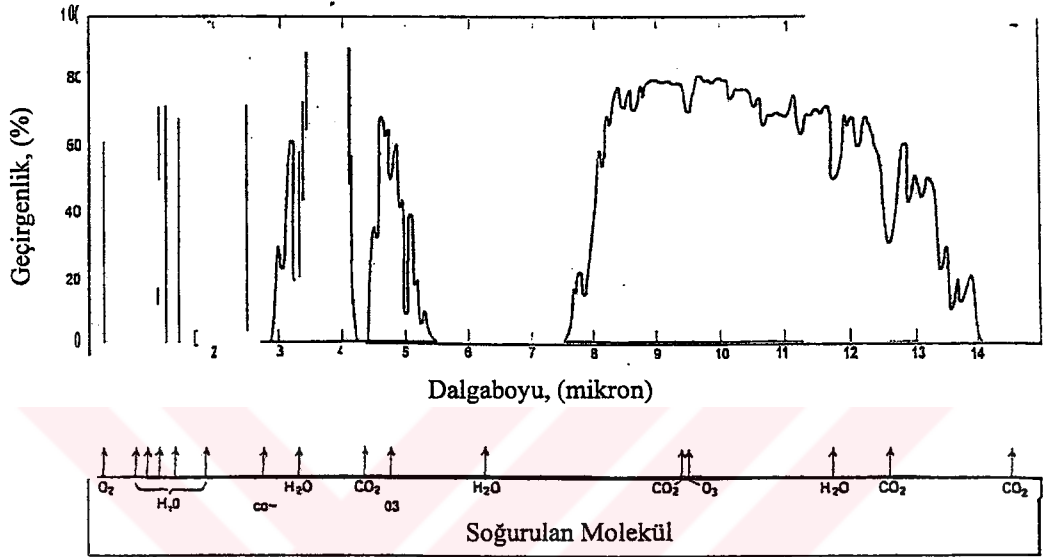
Aradaki atmosfer vasıtasıyla LOS içinden ve dışından gelen tüm saçılmalar.

Doğal arazinin ve mayın benzeri insan yapımı cisimlerin IR ışıma farkı güneşin etkileme gücüne bağlıdır. Bir kızılötesi görüntüdeki kontrast (gömülü cisim ile ortam arasındaki) ortamın (toprak) görünen sıcaklığı ile kaynağın (gömülü cisim) görünen sıcaklığı arasındaki fark olarak belirtilir.



Şekil 3.2 IR görüntüleme karakteristikleri.

Atmosferik koşullar nedeniyle, MWIR 3-5µm bandı ve LWIR 8-12µm olmak üzere MIR dalga boyu bandı iki ayrı banda bölünmüştür. Şekil 3.2'de atmosferdeki kızılötesi iletim bandı görülmektedir.



Şekil 3.3 Atmosferde IR iletim

İyi performanslı IR görüntüleme sistemleri: *IRLS (Infrared Line Scanning)* sistemleri ve *FLIR (Forward Looking Infrared)* sistemleri olmak üzere iki temel kategoriye ayrılmıştır. IRLS sistemi, bir döner aynanın ardışıl taramaları ile görüntüyü şekillendirir. Taramalar IRLS sistemini taşıyan aracın izlediği yolun enine yapılır. İki boyutlu görüntü için gerekli olan ikinci tarama aracın ilerlemesi ile sağlanır. Gömülü cisim ve gömülü cisim alanlarının tespit edilmesi için IRLS oldukça uygun bir sistemdir. Eğer IRLS'ye dikey tarama mekanizması eklenirse FLIR sistem oluşur. FLIR sistemi genel olarak taramalı ve hareketsiz olmak üzere iki kategoriye ayrılır.

Hareketsiz FLIR sistemler genellikle FPA (*Focal Plane Array*) tipinde dedektör yapısına sahiptir. FPA dedektörler çok sayıda piksel içerir. Daha çok sayıda piksel içeren dedektör, en düşük ısı farkları daha yüksek hassasiyet ile tespit etme

yeteneğine sahiptir. Sensör hassaslığının yüksek olması gömülü cisimlerin tespit edilmesi için idealdir.

IR sistemler ayrıca, aktif ve pasif sistemler olarak ikiye ayrılabilir. Aktif IR sistemlerinde, sistemin kendisinden üretilerek yayılan IR ışımanın yansıtılması ile görüntü elde edilir. Bu prensip geri yansıtımlı (*retro-reflectance*) olarak adlandırılır. Pasif sistemler ise doğrudan cisimlerden gelen ışımayı algılar.

3.2.2 Cisim Tespiti

IR sensörler ile cisim ve çevresi arasındaki sıcaklık farkı algılanır. Bu sıcaklık ısı kızıltısı ışımanın yayılması ve yansımalarının bileşimidir ve belirli malzemelerin ısı dengeleri tarafından belirlenir. Bu, sıcaklık yansıma katsayısı gibi malzeme parametreleri, güneşin ısıtması, bağıl nem oranı ve ortam sıcaklığı gibi çevresel ve meteorolojik koşullara bağlıdır. Yer yüzeyi ve atmosfer arasındaki ısı değişimi nedeniyle günde iki kez ısı başarısızlık (*thermal washout*), (gömülü cisim ve ortam arasında en düşük fark) meydana gelir. Gömülü cisimlerin IR sensörü ile en iyi tespit zamanı, günün ısı farklılığının en yüksek olduğu zamanlardır. Isı başarısızlık oluşması durumunda bile çok iyi performanslı modern IR kameralar ile iyi sonuçlar elde edilebilir. Bu tür kameralar ile çok küçük ısı farkları tespit etmek mümkündür. FPA IR kameraların NETD'si (*Noise Equivalent Temperature Difference*) 0.03 °C'nin üzerindedir.

IR sensörlerin IFOV (*Instantaneous Field of View*)'ı cisim boyutunu kapsamalıdır. Örneğin sensörün 30 cm'lik gömülü cismi tespit etmek için uzamsal çözünürlüğü, 30 cm'den daha küçük olmalıdır. FPA sisteminin 5 cm'lik gömülü cismi 500 metreden tespit etme yeteneği mevcuttur. Bu tür bir sensör için tipik IFOV 0.2 mrad'dır.

IR sensör ile gömülü cisimlerin tespiti sadece sensörün IFOV ve NETD'sine değil aynı zamanda ortamdaki gürültüye (*clutter*) de bağlıdır. Gürültülü ortamda olmayan gömülü cisimleri tespit etmek, gürültülü ortamda bulunanları tespit etmekten daha kolaydır. Gürültü; toprak yapısına, toprak tipine, içerdiği nem miktarına, taş, bitki, gölge ve güneşli olmasına bağlı olarak değişen karmaşık bir olaydır.

Işımanın yayılması ve böylece gömülü cisimlerin tespiti atmosferik iletme bağlıdır. İletim, soğurmanın ve saçılmanın artması nedeniyle uzaklıkla azalır. Kısa mesafelerde iletim kayıpları nispeten küçüktür.

IR sensörünün gömülü cisim tespitinde kullanılmasına yönelik araştırmalar halen tüm dünyada devam etmektedir. Bu çalışmalardan bazıları hakkındaki bilgiler aşağıda verilmektedir.



4. GIBBS RASTLANTISAL ALANLAR KULLANILARAK GÜRÜLTÜLÜ GÖRÜNTÜLERİN MODELLENMESİ VE AYRIŞTIRILMASI

4.1 Giriş

Bilgisayar destekli görüntü işleme literatüründe görüntüyü modellemek ve işlemek için kullanılan istatistik yöntemlere karşı özellikle son yıllarda artan bir ilgi vardır. Bu tür çalışmaların bir çoğu gürültülü görüntülerin ayrıştırılması ve yenilenmesi problemlerinde çokça kullanılan Markov Rastlantısal Alan (MRA) Modeli uygulamaları doğrultusunda gerçekleştirilmiştir.

Geman ve Geman [2], Cohen ve Cooper [3] tarafından yazılan raporlarda ve Derin ve Elliott [39]-[40], [41] tarafından yapılan çalışmalarda MRA modelini karakterize etmek yani işlevleştirmek için Gibbs Dağılımı kullanılmıştır. Gibbs Dağılımı ilk olarak Ising [43] tarafından ferromanyetik malzemelerdeki moleküler etkileşimi modellemek için kullanılmış ve işleme algoritmasını daha kolay kontrol edilebilir ve daha güvenilir hale getirdiği görülmüştür.

Bu tezde, görüntü işlemede kullanılan yöntemlerden olan Gibbs Dağılımı uygulamaları için bir yaklaşım tanıtılmıştır. İlk olarak elde edilen görüntüdeki dağılımı modellemek için Gibbs dağılımı verilmiştir, daha sonra maksimum *a posteriori* (MAP) kriteri kullanılarak gürültülü görüntülerin ayrıştırılması için algoritma oluşturulmuştur. Algoritmada Gibbs dağılımının parametrelerini bulmak için yeni bir teknik kullanılmıştır, böylece hesap yoğunluğu da azalmıştır.

Algoritma, görüntünün piksel piksel taranması ve herbir piksel için MAP kriterinin uygulanması esasına dayanmaktadır. MAP kriterinin hesap yoğunluğu çok olduğundan dolayı modelde bazı varsayımlara gidilmiştir. Bu varsayımların algoritmanın başarımını nasıl etkilediği karşılaştırmalı şekilde tezde incelenmiştir. Gibbs Dağılımıyla modellenen bir görüntünün ayrıştırılması için MAP kriteri yerine

uygulanabilecek yöntemler Geman ve Geman [2] ve Cohen ve Cooper [3] tarafından sunulmuştur.

Bir görüntü için Gibbs dağılımını kullanmanın parametre hesabı açısından bazı zorlukları vardır. Bu konu ile ilgili en klasik bildiri olan Besag [6] “kodlama yöntemi’ni” önermiştir. Bu yöntem temelde maksimum olasılık hesabı yöntemidir ve birçok doğrusal olmayan denklemin çözümüne dayanır. Doğrusal olmayan denklemlerin çözümünün güvenilir olmaması ve hesapta yoğunluk oluşturmaları dolayısıyla “kodlama yöntemi”nden vazgeçilmiş ve yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem bize doğrusal çözümü olan bir parametre tahmini imkanı sağlamaktadır. Parametrelerin algoritma çıktısını nasıl etkilediği ileride görüntülerle açıklanacaktır.

4.2 Markov Rastgele Alan Yaklaşımı (MRF)

İki boyutlu Markov Rastgele Alan yaklaşımına bağlı olan stokastik modeller, Ad-hoc işlemi gerçekleştirilemeyen birçok pratik algoritmanın gelişimine önayak olmuştur (R.C.Dubes et'al, 1989, S.Geman, 1984; H.Derin, A.H.Elliot,1987). Rastgele Alan yaklaşımı istatistiksel bağımlılığa zorlayan, piksel şiddeti gibi ilgilenilen hedefi temsil eden rastgele değişkenlere bağlı olan ortak dağılımdır.

Modellemenin amacı verileri üreten olayın doğasını anlayabilmek için birkaç parametreyi ele alarak verilerin karakterini yakalamaktır. Veri işleme ve modelleme için son birkaç yılda istatistiksel tekniklerin kullanımında artan bir ilgi vardır. R.C.Dubes et'al, 1989, S.Geman, D.Geman, 1984, H.Derin, A.H.Elliot,1987 tarafından yazılan raporlarda Markov Rastgele Alanı'nı karakterize etmek için Gibbs Dağılımı (GD) kullanılmıştır. Gibbs dağılımının orijini istatistiksel mekanik ve fiziğe dayanır. E.Ising, 1925, ferromanyetik malzemelerin manyetik özelliklerini açıklayan, şimdi Ising modeli olarak bilinen özel bir Gibbs dağılımı kullanmıştır.

Şimdi Gibbs Dağılımının temel tanımlarını açıklayalım.

4.2.1 Gibbs Dağılımının Temel Tanımlamaları

Varsayalım ki görüntümüz $N_1 \times N_2$ boyutunda olsun ve görüntü kümesini aşağıdaki şekilde tanımlayalım:

$$L = \{(i, j) : 1 \leq i \leq N_1, 1 \leq j \leq N_2\} \quad (4.1)$$

L kümesinin altkümeleri de:

$$\eta = \{\eta_{ij} : (i, j) \in L, \eta_{ij} \subseteq L\} \quad (4.2)$$

(i,j) piksel noktasının komşuluğu η_{ij} olduğu takdirde (4.2) eşitliği L üzerinde bir komşuluk sistemidir öyle ki:

- $(i, j) \notin \eta_{ij}$
- Eğer $(k, l) \in \eta_{ij}$ ise herhangi bir $(i, j) \in L$ için $(i, j) \in \eta_{kl}$ 'dir.

Modellemede kullanılan komşuluk sisteminin hiyerarşik sırası aşağıdaki gibidir.

$$\eta^1, \eta^2, \dots, \eta^l = \{\eta_{ij}^l\} \quad [1]$$

$$\eta^2 = \{\eta_{ij}^2\} : (i, j) \text{ pikseli komşuluğundaki 8 pikseli içerir.}$$

Komşuluk yapısı Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmiştir. η^m komşuluk sistemi, m'inci dereceden komşuluk sistemi olarak adlandırılır.

c olarak gösterilen (L, η) komşuluk sistemi ile ilgili klikler, L'nin bir alt kümesidir öyle ki:

- c, tek bir pikseli içerir ya da
- $(i, j) \neq (k, l)$ için $(i, j) \in c$ ve $(k, l) \in c$, $(i, j) \in \eta_{kl}$ demektir.

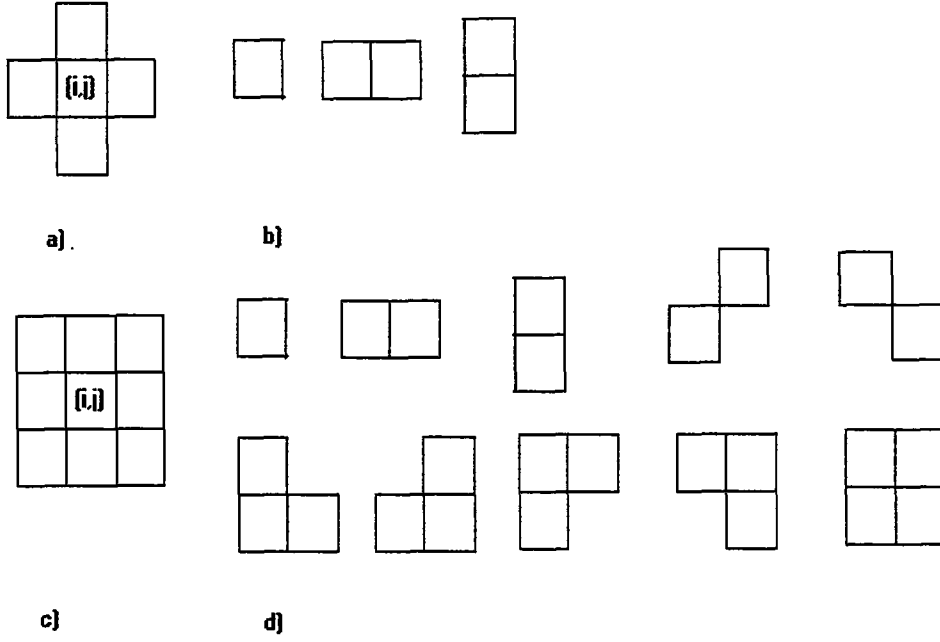
(L, η) görüntü kümesi-komşuluk çiftinin tüm klikler toplam kümesi $C=C(L, \eta)$ olarak gösterilir. η_1 ve η_2 'yi içeren klik çeşitleri Şekil 4.2'de gösterilmiştir.

