

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAREKETLİ GÖRÜNTÜDE HIZ KESTİRİMİ

Gökçe Çiçek ŞEN

**FBE Elektronik ve Haberleşme Müh. Anabilim dalı
Haberleşme Programında Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ünal KÜÇÜK

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	iii
KISALTMA LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
RESİM LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ.....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ	1
2. SAYISAL GÖRÜNTÜ İŞLEME TEMELLERİ.....	3
2.1 Görüntünün Sayısallaştırılması, Örnekleme ve Kuantalama.....	3
2.1.1 Örnekleme ve Kuantalama.....	3
2.2. Sayısal Görüntülerin Temsili.....	5
2.2.1 Siyah Beyaz Görüntüler.....	6
2.2.2 Renkli Görüntüler.....	6
2.3 Temel Görüntü İyileştirme Yöntemleri.....	7
2.3.1 Kontrast Dengeleme.....	8
2.3.2 Histogram Dengeleme.....	8
2.3.3 Gürültü Giderme	9
2.4 Görüntüde Stokastik Prosesler ve Rastgele Süreçler.....	10
2.4.1 Korelasyon ve Kovaryans Fonksiyonları.....	11
2.4.2 Çapraz Korelasyon ile Şablon Eşleme.....	12
3. İKİLİ SAYISAL GÖRÜNTÜLER.....	14
3.1 İkili Görüntü Üzerinde Morfolojik İşlemler.....	14
3.1.1 Genleşme ve Aşındırma.....	14
3.1.2 Açma ve Kapama.....	15
4. SAYISAL GÖRÜNTÜDE KENAR BELİRLEME VE HOUGH DÖNÜŞÜMÜ.....	17
4.1 Kenar Belirlemeye Genel Bakış.....	17
4.1 Birinci Dereceden Türevle Kenar Belirleme.....	18
4.1.1 Ortogonal Gradyen Oluşturma.....	18
4.1.2 Birinci Dereceden Türevle Kenar Belirleme.....	21

4.1.1.1 Laplas Oluşturma.....	22
4.1.3 Canny Gradyen İşleçleri.....	22
4.2 Hough Dönüşümü.....	23
5. GÖRÜNTÜDE GEOMETRİK DÖNÜŞÜMLER VE UFUK NOKTASI.....	25
5.1 İzdüşüm ve Dönüşüm.....	25
5.1.1 İki Boyutlu Dönüşümler.....	26
5.1.2 Homojen Koordinatlar.....	28
5.1.3 Dönüşüm Matrislerinin Birleştirilmesi.....	30
5.1.4 Dönüşüm Matrislerinin Ayrıştırılması.....	30
5.1.5 Geometrik Dönüşümlerin Geriçatımı.....	29
5.1.6 Üç Boyutlu Dönüşümler.....	30
5.2 İzdüşüm.....	31
5.2.1 Paralel İzdüşümler.....	31
5.2.2 Perspektif İzdüşümler.....	32
5.3 Ufuk Noktası.....	32
6. UYGULAMA.....	33
6.1 Günümüzde Kullanılan Akıllı Ulaşım Sistemleri.....	33
6.2 Trafik Kameralarından Alınan Görüntüler Yardımıyla Hız Algılama Algoritması.....	33
6.3 Faaliyet Haritası ve Arka Plan Oluşturma.....	35
6.3.1 Faaliyet Haritası.....	35
6.3.1.1 Görüntü Farklarını Alma.....	35
6.3.1.2 Görüntü Farklarının Ortalamasını Alma.....	35
6.3.2 Arka Plan Oluşturma.....	40
6.4 Hough Dönüşümü ve Kenar Belirleme.....	41
6.5 Doğru Kenarları Bulma.....	43
6.5 Görüntünün Düzleştirilmesi.....	45
6.7 Araç Kestirimi.....	48
6.8 Çapraz Korelasyon.....	50
6.9 Hız Kestirimi.....	52
7. SONUÇ.....	54
KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ.....	57

SİMGE LİSTESİ

L	Görüntüde bir pikselin alabileceği toplam gri seviyesi
b	Sayısal bir görüntünün sıkıştırılmadan saklanabilmesi gerekli olan bit sayısı
G_{MN}	G görüntüsüne ait bir rastgele süreç
S_G	G görüntüsüne ait varyans
R_{gg}	Görüntüde iki farklı bölgenin korelasyonu
C_{gg}	Görüntüde iki farklı bölgenin otokovaryansı
R_{gh}	İki farklı görüntünün çapraz korelasyonu
C_{gh}	İki farklı görüntünün çapraz kovaryansı
S	Morfolojik işlemler için kullanılan yapı elemanı
S_p	Morfolojik işlemler için kullanılan yapı elemanı
$G(j,k)$	Kenar belirleme için dönüştürülmüş görüntü
$F(j,k)$	Üzerinde işlem yapılmamış görüntü
$H(j,k)$	Kenar belirleme için kullanılan filtrenin darbe yanıtı
T	Dönüşüm matrisi
T^{-1}	Ters dönüşüm matrisi
$g(x,y)$	Ardışık görüntü
vp _x	Hough doğruların birbiriyle olan kesişim noktalarının x değerleri
vp _y	Hough doğruların birbiriyle olan kesişim noktalarının y değerleri
V	Araş hızı
t	İki ardışık görüntü arasında geçen süre
P	Aracın gerçek dünyada kattettiği yol
S	Ölçek çarpanı

KISALTMA LİSTESİ

ATS	Akıllı Taşıma Sistemleri
RGB	Kırmızı, mavi ve yeşil bileşenleri ile ifade edilen renkli görüntüler.
CMYK	Siyah, magenta, sarı ve siyah bileşenleri ile ifade edilen renkli görüntüler
HSI	Ton, doygunluk ve yoğunluk ile ifade edilen renkli görüntüler

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 x-y koordinat düzlemi üzerinde sayısal görüntünün temsili.....	6
Şekil 2.2 RGB değerlerinin kartezyen koordinat sistemi üzerinde gösterildiği renk kübü.....	7
Şekil 2.3 Kontrast dengeleme amaçlı oluşturulmuş gri seviyelerini ölçekleyen fonksiyon.....	8
Şekil 2.4 Morfolojik genişleme ve aşındırma işlemleri.....	15
Şekil 4.1 Prewitt gradyen işleci.....	19
Şekil 4.2 Farklı kenar belitleyicilere ait küçük komşuluk işleçleri	19
Şekil 4.3 Boxcar işleci.....	21
Şekil 4.4 5x5'lik Prewitt işleci ile alçak geçiren düzgün dağılımlı Gauss filtresinin konvolüsyonundan oluşan darbe yanıtı	21
Şekil 4.5 Sırasıyla bir doğrunun, aynı noktadan geçen doğru demetinin ve kesişim noktaları bir doğru üzerindeki üç nokta olan üç doğru demetinin Hough dönüşümleri.....	24
Şekil 5.1 İki boyutlu dönüşümler.....	27
Şekil 5.2 Paralel izdüşüm.....	32
Şekil 6.1 Hareketli görüntüde hız kestirimi için yapılan çalışmalara ait blok diyagram.....	34
Şekil 6.2 Faaliyet haritasına Canny gradyen işleci uygulandıktan sonra ortaya çıkarılmış kenar haritası.....	42
Şekil 6.3 Kenar haritasına Hough dönüşümü uygulandığında oluşan p-θ düzlemindeki noktalar ve genlik değeri en yüksek olan işaretlenmiş beş (p,θ) noktası.....	42
Şekil 6.4 Hough doğrularının kesişim noktaları ile oluşturulmuş matrisler.....	44
Şekil 6.5 Eleme aşamaları.....	44

RESİM LİSTESİ

Resim 2.1 Görüntünün sayısallaştırılması.....	4
Resim 2.2 Algılayıcının çıkışındaki görüntü ve belli aralıklarda örneklenip 8 bitle kuantalanan görüntü	5
Resim 2.3 Algılayıcının çıkışındaki görüntü ve belli aralıklarda örneklenip 8 bitle kuantalanan görüntü	5
Resim 2.4 Piksellerdeki gri seviyeleri beyaz değerlerde toplanmış esas görüntü ve histogram eşitlemeden sonraki görüntü.....	9
Resim 2.5 Düzgün dağılımlı gürültü içeren görüntü(a) ve Gauss filtresinden geçirilmiş görüntü....	10
Resim 2.6 Çapraz korelasyon ile şablon eşleme	13
Resim 6.1 Faaliyet haritası için kullanılan görüntülerden ardışık iki örnek.....	36
Resim 6.2 Ardışık görüntülere ait fark görüntüsü.....	37
Resim 6.3 İkili hale çevirilmiş fark görüntüsü.....	37
Resim 6.4 Genleşme işleminden sonraki görüntü.....	38
Resim 6.5 İçte kalan siyah piksellerin beyaz piksellerle doldurulmasından sonra oluşan görüntü ...	38
Resim 6.6 Aşındırma işlemi uygulandıktan sonraki görüntü.....	39
Resim 6.7 Ardışık 250 görüntü ile oluşturulan faaliyet haritası.....	40
Resim 6.8 250 ardışık görüntünün ortalaması ile elde edilmiş arka plan görüntüsü.....	41
genlik değeri en yüksek olan işaretlenmiş beş (p, θ) noktası.....	47
Resim 6.9 Hough dönüşümü ile faaliyet haritası üzerinde işaretlenmiş kenarlar.....	43
Resim 6.10 Düzleştirilmiş ardışık görüntüler.....	47
Resim 6.11 Düzleştirilmiş arka plan görüntüsü.....	48
Resim 6.12 Düzleştirilmiş bir görüntüyle arka plan görüntüsünün farkı.....	49
Resim 6.13 Belli bir eşik değerinden geçirilmiş fark görüntüsü.....	50
Resim 6.14 Morfolojik kapama işlemi sonrasında görüntü üzerindeki yerleri belirlenen araçlar.....	50
Resim 6.15 Ardışık iki görüntü ve bu görüntülerde aranacak hedef görüntü.....	51
Resim 6.16 Çapraz korelasyon görüntüleri.....	52

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 6.1 Deneme hızları ile hesaplanan hızların karşılaştırılması ve hata oranları.....53

ÖNSÖZ

Günümüzde akıllı taşıma sistemleri kapsamında gerçekleştirilen pek çok uygulama bulunmaktadır. Bunların en önemlilerinden biri de hız tespiti ve trafik yoğunluğu ölçme uygulamalarıdır. Bu tür uygulamalarda hız kestirimi hız algılayıcıları tarafından gerçekleştirilmektedir. Yapılan çalışma akıllı taşıma sistemleri kapsamında kullanılan hız kestirimi ve trafik yoğunluğu ölçümü uygulamalarında hız algılayıcılarına alternatif olabilecek görüntü işleme yöntemleri ve geometrik dönüşümlerden oluşan bir hız kestirimi algoritmasıdır. Uygulama ile birlikte sadece trafik kameralarından alınan ardışık görüntülerle hız kestirimi yapmak ve trafik yoğunluğunu ölçmek için bir fikir ortaya sunulmaktadır. Çalışmam sırasında benden desteğini hiç esirgemeyen ve bana her zaman yol gösteren sevgili hocam Yrd.Doç. Dr Ünal Küçük'e yardımlarından ötürü çok teşekkür ederim.

