

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KIZILÖTESİ GÖRÜNTÜLERDE HEDEF TAKİBİ

BURAK ALPTEKİN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRONİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. NİHAN KAHRAMAN**

İSTANBUL, 2017

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KIZILÖTESİ GÖRÜNTÜLERDE HEDEF TAKİBİ

Burak ALPTEKİN tarafından hazırlanan tez çalışması 28.03.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç Dr. Nihan KAHRAMAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç Dr. Nihan KAHRAMAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Bülent BOLAT

Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. N. Tuğrul ARTUĞ

İstanbul Arel Üniversitesi

ÖNSÖZ

Öncelikle tez danışmanım olan, çalışmalarına katkı sağlayan Yrd. Doç. Dr. Nihan KAHRAMAN'a derin şükranlarımı sunarım.

Yüksek lisans derslerini aldığım ve ufkumu genişleten Prof. Dr. Tülay YILDIRIM ve Prof.Dr Herman SEDEF'e; görüntü işleme konusundaki değerli bilgilerini benimle paylaşan YAZGI lab. personeline teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans boyunca destek olan dayım Mustafa İLHAN, okulla ve derslerle alakalı yardımlarını esirgemeyen meslektaşım, arkadaşım Bilal KOCAKUŞAKLAR'a, teşekkür ederim. Onların ilgi ve destekleri olmasaydı, bu uzun yol şüphesiz daha zor ve meşakkatli geçerd.

Son olarak beni ben yapan, bugünlere taşıyan değerli annem Kader ALPTEKİN, Babaannem Hacer ALPTEKİN, babam Raci ALPTEKİN, kardeşim Barış ALPTEKİN dedem Halit ALPTEKİN'e ve teyzem Ülkü BEYAZTAŞ'a teşekkürü borç bilirim.

Şubat, 2017

Burak ALPTEKİN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	12
1.3 Hipotez	12
BÖLÜM 2	
KIZILÖTESİ DALGALARIN FİZİKİ ÖZELLİKLERİ	13
2.1 Kızılötesi Görüntülemenin Tarihçesi	13
2.2 Elektro-Optik Tayfta Kızılötesi Dalgaların Yeri	15
2.3 Kızılötesi Radyant-Parlaklık (L)	16
2.4 Lambertian Yüzeyi.....	16
2.5 Kızılötesi Akının Toplanması	17
2.6 Ters Kare Kanunu	18
2.7 Kızılötesi Kaynak, Hedef ve Arka Plan	18
2.8 Kızılötesi Işıma.....	20
2.9 Kızılötesi Hedef Yüzeyinde Soğurma, Yansıtıcılık ve Geçirgenlik	23
2.10 Emisyon.....	23
2.11 Doğal Kızılötesi Aydınlatma Kaynakları.....	26
2.12 Elektro Optik Zayıflama.....	28
2.12.1 Açılma ve Yayılma	28
2.12.2 Atmosferin Yapısının Kızılötesi Dalgaları Zayıflatması.....	28

BÖLÜM 3

KIZILÖTESİ HEDEFLER ve ALGILAYICILAR.....	36
3.1 Hedef ve Arka Plan.....	36
3.1.1 Egzoz Gazları	38
3.1.2 Aerodinamik Sıcaklık İzi	40
3.1.3 Füzeler	41
3.1.4 Zırhlı Kara Vasıtaları.....	41
3.1.5 Suüstü Vasıtaları	41
3.1.6 İnsan	42
3.1.7 Lazer.....	43
3.2 Görüntü Tarayıcılar ve Detektörler.....	43
3.2.1 Tarayıcılar.....	44
3.2.2 Dedektörler.....	45
3.2.2.1 Foton Dedektörleri.....	45
3.2.2.2 Termal Dedektörler.....	49

BÖLÜM 4

KIZILÖTESİ GÖRÜNTÜ İYİLEŞTİRMESİ.....	51
4.1 Gradient Minimizasyonu Yöntemi İle Görüntü Yumuşatma.....	51
4.1.1 Gradient Minimizasyonu Yönteminin Hesaplaması	53
4.1.1.1 Tek Boyutlu Sinyal İçin Çözüm	53
4.1.1.2 İki Boyut Sinyal İçin Çözüm	55
4.1.2 Gradient Minimizasyonu Yöntemi Uygulanarak Elde Edilen Görüntüler	55
4.2 Frekansla Ayarlanmış Çarpıcı Bölge Tespiti Yöntemi.....	57
4.2.1 Yöntemin Hesaplanması.....	58
4.2.2 Yöntem Uygulanarak Elde Edilen Görüntüler.....	60

BÖLÜM 5

KIZILÖTESİ GÖRÜNTÜDE HEDEF TAKİBİ	63
5.1 Kovaryans Tanımlayıcı İle Hedef Takibi.....	64
5.1.1 Yöntemin Hesaplanması	65
5.1.2 Bölgesel Benzerlik Ölçeği.....	66
5.1.3 Deneysel Sonuçlar	67
5.2 Farksal Çekirdek Kovaryans Tanımlayıcı İle Hedef Takibi	69
5.2.1 Yöntemin Hesaplanması.....	69
5.2.2 Deneysel Sonuçlar	70
5.3 Gradient Minimizasyonu Yöntemi Uygulanmış Kızılötesi Videoda Geliştirilmiş Çekirdek Kovaryans Tanımlayıcı İle Hedef Takibi	73
5.3.1 Yöntemin Hesaplanması	74
5.3.2 Deneysel Sonuçlar	74

5.4	Frekansla Ayarlanmış Çarpıcı Bölge Tespiti Uygulanmış Kızılötesi Videoda Kümülatif Dairesel Şablon İle Hedef Takibi.....	77
5.4.1	Yöntemin Hesaplanması	78
5.4.1.1	Dairesel Kümülatif Şablonun Oluşturulması	78
5.4.1.2	Tabu Arama Algoritması.....	80
5.4.2	DeneySEL Sonuçlar	81

BÖLÜM 6

SONUÇ.....	84
KAYNAKLAR.....	86



SİMGE LİSTESİ

α	Soğurma
β	Azalma katsayısı
c	Işık hızı (3×10^8 m/s)
C_R	Özellik matrisinin kovaryansı
d	Özellik miktarı
E	Enerji
E_p	Fotonlardaki santimetrekare başına, saniyede, rastlanan ışımaya oranı
e	Elektron yükü (1.602×10^{-19} Coulombs)
f_p	Yumuşatılmış görüntü pikseli
f	Yumuşatılmış görüntü
ε	Yayımcılık
G	Akım Kazancı
h	Plank sabiti (6.63×10^{-34} j.s)
l_d	Santimetre cinsinden detektör uzunluğu
$I_{(0)}$	Radyant yoğunluğu
I_r	r yarıçapı içerisinde kalan alanın toplam yoğunluk değeri
I_μ	Görüntünün ortalaması
k	Boltzmann sabiti (1.38×10^{-23} w.s/K)
k	Aralık değeri
K_n	Dairelerin kümülatif toplamı
L	Parlaklık
M	Radyant varlığı
n	Dinot sayısı
n	Daire sayısı
η_q	Kuantum verimliliği
O	Orjinal görüntü
ρ	Yansıtıcılık
S	Çarpıcı bölge belirlemesi yapılmış görüntü
T	Kelvin cinsinden sıcaklık
T_e	Çevre sıcaklığı

t_q	Saniye olarak yük taşıyıcı ortalama ömrü
ν	Frekans
w	Santimetre cinsinden dedektör genişliği
ω_{hc}	Filtreden geçebilecek en yüksek frekans
ω_{lc}	Filtreden geçebilecek en düşük frekans
χ	Dinot için ikincil emisyon oranı
z_k	Kovaryans tanımlayıcıda belirlenen bölgedeki nokta
Ω	Objektif açıklığının gördüğü kaynak açısı
Φ	Objektife giren akı
λ	Dalga boyu (μm)- Gradyan minimizasyonu yönteminde yumuşatma katsayısı
σ	Stefan-Boltzmann sabiti ($5.67 \times 10^{-12} \text{ w/cm}^2\text{K}^4$)
τ	Geçirgenlik
Υ_r	Saçılma katsayısı
Υ_m	Aerosol katsayısı
#	Sıfır olmayan gradyan sayıcı
σ_1	Standart sapma
$I_{\omega_{hc}}$	Gaussian filtre uygulanmış görüntü
ϕ	Özellikleri matris şekline dönüştüren operatör
λ_i	Genelleştirilmiş özdeğer.

KISALTMA LİSTESİ

CD	Covariance Descriptor
CLAHE	Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization
DoG	Difference of Gaussians
EM	Elektromanyetik
FAÇBT	Frekansla Ayarlanmış Çarpıcı Bölge Tespiti
FFT	Fast Fouier Transform
FLIR	Forward Looking Infrared
G/M	Güdümlü Mermi
HE	Historam Equazation
IR	Infrared
IVF	İntensity Variation Function
LoG	Laplacian of Gaussians
MACH	Maximum Average Corelation Height
PCNN	Pulse-Coupled Neural Network
PMT	Photomultiplier Tube
RF	Radyo Frekansı
ROI	Region of Interest
SNR	Signal to Noise Ratio
YSA	Yapay Sinir Ağları
THT	Top Hat Transform

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Histogram eşitleme yöntemi ile elde edilen kızılötesi görüntü.....	2
Şekil 1.2 Yerel histogram eşitleme yöntemi ile elde edilen kızılötesi görüntü	2
Şekil 1.3 CLAHE yöntemi ile elde edilen kızılötesi görüntü.....	3
Şekil 1.4 Ortalama filtre ile elde edilen kızılötesi görüntü.....	3
Şekil 1.5 Gaussian filtre ile elde edilen kızılötesi görüntü	4
Şekil 1.6 Laplacian of Gaussian yöntemi ile elde edilen kızılötesi	4
Şekil 1.7 THT ile elde edilen kızılötesi görüntü	5
Şekil 1.8 Wiener filtresi ile elde edilen kızılötesi görüntü.....	5
Şekil 1.9 Benzer yapıli filtre ile elde edilen kızılötesi görüntü	6
Şekil 1.10 Bulanık mantık kullanılarak elde edilen kızılötesi görüntü.....	7
Şekil 1.11 Retinaks yöntemi ile elde edilen kızılötesi görüntü	7
Şekil 1.12 PCNN ile elde edilen kızılötesi görüntü	8
Şekil 1.13 Gaussian yüksek geçiren filtre ile elde edilen kızılötesi görüntü	9
Şekil 1.14 Dairesel alçak geçiren filtre ile elde edilen kızılötesi görüntü.....	9
Şekil 1.15 İlk kızılötesi hedef takibi örnekleri.....	10
Şekil 1.16 Korelasyon filtresi	11
Şekil 1.17 Dairesel logaritmik haritalama	11
Şekil 2.1 Keskin Nişancı Ekranı monte edilmiş M1 piyade tüfeği	14
Şekil 2.2 Aselsan Şahingözü	15
Şekil 2.3 Elektromanyetik tayf	15
Şekil 2.4 Yüzey yansıması	17
Şekil 2.5 Akı yoğunluğunun uzaklığın karesiyle orantılı olarak azalması	18
Şekil 2.6 Tankın kızılötesi görüntüsü.....	19
Şekil 2.7 Kızılötesi ışıma	21
Şekil 2.8 Stefan Boltzmann yasası - karacisim ışıması	22
Şekil 2.9 Spektral ışıma	25
Şekil 2.10 Seçici ışımlar	26
Şekil 2.11 Güneşin spektral dağılım eğrileri.....	27
Şekil 2.12 Yükseklikle birlikte basınç ve sıcaklık değişimi	29
Şekil 2.13 Sönümlenme.....	30
Şekil 2.14 Karbondioksit, su buharı ve ozonun kızılötesi geçirgenliği	31
Şekil 2.15 Atmosferdeki gazların toplam geçirgenliği.....	31
Şekil 2.16 Farklı nemlilik oranlarının geçirgenliğe etkisi	32
Şekil 2.17 Saçılma çeşitleri	32

Şekil 3.1 Ticari yolcu uçağı	37
Şekil 3.2 Askeri helikopter	38
Şekil 3.3 Tipik egzoz gazı spektrumu.....	38
Şekil 3.4 Bursen ocağının spektral emisyonu.....	39
Şekil 3.5 4.4 µm bandındaki emisyon	39
Şekil 3.6 Turbojet ve turbofan motorlar için egzoz sıcaklık eğrileri.....	40
Şekil 3.7 Aerodinamik sıcaklık izi.....	40
Şekil 3.8 Kızılötesi zırhlı kara vasıtası görüntüsü.....	41
Şekil 3.9 Uzak menzilden kızılötesi gemi görüntüsü	42
Şekil 3.10 Kızılötesi insan görüntüsü.....	42
Şekil 3.11 Seri Tarama.....	44
Şekil 3.12 Paralel tarama	45
Şekil 3.13 Fotovoltaik enerji diyagramı.....	47
Şekil 3.14 Fotoemissiv.....	48
Şekil 3.15 PMT.....	48
Şekil 3.16 Bolometre.....	49
Şekil 4.1 Yöntemin tek boyutlu sinyalde uygulaması	52
Şekil 4.2 k değişkenine karşılık gelen $1/\lambda$	54
Şekil 4.3 Sinyaldeki anı yükselmelerin λ değerine bağlı olarak elde edilmesi	55
Şekil 4.4 L_0 gradient minimizasyonu yapılmış kızılötesi görüntü (Deneme:1)	56
Şekil 4.5 L_0 gradient minimizasyonu yapılmış kızılötesi görüntü (Deneme:2).....	57
Şekil 4.6 Yöntemin akış diyagramı	59
Şekil 4.7 FAÇBT yöntemi ile elde edilen kızılötesi görüntü(Deneme:1).....	60
Şekil 4.8 FAÇBT yöntemi ile elde edilen kızılötesi görüntü(Deneme:2).....	61
Şekil 4.9 FAÇBT yöntemi ile elde edilen kızılötesi görüntü (Deneme:3).....	61
Şekil 4.10 FAÇBT yöntemi ile elde edilen kızılötesi görüntü (Deneme:4).....	62
Şekil 5.1 Kızılötesi hedef takip sonuçları (Deneme:1).....	68
Şekil 5.2 Kızılötesi hedef takip sonuçları (Deneme:2).....	68
Şekil 5.3 Kızılötesi hedef takip sonuçları (Deneme:3).....	69
Şekil 5.4 Kızılötesi hedef takip sonuçları (Deneme:4).....	71
Şekil 5.5 Kızılötesi hedef takip sonuçları (Deneme:5).....	71
Şekil 5.6 Kızılötesi hedef takip sonuçları (Deneme:6).....	72
Şekil 5.7 Kızılötesi hedef takip sonuçları (Deneme:7).....	72
Şekil 5.8 Kızılötesi hedef takip sonuçları (Deneme:8).....	72
Şekil 5.9 Kızılötesi hedef takip sonuçları (Deneme:9).....	75
Şekil 5.10 Kızılötesi hedef takip sonuçları (Deneme:10).....	75
Şekil 5.11 Kızılötesi hedef takip sonuçları (Deneme:11).....	76
Şekil 5.12 Kızılötesi hedef takip sonuçları (Deneme:12)	77
Şekil 5.13 Hedefin daireler ile gösterimi.....	79
Şekil 5.14 Tam ve yarım arama bölgeleri.....	81
Şekil 5.15 Kızılötesi hedef takip sonuçları (Deneme:13).....	82
Şekil 5.16. Kızılötesi hedef takip sonuçları (Deneme:14).....	83

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Atmosfer şartlarının saçılmaya etkisi	33



KIZILÖTESİ GÖRÜNTÜLERDE HEDEF TAKİBİ

Burak ALPTEKİN

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Nihan KAHRAMAN

Kızılötesi hedef takibi, askeri hedef takibinin önemli bir parçasını oluşturur. Herhangi bir aydınlatma kaynağına ihtiyaç duymaz. Yayım yapmadan tespit imkânı sağladığı için kullanan taraf mevkisini karşı tarafa intişar etmez. Gelişen teknoloji ile maliyeti diğer askeri sistemlere nazaran düşüktür, boyutları küçüktür ve güvenilirliği yüksektir. Savaş gemilerinde, uçaklarda, zırhlı kara vasıtalarında kullanıldığı gibi küçük ve portatif modellerini personel üzerinde rahatlıkla taşıyabilir.

Uzak mesafeden hedef takibi, gözetleme faaliyetinin kritik bir parçasıdır. Ancak uzak mesafeden elde edilen kızılötesi görüntü dizileri düşük kontrastlı, değişken aydınlatmalı ve yüksek arka plan gürültülü olur. Bunların ana sebepleri sönümlenme, saçılma, türbülans ve sensör gürültüsüdür. Gürültü oranı belirli seviyenin üzerine çıktığında hedef takip yöntemleri işlevsiz kalır. Daha iyi hedef takibi için görüntünün iyileştirilmesine ihtiyaç duyulur.

Gradyan minimizasyonu yöntemi ile görüntü yumuşatma ve frekansla ayarlanmış çarpıcı bölge tespiti metotları kızılötesi görüntü iyileştirmede başarılı olmuştur. Yöntemler arka plan gürültüsünü sönümler, hedefi belirginleştirir, uzamsal bilgilerini korur ve işlem yükünü azaltır. Bu yüzden yöntemler kızılötesi hedef takibinde önışleme adımları olarak kullanılmaktadır.

Tez kapsamında, termal görüntülerde, farklı senaryolar altında güvenlik uygulamaları için uzak mesafelerde kullanılabilecek bir algoritma geliştirmek amaçlanmıştır.

Kızılötesi görüntülerde hedef, kovaryans tanımlayıcı, farksal çekirdek kovaryans tanımlayıcı, geliştirilmiş çekirdek kovaryans tanımlayıcı ve kümülâtif dairesel şablon ile hedef takibi yapılmıştır. Son üç yöntem bu tez kapsamında geliştirilmiştir. Önerilen hedef takip algoritmalarının performansı, hedef hareketi, değişken arka plan, değişen boyut, cisimde açısal hareketler, duruş değişimi, gizlenme, benzer hedef tarafından engellenme vb. zorlukları içeren gerçek IR videolar ile test edilmektedir.

Farksal çekirdek kovaryans tanımlayıcının başarılı olarak hedefi takip ettiği fakat yavaş olduğu tespit edilmiştir. Geliştirilmiş çekirdek kovaryans tanımlayıcı ve kümülâtif dairesel şablon yönteminin anlık hedef takibinde başarılı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Gradient minimizasyonu yöntemi ile görüntü yumuşatma, frekansla ayarlanmış çarpıcı bölge tespiti, kovaryans tanımlayıcı, farksal çekirdek kovaryans tanımlayıcı, geliştirilmiş çekirdek kovaryans tanımlayıcı ve kümülâtif dairesel şablon, kızılötesi hedef takibi



TARGET TRACKING IN INFRARED IMAGES

Burak ALPTEKİN

Department of Electronics and Communications Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Asst. Prof. Dr. Nihan KAHRAMAN

An infrared target tracking composes important part of the military target tracking. It does not need any lighting source. Because it allows detection without lighting, the employer does not intervene. With the developing technology, cost is lower than other military systems, dimensions are small and reliability is high. It is used on war ships, aircraft and armored ground vehicles. It can easily carry small and portable models on staff.

Remote infrared target tracking is a crucial element for surveillance. However, long-range captured IR image sequences generally have poor contrast, variable illumination, and high background clutter. Their main causes are absorbing, scattering, turbulence and sensor noise. When the noise ratio is above a certain level, the target tracking methods become ineffective. For better target tracking, visual enhancement is needed.

Gradient minimization based image smoothing and frequency-tuned salient region detection methods have been successful in infrared imaging. The methods dampen background noise, sharpen the target, maintain spatial information, and reduce the processing load. Due to these reasons, they are suitable to be used as a preprocess tracking the infrared target.

Within the scope of the thesis, it is aimed to develop an algorithm which can be used in remote scenes for safety applications under different scenarios in thermal images. Target tracking with covariance descriptor, differential kernel covariance descriptor, modified robust kernel covariance descriptor and cumulative circular template in infrared image sequence. The last three methods have been developed within the

scope of the thesis. The performance of the proposed target tracking algorithms is tested with real IR videos containing difficulties such as target movement, variable background, variable size, angular movements in the object, change of posture, concealment etc.

It has been reported that differential kernel covariance descriptor succeeded in following the target but slowly. It is seen that modified robust kernel covariance descriptor and cumulative circular template succeeded in following the target.

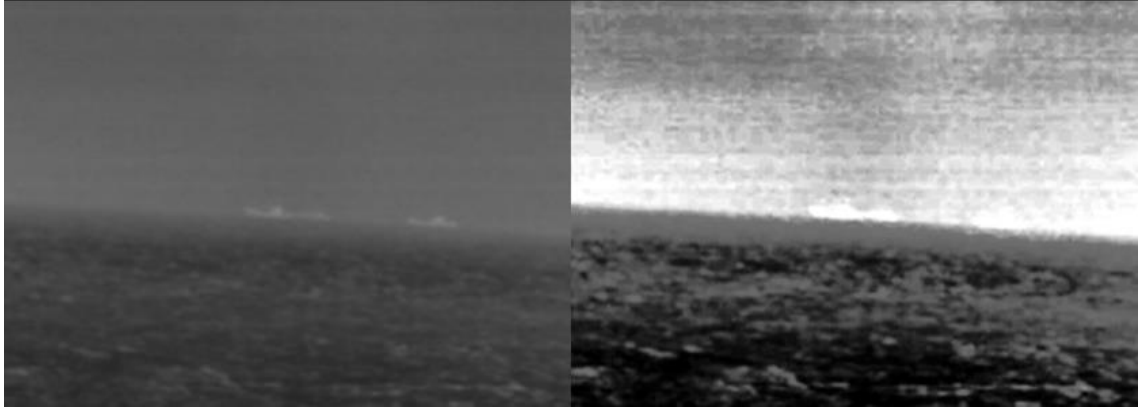
Keywords: Gradient minimization based image smoothing, frequency-tuned salient region detection, covariance descriptor, differential kernel covariance descriptor, modified robust kernel covariance descriptor, cumulative circular template, infrared target tracking



1.1 Literatür Özeti

Literatürde görüntü iyileştirmesine dair birçok yayın mevcuttur. Bu yöntemlerden çok azı uzun menzilden alınmış kızılötesi görüntülerde başarılı olabilecek özelliklere sahiptir. En yaygın kullanılan görüntü işleme metotları dahi bu konuda başarı sağlayamamıştır. Görüntü iyileştirme için literatürde kullanılan yöntemler ve sonuçları bu kısımda örnek görüntüler ile verilmiştir. Yöntemlerin değerlendirmesi için, açık kaynak özellikli kızılötesi veri tabanlarındaki örnekler ve makalelerde kullanılan video kareleri kullanılmıştır.

Görüntü iyileştirmede en yaygın kullanılan metot Histogram eşitleme (HE)[1] yöntemidir. Klasik histogram eşitleme metodu görüntünün tamamını ele alan bir yöntemdir. Görüntünün kontrastını artırır. Şekil 1.1'de görüldüğü üzere, hedefle birlikte gürültüyü de kuvvetlendirdiği ve arka plan kontrastını da artırdığı için bu yöntemin kızıl ötesi hedef takibinde kullanılması uygun değildir. Ancak genel olarak bakıldığında yöntemin hızlı olması en önemli avantajıdır.



(a)

(b)

Şekil 1.1 Histogram eşitleme yöntemi ile elde edilen kızılötesi görüntü (a) Orijinal görüntü [2] (b) Yöntem ile iyileştirilmiş görüntü

Yerel histogram eşitleme metodu [3] görüntünün bütünüyle değil piksel ve etrafı ile ilgilenir. Şekil 1.2'de görüldüğü gibi bu yöntem arka planı da yükseltir ve görüntünün netliğini kaybettirir. Ayrıca yöntem, hesaplama yükünün fazla olması nedeniyle gerçek zamanlı görüntü işlemede kullanılmamaktadır.



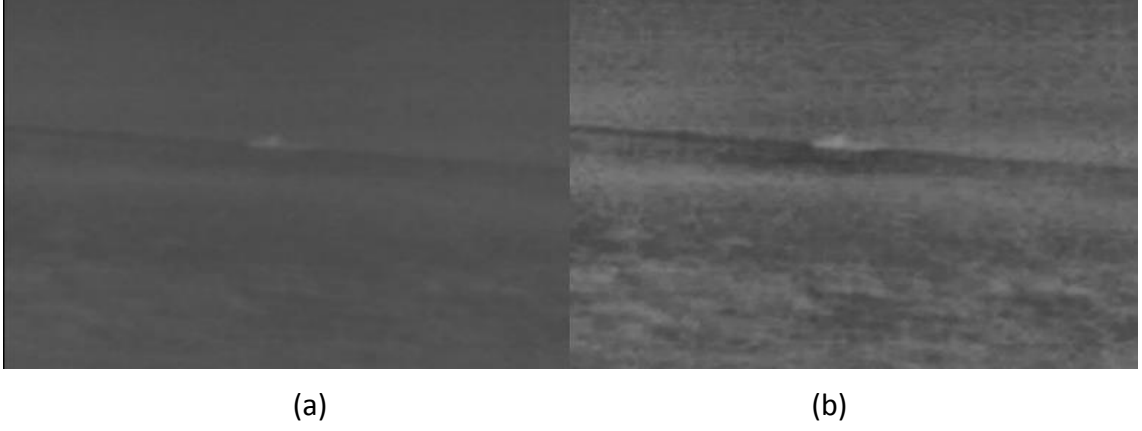
(a)

(b)

Şekil 1.2 Yerel histogram eşitleme yöntemi ile elde edilen kızılötesi görüntü (a) Orijinal görüntü [4] (b) Yöntem ile iyileştirilmiş görüntü

Kontrastla sınırlı, uyarlanabilir histogram dengelemesi (Contrast-limited adaptive histogram equalization (CLAHE)) [5,6] yöntemi yerel çalışmakla birlikte klasik histogramı kullanır, histogramda ana eğimin olduğu bölüm alınarak görüntünün tamamına yayılır. Şekil 1.3'teki görüntüde gemi çok küçük bir alan kaplamaktadır ve arka plana benzemektedir. İyileştirme yapılmadan önceki şekliyle hedef takibi yapılması zordur. İyileştirilmiş hali daha uygundur. Bu yöntem kızılötesi hedef takibinde

kullanılabilir fakat arka planı fazlasıyla ortaya çıkardığı için sıkıntılara sebebiyet verebilir.



Şekil 1.3 CLAHE yöntemi ile elde edilen kızılötesi görüntü (a) Orijinal görüntü [2]
(b) Yöntem ile elde edilen görüntü

Kızılötesi görüntülerde gürültü oranı yüksektir ve hedef, görüntüde çok küçük bir bölgeyi kaplar. Ortalama (mean) filtre [7] görüntüdeki tuz-biber gürültülerini azaltır ve yumuşatır. Eğer hedefimiz küçükse mean filter ile formunu kaybeder, kenarlar yok olur. Şekil 1.4'te yakın mesafeden çekilmiş bir video görüntüsü sergilenmiştir. Görüntü üzerinde tuz-biber gürültüsü bulunmaktadır ve 8X8 yumuşatma uygulanınca bu gürültü giderilmiştir fakat hedeflerin köşeleri de kaybolmuştur. Buda uzamsal ve istatistikî yöntemler ile hedef takibi yapan algoritmalar için olumsuz bir durumdur. Görüntünün köşeleri güçlendirilmek istendiğinde ekstra işlem ihtiyacı doğar, dolayısıyla işlem yükünü arttırır, bu nedenle gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılmamaktadır.



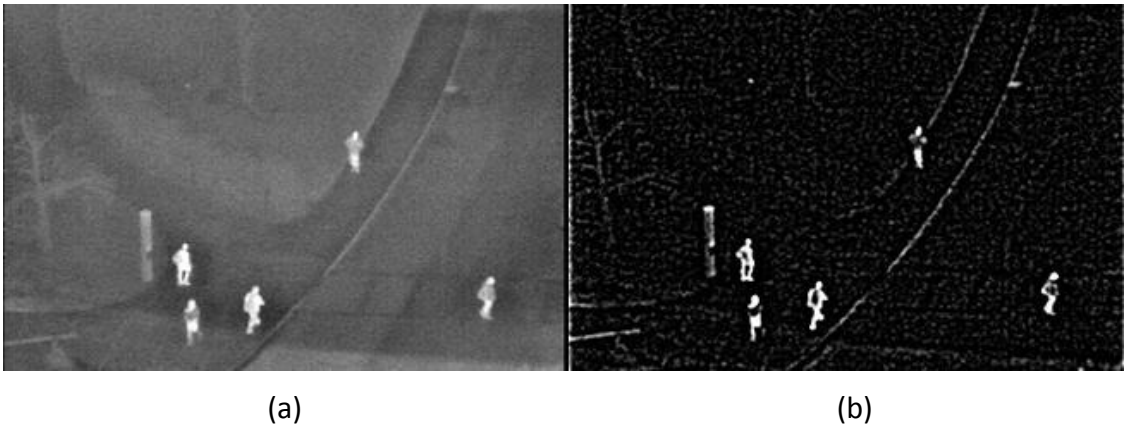
Şekil 1.4 Ortalama filtre ile elde edilen kızılötesi görüntü (a) Orijinal görüntü [8]
(b) Yöntem ile elde edilen görüntü

Ortalama filtrenin olumsuzluklarından daha az etkilenerek gürültüyü gidermek için Gaussian filtre [7] kullanılabilir. Gaussian filtre, Gaussian eğrisine uygun katsayılar ile yumuşatma yapar, yani merkeze yakın piksellerin ağırlığı yüksektir bu nedenle kenarlar ortalama filtreye nazaran daha iyi korunur.



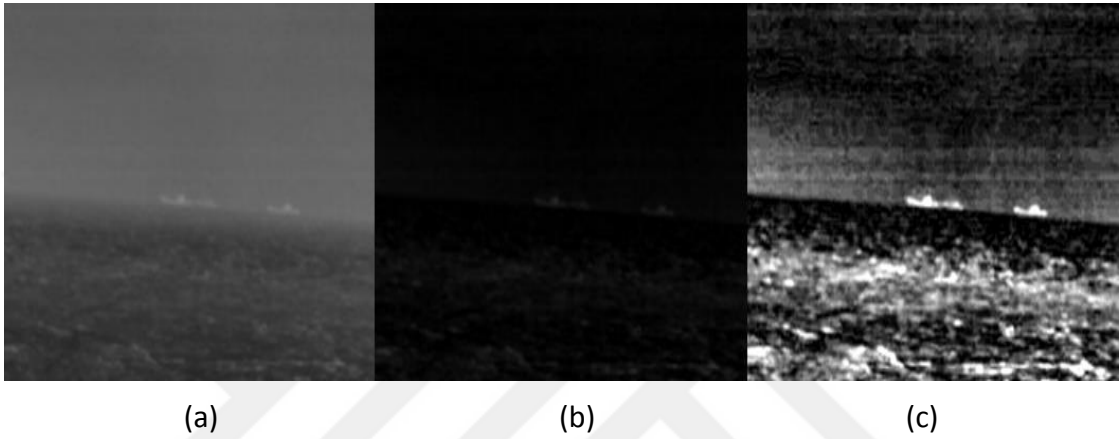
Şekil 1.5 Gaussian filtre ile elde edilen kızılotesi görüntü (a) Orjinal görüntü [8]
(b) Yöntem ile elde edilen görüntü

Belirlenen hedefler küçük olduğu için görüntüde Gaussian filtreye ilave olarak laplacian filtre uygulanması ile daha iyi sonuç alınır. Bu yöntem Laplacian of Gaussian [7] olarak adlandırılmaktadır. Şekil 1.6'da görüldüğü gibi hedef takibi için ideal ortam olan minimum arka plan bu yöntem ile sağlanmıştır. Bu durumu sağlamak için Gaussian filtre boyutu 8x8 ve sigma yayılım parametresi değeri 0.4 olarak belirlenmiştir. İşlemin sonuçları başarılı olmakla birlikte birden çok basamak içerdiği için hesap yükü fazladır. Gerçek zamanlı işlemler için uygun değildir.