			6			
	5	4	3	4	5	
	4	2	1	2	4	
6	3	1	(i,j)	1	3	6
	4	2	1	2	4	
	5	4	3	4	5	
			6			

Şekil 4.1. Hiyerarşik olarak düzenlenmiş η^m komşuluk sistemi

$$\eta_m = \{\eta_{ij}^m\}$$

$$\eta_{ij}^m = \{k : k \leq m\}$$



Şekil 4.2 Klik çeşitleri

a) η komşuluk sistemi, b) η_1 'deki klik çeşitleri,

c) η_2 komşuluk sistemi, d) η_2 'deki klik çeşitleri

η 'yü sonlu L görüntü kümesi üzerinde tanımlı bir komşuluk sistemi olarak tanımlayalım. L üzerinde tanımlı $X = \{X_{ij}\}$ rastgele alanı Gibbs Dağılımı karakteristiğine sahip olsun veya ortak dağılımı aşağıdaki gibi olan Gibbs Rastgele Alanı (GRF) olsun.

$$P(X = x) = \frac{1}{Z} e^{-U(x)} \quad (4.3)$$

Burada,

$U(\mathbf{x}) : \sum_{c \in C} V_c(x)$, enerji fonksiyonu olarak tanımlanır.

$V_c(\mathbf{x})$: Klik c 'ye bağlı potansiyel

$Z = \sum_s e^{-U(x)}$: Basitçe normalizasyon sabiti olan bölütleme fonksiyonu

Gibbs Dağılımı temelde bir

eksponansiyel dağılımdır. (4.3) eşitliğinden de anlaşılacağı gibi $X=x$ 'in görüntü içerisinde bulunma olasılığı, x 'in kendisine bağlı değil de x 'in içinde bulunduğu komşuluk sisteminin eksponansiyel enerji dağılımının görüntü kümesi içerisinde bulunma olasılığına eşittir.

Klik potansiyeli $V_c(x)$ 'i doğru seçerek çeşitli hem ayrık hem de sürekli rastgele alan dağılımları Gibbs Dağılımı ile formülize edilebilir. J.Besag, 1974, Markov Rastgele Alanı ile Gibbs Rastgele Alanı arasında birebir ilişki olduğunu ispatlamıştır. Böylece, herhangi bir rastgele alan, Markov Rastgele Alanı olarak ve dolayısıyla yeterli derecede geniş komşuluk sistemi ile Gibbs Rastgele Alanı olarak düşünülebilir. Yapılan birçok deney sonucunda birinci ve ikinci komşuluklar kullanılarak bile çok iyi sonuçlar alındığı görülmüştür.

4.2.2 Bir Gibbs Dağılım Sınıfı

Varsayalım ki X rastgele Alanı, değerlerini $Q=\{q_1, q_2, \dots, q_M\}$ kümesinden alan M değerli X_{ij} ayrık değişkenlerinden oluşsun. Gibbs Dağılımını tanımlamak için 3 parametre tanımlamak gerekmektedir

- η Komşuluk sistemi
- Komşuluk sisteminin klik yapısı
- $V_c(x)$ klik potansiyeli

Rastgele alanın homojen olduğunu düşünelim ve dolayısıyla klik potansiyeli, klik çeşitlerine ve kliklerdeki piksel değerlerine bağlı olup klik'in görüntü içerisindeki yerine bağlı olmasın. Dağılımı η^2 ikinci dereceden komşuluk sistemine bağlı olarak tanımlayalım.

η^2 'ye göre klik potansiyelleri aşağıdaki şekilde tanımlansın, görüldüğü gibi tek pikseli klikler hariç her bir klik tipine ayrı bir parametre atfedilmiştir.

$$\begin{aligned}
 & [** , \beta_1], [* , \beta_2], [* , \beta_3], [* , \beta_4] \\
 & [** , \tau_1], [** , \tau_2], [** , \tau_3], [** , \tau_4], [** , \xi_1]
 \end{aligned}
 \tag{4.4}$$

bunlara göre klik potansiyelleri :

$$V_c(x) = \{ -\xi, \quad c \text{ içerisindeki tüm } x_{ij} \text{'ler eşitse} \tag{4.5}$$

ξ , diğer durumlarda

ξ , c klik tipi için belirtilmiş bir parametredir. Tek pikseli kliklerde, klik potansiyeli aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$x_{ij} = q_k \text{ için } V_c(x) = \alpha_k \tag{4.6}$$

α_k parametresi piksellerin yüzdelerini kontrol eden, diğerleri ise kümeleşme yönünü ve büyüklükleri kontrol eden parametrelerdir.

4.2.3 Gibbs Dağılımının Oluşturulması

Gözlenmiş $N_1 \times N_2$ boyutlu bir $y = \{y_{ij}\}$ sayısal görüntüsü tanımlayalım. Bu y matrisi Y rastgele Alan kümesinden türemiş olsun. Amaç Y Rastgele Alan'ını belirlemek, dolayısıyla gürültülü görüntü karakterize edilmiş olur.

Y rastgele Alan dağılımını $X = \{X_{ij}\}$ rastgele Alanı'na indirgiyoruz ve X rastgele Alanı X_{ij} değerlerini her $(i, j) \in L$ için $Q = \{1, 2, \dots, M\}$ kümesinden almaktadır.

$X_{ij}(\omega) = x_{ij} = k$ ise x rastgele alanına bağlı olan (i,j) pikseli k bölge tipine ait demektir. Böylece $x = X(\omega)$ tanımı ile L görüntü kümesi M bölgeye ayrıştırılmış (bölütlenmiş) olur. Her bölge tipi tüm görüntü içerisinde birden fazla noktada görünüyör olabilir.

Örnek olarak bir görüntü içerisinde farklı yapıdaki su birikintileri tek bir bölge tipi ile karakterize edilebilir. Amaç çok sayıda farklı bölge içeren bir görüntüyü daha az, fakat doğru bölgeler ile temsil edebilmektir. (256 bölgeli (seviyeli) bir görüntüyü 8 bölge (seviye) ile temsil edebilmek).

X alt Rastgele Alanı Gibbs Rastgele Alanı ile modelleyelim. Bu bir bölge oluşturma işlemidir.

Yani Gibbs Dağılımı pikselleri belirli özelliklerine göre kümeleştirerek belli bir bölgeye atacaktır. Model düşüncesi de şu şekilde olsun, görüntü içerisindeki bir piksel herhangi bir bölgeye aitse, o pikselin komşuluğundaki pikseller de büyük bir olasılıkla aynı bölge içinde olacaktır. Bu modelden hareketle B bölümünde anlatılan ikinci dereceden GD (Gibbs Dağılımı) kullanılmıştır.

- **Bölge Modeli**

Görüntü Gauss gürültüsü ile bozulmuş olsun, dolayısıyla:

$$Y_{ij} = F(X_{ij}) + W_{ij} \quad , \quad (i, j) \in L \quad (4.7)$$

$F(.)$ gri seviyeye karşı gelen değer

$$F(X_{ij}) = q_m \quad , \quad \text{eğer } X_{ij} = m \text{ ise} \quad (4.8)$$

$\{W_{ij}\}$ sıfır ortalamalı ve σ^2 varyanslı gauss gürültüsüdür ($N(0, \sigma^2)$). Ele alınan bu modelde bölütleme için σ^2 ve bölge şiddetleri q_m değerlerine ihtiyaç vardır.

4.2.4 Bölütleme Problemi

Bölütleme probleminin temeli verilen bir gürültülü Y görüntüsünden onun alt kümesi olan bir X kümesini elde etmektir. Kısaca $x=X(y)$ değerini bulmaktır. Problemi

istatistiksel olarak ortaya koyunca çözüm için maksimum öncelikli tahmin (MAP : Maximum a posteriori Estimation) kriterini kullanabiliriz. Amaç $P(X=x / Y=y)$ koşullu olasılığını maksimum yapacak x değerini belirli bir kurala göre belirleyecek algoritmayı oluşturmaktır. Dolayısıyla MAP kriterini biraz daha detaylı inceleyelim.

4.3 MAP Bölütleme Algoritması

MAP bölütleme algoritması, daha önce de belirtildiği gibi $P(X=x / Y=y)$ koşullu olasılığını maksimum yapacak x değerini bulmaya yönelik bir algoritmadır. Bayes' kuralını kullanarak

$$P(X = x / Y = y) = \frac{P(Y = y / X = x) \cdot P(X = x)}{P(Y = y)} \quad (4.9)$$

y , en büyüğünü bulma işlemini etkilemediğinden (4.9) eşitliğinin sağ tarafının en büyük olması yeterlidir, yani $P(X = x, Y = y)$ ortak dağılımının en büyük olması gerekmektedir. Ortak dağılımın logaritmasını alırsak;

$$\ln P(X = x, Y = y) = \ln P(X = x) + \ln P(Y = y / X = x) \quad (4.10)$$

x alt küme değerini yani doğru bölgeyi belirlemenin en zor tarafı (12) denklemini en büyük yapan değeri bulmak için işlemin $M^{N_1 N_2}$ defa tekrarlanmasıdır. Çünkü $N_1 \times N_2$ boyutlu görüntüdeki $N_1 N_2$ pikselin herbirisi en büyüğü bulma işleminden sonra bölge sayısı olan M adet değerden birisini alacaktır.

4.3.1 Beyaz Gürültü Eklenmiş Bir Görüntü İçin MAP Bölütleme Algoritması

Varsayalım ki, herbir M bölgesi $\{q_m\}_{m=1}^M$ farklı q_m değerlerinden birisi ile gösterilsin. Başlangıçta K seviyeli olan gürültülü görüntümüz, bölütleme işlemi sonucunda herbir piksel, değeri $\{q_m\}_{m=1}^M$ değer kümesinden birisi olan M -seviyeli hale gelecektir. Algoritmanın önemli safhalarından birisi de en uygun q_m değerlerini belirleyebilmektir, bunun için iki yöntem vardır

1. K seviyeli görüntüyü doğrusal kuantalama ile M seviyeli hale getirmek ve q_m değerlerini belirlemek.
2. K seviyeli görüntüyü doğrusal olmayan kuantalama ile M seviyeli hale getirmek ve q_m değerlerini belirlemek.

Yazılan algoritmada doğrusal olmayan kuantalama kullanılmıştır ve q_m değerleri histogram tekniği ile belirlenmiştir. Ayrıca, görüntü beyaz Gauss gürültüsü ile bozulmuş olsun. X rastgele Alanı İkinci dereceden Gibbs Dağılımı ile modellenmiş olsun. Daha önce belirtildiği gibi algoritmanın amacı (12) denklemini en büyük yapan x değerini elde etmektir. Onun için (12) denklemini biraz açalım:

$Y=y$ gözlemlendiğine göre

Maksimum Olasılık Teorisine göre:

$$\ln P(X = x_m) + \ln P(Y = y / X = x_m) \geq \ln P(X = x_i) + \ln P(Y = y / X = x_i) \quad (4.10)$$

ise $\forall i \neq m$ için $X(y)=x_m=q_m$ 'dir. Çünkü x değerlerini $\{q_m\}_{m=1}^M$ kümesinden almaktadır.

Ayrıca, $y=n+x$ olduğundan dolayı (y:gözlemlenen değerler, n:gauss gürültüsü, x:kaynak değerler)

$$P(Y = y / X = x_m) = P_n(y - x / X = x_m) = P_n(y - x_m) \quad (4.11)$$

(x ve y istatistiksel bağımsız ise)

Modelimizde gauss gürültüsü kullandığımız için;

$$P_n(\alpha) = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{\frac{N_1 N_2}{2}}} e^{-\left(\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^{N_1 N_2} \alpha^2_i\right)} \quad (4.12)$$

$\alpha=y-x$ eşitliğini (4.12) denkleminde yerine koyarsak:

$$P_n(y-x) = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{\frac{N_1N_2}{2}}} e^{-\left(\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^{N_1N_2} (y_i-x)^2\right)} \quad (4.13)$$

(4.13) denkleminin logaritmasını aldığımızda :

$$\ln P_n(y-x) = -\frac{N_1N_2}{2} \ln(2\pi\sigma^2) - \left(\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^{N_1N_2} (y_i-x)^2\right) \quad (4.14)$$

elde ederiz.

(4.10) denkleminin birinci bileşenini de açarsak :

$$P(X=x) = \frac{1}{Z} e^{\sum_{c \in C} V_c(x)} \quad (4.15)$$

Logaritma alırsak:

$$\ln P(X=x) = -\ln Z - \sum_{c \in C} V_c(x) \quad (4.16)$$

(4.14) ve (4.16) denklemlerini (4.12) denkleminde yerine koyarsak ve görüntüyü piksel piksel tarayacağımız için denklemi piksel bazlı hale getirirsek :

$$\ln P(X=x, Y=y) = l_j = -\ln Z - \sum_{c \in C} V_c(x) - \frac{N_1N_2}{2} \ln(2\pi\sigma^2) - \left(\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^{N_1} (y_{ij} - q_m)^2\right) \quad (4.17)$$

Algoritmada her bir $(i, j) \in L$ pikseli için (4.17) eşitliği hesaplanır ve (4.17) eşitliğini en büyük yapan q_m değeri bulunur ve y_{ij} gözlemlenen piksel değeri q_m kuantalanmış değere atanır.

(4.17) eşitliğindeki 1. ve 3. Terimler sabit olduğundan dolayı en büyüğü bulma işlemini etkilemeyeceklerinden ihmal edilebilirler, dolayısıyla (4.17) eşitliğinin son hali :

$$l_j = - \sum_{c \in C} V_c(x) - \left(\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^{N_1} (y_{ij} - q_m)^2 \right) \quad (4.18)$$

Bilindiği gibi bir algoritmanın en önemli parametrelerinden birisi de hesaplama zamanıdır ve optimize edilmesi gerekmektedir. MAP Bölütleme algoritmasında her bir piksel için M^{N_1} adım gerekmektedir, çünkü $N_1 \times N_2$ boyutlu görüntüde her bir sütun için M^{N_1} farklı uygun bölütleme olanağı vardır. Bu da demektir ki algoritma her N_2 adımda M^{N_1} hesaplama yapacaktır. Dolayısıyla $N_1 > 4$ için bu işlem çok ağır bir hesap yüküne karşılık gelmektedir. Bunun için N_1 satır yerine $D < N_1$ satırın işleneceği bir alternatif çözüm önerilmiştir ve işlem yükü M^D hesaba indirgenmiştir.

Alternatif çözümün işlem süreci aşağıdaki şekilde gelişmektedir.

İlk D satır (1'den D 'ye) (4.18) eşitliğinde yerine konularak işlenir ve en uygun olan q_m değerleri bulunur, daha sonra ilk satırdaki piksel için bulunan değer saklanır, diğer $D-1$ adet satırdaki değerler atılır. Daha sonra 2 - $D+1$ aralığındaki satır şeridi işlenir, işlem sonucunda ikinci satırdaki değer saklanır, yine diğerleri atılır. Bu işlem son D satırlık şerit de işlendikten sonra 1. Satırdaki tüm bölütleme tamamlanmış olur ve 2. sütuna geçilir, aynı işlemler 2. sütun için tekrarlanır.

Bölütleme Algoritması :

Adım 0 D için bir değer seç, $2 \leq D \leq 4$

Adım 1 $I=1$ yap.

- Adım 2 Şerit işlemeyi $I - I+1$ satırları için uygula.
- Adım 3 $I+D-1=N_1$ ise $I - I+D-1$ aralığındaki satırlar için bulunan değerleri sakla, Adım 7'ye git
- Adım 4 I satırı için bulunan değeri sakla, diğerlerini at.
- Adım 5 $I=I+1$.
- Adım 6 Adım 2'ye git.
- Adım 7 Dur.