ÖZET

Son on yıldır görüntü işleme ve hareketli görüntü işleme, günlük yaşantımızın pek çok alanlarındaki uygulamalarda büyük ölçüde önem kazanmaktadır. Bu tür çalışmalardan birisi de trafik kameralarından alınan ardışık görüntülere uygulanan geometrik dönüşümler ve görüntü işleme yöntemleri kullanılarak trafik yoğunluğunun ölçülebilmesidir. Bu çalışmada amaç hız algılayıcıları ve benzeri düzeneklere gerek olmadan, trafik akışını izlemek için belli noktalara yerleştirilmiş olan trafik kameraları ile alınan ardışık görüntüler yardımıyla araçları belirleyip hızlarını kestirebilmektir.

Yapılan çalışma, trafik kameralarından alınmış ardışık görüntülerdeki hareketin birtakım görüntü işleme ve geometrik dönüşüm yöntemleri kullanılarak analiz edildiği ve elde edilen sonuçlarla görüntülerdeki araçların hızlarının kestirilebildiği bir uygulamadır. Uygulamada kullanılması amacıyla farklı trafik yoğunluklarından değişik hareketli görüntüler elde edilmiş ve bulunan sonuçlar referans alınan hızlarla karşılaştırılmıştır. Trafik yoğunluğunun ölçümü için kullanılacak bu çalışmada, günümüzdeki uygulamalara alternatif olarak araç hızı kestirimi için herhangi bir kamera kalibrasyon bilgisine ya da hız algılayıcısına gereksinim olmayan bir çözüm elde edilmeye çalışılmıştır.

ABSTRACT

Image processing and image sequence processing has been getting greatly important in applications in many areas of our daily life since last ten years. One these type of studies is measuring traffic density, by applying image processing methods and geometric transformations onto the images that are received from traffic cameras. The aim in this study is tracking vehicles and estimating the speed of them without the necessity of speed sensors and other mechanisms, with using image sequences that are capturing from traffic cameras that are placed at certain points to monitor traffic flow.

The study is an application analyzing the movement of image sequences that are received from traffic cameras by using some image processing and geometric transformation methods and estimating the vehicle speed in the images with using the results. To be used in the application of different moving images of different traffic densities are obtained and the results are compared to reference speed values. This application can be used in the measurement of traffic density, it is an alternative solution for today's applications without requiring any camera calibration information or speed sensor for estimating the vehicle speed.

1. GİRİŞ

Akıllı taşıma sistemleri(ATS) ile günümüzde taşımanın her alanında, kontrolün düzgün bir biçimde sağlanmasında, araçların düzenli takiplerinde ve kayıtların alınmasında kolaylıklar sağlayacak uygulamalar gerçekleştirilmektedir. Bu sistemlerin önemli bir alanını kapsayan trafik uygulamalarına araç plaka tanıma, trafik yoğunluğu ölçümü, sürücülerin hava ve yol durumu ile ilgili bilgilendirmesi örnek olarak verilebilir. Trafik kontrol merkezleri belli noktalara yerleştirilmiş trafik kameralarından yol durumlarını gerçek zamanlı olarak gözlemlemekte ve yol durumu ile ilgili birtakım bilgilere ulaşabilmektedir. Bu bilgiler ışığında yolcuların bilinçli ve daha güvenli bir şekilde seyahat etmesi amaçlanmakta, oluşabilecek kazalara daha hızlı müdahale edilebilmektedir.

Trafik yönetiminde, gelişmiş yolcu bilgi sistemlerinde, gelişmiş araç kontrol sistemlerinde ve gelişmiş toplu taşıma sistemlerinde kullanılan ATS uygulamalarında trafik akışını izleyen algılayıcılardan faydalanılır. Bu algılayıcılar, araçların ve kazaların belirlenmesinde, hız limitleri aşımının tespitinde, otomatik trafik akışı bilgisinin sağlanmasında ve gerçek zamanlı olarak trafik işaretlerinin kontrolünde kullanılarak yolcular ve trafik bilgilendirme hizmeti veren yerler için veri kaynağı olur. Bu çalışmada sadece görüntü işleme metotları kullanılarak bir hız algılayıcısı uygulaması geliştirilmiştir. Amaç sadece trafik kameralarından elde edilen 320x240 boyutundaki gri seviyeli 8 bitlik görüntü dizileriyle, radar gibi ikinci bir hız algılayıcısı kullanımına göre daha ekonomik bir çözüm üretmektir.

Trafik kameralarından elde edilen görüntülerden hızı kestirebilmek için yolun perspektif bilgisine ihtiyaç vardır. Görüntüdeki perspektif ortadan kaldırıldığı zaman aracın büyüklüğü ve pikseller arasındaki mesafenin gerçek hayattaki karşılığı, görüntüdeki her bölge ve ardışık görüntüler için sabitlenir. Böylece hız kestirimi sorunu oldukça basite indirgenmiş olur. Bu çalışmada kameranın yola paralel olduğu ve yukarıdan baktığı kabul edilmiş, kameranın döndürme açısı sıfır olarak alınmıştır. Dolayısıyla görüntüye göre yatay eksen boyunca bir perspektif dönüşümü söz konusudur. Bu perspektif bilgisini elde edebilmek için yol boyunca paralel olan çizgilerin görüntüdeki karşılıklarının tespit edilmesi gerekmektedir. Bunun için yol üzerindeki şeritlerden faydalanılabilir. Fakat trafiğin izleneceği her noktada şeritlerin bulunamayacağı düşünüldüğünden bu çalışma için ardışık görüntülerin yardımıyla araçların hareketlerinin oluşturduğu bir faaliyet haritasından faydalanılmıştır. Yapılan çalışmada faaliyet haritası oluşturularak herhangi bir yol çizgisine ihtiyaç duyulmadan paralel kenarlar elde edilmiştir. Araçların genelde belli bir çizgi boyunca hareket etmesinden dolayı bu

faaliyet haritasının verdiği kenar bilgisi bu çalışma için oldukça verimlidir.

Tezin dördüncü bölümünde, görüntülerde kenar bilgisi elde edilmesi anlatılmıştır. Yapılan uygulamada ise kenarların oluşturulmasında Canny kenar belirleme yöntemi kullanılmıştır. Daha sonra elde edilen nokta kümeleri Hough Dönüşümü ile elenerek gerçek kenarlar elde edilmeye çalışılmıştır. Burada amaç gerçek hayattaki paralel çizgileri ifade eden faaliyet haritasının kenarlarını doğru belirlemek ve görüntüdeki perspektif bilgisini elde etmektir.

Literatürde yapılan çalışmalarda genellikle yol şeritlerinin ve trafik akışının düzgün olduğu görülmektedir(Grammatikopoulos, L., Karras, G., Petsa, E., 2005; Cathey, F.W., Dailey, D.J., 2005). Bu çalışmada farklı olarak bağlantı yollarındaki trafik, duraklara yanaşan otobüsler, sık şerit değiştiren araçlar gibi etkenlerden dolayı düzgün trafik akışı olmayan bir yol incelenmiş, bu etkenlerin sebep olduğu yanlış kenarların bilgisi faaliyet haritasına yansımıştır. Bu sorunun giderilmesi için tüm kenarların birbirileriyle kesişim noktalarından faydalanan bir matris eleme yöntemi oluşturulmuştur. Bu yöntem farklı ardışık görüntü aralıkları için denendiğinde elde edilen sonucun oldukça verimli olduğu görülmüştür. Dolayısıyla literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak bu çalışma şerit bilgisi olmayan ve düzgün trafik akışını bozan etkenlerin olduğu yollar için de kullanılabilir. Gerçek kenarların kesişimi olan ufuk noktası, görüntüdeki perspektif dönüşümü ile doğrudan ilgilidir.

Gerçek hayattaki çizgiler ile görüntüdeki çizgiler arasında geometrik ilişkinin hesaplanmasında perspektif dönüşümlerden faydalanılır. Tezin altıncı bölümünde ufuk noktasından faydalanılarak perspektif dönüşümü ile ilgili eşitliklerle görüntü düzleştirilmiştir. Bu aşamadan sonra aracın kat ettiği mesafe iki ardışık görüntü arasındaki piksellerin gri seviyelerindeki ilişkiye bakılarak hesaplanabilir. Yapılan uygulamada ardışık iki görüntüye çapraz korelasyon uygulanarak aracın kaç piksel hareket ettiği hesaplanmıştır. Son olarak gerçek hayatta bilinen bir uzaklığın görüntüdeki büyüklüğüne oranı alınarak ölçek çarpanı hesaplanmıştır. Ölçek arpanı yardımıyla aracın gerçek hayatta aldığı yol bulunduktan sonra bu mesafe ardışık iki görüntü arasındaki bilinen zamana bölündüğünde hız değerleri elde edilmiş ve gerçek hız değerleri karşılaştırılmıştır.

2. SAYISAL GÖRÜNTÜ İŞLEME TEMELLERİ

Görüntü, genlik değeri uzamsal koordinat düzlemi üzerindeki herhangi bir (x, y) noktasının gri seviyesi veya yoğunluğu olan bir iki boyutlu bir $f(x,y)$ fonksiyonu olarak tanımlanabilir(Gonzalez, R. C., Woods, R. E., 2002). Eğer bu (x, y) noktalarının genlik değerleri sonlu değerler ve (x,y) noktaları ayrık nicelikler ise bu görüntü sayısal görüntüdür.

Sayısal görüntü işleme günümüzde pek çok uygulamanın konusu haline gelmiştir. Bu uygulamalara gazete dergi gibi yayın organlarında kullanılan baskı işlemleri, medikal görüntüleme, uydu görüntüleme sistemleri ve akıllı taşıma sistemleri örnek olarak verilebilir. Sayısal görüntü işleme gelişen teknoloji ile birlikte giderek önem kazanma ve yeni çalışmaların önemli bir parçası haline gelmektedir. Uygulamada kullanılan temel görüntü işleme yöntemlerine geçmeden önce sayısal görüntü ile ilgili temel bilgileri daha geniş ele almak gerekmektedir.