Şekil 1.6 Laplacian of Gaussian yöntemi ile elde edilen kızılotesi (a) Orjinal görüntü [8]
(b) Yöntem ile elde edilen görüntü

Üst şapka dönüşümü (Top hat transform (THT)) [7] metodu morfolojik bir yöntemdir. İlk olarak parlaklığın yoğun olduğu bölgelerin eğimini ve büyüklüğünü artırır daha sonra ana görüntü ile farkını alarak parlak olan bölgelerin ortaya çıkmasını sağlar. Şekil 1.7'deki gibi kontrastı çok düşük olan resimlerde hedef noktasala yakın şekilde ortaya çıkar. Bu sebeple ek işleme ihtiyaç duyulur. THT ile elde edilen görüntünün kontrastı ek işlemler ile iyileştirilirse hedef takibine uygun hale gelir. Ek yapılacak işlemler ile hesaplama yükü arttığı için gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılması uygun değildir.



Şekil 1.7 THT ile elde edilen kızılötesi görüntü (a) Orjinal görüntü [2] (b) Yöntem ile elde edilen görüntü

Doğrusal zamana bağlı olmayan sistemlerde gürültü fonksiyonu biliniyorsa veya tahmin ediliyorsa Wiener filtre [7] görüntüyü rahatlıkla gürültüden temizler. Gürültü fonksiyonu bilinmiyorsa kullanılmak için geliştirilen algoritmalar da mevcuttur fakat bunların hesaplama süresi uzundur gerçek zamanlı kullanılması uygun değildir. Gürültüyü gidermek dışında görüntüde başka bir işlem yapmamaktadır.



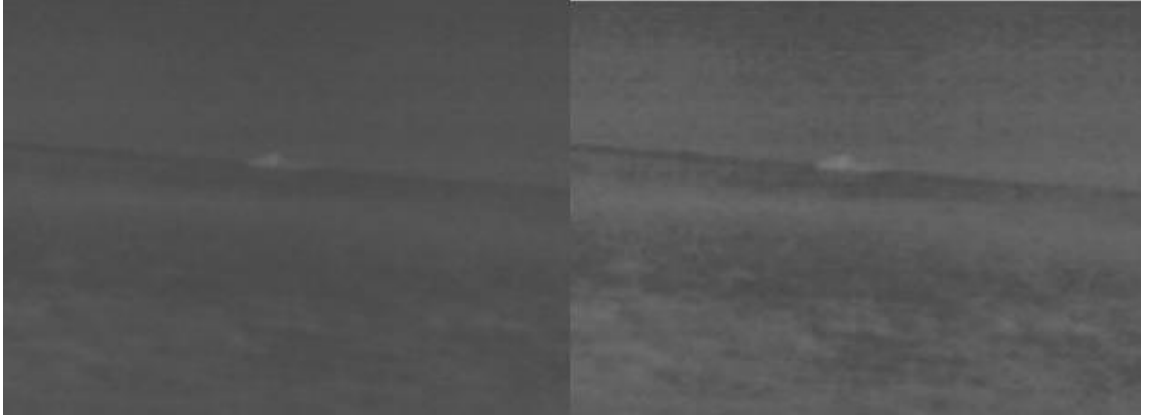
Şekil 1.8 Wiener filtresi ile elde edilen kızılötesi görüntü (a) Orjinal görüntü [8] (b) Yöntem ile elde edilen görüntü

Görüntünün parlaklığını ayarlayan ve aynı zamanda kontrastını da yükselten Benzer yapılı filtre (Homomorphic filter) [9,10] sonuçları Şekil 1.9'da sunulmuştur. Filtre istenmeyen rastgele gürültüleri yok ettiği için radar görüntülerinin iyileştirilmesinde yaygın olarak kullanılır. Kızılötesi görüntüde hedefi ortaya çıkarmış aynı zamanda arka planı da detaylandırmıştır. Bu istenmeyen bir durumdur. Hız olarak gerçek zamanlı görüntüleme için kullanılabilir.



Şekil 1.9 Benzer yapılı filtre ile elde edilen kızılötesi görüntü (a) Orjinal görüntü [2]
(b) Yöntem ile elde edilen görüntü

Bulanık mantıkla oluşturulan yöntemler görüntü iyileştirmesinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Bulanık mantık uzman kişi tarafından konulan kurallara dayalı olarak işlem yapar. Şekil 1.10'daki görüntüyü iyileştirmek için kullanılan yöntem [12,13] piksel yoğunluklarını koyu, gri ve parlak olarak sınıflandırır ve Takagi-Sugeno bulanık kurallarına uygun olarak konulan kurallar ile kontrastı artırır. Kurallar genel olarak koyu pikseli daha koyu, gri pikseli orta koyuluğa, parlak pikselleri de daha parlak yapmaktadır. Çok düşük kontrasta sahip olan pikselin kontrastı belirli bir oranda artırılır. Piksel değerleri çok kısıtlı aralıkta toplandıysa bu işlemden sonra histogram eşitlemesi yapılarak daha iyi bir görüntü elde edilebilir. Şekil 1.10'da fazladan histogram eşitlemesi uygulanmıştır. Şekil 1.1'den daha kaliteli bir görüntü elde edilmiştir. İşlem yükünün fazla olması sebebiyle gerçek zamanlı uygulamalara uygun değildir.

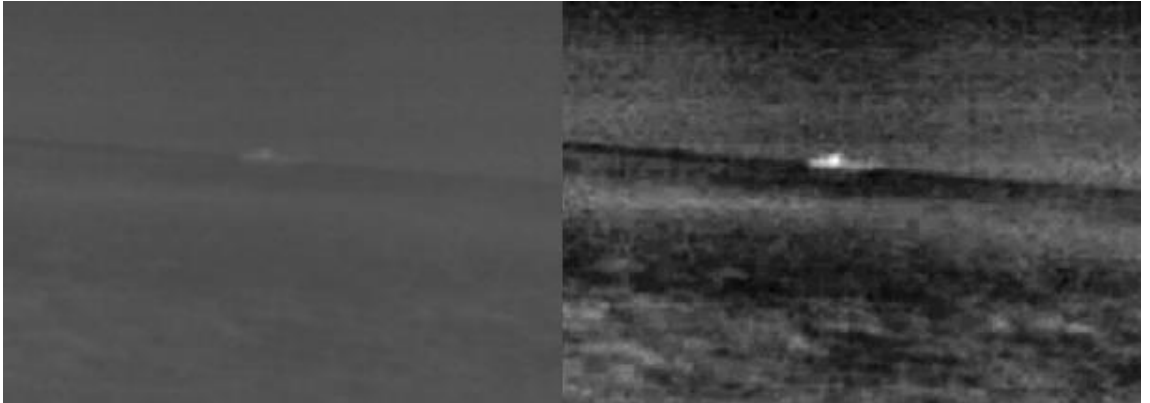


(a)

(b)

Şekil 1.10 Bulanık mantık kullanılarak elde edilen kızılötesi görüntü (a) Orjinal görüntü [4] (b) Yöntem ile elde edilen görüntü

Retinaks (Retinex) [14-16] algoritmasının temel fikri görüntüdeki yansımadan, aydınlatmayı ayırmaktır. Diğer bir deyişle görüntüyü aydınlatmadan bağımsız olarak sergilemeye çalışır. Düzgün olarak aydınlatılmamış renkli görüntülerde iyi sonuçlar elde edilmiştir. Tek ve çok basamaklı olan yöntemleri mevcuttur. Kızılötesi görüntünün iyileştirilmesi için tek basamaklı Retinex yöntemi yeterlidir. Kızılötesi görüntü kötü aydınlatılmış ortamda çekilen görüntülere benzediği için görüntüyü bütünüyle iyileştirmiştir. Şekil 1.11'de görüldüğü gibi hedef ilk durumuna oranla çok daha net bir hal almıştır fakat arka planında kontrastı artmıştır. Bu özellik hedef takibi için olumsuzdur.



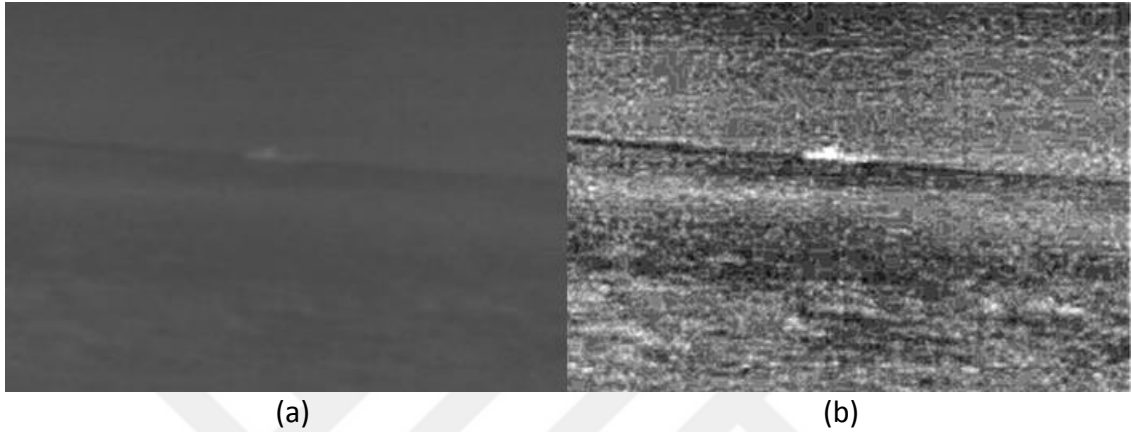
(a)

(b)

Şekil 1.11 Retinaks yöntemi ile elde edilen kızılötesi görüntü (a) Orjinal görüntü [2] (b) Yöntem ile elde edilen görüntü

İşlemsel zekâda kullanılan en yaygın yöntem yapay sinir ağıdır. Bu kapsamda yapay sinir ağı tabanlı bir yöntemin sonuçları da incelenmiştir. Pulse-Coupled sinir ağları

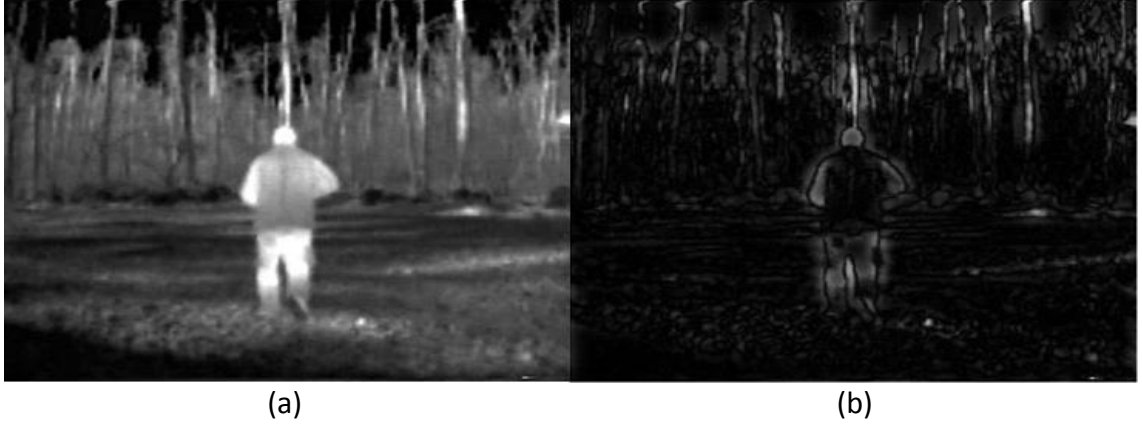
(PCNN) medikal görüntü iyileştirmesinde yoğun olarak kullanılan bir yöntemdir. Biomedikal görüntüler de kızılötesi görüntüler gibi gri ölçeklemelidir. Bu yöntem görüntü iyileştirmede denenmiş ve sonuçları Şekil 1.12'de sunulmuştur. Görüldüğü üzere yöntem detayları ortaya çıkarmada başarılı olmuştur. Hedef görüntüde rahatlıkla seçilebilir hala gelmiş fakat arka plan detayları da ortaya çıktığı için hedef takibi için uygunluk sağlanamamıştır.



Şekil 1.12 PCNN ile elde edilen kızılötesi görüntü (a) Orjinal görüntü [2]
(b) Yöntem ile elde edilen görüntü

Görüntü işlemede frekans ve wavelet domenini kullanan birçok yöntem mevcuttur. Filtre kullanarak görüntünün yalnızca yüksek frekanslı bileşenleri alınır, düşük frekanslı bileşenleri çıkarılırsa, görüntüdeki keskin değişimler yakalanmış olur. Şekil 1.13'de bu durum açıkça görülmektedir. Ani değişimlerin olduğu bölgeler dışında görüntünün ana öğeleri tamamen yok olmuştur. Alçak geçiren filtre [7] ile bu durumun tam tersi elde edilebilir. Şekil 1.14'teki görüntü alçak geçiren filtre ile elde edilmiştir. Gaussian ve Butterworth gibi filtreler kullanılmadan, dairesel bir filtre kullanılmış ve bunun sonucu olarak resimde dalgalanmalar oluşmuştur. Görüldüğü gibi ana hatlar korunmuş, detaylar ve kenarlar görüntüden elenmiştir. Sabit frekanslı bir gürültü görüntüyü bozuyorsa görüntüden bu frekans bileşeni çıkarılmalıdır. Bu gürültü kaynağı kamera yakınındaki Elektromanyetik (EM) yayımda bulunan cihaz veya AC elektrik şebekesinden kaynaklanan gürültü olabilir. Bu gürültünün giderilmesi için çentik filtre kullanılmalıdır. Frekans domeninde çalışmak için öncelikle görüntünün frekans bileşenlerine ayrılması gereklidir. Bunun için Fourier dönüşümü (fast fouier transform, FFT) yöntemi kullanılır, bu algoritmaya yüksek hesap yükü getirir. Ayrıca bu yöntemler

tek başına kullanılamayacağı için bunların üzerine fazladan yöntemler eklenmelidir. Bu nedenle gerçek zamanlı uygulamalar için uygun değildir.



Şekil 1.13 Gaussian yüksek geçiren filtre ile elde edilen kızılötesi görüntü (a) Orjinal görüntü [4] (b) Yöntem ile elde edilen görüntü



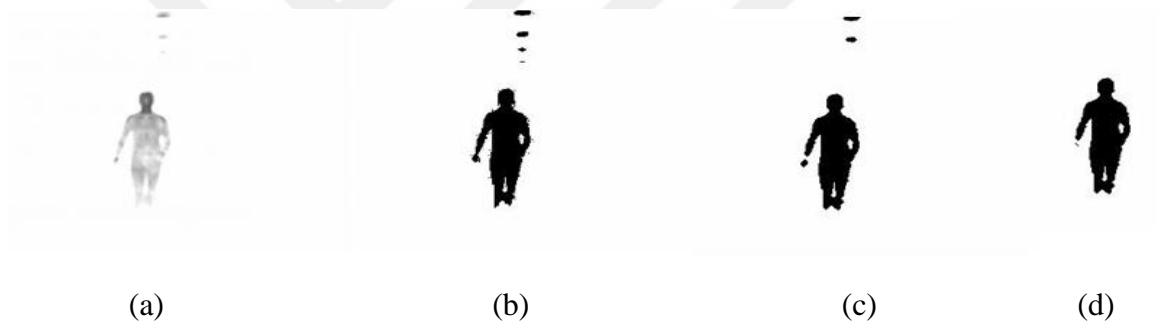
Şekil 1.14 Dairesel alçak geçiren filtre ile elde edilen kızılötesi görüntü (a) Orjinal görüntü [8] (b) Yöntem ile elde edilen görüntü

Uzak mesafelerden kaydedilen kızılötesi görüntünün çoğunluğunu arka plan oluşturur. Saçılma, sönümlenme, turbülans ve yayılma sebebiyle gürültü oranı yüksektir. Hedef birçok senaryoda gürültüyle yakın boyuttadır. Hedefin başarıyla takip edilebilmesi için gürültünün az olması ve arka planın mümkün olduğunca sade olması gerekir. Eğer arka plan sadeleştirilmezse ilgilenilen bölge (Region of Interest, ROI) içerisindeki arka plan değişimleri hedefin takipten düşmesine sebep olur. Kızılötesi görüntü iyileştirmede kullanılacak yöntem gürültüyü azaltacak, arka planı sadeleştirecek ve hedefi güçlendirecek şekilde olmalıdır ve gerçek zamanlı kullanılabilir kadar hızlı işlem gücüne sahip olmalıdır. Kısacası; hem yumuşatma sağlamalı, hem de hedefin arka planla olan kontrastını arttırmalıdır. Şu ana kadar literatürden seçerek denenmiş yöntemler kızılötesi görüntü iyileştirme yönteminden beklenen etkilerin bir veya bir

kaçını sağlayamamıştır. Bu yöntemler yüzeysel olarak tek örnek ile görselleştirilerek işlenmiştir. Literatürdeki iki yöntem istenilen özellikleri yüksek oranda sağlamıştır ve bunlar ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Görünür ışık üç farklı bantta elde edilir. Bu sayede hedef hakkında daha fazla bilgiye sahip olunur. Kızılötesi görüntülerde ise yalnızca yoğunluk değeri vardır, bu nedenle hedefin tanımlanması güçtür.

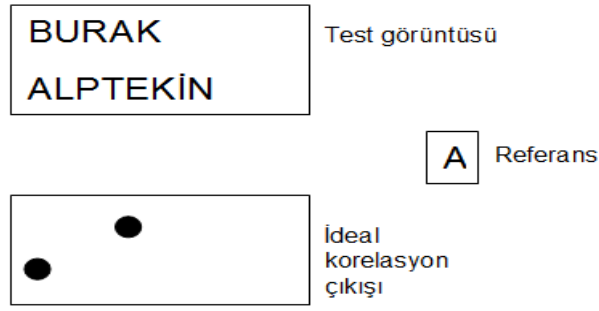
İlk çalışmalar hedefin arka plandan daha sıcak olduğu varsayımı üzerine gerçekleştirilmiştir. Hedef sıcaklığından ötürü arka plandan daha parlaktır. Cielniak ve Duckett [17] termal görüntü ile renkli görüntüyü harmanlamıştır. Hedef öncelikli olarak termal görüntü ile elde edilir ve sonrasında eşikleme yapılarak netleştirilir. Morfolojik işlemler ile bozulmalar giderilmektedir. Bu yöntem ile elde edilen görüntüler Şekil 1.15'de sunulmuştur.



Şekil 1.15 İlk kızılötesi hedef takibi örnekleri (a) Orjinal (b) Eşikleme yöntemi uygulanmış (c) Açma işlemi uygulanmış (d) Küçük parçacıklar giderilmiş [17]

Comaniciu vd.[18-20] ortalama kaydırma (mean shift) metodu ile hedef takibi gerçekleştirmiştir. Yöntem piksel değerlerine çekirdek fonksiyonları uygulayarak çekirdek yoğunluğuna göre hedef takibini sağlamaktadır.

Kumar [21] tarafından yapılan birçok farklı korelasyon filtresi mevcuttur. İlk örneklerinde referans belirlenir ve bu referans test görüntüsünde korelasyona tabi tutulur, korelasyon çıkışının yüksek olduğu yerler hedeflerin mevkilerini verir. Bu durum Şekil 1.16 gösterilmiştir. Daha sonra yapılan çalışmalarda hedefin farklı açılardan elde edilmiş görüntüsünden sentetik bir referans görüntüsü elde edilir, referansın arama yapılan görüntü ile korelasyonu alınır ve maksimum çıkış alınan nokta hedefimizin mevkisini verir.

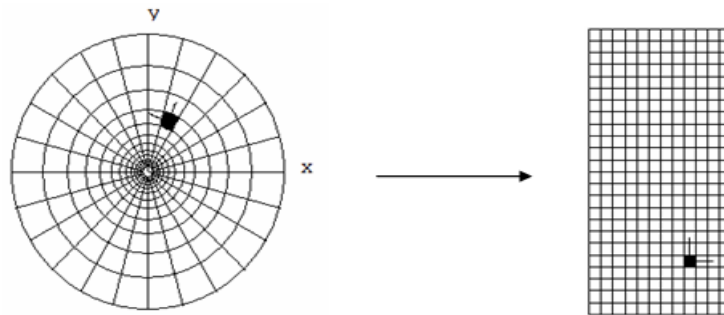


Şekil 1.16 Korelasyon filtresi

Lamberti [22] vd. tarafından hedef Yoğunluk Değişim Fonksiyonu (Intensity Variation Function, IVF) ve referans şablonu ile tanımlanmıştır. Bu veriler alt çerçeveler ile korelasyona tabi tutulmuş ve en yakın olan alt bölge hedefin yeni mevkisi olarak belirlenmiştir.

Optik akış (Optical Flow) [23] yöntemi hareket sezmede yaygın kullanılan hızlı bir yöntemdir. Görüntü gradyan, renk vb. özelliklere göre haritalanır. Belirli aralıklar ile alınan görüntülerde yoğunluğun değişimi Taylor serisiyle incelenir. Gözlemci ile gözlenen sahne arasındaki nispi hareket ortaya çıkartılır.

Dairesel logaritmik haritalama (Şekil 1.17) hedefi dönüşten bağımsız olarak tanımlar. Qureshi ve Alvi bu yöntemle yeniden tanımladıkları görüntüde bir çeşit korelasyon filtresi olan MACH (Maximum Average Correlation Height) [24] kullanarak hedef takibi gerçekleştirmişlerdir.



Şekil 1.17 Dairesel logaritmik haritalama

Yapay sinir ağları [7] ile gerçekleştirilen uygulamalarda hedef birçok farklı eğitim görüntüsü ile eğitilmektedir. Yapay sinir ağının birçok çeşidi mevcuttur ve uygulamalarda uygun olanı seçilerek yüksek başarı elde edilir. Denetimli ve denetimsiz eğitilebilirler. Eğitim aşamasında farklı boyut, farklı aydınlatma, farklı bakış açıları

içeren görüntüler kullanılır ise algoritma boyuttan, aydınlatmadan ve dönüşten bağımsız hale gelir. Eğitim sonunda yapay sinir ağının parametreleri sabitleşir. Bu parametreler ile hedef tanıma ve takibi sağlanır.

Parçacık filtreleri [25] bayes filtresini temel almıştır. Sonucu hesaplarken maliyet etkin olmadığı durumlarda yaklaşık hesaplama yapar. Birden çok hedefin takibinde anlık olarak birden çok nesnenin konumunun belirlenmesinde kullanılır. Belirlenmesi gereken en önemli parametresi parçacık sayısıdır. Parçacık sayısı, hedef sayısı ve boyutuyla uyumlu olmalıdır.

1.2 Tezin Amacı

Bu tezin amacı kızılötesi görüntüyü iyileştirmek ve hedef takibi algoritması geliştirmektir. Gradient minimizasyonu yöntemi ile görüntü yumuşatma ve frekansla ayarlanmış çarpıcı bölge tespiti yöntemleri ile iyileştirilmiş kızılötesi videolarda geliştirilen metotlar ile hedef takibi planlanmaktadır.

1.3 Hipotez

Kızılötesi görüntülerde gürültü giderimi ve hedefin netleştirilmesi maksadıyla bu tezde, gradient minimizasyonu yöntemi ile görüntü yumuşatma ve frekansla ayarlanmış çarpıcı bölge tespiti yöntemleri önerilmiştir. İzleyen video karelerinde hedefin takibi maksadıyla kovaryans tanımlayıcı, farksal çekirdek kovaryans tanımlayıcı, geliştirilmiş çekirdek kovaryans tanımlayıcı ve kümülâtif dairesel şablon kullanılmıştır.

KIZILÖTESİ DALGALARIN FİZİKİ ÖZELLİKLERİ

2.1 Kızılötesi Görüntülemenin Tarihçesi

Hedef tespiti için ilk kullanılan optik sensör hiç kuşku yok ki insan gözüdür. Fizik ve astronomi alanında çalışan Galileo 1609 yılında teleskopu geliştirerek hedef tespitinde devrim yaratmıştır. Çan kulelerine yerleştirilen gözcüler teleskop ile çok daha uzak yerleri gözetlemiş ve tehdidi geçmişe nazaran çok daha önce tespit etmişlerdir. Optik sistemler Galileo'dan başlayarak sürekli gelişmiş, güvenlik ve askeri stratejinin önemli bir parçası haline gelmiştir.

Optik sensörlerin dezavantajı ise bir aydınlatma kaynağına ihtiyaç duymalarıdır. Askeri strateji yüz yıllarca gecenin karanlığını kullanarak birçok taktik geliştirmiş ve uygulamıştır. Gece tespit edilmenin güç olması sebebiyle harekâtların birçoğu gece gerçekleştirilmiştir. Karanlığın tehlikesini azaltmak maksadıyla fenerler ve aydınlatma roketleri kullanılmıştır. Bu uygulamanın dezavantajı ise aydınlatmayı kullanan tarafın mevkisini karşı tarafa intişar etmesidir. Eğer aydınlatma ile hedefi tam olarak tespit edemediyse, hedef aydınlatma uygulayanı tam olarak tespit ettiğinden ötürü tehdidin boyutunu arttırmış olur.

Kızılötesi ışıma (Infrared Radiation-IR) insan gözüyle algılanamaz. Birçok madde belirli özellikleriyle bağlantılı olarak, mutlak sıfır derecenin üzerinde kızılötesi dalga

boylarında ışımaya yapar. Maddelerin bu özelliğinden yararlanılarak IR sistemler geliştirilmiş, gözün yetersiz olduğu tam karanlık ortamlarda hedef tespitine olanak sağlanmıştır. 1900'li yılların hemen başında ABD, İngiltere ve Almanya IR sistemler üzerinde yoğun olarak çalışmaya başlamıştır. I. Dünya Savaşının sonlarında ilk gece görüş sistemleri kullanılmaya başlamıştır. Düşük oranda IR ışınlar ile aydınlatılan ortamda, hedeften yansıyan ışımaya yükseltilecek hedef tespiti yapılmıştır. Tam anlamıyla geliştirilemediğinden yaygın olarak kullanılmamış fakat büyük tecrübeler edinilmiştir. Bu tecrübeler IR'nin askeri potansiyelini ortaya çıkarmıştır.

II. Dünya Savaşında IR sistemler yaygın olarak kullanılmıştır. İlk olarak Almanlar IR görüntü çevirme tüpü (image converter tube) ile düşman-kendi denizaltılarını ayırt etmiş ve uçakları uzak mesafelerden tespit etmişlerdir. Keskin Nişancı ekranı (Sniper scope) (Şekil 2.1) IR arama aydınlatması, sistemi besleyen ağır batarya ve dürbünden meydana gelmiştir, menzili 100 yarıdan düşüktür. Arama aydınlatması düşman tarafından mevkiinin tespitini kolaylaştırdığı için kullanışlı değildir.



Şekil 2.1 Keskin nişancı ekranı monte edilmiş M1 piyade tüfeği [26]

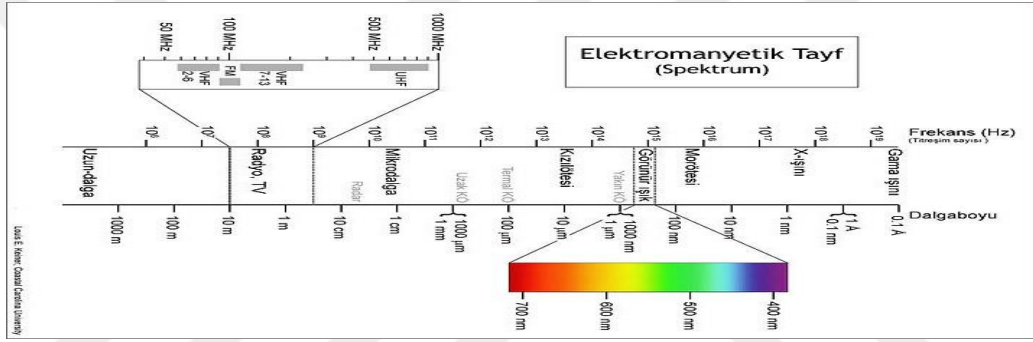
Kızılötesi görüntüleme teknolojilerinde II. Dünya Savaşı sonrasında taktiklerin yeniden şekillenmesine sebep olmuştur. Elektrooptik sistemler günümüzde radarın sahip olduğu özelliklerin yanı sıra pasif olması sebebiyle tespit edilmeden tespit etme imkânı sağlamaktadır. Bu cihazlar ile hedef tam olarak görüntülenebilir, takip edilebilir, mevkiisi tespit edilebilir ancak en önemli dezavantajı atmosferik şartlara bağlı olarak menzilin keskin bir şekilde değişmesidir. Günümüz sistemleri rahat taşınabilir, küçük boyutlu, düşük maliyetli ve yüksek çözünürlüklüdür. Bu avantajları sebebiyle yoğun olarak kullanılmaktadır. Vasıtaya konumlu optik görüntüleme sistemleri günümüzde

gündüz kullanımı için yüksek çözünürlüklü kamera, gece kullanımı için termal kamera ve hedefin mesafesinin ölçülmesi için lazer mesafe bulucudan (Şekil 2.2) oluşmaktadır.



Şekil 2.2 Aselsan Şahingözü [27]

2.2 Elektro-Optik Tayfta Kızılötesi Dalgaların Yeri



Şekil 2.3 Elektromanyetik tayf [28]

Elektro-optik tayf (Şekil 2.3), elektromanyetik tayfin X ışını ile mikrodalga arasında bulunan bölümüdür. Bu aralık morötesi, görünür ışık ve kızıl ötesi dalgaları kapsamaktadır. Görünür band yaklaşık olarak 0.4-0.7 μm dalga boyu arasında bulunur. Orta noktası 5.4 μm civarındadır ve bu nokta sarı ile yeşil arasındadır. Sınırları yaklaşık olarak bu şekilde olmakla birlikte yayından yayına küçük değişiklikler de göstermektedir. Kızılötesi band 0.7-1000 μm arasında yer alır. Kızılötesi dalgaların alt bantları aşağıda verilmiştir.

- Yakın Kızılötesi (Near Infrared (NIR)-Short Wave Infrared (SWIR)) 0.7-3 μm
- Orta Kızılötesi (Medium Infrared-MIR - Medium Wave Infrared-MWIR) 3-6 μm
- Uzak Kızılötesi Far Infrared-FIR veya Long Wave Infrared-LWIR 6-15 μm
- Çok Uzun Dalga Kızılötesi(Extra Long Wave Infrared) 15-1000 μm

Atmosferde bulunan belirli gazların ve su buharının etkisiyle bazı dalga boylarındaki ışımlar sönümlenir. Atmosfer belirli dalga boyları için şeffaf bir cisim gibi davranırken bazılarında opak bir madde gibi davranır. 0.4-2 µm arası normal kameralar ile algılanır ve yükseltilir. Bu sistemlere genellikle **gece görüş** cihazı denir. Gece görüş sistemleri düşük seviyedeki görünür ışığı ve kızılötesi ışığı olarak yükseltir. 3-14 µm dalga boyunda görüntüleme yapan sistemlere ise **IR kamera** denir.