Algoritması verilen bu şerit işleme alternatif yönteminin yorumlanması şu şekildedir: Bir şerit işlendiği zaman kullanılmayan piksellerin en uzağında kalan piksel için bulunan değer saklanmaktadır, diğerleri atılmaktadır. Diğer bir deyişle, kullanılmayan piksellere daha yakın olan yani etkilenme olasılığı daha yüksek olan pikseller için bulunan değerler atılıyor, yalnızca kullanılmayan piksellerden etkilenme olasılığı en düşük olan piksel için bulunan değer saklanıyor.

4.4 GIBBS Dağılım Parametrelerinin Belirlenmesi

Amaç Gibbs Dağılımının parametrelerinin belirlenmesidir ve bu problem geçmiş yıllarda üzerinde önemle durulan bir konu olmuştur [2],[7],[19]. En çok kullanılan parametre belirleme araçlarından bir tanesi de "Kodlama Yöntemi" diye adlandırılan yöntemdir. Kodlama Yöntemi temel olarak Maksimum Olasılık Teorisi'ni kullanan bir yöntemdir ve parametre, koşullu olasılık dağılımının maksimum olmasına göre belirlenir. 'Kodlama Yöntemi' bir takım doğrusal olmayan denklemlerin çözümünü gerektirir, dolayısıyla kullanımı zordur [2],[7]. Bunun için komşuluk sisteminin derecesine göre değişik yöntemler de bulunmuştur.

'Kodlama Yöntemi'ndeki pratik zorluklar nedeniyle parametre belirleme için 'histogram', 'En Az Kareler (Least squares) araçlarının kullanıldığı bir yöntem önerilmiştir [1]. Ele alınan ve algoritması yazılan bu yöntemde ikinci dereceden komşuluk sistemi kullanılmıştır.

Varsayalım ki X Gibbs Rastgele Alan Dağılımlı ve ayrık değerlerini $Q = \{q_m\}_{m=1}^M$ kümesinden aldığı bir alan olsun. Bu rastgele alanın değişkeni de x olsun. Ayrıca, bir (i,j) pikselinin koşuluğuna η_{ij} , ve (i,j) pikselinin komşu değerler vektörüne de t' diyelim.

$$t' = [u_1, u_2, u_3, u_4, v_1, v_2, v_3, v_4]^T \quad (4.19)$$

u_i 'lerin ve v_i 'lerin yerleri Şekil 4.1' de gösterilmektedir.

v_1	u_2	v_2
u_1	q'_m	u_3
v_4	u_4	v_3

Şekil 4.3 x_{ij} ve komşuluk sistemi η_{ij}

$$I(z_1, z_2, \dots, z_k) = \{-1 \dots \text{diger} \dots z_1 \approx, z_2 \approx \dots \approx z_k; 1 \dots \text{diger}\} \quad (4.20)$$

$\approx$ aşağıdaki şekilde tanımlanan bir yaklaşıklık,

$$z_k \approx z_{k+1} \equiv |z_k - z_{k+1}| \leq \rho \quad (4.21)$$

Burada, ε bir tolerans değeridir. Diğer bir parametre ise $J_m(s)$ 'dir ve aşağıdaki şekilde tanımlanır,

$$J_m(q'_m) = \{-1 \dots \text{if} \dots q'_m \approx, q_m \dots; 0 \dots \text{diger}\} \quad (4.22)$$

ve şimdi Gibbs Dağılımının potansiyel fonksiyonu belirtilen değişkenlerle ifade edebiliriz.

$V(q'_m, t', \theta)$, (i,j) pikselinin ikinci komşuluğundaki tüm kliklerin toplam potansiyeli olsun.

$$V(q'_m, t', \theta) = \sum_{s \in c} V_c(x) \quad (4.23)$$

θ parametre vektörü :

$$\theta = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_M, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \zeta_1] \quad (4.24)$$

Gibbs Dağılımının klik potansiyellerini kullanarak :

$$V(q'_m, t', \theta) = \phi^T(q'_m, t') \theta \quad (4.25)$$

Burada,

$$\begin{aligned} \phi(q'_m, t') = [& J_1(q'_m), J_2(q'_m), \dots, J_M(q'_m), (I(q'_m, u_1) + I(q'_m, u_3)), (I(q'_m, u_2) + I(q'_m, u_4)), \\ & (I(q'_m, v_2) + I(q'_m, v_4)), (I(q'_m, v_1) + I(q'_m, v_3)), (I(q'_m, u_2, v_2) + I(q'_m, u_4, u_3) + I(q'_m, u_1, v_4)), \\ & ((I(q'_m, u_4, v_3) + I(q'_m, u_2, u_3) + I(q'_m, u_1, v_1)), (I(q'_m, u_2, v_1) + I(q'_m, u_1, u_4) + I(q'_m, u_3, v_3)), \\ & (I(q'_m, u_1, u_2) + I(q'_m, u_4, v_4) + I(q'_m, u_3, v_2)), (I(q'_m, u_1, u_2) + I(q'_m, u_1, v_1, u_2) + \\ & I(q'_m, u_2, v_2, u_3) + I(q'_m, u_3, v_3, u_4) + I(q'_m, u_4, v_4, u_1))]^T \dots\dots\dots (4.26) \end{aligned}$$

Hesaplama zamanını kısaltmak amacıyla (i,j) pikseli komşuluğundaki klikler sınırlandırılmıştır, yani 3 ve 4 pikseli klikler (4.8) denkleminde ele alınmamıştır.

(4.18) denklemindeki $\sum_{s \in c} V_c(x)$ terimini elde etmek için (4.23) ve (4.25)

denklemlerinden de görüldüğü gibi θ parametresine ihtiyaç vardır, bu parametreyi bulmak için de aşağıda anlatılan yol izlenmiştir.

$P(q'_m, t')$, (i,j) pikseli merkezli 3x3 boyutlu bloğun ortak dağılımı olsun ve $P(t')$ de η_{ij} komşuluğundaki piksellerin oluşturduğu vektörün olasılık dağılımı olsun. Koşullu olasılık $P(q'_m / t')$, $P(q'_m, t')$ ve $P(t')$ olasılıklarının oranıdır. Bayes' kuralını kullanırsak :

$$\frac{P(q'_m, t')}{P(t')} = P(q'_m / t') = \frac{e^{-V(q'_m, t', \theta)}}{W(t', \theta)} \quad (4.27)$$

Burada,

$$W(t', \theta) = \sum_{q'_m \in Q} e^{-V(q'_m, t', \theta)} \quad (4.28)$$

(4.27) eşitliğini düzenlersek :

$$\frac{W(t', \theta)}{P(t')} = \frac{e^{-V(q'_m, t', \theta)}}{P(q'_m, t')} \quad (4.29)$$

elde edilir. (4.29) eşitliğinde görüldüğü gibi eşitliğin sol tarafı ile sağ tarafı s değişkeni için birbirinden bağımsızdır, dolayısıyla iki farklı s değeri için (s=j, s=k) (4.29) aşağıdaki hali alır.

$$e^{-V(j, t', \theta) + V(k, t', \theta)} = \frac{P(j, t')}{P(k, t')} \quad (4.30)$$

(4.30) eşitliğinin doğal logaritmasını alır ve (4.25) eşitliğinde yerine koyarsak :

$$(\phi(k, t') - \phi(j, t'))^T \theta = \ln\left(\frac{P(j, t')}{P(k, t')}\right) \quad (4.31)$$

Herhangi bir j, k, t' için $\phi(k, t') - \phi(j, t')$ (4.26) eşitliği kullanılarak kolaylıkla bulunur. $P(j, t')$ ve $P(k, t')$ ortak olasılıkları ise herhangi j ve k merkezli 3×3 boyutlu blokların tüm görüntü içerisindeki tekrarlanma sayısı ile tüm görüntüdeki 3×3 boyutlu blokların sayısına oranıyla belirlenir. Sonuçta (4.31) eşitliğinden hareketle θ bilinmeyen parametresi hesaplanır. Böylece (4.1) eşitliğini kullanmak için gerekli tüm parametreler elde edilmiş oldu, şimdi görüntü piksel piksel taranarak (4.18) eşitliği uygulanır ve her piksel maksimum olasılık teorisine göre uygun q_m kuantal aralığına indirgenir.

MRF Yaklaşımı için 1 adet yapay görüntü, 2 adet radar görüntüsü, 2 adet kızılötesi kamera görüntüsü ele alınmış ve işlenmiştir. Algoritma kodu MATLAB programında yazılmış ve kod A:\EK4 klasörü içerisinde MRF.m olarak verilmiştir. Hesap zamanı kısaltmak amacıyla orijinal görüntü boyutları 65×65 piksel boyutuna indirgenmiştir.



4.5 Diferansiyel Markov Rastlantısal Alanı

Bu yeni yaklaşım özel bir görüntü çeşidinin işlenmesi için ortaya atılmıştır. Bilindiği gibi radar uygulamalarının en önemli parametrelerinden birisi çözünürlüktür ve aşağıdaki formülasyonla verilir :

Menzil çözünürlüğünü matematiksel olarak inceleyelim.

Taşıyıcı frekansı f_0 olan sinüzoidal bir işaret, $0 \leq t \leq T$ aralığı boyunca genlik modüle edilirse iletilen işaret

$$e_T(t) = A_T \times x(t) \times \cos(2\pi f_0 t + \phi_0) \quad (4.31)$$

olarak ifade edilir. Buradan,

$x(t)$: darbe işareti ($\pi(t/T)$)

$A(t)$: iletilen işaretin genliği

$\cos(2\pi f_0 t)$: taşıyıcı işaret

$e_T(t)$: iletilen işaret

ϕ_0 : iletilen işaretin referans fazı

Alıcı anten tarafından alınan işaret ise aşağıdaki formdadır.

$$e_R(t) = A_R \times \pi\left(\frac{t - \tau}{T}\right) \times \cos(2\pi f_0(t - \tau) + \phi_0) \quad (4.32)$$

Burada,

A_R : alınan işaretin genliği

τ : gidiş geliş propagasyon gecikmesidir

Alınan işarete meydana gelen faz kayması $\omega_0 \tau$ değerindedir. $\omega_0 \tau$ faz kaymasını oluşturan faktörler,

i) Gidiş geliş yol farkı

ii) Hedefin ortama uyumsuzluğundan (empedans farkı) dolayı meydana gelen yansıma sonucu oluşan faz kaymasıdır.

ii). maddeyi ihmal edersek ,

$$\omega_0 \times \tau = 2 \times k \times R \quad (4.33)$$

$$2 \times \pi \times f \times \tau = 2 \times (2 \times \pi / \lambda) \times R \quad (4.34)$$

$$R = c \times \tau / 2 \quad (4.35)$$

$$\Delta R = c \times \Delta \tau / 2 = c \times T / 2 \quad (4.36)$$

(4.35) ve (4.36) karşılaştırıldığında $\Delta \tau = T$ olduğu aşikardır. Çünkü ayırtedilebilir iki nokta ancak ve ancak her noktayı birer darbe temsil ettiğinde mümkündür. Bu da aradaki farkın T darbe süresine eşit olması anlamına gelir.

Eğer ΔR mesafesinden daha yakın iki veya daha fazla cisim varsa, radar alıcısı her bir cisimden gelen işaretler üst üste geleceğinden dolayı cisimleri ayırtedemeyecek ve tespit edemeyecektir. Bu da radar sisteminin başarımını düşürecektir.

İki boyutlu görüntülerde de aynı teori geçerlidir. Farklı derinliklerdeki cisimlerden gelen cevaplar üst üste gelerek karışır ve cisimleri ayırtedemeyiz, işte diferansiyel Markov Rastgele Alanı yaklaşımı ile bu problem çözülmüştür.

Bunun için MRF algoritmasında (4.18)'inci denklemi en büyük yapan q değerlerini bulmadan önce tüm görüntü bir ön işlemeden geçirilir [2].

y_{ij} verilen görüntüdeki piksel değerleri olmak üzere:

$$s_{ij} = \left| M \cdot y_{ij} - \sum_i \sum_j \eta_{ij} \right| \quad (4.37)$$

M: Kuanta sayısı

$\eta_{ij} = (i, j)$ pikselinin komşuluğu

Bu önişlemeden sonra (5.18) eşitliğindeki y_{ij} yerine s_{ij} parametresi kullanılır. Sonra MRF algoritması aynen uygulanır [2].

Algoritma kodu MATLAB programında yazılmış ve kod A:\EK5 klasörü içerisinde DMRF.m olarak verilmiştir.

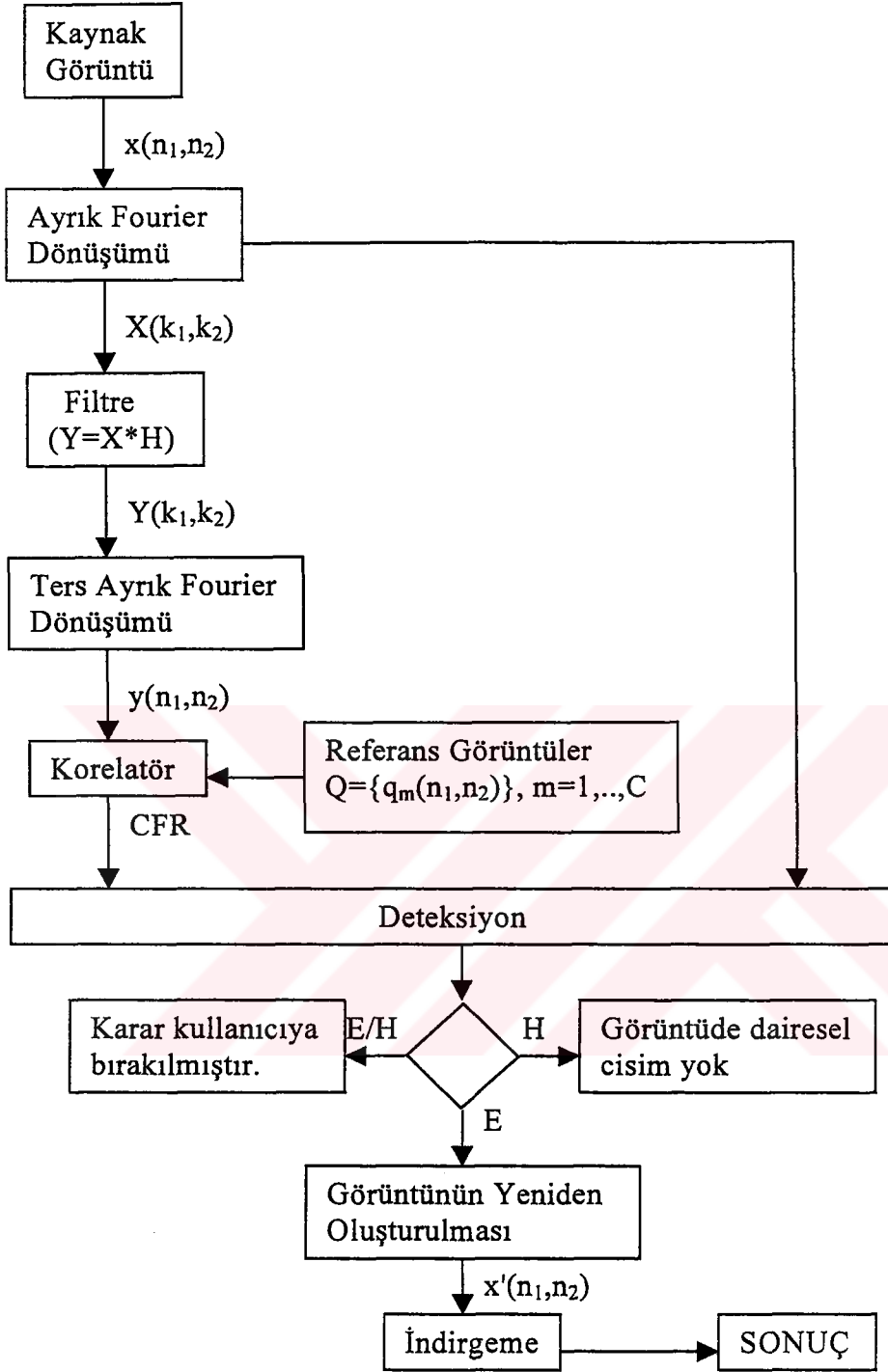


5. DAİRESEL CİSİM SEZME YAKLAŞIMI

5.1 Giriş

Bu yaklaşım dairesel cisimleri bulmaya yönelik bir algoritma içermektedir. En önemli işaret işleme araçlarından olan Ayırık Fourier Dönüşümü ve radar alıcı birimlerinde çok kullanılan Korelatör bloğu bu işleme algoritmasında kullanılmaktadır.