2.1 Görüntünün Sayısallaştırılması, Örnekleme ve Kuantalama

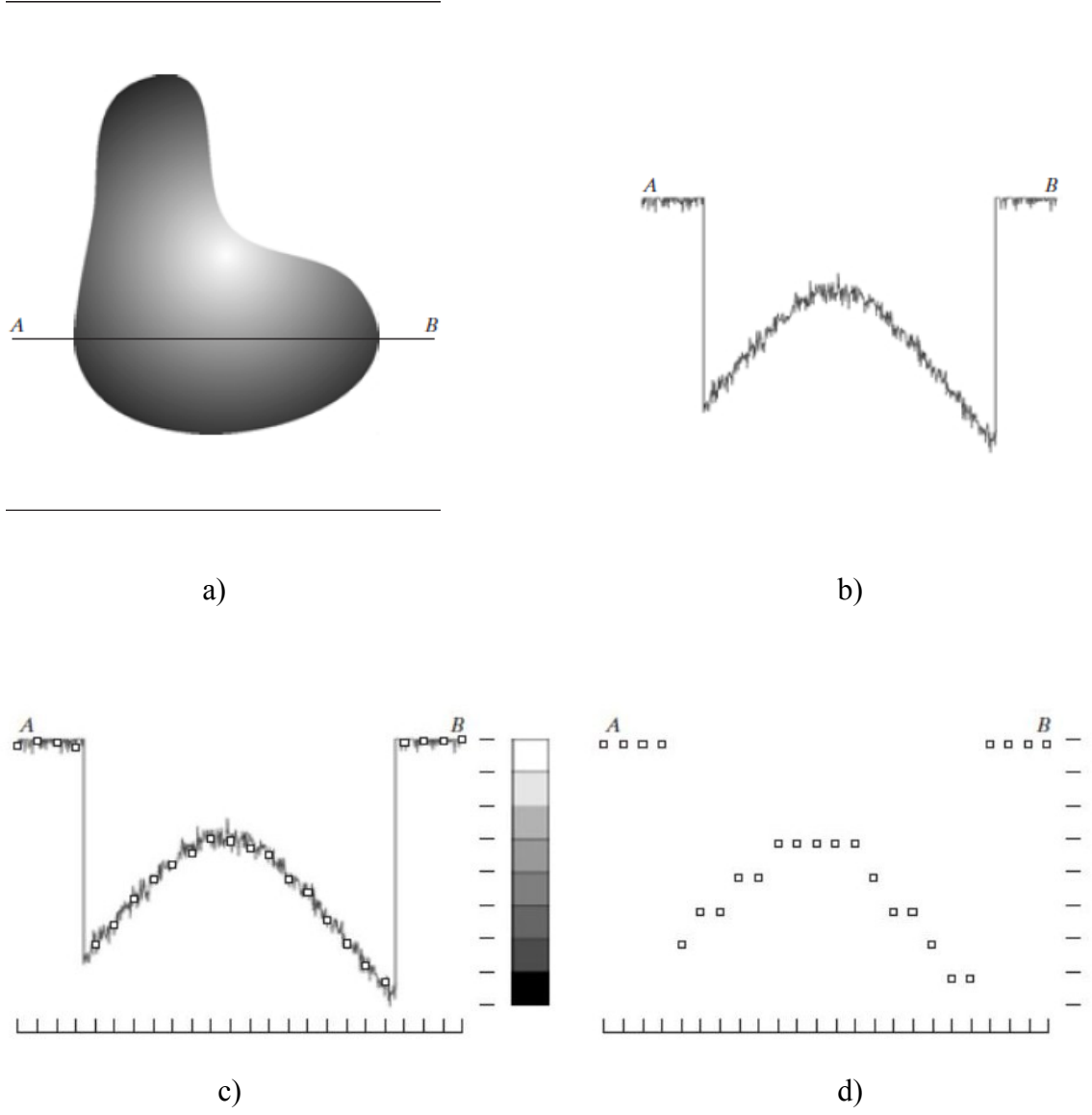
Algılayıcılardan alınan veri, görüntüsü algılanan nesneye bağlı olarak değişen sürekli gerilim dalgasıdır(Gonzalez, R. C., Woods, R. E., 2002). Sayısal görüntüyü elde edebilmek için algılayıcıdan alınan verinin sayısallaştırılması gerekmektedir. Görüntüyü sayısallaştırma iki işlem içerir: Örnekleme ve kuantalama.

2.1.1 Örnekleme ve Kuantalama

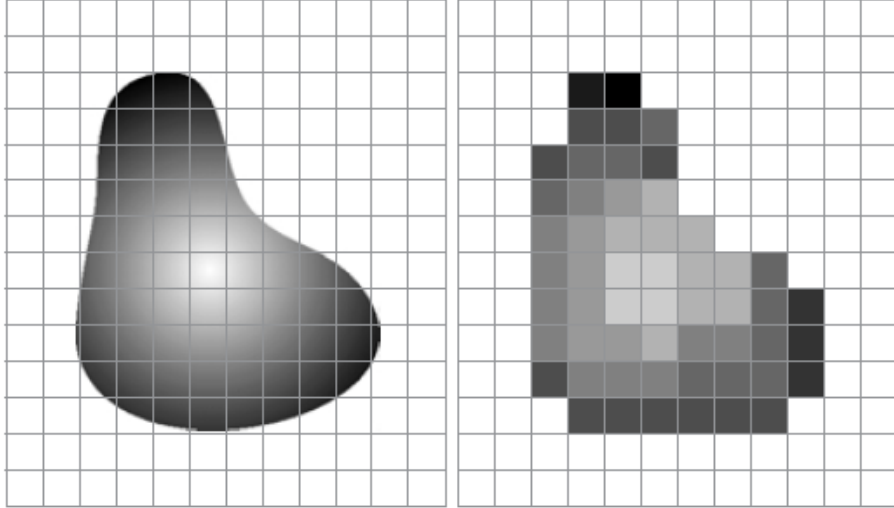
Bir görüntü x - y düzlemi üzerindeki genlik değeri sürekli bir $f(x,y)$ fonksiyonu ile dağılmış olabilir. Bu görüntüyü sayısallaştırabilmek için fonksiyonun koordinat düzlemi değişkenlerini ve genlik değerlerini ayrık hale getirmek gerekmektedir. Koordinat sistemindeki değişkenleri ayrık hale getirmek örnekleme, genlik değerlerini ayrık hale getirmek iste kuantalama olarak tanımlanır(Gonzalez, R. C., Woods, R. E., 2002).

Örnekleme ve kuantalama işlemlerini açıklamak için Resim 2.1(a)'deki görüntü ele alınırsa. görüntüden alınan tek bir AB doğrusunun genlik değeri tek boyutlu bir fonksiyon ile ifade edilebilir(Resim 2.1(b)). Bu tek boyutlu işareti sayısallaştırabilmek için işaretten belli aralıklarla örnekler almak gerekir. İşaretten belli aralıklarla alınan örnekler Resim 2.1(c)'de gösterilmiştir. Bu aşamaya kadar gerçekleşen görüntüden alınan tek bir doğrunun örneklenmesidir. Daha sonra alınan örneklerin genlik değerlerinin ayrıştırılması için 8 seviye seçilmiştir. Bu seviyeler genlik değeri 0 olan siyah seviyesinden 7 olan beyaz seviyesine

kadar olan 3 bitlik gri seviyeleridir. Alınan örneklerin genlik değerleri kendine yakın olana gri seviyesine kuantalanır. Böylece genlik değerlerinin de ayrıştırılması gerçekleştirilmiş olur. Kuantalama sonucu oluşan sekiz bitlik görüntü şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Resim 2.1 a) Görüntüden alınmış tek boyutlu bir AB doğrusu b) Alınan tek boyutlu işaretin genlik değeri c) Örnekleme d) Kuantalama (Gonzalez, R. C., Woods, R. E., 2002)



Resim 2.2 Algılayıcının çıkışındaki görüntü ve belli aralıklarda örneklenip 8 bitle kuantalanan görüntü(Gonzalez, R. C., Woods, R. E., 2002)

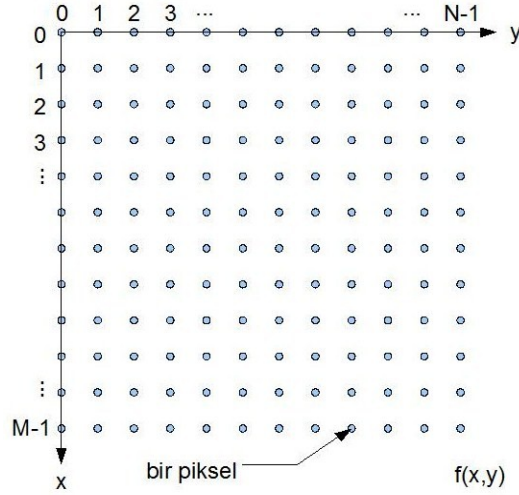
2.2 Sayısal Görüntülerin Temsili

Örnekleme ve kuantalamanın sonucunda oluşan sayısal görüntü gerçek sayılarla ifade edilen bir matris ile temsil edilir. Bu matrisi M satır ve N sütun boyutlarına sahiptir. MxN boyutluk bir görüntünün genel olarak matris biçiminde ifade edilişi şu şekildedir:

$$f(x,y) = \begin{pmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \cdots & f(M-1,N-1) \end{pmatrix} \quad 2.1$$

Eşitliğin sağ tarafı görüntünün tanımlanmasıdır(Gonzalez, R. C., Woods, R. E., 2002). Matrisin her bir elemanı görüntü elemanı, resim elemanı, piksel veya pel olarak adlandırılır. Bu uygulama için görüntü ve piksel terimleri kullanılacaktır.

Sayısal görüntüdeki (x,y) noktalarına ait f(x,y) değerleri ayrık bir koordinat sistemi üzerine oturur(Şekil 2.1). Burada (x,y) noktaları ayrık niceliklerdir. Hesaplama kolaylığı açısından koordinat sistemi üzerindeki tamsayı değerleri ele alınır. X değerleri incelenen pikselin sütun numarasını, y değeri ise satır numarasını belirtir(Gonzalez, R. C., Woods, R. E., 2002).



Şekil 2.1 x-y koordinat düzlemi üzerinde sayısal görüntünün temsili(Gonzalez, R. C., Woods, R. E., 2002)

2.2.1 Siyah Beyaz Görüntüler

Siyah beyaz görüntüler tek bir matris ile ifade edilen, matris elemanları üzerindeki değerlerin gri seviyesi olarak adlandırıldığı görüntülerdir(Gonzalez, R. C., Woods, R. E., 2002). Dolayısıyla burada $f(x,y)$ fonksiyonunda elde edilen değer, Görüntünün belirtilen (x,y) noktasına ait gri seviyesidir. Siyah beyaz görüntüler sayısallaştırıldıktan sonra bizim için satır ve sütun değerleri olan M ve N 'in yanı sıra her bir piksel için ne kadar gri seviyesine izin verildiğini gösteren L değeri de önemlidir. Görüntüdeki gri seviyeleri $[0, L-1]$ arasında değerler alır (Resim 2.1) L değeri genel olarak 2'nin kuvvetleri şeklinde ifade edilir(Gonzalez, R. C., Woods, R. E., 2002):