2.3 Kızılötesi Radyant-Parlaklık (L)

Birim açıdan birim zamanda yayılan elektromanyetik dalganın yüzey alanına oranıdır. Yüzeyle dik olarak bakıldığında yani yüzeyin normalinde maksimum değere sahiptir ve bu değer açının kosinüsü ile orantılı olarak azalır. Lambert kosinüs yasasına göre, ideal dağınık bir şekilde yüzeyden yansıtılan veya ideal dağınık bir ışımadan gözlemlenen radyant yoğunluğu/parlaklığı, gözlemcinin görüş yeri ve kaynak arasında kalan açı ile orantılıdır. Bu yasa 'kosinüs emisyon yasası' ya da 'Lambertian emisyon yasası' olarak da bilinmektedir. Bu durum eşitlik (2.1)'de açıklanmıştır.

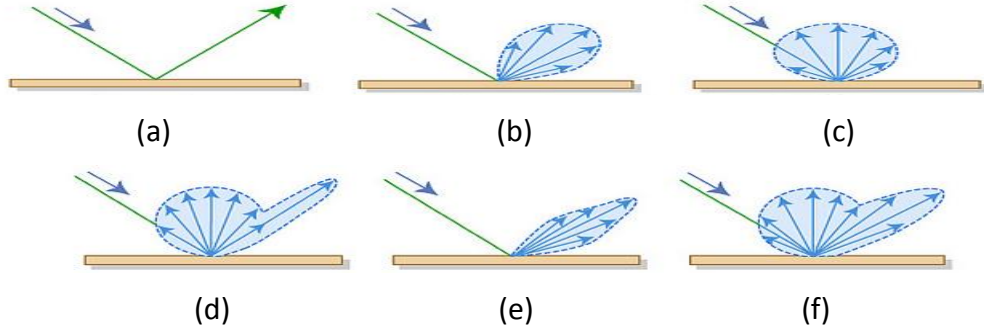
$$I_{\theta} = I_{(0)} \cos(\theta) \quad (2.1)$$

Eğer tüm θ açılarındaki parlaklık değeri ölçülürse, bu değerler birbirine eşit olacaktır. Bu tarz yüzeyler Lambertian kuralı ile elde edilir. Çünkü yoğunluk değeri (L) görülen yüzey alanının (A) da kosinüsü ile orantılıdır. Olay eşitlik (2.2)'de açıklanmıştır.

$$L = \frac{I_0 \cos \theta}{A \cos \theta} = \frac{I_0}{A} = \text{sabit} \quad (2.2)$$

2.4 Lambertian Yüzeyi

Bir elektromanyetik dalga bir yüzeyde tek yönde yansiyorsa, aynada olduğu gibi, bu yüzeylere parlak yüzey denir. Bu durum Şekil 2.4.a'da olduğu gibidir. Elektromanyetik dalga yüzeye çarptıktan sonra her yöne eşit olarak saçılırsa bu yüzeylere mat denir ve bu durum Şekil 2.4.c'de gösterildiği gibidir. Gerçekte yüzeyler bu iki durumun arasında Şekil 2.4 (b) ve Şekil 2.4 (f)'de olduğu gibidir.



Şekil 2.4 Yüzey yansımaları

Şekil 2.4 (c)'de görüldüğü üzere saçılma yaklaşık olarak ana yansıma yönünün kosinüsü ile orantılı olarak değişmektedir. Bu durum Lambertian'ın kosinüs kuralı ile örtüşmektedir. Bu tip yüzeylere Lambertian yüzeyleri denilmektedir ve birçok cismin yüzey yansıtması yaklaşık olarak bu şekildedir. Lambertian yüzey yaklaşımını doğadaki birçok cisim ve insan yapımı şeyleri de kapsar örnek olarak çoğu parlak olmayan yüzeyler, insan derisi, elbiseler, boyalı yüzeyler, taş, odun yüzeyi gibi. Dikkat edilmesi gereken en önemli nokta bunun dalga boyuna göre değişiklik göstereceğidir. Yüzey eğimli dahi olsa veya açısı değişse de cisimden alınacak enerji açısal olarak sabit olacaktır. Açıyla birlikte yoğunluk azalır, bu durum gözlemlenen alanın açısal değişimle telafi edilir. Bu şekilde gözlemciye gelen enerji sabit kalacaktır. Bu durum eşitlik (2.3) ile açıklanmaktadır. Diğer bir deyişle mükemmel bir Lambertian yüzeyinden alınan enerji açıdan bağımsızdır ve yalnızca radyant varlığı (M) ile orantılıdır.

$$L = \frac{M}{\pi} \quad (2.3)$$

Bu özellikler görünür ve kızılötesi tayfı kapsamaktadır. Yansıma düzgün bir yarım küreyi kapsayacak şekilde olursa aşağıdaki bağıntılar kurulabilir;

$$M = \pi L = \frac{\pi I}{A} \quad I = \frac{MA}{\pi} = LA \quad L = \frac{M}{\pi} = \frac{I}{A} \quad (2.4)$$

2.5 Kızılötesi Akının Toplanması

Hedeften yayılan toplam enerji optik sistemler için önemli değildir, çünkü optik sistemlere kaynaktan yayılan enerjinin sınırlı bir kısmı ulaşır. Elektromanyetik akının

toplanması yalnızca sensörün hedefi gördüğü açısal büyüklüğe bağlıdır. Basit bir örnek ile hesaplanırsa;

Hedef objektiften 3m uzaklıkta, radyant yoğunluğu 3 w/sr ve objektif açıklığı 1 mm ise, objektiften içeri giren akı miktarı;

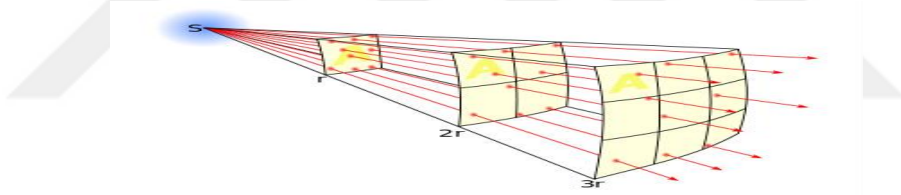
$$\Omega = \frac{A}{r^2} = \frac{\pi(10^{-3}m)^2}{(3m)^2} = 35 \times 10^{-4} sr \text{ (Objektif açıklığının gördüğü kaynak açısı)}$$

$$\Phi = I \times \Omega = (3w/sr) \times (3.5 \times 10^{-4} sr) = 1.05 \times 10^{-3} w \text{ (Objektife giren akı)}$$

Kaynağın gücü $4\pi \times 3 = 12\pi w$ 'tir. Objektiften alınan enerji miktarı ise $1.05 \times 10^{-3} w$ 'tir. Üretilen enerjinin, kamera objektifinden alınan enerjiye oranı 35 000 kat civarındadır.

2.6 Ters Kare Kanunu

Ters kare kanunu, belirli bir elektromanyetik enerji yoğunluğunun (E), kaynaktan olan uzaklığın (r) karesiyle ters orantılı olarak değiştiğini belirten fiziksel kanundur.



Şekil 2.5 Akı yoğunluğunun uzaklığın karesiyle orantılı olarak azalması

Şekil 2.5'de görüldüğü gibi akı yoğunluğu kaynaktan uzaklaştıkça, uzaklığın karesiyle orantılı olarak azalıyor.

$$E = \frac{\Phi}{A} = \frac{4\pi I}{4\pi r^2} = \frac{I}{r^2} \quad (2.5)$$

2.7 Kızılötesi Kaynak, Hedef ve Arka Plan

Evrendeki tüm cisimler sıcaklıklarına ve malzeme yapılarına bağlı olarak EM ışıma yapmaktadırlar. Askeri sistemler bu yayımları algılayarak hedef takibi yapmayı amaçlamaktadır.

— Turbo jet (Uçak ve bazı gemi sınıflarında kullanılır), tank motoru, insan, gemi egzozu vb. özelliklerine göre farklı dalga boylarında farklı enerjilerde yayım yaparlar. Bu yayım özellikleri kullanılarak hedef arka plandan ayrılarak tespit edilebilir.

— Hedef, lazer veya kızıl ötesi cihazlar ile aydınlatılarak tespit edilebilir.

— İnsan yapımı fener, şehir ışıkları, taşıtlar, silahlar kullandıkları suni aydınlatmalarından tespit edilebilir.

— Doğal kaynaklar olan güneş, ay ve yıldızların ışınmaları hedeften yansır. Arka plan ile hedef arasında maddenin yansıtıcılığına bağlı olarak kontrast oluşur. Bu kontrast kullanılarak hedef tespit edilebilir.

IR görüntüleme hedef ile arka plan arasındaki sıcaklık farkı (ΔT) kontrasta sebep olur. Bu olay ilk bakışta bölgenin sıcaklık haritasını çıkarmak gibi gelse de tam olarak öyle değildir. Genel anlamda cisimden yayılan kızılötesi gücü gösterir. Hedeften iki tip yayım alınabilir; biri hedefin kendi ürettiği, diğeri farklı bir kaynaktan oluşmuş fakat cismin üzerinden yansıyan radyasyondur. Termal kameralar cisimden yayılan bu gücü sensörleri aracılığı ile toplar. Kızılötesi sensörler genel olarak 3–5 μm ve 8–12 μm arasındaki dalga boylarını algılayacak şekilde tasarlanır.



Şekil 2.6 Tankın kızılötesi görüntüsü [29]

Şekil 2.6'da görüldüğü üzere tankın paletlerinde sürtünmeden oluşan sıcaklıktan ötürü yüksek IR ışınım mevcuttur. Diğer bölgelerinde elde edilen görüntü ise yansımadır. Ayrıca tankın motorunun bulunduğu ön kısmı da açıkça belli olmaktadır. Yüksek süratli araçlarda hava sürtünmesine tabi olan bölümler de kolaylıkla görülebilmektedir.

2.8 Kızılötesi Işıma

Madde ısındığı zaman neden ve nasıl ışık yaymaktadır? Örnek olarak neden elektrikli ocak ısındığında kırmızı ışık yaymaktadır? Akkor bir lamba neden beyaza yakın ışık yaymaktadır? Bu soruların cevabı siyah cisim ışımasıdır. Mutlak sıfır derecenin üzerindeki tüm maddeler sıcaklığına bağlı olarak ışıma yapmaktadır. Maddeler ısıtıldığında maddeyi oluşturan atom ve moleküller titretilmektedir. Titreşimle oluşan çarpışmalar reaksiyonlara sebebiyet vermektedir. Bu olaylar maddede çok küçük boyutlu EM dalgaların oluşmasına sebep olmaktadır. Bazı maddelerde yüksek sıcaklıkta bu olay görülebilir ışık bandında gerçekleşmektedir.

Işık bir EM dalgadır, elektrik ve manyetik bileşenleri vardır. Radarlarda olduğu gibi elektrik alan vektörünün yönü polarizasyonu verir ve optik sensörler ile fotoğraf filmlerini aktive etmektedir. Işık kaynaktan kuantum veya foton olarak adlandırılan küçük parçacıklar olarak yayılmaktadır. Kuantum teorisi Max Planck tarafından 1900 yılında ortaya atılmıştır. Bu teori EM dalgaları farklı olarak ifade etmektedir. Teoriye göre EM dalgalar kuantize olmuşlardır yani fotonlar aracılığı ile enerji de taşımaktadır. Bu enerji frekanslarıyla orantılı ve $h\nu$ kadardır. h Plank sabitidir ve değeri 6.63×10^{-34} j.s'dir. ν frekans değeridir. Elektron yüksek enerji seviyeli yörüngesinden düşük enerji seviyeli yörüneye geçtiği zaman EM dalga oluşturmaktadır. Oluşacak EM dalganın frekansı Planck eşitliğine göre hesaplanmaktadır. EO dalgalar RF dalgalardan farklıdır. Işıması ve algılanmasının açıklaması kuantum teorisi ile yapılmaktadır.

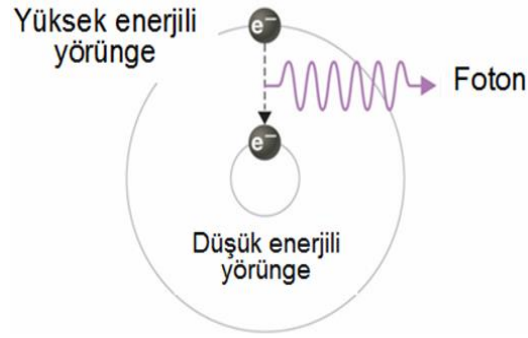
$$E = h\nu \quad (2.6)$$

E : enerji (j)

h : Plank sabiti (6.63×10^{-34} j.s)

ν : frekans (1/s)

Işık kendine özgü dalga boyuna sahip bir enerjidir.



Şekil 2.7 Kızılötesi ışıma

RF ile EO dalgalar enerji olarak da birbirinden çok farklıdır. UHF bandında, 10^6 Hz frekansındaki RF dalganın enerjisi;

$$E_{RF} = h\nu = 6.63 \times 10^{-34} (w.s^2) \cdot 10^6 (Hz) = 6.63 \times 10^{-28} (w.s) = 4.14 \times 10^{-9} eV$$

10^{13} Hz frekans değerine sahip IR bandındaki EM dalganın enerjisi ise;

$$E_{IR} = h\nu = 6.63 \times 10^{-34} (w.s^2) \cdot 10^{13} (Hz) = 6.63 \times 10^{-21} (w.s) = 0.041 eV$$

İki dalga arasındaki enerji farkı çok büyüktür. Aradaki bu enerji farkı IR dalgaların EO detektörler tarafından algılanmasını kolaylaştırmaktadır.

Genel olarak 2 farklı kaynak mevcuttur. Bunlar termal ve seçer ışıma yapan kaynaklardır. **Termal ışıma** EM tayfta devamlıdır ve belirli bir dalga boyunda maksimum yayım yapar. Sıcak bir metal, aerodinamik etkiler ile ısınan yüzeyler, dünya yüzeyi, insan, geminin gövdesi bunlara örnektir. **Seçer ışıma** yapan kaynaklar EM tayfın sınırlı bir bölümünde ışıma yapmaktadır. Bazı moleküller ve atomlar tarafından oluşturulmaktadır. Bu olaya özgü en iyi örnek lazer ışıklarıdır. Tek dalga boyunda kuvvetli bir ışıma yapmaktadırlar.

Gustav Kirchhoff ışınım, soğurma ve yayma özellikleri ideale yakın olan cisimleri karacisim olarak adlandırmıştır. Karacisimler soğurduğu enerji miktarı kadar enerjiyi ışıma yolu ile yaymaktadır. Kaybolan enerji düzeyi çok düşüktür. Diğer bir deyişle mükemmel emici, mükemmel yayıcıdır. EM tayfta yaydıkları enerji yalnızca sıcaklığına bağlıdır. Maddenin içeriği etkisizdir. Mükemmel bir siyah cisim yoktur, çünkü maddeler emdiği enerjinin tamamını EM dalga olarak yayamamaktadır. Yaklaşık olarak karacisim gibi davranan malzemeler mevcuttur.

Karacisimin belirli bir sıcaklık belirli bir dalda boyunda yaptığı ışımının varlığı Plank'ın ortaya koyduğu eşitlik (2.8) ile hesaplanmaktadır.

$$M(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{[e^{hc/\lambda kT} - 1]} \quad (2.8)$$

$M(\lambda, T)$: Belirli sıcaklık ve dalga boyudaki ışıma varlığı

T : Kelvin cinsinden sıcaklık

λ : Mikrometre (μm) cinsinden dalga boyu

h : Plank sabiti ($6.63 \times 10^{-34} \text{ w/sec}^2$)

c : Işık hızı ($3 \times 10^8 \text{ m/sec}$)

k : Boltzmann sabiti ($1.38 \times 10^{-23} \text{ w.sec/K}$)

Işıma varlığı sıcaklık ve dalga boyuna bağlı olarak değişmektedir. Toplam ışıma miktarı sıcaklığın azalması ile birlikte azalmakta ve bir eğri şeklinde sağa kaymaktadır. Bu durum Şekil 2.9'da açık bir şekilde gözükmektedir.

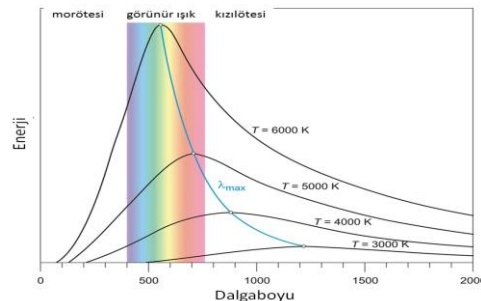
Plank kanunda kullanılan eşitliğin tüm tayf boyunca entegrali alınarak toplam ışıma gücü hesaplanılmaktadır. Stefan Boltzmann tüm dalgaların toplam enerjisinin sıcaklığın dördüncü kuvvetiyle orantılı olarak değiştiğini keşfetmiştir. Bu bağıntıyı Stefan Boltzman eşitlik (2.8) ile ortaya koymuştur.

$$M = \sigma T^4 \quad (2.9)$$

M : Işıma varlığı (w/cm^2)

σ : Stefan-Boltzmann sabiti ($5.67 \times 10^{-12} \text{ w/cm}^2 \text{K}^4$)

T : Siyahcisim sıcaklığı (K)



Şekil 2.8 Stefan Boltzmann yasası - karacisim ışıması

Eşitlik (2.9) mutlak sıfır derecenin üzerindeki her maddenin ışıma yapacağını göstermektedir. Görüntüdeki kontrast sıcaklığın dördüncü kuvvetiyle oluşan ışıma

farkıdır. Kontrastı oluşturan enerji farkını Stefan-Boltzmann kanun ile birleştirdiğimizde eşitlik (2.10) oluşmaktadır.

$$M = \sigma(T^4 - T_e^4) \quad (2.10)$$

M : Işıma varlığı (w/cm^2)

σ : Stefan-Boltzmann sabiti ($5.67 \times 10^{-12} w/cm^2K^4$)

T : Hedefin sıcaklığı (K)

T_e : Çevrenin sıcaklığı (K)

Denklem bize hedef ile arka plan arasındaki enerji farkını göstermektedir.

2.9 Kızılötesi Hedef Yüzeyinde Soğurma, Yansıtıcılık ve Geçirgenlik

Hedefin arka plandan nasıl ayrıştırılacağını anlayabilmek için hedef yüzeyinde gerçekleşen dört farklı fotonik olay anlaşılmalıdır. Bu olaylar soğurma (α), yansıtıcılık (ρ), geçirgenlik (τ) ve yayımlayıcılık (ϵ)'dir. Bu özelliklerin ilk üçü dış kaynaktan gelen enerjiye karşı maddenin tepkisidir. Sonuncusu ise maddenin kendi enerjisi ile ışına yapmasını işlemektedir. İlk üç konu bu bölümde tartışılmaktadır. Bu üç olaya maddenin verdiği tepki maddenin cinsine ve EM dalganın dalga boyuna bağlıdır. Eşitlik (2.11) bu olayı belirtmektedir.

$$\alpha(\lambda) + \rho(\lambda) + \tau(\lambda) = 1 \quad (2.11)$$

Maddelerin birçoğu kızılötesi dalga boyu için geçirgen değildir. Çinko selenür ve germanyum kızılötesi dalgalar için geçirgendir. Görünür ışıkları geçiren saydam maddelerin birçoğu kızılötesi için geçirgen değildir. Eğer madde kızılötesi dalga için opak ise $\tau(\lambda)=0$ olacaktır. Bu durum eşitlik (2.12)'da ki gibi tanımlanacaktır.

$$\alpha(\lambda) + \rho(\lambda) = 1 \quad (2.12)$$

2.10 Emisyon

Stefan-Boltzmann yasası karacisim ışınmasını tanımlamaktadır. Karacisim üzerine aldığı enerjiyi kayıpsız olarak ışına yoluyla yaymaktadır. Birçok kaynak karacisim gibi mükemmel özelliklere sahip değildir. Işımada, maddeye özgü olarak değişen oranlarda kayıplar yaşanmaktadır. Bu tarz maddeler gri cisim olarak tanımlanır. Cismin emisyonu

(ϵ); aynı şartlar altında kara cisimden yayınlanan toplam enerji ile gri cisimden yayımlanan toplam enerjisi arasındaki oranla tanımlanır.

$$\epsilon = \frac{M_{kaynak}}{M_{karacisim}} \quad (2.13)$$

$\epsilon=1$ ideal karacisimi ifade eder. Emisyon (ϵ) 0 ile 1 arasında değer alır. Işıma maddenin yüzeyinde gerçekleşen bir olaydır. Metal dışındaki materyaller için emisyon oranı yüksektir. Metallerde bu oran diğer maddelere oranla düşüktür. Üzerine düşen radyasyon maddede herhangi bir ısınmaya neden olmadığında soğurma, yansıtıcılık ve emisyon aşağıdaki eşitliklerde belirtildiği gibi olur.

$$\alpha(\lambda) = \epsilon(\lambda) \quad (2.14)$$

$$\epsilon(\lambda) + \rho(\lambda) = 1 \quad (2.15)$$

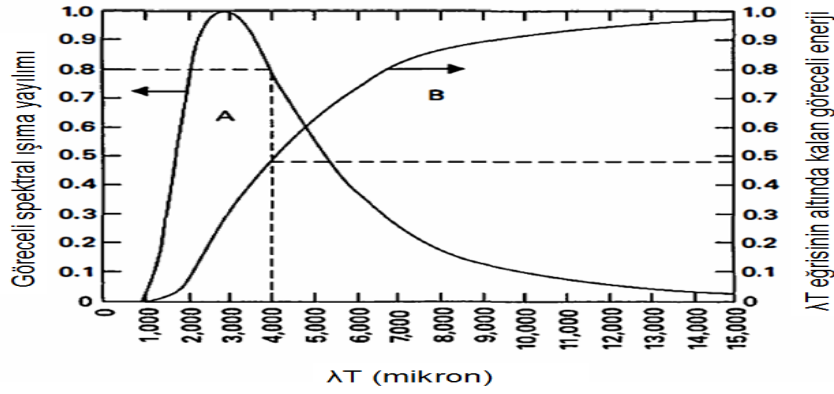
Eşitliklerden çıkarılacağı üzere yüksek emisyon katsayısına sahip kızıl ötesi hedefler aynı dalga boyunda düşük yansıtıcılığa sahiptir. Kızılötesi bandında, hedef ve arka plan temel olarak karacisim ışıması yaptığını varsayılır. Mutlak sıfır derecenin üzerindeki tüm cisimler EM ışıma yapar. Mutlak sıfır üzerindeki sıcaklıklar maddenin molekül/atomlarının titreşmesine sebep olur. Atomun içindeki elektrik yüklü parçacıklarda eşleşmelere ve hareketlere neden olur. Bu olay madde içerisinde EM dalgaların olmasına sebep olur. Vakumlanmış tüp içerisine konulan bir madde dış radyasyondan korunursa, karacisim ışıması yaparak mutlak sıfır dereceye kadar soğur ve hiç bir ışıma yapamayacak duruma gelir. Cismin emisyonu; kütlesine, kütlesinin sahip olduğu sıcaklığa, yüzeyindeki maddenin özelliğine ve yüzey yapısına bağlıdır. Sıcak maddeler daha çok ışıma yapar. Yüzeyi pürüzlü veya mat cisimler parlak cisimlerden daha çok kızılötesi ışıma yapar. Metal ve diğer opak maddelerde EM emisyon yalnızca birkaç mikronluk dış yüzeyinden yayılır. Metaller genellikle atmosfer şartlarından korunmak amacıyla dış yüzey kaplamasına sahiptir. Kaplamalar sebebiyle kaplama maddeleri metallerin EM emisyonlarını belirler. Kızılötesi görüntüde metalleri tanımlamak güçtür. Gri cisme uygun olarak Stefan-Boltzmann yeniden yorumlanmış biçimi eşitlik (2.16)'de sunulmuştur.

$$M = \epsilon\sigma(T^4 - T^4) \quad (2.16)$$

Wien yer değiştirme yasaya göre, eğrinin tepe noktasındaki dalga boyu, mutlak sıcaklık derecesi ile ters orantılıdır. Yani sıcaklık yükseldikçe tepe noktası daha küçük dalga boylarına doğru kayar. Wien yer değiştirme yasasının matematiksel açıklaması eşitlik (2.17) ile verilmiştir.

$$\lambda_{\max} = \frac{2,898 \mu m - K}{T_{\text{Kelvin}}} \quad (2.17)$$

Stefan-Boltzmann ve Wien yer değişimi yasasını kara cisme ($\epsilon=1$) uyguladığımızda elde edilen sonuç Şekil 2.8'de sergilenmiştir. Sıcaklık eğrisinin altında kalan alan toplam ışıma miktarını göstermektedir. İkinisi sıcaklık arttıka ışıma enerjisi artar maksimum ışıma yapılan dalga boyu küçülür. Sonuncu olarak da bu çizgiler birbirlerini hiç bir zaman kesmez.

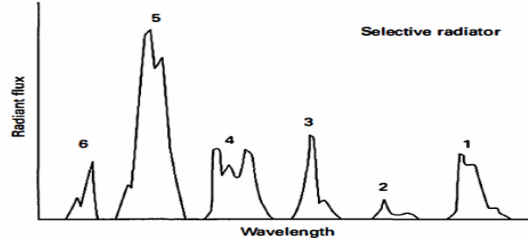


Şekil 2.9 Spektral ışıma [30]

Şekil 2.9'da λT siyah cisim ışıması A eğrisi ile, bu eğrinin altında kalan bölgenin entegrali ise B eğrisi ile gösterilmiştir. A eğrisi $\lambda T=2,898$ değerinde maksimum değerine almaktadır. Bu değer Wien yer değiştirme yasasındaki sabittir ve o değer buradan gelmektedir. B eğrisi cisimden yayılan enerjinin hangi bölgede yer aldığını gösterir ve sensör band genişliği tasarımı B eğrisi kullanılarak yapılmaktadır. Band genişliği hedeften alabiledeğimiz enerji miktarında belirleyici olacaktır. Enerji miktarı ise hedef tespit menzilimizi etkilemektedir.

Katı cisimler yoğun yapılarından dolayı titreşimleri ile yakınlarındaki atomları etkilemektedir. Gazlarda olay daha farklıdır. Yapıları seyrek ve basınçları düşük olduğundan birbirlerini nadiren etkilemektedir. Bu sebepten ışıma molekülün/elementin karakteristik özelliklerine göre gerçekleşir. Günlük hayatımızda

sıkça kullandığımız neon ve civa buharından oluşan aydınlatmalar bu olayın iyi bir örneğidir. Elementlerine özgü dar bantlı aydınlatma gerçekleştirmektedirler. Şekil 2.10' da 6 farklı elementin ışım bantlarının aralıkları ve yoğunlukları verilmiştir.



Şekil 2.10 Seçici ışımalar [30]

Atomlar dışarıdan bir enerjiye maruz bırakıldıklarında elektronları yüksek enerji düzeylerine çıkar, tekrar eski konumlarına geçerken EM ışım yapar. Plank yasası bu enerji seviyeleri arasındaki farkı atomun korunumlu olarak nasıl EM dalgaya dönüştüğünü anlatır.

$$h\nu = E_1 - E_2 \quad (2.18)$$

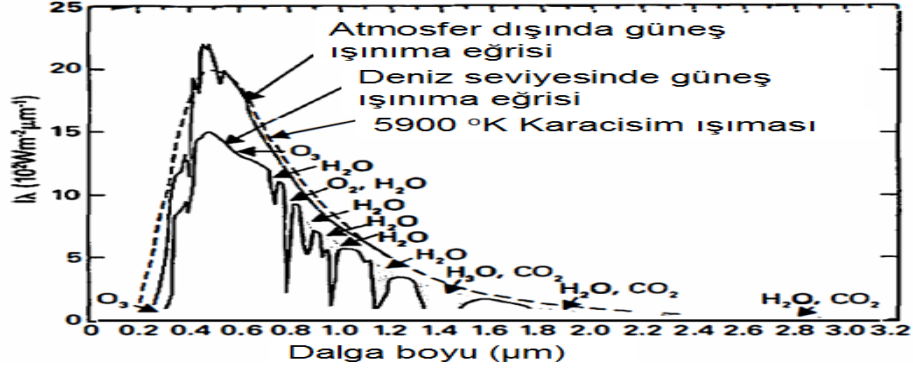
E : Her bir fotondaki enerji miktarı (w)

h : Plank sabiti, $6,63 \times 10^{-34}$ (w/sec²)

v : yayılan EM dalganın frekansı

2.11 Doğal Kızılötesi Aydınlatma Kaynakları

Güneş Aydınlatması: Güneş en güçlü aydınlatma kaynağıdır. Güneş yaklaşık olarak 5900°K 'lık karacisim olarak davranır. Atmosferin içinde bulunan gazların bazıları belirli dalga boylarını sönmüler bu sebeple güneş ışınları seçici ışım olarak yeryüzüne ulaşır. Güneşin maksimum çıkış yaptığı dalga boyu 0.5 µm'dir. Bu dalga boyu ilginçtir ki insan gözünün algılama bandının tam ortasıdır ve bu band atmosferin mükemmel yakın geçirgen olduğu bölümdür. Atmosferin mükemmel geçirgen olduğu diğer band aralığı da 0.7-3 µm'dir. Diğer durumlar Şekil 2.11'da olduğu gibidir.



Şekil 2.11 Güneşin spektral dağılım eğrileri [30]

Ayın Aydınlatması: Ay güneş ışığının yalnızca %7'lik bölümünü yansıtmaktadır. Az ışığı alarak yükselten sistemler için gece şartlarında ana aydınlatma kaynağıdır. Bu ışığın miktarı 4 farklı faktöre istinaden değişmektedir. Ay çevrimi, ayın açısı, ay yüzeyinin yansıtıcılığı, ay ile dünya arasındaki mesafedir.

Ay 29.5 günlük bir çevrimi boyunca hilal, yarım ay, dolunay şeklini alır. Her bir durum farklı aydınlatma sağlar. Ayın açısı ikinci önemli faktördür. İlk doğuş ve batış zamanlarında aydınlatma oranı düşük, tam tepede olduğunda en yüksek seviyededir. Ay çevrimin ilk çeyrek ve üçüncü çeyreğinde yüzey alanına oranla %20 daha parlaktır. Bunun sebebi yansıtıcılığı fazla olan yüzeyini görmemizdir. Sonucu olarak ay, güneş etrafında eliptik bir yörüngede hareket eder, bu durumun sonucunda %26 mesafe değişimi yaşanabilir.

Gökyüzü Aydınlatmaları: Ayın bulunmadığı durumlarda gökyüzü yakın kızılötesi dalga boylarında bir aydınlatma sağlar. Bunun temel kaynağı atmosferin üst kısımlarındaki hava akımlarının oluşturduğu sürtünmedir. Aysız bir gecede aydınlatmanın %40'lık bölümünü bu olay ile oluşur. İkinci büyük kaynak ise yıldızların aydınlatmasıdır. 0.00022 lux aydınlatma sağlar. Ortalama ayın aydınlatmasının 1/10'u kadardır. Diğer aydınlatma kaynakları auroralar, karşı gün aydınlatması, gece bulutlarıdır (bazı bulutlar gece farklı renklerde ışık yayarlar, sebebi çözülememiştir).

Yapay Aydınlatmalar: İşaret fişekleri, fenerler, şehir aydınlatmaları, silah sistemlerinin kendi aydınlatmaları vb. doğal olmayan aydınlatmalar bu kapsama girer.