Algoritmanın blok şeması Şekil 5.1’de verilmiştir. Blok şemadaki tüm blokların iç yapıları anlatılmış ve algoritma yapay ve doğal görüntüler üzerinde denenmiştir. Algoritma kodu MATLAB programında yazılmış ve kod A:\EK3 klasörü içerisinde fftdaire.m olarak verilmiştir. Algoritma zamanını kısaltmak amacıyla doğal görüntüler 65x65 boyutuna indirgendikten sonra işlenmiştir. Algoritma radar ve kızılötesi görüntülerin işlenmesinde başarı kaydetmiştir.



Şekil 5.1 Algoritma Blok Şeması

Şimdi blok blok Şekil 5.1'i inceleyelim

5.2 Ayrık Fourier Dönüşümü

Görüntü işleme gibi birçok işaret işleme uygulamalarında kaynak verisi olarak sonlu sayıda diziler kullanılır. Bu tip dizilerle frekans domenini analizi için Fourier ve z dönüşüm teknikleri kullanılır ve iyi tanımlanmışlardır. Ayrık Fourier Dönüşümü, sonlu sayıda değer içeren sonlu uzunluktaki dizilerin frekans domenini gösterilimi için kullanılan matematiksel bir yaklaşımdır [4].

5.2.1 İki boyutlu ayrık Fourier dönüşümü

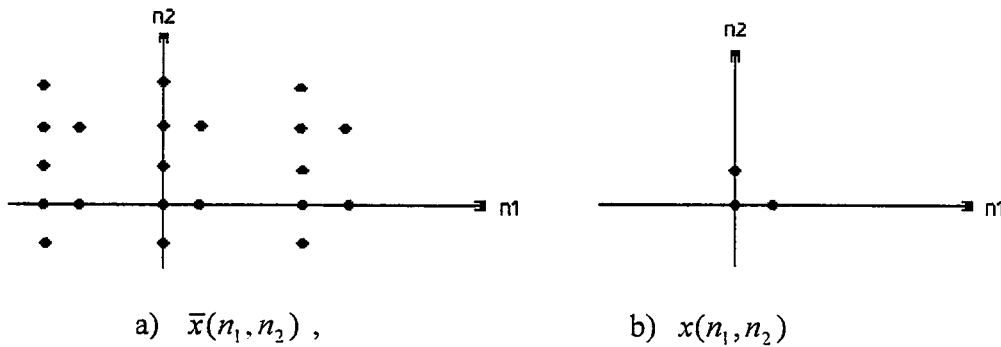
$\bar{x}(n_1, n_2)$, $N_1 \times N_2$ ile periyodik olan bir dizi olsun. $\bar{x}(n_1, n_2)$ dizisinin bir periyodunu ele alarak ve geri kalan elemanları sıfırlayarak yeni bir $x(n_1, n_2)$ dizisi üretelim.

$$x(n_1, n_2) = \bar{x}(n_1, n_2) \cdot R_{N_1 \times N_2}(n_1, n_2) \quad (5.1)$$

(5.1) eşitliğinde

$$R_{N_1 \times N_2}(n_1, n_2) = \begin{cases} 1, \dots, 0 \leq n_1 \leq N_1 - 1, \dots, 0 \leq n_2 \leq N_2 - 1 \\ 0, \dots, \text{diğer} \end{cases} \quad (5.2)$$

$\bar{x}(n_1, n_2)$ ve $x(n_1, n_2)$ için bir örnek Şekil 5.1' de gösterilmiştir. ($N_1=3$ ve $N_2=2$)



Şekil 5.2 Periyodik bir dizinin bir periyodu alınarak elde edilen sonlu uzunluklu dizi

(5.2) eşitliği ile verilen işlem dönüştürülebilir bir işlemdir, yani $x(n_1, n_2)$ 'den hareketle $\bar{x}(n_1, n_2)$ periyodik dizisi elde edilebilir.

$$\bar{x}(n_1, n_2) = \sum_{r_1=-\infty}^{r_1=+\infty} \sum_{r_2=-\infty}^{r_2=+\infty} x(n_1 - r_1 N_1, n_2 - r_2 N_2) \quad (5.3)$$

$\bar{x}(n_1, n_2)$ 'nin ayrık fourier serisi katsayıları $\bar{X}(k_1, k_2)$ olsun. $\bar{X}(k_1, k_2)$ dizisinin bir periyodunu ele alarak ve diğer değerleri sıfırlayarak $X(k_1, k_2)$ sonlu uzunluklu dizisini oluşturalım:

$$X(k_1, k_2) = \bar{X}(k_1, k_2) \cdot R_{N_1 \times N_2}(k_1, k_2) \quad (5.4)$$

$$\bar{X}(k_1, k_2) = \sum_{r_1=-\infty}^{\infty} \sum_{r_2=-\infty}^{\infty} X(k_1 - r_1 N_1, k_2 - r_2 N_2) \quad (5.5)$$

Üstteki denklemden anlaşılacağı gibi $x(n_1, n_2)$, $X(k_1, k_2)$ 'ye aşağıdaki şekilde bağlıdır.

$$x(n_1, n_2) \Leftrightarrow \bar{x}(n_1, n_2) \Leftrightarrow \bar{X}(k_1, k_2) \Leftrightarrow X(k_1, k_2) \quad (5.6)$$

Burada " $\Leftrightarrow$ " işareti dönüşüm işlemi anlamına gelmektedir. İki boyutlu Ayrık Fourier Dönüşümü aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır [2].

$$X(k_1, k_2) = \left\{ \begin{array}{l} \sum_{n_1=0}^{N_1-1} \sum_{n_2=0}^{N_2-1} x(n_1, n_2) e^{-j(2\pi/N_1)k_1 n_1} e^{-j(2\pi/N_2)k_2 n_2}, \dots \dots 0 \leq k_1 \leq N_1-1, 0 \leq k_2 \leq N_2-1 \\ 0, \dots \dots \dots \text{diğer} \dots \dots \dots \end{array} \right. \quad (5.7)$$

(5.7) eşitliğinden hareketle $N_1 \times N_2$ elemanlı $x(n_1, n_2)$ dizisi, frekans domeninde $N_1 \times N_2$ $X(k_1, k_2)$ dizisi ile temsil edilir. $X(k_1, k_2)$ dizisi $x(n_1, n_2)$ dizisinin ayrık Fourier dönüşümü; $x(n_1, n_2)$ ise $X(k_1, k_2)$ dizisinin ters ayrık Fourier dönüşümü olarak adlandırılır.

Ayrıca ayrık Fourier dönüşümü ile ayrık zaman Fourier dönüşümü arasında aşağıdaki basit ilişki vardır:

$$X(k_1, k_2) = X(\omega_1, \omega_2) \Big|_{\omega_1=(2\pi/N_1)k_1, \omega_2=(2\pi/N_2)k_2, \dots, 0 \leq k_1 \leq N_1-1, 0 \leq k_2 \leq N_2-1} \quad (5.8)$$

5.2.2 Periyodiklik ve Eşleniklik

Ayrık Fourier dönüşümü ve ters ayrık Fourier dönüşümü N_1 ve N_2 ile periyodiktir.

$$X(k_1, k_2) = X(k_1 + N_1, k_2) = X(k_1, k_2 + N_2) = X(k_1 + N_1, k_2 + N_2) \quad (5.9)$$

(5.9) eşitliğinin ispatı (5.7) eşitliğindeki değişkenlerin yerine $(k_1 + N_1)$ ve $(k_2 + N_2)$ konularak gerçekleştirilebilir [2].

$x(n_1, n_2)$ iki boyutlu dizisi gerçel elemanlardan oluşuyorsa, Fourier dönüşümü eşleniklik simetrisi özelliği gösterir.

$$X(k_1, k_2) = X^*(-k_1 - k_2) \quad (5.10)$$

veya,

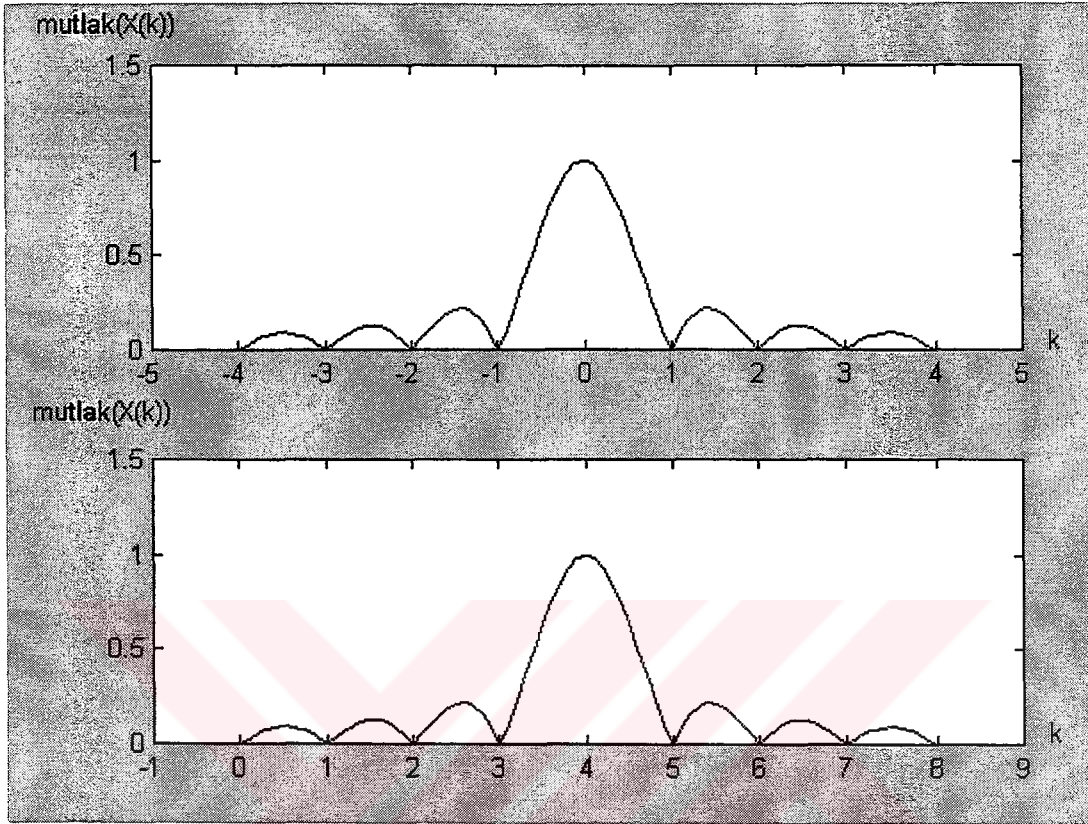
$$|X(k_1, k_2)| = |X(-k_1 - k_2)| \quad (5.11)$$

Gerçel sayılardan oluşan bir iki boyutlu dizinin Fourier dönüşümü karmaşık sayılardan oluşur ve Fourier dönüşümünün yorumunun kolay olması açısından dönüşüm mutlak değer olarak gösterilir. (5.9), (5.10), (5.11) denklemlerinin Fourier dönüşümündeki etkilerini göstermek amacıyla öncelikle tek boyutlu durumu ele alalım.

$$X(k) = X(k + N)$$

$$|X(k)| = |X(-k)|$$

Periyodiklik özelliği gösteriyor ki $X(k)$, N ile periyodik olarak değişmektedir, simetri özelliği ise gösteriyor ki dönüşüm orijin etrafında değerler almaktadır.



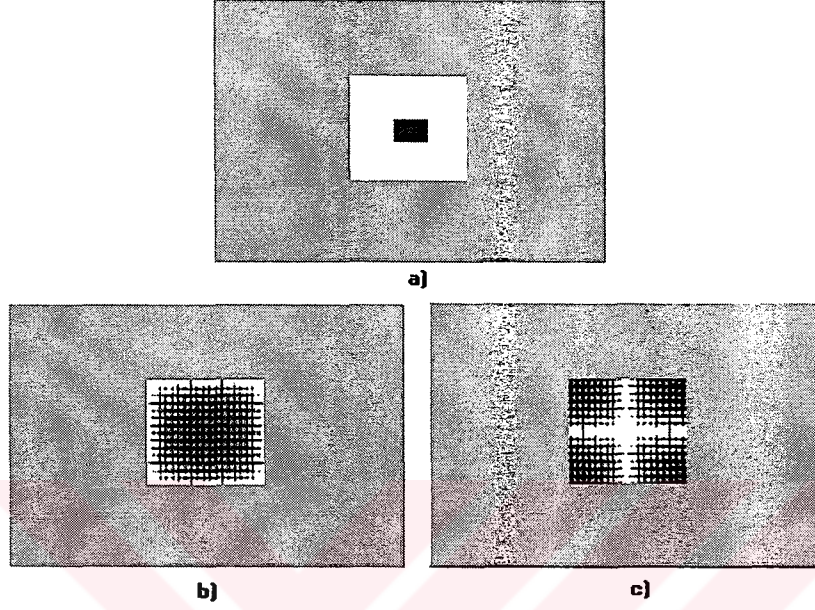
Şekil 5.3 $N=8$ elemandan oluşan bir dizinin Fourier spektrumu

- a) $k=0$ 'a göre simetrik fourier spektrumu
- b) Tüm periyodun görüldüğü kaydırılmış fourier spektrumu

Şekil 5.2'den görüldüğü gibi $X(k)$ dizisi $k=0$ orijin noktasına göre simetriktir ve k değişkeni frekans domenini temsil etmektedir. Negatif frekans olamayacağından dolayı, reel olarak Fourier dönüşümü ile tüm periyodu görememekteyiz, bunun için de işaretin yorumu zor olmaktadır (Şekil 5.2.a). Tüm periyodu görebilmek amacıyla $X(k)$ işareti, $k=N/2=4$ frekans noktasına kaydırılır (Şekil 5.2.b). Bu işlem basitçe Fourier dönüşümünden önce $x(n)$ işaretinin $(-1)^n$ katsayısıyla çarpımı ile gerçekleşir.

İki boyutlu dizilerin Fourier dönüşümünde, dönüşümün orijini $(N/2, N/2)$ noktasına

kaydırılmadığı takdirde işaretin Fourier spektrumu yorumu çok zor olmaktadır. Şekil 2'de iki boyutlu bir görüntünün Fourier dönüşümü ve kaydırılmış Fourier dönüşümü gösterilmiştir. Kaydırılmış görüntünün daha anlamlı bir yapıda olduğu görülmektedir.