$$L=2^k \quad 2.2$$

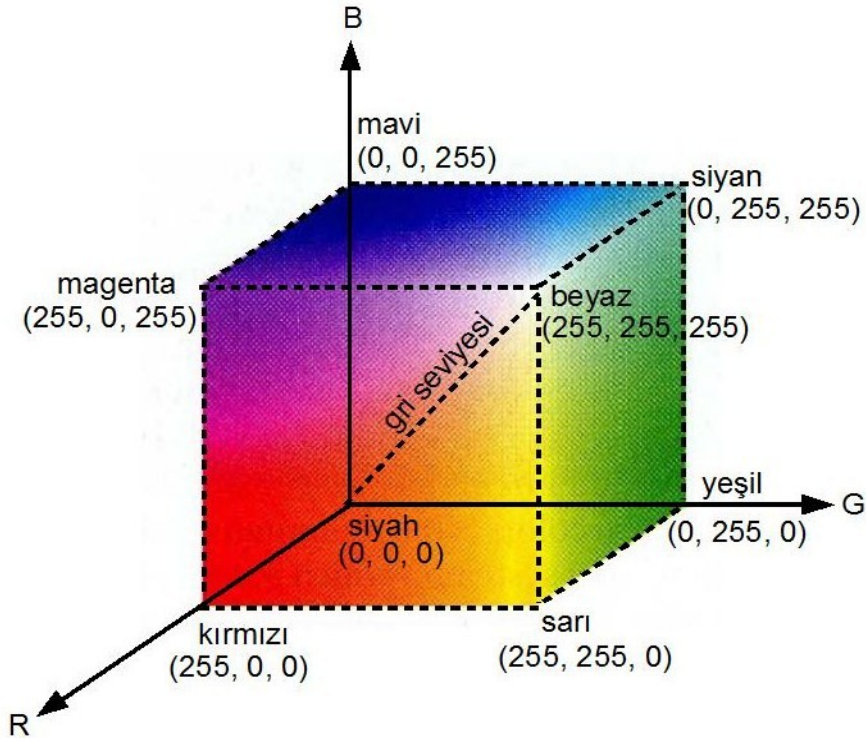
Burada k değeri görüntünün bir pikselinin kaç bitle ifade edildiğini gösterir(Gonzalez, R. C., Woods, R. E., 2002). $M \times N$ boyutluk bir siyah beyaz görüntünün sıkıştırılmadan saklanması için gereken bit sayısını b ile ifade edilirse şu şekilde hesaplanır:

$$b=M \times N \times k \quad 2.3$$

2.2.2 Renkli Görüntüler

Renkli görüntüler elemanları 3 veya daha fazla değişkenli f fonksiyonu ile ifade edilen renk değerleri olan görüntülerdir(Gonzalez, R. C., Woods, R. E., 2002). Dolayısıyla renkli

görüntülerde çalışırken birde fazla matrisle işlem yapmak gerekir. Renkli görüntülerin gösterimi 3 bileşenli RGB(kırmızı, yeşil, mavi), 4 bileşenli CMYK(siyan, magenta, sarı, siyah) ve 3 bileşenli HSI(ton, doygunluk, yoğunluk) olmak üzere üç türdür. RGB bileşenler genellikle televizyon yayınlarında ve video akışlarında kullanılan görüntülerde, CMYK bileşenleri baskı işlemlerinde, HSI bileşenler görüntüdeki renklerin görsel çalışmalarda yorumlanmasında kullanılır(Gonzalez, R. C., Woods, R. E., 2002). Burada her bir bileşen bir matris ile ifade edilir. Dolayısıyla RGB olan bir görüntünün temsili kırmızı, yeşil ve mavi değerlerine ait 3 matrisle gerçekleştirilebilir. Eğer biz matris elemanlarını 8 bitle ifade edersek, bir pikselin büyüklüğü 24 bit olur. Bu değer *piksel derinliği* olarak adlandırılır. Dolayısıyla piksel derinliği 24 bit olan bir RGB görüntüde her piksel $(2^8)^3=16.777.216$ farklı renk değeri alabilir. Şekil 2.2'deki renk kübü, 8 bitlik RGB değerlerinin kartezyen koordinat sistemi üzerindeki gösterimidir.



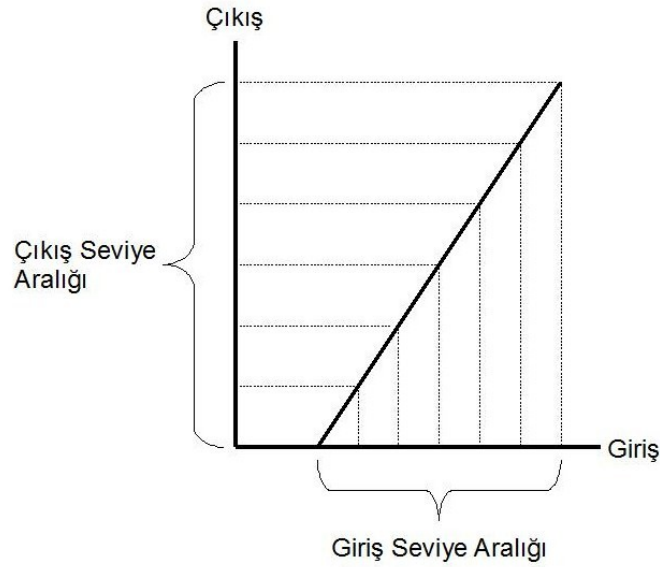
Şekil 2.2 RGB değerlerinin kartezyen koordinat sistemi üzerinde gösterildiği renk kübü

2.3 Temel Görüntü İyileştirme Yöntemleri

Temel görüntü iyileştirme yöntemleri görüntünün bir insan ya da makine tarafından daha iyi analiz edilmesini amaçlayan veya görüntünün görsel değerini artıran dönüşümleri gerçekleştiren işlemlerdir(Pratt, W. K., 2007). Bu yöntemler görüntüdeki piksellerin genlik değerlerinin üzerinde yapılan işlemler sonucu görüntünün daha anlaşılır olmasını veya bir sonraki işlem için hazır hale gelmesini amaçlar.

2.3.1 Kontrast Dengeleme

Sayısal görüntülerde sık karşılaşılan sorunlardan biri görüntünün genlik dağılımının doğrusal olmayışından zayıf kontrast değerleridir. Tipik bir düşük kontrastlı görüntüde her pikselin genlik değerleri tekrardan ölçeklendirilerek kontrast değerlerinde iyileştirme yapılabilir (Pratt, W. K., 2007). Şekil 2.3'te bu tür iyileştirme için sayısal görüntüye uygulanabilecek basit bir fonksiyon grafiği oluşturulmuştur. Burada esas görüntüdeki gri seviyesi aralığının işlenmiş görüntüde genişlediği gözlenmektedir. Görüntüdeki gri seviyeleri daha geniş bir aralığa yayıldığında görüntüdeki detaylar daha anlaşılır olacaktır. Dolayısıyla bazı piksellerdeki gri seviyelerinde artış olacaktır. Bu artış sonucu esas görüntüde izin verilen gri seviyesini geçen değerler işlenmiş görüntüde birtakım istenmeyen kontrast izlerine sebep olabilir. Eğer işlenmiş görüntü esas görüntüye göre daha yüksek seviyede kuantalanırsa yeniden ölçeklenmiş piksel değerlerinin doğrusal bir biçimde dağılımı mümkün hale gelir ve kontrast izleri bu şekilde azaltılabilir.

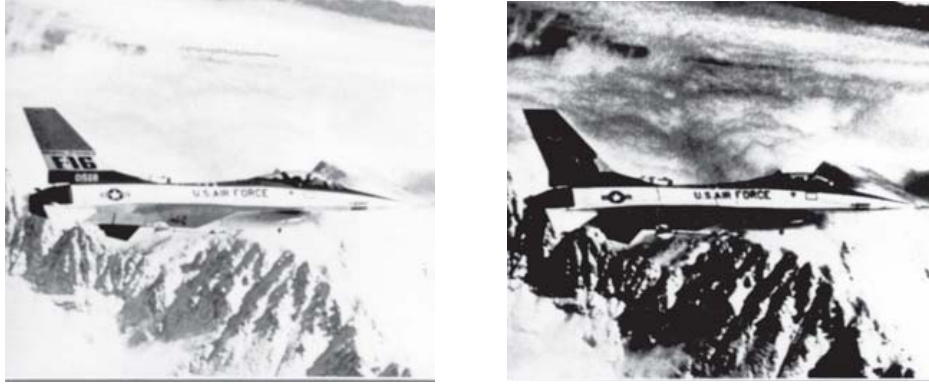


Şekil 2.3 Kontrast dengeleme amaçlı oluşturulmuş gri seviyelerini ölçekleyen fonksiyon (Pratt, W. K., 2007)

2.3.2 Histogram Dengeleme

Kuantalanmış bazı görüntülerdeki gri seviyelerinin önemli bir kısım siyaha veya beyaza yakın bölgede yoğunlaşmış yani ortalama değerinin altında veya üstünde uzak kalmış olabilir. Bu tür görüntüler histogram dengelemeye ihtiyaç duyan görüntülerdir (Pratt, W. K., 2007). Eğer görüntüdeki piksel değerlerinin önemli bir bölümü ortalama değere uzaksa görüntünün daha anlaşılır hale getirilmesi için histogram dengeleme yöntemleri kullanılır (Resim 2.2).

Histogram dengeleme piksellerdeki piksel değerleri dağılımını istenilen düzeyde ortama değere göre yeniden leklenir. Böylece alt veya üst seviyelerde toplanmış birbirine yakın genlik değerleri arasındaki farklar artar ve görüntü daha anlaşılır hale gelir.



(a)

(b)

Resim 2.3 Piksellerdeki gri seviyeleri beyaz değerlerde toplanmış esas görüntü(a) ve histogram eşitilemeden sonraki görüntü(b) (Pratt, W. K., 2007)

2.3.3 Gürültü Giderme

Bir görüntü elektriksl algılayıcılardan kaynaklanan gürültü, kanal hataları veya fotografik lekeler gibi sebeplerden dolayı gürültü bileşenlerini içeriyor olabilir. Bu tür etkileri yok etme *gürültü giderme* uygulamalarının konusudur(Pratt, W. K., 2007).

Gürültülü bir algılayıcının ya kanal hatalarının sebep olduğu gürültü, görüntüde uzamsal olarak ilişkili olmayan ayrı piksel varyasyonlarıdır(Pratt, W. K., 2007). Hatalı pikseller genellikle komşu piksellerine göre olan farklılığı ile ortaya çıkar. Gürültü giderme algoritmalarını bu özelliği temel alır.

Gürültülü bir görüntü esas görüntüye göre daha yüksek frekans bileşenlerini içerir. Bu bileşenleri ortadan kaldırmak basit bir alçak geçiren filtre yardımıyla mümkün olabilir. Bu tür gürültü giderme yöntemleri *doğrusal gürültü giderme* olarak incelenir(Pratt, W. K., 2007). Resim 2.4'te düzgün dağılımlı gürültü içeren bir görüntü ve bu görüntüye alçak geçiren Gauss filtresi uygulandıktan sonra elde edilen sonuç görülmektedir.



Resim 2.4 Düzgün dağılımlı gürültü içeren görüntü(a) ve Gauss filtresinden geçirilmiş görüntü(b) (Pratt, W. K., 2007)

Doğrusal gürültü giderme yöntemleri sürekli gürültü içeren görüntülerde oldukça etkilidir. Fakat bu işlemler aynı zamanda görüntü üzerinde yumuşatmayı gerçekleştirir(Pratt, W. K., 2007). Doğrusal olmayan teknikler gürültülü kısımları yumuşatırken görüntü detaylarında daha iyi sonuç verir. Bu tür tekniklere;

- Aykırı değeri bularak eşikten geçirme
- Medyan filtreleme
- Adaptif filtre kullanarak gürültü giderme
- Dalgacık dönüşümü ile gürültü giderme

örnek olarak verilebilir(Pratt, W. K., 2007).