Yeryüzünün Yansıtıcılığı: Yeryüzünün yansıtıcılığı tüm görüntüyü değiştirir. Örnek olarak karlı bir zeminin yansıtıcılığı yüksektir, Karın yansıtıcılığı ile hedef ve ortam daha

yüksek oranda aydınlatılmaktadır. Çok düşük aydınlatma ile ortam daha aydınlık olmaktadır. Yansıcılığı düşük bir hedef, yansıtıcılığı yüksek bir yüzeyde yüksek kontrast ile seçilir. Yüzeyle kamufle olmuş hedefler yüzey değişimiyle daha net şekilde algılanabilir. Yüzeyler arası kontrastlar verilmiştir.

2.12 Elektro Optik Zayıflama

Bir şehre uzak bir mesafeden baktığımızda nem, sıcaklık, yağmur, sis ve kirlilik oranına göre farklı günlerde birbirinden farklı görülür. Bu olaylar atmosferin görünür ışığa verdiği tepkiden kaynaklanır. Benzer şekilde hava olayları kızılötesi görüntüyü de etkiler, kayıplara veya saçıntılara sebebiyet verir. Kızılötesi hedef; cismin yüzeyine, radyant yoğunluğuna ve arka plan ile oluşturduğu kontrasta bağlı olarak algılanmaktadır. Algılamayı etkileyen diğer önemli etmen ilerleme yolundaki kayıplardır. Atmosferdeki gazlar EM dalganın boyuna bağlı olarak kayıplara sebep olur. Kızılötesi dalgalar atmosferde yayılma, sönümlenme, saçılma ve türbülans kayıplarına uğrar.

2.12.1 Açılma ve Yayılma

Noktasal kaynaktan ışık küresel olarak açılarak yayılır. Yayılan ışığın gücü ters kare yasasına göre mesafe arttıkça azalır. Bu durum eşitlik (2.19) ile açıklanmaktadır.

$$E = \frac{\phi}{A} = \frac{I\Omega}{A} = \frac{Ix \frac{A}{r^2}}{A} = \frac{I}{r^2} = \frac{\phi}{4\pi r^2} \quad (2.19)$$

Lazerde bu olay farklıdır. Lazer ışığı ilerlerken açılma yapmaz. Bir noktaya yoğun ışık enerjisi iletmemizi sağlar.

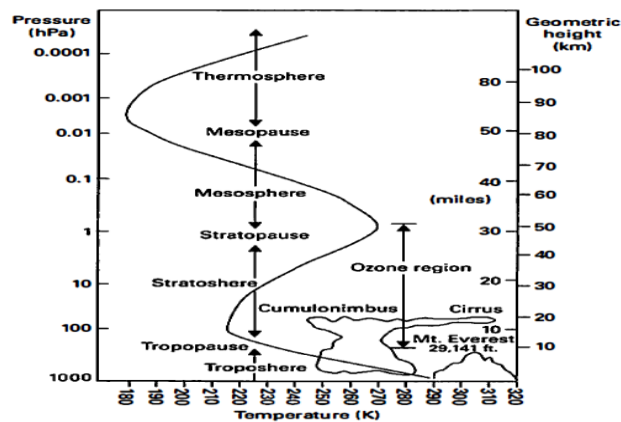
2.12.2 Atmosferin Yapısının Kızılötesi Dalgaları Zayıflatması

Atmosfer içerdiği gazlar ile yerküreyi sarar ve bir kaç yüz metre yüksekliğe kadar uzanır. 112 farklı element ile birçok madde bulunur. İçeriği yüksekliğe ve mevkiye göre değişiklik gösterir. Bunun sebebi sıcaklık ve basınç değişimleridir. Normal bir günde atmosfer sıcaklığı sürekli olarak değişmektedir. Sabah soğuk hava yavaşça ısınır,

akşama doğru tekrar soğur. Tecrübeler atmosfer olaylarının tahmininin çok güç olduğunu göstermiştir. Sıcaklık değişimleri, fırtınalar, kuvvetli yağışlar vb.

Aynı bölgede iki farklı basınç, sıcaklık ve yoğunluk değerine sahip katmanlar olduğunu varsayalım. Her bir katman kendine has geçirgenlik özelliklerine sahip olacaktır. EM dalgaların tüm bilinmeyenlere rağmen tahmini olarak nasıl ilerleyeceği hesaplanabilir. Atmosferin yapısında birçok farklı element ve madde bulunmasına rağmen ana içeriği nitrojen ve oksijendir. Bu iki element havanın % 98'ini oluşturur. Su buharı, karbon dioksit, karbon monoksit, ozon kızılotesi enerjiyi sönümleyen bileşenlerdir. Su buharı hava karışımındaki en değişken bileşendir ve kızılotesi dalgaları sönümleme oranı yüksektir. Karbondioksit oranı su buharı kadar değişken değildir fakat yaşam alanları ve bitki örtüsünün yoğun olduğu yerlerde diğer bölgelere oranla yüksektir. Karbondioksit orta kızılotesi dalgalar için kuvvetli bir sönümleyicidir. Uygulamalarında orta kızılotesi dalgalar, yüksek yoğunluklu su buharının bulunduğu ortamda sensörün algıladığı ana enerji bileşendir.

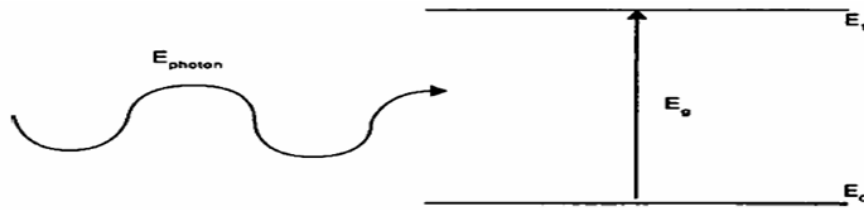
Atmosfer temel olarak 4 farklı katmana ayrılır. Bunlar troposfer, stratosfer, mezosfer, termosferdir. Troposferde her 1 km yükseğe çıktığında sıcaklık 6.5°K azalmaktadır. Troposferin üzerinde stratosfer bulunur. Bu katmanda 50. km'ye kadar sıcaklık neredeyse sabittir. Mezosfer 85. km'ye kadar Troposfer gibi davranır, yükseklikle orantılı olarak sıcaklığı azalır. Termosferde durum çok farklıdır. Sıcaklık ani olarak yükselir ve yükseklikle orantılı olarak artar. Yükseklikle birlikte basınç ve sıcaklık değişim grafiği Şekil 2.12'de verilmektedir.



Şekil 2.12 Yükseklikle birlikte basınç ve sıcaklık değişimi [30]

Basınç yoğunluk ve sıcaklık atmosferin iletkenliğini etkileyen üç ana faktördür. Atmosferde EM dalgayı etkileyen birçok faktör bulunmaktadır fakat bu üç değişkeni kullanarak küçük bir hata oranıyla yaklaşık bir değer hesaplayabiliriz.

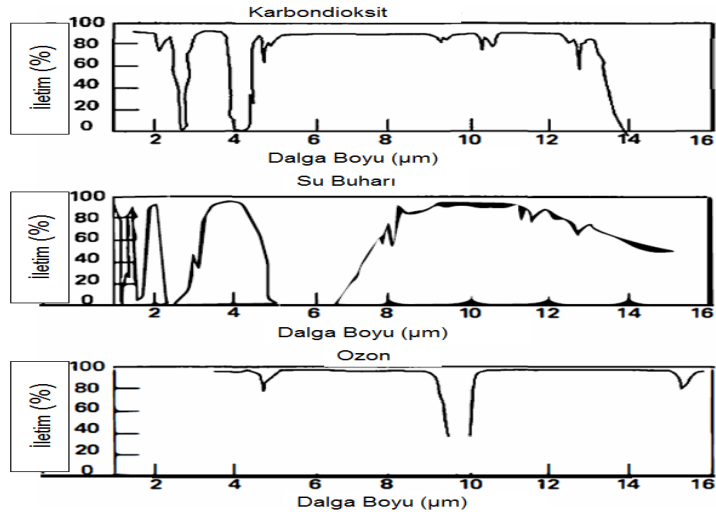
Sönümlenme: Fotonun gaz molekülü veya atom ile çarpışması sonucunda, enerjisini moleküle veya atoma aktarmasıdır. Bu enerji dönüşümü gazlarda ısı değişimine yol açar. Sönümlenme olayını tam olarak anlamak için atmosferin kuantum özelliklerini anlamamız gerekmektedir.



Şekil 2.13 Sönümlenme [30]

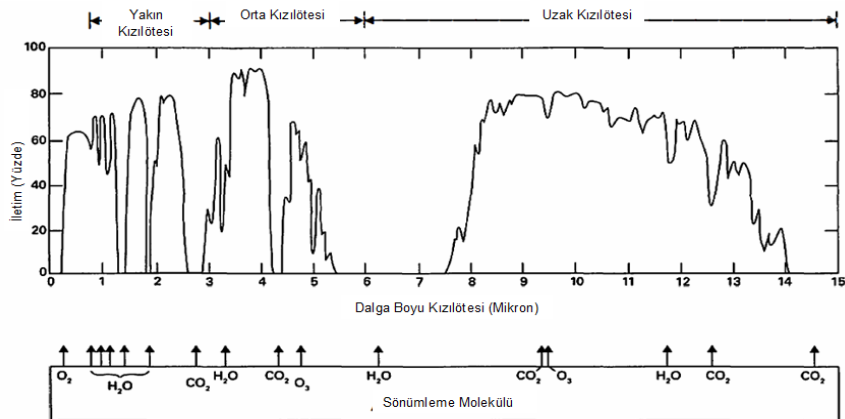
Şekil 2.13'te atomun iki farklı enerji düzeyi gösterilmiştir. Bu enerji düzeyleri arasındaki fark E_g 'dir. Fotondan atoma aktarılan enerji E_g 'den yüksekse atom E_0 enerji seviyesinden E_1 enerji seviyesine yükselir. Fotonun enerjisi Planck eşitliği ($E=hf$) ile hesaplanır. Moleküler enerji düzeyleri görüldüğü gibi basamaklıdır ve elektronlarının döndükleri ve titreşim hareketlerini gerçekleştirdikleri yörüngelerdir. Eğer fotonun dalga boyu yeterli enerji vermiyorsa, $E_{foton} < E_g$ ise o dalga boyundaki foton molekülle etkileşime girmez. Buda yalnızca belirli enerji düzeyinin üzerindeki fotonların sönümlenebileceğini gösterir. Ayrıca fotonun vereceği enerjisi E_g 'den yüksek olsa dahi yükselilebileceği enerji seviyesi yok ise etkileşime girmez. Enerjisi yüksek olmasına rağmen kuantum mekaniğine göre görülür ışıklar su buharı hariç havadaki gazlar tarafından sönümlenmez. Su buharı $0.65\mu\text{m} - 0.85\mu\text{m}$ arasındaki dalgaları sönümler. Atmosfer içerisindeki bazı gazlar kızılötesi dalgalara, görünür banttaki dalgalardan çok farklı tepkiler verir ve yüksek oranda sönümler.

Enerjisi, band aralığı büyüklüğüne eşit veya çok az fazla olan fotonlara karşı hassas bir molekülümüzün bulunduğunu varsayalım. Düşük enerjili fotonlar bu molekülden oluşan ortamdan rahatlıkla geçer diğer bir deyişle sönümlenmez.



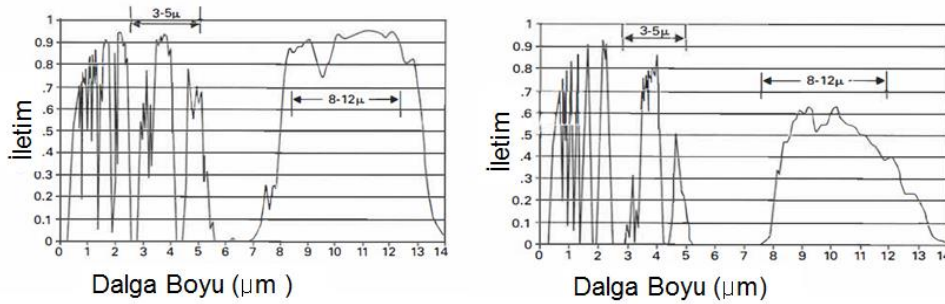
Şekil 2.14 Karbondioksit, su buharı ve ozonun kızılötesi geçirgenliği [30]

Molekülün enerji düzeyleri arasındaki fark 0.18 eV olsun. Plank sabitimiz $6,63 \times 10^{-34} \text{ j/sec}$ veya $4,14 \times 10^{-15} \text{ eV'tur}$. Işık hızı $3 \times 10^8 \text{ m/s'dir}$. $E_g = hv$ eşitliğine koyarsak 0.18 eV enerjiye sahip fotonun frekansı $4,35 \times 10^{13} \text{ Hz}$ bulunur. Bu frekansa sahip EM dalganın boyu $6,9 \text{ µm}$ bulunur. Atmosfer EO ışınları soğurabilecek ozon, azot oksit, karbon monoksit, karbon dioksit, oksijen ve su buharı gibi bileşenlere sahiptir. Karbondioksit, su buharı ve ozonun hangi dalga boyunu yüzde olarak ne kadarının geçirdiğini gösteren grafik Şekil 2.14'da sunulmuştur. Havayı meydana getiren gazların belirli band aralıklarındaki EM dalgaları soğurduğu açıkça görülmektedir. Soğurulan bu dalga boyları gazın ısınmasına sebep olmaktadır. Tüm EO tayf için atmosferdeki gazların toplam geçirgenliği Şekil 2.15'de gösterilmiştir.



Şekil 2.15 Atmosferdeki gazların toplam geçirgenliği [30]

Burada havanın geçirgen olduğu 3 farklı aralık göze çarpmaktadır. İlki 2.9 μm hemen üzerinden başlayıp 4.4 μm 'ye kadar olan bölüm, ikincisi 4.4 μm başlayıp 5.2 μm kadar olan bölüm sonuncusu ise 8 μm 'den başlayıp 14 μm 'ye kadar olan bölümdür. Atmosferde varlığı en çok değişkenlik gösteren gaz su buharıdır ve geçişi etkileyen ana bileşendir. Şekil 2.16'da iki farklı nemlilik oranındaki geçirgenlik gösterilmektedir.



Şekil 2.16 Farklı nemlilik oranlarının geçirgenliğe etkisi [30]

Saçılma: EM dalganın, hava içerisinde bulunan parçacıklara çarparak yönünün değişmesine saçılma denir. Havada bulunan parçacıklar şunlardır; Su damlaları, kar tanecikleri, duman, kum parçacıkları, insan yapımı veya doğal aerosoller. Saçılmada sıcaklık oluşmaz, EM dalganın belli bir bölümünün yönü değiştiği için sensöre ulaşan enerjide azalmaya sebep olur. Sensöre ulaşan enerjideki azalma mesafe ve havada bulunan parçacık miktarıyla ters orantılı olarak değişir. Gözlem mesafesi arttıkça bu kayıp gözlenebilecek kadar atar. Örnek olarak şehirdeki hava kirliliğinin görüşe olan etkisini yakından çok fazla fark edemezken uzak ve yüksek bir yerden rüzgârsız kış gününde şehri izlediğinizde büyük yapıları dahi seçmekte zorlanılabilir. Aerosollar ışımanın ana doğrultusundan sapmasına neden olur, parçacıklar ise boyutlarına ve fotonun dalga boyuna göre yön değişimine neden olur. Şekil 2.17'de bu olaylar gösterilmiştir.



Şekil 2.17 Saçılma çeşitleri [30]

Bu durum havadaki parçacıkların boyutuna göre değişim gösterdiğinden, soğurmadaki gibi belirli bir dalga boyunu etkileme gibi bir durum yoktur. Bu üç tür durum sırasıyla Rayleigh, Mie ve Geometrik saçılma olarak adlandırılır. Dalga boyunun 1/10'dan daha

küçük parçacıkla çarpıştığı durumda her yöne yayılır. Bu **Rayleigh saçılması**dır. Saçılma katsayısı λ^4 'tür. Mavi dalga boyu atmosferde Rayleigh saçılmasına uğrar. Mavi renkli ışık her yöne yayılır. Gökyüzünü mavi görmemizin sebebi de budur. Diğer görünür dalga boyundaki fotonlarda da meydana gelir fakat oranı çok düşüktür. Kızılötesi dalgalarda neredeyse hiç meydana gelmez. Zayıflamanın birinci dereceden yaklaşık hesaplaması eşitlik (2.20) ile verilmiştir.

$$\Phi(x) = \Phi_0 e^{-\gamma_r x} \quad (2.20)$$

$\Phi(x)$: x(w) mesafedeki akı

γ_r : Saçılma katsayısı (m^{-1})

Φ : Kaynak

EM dalga, boyutuna yakın boyuttaki bir parçacıkla çarpıştığında ilerleme yönünde yoğun, diğer yönlerde az miktarda yayılma gerçekleştirir. Bu olay Mie saçılmasıdır. Tam hesabı klasik elektromanyetik teori denklemleri ile elde edilir. Ayrıca parçacığın şekli önemlidir zayıflamanın birinci dereceden yaklaşık hesaplamasında Ragleight denklemi (2.21) kullanılır.

$$\Phi(x) = \Phi_0 e^{-\gamma_m x} \quad (2.21)$$

γ_m : Aerosol katsayısı.

Üçüncü saçılma EM dalga kendi boyutundan çok daha büyük bir parçacıkla çarpışmasıyla oluşur. Genellikle bu boyuttaki parçacık havadaki yağmur damlasıdır. Geometrik optik kurallarına göre saçılırlar.

Çizelge 2.1 Atmosfer şartlarının saçılmaya etkisi [30]

Durum	Saçılma
Yoğun Sis	78.2
Orta Sis	7.82-19.6
Hafif Sis	1.96-3.92
Pus	0.98-1.96
Açık	0.19-0.39
Çok Açık	0.078-0.19

Türbülans: Havanın; yoğunluğunun, içeriğinin, basıncının, sıcaklığının zamanla değişkenlik göstermesi sonucunda oluşur. Sıcaklık ve basınç değişimi sonucunda hava blokları farklı yansıtıcılık oranlarına sahip olur. Bu durum EM dalganın ilerleme yönünü değiştirir. Bu zamana bağlı değişimler görüntüde kırışımalara neden olur. Işık uzak mesafeden alınıyorsa görüntünün türbülansa girme oranı ve olasılığı artar. Yıldızların sürekli kırışımlarının sebebi de bu olaydır. Türbülans kızılötesi dalgaları, görünür ışıktaki gözlemediğimiz etkiye benzer şekilde fakat daha yüksek oranda etkiler. Sıcak ve güneşli havaların türbülansı yükseltir. Uzak mesafede asfalt üzerindeki bir aracı gözlemediğimizi düşünelim. Arabadan gelen ışınlar bize ulaşıncaya kadar asfalt üzerindeki hava kütesini kat etmektedir. Güneş asfalt yakınındaki hava kütesini daha hızlı ısıtır ve yükselmesine sebep olur. Gözlem noktası ve araç arasında zamana bağlı sürekli bir yoğunluk değişimi meydana gelir. Buda aracı bulanık ve küçük hareketler yapıyormuş gibi görülmesine neden olur.

Atmosferik İletimin hesaplanması: Kaynaktan sensöre gelene kadar üç farklı etmen enerjinin azalmasına sebep olur. Bunlar sönümlenme, saçılma ve türbülanstır. Atmosferi oluşturan bileşenler ve parçacıklar sönümlenmeye ve saçılmaya; sıcaklık, basınç ve yoğunluk değişimleri türbülansa sebep olur. Bu üç etmen görüntünün zayıflamasına ve bulanmasına neden olur. Sönümlenme ve saçılma enerjinin azalması başlığı altında toplayabiliriz. Türbülans ise görüntü kalitesinin ve muntazamlığının düşmesine sebep olur. Işımanın azalması birim mesafedeki akının azalması ile hesaplanır.

$$d\Phi = -\beta dx \quad (2.22)$$

Φ : Işıma akısı (w)

β : azalma katsayısı (km^{-1})

x : Mesafe (m)

Eşitlikteki negatif işareti güçteki azalmayı gösterir. Azalma kat sayısının iki bileşenden oluşur;

$$\beta = \alpha + \gamma \quad (2.23)$$

α : Sönümlenme katsayısı

γ : Saçılma katsayısı

Sönümlenme ve saçılma katsayılarının her ikisi de dalga boyuna bağlı olarak değişir. Çünkü radyasyon kaynaktan çıktıktan sonra sürekli atmosferdeki moleküllerle etkileşim halindedir, her bir noktadaki akısı $\Phi+d\Phi$ olarak azalacaktır. Eşitlik (2.23) 'ün homojen bir ortam için sonlu bir mesafedeki entegrali ile Eşitlik (2.24)'ü verir.

$$\Phi = \Phi_0 e^{-\beta R} = \Phi_0 \tau \quad (2.24)$$

$\tau=e^{-\beta R}$ atmosferin R mesafedeki geçirgenliğidir. Bu kural Beer-Lambert yasası olarak bilinir, bazen Beer yasası olarak da kısaltılmaktadır. Daha önce değinildiği gibi azalma katsayısı yüksek oranda dalga boyuna bağlıdır. Bu sebepten Beer yasası genellikle eşitlik (2.25) teki gibidir.

$$\tau(\lambda) = e^{-\beta(\lambda)R} \quad (2.25)$$

τ , saçılma (τ_s) ve sönümlenme (τ_a) 'dan meydana gelir. Denklemin yeniden düzenlenmiş hali eşitlik (2.26)'daki gibidir.

$$\tau_{atm}(\lambda) = \tau_a(\lambda)\tau_s(\lambda) \quad (2.26)$$

KIZILÖTESİ HEDEFLER ve ALGILAYICILAR

Bu bölümde hedeflerin özellikleri ve hedef tespiti maksadıyla kullanılan cihazlar incelenmektedir. Hedef kaynak olarak tanımlanabilir. Kızılötesi kaynaklar iki gruba ayrılır; seçici ve termal. Seçici ışımaya yapan kaynaklar bir veya birkaç dar band aralığında ışımaya yapar. Jet motoru egzozu, roket egzozu ve lazerler bu tip kaynaklara örnektir. Termal kaynaklar ise geniş aralıkta ışımaya yaparlar. Yoğun olarak ışımaya yaptıkları band maddenin sıcaklığı ve Wien yer değişim yasası ile belirlenir.

Belirli aralıktaki ışımaya kendine hedef olarak belirleyen kızılötesi G/M'ler yaygın olarak kullanılır. Genel itibari ile bunlar jet motorunun ve egzoz gazlarının ışımaya güdümlenirler. Bu tarz yüksek ısı ihtiva eden hedefleri uzun menzillerden tanımlayabilirler. Sıcaklık ve onun oluşturduğu parmak izine güdümlenen mermiler, flare gibi basit bir karşı tedbir ile hedeften saptırılıbiliyordu. Günümüzdeki sistemler gelişmiş sensör teknolojileri ve karmaşık sinyal işleme teknikleriyle hedefleri birçok farklı özelliğiyle değerlendirmektedir. Bu da merminin hedeften sapma ihtimalini düşürmektedir.

3.1 Hedef ve Arka Plan

Sensörün amacı hedefi veya kaynağı arka plandan etkin olarak ayırmaktır. Sensörün hedefe verdiği tepki istenilen sinyaldir, arka planın sensörde oluşturduğu sinyal ise gürültü veya saçıntı olarak adlandırılır.

Hedef hem kendisi yayım yapar hem de dış kaynakların oluşturduğu enerjiyi yansıtır. Güvenlik sistemleri için insanlar, belirli yapılar, kara vasıtaları, gemiler, uçaklar ve füzeler hedef olarak tanımlanabilir. Hedeften yayılan EM dalgalar atmosferde genişleme,

saçılma ve sönümlenme sebebi ile sürekli olarak enerji kayıplarına maruz kalırlar. Sonuç olarak kaynaktan gelen enerjinin çok küçük bir kısmı algılayıcı sisteme ulaşır. Algılayıcı sistem bu enerjiyi öncelikle elektrik sinyallerine dönüştürür ve düzgün bir şekilde yorumlanabilmesi için filtrelerden geçirerek gürültü ve saçıntılarını temizler.

Gürültü ve saçıntılar hedefin yakınındaki diğer cisimlerden algılayıcıya ulaşır. Hedefin üzerinde bulunduğu yüzey, arkasında bulunan boşluk, atmosfer, bulutlar vb algılayıcının hedef seçiciliğini azaltır. Hedefin boyutuna ve şekline yakın olan cisimler hedefin belirlenmesindeki en büyük zordur. Ayrıca sensörlerin de kendi iç gürültüleri vardır. Bu gürültüler de hesaba katılmalıdır. Hedefin algılanabilmesi için gürültüden belirli oranda yüksek olması gerekir. Bu orana sinyal/gürültü oranı denir. Bu oranın altında kalan sinyaller gürültü veya saçıntı olarak algılanır ve sergilenmez.

Güvenlik alanındaki uygulamalarda 3-5 μm ve 8-12 μm bantları kullanılır. Bu aralıkların niçin kullanıldığını bir önceki bölümde Wien yer değiştirme yasasını ve atmosferdeki seçici soğurmayı anlatırken belirtmiştik. Örnek bir termal hedef olarak insan yaklaşık 36°C'dedir. Bu sıcaklıkta oluşan termal dalgaların boyutu yaklaşık 10 μm civarındadır. Bu sıcaklıktaki hedefler, uzun kızılötesi dalga bandını algılayan sensörler ile algılanabilir. Roket ve jet motorlarının gazları 100-1000°C' arasındadır. Bu aralıkta yüksek çıkış yapılan dalga boyu yaklaşık 4 μm 'dir. Bu tip hedefler orta band kızılötesi sensörler ile algılanır.



Şekil 3.1 Ticari yolcu uçağı [30]

Şekil 3.1'de ticari bir yolcu uçağı görülmektedir. Kızılötesi görüntülerde açık renkli olan kısımlar sıcak, koyu olan kısımlar soğuk bölümleri gösterir. Uçağın motor kısmında yüksek oranda kızılötesi ışınım mevcuttur. Ayrıca motordaki ışımanın ve sıcak

yeryüzünün ışımasının belli bir kısmı da uçağın alt kısımlarından yansımaktadır. Bu sebeple uçağın alt kısımları da beyaz olarak gözlemlenmektedir. Hareketsiz uçağın alt yüzeyden alınan IR dalgaları, oranın sıcak olmasından değil, farklı kaynaklarda oluşan kızıl ötesi enerjileri yansıtmasından ötürüdür.

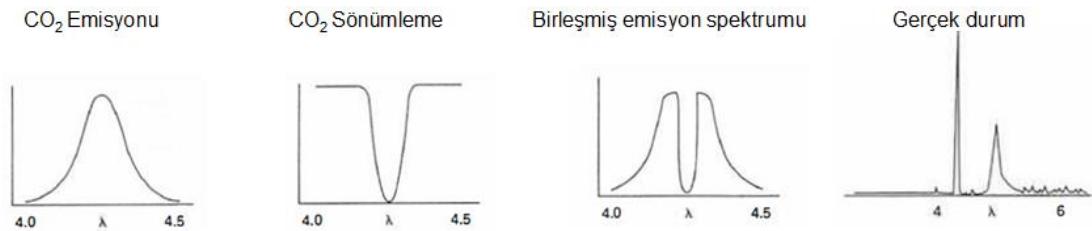
Güneş, 3-5 μm dalga boylarında ışıma yapar. Hedef güneş ışıklarına maruz bırakılınca yansıtma özelliklerine göre seçilebilir. Şekil 3.2'de helikopterin gövdesi tamamıyla arka plandan seçilmektedir. Dönen kısımları hava sürtünmesinden dolayı ısınmakta ve daha çok kızılötesi ışıma yapmaktadır. Diğer kısımları ise genel itibari ile farklı kaynaklardan oluşan ışımaları yansıtılmaktadır.



Şekil 3.2 Askeri helikopter [31]

3.1.1 Egzoz Gazları

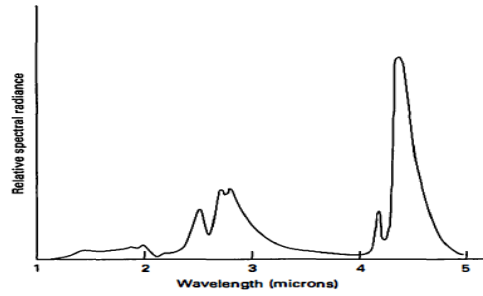
Motorlardan atılan egzoz gazları, yüksek sıcaklıkta karbondioksit ve su buharı içerir. Bu iki molekülün emisyonlarını önceki bölümde ayrıntılı olarak işlemiştik. Bu gazlar seçici ışıma yaparlar. Ayrıca güçlü sönmüleme bantları da mevcuttur. Bu bantlar toplu ve sadeleştirilmiş olarak Şekil 3.3'te sunulmuştur.



Şekil 3.3 Tipik egzoz gazı spektrumu [30]

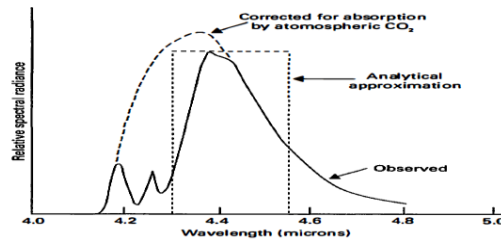
Jet motorlarının emisyonu normal motorlardan farklıdır. Jet motorlarında seçici ışımanın yanı sıra gri cisim ışıması da gerçekleşir. Yüksek süratli uçaklara önden

baktığımızda daha çok gri cisim ışması görülür, bu yüksek sıcaklığa sahip parçalardan kaynaklanır. Arkadan baktığımızda da gri cisim ışmasının yanı sıra egzoz gazları da (karbondioksit ve su buharı) seçici ısıma yapar ve gri ışmanın bazı bantlarını sönümler. Bu sebeplerden ötürü arkadan bakıldığında uçaklar seçici emisyon kaynağı gibi görülürler. Bursen ocağının spektral emisyonu Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4 Bursen ocağının spektral emisyonu [30]

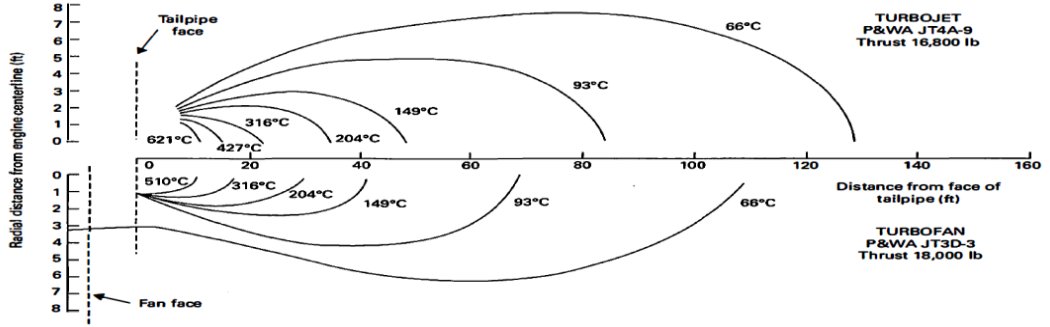
Grafikten görüldüğü üzere emisyon 2.8 μm ve 4.4 μm yoğunluk göstermekte ve ana ışmayı 4.4 μm seviyesinde yapmaktadır. Bu noktalar kullanılan yakıtı göre 2.5 μm ile 10 μm arasında değişim gösterebilir. Bu değerleri bilmek sensör seçimizin ana unsurudur. Şekil 3.5'teki gibi çıkış yapan uçağı algılamak için merkez noktası 4.4 μm olan bir sensörü seçmemiz önemlidir. Ayrıca 4.4 μm , daha düşük dalga boylarındaki ışımalara nazaran güneş radyasyonlarından daha az etkilenir. Bursen ocağında gözlenen ışması Şekil 3.5'te sürekli çizgiler ile gösterilmektedir. Gerçekte ocağın oluşturduğu ışma kesikli çizgiler ile gösterilmektedir. 4.25 μm civarı IR dalgalar atmosferde bulunan soğuk karbondioksit gazları tarafında emildiğinden gözlenen ışma değişir.