Şekil 5.4 Bir görüntünün ayrık Fourier dönüşümü

- a) Basit bir görüntü
- b) Kaydırma işlemi uygulanmamış Fourier spektrumu
- c) Kaydırma işlemi uygulanmış Fourier spektrumu

5.3 Filtre

Filtre bloğu içerisinde konvülasyon işlemi uygulanmaktadır. Daha önce de belirtildiği gibi ayrık Fourier dönüşümü ve ters dönüşümü periyodik fonksiyonlardır. Ayrık konvülasyon teoremini formülize etmek amacıyla boyutu $N_1 \times N_2$ olan $x(n_1, n_2)$ ve $h(n_1, n_2)$ dizilerini ele alalım. Bu diziler birinci ve ikinci boyutta sırasıyla M ve N ile periyodik olsun. M ve N aşağıdaki kriterleri sağlamak zorundadır [3]:

$$M \geq N_1 + N_1 - 1 \quad (5.12)$$

$$N \geq N_2 + N_2 - 1 \quad (5.13)$$

Dolayısıyla, $X(k_1, k_2)$ ve $H(k_1, k_2)$ dizilerinin boyutları M ve N 'den küçük oldukları için diziler sıfır ile genişletilir.

$$x(n_1, n_2) = \begin{cases} x(n_1, n_2), \dots, 0 \leq n_1 \leq N_1 - 1, \dots, 0 \leq n_2 \leq N_2 - 1 \\ 0, \dots, N_1 \leq n_1 \leq M - 1, \dots, N_2 \leq n_2 \leq N - 1 \end{cases} \quad (5.14)$$

ve

$$h(n_1, n_2) = \begin{cases} h(n_1, n_2), \dots, 0 \leq n_1 \leq N_1 - 1, \dots, 0 \leq n_2 \leq N_2 - 1 \\ 0, \dots, N_1 \leq n_1 \leq M - 1, \dots, N_2 \leq n_2 \leq N - 1 \end{cases} \quad (5.15)$$

İki boyutlu konvülasyon aşağıdaki şekilde formülize edilir:

$$x(n_1, n_2) * h(n_1, n_2) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} x(m, n), h(n_1 - m, n_2 - n) \quad (5.16)$$

Frekans domeni analizinde konvülasyonun önemi şu şekilde ifade edilir.

$x(n_1, n_2)$ iki boyutlu dizisinin fourier dönüşümü $X(k_1, k_2)$ ve $h(n_1, n_2)$ dizisinin fourier dönüşümü $H(k_1, k_2)$ ise

$$x(n_1, n_2) * h(n_1, n_2) = X(k_1, k_2).H(k_1, k_2) \text{ 'dir.} \quad (5.17)$$

Dolayısıyla, konvülasyon işlemi frekans domeninde basit bir çarpım işlemi ile gerçekleştirilir, daha sonra tekrar ters fourier dönüşümü alarak konvülasyon işlemi tamamlanır.

5.4 Korelasyon

İki ayrık dizinin korelasyon fonksiyonu aşağıdaki şekilde ifade edilir [3]:

$$y(n_1, n_2) \circ q(n_1, n_2) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} x^*(m, n) h(n_1 + m, n_2 + n) \quad (5.18)$$

(5.19) eşitliğinde $n_1=0,1,2,\dots,M-1$ ve $n_2=0,1,2,\dots,N-1$ 'dir. Konvülasyon işleminde olduğu gibi $y(n_1, n_2)$ ve $q(n_1, n_2)$ sıfırla genişletilmiş dizilerdir.

Ayrıca frekans domeninde gösterilebilir ki:

$$y(n_1, n_2) \circ q(n_1, n_2) \Leftrightarrow Y^*(k_1, k_2) \cdot Q(k_1, k_2) \quad (5.19)$$

Korelasyon işleminin kullanılmasının iki amacı vardır

1. Verilen bir bilinmeyen dizi ile bilinen birden fazla dizileri korele ederek en büyük korelasyon sonucunu veren bilinen diziyi bilinmeyen dizi yerine atamaktır.
2. **Deteksiyon:** Verilen bir bilinmeyen dizi ile bilinen birden fazla dizileri korele ederek, korelasyon sonucunda daha önceden belirlenmiş korelasyon eşik değerini geçen bilinen diziler varsa bu demektir ki bilinmeyen dizi içerisinde eşik değeri geçen dizilerin karakteristikleri bulunmaktadır, bu da bir deteksiyon işlemidir.

$y(n_1, n_2)$ verilen bilinmeyen, $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_C\}$ ise bilinen $N_1 \times N_2$ boyutlu diziler olsun.

$CFR = y(n_1, n_2) \circ q_i(n_1, n_2) \geq \varepsilon$, $i=1,2,\dots,C$ ise $q_i(n_1, n_2) \subset y(n_1, n_2)$ kararı verilir.

Burada, CFR korelasyon sonucu; ε korelasyon eşik değeridir.

5.5 Dedeksiyon

Algoritmada deteksiyon için iki kriter kullanılmıştır. Bunlar:

"o" korelasyon işlemi olmak üzere;

$CFR = y(n_1, n_2) \circ q_i(n_1, n_2) \geq \varepsilon$, $i=1,2,\dots,C$ ise y görüntüsü içerisinde q_i referans görüntüsündeki cisim bulunuyor demektir. ε , korelasyon eşik değeridir ve önceden belirlenmiştir. CFR ise korelasyon işlemi sonucudur.

Bir daire görüntüsünün Fourier dönüşümünü alıp frekans domeninde inceleyecek olursak aşağıdaki denklemlerle karşılaşırız :

i, j sırasıyla $N_1 \times N_2$ boyutlu görüntünün orta noktası olmak üzere

$$X(i-1, j-1) = X(i+1, j+1) = X(i+1, j-1) = X(i-1, j+1) \quad (5.20)$$

Bu yaklaşımı kullanarak

$$X(i-1, j-1) - X(i+1, j-1) \leq \zeta \dots \text{VEYA} \dots X(i+1, j-1) - X(i-1, j-1) \leq \zeta. \quad (5.21)$$

ζ : Gürültü eklenmesi dolayısıyla meydana gelebilecek kayma payı
ise verilen görüntüde daire var demektir.

5.6 Karar

'E'

- Eğer

$$CFR \geq \rho \text{ ve}$$

$$X(i-1, j-1) - X(i+1, j-1) \leq \zeta \dots \text{VEYA} \dots X(i+1, j-1) - X(i-1, j-1) \leq \zeta.$$

ise görüntüde dairesel cisim var.

- Eğer

$CFR \geq \rho$ sağlanıyor, fakat

$$X(i-1, j-1) - X(i+1, j-1) \leq \zeta \dots \dots \text{VEYA} \dots \dots X(i+1, j-1) - X(i-1, j-1) \leq \zeta$$

sağlanmıyorsa

görüntüde dairesel cisim var.

'E/H'

- Eğer

$CFR \geq \rho$ sağlanmıyor, fakat

$$X(i-1, j-1) - X(i+1, j-1) \leq \zeta \dots \dots \text{VEYA} \dots \dots X(i+1, j-1) - X(i-1, j-1) \leq \zeta$$

sağlanıyorsa

algoritmaya devam kararı kullanıcıya bırakılmıştır.

'H'

- Eğer

$CFR < \rho$ ve

$$X(i-1, j-1) - X(i+1, j-1) > \zeta \dots \dots \text{VEYA} \dots \dots X(i+1, j-1) - X(i-1, j-1) > \zeta$$

sağlanmıyorsa

Görüntüde dairesel cisim yok kararları verilir.

5.7 Görüntünün Yeniden Oluşturulması

Korelatör çıkışında, daha önceden belirlenen korelasyon eşik değerini geçen referans görüntü $q_{\max}$ olsun:

$$q_{\max}(n_1, n_2) = \max[y(n_1, n_2) \circ q_i(n_1, n_2)], \dots, i = 1, 2, \dots, C \quad (5.22)$$

$q_{\max}$ belirlendikten sonra görüntünün yeniden oluşturulmasına geçilir. Bunun için de ilk önce $q_{\max}(n_1, n_2)$ iki boyutlu görüntünün fourier dönüşümü alınarak frekans domenine geçilir. Amaç belirlenen $q_{\max}$ referans görüntüsünün genlik değerini, gürültülü kaynak görüntünün ise faz bilgisini kullanarak görüntüyü yeniden yapılandırmaktır.

Bu yapılandırmanın nedeni ise; korelasyon sonucunda $q_{\max}(n_1, n_2)$ referans görüntüsü karakteristiğinin, gürültülü kaynak görüntü içerisinde olduğu tespit edildikten sonra gürültü içermeyen referans görüntüsünün genlik değeri kullanılarak cisim daha belirgin hale getirmektir; ayrıca, cismin yerini belirlemek için de kaynak görüntünün faz bilgisi kullanılmıştır.

$$q_{\max}(n_1, n_2) \xrightarrow{F} Q_{\max}(k_1, k_2) \quad (5.23)$$

$$Q_{k_1 k_2} = (a + jb) \in Q_{\max}(k_1, k_2) \quad (5.24)$$

$X(k_1, k_2)$ kaynak görüntünün fourier dönüşümü karşılığıdır ve karmaşık bir iki boyutlu dizidir. Dolayısıyla $X(k_1, k_2)$ iki boyutlu dizisini kutupsal koordinatlarda ifade edersek :

$Z_{k_1 k_2} = (a + jb) \in X(k_1, k_2)$ olsun, kutupsal koordinatlarda herbir dizi elemanı:

$$|Z_{k_1 k_2}| \cdot e^{j \cdot \text{açı}(Z_{k_1 k_2})} \quad (5.25)$$

şeklindedir.

$|Z_{k_1 k_2}|$: $X(k_1, k_2)$ karmaşık dizi elemanının mutlak değeridir.

$\text{açı}(Z_{k_1 k_2})$: $X(k_1, k_2)$ karmaşık dizi elemanının faz değeridir.

$$\text{Yeni dizi elemanı : } Z_{k_1 k_2} = |Q_{k_1 k_2}| \cdot e^{j \cdot \text{açı}(Z_{k_1 k_2})} \quad (5.26)$$

$$X'_{k_1, k_2} = (f + jg) \in X'(k_1, k_2) \quad (5.27)$$

$$X'(k_1, k_2) \xrightarrow{F^{-1}} x'(n_1, n_2) \quad (5.28)$$

5.8 İndirgeme

$x'(n_1, n_2)$ yeniden yapılandırılmış görüntü 0 – 255 seviyelidir. Algoritmanın amacı algoritma çıkışında var veya yok gibi kesin bir bilgi vermek olduğundan dolayı 0 255 seviyeli görüntü, 0 1 gibi iki seviyeli hale getirilmiştir. Bunun için de **Histogram** tekniği kullanılmıştır.

5.9 Sonuç

Dairesel bir cisim bulmaya yönelik algoritma çıktısında eğer cisim varsa cismin büyüklüğüne mümkün olduğunca sadık kalacak ölçüde bir sonuç görülmektedir, çıktı iki seviyelidir (0–1).

Dairesel Cisim Sezme Yaklaşımı için 3 adet farklı S/N oranlarında yapay görüntü, 2 adet radar görüntüsü, 2 adet kızılötesi kamera görüntüsü ele alınmış ve işlenmiştir. Algoritma kodu MATLAB programında yazılmış ve kod A:\EK5 klasörü içerisinde DMRF.m olarak verilmiştir.

Hesap zamanını kısaltmak amacıyla orijinal görüntü boyutları 65x65 piksel boyutuna indirgenmiştir.

6. SONUÇ

Mikrodalga radarı (GPR) ve Kızılötesi kamera tarafından elde edilen görüntülere Markov Rastlantısal Alan yaklaşımı ile dairesel cisim bulmaya yönelik yeni bir yaklaşım sunulmuştur. Her iki yaklaşım için de yazılan algoritmalar sonucunda görüntülerin büyük bir başarı yüzdesi ile işlendiği ve algoritmaların amaçlarına ulaştıkları gözlenmiştir. Her görüntü işleme tekniğinde olduğu gibi üstünlükler yanında zayıflıklar da vardır. Bunlar:

Birinci yaklaşımın üstünlüğü görüntüye Markov yaklaşımı uygulanırken herbir piksel değeri tek başına değil de etrafındaki komşu piksellerle beraber değerlendirilerek ele alınır, dolayısıyla komşu piksellerin etkisi de gözardı edilmemiş olur; zayıf yönü ise iterasyona dayalı bir algoritma olduğundan dolayı hesap zamanının uzun sürmesidir.

İkinci yaklaşımın üstünlüğü,algoritmanın hızlı çalışması ve algoritma sonucunda kullanıcıya “var” veya “yok” gibi kesin sonucun veriliyor olmasıdır; zayıf tarafı ise korelasyon için kullanılan referans görüntülerin sonlu sayıda olması (9 adet) ve dolayısıyla korelasyon sonucunun kısıtlanmasıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **D.J. Daniels, D.J. Gunton, H.F. Scott**, “Introduction to Subsurface Radar”, IEE Proceedings, Vol. 135, Pt.F, No. 4, s. 278-320, 1988.
- [2] **S. Geman and D. Geman**, 1984, Stochastic Relaxation, Gibbs Distributions, and the Bayesian restoration of images, IEEE PAMI, 6, 721-741.
- [3] **F.S.Cohen and D.B.Cooper**, “Real time textured image segmentation based on noncausal markovian random field models.”, in Proc. SPIE Conf. Intell. Robots., Cambridge, MA, Nov. 1983
- [4] **J. Cook**, “Radar Transparencies of Mines and Tunnel Rocks”, Geophysics, 40, s. 865-885, 1975.
- [5] **Osman Nuri Uçan, Bülent Şen, Atilla Özmen, Muhittin Albora**, “A New Gravity Anomaly Separation Approach: Differential Markov Random Field (DMRF)”, Electronics Geoscience.
- [6] **Osman Nuri Uçan, Muhittin Albora, Atilla Özmen, Bülent Şen**, “Bouguer Anomaly Maps Separation Using Markov Random Field”, Second Balkan Geophysical Congress and Exhibition, 010-10.
- [7] **C. Hülsmeier**, 1904, German Pat. No. 165546
- [8] **H. Löwy, and G. Leimbach**, 1910, German Pat. No. 246836
- [9] **H. Löwy**, 1911, German Pat. No. 254517
- [10] **G. Leimbach**, 1913, German Pat. No. 273339
- [11] **Hülsenbeck & Co.**, 1926, German Pat. No. 489434
- [12] **B. Nilsson**, Two Topics in Electromagnetic radiation Field Prospecting, Doctoral Thesis, University of Lulea, Sweden, 1978.
- [13] **D.A.Hill**, “Near-Field Detection of Buried Dielectric Objects”, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., Vol. 27, No. 4, s. 364-368, 1989.