2.4 Görüntüde Stokastik Prosesler ve Rastgele Süreçler

Çok boyutlu bir işaretin uzamsal ve zamana bağlı bileşenlerinin analiz edilebilmesi için görüntü boyunca alınan istatistiksel niceliklere ihtiyaç vardır. Bu nicelikler uzamsal veri için *rasgele süreçler* ve zamana bağlı seriler için *stokastik proseslerdir*(Jähne, B., 2005).

$M \times N$ boyutlu bir sayısal görüntüdeki bir rasgele süreç, görüntüye ait $M \times N$ boyutlu matrisin elemanları olan rastgele değişkenlerden oluşur(Jähne, B., 2005). Yani bu görüntüye ait olasılık yoğunluk fonksiyonunun $M \times N$ tane değişkeninin olabileceğidir. Rastgele süreç bütün olası q durumları üzerinde gerçekleşen aşağıdaki toplam ifadesine eşittir:

$$\overline{G_{M,N}} = \sum_{q=1}^{Q^{M,N}} f_q(G).G_q \quad 2.4$$

Bu ifadeye göre eğer Q adet kuantalama seviyesi varsa bir piksel Q farklı durumda olabilir. Dolayısıyla her piksel için olası G_q durumları, görüntüdeki tüm pikseller için ele alınıp $Q^{M,N}$ değerinde sonlanmaktadır. Bu ifade tüm olası durumları içerdiği için basitleştirilmesi gerekmektedir. Bunun için çok boyutlu işaretleri rastgele süreç olarak ifade ederken bir takım değişik yollar izlenir.

İlk olarak bir rastgele sürecin ortalaması ve varyansı hesaplanır. Tek bir G_p değeri için aynı şartlar altında P tane yapılan ölçümün ortalaması şekildedir:

$$\overline{G} = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P G_p \quad 2.5$$

Bu ortalama değere *topluluk ortalaması* denir(Jähne, B., 2005). Varyansın basit bir şekilde hesaplanması işe şu şekildedir(Jähne, B., 2005):

$$S_G^2 = \frac{1}{P-1} \sum_{p=1}^P (G_p - \overline{G})^2 \quad 2.6$$

Bu aşamada her bir pikselin ortalaması ve varyansı hesaplanmış olur. Verilen şartlar altında iki değer üzerinde de çalışılarak görüntü ile ilgili piksellerin durumu ile ilgili bilgiler elde edilebilir(Jähne, B., 2005).

2.4.1 Korelasyon ve Kovaryans Fonksiyonları

Görüntüde piksellerdeki gri seviyeleri başka piksellerdeki değerlerle ilişkilendirilebilir. Görüntüde farklı iki bölgedeki gri değerlerinin *korelasyonunun* ölçümü aşağıdaki gibidir(Jähne, B., 2005):

$$R_{gg}(m, n; m', n') = \overline{G_{mn}G_{m'n'}} \quad 2.7$$

Görüntüdeki rasgele bir bölgedeki gri seviyesi değerinden ortalama değeri çıkarırsak ifade şu şekilde olur:

$$C_{gg}(m, n; m', n') = \overline{(G_{mn} - \overline{G_{mn}})(G_{m'n'} - \overline{G_{m'n'}})} \quad 2.8$$

Bu fonksiyona *otokovaryans fonksiyonu* denir(Jähne, B., 2005). Bu fonksiyon ile görüntüdeki uzamsal ilişkiler hesaplanır. Eğer otokovaryans değeri 0 olursa hesaplanan bölgelerdeki

pikseller ilişkisiz demektir. Burada $G_{m,n}$ ' değerleri m ve n piksellerinin ötelenmesiyle elde edilen gri değerleridir. 2.8 eşitliği 4 boyutlu olduğu için çok kullanışlı değildir. Bu tür fonksiyonlar pikseller arası ilişkiler küçük değerli ötelemelerde ölçülür. Birbirine uzak bölgelerde bulunan pikseller için bu eşitlik kullanışlı değildir. Bu ifadeyi daha basit hale indirmek yani pikseller arasındaki ilişki piksellerin yerinden bağımsız hale getirilmek istenirse aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$C_{gg}(m, n; m', n') = \frac{1}{MN} \sum_{m'=0}^{M-1} \sum_{n'=0}^{N-1} (G_{mn} - \overline{G_{mn}})(G_{m'+m, n'+n} - \overline{G_{m'+m, n'+n}}) \quad 2.9$$

Otokovaryans fonksiyonu ile görüntüdeki birbiriyle ilişkisi olmayan noktaları belirlenebilir. (Jähne, B., 2005). Görüntüdeki noktaların birbirileri ile olan ilişkilerinin derecesini hesaplamak, görüntü işlemede kullanılan istatistiksel özellikleri belirleme açısından oldukça önemlidir.

Bir görüntünün kendisiyle olan ilişkisini hesaplanabileceği gibi iki ayrı G ve H görüntüsünün birbirileri ile olan ilişkilerini de incelenebilir. Bu görüntüler hareketli bir sahnenin ardışık görüntüleri olabilir. Bu işlemler için *çapraz korelasyon* ve *çapraz kovaryans* fonksiyonları kullanılır(Jähne, B., 2005):

$$R_{gh}(m, n) = \frac{1}{MN} \sum_{m'=0}^{M-1} \sum_{n'=0}^{N-1} (G_{m'n'} H_{m'+m, n'+n}) \quad 2.10$$

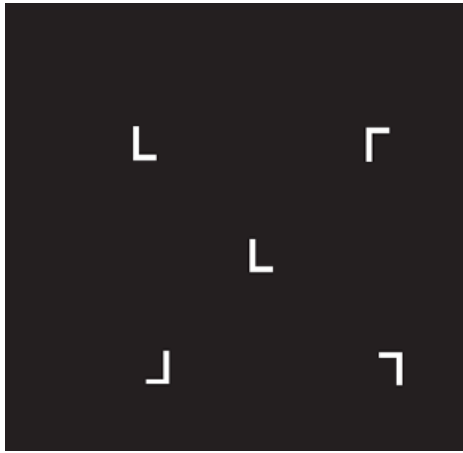
$$C_{gh}(m, n) = \frac{1}{MN} \sum_{m'=0}^{M-1} \sum_{n'=0}^{N-1} (G_{m'n'} - \overline{G_{m'n'}})(H_{m'+m, n'+n} - \overline{H_{m'+m, n'+n}}) \quad 2.11$$

2.4.2 Çapraz Korelasyon ile Şablon Eşleme

İncelenen G ve H görüntülerinden H görüntüsü diğer görüntünün içinde aranan hedef görüntüsü ise H şablonunu G görüntüsünün içinde ararken normalize edilmiş çapraz korelasyon fonksiyonundan faydalanılabilir(Pratt, W. K., 2007). Normalize edilmiş çapraz korelasyonun ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$\hat{R}_{gh}(m, n) = \frac{1}{MN} \left(\frac{\sum_{m'=0}^{M-1} \sum_{n'=0}^{N-1} (G_{m'n'} H_{m'+m, n'+n})}{\sum_{m'=0}^{M-1} \sum_{n'=0}^{N-1} (G_{m'n'})^2} \right) \quad 2.12$$

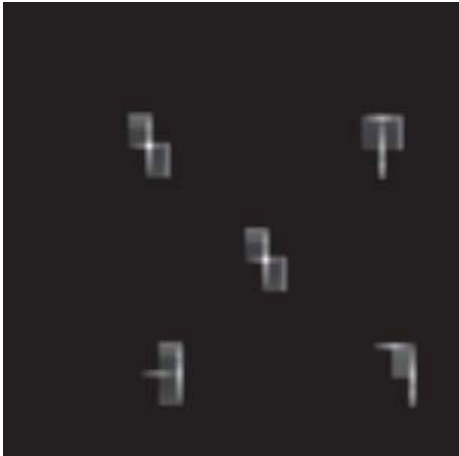
Şablon eşleme sırasında hedef görüntü esas görüntü üzerinde gezdirilerek normalize edilmiş çapraz korelasyon değerleri hesaplanır. Hedef görüntü esas görüntüde kendi gri seviyelerine en yakın bölgeye ulaştığında çapraz korelasyon katsayısı değeri en yüksek değere ulaşır. Hedef görüntüsünün bulunduğu noktayı işaretlemek için çapraz korelasyon değerleri bir eşik değerinden geçirilebilir. Böyle sadece hedef görüntünün bulunduğu yerler işaretli kalır (Resim 2.3).



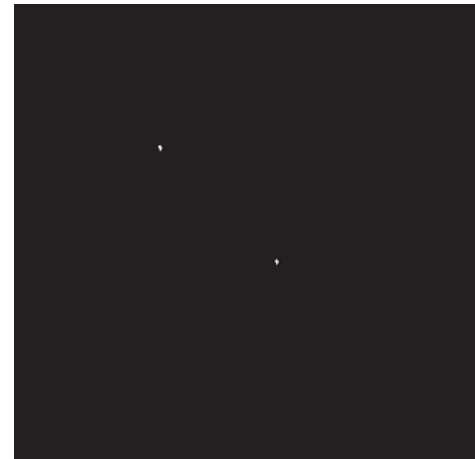
a)



b)



c)



d)

Resim 2.3 Çapraz korelasyon ile şablon eşleme. a)Esas görüntü. b) Hedef görüntü. c)Çapraz korelasyon görüntüsü. d) Eşik değerinden geçirilmiş çapraz korelasyon görüntüsü(Pratt, W. K., 2007)

3. İKİLİ SAYISAL GÖRÜNTÜLER

İkili görüntü, genlik değerleri 0 veya 1 olan ayrık noktalar setinden oluşan görüntüdür(Marchan-Maillet, S., Sharaiha, Y. M., 2005). İkili görüntü modelinde pikseller genel olarak iki türlü tanımlanır: Ön plandaki pikseller ve arka plandaki pikseller. Yapılan tezde pikseller eğer ön plandaki hareketli nesneye ait ise beyaz olarak, arka plana ait ise siyah olarak gösterilmiştir. Sekiz bitlik gri seviyeli bir görüntüde piksellerin genlik değerleri [0,255] arasında değişirken ikili görüntüde sadece siyahı temsilen 0, ve beyazı temsilen 1 değeri bulunur. Eğer ikili görüntü sekiz birlik bir görüntüye dönüştürülmek istenirse [0,1] değerleri [0,255] e dönüşecektir.

İkili görüntüler genellikle arka planı ön plandaki nesneden ayırıp, ön plandaki nesnenin analiz edilmesi gereken görüntü işleme uygulamalarında kullanılır(Marchan-Maillet, S., Sharaiha, Y. M., 2005). Faaliyet haritası için önemli olan ön plandaki araçların hareketi olacağından, uygulama ikili görüntü üzerinde yapılmıştır. Fark görüntüleri belli bir eşik değerinden geçirilmesine rağmen görüntüde hareketsiz kısımlarda bazı beyaz pikseller tamamen yok edilemediği gibi bazı kısımlarda ise araçların belirginleştirilmesi gerekir. Hareketli kısımları daha iyi analiz etmek için ikili fark görüntülerine birtakım morfolojik işlemler uygulanmalıdır.