Şekil 3.5 4.4 μm bandındaki emisyon [30]

İki farklı jet motoru vardır. Bunlar turbo fan ve turbo jet olarak isimlendirilirler. Turbo fan motorlar ticari yolcu uçaklarında gördüğümüz motorlardır. Turbo jet motorlar F-16,

F-4 gibi savaş uçaklarında bulunan motorlardır. Turbo jet motorlar daha geniş ve daha uzun egzoz çıkışına sahiptir. Şekil 3.6'da bu durum gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Turbojet ve turbofan motorlar için egzoz sıcaklık eğrileri [30]

Turbo jet motora sahip hedefler Şekil 3.6'dan da anlaşılacağı üzere daha rahat tespit edilebilirler. Bu iki farklı türdeki hedeflerin kızıl ötesi parmak izleri de birbirinden oldukça farklıdır. Çünkü egzoz gazlarının sıcaklıkları ile egzoz aksamının sıcaklığı birbirinden farklıdır. Bu sıcaklık farkından ötürü ışımların miktarları da farklıdır. Egzoz aksamının ışıması her iki motorda da bir birine yakın ve egzoz gazlarının ışımasının yaklaşık 25-26 katıdır. Egzoz borularının yüksek ışıması sebebiyle uçaklar uzak mesafeden nokta kaynak olarak algılanır. Uçaklar modern bir kızılötesi kamera ile 30 km mesafeden kolaylıkla tespit edilebilir.

3.1.2 Aerodinamik Sıcaklık İzi

Hava araçları yüksek süratle ilerlemelerinden ötürü yüksek hava sürtünmesine maruz kalırlar. Bu sürtünme sonucunda kanat uçları ve baş kısımda sıcaklık oluşur. Bu sıcaklık kızılötesi ışımaya neden olur. Bu tarz ışıma düşük süratli hedeflerde gözlemlenmez. Şekil 3.7'deki uçağın yüksek sürtünmeye maruz kalan kanat uçları ve burun kısmı daha parlaktır.



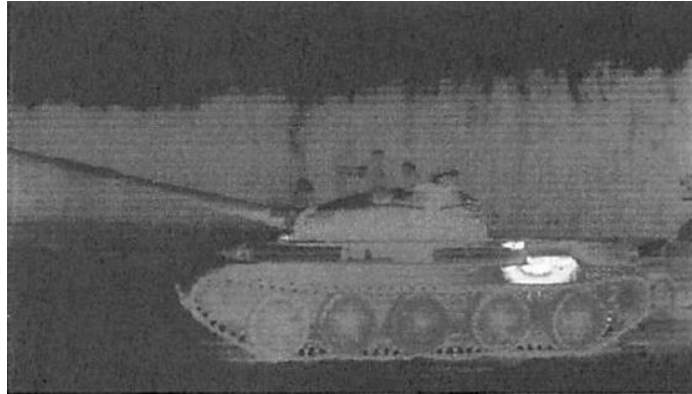
Şekil 3.7 Aerodinamik sıcaklık izi [32]

3.1.3 Füzeler

Füzelerin kızılötesi izi, süratlerine, kullanılan yakıta göre değişiklik gösterir. Gövde yapıları, sürtünmeyle ısınan bölümler için önemlidir. 15°C ortamda 0,7 Mah süratteki füze için laminer hava akımları füzenin gövdesinin ortamdaki 24°C daha sıcak olmasına neden olur. Egzoz aksamının yüksek sıcaklıkta olması nedeniyle ana ışıma buradan sağlanır, ayrıca atılan yüksek sıcaklıklı egzoz gazları nedeniyle kızılötesi sensörler ile uzak menzillerden tespit edilebilirler.

3.1.4 Zırhlı Kara Vasıtaları

Bu tip vasıtalarda emisyon; sürtünme, yanma ve farklı kaynaklarda oluşan ışımanın yansıtılması ile oluşur. Yanma sonucu oluşan emisyonun kaynağı motor, egzoz boruları ve egzoz gazlarıdır. Yakıta bağlı olarak ısınan bölümler yüksek belirginliğe sahiptir. Şekil 3.8'de egzoz çıkışı solda olan zırhlı kara vasıtası görülmektedir. Diğer kaynaklar, motor soğutma sistemi, havalandırma açıklıkları, tekerlekler, şok emiciler, paletler ve aktarıcı sistemlerdir. Zırhlı araçlar büyük ve yoğun bir kütleyle sahiptir atmosferin sıcaklık değişimini geç takip ederler. Şekil 3.8'de de bu durum açıkça görülmektedir. Güneşin doğmasıyla yüzey, tankın kütesine daha hızlı ısınır yani araç daha soğuktur. Aksam ise bu olayın tam tersi meydana gelir. Arka planın yapısına göre bu durum değişiklik gösterir.



Şekil 3.8 Kızılötesi zırhlı kara vasıtası görüntüsü [30]

3.1.5 Suüstü Vasıtaları

Gemilerin egzoz gaz çıkışları kızılötesi kameralar ile en net tespit edilen bölümdür. Geminin gövdesinin tespiti için meteorolojik durum önem arz eder. Güneşli durumda

güverte hızlı bir şekilde ısınır, deniz suyunun ısınma oranı çok düşük olduğundan yüksek kontrast oluşturur. Bulutlu hava durumu, hem gündüz hemde gece tespiti önemli ölçüde etkiler. Zırhlı kara vasıtalarında anlattığımız hususun aynısı burada da geçerlidir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Uzak menzilden kızılötesi gemi görüntüsü [2]

3.1.6 İnsan

Canlılarda çeşitli biyokimyasal reaksiyonlar sonucunda ısı ortaya çıkar. İnsanın ortalama vücut sıcaklığı ortalama 37 °C'dir. Bu sıcaklık değerinde ışımanın en şiddetli olduğu dalga boyu yaklaşık 10 mikrometredir. Stefan-Boltzmann eşitliğine göre insan vücudundan yayılan termal radyasyonun gücü yaklaşık 860 W'tır. Ancak derimizin sıcaklığı vücut sıcaklığından 3°C-4°C daha düşüktür. Bu nedenle sıcaklığı 20°C olan bir ortamda, soğurulan ve yayılan ısı miktarı dikkate alındığında, insan vücudunun termal radyasyonla gerçekleşen yaklaşık ısı kaybı 130 W civarındadır. Giyilen kıyafetlere göre IR görüntü büyük değişiklik gösterir. Şekil 3.10'de görülen iki kişinin vücut sıcaklıklarında kayda değer bir farklılık yoktur, fakat IR görüntüleri çok farklıdır. Bunun temel sebebi kişilerin kıyafetleridir. Gerideki kişinin kıyafetlerinin ısı yalıtımı öndekine oranla yüksektir.



Şekil 3.10 Kızılötesi insan görüntüsü [8]

3.1.7 Lazer

Dar band aralığında ışıma/aydınlatma sağlamaları sebebiyle askeri uygulamalarda sıkça kullanılır. Lazerler morötesi, görünür veya kızılötesi dalga boylarında çalışabilirler. Lazerlerin çalışma prensipleri Neils Bohr tarafından bulunmuş ve açıklanmıştır. Elektronlar yüksek enerji seviyesinden düşük enerji seviyesine geçiş yaptıklarında kaybettikleri enerjiyi EM dalga olarak yayımlarlar. Bu olay lazerde eş zamanlı olarak gerçekleşir. Bu enerji boşalmasını sağlamak maksadıyla lazer bir dış enerji kaynağına ihtiyaç duyar. Eş zamanlı ışımının teorisi ilk olarak 1916 yılında Albert Einstein tarafından ileri sürülmüş fakat ilk uygulaması Theodore H. Mainman tarafından 1960 yılında yapılmıştır. İlk kez Vietnam savaşında kullanılmıştır. Hedefler lazer ile aydınlatılarak tespiti kolaylaştırılmıştır. Görülmemesi maksadıyla, aydınlatma için kızılötesi dalga boylarındaki lazerler kullanılmıştır. Hatta lazer aydınlatmalar günümüzde modülasyona tabi tutularak karıştırmaya karşı daha dirençli uygulamalar gerçekleştirilmektedir. Bazı G/M'ler lazer aydınlatması ile çalışmaktadır. Hedef belirli dalga boyunda modülasyona tabi tutulmuş lazer ışığı ile aydınlatılır. G/M yalnızca bu aydınlatmaya yönelerek hedefe ulaşır.

3.2 Görüntü Tarayıcılar ve Detektörler

Sensör tasarımı ve analizi, değişken arka plan koşullarında hedefi içeren sahnelerde operasyonel gereklilikleri yerine getirmeye çalışır. Bunun için askeri sistemlere konulan minimum yeterlilik şartı 2 km mesafedeki tankı dünyanın orta kuşak bölgesinde, yaz mevsiminde algılayabilmektir.

Detektör, sensör sisteminin optik sinyali elektrik sinyaline dönüştüren kısımdır. Optik güç ile orantılı olan bir elektrik çıkışı üretilir. Detektörün ana unsuru sensördür. Sensör seçimini, spektral çalışma bandı, hassasiyet ve çözünürlük gibi unsurlar etkiler. Ayrıca detektörün malzeme özellikleri, çalışma sıcaklığı ve spektral yanıtı önemlidir. Enerji dönüşümü sürecinde foton kabulü için güçlü bir enerji bandı mevcut olmalıdır. Detektörün çözünürlüğü, boyutu, perdesi ve optik odak uzaklığı gibi parametreler ile belirlenir. Görüntü, sahnenin tek detektörle veya detektör dizisi ile taranmasıyla sağlanır. Eski tarz sistemler, tek detektör unsuru ve görüş alanını tarayan dönen ayna

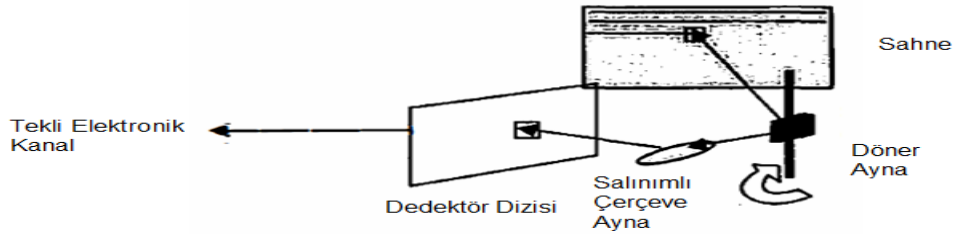
veya retikülden oluşurdu. Birçok güdümlü mermi hala bu tekniği kullanmaktadır. Ancak yeni uygulamalar ayırık sıralı dizilerden oluşan dedektörleri kullanır.

3.2.1 Tarayıcılar

Odak noktası üç farklı yöntem ile taranarak görüntü elde edilir. Bu yöntemler seri tarama, paralel tarama ve odak düzlemi dizisidir. Her yöntemi kendine göre avantaj ve dezavantajları vardır.

Seri tarayıcı: İki adet ayna ve dedektör ile sahneyi dizi şeklindeki aralıklarla, optomekanik olarak tarar. Bir satırın taramasını tamamlayınca diğer satıra geçer. Görüntüsünün yatay eksenini, döner ayna ile termal enerji taranarak üretilir. Dikey titreşen çerçeve ayna, dikeyde yön değiştirerek yatayda tekrarlanan arama hatlarını belirler. Seri tarama işlemi Şekil 3.11'de gösterilmiştir. Dedektör dizisi tek elementten oluştuğu gibi birçok elementten de oluşabilir. Birçok elementten oluşuyor ve seri taramadaki yöntemi kullanıyorsa paralel-seri tarama işlemi olarak adlandırılır. Her bir dedektör serisi arasındaki boşluk çözünürlüğü düşürür. Bu sebeple aralıklar minimum tutulmalıdır. Bu eksik görüntüler, tarama işlemine entegre edilmiş 2:1 geçişli özellik ile alınır. Geçiş bölgeleri, her alan oluşturulduktan sonra, daha önce cevapsız olan alanın bölümlerini içeren başka bir alan yaratacak şekilde yapılır.

Seri taramanın avantajları tek kanaldan veri alınabilmesi ve direk olarak ekrana bağlanabilmesidir. Dezavantajları, video karelerini oluşturmak için çok hızlı tarama gerçekleştirirler, band genişlikleri büyüktür ve güvenilirlikleri düşüktür.

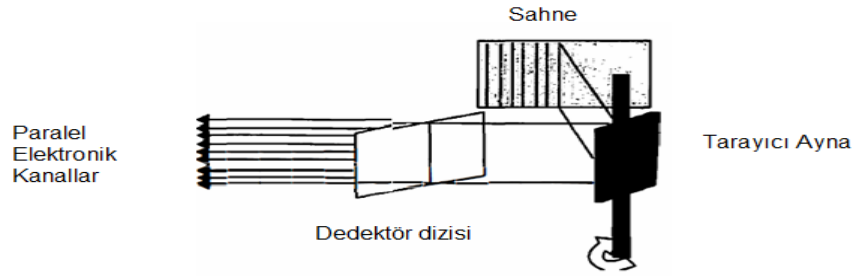


Şekil 3.11 Seri Tarama [30]

Paralel tarama: Paralel tarama Forward Looking Infrared (FLIR) sistemlerde yaygın olarak kullanılır. Döner ayna ile sahne görüntüsünün dikey şeritleri dedektör serisinin üzerine aktarılır. Çalışma prensibi şekil 3.12 ile gösterilmiştir. Basit bir FLIR kamera

sahneyi 320 dizi olacak şekilde tarar. 2:1 geçiş bölgesi oluşturur bu geçiş bölgelerini, ölçüm yapılan komşu dizilerinin ortalamasını alarak belirlenir. Toplamda $320+160=480$ adet paralel dizi ile görüntüyü tanımlanır.

Paralel taramanın avantajı seriye göre daha yavaş bir tarama ile görüntü oluşturulur ve band genişlikleri dardır. Dezavantajları ise birçok dedektör çıkışı vardır ve direk ekrana bağlanamazlar.



Şekil 3.12 Paralel tarama [30]

Odak düzlemi dizisi: Kameranın odak noktasına konulmuş dedektörlerden oluşan dizidir. Örnek olarak 320x240 boyutunda bir diziden oluşan sistemde 76 800 dedektör vardır. Her dedektör için ayrı elektronik hat mevcuttur. Tarama yapılmaz. Her bir dedektör sürekli olarak kendi verisini oluşturur. Hareketli parçası bulunmadığından güvenilirlikleri yüksektir. En gelişmiş metottur, yeni sistemlerde yaygın olarak kullanılır. Fazla dedektörden oluştukları için boyutları büyük olabilmektedir.

3.2.2 Dedektörler

Dedektörler genel olarak iki sınıftan oluşurlar; foton (Kuantum) ve termal dedektörler. Foton dedektörleri emilen foton enerjisini serbest elektronlara dönüştürür. Termal dedektörler geniş bir banttaki enerjiyi emerler. Dedektör tarafından emilen enerji, malzemenin sıcaklığının artmasına neden olur. Görüntüye göre değişen elektriksel özellikler, optik güç miktarını belirlemek için ölçülür. Toplam üç adet foton ve iki adet termal dedektör vardır.

3.2.2.1 Foton Dedektörleri

Foton dedektörleri, fotonların emilmesi yoluyla serbest yük taşıyıcıları üretir. Emilim, dedektör sıcaklığında önemli bir artış olmaksızın gerçekleşir. Algılama, fotonların

dedektör materyalinin atomik yapısıyla doğrudan etkileşimi ile gerçekleşir. Fotonların etkileşimi ile değişen malzeme parametreleri direnç, endüktans, voltaj ve akımdır. Foton dedektörleri 0,2µm-1000 µm arası EM dalgaları algılamak için kullanılabilir. Kullanılacak materyal ile band genişliği ayarlanır.

Kızılötesi foton dedektörlerinde kriyojenik soğutma, karanlık akım gürültüsünü azaltmak için gereklidir. Karanlık akım gürültüsü dedektör soğutuldukça düşer. Bu gürültü fotonlar tarafından malzemede oluşturulan akımdan düşük olmak zorundadır. Foton dedektörlerinin cevabı kuantum verimliliği ile açıklanır. Kuantum verimliliğini, bir foton emilimi sonucunda serbest kalan elektron miktarını ifade eder. Fotoiletkenlerde kuantum verimliliği %30 ile %60 arasındadır. Fotovoltaik ve fotoemisivlerde %10 ile %60 arasında değişir.

Fotoiletken Dedektörler: Fotoiletken dedektör emilen fotonları serbest yük taşıyıcılarına dönüştüren yarıiletken malzemelerden yapılmıştır. Serbest taşıyıcılardaki değişim dedektörün iletkenliğini değiştirir. Basit bir devre ile ön gerilim uygulanır ve akım değişimi iletkenlik değişimini yansıtır. İletkenlikteki değişiklik dedektör üzerine düşen optik gücü belirtir. Uzun dalga boylarını algılamak amacıyla yarı iletkene dış katkı maddeleri eklenir. Bu eklenen dış maddenin oranıyla algılamak istediğimiz band ayarlanır. Katkılar arttıkça kuantum verimliliği azalır. Fotoiletkenlerde, optik gücün artması, serbest yük taşıyıcılarının sayısını artırır, bu nedenle dedektörün efektif direnci azalır. Fotonlar tarafından oluşturulan diferansiyel yük, dq (Coulombs cinsinden), eşitlik (3.1)'de verilmiştir.

$$d_q = E_p \eta_q w t_q e l_d \quad (3.1)$$

E_p :Fotonlardaki santimetrekaire başına, saniyede, rastlanan ışımaya oranı

w :Santimetre cinsinden dedektör genişliği

l_d :Santimetre cinsinden detektör uzunluğu

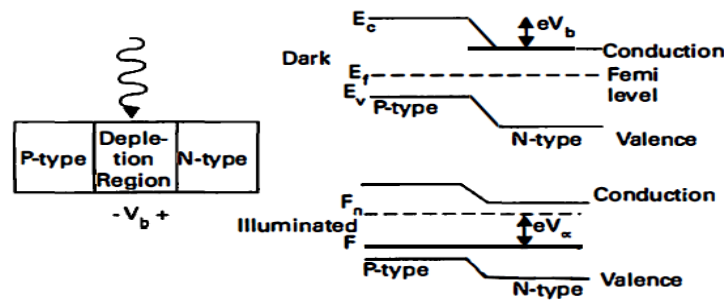
η_q :Kuantum verimliliği

t_q :Saniye olarak yük taşıyıcı ortalama ömrü

e :Elektron yükü (1.602×10^{-19} Coulombs)

Fotovoltaik Dedektör: Fotovoltaik dedektör, p-n bağlantısı ile fotonları emer. Boşluk-elektron çiftleri üretilir, bunlar madde üzerindeki voltaja etki eder. Voltaj değişikliği dedektör üzerine düşen optik güç miktarını yansıtır. Fotovoltaik dedektör herhangi bir harici bayas voltajı gerektirmez. p-n bağlantısının gerilimi bayas olmaksızın değişir ve doğrudan okunabilir. Fotovoltaik dedektör fotoiletken dedektörlerde olduğu gibi maddenin moleküler enerji seviyelerinden türetilen spektral özelliklere sahiptir. Fotovoltaik dedektörler p-n bağlantılı yarı iletkenlerden meydana gelir. Fotovoltaik dedektörün enerji diyagramı Şekil 3.13'te sunulmuştur.

Fotonlar, P-N tipi yarıiletkenin birleşme yerinde absorbe edilir; bu alan, boşalım bölgesi olarak adlandırılır. Şekil 2.13'te görülen enerji diyagramında karanlık ve aydınlık ortamlar için enerji düzeyleri verilmiştir. Bu düzeyler arasındaki fark bizim asıl ilgilendiğimiz noktadır. Bu farkların seviyesi dedektör üzerine düşen fotonlar hakkında bilgi edinmemizi sağlar.



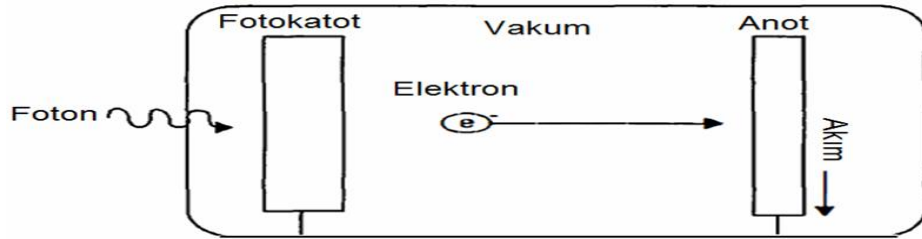
Şekil 3.13 Fotovoltaik enerji diyagramı [30]

Fotovoltaik dedektörlerin elektriksel özellikleri bir diyotunkine benzer. Bu benzerlikten dolayı fotodiyot olarak da anılırlar. Fotovoltaik dedektörler, fotoiletkenlerden bir kaç üstün yanı bulunmaktadır. Bu özellikleri şu şekilde sıralayabiliriz; fotolara karşı daha iyi yanıt verir, ön gerilim ihtiyacı yoktur ve daha iyi sinyal/gürültü oranına sahiptir. Dedektörde oluşan voltaj doğrudan, açık devre ile ölçülür. Büyük oranda yükseltilmeye ihtiyaç duyar.

Fotoemisiv dedektörler: Fotoemisiv dedektörler fotoiletken ve fotovoltaik dedektörlerden farklı olarak fotonlar dedektörün fiziksel olarak elektron kaybetmesine sebep olur. Genellikle yüksek voltajlı bir vakum tüpüne yerleştirilir. Fotokatot fotonu absorbe eder ve emilen enerji ile vakum haznesine elektron serbest bırakılır. Vakumlu tüpteki yüksek elektrik alan serbest elektronun anot kutbuna doğru hareket etmesine

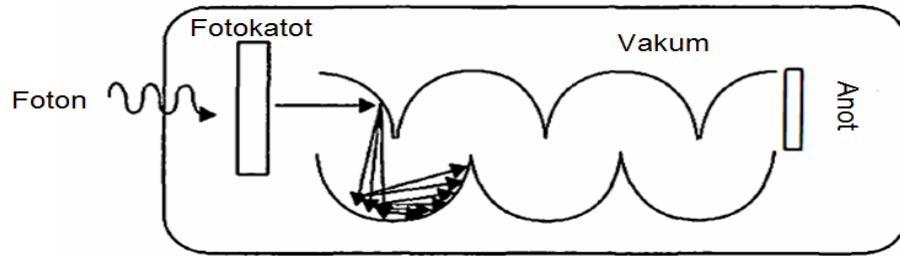
neden olur. Bu elektronlar fotokatotun üzerine düşen ışın akısının dalga boyuna ve miktarına bağlı olarak değişir. Fotonun enerjisi ($h\nu$) elektroları fotokatotdan serbest bırakmak için gerekli enerjiyi sağlar. Olay Şekil 3.14'te gösterilmiştir.

Foton katot ve anodun bulunduğu bir cam zarf içine girer. Bazı uygulamalarda cam zarfın dış yüzeyi katot olacak materyal ile kaplanır. Fotonun enerjisinin emilimi ile elde edilen serbest elektron hızlanarak anoda ulaşır ve orada akıma sebep olur.



Şekil 3.14 Fotoemissiv [30]

Photomultiplier tube (PMT) çok düşük elektron miktarlarında dahi yüksek akım oluşmasını sağlar. Çalışması mantığı Şekil 3.15'da açıklanmıştır. Çok düşük sayıda foton fotokatoda ulaşırsa dahi yükseltildiği için algılama gerçekleşir. Algılanmak istenilen enerji düzeyine uygun PMT seçilmelidir.



Şekil 3.15 PMT [30]

PMT içindeki elektron miktarını arttıran halkalara dinot ve toplu olarak bu yapıya dinot zinciri denir. Serbest elektron ilk dinota çarpınca elektron sayısı artar ikinci dinota artmış sayısı kadar ulaşır ve elektron sayısı dinot sayısı kadar zincirleme olarak artar. Bu durum eşitlik (3.2)'de anlatılmıştır.

$$G = \chi^n \text{ (birimsiz)} \quad (3.2)$$

G : Akım Kazancı

χ : Dinot için ikincil emisyon oranı

n : Dinot sayısı

Formülden de anlaşılacağı üzere PMT çok düşük enerjileri çok yüksek enerjilere dönüştürebilir. Uzak mesafeden hedef tespiti için kullanılan sistemlerde elverişli bir özelliktir.

3.2.3.2 Termal Dedektörler

Termal dedektörü oluşturan materyaller, sıcaklık ile değişen en az bir doğal elektriksel özelliğe sahiptir. Bu sıcaklık ile değişen özellik, dedektördeki radyasyonu belirlemek için elektriksel olarak ölçülür. Bu dedektörler tipik olarak oda sıcaklığında çalışırlar ve kriyojenik soğutma gerektirmezler. Sıcaklık değişikliği dedektör materyalinde üç elektriksel özellikten birinde değişime neden olur. Bu özellikler direnç, voltaj ve kapasitansdır. Termal dedektörlerin grupları kullanılan elektriksel özelliğe göre belirlenir. Termal dedektörler bolometreler ve piroelektrik dedektörler olarak sınıflandırılır. Bolometreler termistör olarak ta adlandırılırlar, çünkü materyali sıcaklık ile değişken bir dirençtir. Genellikle yüksek emici bir kaplama ile kaplanmış uzun, dar bir şerit şeklindedir. Şeridin elektrik direncini, emilen radyasyon miktarını belirler ve direnç ölçümü için bir ön gerilim akımı kullanılır.

Geçmişte, termal dedektörler yavaş tepki süresi ile karakterize edilmiştir. Bununla birlikte, son yıllardaki önemli gelişmeler yaşanmış ve bu dedektörler birçok uygulama için uygun haline getirmiştir. Termal dedektörler günümüzde, hızlı tepki süresi, düşük gürültü ve doğrusal çalışma gibi birçok üstün özelliğe sahiptirler. Termal dedektörlerin hassasiyeti son yıllarda yüksek oranda gelişmiş fakat hala foton dedektörlerinden düşük düzeydedir.

Bolometre: Bolometrede algılama, kullanılan maddenin direncindeki değişikliklerle gerçekleşir. Basit bir bolometre dedektörü, ince, karartılmış bir metal veya yarı iletken filamandan oluşur. Örnek bir bolometrenin yapısı Şekil 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.16 Bolometre [30]

Bolometre üzerine düşen radyasyon dirence sebebiyet verir ve bu direnç eşitlik (3.3) ile hesaplanır.

$$\Delta R_b = \Delta R_0 \alpha \Delta T \quad (3.3)$$

Sıcaklık katsayısı metaller için pozitifdir ve yarıiletkenler için negatif. Dış etkilerden minimum düzeyde etkilenmesi için özel dış kaplamaları vardır.

Piroelektrik dedektör: En çok kullanılan termal dedektörlerdir. Piroelektrik dedektör, iki elektrot arasında bir ferroelektrik malzemeden oluşur. Dedektörün polarizasyonu sıcaklık ile değişir. Kapasitesi sıcaklığa duyarlı bir kapasitör olarak düşünülebilir. Kapasitörler ölçüm için AC sinyale ihtiyaç duyarlar. Piroelektrik dedektörlerin, sıcaklığı değişikliğinde yüzey yükleri de değişir. Bu piroelektrik etki, sıcaklık değişimiyle orantılı bir akım üretir. Sabit bir ışınım dedektöre uygulandığında, herhangi bir akım algılanmaz. Piroelektrik dedektörler aslında kondansatörlerdir. Piroelektrik malzemeler, genelde bir ekseninde kutuplaşmada spontan değişiklikler gösteren ferroelektrik kristallerdir.

KIZILÖTESİ GÖRÜNTÜ İYİLEŞTİRMESİ

Kızılötesi görüntüleme günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. Askeri alanda keşif ve gözetleme maksadıyla kullanılan birçok sistem kızılötesi görüntüleme teknolojileri içerir. Uzak mesafeden hedef takibi ve gözetleme faaliyetinin kritik bir parçasıdır. Ancak uzak mesafeden elde edilen kızılötesi görüntü dizileri düşük kontrasta, değişken aydınlatmaya ve yüksek arka plan gürültüsüne sahiptir. Bunların ana sebebi sönümlenme, saçılma, türbülans ve sensör gürültüleridir. Gürültü oranı belirli seviyenin üzerine çıktığında hedef takip yöntemleri işlevsiz kalır. Daha iyi hedef takibi için görüntünün iyileştirilmesine ihtiyaç duyulur. Görüntünün iyileştirilmesi süre olarak anlık takibi engellemeyecek kadar hızlı olmalıdır, aksi takdirde hedef takip edilemez.

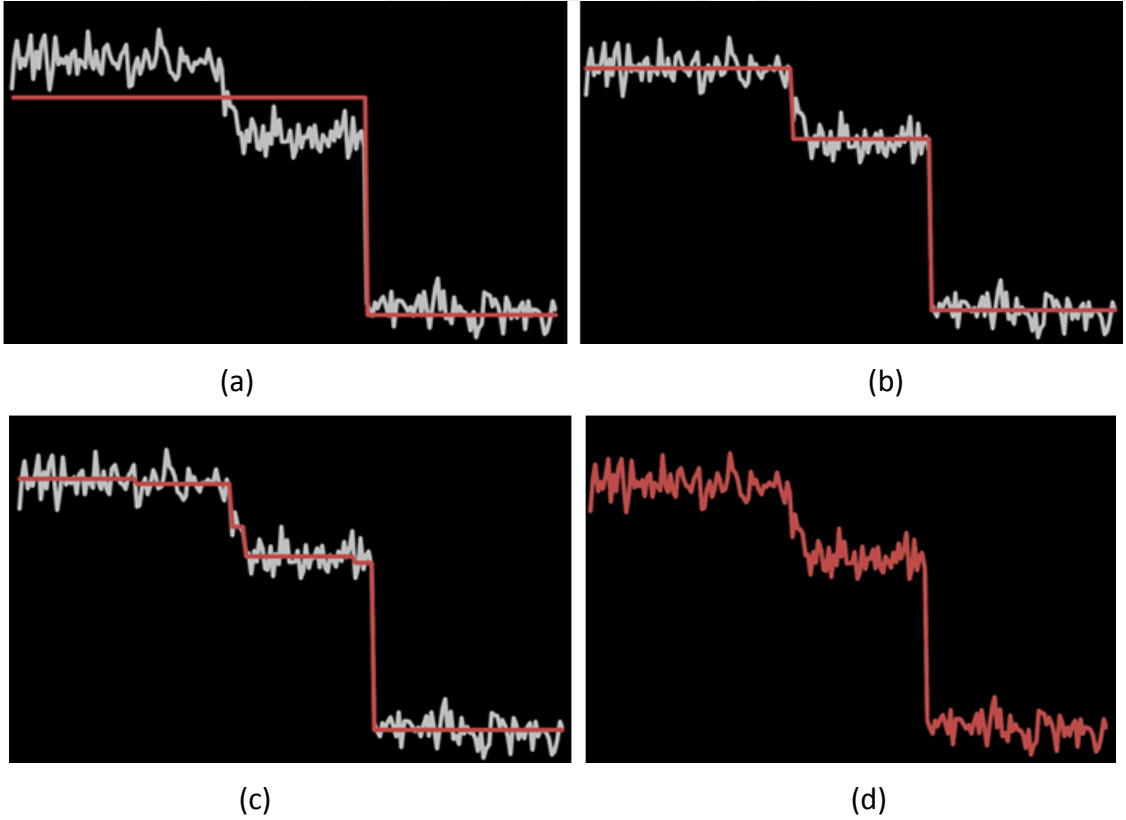
4.1 Gradient Minimizasyonu Yöntemi İle Görüntü Yumuşatma

Kızılötesi görüntülerde arka plan genel itibari ile küçük fakat yoğun değişimlere sahiptir. Gradient minimizasyonu yöntemi [33] bir optimizasyon çerçevesinde seyrek gradyan sayma işlemi yapar. Matematiksel olarak yoğunluk değişikliklerini komşu pikseller ile sınırlandıran yeni bir yöntemdir. Aynı zamanda, belirsizliğe göre çeşitlendirilmiş kenar manipülasyonunu da mümkün kılarak ayrı bir metrik ile küresel optimizasyonu da gerçekleştirir. Metodun niteliksel etkisi, belirgin kenarları inceltmektir; bu da onların algılanması ve görsel olarak daha kolay fark edilmesini sağlar. Yöntemin faydaları şu şekildedir;

- Temel olarak tek bir operasyon ile kenar çıkarma işlemi gerçekleştirir.
- Gürültüyü belirgin bir şekilde azaltır.