- [14] **D.A.Hill and K.H. Cavcey**, "Coupling Between Two Antennas Separated by a Planar Interface", IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., Vol. GE-25, s. 422-431, 1987.
- [15] **J.P. Warhus, J.E. Mast, E.M. Johansson, S.D. Nelson**, "Advanced Ground Penetrating Radar", Proceedings on Advanced Microwave and Millimeter Wave Detectors, SPIE Proceedings, Vol. 2275, July 1994.
- [16] **Haluk Derin, Howard Elliot**, "Modelling And Segmentation of Noisy and Textured Images Using Gibbs Random Fields", IEEE Vol.PAMI-9, No.1, January 1987, 39-55
- [17] **D.J. Daniels**, *Surface Penetrating Radar*, IEE Radar, Sonar, Navigation and Avionics Series 6, London, United Kingdom, s. 103-142, 1996.
- [18] **Jae S. Lim**, "Two Dimensional Signal And Image Processing", Prentice Hall Signal Processing Series, 1990.
- [19] **F.T. Ulaby, R.K. Moore, A.K. Funk**, *Microwave Remote Sensing*, Vol.3, Artech House, Norwood, s. 2091-2092, 1986.
- [20] **M. C. Dobson, F.T. Ulaby, M.T. Hallikainen, M.A. El-Rayes**, "Microwave Dielectric Behaviour of Wet Soil-Part 1: Emprical Models and Experimental Observations", IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. Vol. GE-23, No.1, s.25-34, 1985.
- [21] **J.R. Wang, P.E.O'Neill, T.J. Jackson, E.T. Engman**, "Multifrequency Measurements of the Effects of Soil Moisture, Soil Texture, and Surface Roughness", IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. Vol. GE-21, No.1, s.44-51, 1983.
- [22] **A. Straub**, "Boundary element Modelling of a Capacitive Probe for *in Situ* Soil Moisture Characterizarition", IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. Vol. GE-32, No.2, s.261-266, 1994.
- [23] Ground Penetrating Radar, <http://geocities.com>
- [24] <http://www.researchinc.com/Techstuff/irtheoryweb1/sld001.htm>

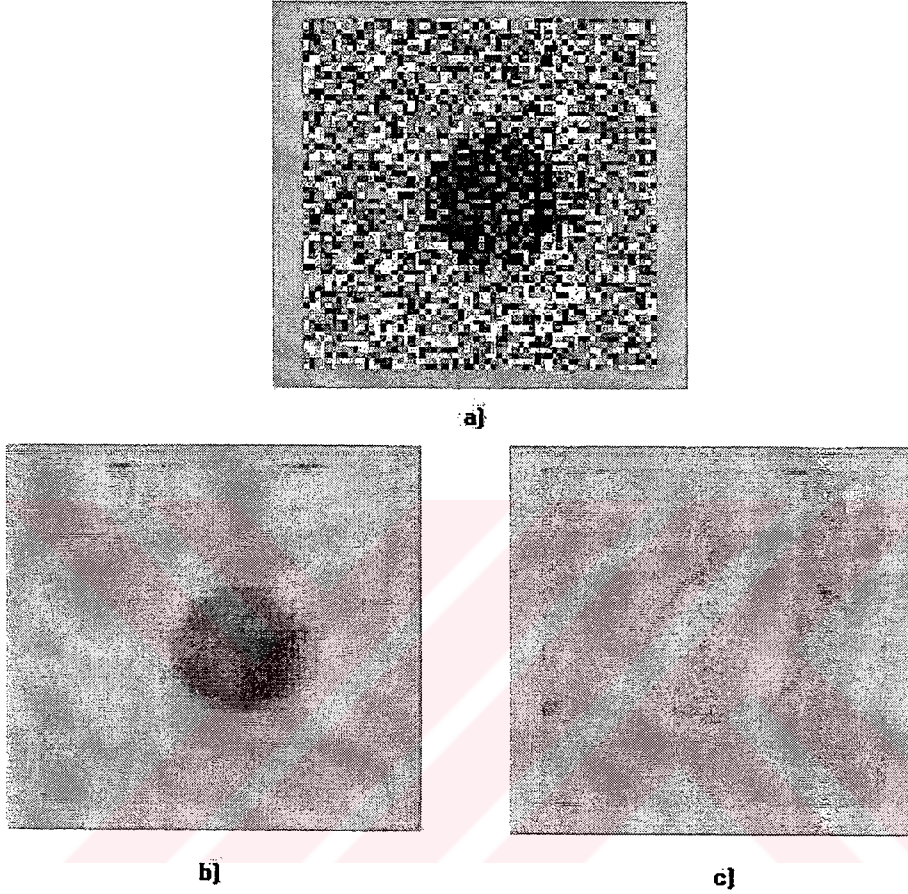
- [25] <http://www.x20.org/library/thermal/infrared.htm>
- [26] <http://www.x20.org/library/thermal/desert/fox.htm>
- [27] Thermovision 570 Operating Manual
- [28] http://www.flir.com/resource_ctr/theory_of_thermography.htm
- [29] <http://web.wse.nadn.navy.mil>, "Infrared Propagation and Detection"
- [30] **J.S.Groot, Y.H.L. Janssen**, "Remote Land Minefield Detection and Overview", TNO Defence Research Report, September, 1994.
- [31] Vehicular Mounted Mine Detector (VMMD), Advanced Technology Demonstration (ATD), NVEST Report
- [32] <http://mcdweb.pica.army.mil/countermine/gstamids.html>
- [33] **A.E. McFee, M.A. Carruthers**, "A multisensor mine dedector for peacekeeping
- [34] **Watson, K.**, 1985, Remote sensing: A geophysical perspective, Geophysics. 55,843-850.
- [35] **Vaclac B., Jan H., and Karel S.**, 1992, Linear filters for solving the direct problem of potential fields, Geophysics, **57**, 1348-1351.
- [36] **Yaoguo Li., and Douglas W. O.**, 1998, Separation of regional and residual magnetic field data, Geophysics, **63**, 431-439.
- [37] **Rafael C. Gonzalez**, "Digital Image Processing", Addison-Wesley Publishing Company, 1987.
- [38] **G.R.Cross, A.K.Jain**, "Markov random field texture models.", IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., vol.PAMI-5, pp. 25-39, 1983
- [39] **H. Derin, W.S.Cole**, "Segmentation of textured images using Gibbs random fields.", Comput. Vision, Graphics, Image Processing, vol. 35, pp. 72-98, 1986

- [40] **H. Derin, H. Elliott, and J. Kuang**, “ a new approach to parameter estimation for Gibbs random fields.”, in Proc. IEEE 1985 conf. ASSP, tampa, FL, Mar. 1985, pp. 24.8.1-24.8.4
- [41] **H. Derin, H. Elliott, R.Soucy, and J. Kuang**, “Segmentation of SAR imagery using Gibbs distribution models.”, in Proc. Eleventh Int. Symp. Machine Processing of Remotely Sensed data, June 1985, pp.282-295
- [42] **S. Geman and D. Geman**, “Stochastic relaxation, Gibbs Distributions and the Bayesian restoration of images”, IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. Vol PAMI-6, pp. 721-741, Nov, 1984
- [43] **E.Ising**, Zeitschrift Physik, vol. 31, p,253,1925
- [44] **Richard C. Dobes, Anil Jain**, 1989, Random field models in image analysis, Journal of Applied Statistics, **16**, 131-162.

EKLER

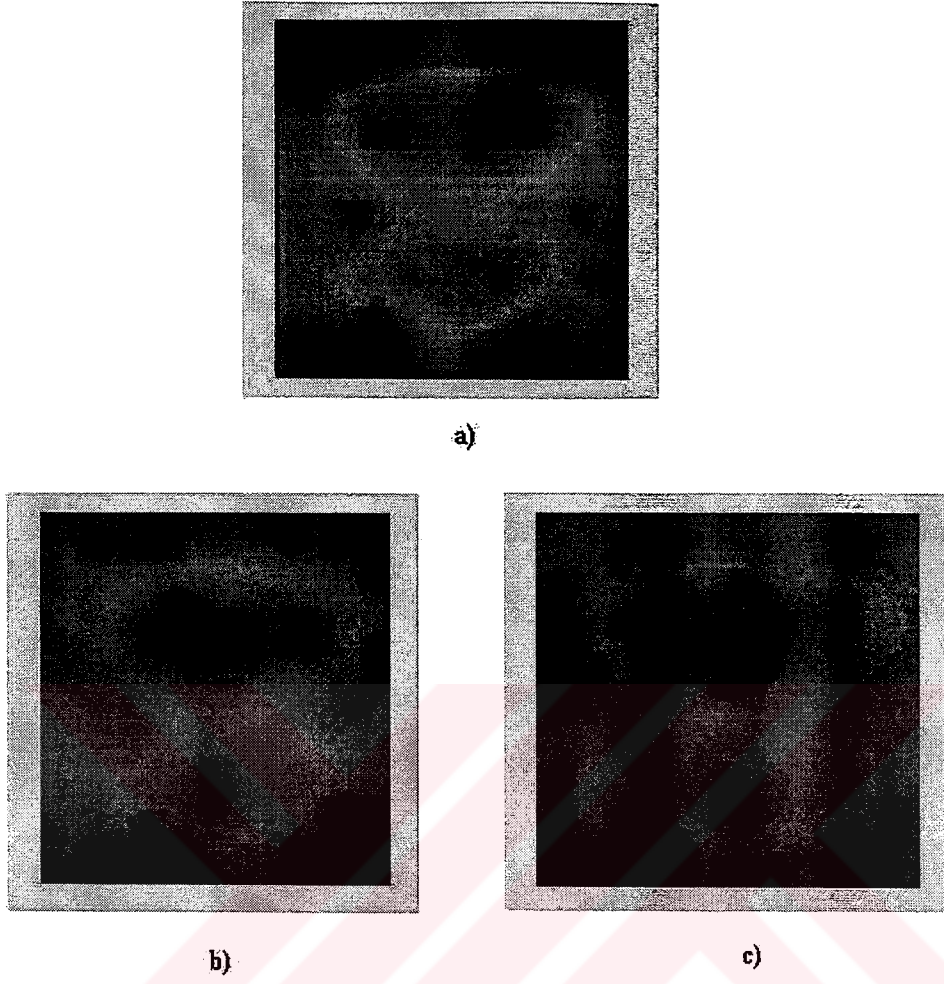
EK A

MRF Yaklaşımı İçin Örnekler



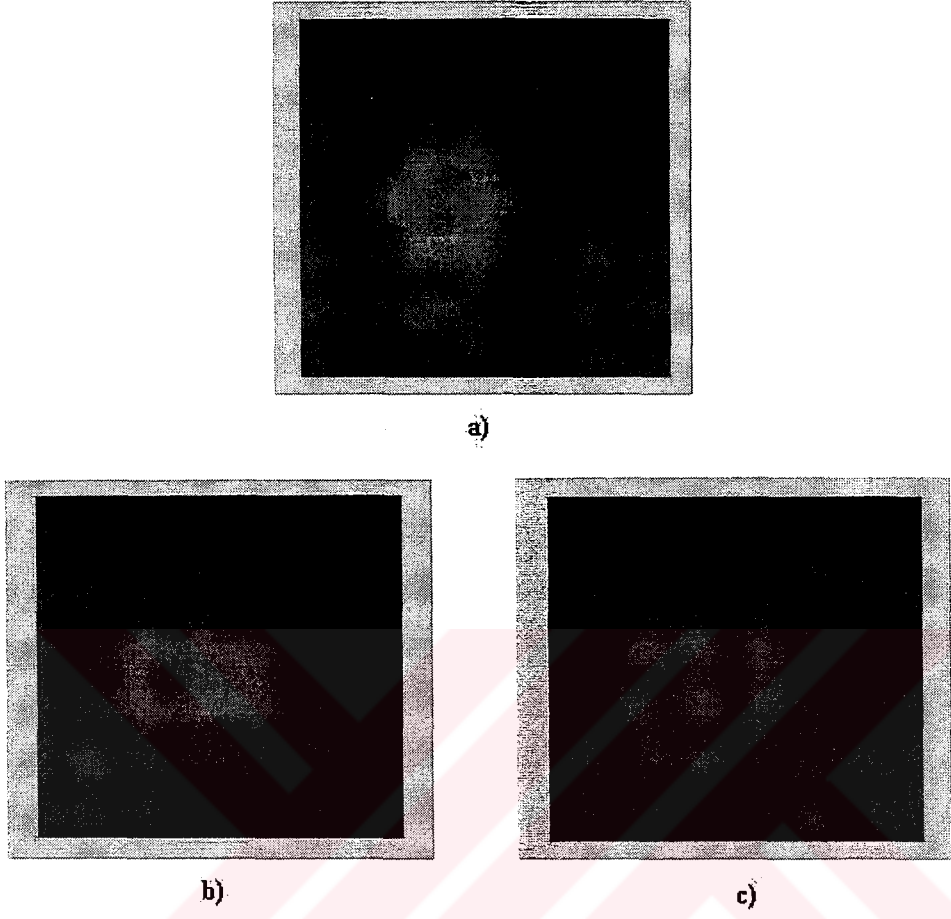
Şekil A.1 $m = 0, \sigma = 0.5$ ve $S/N=0.5$ parametreleri için yapay gürültülü görüntünün MRF çıkışı

- a) Gürültülü kaynak görüntü
- b) Median Filtre çıkışı
- c) MRF çıkışı



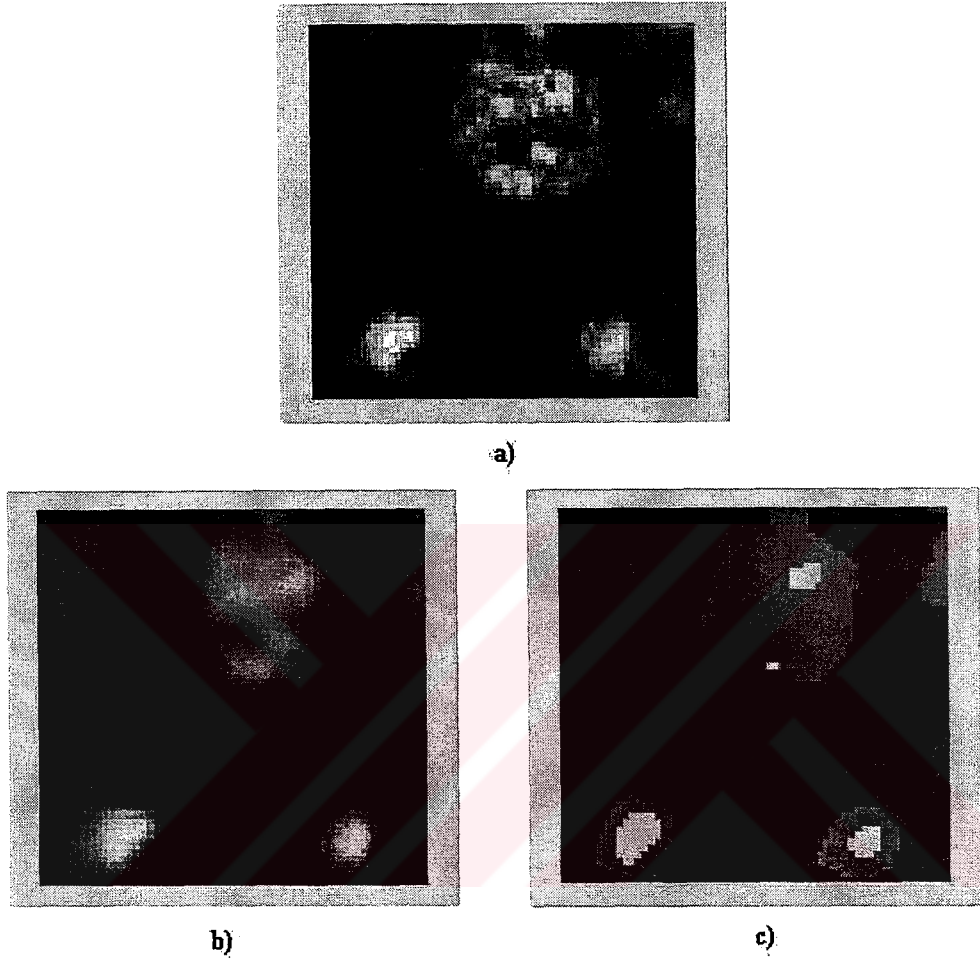
Şekil A.2 Doğal radar görüntüsünün MRF çıkışı