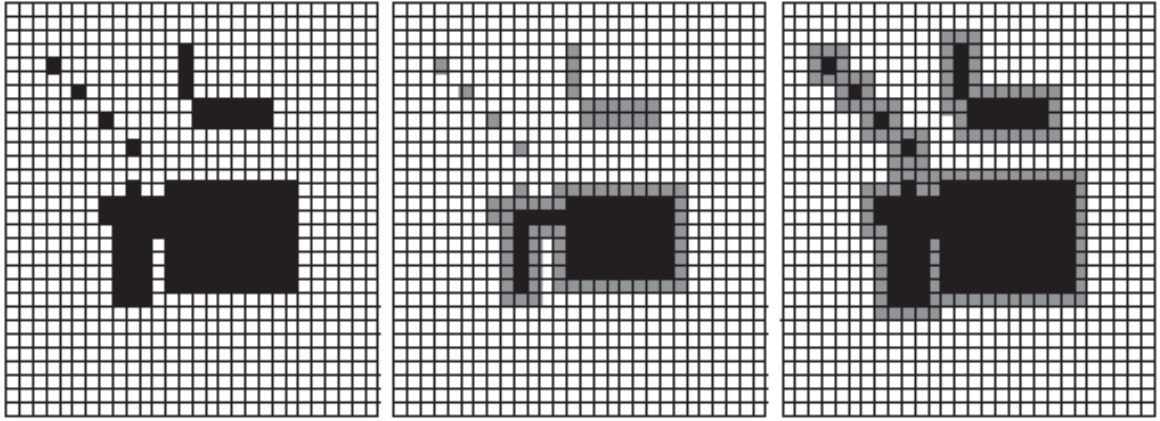
3.1 İkili Görüntü Üzerinde Morfolojik İşlemler

Görüntü işlemede kullanılan morfolojik işlemler ikili görüntülere uygulanan küme teorisine dayalı ön plandaki nesneyi analiz eden ve değiştiren işlemlerdir (Forsyth, D., Ponce, J., 2003). Yapılan uygulamada araçların hareketlerini düzgün bir şekilde ortaya çıkarabilmek ve diğer etkenlerden kaynaklanan gürültüleri yok edebilmek için morfolojik işlemlerden faydalanılmıştır. Morfolojik uygulamalarda iki önemli işlem vardır: Genleşme ve Aşındırma.

3.1.1 Genleşme ve Aşındırma

İkili görüntülere uygulanan oldukça kullanışlı birçok uygulama küme teorisine dayanan temel genleşme ve aşındırma işlemlerinin kombinasyonları ile elde edilebilir (Forsyth D., Ponce J., 2003). Bu işlemler ikili görüntüde görüntünün bütününden bağımsız piksel kümeleri bulunduğunu varsayar. Bu pikseller ön planda bulunan piksellerdir. Doğal olarak bu piksellerden bazılarını kümelere yok edebilir bazı yeni pikselleri ise kümeye dahil edilebilir. Örneğin şekil 3.1'deki gibi tüm pikselleri 3x3'lük blokların merkezleri gibi düşünersek, komşuluklarından herhangi biri siyah piksel olmayan pikselleri yok edebilir veya

her piksel 3x3'lük siyah komşu pikselleri dahil edilebilir.*



Şekil 3.1 Soldaki ikili görüntüde 3x3 lük siyah komşulukların dışında kalan siyah pikseller yok edilmiştir. Bu işlem aşındırma olarak adlandırılır. Ortada yok edilen pikseller gri olarak gösterilmiştir. Aynı şekilde tüm siyah piksellerin 3x3'lük komşuluklarına siyah piksekler ilave edebiliriz. Bu işlem genişleme olarak adlandırılır ve ilave edilen pikseller sağ tarafta gösterilmiştir(Forsyth, D., Ponce, J., 2003).

Faaliyet haritasında değeri 1 olan pikseller kümeye dahil edilmiş, 0 olanlar ise küme dışında kabul edilmiştir. Eğer bir S yapı elemanının merkezinin morfolojik işlem sonrası elde edilen p pikseli ile yer değişimini S_p olarak kabul edilirse bir I görüntüsün genişmesi şu şekilde olur;

$$I \oplus S = \{ p : S_p \cap I \neq \emptyset \} \quad 3.1$$

Aynı şekilde bir I görüntüsünün S yapı elemanı kullanılarak aşındırılması ise;

$$I \ominus S = \{ p : S_p \subset I \} \quad 3.2$$

olarak gerçekleştirilir. Bu işleçlerin amaçları genel olarak ilgili bilgi taşıyan piksellerin belirginleştirilmesi, gerekli olmayan piksellerin ise temizlenmesidir (Forsyth, D., Ponce, J., 2003).

3.1.2 Açma ve Kapama

Bir görüntü üzerindeki genişleme işlemini aşındırma takip ederse kapama işlemi gerçekleşmiş olur(Pratt, W. K., 2007). Bu işlem aşağıdaki gibi temsil edilir:

*Sayısal görüntüye morfolojik işlemler uygulanırken küme mantığındaki birleşim işlemi lojik ve işlemine, kesişim işlemi ise lojik veya işlemine denk düşer. Burada yapı elemanının seçimi oldukça önemlidir. Aşındırmayı veya genişletmeyi yapı elemanı kontrol eder. Yapı elemanı 3x3 boyutlarında olmak zorunda değildir. Ortaya çıkarılmak istenen bilgiye göre kxk boyutluk ve değişik yapı elemanları kullanılabilir.

$$G(j,k) = F(j,k) \bullet H(j,k)$$

3.3

Burada $H(j,k)$ $L \times L$ boyutlu yapı elemanıdır (Pratt, W. K., 2007). Görüntü üzerinde kapama işlemi kontürleri yumuşatır, küçük delikleri ve nesnelere arasındaki kısa mesafeleri kapatır.

Eğer görüntüye uygulanan aşındırma işlemi genişleme takip ediyorsa görüntü üzerinde açma işlemi gerçekleşmiş olur (Pratt, W. K., 2007). Açma işlemi ise aşağıdaki gibi temsil edilir:

$$G(j,k) = F(j,k) \circ H(j,k)$$

3.4

Açma işlemi nesnelere ait kontürleri keskinleştirir, ufak nesnelere yok eder ve daralmış kısımları birbirinden ayırır.

4. SAYISAL GÖRÜNTÜDE KENAR BELİRLEME VE HOUGH DÖNÜŞÜMÜ

4.1 Kenar Belirlemeye Genel Bakış

En önemli görüntü işleme operasyonlarından biri kenar belirlemedir. Kenar bilgisi hem biyolojik görme, hem de görüntü analizi bakımından oldukça değerlidir. Burada görüntüdeki kenar anlamının ne olduğunu kavramak gerekir. Fiziksel dünyadaki anlamıyla düşünürsek kenar 2 türdür:

1. Fiziksel bir yüzeyin ani bölgesel değişimini ifade eden noktalar kümesidir.
2. Aynı iki veya daha fazla maddeyi ayıran sınırı oluşturan noktalar kümesidir(Bowik, A., 1999).

Görüntüleme işlemi sırasında 3 boyutlu sahnenin 2 boyutlu izdüşümü söz konusudur. Bu izdüşüm sebebiyle kenarlar fiziksel dünyadaki anlamlarından farklı bir anlam kazanır. Görüntüde kenarlar görüntü ile ilgili farklı özelliklere sahip bölgeleri ayıran sınırlar olarak tanımlanabilir(Bowik, A., 1999). Bu özellikler genelde gri seviyesi veya parlaklık olur, fakat bazen de bölgeleri ayırmada yansıtıcılık, renk ve doku da kullanılabilir. Faaliyet haritasında görüntüdeki bölgeleri birbirinden ayıran özellik gri seviyesidir. Kenar pikselleri gri seviyesinin ani değişim gösterdiği piksellerdir. Kenar kestirimi ise hangi noktaların kenar pikselleri olduğunu belirleme işlemidir. Kenar belirleme işleminin sonucunda bir kenar haritası oluşur. Bu harita kenar piksellerinin sınıflandırıldığı ve toplamda kenar yapılarını oluşturduğunu gösteren başka bir görüntüdür.

Pratik kenar belirleme yöntemleri temel olarak Gradyan veya Laplas Dönüşümlerini kullanırlar(Bowik, A., 1999). Bu şekilde iki boyutlu kenar belirlemede ortaya çıkan zorluklarla başa çıkılabilmektedir. Tek boyutlu kenarlara karşılık iki boyutlu görüntüdeki kenarlara yön kavramı da eklenmektedir. Ancak yöne duyarlı kenar belirleyiciler kullanışlı olabilmektedir. Bununla birlikte sayısal görüntünün ayrık yapısı türeve yaklaşımın kullanılmasını gerektirir. Sonuç olarak kenar belirleme işlemi diferansiyel işleci ile gerçekleştirilir.

Diferansiyel kenar belirmede 2 önemli sınıf söz konusudur: birinci derecen diferansiyel ve ikinci dereceden diferansiyel. Birinci dereceden diferansiyelde uzaysal birinci dereceden türev alma işlemi uygulanmaktadır ve sonuçtaki kenar gradyanı belli bir eşik değeri ile kıyaslanır. Eğer gradyan eşik değerini geçerse o bölge kenar olarak belirlenir. 2 dereceden diferansiyelle kenar belirmede ise ikinci dereceden türevin kutbunda uzaysal bir değişim varsa o nokta kenar olarak belirlenir(Pratt, W. K., 2007).

4.1.1. Birinci Dereceden Türevle Kenar Belirleme

4.1.1.1 Ortogonal Gradyen Oluşturma

Sürekli uzayda bir $F(x,y)$ kenar ayırımı tek boyutlu ve yatay eksenle θ açısı yapan birinci dereceden $G(x,y)$ gradyeni ile bulunabilir. Eğer gradyen büyükse kenar olma ihtimali yüksektir(Pratt, W. K., 2007). Kenar eğiminin normalindeki bir doğru boyunca gradyeni, ortogonal eksenlerin türevleri alınarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$G(x, y) = \frac{dF(x, y)}{dx} \cos \theta + \frac{dF(x, y)}{dy} \sin \theta \quad 4.1$$

Ayrık uzayda ise kenar Gradyeni $G(x,y)$ satır gradyeni $G_R(j,k)$ ve sütun gradyeni $G_C(j,k)$ 'nin toplamı cinsinde ifade edilebilir(Pratt, W. K., 2007). Uzaysal gradyenin genliğinin hesaplanması aşağıdaki gibidir:

$$G(j, k) = \left[\left[G_R(j, k)^2 \right] + \left[G_C(j, k)^2 \right] \right]^{1/2} \quad 4.2$$

Hesaplama kolaylık açısından gradyenin genliği bazen mutlak değerler toplamı cinsinden ifade edilebilir:

$$G(j, k) = |G_R(j, k)| + |G_C(j, k)| \quad 4.3$$

Uzaysal gradyenin yatay eksenle yaptığı açı şu şekilde ifade edilir:

$$\theta(j, k) = \arctan \left(\frac{G_C(j, k)}{G_R(j, k)} \right) \quad 4.4$$

Küçük Komşuluk İşleçleri:

Ayrık gradyen oluşturmadaki en basit yöntem, görüntünün satır ve sütunlarındaki piksellerin farkını almaktır. Buna göre satır gradyeni:

$$G_R(j, k) = F(j, k) - F(j - 1, k) \quad 4.5$$

şeklindedir. Sütun gradyeni ise:

$$G_C(j, k) = F(j, k) - F(j, k + 1) \quad 4.6$$

olarak tanımlanır(Pratt, W. K., 2007).