- Önemsiz ayrıntıları elimine edilmesini ve hafif bulanıklığı ortadan kaldırılmasını sağlar.
- Hedef takibi için uygun ortamı oluşturur.

Şekil 4.1'de gri çizgiler ile gösterilen tek boyutlu bir sinyaldir. Yöntem bu sinyali alarak istenilen basamak sayısına göre, aslını maksimum düzeyde koruyacak şekilde yeniden düzenler. Yöntem ile elde edilen yeni sinyal kırmızı düz çizgi ile gösterilmektedir. Şekil 4.1.a'da sinyal tek basamak olacak şekilde gerçekleşmiştir. Aynı sinyal Şekil 4.1.b'de 2 basamak, Şekil 4.1.c'de 5 basamak ve Şekil 4.1.d'de 200 basamak olarak düzenlenmiştir. Basamak sayısı arttıkça detaylar artmakta, ayrıntılar ortaya çıkmaktadır. İki boyutlu sinyal olarak kabul edilen kızılötesi görüntülerde de yöntem aynı mantığı kullanarak gereksiz detayları elimine eder ve ana şekli ortaya çıkartır. Çıktaki basamak sayısını belirleyen parametre değiştirilerek görüntü istenilen oranda yumuşatılır.



Şekil 4.1 Yöntemin tek boyutlu sinyalde gösterimi [33] (a) Sinyalin tek basamaklı gösterim (b) 2 basamaklı gösterimi (c) 3 basamaklı gösterimi (d) 200 basamaklı gösterimi

4.1.1 Gradient Minimizasyonu Yönteminin Hesaplaması

4.1.1.1 Tek Boyutlu Sinyal İçin Çözüm

Yöntem öncelikle sıfır olmayan tüm gradient değişimlerini belirler. Bu değişimleri kullanarak görüntünün tamamında yumuşatma sağlarken belirgin kenarları ortaya çıkarır. İstenilen yumuşatılmış görüntü f ile belirtilir.

$$c(f) = \#\{p \mid \nabla f_p \neq 0\} \quad (4.1)$$

O : Orijinal görüntü

f : Yumuşatılmış görüntü

f_p : Yumuşatılmış görüntünün pikseli

$\#$: Sıfır olmayan gradient sayıycı

p ve $p+1$ orijinal sinyaldeki komşu iki pikselidir. Buna göre, $|f_p - f_{p+1}|$ bize gradient değişimini verecektir. Bizim için bu değerin sıfırdan farklı olanları gerekmektedir. Gradient sayıycı, bunların miktarını belirlemektedir. Bu hesaplamamızın yalnızca küçük bir bölümünü oluşturmakla birlikte ana bölümü de göstermektedir. Bu değer kullanıcı tarafından belirlenir, belirlenen değere göre gerçek sinyale en yakın basamaklı görüntüyü elde etmeK hedeflenmektedir.

$$\min_f \sum (f_p - g_p)^2 \text{ s.t. } c(f) = k. \quad (4.2)$$

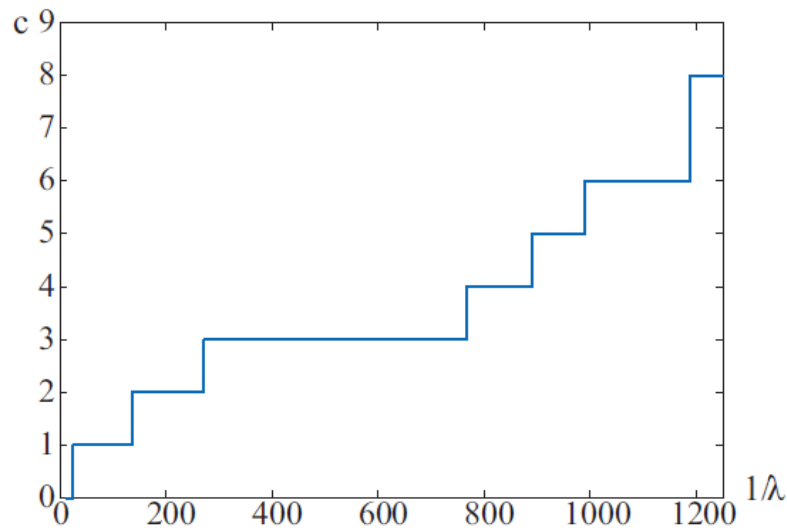
$c(f)$ sonuç olarak elde edilen görüntüdeki gradient değişim miktarını verir. Şekil 4.1'deki çıkışları belirleyen ana unsur budur. Eşitlik (4.2) aracılığı ile sinyal bütünüyle yumuşatılırken geçişlerin olduğu bölgeler güçlendirilir. Genel şekil aynı zamanda orijinalle aynı kenarlara sahiptir, çünkü yoğunluk değişikliği mümkün olduğunca toplam enerjiyi azaltır ve önemli kenarları ortaya çıkartır. Kenarları başka yerlere koymanın, minimum olması hedeflenen Eşitlik (4.2)'yi arttıracığı açıkça anlaşılmaktadır. Bu yumuşatıcı etki aynı zamanda literatürdeki kenar koruma yöntemlerinden farksızdır. Daha büyük k , daha belirgin bir kontrast verir. Eşitlik (4.2) 'deki maliyet, kuadratik yoğunluk farkı teriminden $(f_p - g_p)^2$ kaynaklandığından, pek çok pikselin yoğunluğunun büyük ölçüde değiştirmesine izin verilmemektedir. Düşük genlikli yapılar öncelikle

kontrol edilir ve istatistiksel olarak çıkarılır. Belirgin kenarların azaltılması otomatik olarak engellenir. Bu yöntemin en kayda değer özelliği, ne kadar k ayarı yapılırsa yapılsın, yerel filtrelemeden kaçınma ve işlemin ortalaması alınması nedeniyle herhangi bir kenar bulanıklığına neden olmaz.

Eşitlik (4.2)'de k değeri iki boyutlu sinyallerde binlere ulaşabilir. Bu durumu kontrol altına almak ve yapı düzeltirmesi ile girdi-sonuç benzerliği arasında bir denge kurmak için genel bir form kullanılır (Eşitlik 4.3):

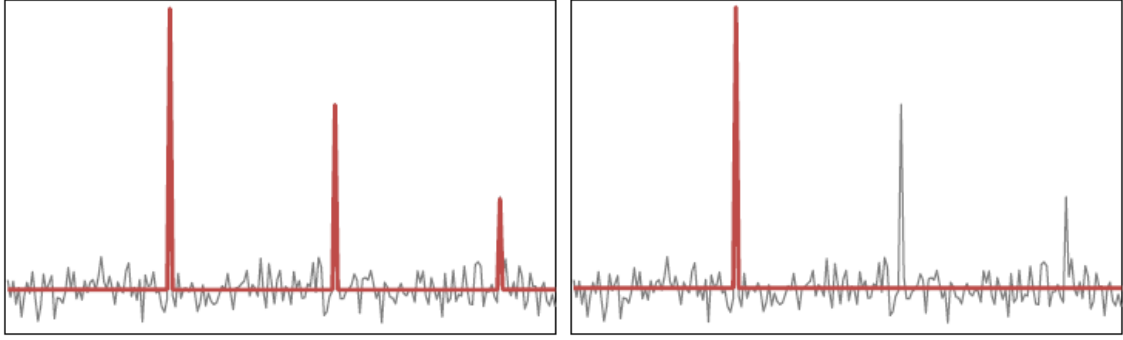
$$\min_f \sum (f_p - g_p)^2 + \lambda \cdot c(f) \quad (4.3)$$

λ , $c(f)$ 'nin yapısını doğrudan kontrol eden bir ağırlıktır ki bu aslında bir yumuşatma parametresidir. Büyük bir λ , sonucun çok az kenar yapmasını sağlar. k ve $1/\lambda$ arasındaki ilişki Şekil 4.2'de verilmiştir. Grafik, eşitlik (4.3) 'te farklı λ değerleri denenerek ve optimizasyon sonrasında elde edilen sonuçlara karşılık gelen k 'yi bularak elde edilmiştir.



Şekil 4.2 k değişkenine karşılık gelen $1/\lambda$

Şekil 4.3'de üç iğne benzeri sinyal vardır. Yöntem uygulanarak 3 adet iğne formundaki değişimler kırmızı çizgiyle sergilenmektedir. λ değerine bağlı olarak bir veya birkaçı formunu korunarak çıkış elde edildiği görülür. Küçük değişimler her iki örnekte de elenmiştir. Büyük değişimlerin kaç tanesinin gösterileceği ise λ değerine bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 4.3 Sinyaldeki ani yükselmelerin λ değerine bağlı olarak elde edilmesi

4.1.1.2 İki Boyut Sinyal İçin Çözüm

İki boyuttaki tek fark görüntüde değişimin tek boyutta değil her iki boyutta da var olup olmadığını bulunmasıdır. Bu maksatla her iki yöndeki gradient değişimleri incelenir. Tek boyuttaki eşitlikler aşağıdaki şekilde değişir. S_p hesaplanan görüntünün piksel değerleridir.

$$C(s) = \# \left\{ p \left\| \partial_x S_p \right\| + \left\| \partial_y S_p \right\| \neq 0 \right\} \quad (4.4)$$

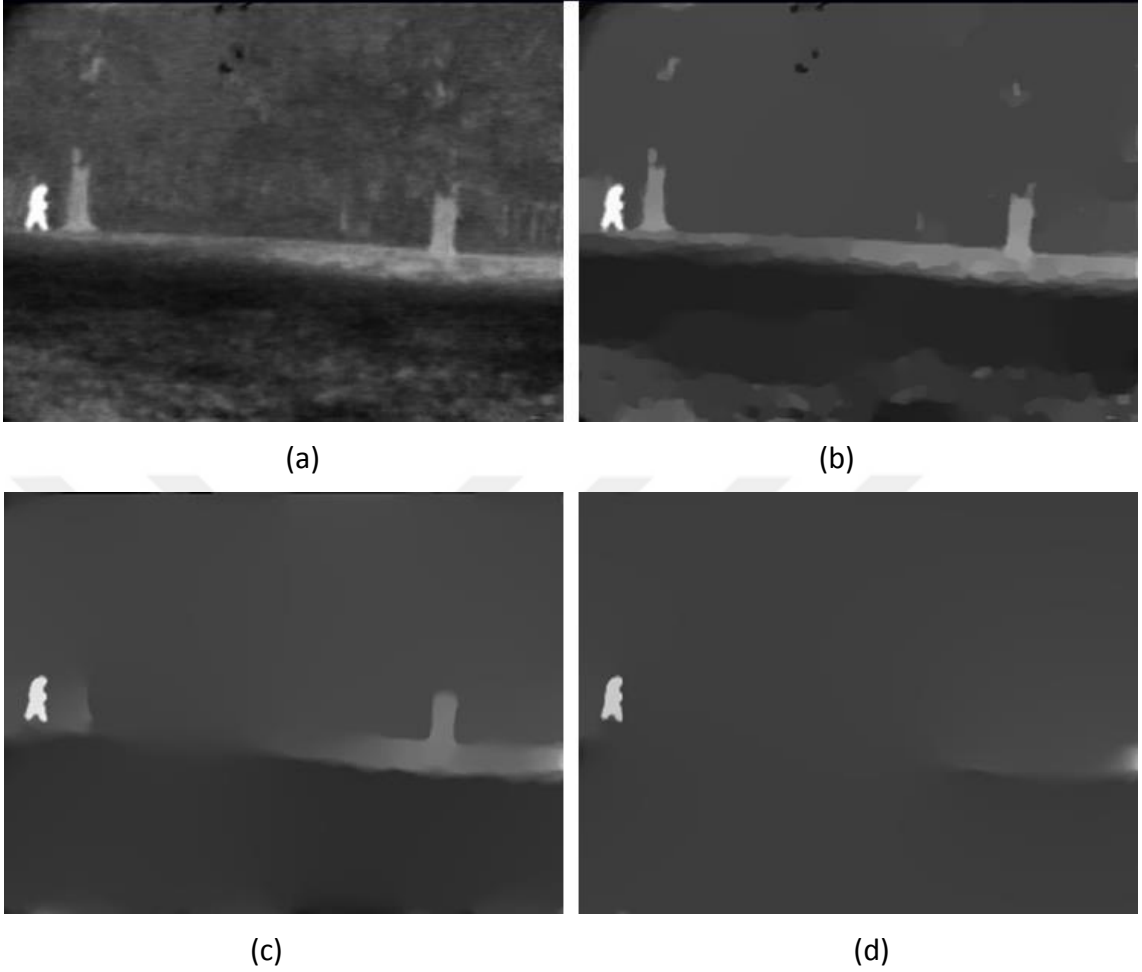
$$\min_S \left\{ \sum (S_p - I_p)^2 + \lambda.C(S) \right\} \quad (4.5)$$

Yöntem, başlangıçta girilen yumuşatmaya ve görüntünün gradyan değerine uygun fonksiyon belirlemekte ve tekrar eden denemeler ile en optimumu bulmaktadır.

4.1.2 Gradient Minimizasyonu Yöntemi Uygulanarak Elde Edilen Görüntüler

Şekil 4.4 orta mesafeden çekilmiş kızılötesi görüntüdür. Arka planında yoğun bir değişim mevcuttur. İki adet ağacın gövdesinde piksel yoğunluk değerleri yüksektir, hedefin piksel değerlerine yakındır. Şekil 4.4.(a) orijinal görüntüdür. Şekil 4.4.(b) $\lambda=0.002$ ile yumuşatılmış ve ormandaki ağaçların dalları yok olmuştur. Şekil 4.4.(c)'de $\lambda=0.01$ 'e kadar arttırılmış ağaçların gövdeleri ve hedef hariç görüntü tamamen yumuşatılmıştır. Şekil 4.4.(d)'de $\lambda=0.04$ 'a kadar arttırılmış ve görüntüde hedef hariç her şey yumuşatılmıştır. Elde edilen iyileştirilmiş görüntü hedef takibi için mükemmel yakın şartlara sahiptir. Arka planın gri tonda olması ve algoritmanın hesaplama

süresinin fazla olması yöntemin eksik yönleridir. Arka plan basit bir ek işlem ile sıfırlanabilir.

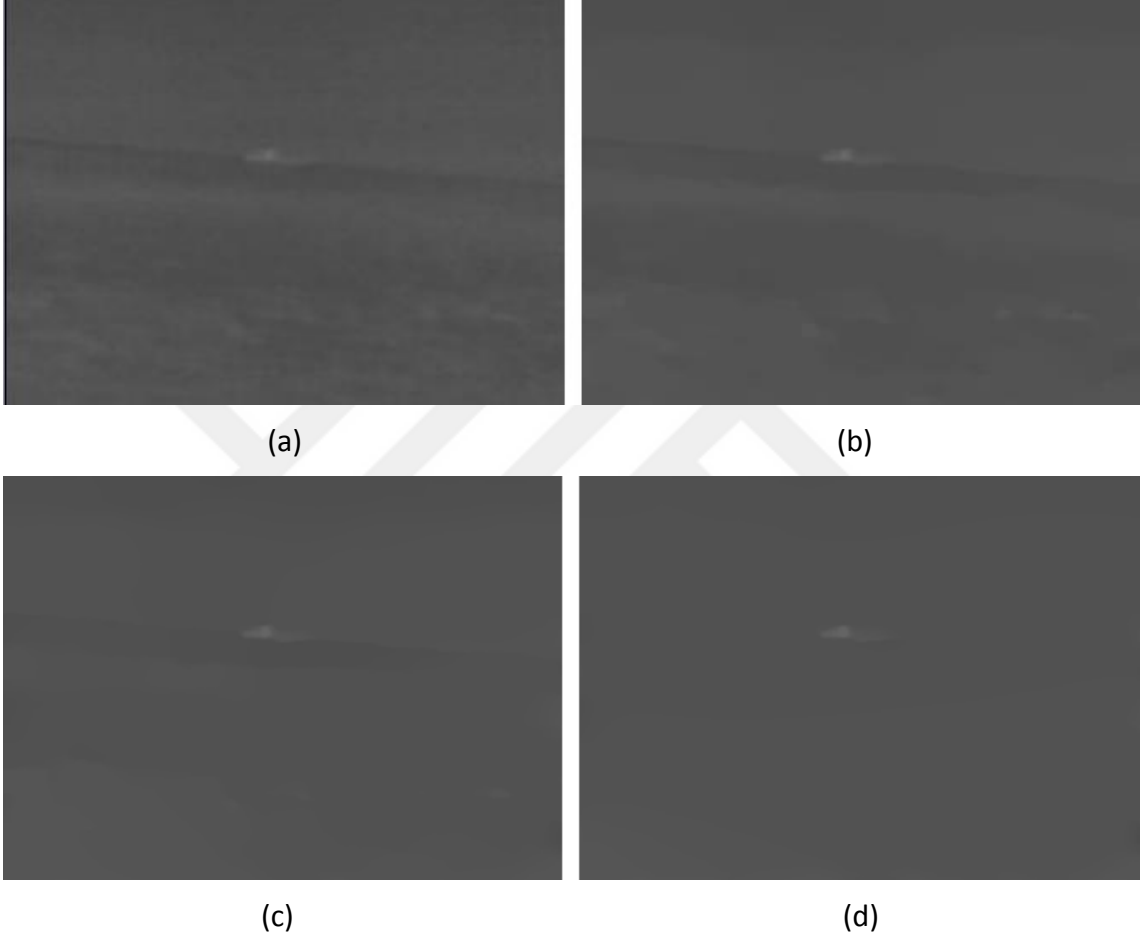


Şekil 4.4 L_0 gradient minimizasyonu yapılmış kızılötesi görüntü (Deneme:1) (a) Orjinal görüntü (b) $\lambda=0.002$ ile elde edilmiş görüntü (c) $\lambda=0.01$ ile elde edilmiş görüntü (d) $\lambda=0.04$ ile elde edilmiş görüntü

Şekil 4.4 (a)'daki örnek görüntü 320x240 çözünürlüğe sahiptir. Bu görüntüyü algoritma $\lambda=0.04$ için 0,0840 saniyede tamamlamıştır. Algoritma saniyede 13 video karesini işleyebilir. λ değeri küçüldükçe görüntüde belirlenecek basamakların sayısı artacağından hesaplama süresi artmaktadır. $\lambda=0.002$ için işleme süresi yaklaşık saniyenin 1/10'dur. Kızılötesi kameralar, sensörlerine bağlı olarak değişiklik gösterse de saniyede elde ettikleri kare sayıları düşüktür.

İkinci test görüntümüz uzak mesafeden alınmış bir gemiyi içerir. Hedef, görüntü içerisinde çok küçük bir alanı kaplar. Görüntünün kontrastı çok düşüktür. Geminin piksel yoğunluk değerleri dalgalarınkinden biraz yüksektir. Literatür taramasında test

ettiğimiz yöntemler hedefle birlikte dalgaların piksel yoğunluklarını da yükseltmiştir. Bu yöntem ise arka planı tamamen yumuşatmış ve hedefi korumuştur. Görüntü 210x290 çözünürlüktedir. Görüntüyü yöntem $\lambda=0,0009$ için 0,109 saniyede işlemektedir. İşlenmiş görüntülerdeki hedefler asıl görüntüyle karşılaştırıldığında formunda herhangi bir değişiklik olmamıştır. Bu da hedef takibi için kullanılacak algorithmada istenilen temel özelliklerdendir.



Şekil 4.5 L_0 gradient minimizasyonu yapılmış kızılötesi görüntü (Deneme:2) (a) Orjinal görüntü (b) $\lambda=0.002$ ile elde edilmiş görüntü (c) $\lambda= 0,0005$ ile elde edilmiş görüntü (d) $\lambda=0,0009$ ile elde edilmiş görüntü

4.2 Frekansla Ayarlanmış Çarpıcı Bölge Tespiti Yöntemi

Görsel çarpıcılık, bir nesnenin komşularıyla karşılaştırıldığında ön plana çıkartan ve böylece dikkat çeken algısal niteliktir. Frekansla ayarlanmış çarpıcı bölge tespiti yöntemi [34], yoğunluk ve parlaklık özelliklerini kullanarak merkez-çevre kontrastını tahmin etmek için frekansa göre ayarlanmış bir yaklaşım sunmaktadır. Yöntemin üstün

olan özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

- Çarpıcı nesne büyük dahi olsa etkin bir şekilde yakalar.
- Tüm belirgin bölgeleri homojen bir şekilde vurgular.
- Belirgin nesnelerin sınırlarını korur.
- Yüksek frekansları gözardı eder.
- Görüntüde çözünürlük kaybına sebep olmaz.

Bu özellikler değişik mesafelerden çekilmiş kızılötesi görüntülerin iyileştirmesi için gereken özelliklere uygundur ve görsel sonuçları mükemmel yakındır. Uygulanan testlerde farklı boyutlardaki hedefler kullanılarak başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

4.2.1 Yöntemin Hesaplanması

LoG [7] metodu yoğunluk değişimlerini ortaya çıkaran etkili bir yöntemdir. Literatürde yoğun olarak kullanılmaktadır. Çarpıcı noktaların tespiti içinde en yaygın kullanılan yöntem Difference of Gaussian (DoG) [7] metodudur. Methodun formülü eşitlik (4.6) ve (4.7) ile verilmiştir.

$$DoG(x, y) = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{\sigma_1^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma_1^2}} - \frac{1}{\sigma_2^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma_2^2}} \right] \quad (4.6)$$

$$DoG(x, y) = G(x, y, \sigma_1) - G(x, y, \sigma_2) \quad (4.7)$$

DoG filtresi eşitliklerden de görüldüğü üzere band geçiren filtredir. Filtrenin band aralığı standart sapmalar (σ_1, σ_2) ile belirlenmektedir. DoG filtrenin bir dar banttı oluşturduğunu düşünelim. $\sigma_1 = \rho\sigma$ ve $\sigma_2 = \sigma$ olduğu durumda $\rho = \sigma_1/\sigma_2$ olacaktır. Bu şekilde çentik filtre elde edilir. Filtrenin bir çok çentik filtrenin toplamından oluştuğu durumda formülü eşitlik (4.8) ve (4.9)'daki gibi olacaktır.

$$\sum_{n=0}^{N-1} G(x, y, \rho^{n+1}\sigma) - G(x, y, \rho^n\sigma) \quad (4.8)$$

$$= G(x, y, \sigma\rho^N) - G(x, y, \sigma) \quad (4.9)$$

$N > 0$ olduğu durumlarda standart sapmalar toplanır. $K = \rho^N$. K oranı ne kadar büyükse o kadar çok bandı geçiren filtre olduğunu gösterir. ρ oranını sabit tutar ve standart sapmaları değiştirerek görüntüde oluşturan frekans bileşenlerinin bir çok noktasından örnek alınabilir. Yapılan araştırmalarda $\rho = 1.6$ olması band geçiren filtreler için en ideal değerdir [34]. Bu uygulama ile farklı frekanslardan veriler elde edildiğinden görüntüdeki farklı boyutlardaki göze çarpan nesnelere ortaya çıkarılır.

Band geçiren filtreden geçebilecek en yüksek frekans (ω_{hc}) σ_2 ile, en düşük frekans (ω_{lc}) σ_1 ile belirlenir. σ_1 sonsuz seçildiğinde görüntüdeki DC elemente çentik filtre uygulanmış olur ve diğer tüm frekans bileşenleri korunur. Yüksek frekanslı gürültüler görüntüden uzaklaştırmak için ayrıca filtrelenmelidir. Yöntem $1/16[1,4,6,4,1]$ 'yi yüksek geçiren filtre olarak kullanır. Bu filtre $\omega_{hc} = \pi/2,75$ değere sahip bir filtre gibi davranır.

Yöntem band geçiren filtrenin alt frekans noktası olarak görüntünün ortalamasını, üst noktası olarak da Gaussian yumuşatmasını kullanır. Bu hesaplamada frekans domeynine geçmeden band geçiren filtre etkisi yaratarak göze çarpan noktaları ortaya çıkarır.

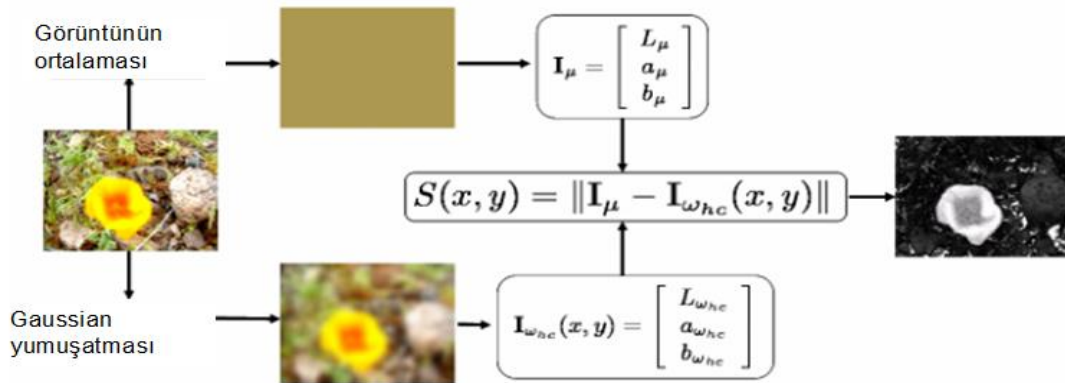
$$S(x, y) = |I_\mu - I_{\omega_{hc}}(x, y)| \quad (4.10)$$

S: Çarpıcı bölgesi belirlemesi yapılmış görüntü

I : Orijinal görüntü

I_μ : Görüntünün ortalaması

$I_{\omega_{hc}}$: Gaussian filtre uygulanmış görüntü



Şekil 4.6 Yöntemin akış diyagramı

Şekil 4.6, denklem (4.10)'da gerçekleştirilen işlemin şematik gösterimidir. Bu şekilde band geçiren filtreye göre çok daha kısa sürede görüntü işlenir ve anlık iyileştirmeye imkân sağlanmış olur. Yöntem herhangi bir alt örnekleme veya parçalama yapmaz görüntüyü bütün olarak ele alır.

4.2.2 Yöntem Uygulanarak Elde Edilen Görüntüler

Gradient minimizasyonunun eksik yönü arka planı yumuşatmış fakat gri bir değerde tutmuştur. Bu yöntem arka planı neredeyse yok etmiştir. Eğer yaklaşan bir hedefi takip ediyorsak yöntem farklı büyüklükteki hedefleri rahatlıkla belirginleştirebilmektedir.

Ayrıca bu yöntem görüntü çözünürlüğüne göre değişmekle birlikte saniyede yaklaşık 200 görüntü karesini işleyebilmektedir. En önemli avantajlarından biri de budur. Gerçek zamanlı uygulamalarda rahatlıkla kullanılabilir.

Yöntem Şekil 4.7'deki görüntüdeki tuz biber gürültünü yok etmiş, arka planı tamamen sadeleştirmiştir. Hedeflerin şekillerinde herhangi bir bozulma yaşanmamıştır. Görüntünün Çözünürlüğü 360x 240'tür, görüntü 1.8 ms'de işlenmiştir.



(a)

(b)

Şekil 4.7 FAÇBT yöntemi ile elde edilen kızılötesi görüntü (Deneme:1) (a) Orjinal görüntü [8] (b) Yöntem ile elde edilen görüntü

Şekil 4.8'deki arka plan neredeyse tamamen sadeleştirilmiş, hedef çok küçük olmasına rağmen net bir şekilde ortaya çıkarılmıştır. Görüntü çözünürlüğü 290x210'dır, 1.6ms'de işlenmiştir.



(a)

(b)

Şekil 4.8 FAÇBT yöntemi ile elde edilen kızılötesi görüntü (Deneme:2) (a) Orjinal görüntü (b) Yöntem ile elde edilen görüntü

Şekil 4.9'da farklı bölgelerdeki hedefler net bir şekilde ortaya çıkarılmış, arka plan çok karışık ve yoğun değişimlere sahip olmasına rağmen yumuşatılmış, hedeflerin şekillerinde herhangi bir kayıp yaşanmamıştır. Görüntü çözünürlüğü 320x240'tır, 1.9 ms'de işlenmiştir.

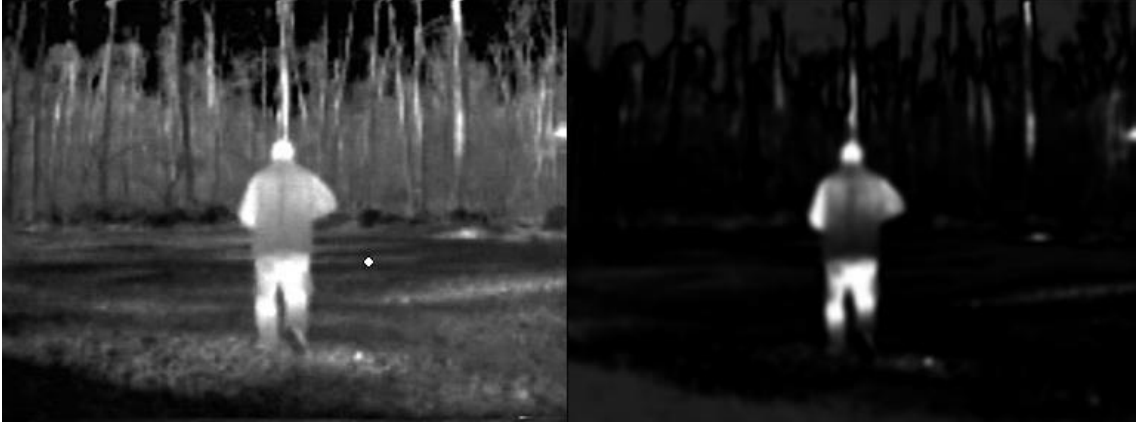


(a)

(b)

Şekil 4.9 FAÇBT yöntemi ile elde edilen kızılötesi görüntü (Deneme:3) (a) Orjinal görüntü (b) Yöntem ile elde edilen görüntü

Şekil 4.9'un diğer görüntülerden farkı hedefin büyük olmasıdır. Arka plan yüksek oranda yumuşatılmış, hedef başarılı bir şekilde ortaya konulmuştur. Görüntünün çözünürlüğü 320x240, işlem süresi 1.3 ms'dir.