- a) Gürültülü kaynak görüntü
- b) Median Filtre çıkışı
- c) MRF çıkışı



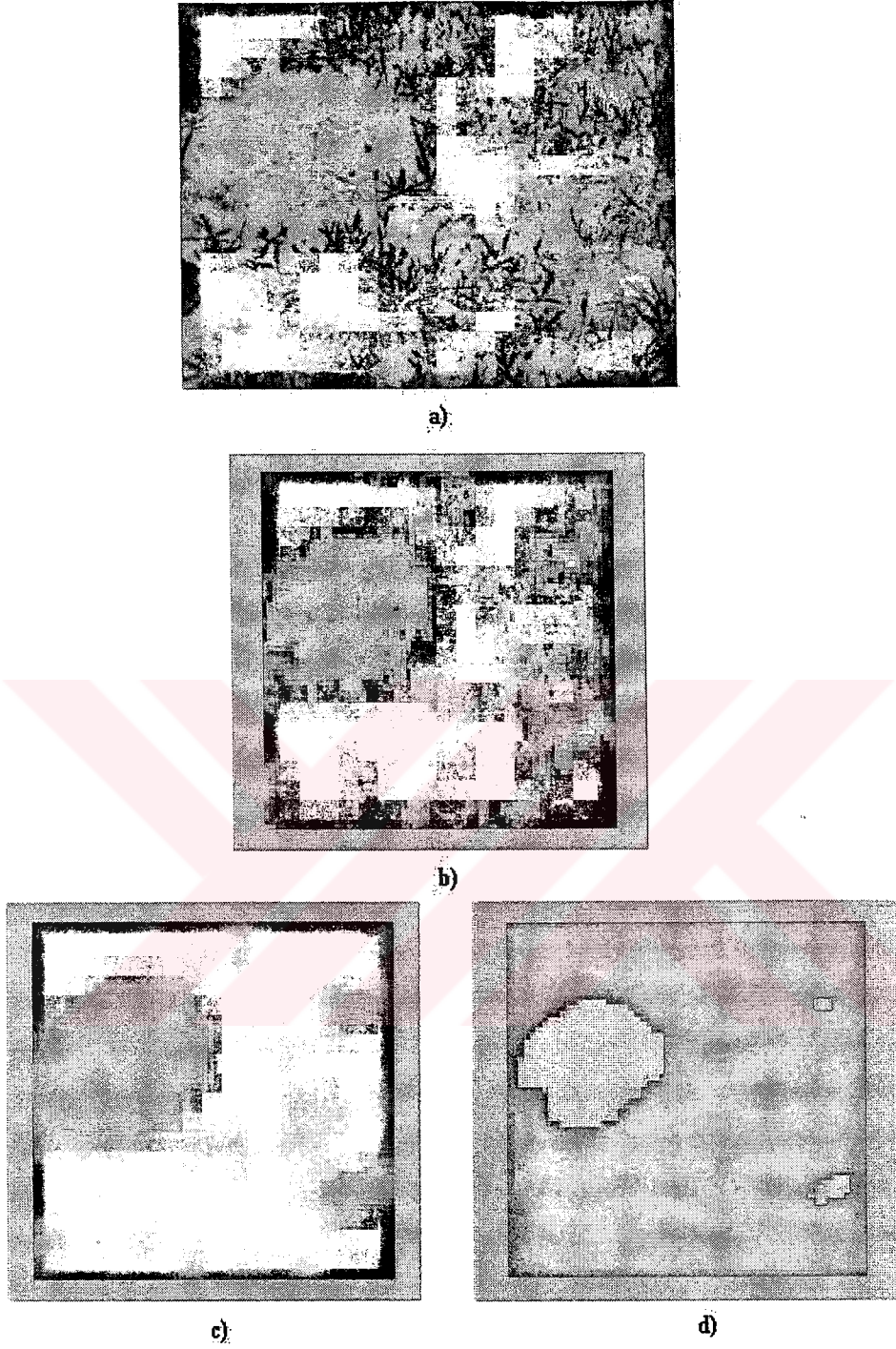
Şekil A.3 Doğal radar görüntüsünün MRF çıkışı

- a) Gürültülü kaynak görüntü
- b) Median Filtre çıkışı
- c) MRF çıkışı



Şekil A.4 Doğal IR kamera görüntüsünün MRF çıkışı

- a) Gürültülü kaynak görüntü
- b) Median Filtre çıkışı
- c) MRF çıkışı



Şekil A.5 Doğal IR kamera görüntüsünün MRF çıkışı

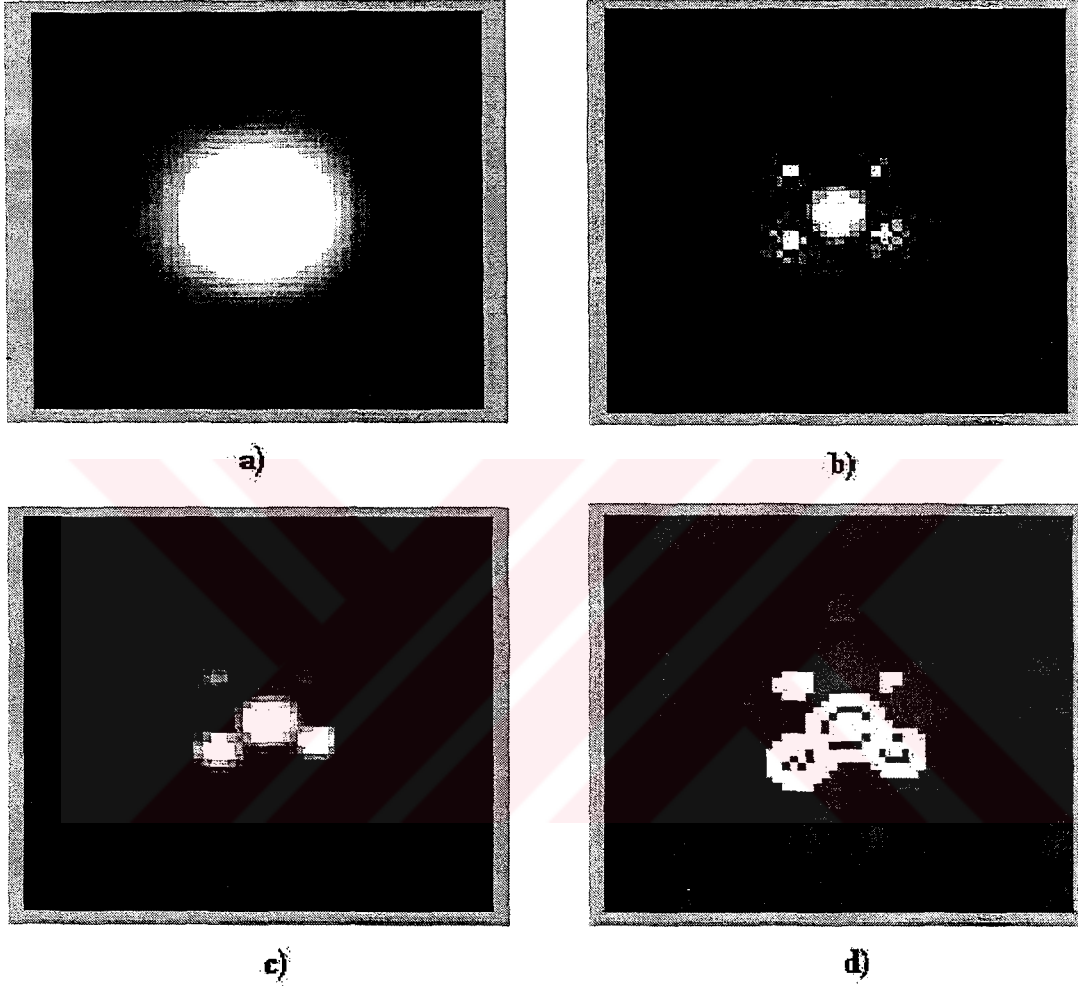
a),b) Gürültülü kaynak görüntü

c) Median Filtre çıkışı

d) MRF çıkışı

EK B

DMRF Yaklaşımı İçin Örnek:

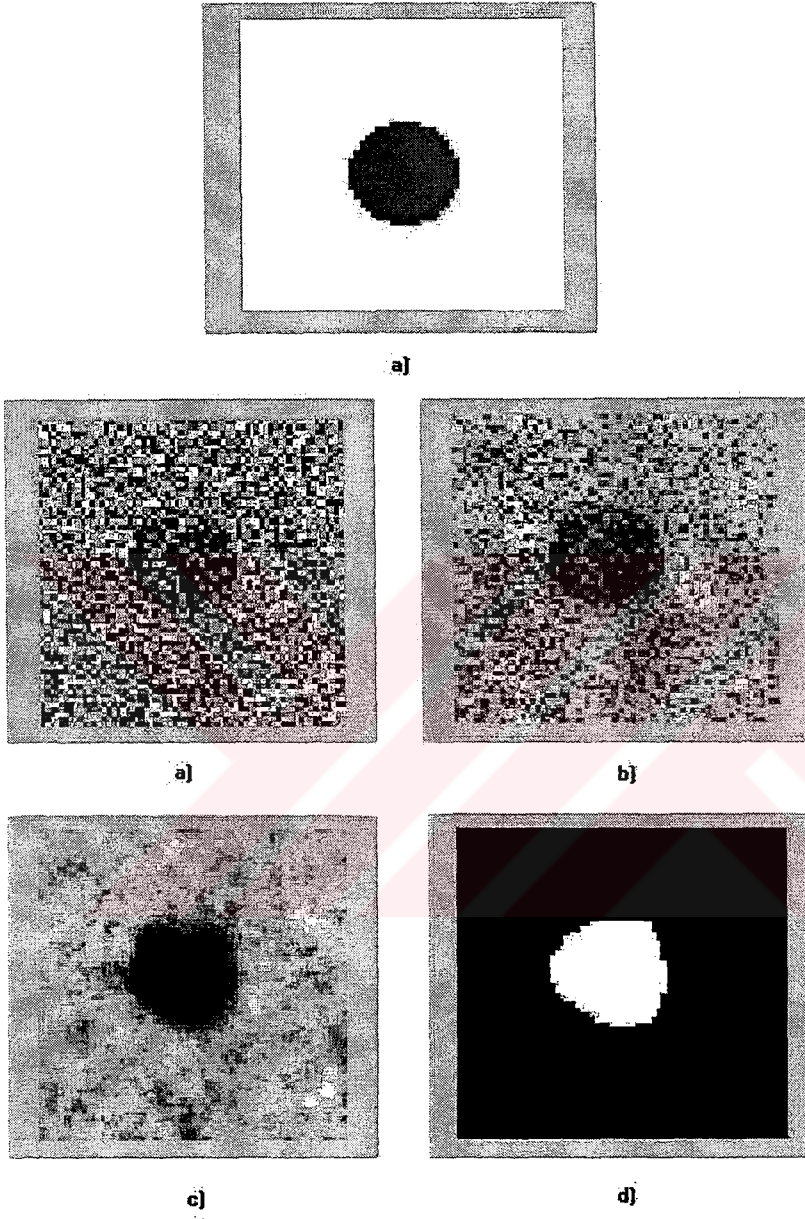


Şekil B.1 Teorik bir çalışmayla oluşturulan görüntünün DMRF çıkışı [34],[35],[36]

- a) Gürültülü kaynak görüntü
- b) Diferansiyel çıkışı
- c) Median Filtre çıkışı
- d) DMRF çıkışı