(a)

(b)

Şekil 4.10 FAÇBT yöntemi ile elde edilen kızılötesi görüntü (Deneme:4) (a) Orjinal görüntü (b) Yöntem ile elde edilen görüntü



KIZILÖTESİ GÖRÜNTÜDE HEDEF TAKİBİ

Hedef takibi, cismin konumunu ardışık video kareleri boyunca izlemektir. Kızılötesi hedef takibi askeri hedef takibinin önemli bir parçasını oluşturur. Herhangi bir aydınlatma kaynağına ihtiyaç duymaz. Yayım yapmadan tespit imkânı sağladığı için kullanan taraf mevkisini karşı tarafa intişar etmez. Gelişen teknoloji ile maliyeti diğer askeri sistemlere nazaran düşüktür, boyutları küçüktür ve güvenilirliği yüksektir. Savaş gemilerinde, uçaklarda, zırhlı kara vasıtalarında kullanıldığı gibi küçük ve portatif olanlarını personel üzerinde rahatlıkla taşıyabilir.

Vasıtaya konuşlu optik görüntüleme sistemleri günümüzde gündüz kullanımı için yüksek çözünürlüklü kamera, gece kullanımı için termal kamera ve hedefin mesafesinin ölçülmesi için lazer mesafe bulucudan oluşmaktadır. Hedefin mesafesi belirlendiğinde, sürati de belirlenebilir ve bu bilgi hedefe karşı tedbirde ihtiyaç duyulan ana bilgidir.

Tek hedef takip sistemleri, yaygın olarak atış kontrol sistemlerinde kullanılır. Çoklu hedef takip sistemleri ise keşif ve gözetleme maksadıyla kullanılır. Tez kapsamında tek hedef takibi konusu işlenmiştir.

Hedef takip algoritmasının başarısı aşağıda sıralanan zorlukların üstesinden gelme oranıyla değerlendirilir.

- Boyut değişimi (Scale change)
- Değişken aydınlatma (Variable illumination)
- Kısmi engelleme (Partly occulution)
- Hedefin tamamen engellenmesi (Occulution)

- Gürültü (Clutter)
- Değişken nesne yapısı
- Gerçek zamanlı işleme

Önerilen hedef takip algoritmalarının performansı zorlu gerçek IR videolar ile test edilmiştir. Senaryolar hedef hareketi, değişken arka plan, değişen boyut, cisimde açılmal hareketler, duruş değişimi, gizlenme, benzer hedef tarafından engellenme vb. zorlukları içermektedir.

5.1 Kovaryans Tanımlayıcı İle Hedef Takibi

Hedef tanıma alanında çeşitli yaklaşımlar mevcuttur. Kovaryans Tanımlayıcı özelliklere dayalı bir tanımlayıcı olarak F. Porikli vd. [35] tarafından önerilmiştir. İlgilenilen nesne, bölge ya da görüntü hakkında olabildiğince fazla bilgi içerecek özellikler çıkarılması gerekir. Birden fazla istatistikî ve uzamsal bilgiyi bir arada kullanmaya imkân tanır. Birçok özelliği bir arada kullanması tanımlayıcıyı diğer yöntemlere göre avantajlı kılmıştır. Yöntem, bir bölgenin istatistikî ve uzamsal özellik matrisinden elde edilen kovaryans matrisinin, seçilen bölgeyi temsil edebileceği düşüncesi ile gerçekleştirilmiştir. CD hedef tespiti, yüz tanıma [35] ve hedef izleme [36] gibi alanlarda kullanılmıştır. Yöntem eğitim ve test aşamalarından oluşur. Eğitim aşamasında, hedef bölge ya da nesnenin her bir pikselinden elde edilen özellikler sütun vektörü haline getirilerek özellik matrisi (feature image) oluşturulur. Oluşturulan matrisin kovaryansı hesaplanıp hedefi temsilen kaydedilir. Oluşturulan matrislerin, hedefin tanımlayıcı matrisi ile benzerlikleri hesaplanır ve sorgu görüntüsünde hedefin olup olmadığına karar verilir.

Kovaryans matrisini tanımlayıcı olarak kullanmanın birçok avantajı vardır. Bir bölgeden çıkarılan tek bir kovaryans matrisi, o bölgeyi farklı poz ve görüş açılarında dahi tespit etmek için genellikle yeterlidir. Hedefin yarısının görüldüğü durumlarda dahi hedefi tanımlayabilmektedir. Bu özelliği hedef duruş pozisyonunu değiştirirse, yarısı engel arkasında kalsa dahi takip edebilme imkânı verir.

Kovaryans matrisi, birbiriyle ilintili olan çeşitli özellikleri harmanlamak için doğal bir yoldur. Matrisin köşegenleri, her bir özellik değişimi (varyans), diğer bileşenleri ise

korelasyonu vermektedir. Kovaryans hesabı sırasında kullanılan ortalama alan filtre (average filter) yardımı ile gürültü giderilmektedir. Bu işlem ayrıca aydınlatma değişiminin etkisini de azaltır.

Kovaryans matrisleri diğer tanımlayıcılara göre daha düşük boyutludur. Kovaryans tanımlayıcı (C_R) içerisinde yalnızca $(d^2 + d)/2$ farklı değer vardır. Oysa aynı bölge, ham matris ile temsil edilmek istenseydi, piksel sayısının özellik sayısı ile (d) çarpımı kadar olacaktır.

R bölgesinin kovaryans matrisi, bölgenin piksel sayısı ve piksellerin sırası ile alakalı doğrudan bilgi içermemektedir. Bu da kovaryans matrisinin farklı görüntülerdeki ölçek (scale) ve dönme (rotation) değişimlerinden etkilenmemesi anlamına gelir. Yaklaşan ve uzaklaşan hedeflerin boyutlarında ciddi değişimler yaşanacaktır. Ölçekten bağımsızlık (scale invariance) hedefi yaklaşırken ve uzaklaşırken takip edebilme imkânı tanımaktadır. Aydınlatmadan bağımsızlık özelliği seçilen özelliklere göre değişiklik gösterecektir. Uygulamalarda seçtiğimiz özellikler tanımlayıcının aydınlatmaya yarı duyarlı olmasını sağlar.

Hedefin tamamen engel arkasında kalmasını müteakip ortaya çıkması durumunda tekrar takip edilmesi, arama penceresinin büyüklüğüne bağlıdır. Arama penceresinin büyük olmasının dezavantajı ise algoritmayı yavaşlatmasıdır. Gerçekleştirilen uygulamalarda arama bölgesi büyük tutulmuştur fakat arama birer piksel atmalı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu uygulama yöntemi, hesaplamada her noktayı aramaya göre yaklaşık 2 kat daha hızlı olmasını sağlar.

5.1.1 Yöntemin Hesaplanması

Tanımlayıcılar hedefi tanımlamak maksadıyla hedefe özgü, onu arka plandan ve gürültüden ayıracak özellikler kullanılmalıdır. Algoritmanın başarısı ve yanlış tanımlamaya karşı direnci seçilen özelliklere bağlıdır. Ayrıca bu özellikler kolay ve hızlı hesaplanabilir olmalıdır. Önerilen teknikte yatay ve dikey yönde birinci (dx , dy) ve ikinci türev (dx^2 , dy^2), mevki bilgisi (x , y) ve pikselin yoğunluğu (I) kullanılmıştır. Bu yedi özellik ile referans hedef karakterize edilmiştir. Özellik sayısı isteğe göre artırılabilir veya

azaltılabilir. Özelliklerin arttırılması durumunda hesaplama süresi artacak ve algoritma yavaşlayacaktır.

$$F(x) = \phi(I, x, y, dx, dy, dx^2, dy^2) \quad (5.1)$$

ϕ : Özellikleri matris haline dönüştürür

I : Pikselin yoğunluk değeri

x : Pikselin x düzleminde ki koordinat değeri

y : Pikselin y düzleminde ki koordinat değeri

dx : Pikselin x düzlemindeki birinci türevi

dy : Pikselin y düzlemindeki birinci türevi

dx^2 : Pikselin x düzlemindeki birinci türevi

dy^2 : Pikselin y düzlemindeki birinci türevi

Eşitlik (5.1) ile özellik matrisini oluşturulur. Matrisin boyutu "W x H x d" (En x Boy x Özellik sayısı) kadar olacaktır. Elde edilen değerlerin ortalamadan olan farklarının kovaryansı aldığında bölge kovaryans tanımlayıcı ile yeniden tanımlanmış olacak ve yeni matrisin satır ve sütun sayısı özellik sayısı kadar olmuş olacaktır. Tanımlanan bölge ne kadar büyük olursa olsun bu işlem sonucunda elde edilen matrisin boyutu sabittir. Bu durum karşılaştırmada kolaylık sağlar.

$$C_R = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (z_k - \mu)(z_k - \mu)^T \quad (5.2)$$

R : Seçilen bölge

z_k : R içindeki nokta

μ : Özelliğin ortalaması

n : Toplam piksel sayısı

5.1.2 Bölgesel Benzerlik Ölçeği

Birçok makine öğrenme algoritması Euclidean uzayını kullanmasına rağmen bu tez çalışması kapsamı için uygun değildir. W. Fröstner ve B. Moonen [37] kovaryans matrislerinin benzeşmezliklerini ölçmek için bir uzaklık metriği önermişlerdir. Bu çalışmada kullanılan yöntem ile iki adet kovaryans matrisinin birbirlerine benzememe oranı bulunmaktadır.

$$\rho(C_1, C_2) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \ln^2 \lambda_i(C_1, C_2)} \quad (5.3)$$

$\lambda_i(C_1, C_2)$: Genelleştirilmiş öz değer

Arama penceresi içerisinde bulunan tüm bölgeler için bu değer hesaplanır, referansa en çok benzeyen hedefin yeni mevkisi olur.

5.1.3 Deneysel Sonuçlar

Önerilen hedef takip sistemlerinin performansı zorlu gerçek IR videolar ile test edilmiştir. Kullanılan videolar Linköping Thermal IR (LTIR) data set [38] ve OTCBVS benchmark dataset collection [39]'dan oluşmaktadır. Önerilen teknik birçok farklı senaryoda test edilmiştir. Senaryolar hedef hareketi, değişken arka plan, değişen boyut, açısal hareketler, duruş değişimi, benzer hedef tarafından engellenme vb. zorlukları içermektedir.

Renkli görüntü kızılotesi görüntüye göre çok daha fazla bilgi içerir. Bu sebeple tanımlayıcılar renkli görüntüde daha iyi çalışır. Kovaryans tanımlayıcı da renkli görüntüde daha başarılıdır. Yapılan uygulamalar ile kızılotesi görüntülerdeki başarıları test edilmiştir.

Sonuçları Şekil 5.1 ile sunulan senaryoda, hedef benzeri gürültü ve kısmi engelleme mevcuttur. Takip edilen kişiye farklı bir kişi arkadan yetişerek, kameraya yakın yönden hedefi engelleyecek şekilde geçiş yapmaktadır. Yöntem ile hedef başarıyla takip edilmiştir. Hedef birkaç kez küçük ağaçlar tarafından engellenmekte bu durum takipte herhangi bir sıkıntıya sebep olmamaktadır. Başarılı olmasındaki sebeplerden biri de arka planın sade ve neredeyse tamamen siyah olmasıdır. Görüntü çözünürlüğü 640x480, her bir karenin işlenme süresi 0.4 saniyedir.



(a)

(b)

(c)

Şekil 5.1 Kızılötesi hedef takip sonuçları (Deneme:1) (a) Video karesi: 30
(b) Video karesi: 152 (c) Video karesi: 208

Sonuçları Şekil 5.2 ile sunulan senaryoda köpek takip edilmektedir. Bu videoda, köpek bir kaç kez etrafında dönmekte, kameraya doğru yaklaştığından boyutu büyümekte ve bu nedenle görünüşü değişmektedir. Aynı zamanda, kaldırımın renginin değiştiği noktalarda arka plan değişimi mevcuttur. Tüm bahsedilen değişikliklere rağmen hedef başarılı olarak takip edilmektedir. Çalışmada kullanılan görüntü çözünürlüğü 640x480, her bir karenin işleme süresi 0.34 saniyedir.



(a)

(b)

(c)

Şekil 5.2 Kızılötesi hedef takip sonuçları(Deneme:2) (a) Video karesi: 30
(b) Video karesi: 106 (c) Video karesi: 176

Sonuçları Şekil 5.3 ile sunulan senaryoda bir kişi ağaçların arasında ilerlemektedir. Arka plan karışıktır. Kişinin tamamıyla ağaçların arkasında kaldığı durumlar oluşmuştur. Boyut ve aydınlatma sabittir. Hedef başarılı bir şekilde takip edilmiştir. Görüntü çözünürlüğü 320x240, her bir karenin işleme süresi 0.34 saniyedir.



(a)

(b)

(c)

Şekil 5.3 Kızılötesi hedef takip sonuçları (Deneme:3) (a) Video karesi: 5
(b) Video karesi: 37 (c) Video karesi: 256

Test edilen senaryolar başarılı olmuş fakat boyutun ve arka planın değişmesi durumundaki senaryolarda başarısız olunmuştur.

5.2 Farksal Çekirdek Kovaryans Tanımlayıcı İle Hedef Takibi

Kovaryans tanımlayıcı özellikleri incelendiğinde üstün bir tanımlayıcıdır fakat yalnızca piksellerin doğrusal bağlantılarına göre işlem yapar. Çok daha zorlu senaryolar için daha üstün bir tanımlayıcıya ihtiyaç duyulmaktadır. Örnek olarak daha büyük boyut değişimlerine, dönme etkilerine ve aydınlatma etkilerine karşı dirençli bir algoritmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Farksal çekirdek kovaryans tanımlayıcı, kovaryans tanımlayıcının iki ilave işlemden geçirilerek daha üstün hale getirilmiş şeklidir. İlk olarak her bir pikselin özellikleri arasındaki farklar bulunarak bu farklardan yeni bir kovaryans matrisi oluşturulur. Bu değerler ikincil olarak çekirdek fonksiyonlarından geçirilerek doğrusallıktan kurtarılır.

5.2.1 Yöntemin Hesaplanması

Piksele ait bir özellik değeri, incelenilen bölgedeki diğer piksellerin aynı özelliklerine ait değerler ile olan farklılığını bulmaktadır. Bu farklılıklar ile özellik matrisini oluşturulur. Pikselin diğer pikseller ile olan farklılığı pikselin incelenilen özelliğini daha iyi tanımlayacağı düşüncesi ile yapılmıştır.

$$F(x) = \phi(I, x, y, dx, dy, dx^2, dy^2) \quad (5.4)$$

$$G_R = \Phi_1^m \sum_i^n \sum_j^m F_{r.} - F_{i,j} \quad (5.5)$$

Oluşturulan farksal kovaryans matrisine çekirdek fonksiyonlarından uygun olanı uygulanırsa doğrusallıktan da kurtarılır. Sonuçları verilen denemelerde Gaussian çekirdek kullanılmıştır. Diğer çekirdek fonksiyonları da kullanılmış ve yakın başarıda sonuçlar elde edilmiştir. Aşağıda yaygın olarak kullanılan çekirdek fonksiyonlarının eşitlikleri verilmiştir.

Gaussian Çekirdek

$$K(x_i, x_j) = (2\pi)^{-\sigma/2} \exp\left(-\frac{1}{2} \|x_i - x_j\|^2\right) \quad (5.6)$$

Üstel Çekirdek

$$K(x_i, x_j) = \exp\left(-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\sigma}\right) \quad (5.7)$$

Logaritmik Çekirdek

$$K(x_i, x_j) = -\log(\|x_i - x_j\|^d + 1) \quad (5.8)$$

Cauchy Çekirdek

$$K(x_i, x_j) = \frac{1}{\frac{1 + \|x_i - x_j\|^2}{\sigma^2}} \quad (5.9)$$

Yeni oluşturulan özellik matrisi klasik kovaryans tanımlayıcıda olduğu gibi kovaryansı tanımlanır. Oluşan matrisin çapraz elemanı varyansı içerir ve çapraz olarak simetriktir. Bölgesel benzerlik ve diğer hususlar klasik kovaryans tanımlayıcıda olduğu gibi eşitlik 5.2 ve 5.3 ile hesaplanmaktadır.

5.2.2 Deneysel Sonuçlar

Şekil 5.4'te seyisi içeren videoda kişinin el ve kolları hareket etmekte ve duruş açısı değişmektedir. Arka plan göreceli olarak sadedir ve aydınlatma değişimi yoktur. İlk görüntü karesinde iki farklı arka plan mevcuttur ve hedefin ilerlemesiyle değişmektedir.

Hedef ilerledikçe boyutu küçülmekte ve daha fazla arka plan hedef çerçevesine girmektedir. Ayrıca atta hedef çerçevesi içerisine girmektedir. At yüksek oranda ilgi alanına girdiğinde hedef takipten düşmüştür.



(a)

(b)

(c)

Şekil 5.4 Kızılötesi hedef takip sonuçları (Deneme:4) (a) Video karesi: 30
(b) Video karesi: 60 (c) Video karesi: 94

Şekil 5.5'da oyuncak helikopter hızlı ve farklı yönlerde hareket etmektedir. Hedef küçük bir bölge içerisinde takip edilmektedir. İlk görüntü karesinde arka plan sadedir. Uzaklaşmayla boyutu yüksek oranda küçülür ve aynı oranda arka plan çerçeveye girer. Hedef ağaçların bulunduğu bölgeye kadar takip edilmiştir.



(a)

(b)

(c)

Şekil 5.5 Kızılötesi hedef takip sonuçları (Deneme:5) (a) Video karesi: 3
(b) Video karesi: 32 (c) Video karesi: 87

Şekil 5.6'de diğer videolardan farklı olarak hedef kameraya doğru yaklaşmaktadır. Bu nedenle boyutu büyümekte ve çerçevede arka plan daha az yer tutmaktadır. Senaryo duruş değişimini de içermektedir, arka plan sadedir, aydınlatma değişimi yoktur. Hedef başarıyla takip edilmiştir.



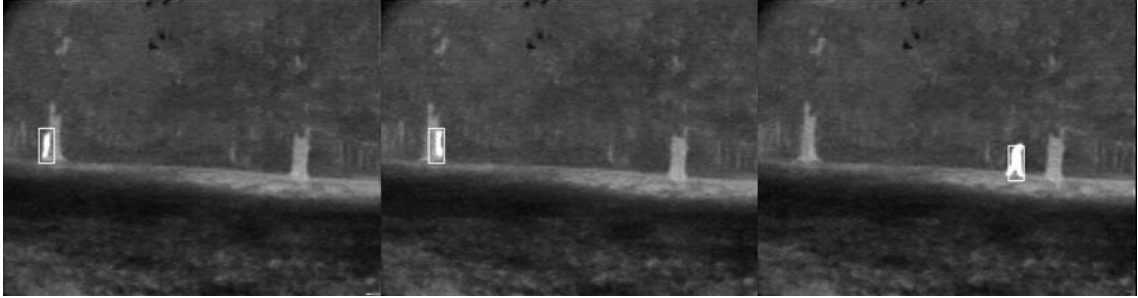
(a)

(b)

(c)

Şekil 5.6 Kızılötesi hedef takip sonuçları (Deneme:6) (a) Video karesi: 4
(b) Video karesi: 64 (c) Video karesi: 157

Şekil 5.7'de bir kişi ağaçların arasında ilerlemektedir. Arka plan karışıktır. Kişinin tamamıyla ağaçların arkasında kaldığı durumlar oluşmuştur. Boyut ve aydınlatma sabittir. Önerdiğimiz teknik hedefi başarıyla takip etmiştir.



(a)

(b)

(c)

Şekil 5.7 Kızılötesi hedef takip sonuçları (Deneme:7) (a) Video karesi: 30
(b) Video karesi: 38 (c) Video karesi: 190

Şekil 5.8'deki senaryoda hedef benzeri gürültü mevcuttur. Takip edilen kişiye farklı bir kişi arkadan yetişmekte, kameraya yakın yönden hedefi engelleyecek şekilde geçiş yapmaktadır. Hedef başarıyla takip edilmiştir.



(a)

(b)

(c)

Şekil 5.8 Kızılötesi hedef takip sonuçları (Deneme:8) (a) Video karesi: 30
(b) Video karesi: 152 (c) Video karesi: 208

Farksal çekirdek kovaryans tanımlayıcı doğrusal olmayan bir tanımlayıcıdır. Bu özelliği ile doğrusal olmayan piksel bağıntılarının iyi bir şekilde tanımlar. Hedef takibinin klasik sorunlarını içeren videolar ile performansı test edilmiş ve başarılı sonuçlar elde etmiştir. Geliştirilmesi gereken en önemli yönü ise hızıdır. Klasik kovaryans tanımlayıcı anlık takip özelliğine sahipken eklentiler bu özelliği kaybetmesine neden olmuştur.

5.3 Gradient Minimizasyonu Yöntemi Uygulanmış Kızılötesi Videoda Geliştirilmiş Çekirdek Kovaryans Tanımlayıcı İle Hedef Takibi

Geliştirilen farksal çekirdek kovaryans, hedef tanımlama ve takipte başarılı olmasına rağmen anlık hedef takibi gerçekleştirilemeyecek kadar yavaştır. Klasik kovaryans tanımlayıcı da pikseller arasında yalnızca doğrusal bir ilişki kurar. Kızılötesi görüntüde hedef arka plandan daha yüksek yoğunluk değerine sahiptir. Doğrusal olmayan bir işlemden geçirildiğinde daha iyi sonuçlar vermektedir. Bu durum kovaryans tanımlayıcının çekirdek fonksiyonlarıyla birlikte kullanılmasının daha doğru ve etkili olacağını göstermektedir.

Klasik kovaryans tanımlayıcı, özelliklerin ortalamadan olan farklarını hesaplayarak bu değerler ile özellik matrisini oluşturur. Bu durum belirli oranda gürültüyü giderir ve aydınlatma farklılıklarına karşı dirençli olmasını sağlar, fakat işlem yükünü artırır. Klasik kovaryans tanımlayıcının bu özelliği çıkarılarak bölüm 3'de kızılötesi görüntüde başarılı sonuçlar elde etmiş iki yöntemin eklenmesiyle hedef takibinin daha başarılı olacağı değerlendirilmiştir.

Önerilen yöntemde ortalamadan farkını alma işlemi çıkarılır, bunun yerine görüntü iyileştirmeye yönelik ön işlem konulur. İkinci değişikliğimiz ise kovaryans matrisi elde edildikten sonra matris değerlerine çekirdek fonksiyonlarının uygulanmasıdır. Bu işlemi en sonda yapmamızın sebebi kovaryans matrisinin boyutunun küçük ve sabit olmasıdır. Daha önceki adımlarda gerçekleştirilmesi durumunda işlem yükü görüntünün boyutu ile orantılı olarak artacaktır.

5.3.1 Yöntemin Hesaplanması

Gradient minimizasyon yönteminin hesaplanması Bölüm 3' te açıklandığı şekilde gerçekleştirilir. İyileştirilmiş görüntüde özellik matrisi eşitlik (5.1) ile hesaplanır. Matrisin kovaryansı eşitlik 5.10 ile gerçekleştirilir. Bu hesaplamada klasik yöntemden farklı olarak ortalama alma yoktur.

$$C_R = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (z_k)(z_k)^T \quad (5.10)$$

Elde edilen kovaryans matrisine eşitlik (5.5-5.8)'de belirtilen çekirdek fonksiyonları uygulanır.

5.3.2 Deneysel Sonuçlar

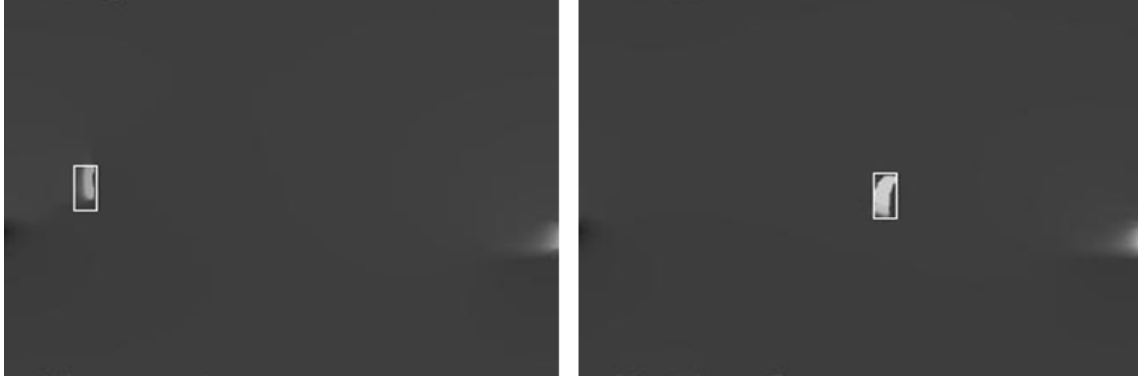
Şekil 5.9'de bir kişi ormanda dolaşmaktadır. Şekil 5.11.a'daki orijinal video karesi karışık arka plana sahiptir. Algoritma, arka planı yok eder ve hedefin şeklini bozmadan ortaya çıkarır. Hedefin çoğunluğu ağaç arkasında kaldığı durumda dahi hedefi takipte sıkıntı yaşanmamıştır. Hedef iki kez tamamen ağaçların arkasında kalmış, çıkmasını müteakip algoritma takip etmiştir. Videoda ölçek ve aydınlatma değişimi yoktur. Algoritma, videonun sonuna kadar hedefi takip etmiştir.



(a)



(b)

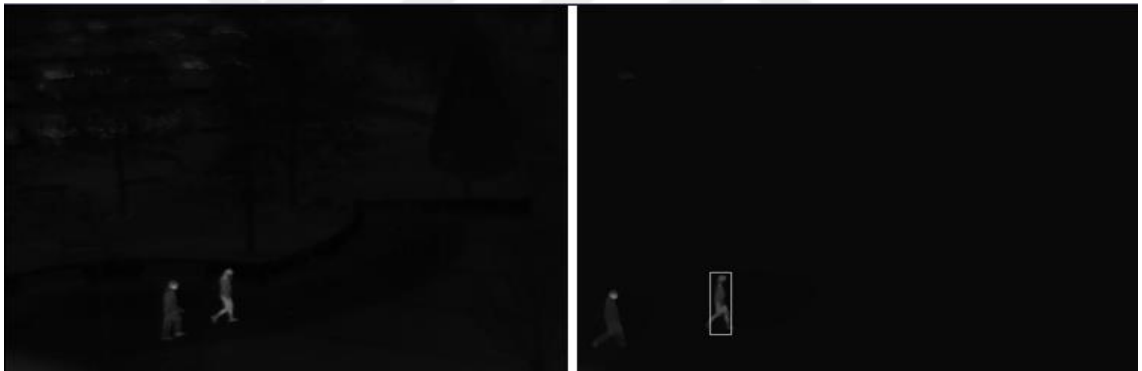


(c)

(d)

Şekil 5.9 Kızılötesi hedef takip sonuçları (Deneme:9) (a) Orijinal görüntü, video karesi:97 (b) Video karesi: 31 (c) Video karesi:38 (d) Video karesi:253

Şekil 5.10'de orijinal video karesi sade bir arka plana sahiptir, bu nedenle küçük düzgünleştirme parametresi kullanılmıştır. Hedef kısmen ağaçlar tarafından engellenmiştir. Hedef, hedef benzeri gürültü tarafından tamamen engellenmiş olmasına rağmen, algoritma videonun sonuna kadar hedefi takip etmiştir.



(a)

(b)

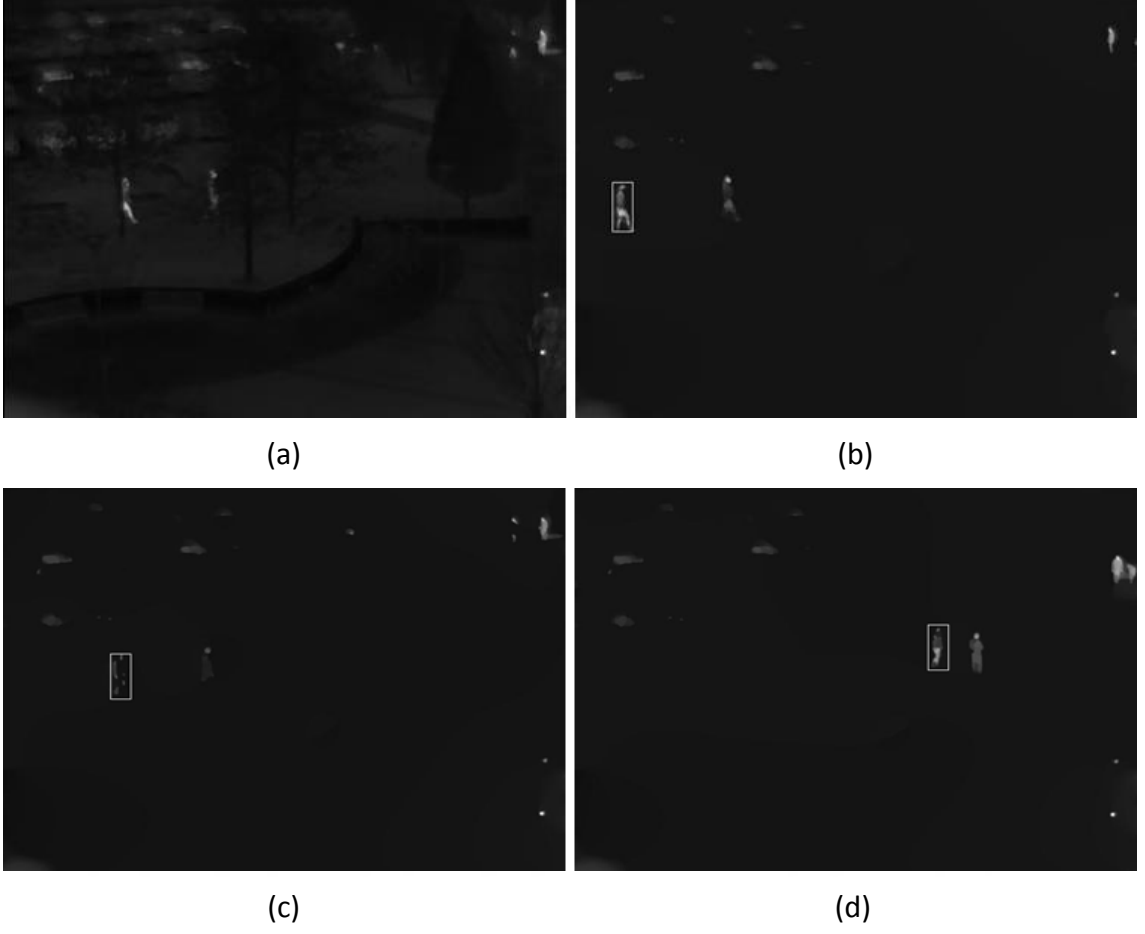


(c)

(d)

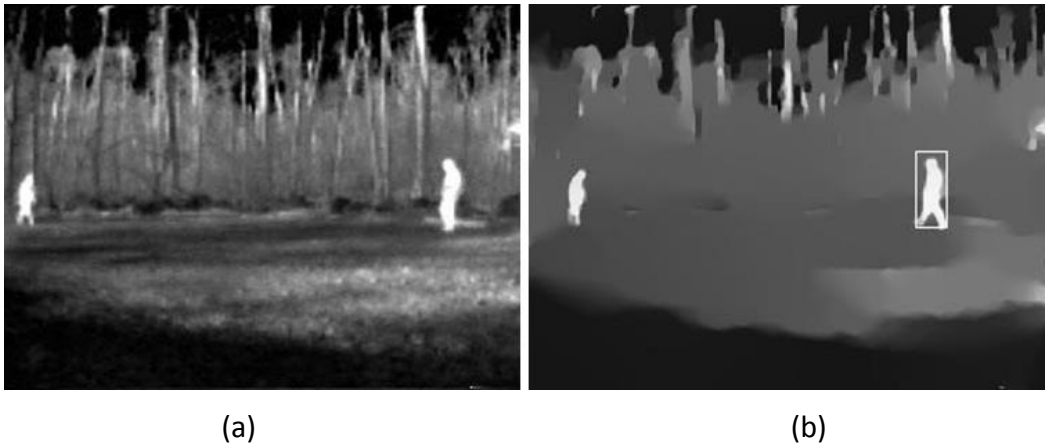
Şekil 5.10 Kızılötesi hedef takip sonuçları (Deneme:10) (a) Orijinal görüntü, video karesi:114 (b) Video karesi: 64 (c) Video karesi:195 (d) Video karesi:299

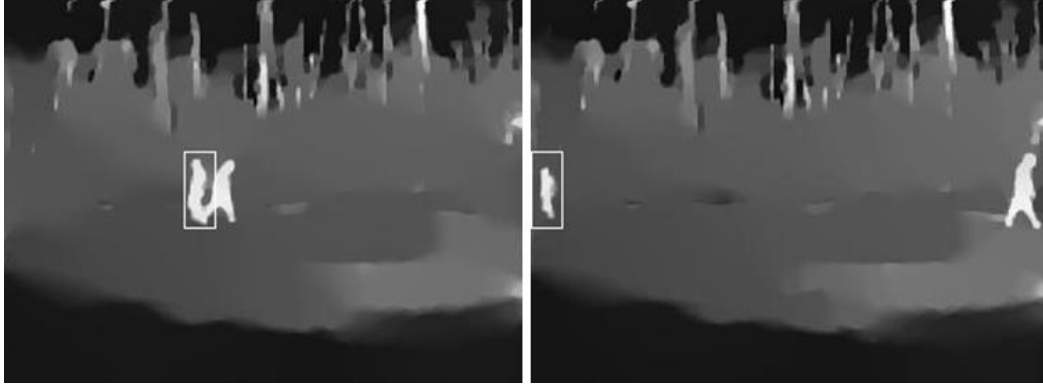
Şekil 5.11'te İki kişi parkta dolaşmaktadır. Gürültü oranı düşüktür. Hedef başarıyla takip edilmiştir.



Şekil 5.11 Kızılötesi hedef takip sonuçları (Deneme:11) (a) Orijinal görüntü, video karesi:78 (b) Video karesi: 2 (c) Video karesi:72 (d) Video karesi:552

Şekil 5.12'te orjinal görüntüde hedefin çevresinde yoğun gürültü mevcuttur. Yapılan önışleme adımı ile gürültü giderilmiştir. Hedef, hedef benzeri gürültü tarafından tamamen engellenmiştir. Yöntem başarıyla hedefi takip etmiştir.





(c)

(d)

Şekil 5.12 Kızılötesi hedef takip sonuçları (Deneme:12) (a) Orijinal görüntü, video karesi:78 (b) Video karesi: 2 (c) Video karesi:72 (d) Video karesi:552

5.4 Frekansla Ayarlanmış Çarpıcı Bölge Tespiti Uygulanmış Kızılötesi Videoda Kümülatif Dairesel Şablon İle Hedef Takibi

Önerdiğimiz yöntemde önceliğimizden ilki saniyede işlenen görüntü sayısını maksimize etmektedir. Bu maksatla hedefin arandığı bölge tabu arama yöntemi ile optimum hale getirilir ve tanımlama için mümkün olduğunca az özellikle az işlem yapılır. Diğer önceliklerimizi şu şekilde sıralayabiliriz; yaklaşan ve uzaklaşan hedeflerde yaşanan ölçek değişimi için değişken ilgi bölgesi (Region of Interest) oluşturmak, ilgi bölgesinde ve arama bölgesinde mümkün olduğunca az gürültü bulunmasını sağlamak dairesel şablon ile dönüşten bağımsız hale getirmek.

Yöntem yalnızca uzamsal bilgileri kullanır. Hedefin uzamsal bilgilerini ortaya çıkaran frekansla ayarlanmış çarpıcı bölge tespiti yöntemi ön işlem olarak kullanılmıştır. Yöntem hakkındaki ayrıntılar Bölüm 3'te işlenmiştir. Yöntem temel kenarları korur, arka planı yumuşatır, hedefin uzamsal özelliklerini ortaya çıkarır.

Hedef tanımlamak maksadıyla kullanılan şablonun dairesel oluşu dönüşten bağımsız olmasına imkânı vermektedir. Şablon iç içe geçmiş, farklı yarıçaplarda birçok dairesel alandan meydana gelmektedir. Bu sebeple merkezdeki alan kümülatif olarak en yüksek en dıştaki ise en düşük kat sayıya sahip olacaktır. Hedef iç içe geçmiş dairelerin sahip olduğu değerlerin toplamı ile tanımlanır.

İlk video karesinde hedef boyutuyla uyumlu dairesel şablon ile hedef tanımlanır. Hedef uzaklaşır/yakınlaşırsa yani boyutu değişirse bununla uyumlu olarak şablonun boyutu değişir ve hedef yeniden tanımlanır.

Hedef araması, arama bölgesindeki her nokta için ayrı olarak icra edilir ve en benzer nokta hedefin yeni mevkidir. Arama bölgesi büyük tutulduğunda işlemler uzun sürecektir, küçük tutulduğunda ise hedef hızlıysa arama bölgesinin dışına çıkacağından hedef takipten düşer. Aramanın optimum olması gerekir. Yöntemde arama bölgesini büyük tutulmuş fakat aramada kullanılacak noktalar tabu arama algoritmasıyla belirlemiştir. Optimum bir arama icra edileceğinden zaman kaybı minimuma indirilmiştir.

5.4.1 Yöntemin Hesaplanması

5.4.1.1 Dairesel Kümülatif Şablonun Oluşturulması

Tanımlayıcı, hedefe özel bazı özellikleri kullanmalıdır. Takibin başarısı esas olarak seçilen özelliklere bağlıdır. Arka plan gürültüsü, Şablonun nesneyi tanımlamasındaki ana zorluktur. Hedef daire şeklinde değilse şablonun içerisine arka planın girişimi olur. Önışlem arka plan gürültüsünü azaltır ve hedefin tanımlanması için uygun koşulları sağlar.

Şablon düzenli aralıklarla büyüyen dairelerden oluşur. Daireler, içinde kalan piksellerin toplamı ile tanımlanır. Nesne, şablondaki tüm dairelerin toplamı ile tanımlanır. Bu işlem sonucunda, merkeze yakın olan pikseller yüksek, dıştaki pikseller ise daha düşük öneme haiz olur. Eşitlik 4.2 ve 4.3 bu sürecin matematiksel temsidir.

$$I_r = \sum_y \sum_x I(x, y) \quad (5.11)$$

$$K_n = \sum_{r=k}^{kn} I_r \quad (5.12)$$

I = Orijinal görüntü

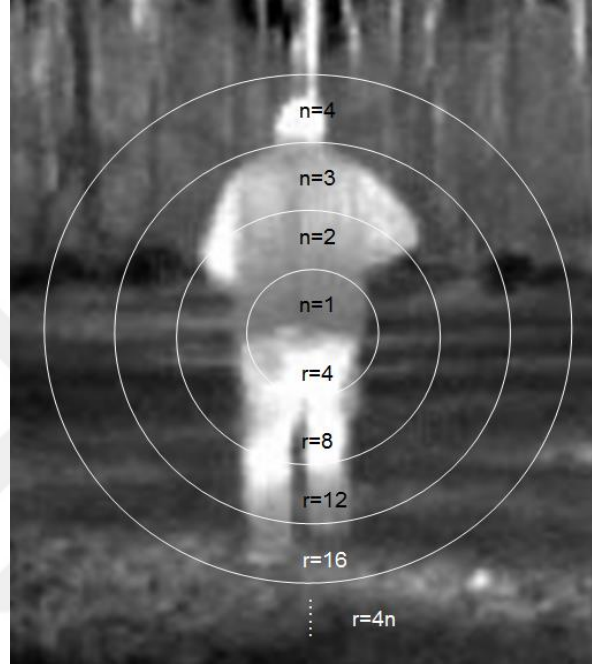
I_r = r yarıçapı içerisinde kalan alanın toplam yoğunluk değeri

k = Aralık değeri

$n =$ Daire sayısı

$K_n =$ Dairelerin kümülatif toplamı

Şekil 5.13 yarıçap büyüklükleri 4 piksel aralıkla büyüyen şablonu temsil eder. İlk yarıçap 4 pikselden oluşur. Diğer yarıçaplar 4 piksel aralıkla büyür. Şekil 5.13'in çözünürlüğü yüksek olduğundan dolayı 16 daire ile tanımlanmıştır, daireler yalnızca temsili gösterimdir.



Şekil 5.13 Hedefin daireler ile gösterimi

Hedef merkezden başlayarak dairesel aralıklarla yoğunlukta oluşan değişimine istinaden görüntüyü tanımlar. Hedef uzaklaşıyor veya yakınlaşıyorsa hedefin video karesinde kaplayacağı alan mesafenin karesiyle ters orantılı olarak değişir. Hedef çok küçüldüğünde gürültüye kayma ihtimali artar. Hedef büyüdüğünde ise hedef üzerinde gezinir. Her iki istenmeyen durumu gidermek maksadıyla eşitlik (5.13) belirtilen orana istinaden şablonun boyutu ayarlanarak, referans hedef tekrar tanımlanır. Bu şekilde hedefin boyutunda büyük değişimler olsa dahi rahatlıkla takip edilmektedir.

$$P = \left(\frac{kn}{k(n-1)} \right)^2 \quad (5.13)$$

$P =$ Ardışık iki dairesel alan arasındaki oran

$k =$ Aralık değeri

$n =$ Daire numarası

P , boyut değişimi için ana göstergedir. Bu oran son daire ile bir önceki daire arasında hesaplanır. Son çemberdeki değişiklik P oranını aşarsa, şablon boyutu bir adım küçülür ve referans nesne yeniden tanımlanır. P oranı, yeni boyut için yeni bir değer alır. Bu işlem, hedefin boyutu en küçük daireye küçülene dek tekrarlanır. Nesne yaklaştığında boyutu büyüyor. Bu nedenle referansı yeniden tanımlamalıyız. Bu adımda farklı olarak, yeniden tanımlanan hedefin kümülatif değeri de takip maksadıyla P oranında arttırılır.

5.4.1.2 Tabu Arama Algoritması

Hedefi aradığımız bölge, yerel bir arama bölgesidir. Yalnızca bu bölgede arama yapmak bütün görüntüyü aramaktan daha hızlıdır. Hedef hızlı olduğunda, arama bölgesi hedefi izlemek için yeterince büyük olmalıdır. Ancak büyük arama bölgesi, algoritmayı yavaşlatır. Arama tekniği, gerçek zamanlı izleme özelliğini koruyarak büyük arama bölgesinde hızlı çözümün elde edilmesini sağlar.

Tabu bellek tabanlı yerel optimizasyon yöntemidir. Temel tabu terimleri ve bunların yöntemde nasıl kullanıldığı aşağıda anlatılmıştır.

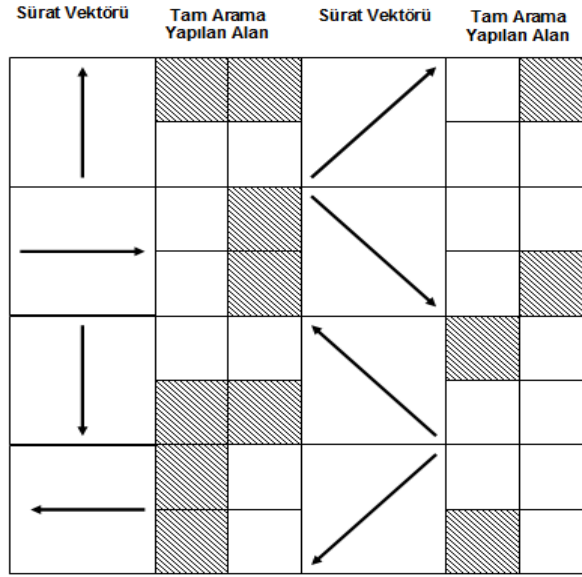
Kısa süreli bellek: Zaman ve saklama kapasitesi açısından sınırlı bir bellektir. Bu çalışmada kapasite 5 ile sınırlandırılmıştır. Her adımda hedefin x ve y koordinatlarındaki yer değiştirme miktarı saklanır. Son 5 yer değiştirmenin ortalaması yer değiştirme yönünü (sürat vektörünü) verir.

Uzun süreli bellek: Kısa süreli bellekten zaman açısından daha geniş periyodu kapsayan bellektir. Karşılaştırma için kullanılan veriler burada saklanır. Referans nesnesi ve karşılaştırma ölçütleri algoritmada sürekli değişir ve değişiklikler bu bellekte tutulur.

Tabu listesi: Normalde tabu listesi yasak hareket durumları için kullanılır. Bu çalışmada, hedef olma ihtimali düşük bölgeler tabu listesine atanmıştır. Tabu listesine atanan bölümler, sürat vektörüne bakılarak belirlenir.

Adım: Arama bölgesi 4 eşit parçaya bölünür. Bulunması muhtemel bölgeler Şekil 5.14 'de çizgili olarak gösterilmiştir. Bu alandaki tüm noktalar aranır. Hedef yön değiştirirse, diğer bölgelerde de bulunabilir. Bu nedenle diğer bölümlerde de araştırılmalıdır. Bu bölgelerdeki arama noktalarının yarısı tabu listesine atanır. Tabu listesindeki noktalar

aranmaz. Algoritma bu işlemle hızlanmaktadır. Sürat vektörüne göre tam ve yarım arama bölgeleri Şekil 5.14'te gösterilmektedir.

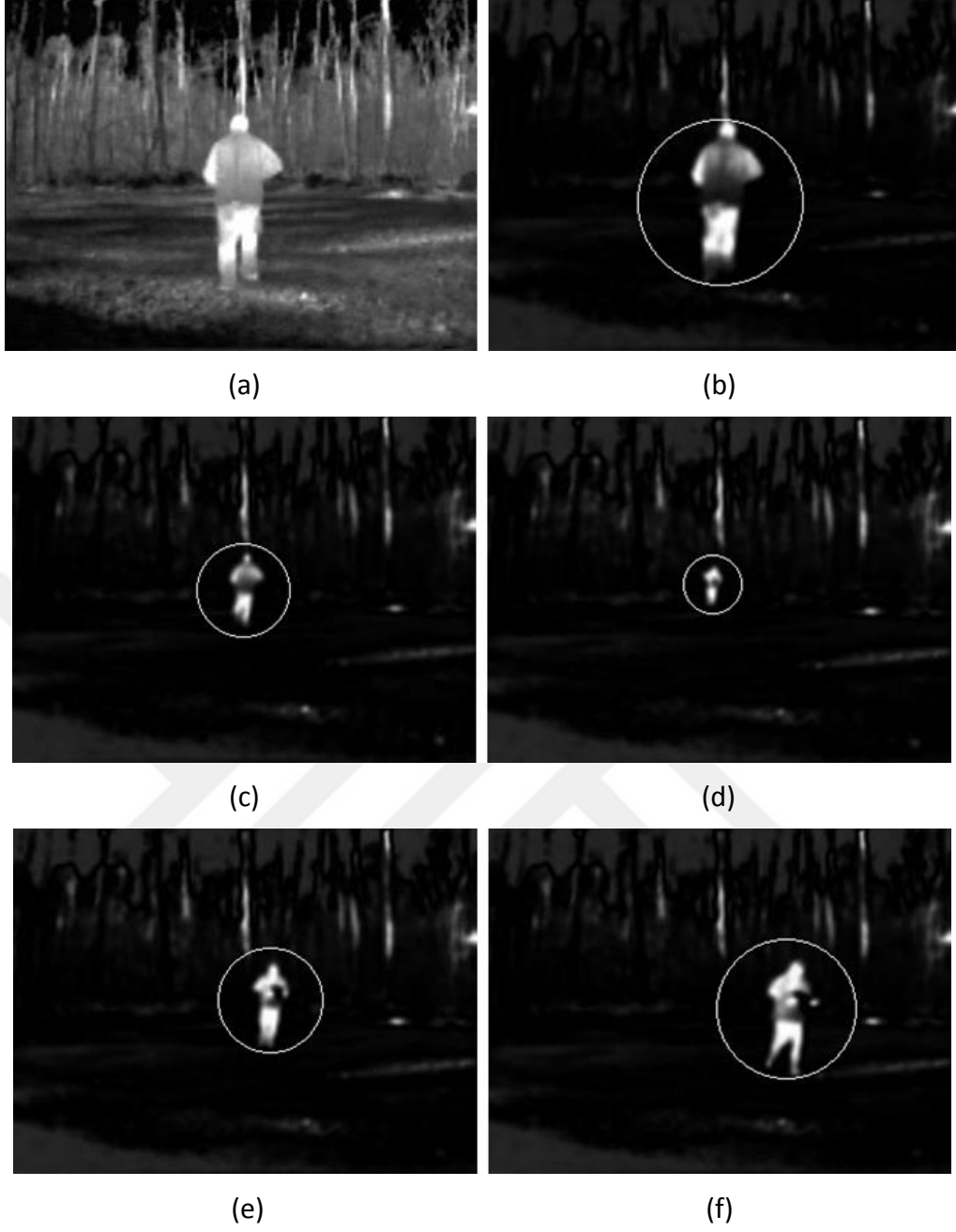


Şekil 5.14 Tam ve yarım arama bölgeleri

Kısacası, algoritma öncelikle arama bölgesini hedef bulma olasılığını dikkate alarak parçalara ayırır, daha sonra hedefin bulunması muhtemel olan bölümler tamamen araştırılır, diğer bölgelere yarı arama uygulanır. Daha az nokta tarandığından daha çabuk hedef tespit edilir.

5.4.2 Deneysel Sonuçlar

Frekansla ayarlanmış çarpıcı bölge tespiti yöntemi, hedefin çevresindeki gürültüyü ve arka planı temizler. Bu ön işlem şablonun hedefi tanımlamasını kolaylaştırır. İlk çerçeve içindeki hedef, yarıçapı 56 piksel olan dairesel şablon ile tanımlanır. Şablon, aralık değeri 4'tür ve toplam 14 daire içerir. Şablon yarıçapı en küçük boyutunda 20 pikseldir. Hedef uzaklaştıkça, şablonun boyutu hedef boyuta orantılı olarak azalır. Algoritma, videonun sonuna kadar hedefi takip edebilmektedir.



Şekil 5.15 Kızılötesi hedef takip sonuçları (Deneme:13) (a) Orijinal görüntü (b) Video karesi: 10 (c) Video karesi:185 (d) Video karesi:581, (e) Video karesi:877 (f) Video karesi:950

Şekil 5.16'de boyut değişimi yoktur bu sebeple boyut değişimi tespit eden bölümü olmadan algoritma kullanılmış hedef başarıyla takip edilmiştir.



(a)

(b)



(a)

(b)

Şekil 5.16 Kızılötesi hedef takip sonuçları (Deneme:14) (a) Orjinal görüntü (b) Video karesi: 2 (c) Video karesi:135 (d) Video karesi: 217

SONUÇ

Bu çalışmada kızılötesi görüntüleri iyileştirilmesi ve işlenmiş görüntülerde hedef takibi konusu üzerinde çalışılmıştır. Kızılötesi görüntü iyileştirme maksadıyla 2, hedef takibi için 4 farklı metot detaylı olarak incelenmiştir.

Kızılötesi görüntülerde arka plan genel itibari ile küçük fakat yoğun değişimlere sahiptir. Bu değişimler hedef takibini zorlaştırır, başarı oranını düşürür. Literatürdeki birçok yöntem arka planı yumuşatırken hedefin kenar bilgileri yok eder. Bu durum hedef takibini zorlaştırır. Önerilen ilk görüntü iyileştirme metodu olan gradyan minimizasyonu ile arka plan yumuşatılırken hedefin ana kenarları netleştirilir. Görüntü yumuşama oranı parametre değişiklikleri ile ayarlanır. Gürültü oranı çok yüksek dahi olsa büyük yumuşatma parametresiyle kenar bilgilerini kaybetmeden hedefi netleştirdiği görülmüştür. Gürültü oranının yüksek olduğu kızılötesi görüntülerde yapılan denemelerde başarısını ispatlamıştır.

Önerilen ikinci görüntü iyileştirme metodu frekansla ayarlanmış çarpıcı bölge tespitidir. Bu yöntem band geçiren filtredir fakat işlemler frekans bölgesine geçirilmeden yapılır. Bu durum yöntemin çok daha hızlı olmasını sağlamaktadır. Gradyan minimizasyonuna yakın iyileştirmeyi çok daha hızlı gerçekleştirdiği görülmüştür. Yapılan denemelerde özellikle uzak mesafeden alınan, yüksek gürültülü görüntülerde başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Hedef takibi için kullanılan ilk yöntem kovaryans tanımlayıcıdır. Yoğun matematik işlemleri olmadan hedefi tanımlamaktadır. Testlerde elde edilen sonuçlarda temel sorunları üstesinden gelmiştir.

İkinci olarak kullanılan yöntem Farksal Çekirdek Kovaryans Tanımlayıcı ile hedef takibidir. Bu yöntem özellik matrisini klasik kovaryans tanımlayıcıdan farklı olarak pikselin diğer piksellerden farkıyla tanımlamakta ve sonrasında çekirdek fonksiyonu uygulamaktadır. Tanımlama yönünden başarılı olmasına rağmen yavaş olması sebebiyle hedef takibine uygun değildir.

Hedef takibinde kullanılması önerilen üçüncü yöntem Geliştirilmiş Çekirdek Kovaryans tanımlayıcı ile hedef takibidir. Klasik kovaryans tanımlayıcı pikseller arasında yalnızca doğrusal bir ilişki kurar. Kızılötesi görüntüde hedefimiz arka plandan daha yüksek yoğunluk değerine sahiptir. Doğrusal olmayan bir işlemde geçirildiğinde daha iyi sonuçlar vermektedir. Bu durum kovaryans tanımlayıcının çekirdek fonksiyonlarıyla birlikte kullanılmasının daha doğru ve etkili olacağını göstermektedir. Algoritmanın hızlandırılması kapsamında ortalama alma işlemi çıkarılmış yerine iyileştirme metodu konulmuştur. Bu sayede yöntem hızlı ve başarılı sonuçlar vermiştir.

Son olarak kullanılan yöntemde hedef dairesel şablon ile tanımlanmış, arama bölgesi tabu arama yöntemi ile optimize edilmiş ve boyut değişimine karşı değişken boyutlu şablon kullanılmıştır. Yöntemin hızlı ve yüksek başarılı olduğu görülmüştür.

Yöntemler 10 farklı senaryo ile test edilmiş ve kovaryans tanımlayıcı 3 senaryoda, diğerleri 2 senaryoda başarısız olmuştur. Yöntemlerin bir video karesini işleme süreleri 320X240 çözünürlüklü bir videoda, ilgi bölgesi 14x29 boyutunda, hedefin 5 piksel etrafında gerçekleştirilmiştir.

Yöntemlerin geliştirilmesi kapsamında hareket algılayıcı algoritmalar ile hedefin ilk mevkisi tespit edilerek takip edilmesi üzerinde çalışılacaktır. Ayrıca şablon ile gerçekleştirilen hedef takip yönteminin hızlı olması sebebiyle çoklu takibe uygundur. Bu nedenle çoklu takip sistemleri bu tez çalışmasının devam çalışması olarak gerçekleştirilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Stark, J.A., (2000). "Adaptive Image Contrast Enhancement Using Generalizations of Histogram Equalization", IEEE Trans. Image Process, 9 (5): 889–896.
- [2] Zhao, J., Chen, Y., Feng, H., Xu, Z. ve Li, Q., (2014). "Infrared Image Enhancement Through Saliency Feature Analysis Based on Multi-Scale Decomposition", Infrared Physics & Technology 62:86–93.
- [3] Mohan, S. ve Ravishankar, M., (2013). "Modified Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization Based on Local Contrast Enhancement for Mammogram Images", Mobile Commun. Power Eng. Commun. Comput. Inf. Sci., 296 :397–403.
- [4] IEEE OTCBVS WS Series Bench; Roland Mieziako, Terravic Research Infrared Database.
- [5] Lin, C., (2011). " An Approach to Adaptive Infrared Image Enhancement for Long-Range Surveillance", Infrared Phys. Technol., 54 (2): 84–91.
- [6] Zuiderveld K., (1994)."Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization Graphics" Gems IV, Academic Press Professional Inc, San Diego.
- [7] Gonzalez, R.C., Woods, R.E., (2002),Digital Image Processing, Second Ed., Pearson Education, USA.
- [8] Davis, J. and Keck, M., (2005). " A Two-Stage Approach to Person Detection in Thermal Imagery" In Proc. Workshop on Applications of Computer Vision, January 2005.
- [9] Seow, M.J. ve Asari, V.K., (2004). "Homomorphic Processing System and Ratio Rule for Colour Image Enhancement", IEEE-2004 International Joint Conference on Neural Networks, Temmuz 2004, Budapeşte.
- [10] Pinoli, J.C., (1997). "A general Comparative Study of The Multiplicative Homomorphic, Log-Ratio and Logarithmic Image Processing Approaches", Signal Process., 58:11–45.
- [12] Cheng, H. D., Huijuan X., (2000). "A Novel Fuzzy Logic Approach to Contrast Enhancement" Pattern Recognition, 33 : 809-819.
- [13] Pal, S. K., King., R. A.,(1981). "Image Enhancement Using Smoothing With Fuzzy Sets", IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics, 7 : 491-501.

- [14] Hines, G., Hines, Z. R., Daniel, J., Glenn W. (2004) "Single-Scale Retinex Using Digital Signal Processors". Nasa Search Report.
- [15] Jobson, D. J., Rahman, Z., Woodell, G. A., (1997) "Properties and Performance of a Center/Surround Retinex", IEEE Transactions on Image Processing 6: 451-462.
- [16] Christian,P., (2011). Analysis of Contrast Enhancement Methods for Infrared Images, Yüksek Lisans Tezi, California Polytechnic State University, San Luis Obispo.
- [17] Cielniak G. ve Duckett, T., (2004). "People Recognitionby Mobile Robots", Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 15: 21-27.
- [18] Comaniciu, D., Ramesh, V. ve Meer, P.,(2000). "Real-Time Tracking of Non-Rigid Objects Usingmean Shift", Conference on Computer Vision and Pattern Recognition-2000, Haziran 2000.
- [19] Comaniciu D. ve Meer P., (2002)." Mean Shift: A Robust Approach Toward Feature Space Analysis" IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intelligence, 24(5):603 – 619, Mayıs 2002.
- [20] Comaniciu, D., Ramesh, V. ve Meer, P.,(2003). "Kernel-Based Object Tracking" IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intelligence, 25(5):564–577, Mayıs 2003.
- [21] Kumar, B. V. K. V., Mahalanobis, A., ve Juday R. D., (2005). Correlation Pattern Recognition. Cambridge Univ. Press,Cambiridge.
- [22] Lamberti, F., Santomo, M., Sanna, A., Montuschi, P.,(2015). "Intensity Variation Function and Template Matching-Based Pedestrian Tracking in Infrared Imagery with Occlusion Detection and Recovery" Optical Engineering,54 (3), Mart 2015.
- [23] Barron J. L.; Fleet, D. J. ve Beauchemin S., (1994) "Performance of Optical Flow Techniques" International Journal of Computer Vision, 12: 43–77.
- [24] Qureshi, W. S., Alvi, A. N, (2009). "Object Tracking Using MACH Filter and Optical Flow in Cluttered Scenes and Variable Lighting Conditions" World Academy of Science, Engineering and Technology.60:709-712.
- [25] Eyili, M.,Demirekler, M., (2014). "Doğuran Hedefin Parçacık Filtre Tabanlı İzle Bul Algoritması ile Takip Edilmesi" IEEE 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference 2014 IEEE ,Nisan 2014, Trabzon.
- [26] Sniperscope monte edilmiş M1 piyade tüfeği, http://www.wikiwand.com/en/M1_carbine,05 Kasım 2016.
- [27] Aselsan Şahingözü, <http://www.aselsan.com.tr/>,20 Kasım 2016.
- [28] Elektromanyetik tayf, https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektromanyetik_tayf, 20 Aralık 2016.
- [29] Tankın kızılötesi görüntüsü, www.ci-systems.com, 15 Kasım 2016.
- [30] Payne, C. M.,(2006), Principles of Naval Weapon Systems, Naval Institute Press, Maryland.

- [31] Askeri helikopter, <http://www.flir.com/assets>, 20 Aralık 2016.
- [32] Aerodinamik sıcaklık izi, <http://www.thermalcameras.guide/best-thermal-cameras-on-market/>, 10 Aralık 2016.
- [33] Xu, L., Lu, C. ve Xu Y., (2011). "Image smoothing via L0 gradient minimization" Proceedings of the 2011 SIGGRAPH Asia Conference, Aralık 2011, Hong Kong.
- [34] Zhao, J., Chen, Y., Feng, H., Xu, Z., Li, Q., (2014) "Infrared Image Enhancement Through Saliency Feature Analysis Based on Multi-Scale Decomposition", Infrared Physics & Technology 62:86–93.
- [35] Tuzel, O., Porikli, F. ve Meer, P., (2006). "Region Covariance: A Fast Descriptor for Detection and Classification", Lecture Notes in Computer Science, 3952: 589.
- [36] Porikli, F., Tuzel, O. ve Meer, P., (2006). "Covariance Tracking Using Model Update Based on Lie Algebra", Proc. Int. Conf. On Comp. Vision and Pattern Recognition, 1: 728-735.
- [37] Förstner, W., Moonen, B. (1999). "A Metric for Covariance Matrices". Technical Report, Dept. Of Geodesy and Geoinformatics, Stuttgart University.
- [38] Linköping Thermal IR (LTIR) data set, <http://www.cvl.isy.liu.se/en/research/datasets/ltir/>, 01 Eylül 2016.
- [39] OTCBVS benchmark dataset collection, <http://vcip1-okstate.org/pbvs/bench/>, 10 Eylül 2016.
- [40] Eski, S., (2008), Görüntü İşleme Yöntemleri ile Araç Marka ve Plaka Tanınması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [41] Binol, H., (2012). Termal ve Hiperspektral Görüntülerde Hareketli Hedef Tespiti ve İzlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [42] Bahçebaşı, A., (2006). Gece Görüş Cihazından Alınan Görüntülerin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Burak ALPTEKİN
Doğum Tarihi ve Yeri :02.08.1988-Ankara
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :burak6108@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektronik/Kontrol Sistemleri Mühendisliği	Deniz Harp Okulu	2010
Lise	İngilizce Ağırlıklı Fen Bilimleri	Heybeliada Deniz Lisesi	2006

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2010-	Deniz Kuvvetleri Komutanlığı	Subay

YAYINLARI

1. Alptekin, B. ve Kahraman, N. (2017)."Single Target Tracking in L0 Gradient Minimized Infrared Image Sequence Based on Modified Robust Kernel Covariance Descriptor" International Conference On Progress in Applied Science, Ocak 2017, İstanbul.
2. Alptekin, B., Binol,H. ve Çukur, H., (2016)" Moving Target Tracking in Infrared Image Sequences Based On Differential Kernel Covariance Descriptor" International Journal of Natural Sciences Research, 4(5): 92-99.