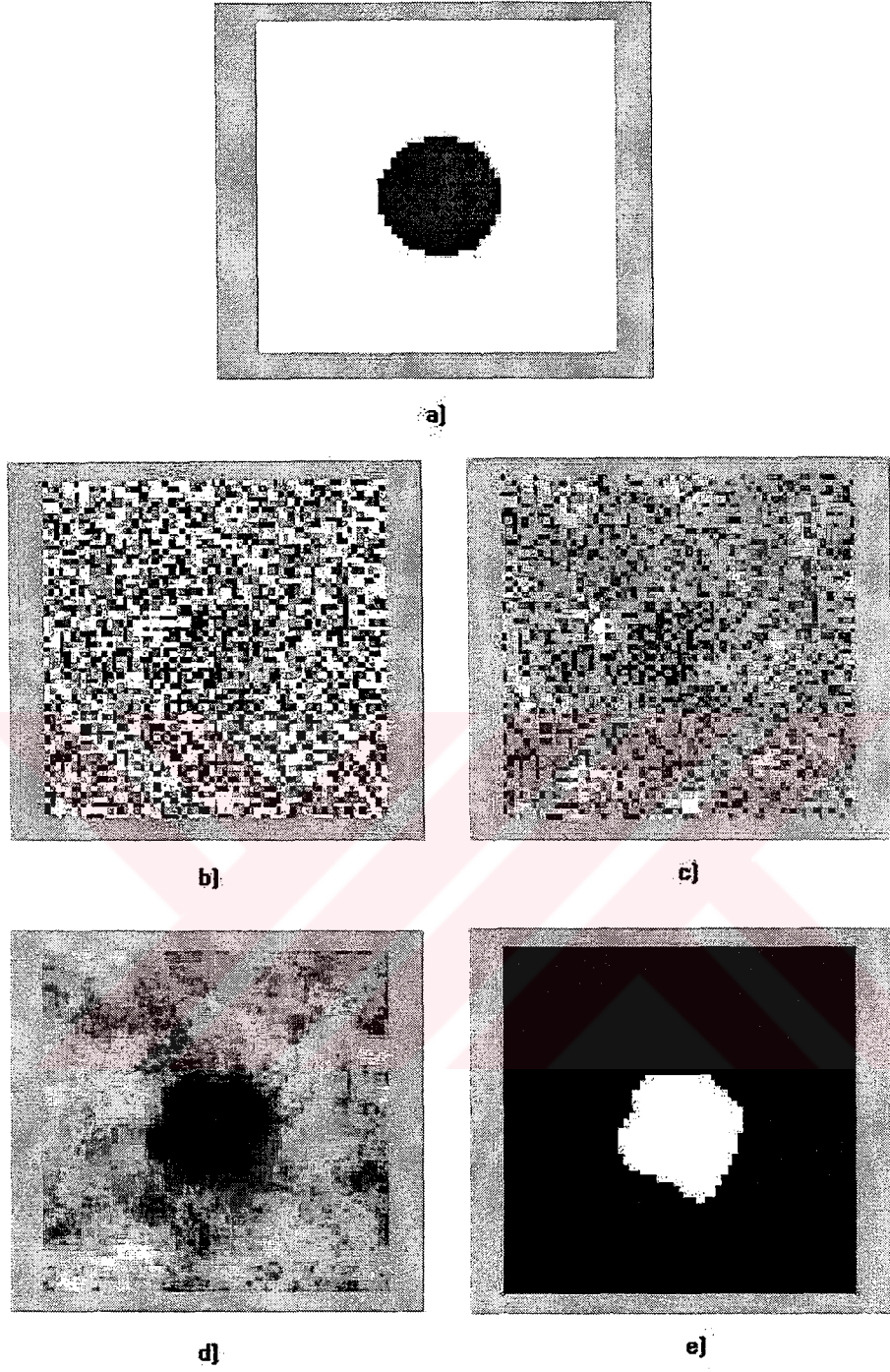
EK C

Dairesel Cisim Sezme Yaklaşımı için Örnekler



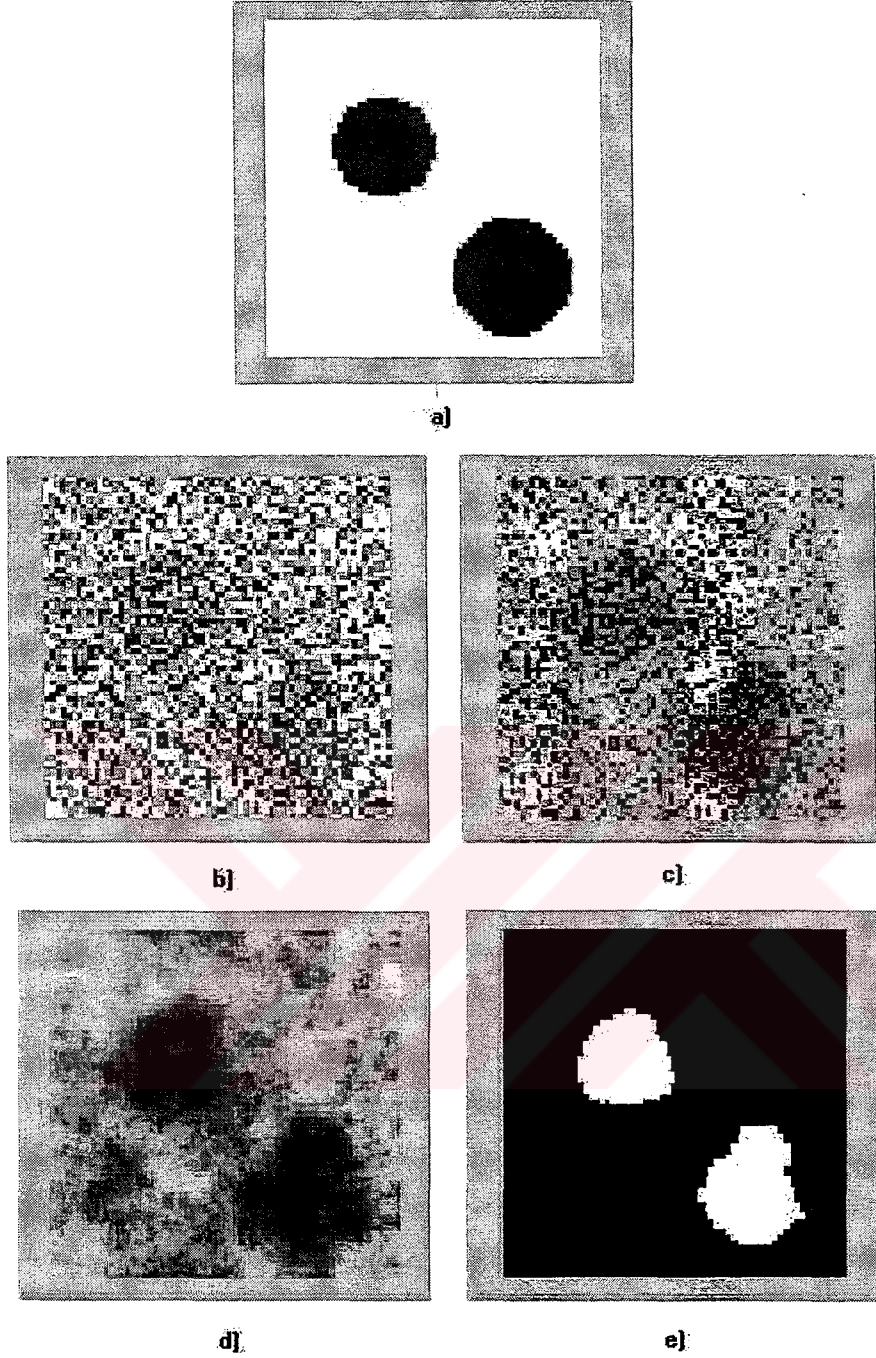
Şekil C.1 $m = 0, \sigma = 1$ ve $S/N=1$ olan yapay görüntünün işlenmesi

- a) Gürültüsüz kaynak görüntü
- b) Gürültülü kaynak görüntü
- c) Filtre çıkışı
- d) Yeniden oluşturulmuş görüntü
- e) İndirgenmiş algoritma çıkışı



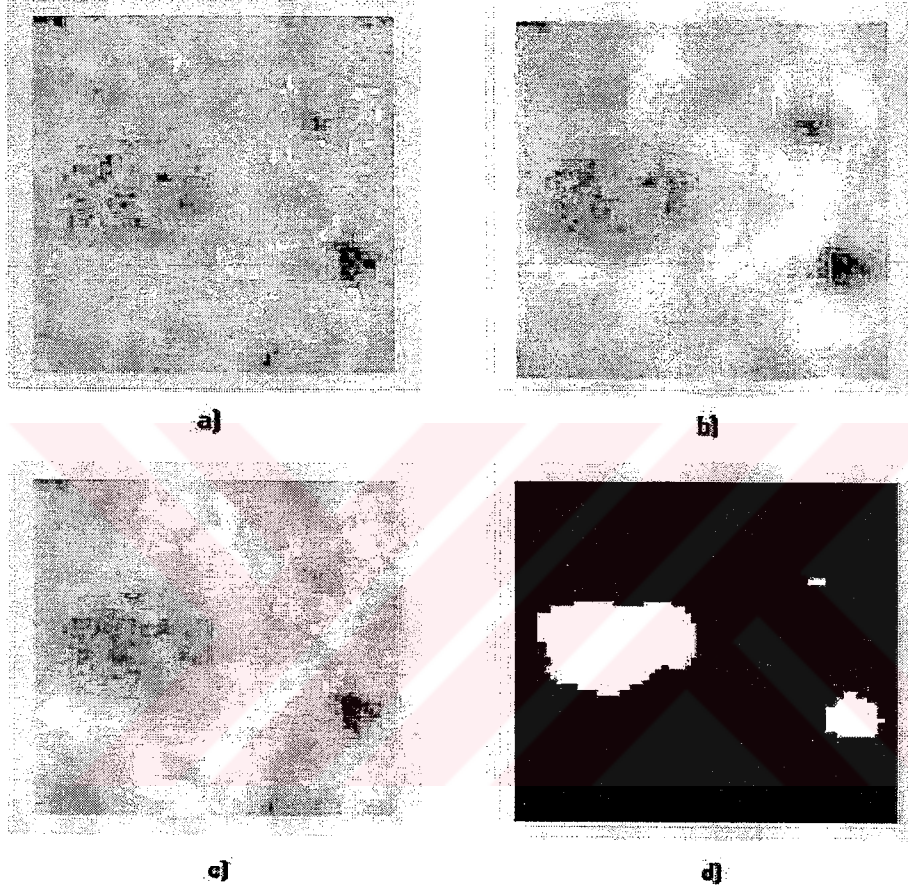
Şekil C.2 $m = 1, \sigma = 4$ ve $S/N=0.25$ olan yapay görüntünün işlenmesi

- a) Gürültüsüz kaynak görüntü
- b) Gürültülü kaynak görüntü
- c) Filtre çıkışı
- d) Yeniden oluşturulmuş görüntü
- e) İndirgenmiş algoritma çıkışı



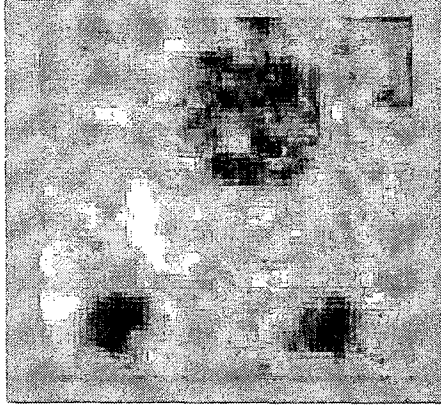
Şekil C.3 $m = 1, \sigma = 4$ ve $S/N=0.25$ olan yapay görüntünün işlenmesi

- a) Gürültüsüz kaynak görüntü
- b) Gürültülü kaynak görüntü
- c) Filtre çıkışı
- d) Yeniden oluşturulmuş görüntü
- e) İndirgenmiş algoritma çıkışı

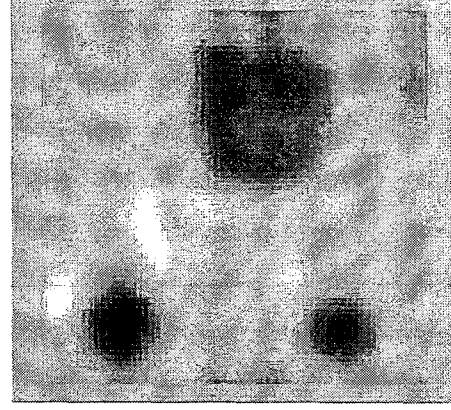


Şekil C.4 Doğal Kızılötesi Kamera görüntüsünün işlenmesi

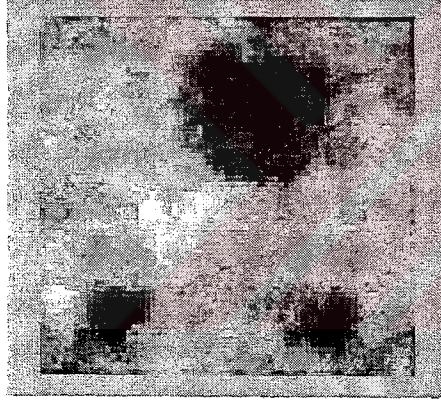
- a) Kaynak görüntü
- b) Filtre çıkışı
- c) Yeniden oluşturulmuş görüntü
- d) İndirgenmiş algoritma çıkışı



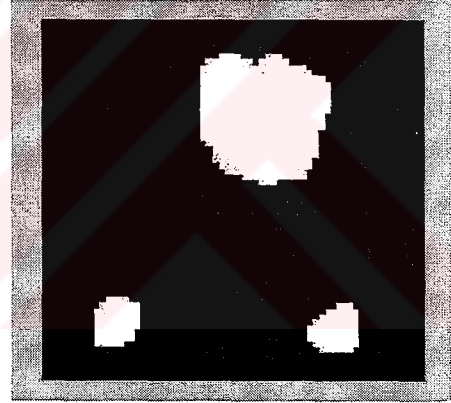
a)



b)



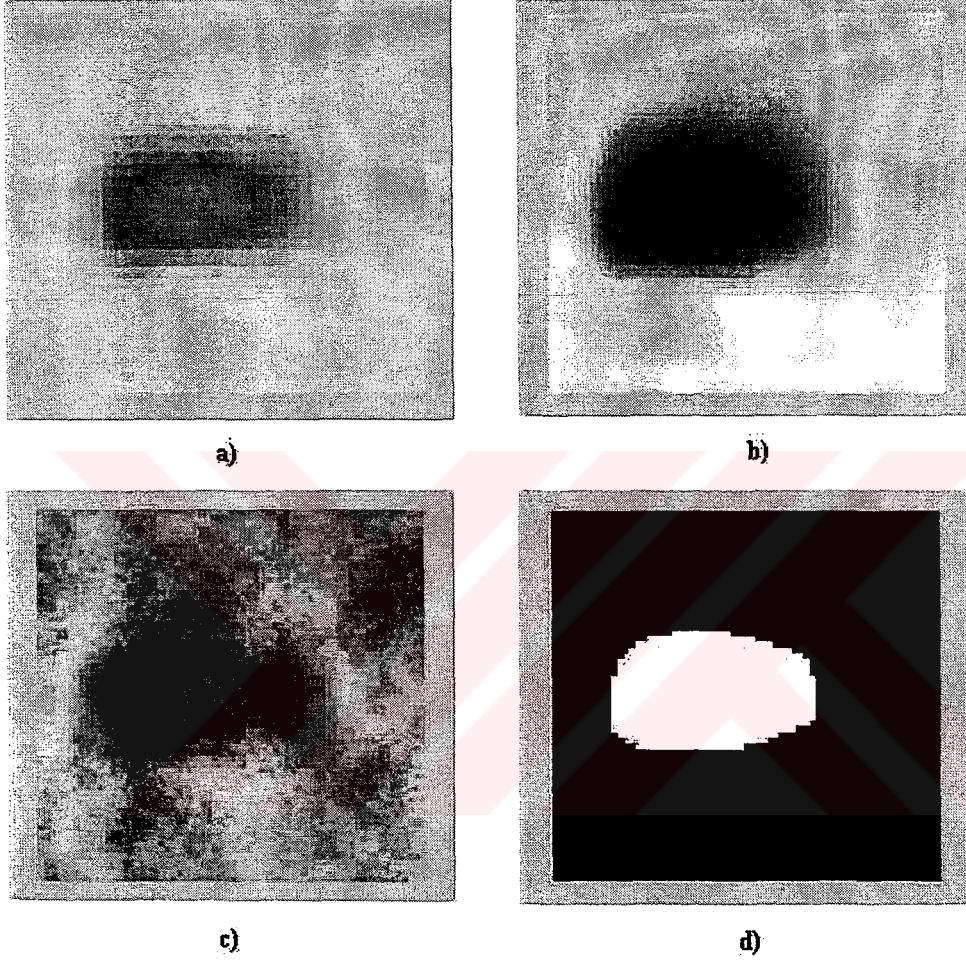
c)



d)

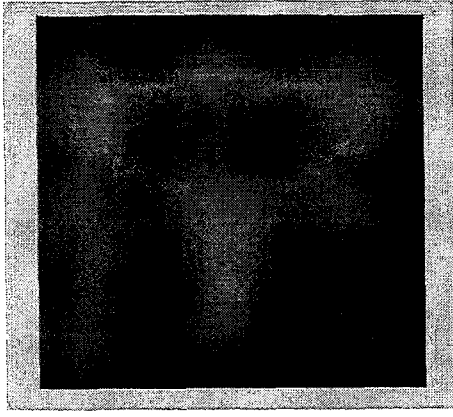
Şekil C.5 Orijinal İnfrared Kamera görüntüsünün işlenmesi

- a) Kaynak görüntü
- b) Filtre çıkışı
- c) Yeniden oluşturulmuş görüntü
- d) İndirgenmiş algoritma çıkışı

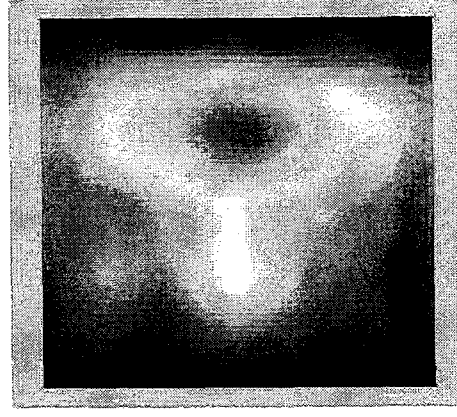


Şekil C.6 Doğal radar görüntüsünün işlenmesi

- a) Kaynak görüntü
- b) Filtre çıkışı
- c) Yeniden oluşturulmuş görüntü
- d) İndirgenmiş algoritma çıkışı



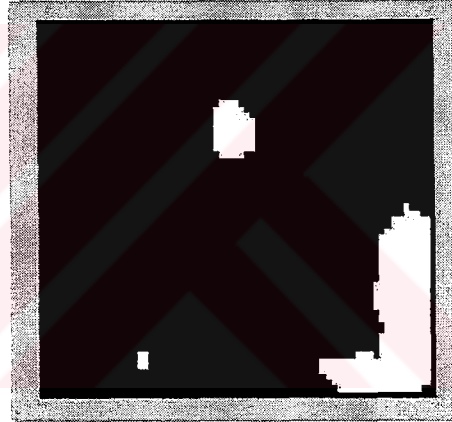
a)



b)



c)



d)

Şekil C.7 Doğal radar görüntüsünün işlenmesi

- a) Kaynak görüntü
- b) Filtre çıkışı
- c) Yeniden oluşturulmuş görüntü
- d) İndirgenmiş algoritma çıkışı

EK D A:\EKD\MRF.m

EK E A:\EKE\DMRF.m

EK F A:\EKF\fftdaire.m



ÖZGEÇMİŞ

11 Nisan 1974 tarihinde Trabzon'da doğdu. İlk öğrenimini Trabzon Fatih İlkokulu; orta ve lise öğrenimini Trabzon Anadolu Lisesi'nde 1992 yılında tamamladı. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Bölümü'nde yükseköğrenimine başladı.

Lisans öğrenimini Haziran 1996 yılında tamamladıktan sonra aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü'nün Elektronik ve Haberleşme yüksek lisans programına başladı. Halen TÜBİTAK MAM Bilişim Teknolojileri Araştırma Enstitüsü Elektronik Sistemler Grubu'nda araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