A_1	A_2	A_3
A_8	$F(j,k)$	A_4
A_7	A_6	A_5

Şekil 4.1 Prewitt gradyen işleci

İlk olarak Prewitt pikselleri numaralandırarak (Şekil 4.1) 3x3 piksellik bir gradyan işlecini geliştirmiştir(Pratt, W. K., 2007). Bu tür işleçler küçük komşuluk işleçleri olarak tanımlanır. Prewit işleci karekök formunda aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$G(j, k) = \left[\left[G_R(j, k)^2 \right] + \left[G_C(j, k)^2 \right] \right]^{1/2} \quad 4.7$$

Bununla birlikte,

$$G_R(j, k) = \frac{1}{K+2} \left[(A_2 + KA_3 + A_4) - (A_0 + KA_7 + A_6) \right] \quad 4.8$$

ve,

$$G_C(j, k) = \frac{1}{K+2} \left[(A_0 + KA_1 + A_2) - (A_6 + KA_5 + A_4) \right] \quad 4.9$$

olarak ifade edilir. Burada $K=1$ olarak alınır. Bu formüle göre satır ve sütun gradyenleri, ayrık kenarların durumuna göre artı ve eksi olarak ağırlıklandırılmış ortalama değerleri elde edebilmek için normalize edilir. Sobel kenar belirleyicisi sağ, sol, alt ve üst piksellerdeki değerleri ikiye katlayarak Prewit'te göre farklı bir yol izlemiştir(Pratt, W. K., 2007). Yani burada K değeri 2 olarak alınmıştır. Bu ağırlıklandırmada tüm piksellerin eşit katkısı olmuştur. Frei ve Chen sağ, sol, alt ve üst piksellerdeki değerlerin ağırlıklarını yani K değerini ikinin karekökü olarak almıştır(Pratt, W. K., 2007). Dolayısıyla dikey, yatay ve çapraz köşelerde gradyan eşit hale gelmiştir. Aşağıda farklı kenar belirleyicilere ait küçük komşuluk işleçleri görülmektedir.(Şekil 4.2).

	Satır Gradyeni	Sütun Gradyeni
Piksel farkı	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
Ayrık piksel farkı	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
Roberts	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
Prewitt	$\frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix}$	$\frac{1}{3} \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$
Sobel	$\frac{1}{4} \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 1 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix}$	$\frac{1}{4} \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$
Frei-Chen	$\frac{1}{2+\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ \sqrt{2} & 1 & -\sqrt{2} \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -1 & -\sqrt{2} & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & \sqrt{2} & 1 \end{pmatrix}$

Şekil 4.2 Farklı kenar belitleyicilere ait küçük komşuluk işlemleri (Pratt, W. K., 2007).

Satır ve sütun gradyanları tüm kenar belirleyicilerde küçük komşu piksellerle yapılan işlemler olarak ifade edilebilir. Dolayısıyla biz ayrık uzayda olduğumuz için bu işlemleri birer konvolüsyon ilişkisi olarak da tanımlayabiliriz:

$$G_r(j,k) = F(j,k) \otimes H_r(j,k) \quad 4.10$$

$$G_c(j,k) = F(j,k) \otimes H_c(j,k) \quad 4.11$$

Burada $H_r(j,k)$ ve $H_c(j,k)$ 3x3 boyutlarında satır ve sütun darbe yanıtlarıdır (Pratt, W. K., 2007).

Büyük Komşuluk İşlemleri:

Yüksek gürültülü bölgelerde kenar gradyan işlemlerinde sınırlama yapmak kenar belirlemede verimsiz bir sonuç alınmasına sebep olur. Bu problem, diferansiyel gradyanları hesaplayan komşuluk işlemlerinin boyutlarının arttırılmasıyla giderilebilir. Örneğin Prewitt tipi 7x7

boyutlarındaki bir işlecin Satır gradyen darbe yanıtı Şekil 4.3'teki gibidir.

$$H_R = \frac{1}{21} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}$$

Şekil 4.3 Boxcar işleci (Pratt, W. K., 2007)

Bu tür işleçler Boxcar işleçleri olarak adlandırılır (Pratt, W. K., 2007). Yüksek ölçekli diferansiyel gradyan işleçleri gürültülü görüntüye bir yumuşatma işlemini takiben türev alma işlecinin gerçekleştirilmesidir. Bu işlemleri tek bir işleç olarak aşağıdaki formda gösterebiliriz:

$$H(j,k) = H_G(j,k) \otimes H_S(j,k)$$

Burada $H_G(j,k)$ gradyen darbe yanıtı, $H_S(j,k)$ ise alçak geçiren filtre yanıtıdır. Örneğin, $H_G(j,k)$ 3x3'lük bir Prewitt gradyan işleci, $H_S(j,k)$ ise tüm elemanları 1/9 olan düzgün dağılımlı alçak geçiren filtre olursa bunların konvolüsyon çarpımından oluşan 5x5'lik satır gradyan işleci normalizasyon işleminden sonra şekil 4.4'teki gibi olur.

$$H_R = \frac{1}{18} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & -1 & -1 \\ 2 & 2 & 0 & -2 & -2 \\ 3 & 3 & 0 & -3 & -3 \\ 2 & 2 & 0 & -2 & -2 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

Şekil 4.4 5x5'lik Prewitt işleci ile alçak geçiren düzgün dağılımlı Gauss filtresinin konvolüsyonundan oluşan darbe yanıtı (Pratt, W. K., 2007)

4.1.2 İkinci Dereceden Türevle Kenar Belirleme

İkinci türevden kenar belirleme teknikleri kenarları bulmak için bölgesel bazı ikinci dereceden türev alma işlemlerini içerir. İkinci türevde basit bir bölgesel değişim olursa o nokta kenar olarak belirlenir. Bu tarz işlemler iki ayrı metotta incelenir: Laplas ve yönlü ikinci dereceden

türev (Pratt, W. K., 2007).

4.1.2.1 Laplas Oluşturma

Bir $F(x,y)$ görüntüsün sürekli uzaydaki kenar Laplas' şu şekilde tanımlanır:

$$G(x, y) = -\nabla^2 \{ F(x, y) \} \quad 4.12$$

Burada Laplas dönüşümü şu şekildedir (Pratt, W. K., 2007):

$$\nabla^2 = \frac{\delta^2}{\delta x^2} + \frac{\delta^2}{\delta y^2} \quad 4.13$$

Laplas dönüşümü olan $G(x,y)$ eğer $F(x,y)$ lineer olarak değişiyorsa sıfırdır (Pratt, W. K., 2007). Eğer $F(x,y)$ 'nin değişimi lineer değilse $G(x,y)$ o noktada bir değişim ifade eden bir işaret oluşturur. Ayırık uzayda sürekli Laplas'ın hesaplanışının en basit ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$G(j,k) = |F(j,k) - F(j-1,k)| - |F(j+1,k) - F(j,k)| + |F(j,k) - F(j,k+1)| - |F(j,k-1) - F(j,k)| \quad 4.14$$

Buradaki dört komşulu Laplas işleci konvolüsyon işlemi ile şu şekilde hesaplanır (Pratt, W. K., 2007):

$$G(j,k) = F(j,k) \otimes H(j,k) \quad 4.15$$

4.1.3 Canny Gradyen İşleçleri

Canny büyük komşuluklu gradyen işleçleri üzerinde analitik bir çalışma yapmıştır. Canny'nin çalışması $F(x,y)$ görüntüsün bölgesel gradyeninin maksimum değerini esas alır. Görüntü Gauss filtresinden geçirildikten sonra türev işlemine tabi tutulur (Pratt, W. K., 2007). Bu yöntem belirgin ve eğer belirli kenarların bir parçası ise zayıf kenarları kestirebilmek için iki eşik değer kullanır. Dolayısıyla genlik değerleri düşük gerçek kenarları bulmada kullanışlı bir yöntemdir. Faaliyet haritasında kenar belirleme yöntemi olarak Canny Edge Dedector seçilmiştir.

Canny'nin çalışması temel olarak, s değeri kadar arttırılmış basamak genlikli bir Gauss gürültüsünü ve σ_n standart sapmasını ele alır. Bu yöntemde göre kenar belirleme, tek boyutlu sürekli uzaydaki gürültülü $f(x)$ işareti ile simetrik olmayan bir $h(x)$ darbe yanıtı fonksiyonunun konvolüsyonunu gerçekleştirir. Burada $h(x)$ darbe yanıtı fonksiyonu $[-W, W]$

aralığındadır. Konvolüsyon gradyeninin bölgesel en büyük değeri kenar olarak belirlenir.

Canny kenar belirleme yönteminde $W \times W$ penceresinin seçimi önemlidir. Pencerenin boyu, yüksek frekans bileşenlerinden kaynaklanan bozulmalara sebep olmayacak şekilde uygun büyüklükte seçilmelidir.

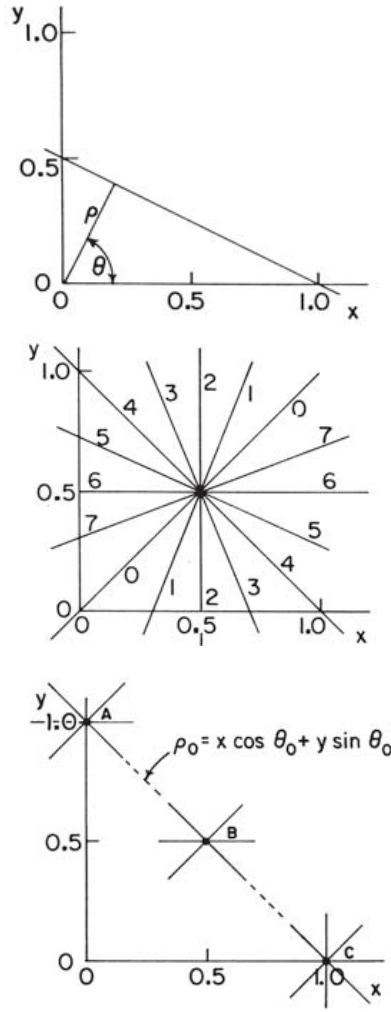
4.2 Hough Dönüşümü

Hough dönüşümü zayıf kenarları bağlamada bir araç olarak kullanılır. Bu yöntemde, kartezyen koordinat sistemi üzerindeki bir doğru veya doğru kümeleri polar koordinat sistemine dönüştürülür (Pratt, W. K., 2007). Düz bir doğru parametrik olarak şu şekilde ifade edilebilir:

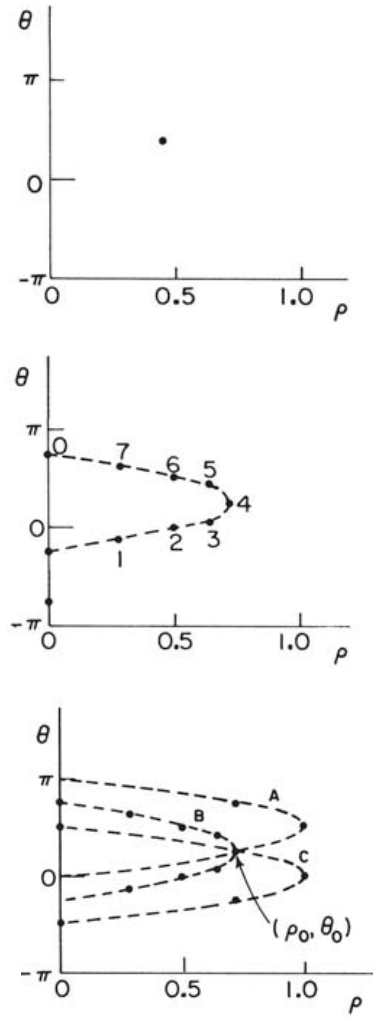
$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad 4.16$$

Burada ρ doğrunun orijine olan normal uzaklığıdır, θ ise doğrunun orijindeki x eksenine göre olan açısıdır. Şekil 2.8'i incelersek bir doğrunun Hough Dönüşümü, polar düzlemdeki (ρ, θ) koordinatlarında bir noktaya denk gelir (Pratt, W. K., 2007). Tek bir noktada kesişen doğru demeti, aynı çizgi üzerindeki ρ - θ noktalar setini oluşturur. Şekil 4.5 'teki üç kolinear nokta üzerinde düşünürsek, Eğri ailesinin Hough Dönüşümü, ρ - θ uzayında üç parametrik eğriden oluşan bir set meydana getirir. Bu eğriler kolinear (x, y) noktalarını birleştiren doğruyu ifaden eden bir (p_0, q_0) noktasında kesişir (Pratt, W. K., 2007).

Kartezyen Koodinat Düzlemi



Hough Dönüşümü



Şekil 4.5 Sırasıyla bir doğrunun, aynı noktadan geçen doğru demetinin ve keşişim noktaları bir doğru üzerindeki üç nokta olan üç doğru demetinin Hough dönüşümleri(Pratt, W. K., 2007)

Hough dönüşümü kenar işaretlemeye oldukça etkili bir yöntemdir. Kenar haritası oluşturulduktan sonra üzerindeki her bir nokta hough dönüşümü yardımıyla (ρ, θ) koordinatlarında bir eğri oluşturur. Eğer bu noktalar görüntü üzerinde düz ve belirgin bir kenara ait ise bu noktaların (ρ, θ) koordinatlarında oluşturduğu eğriler bir (ρ_0, θ_0) noktasında kesişir. Dolayısıyla genlik değeri yüksek olan (ρ_0, θ_0) noktaları orijinal görüntüde düz ve belirgin bir doğrunun geçtiğini işaret eder. Eğer bu doğru kenar haritasının üzerinde dağınık bir durumda ise Hough Dönüşümü yardımıyla kesik çizgiler birleştirilebilir. Dolayısıyla Hough Dönüşümü Morfolojik Görüntü İşlemede bölgesel kontrolü sağlayan bir kenar maskesi oluşturmada kullanılabilir (Pratt, W. K., 2007).

5. GÖRÜNTÜDE GEOMETRİK DÖNÜŞÜMLER VE UFUK NOKTASI

Ufuk noktası hesaplandıktan sonra görüntüdeki perspektif dönüşüm analiz edilebilirse görüntüyü düzleştirebilir. Böylece kamera araca yukarıdan dik açıyla bakıyormuş gibi aracın büyüklüğünü ve görüntüdeki tüm mesafeler sabitlenmiş olur. Burada amaç aracın iki ardışık görüntü arasında aldığı yolu hesaplariken mesafelerdeki perspektif dönüşümünden kaynaklanan lineer değişimleri ortadan kaldırmak ve mesafe ölçümünü basite indirgemektir. Bu aşamada görüntü üzerindeki geometrik dönüşümlerin hesaplanması ters dönüşüm işlemlerini mümkün kılar.

5.1 İzdüşüm ve Dönüşüm

Görüntüyü hareket ettirme, döndürme, yansıtma gibi işlemlere geometrik dönüşümler denir. Bir geometrik dönüşüm hem tanım kümesi hem değer kümesi noktalardan oluşan bir f fonksiyonudur (Salomon, D., 1999). $P'=f(P)$ ifadesi, P noktalarını P' noktalarına dönüştürmek için bir f fonksiyonunun uygulandığını göstermektedir. Eğer dönüşümlerin geometrik oluşundan bahsediyorsak, f fonksiyonu şu iki şartı sağlamalıdır: örten ve bire bir (Salomon, D., 1999).

Genel f geometrik fonksiyonu D değer kümesini R değer kümesine dönüştürür (Salomon, D., 1999). R kümesinde her bir nokta D değer kümesindeki bir noktaya karşılık geliyorsa, fonksiyon örten bir fonksiyondur.

Herhangi bir fonksiyonu tanım kümesindeki hem x hem de y noktalarını değer kümesinde aynı noktaya dönüştürebilir. Fakat bire bir özellikli geometrik bir fonksiyon eğer x ve y eşit değilse $f(x)$ ve $f(y)$ noktalarının eşit olmaması şartını kesinlikle sağlar. Matematiksel olarak ifade etmek istersek geometrik dönüşüm, tanım kümesi ve değer kümesi noktalardan oluşan birebir ve örten bir fonksiyondur (Salomon, D., 1999).

Görüntüyü dönüştürmeye örnek olarak orijin etrafında 0 derece ve 180 derece döndürmekten bahsedebilir. Bu iki eleman kümesi öyle bir gruptur ki, 0 derece döndürme özdeş dönüşüme, 180 derece döndürme de görüntü matrisinin tersinin alınmasına denk gelir (Salomon, D., 1999).

Önemli bir dönüşüm grubu da $P=(x,y,z)$ noktalarını $P'=(x',y',z')$ noktalarına çeviren lineer dönüşümler kümesidir ve bu dönüşümler ilgin dönüşümler olarak adlandırılır. Basitçe bir x , y , z dönüşümü şu şekilde ifade edilebilir (Salomon, D., 1999);

$$\begin{aligned}
x' &= a_{11}x + a_{12}y + a_{13}z, \\
y' &= a_{21}x + a_{22}y + a_{23}z, \\
z' &= a_{31}x + a_{32}y + a_{33}z,
\end{aligned}
\tag{5.1}$$

Bu eşitlik sistemindeki katsayılar matrisinin determinanı 0 değilse dönüşüm işleminin geri çatımı kolaylıkla gerçekleştirilebilir ve ters dönüşüm eşitlikleri aşağıdaki gibi yazılabilir (Salomon, D., 1999);

$$\begin{aligned}
x &= b_{11}x' + b_{12}y' + b_{13}z', \\
y &= b_{21}x' + b_{22}y' + b_{23}z', \\
z &= b_{31}x' + b_{32}y' + b_{33}z',
\end{aligned}
\tag{5.2}$$

Örneğin eşitliği $Ax + By + C = 0$ olan iki boyutlu koordinat sisteminde ifade edilen bir doğru;

$$(Ab_{11} + Bb_{21})x' + (Ab_{12} + Bb_{22})y' + C = 0 \tag{5.3}$$

olarak dönüştürülebilir (Salomon, D., 1999).

5.1.1 İki Boyutlu Dönüşümler

İki boyutlu dönüşümler genel olarak hareket ettirmek, yansıtmak, ötelemek, çevirmek, büyüklüğünü değiştirmek, döndürmek ve eğmek gibi işlemlerdir. Dönüşüm için nesneyi tanımlayan anahtar noktalardan (bir dikdörtgenin köşeleri gibi) faydalanılabilir.

İki boyutlu dönüşümlerde $P(x,y)$ noktası $P'(x',y')$ noktasına dönüştürülür (Salomon, D., 1999). Doğrusal dönüşüm en basit haliyle yani $x' = ax + cy$ ve $y' = bx + dy$ ifadeleriyle, dönüşümden önceki noktaların doğrusal bileşimleri olarak ifade edilebilir. Dolayısıyla dönüşümü $P' = PT$ olarak ifade edebiliriz ki burada T elemanları a, b, c ve d 'den oluşan 2×2 boyutlu bir matristir (Salomon, D., 1999):

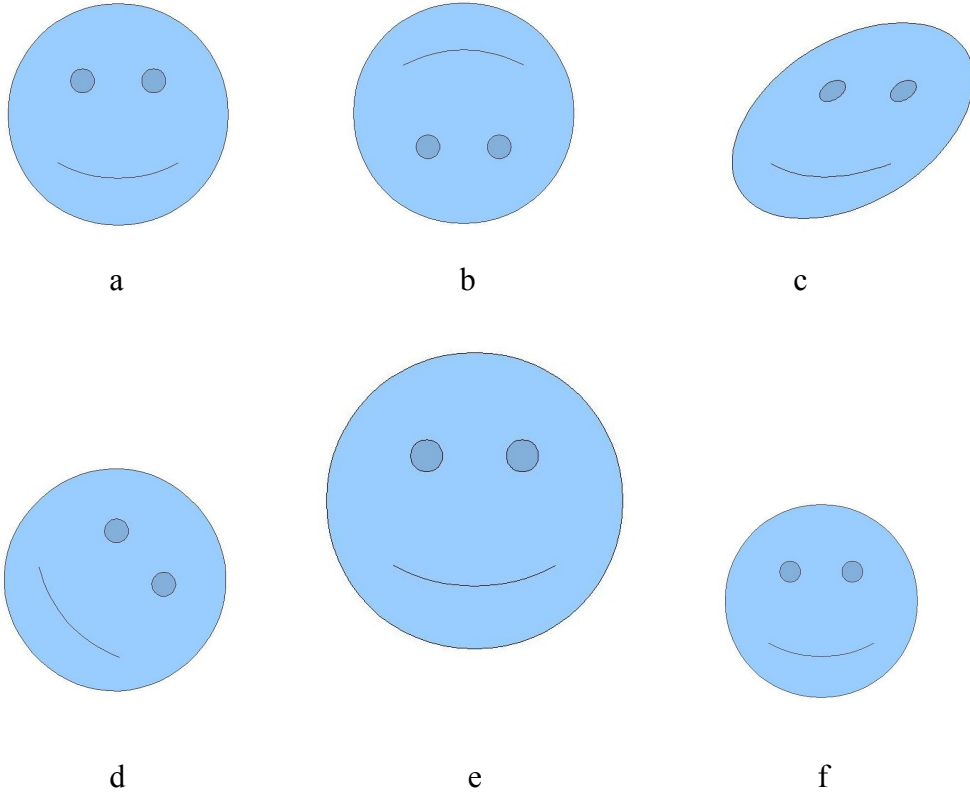
$$T = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \tag{5.4}$$

Burada matrisin eleman değerleri dönüşümün şeklini belirler. Bu konuyu daha iyi ele alabilmek için b ve c değerleri 0'a eşit olsun. Bu durumda $x' = ax$ ve $y' = dy$ denklemleri oluşur. Burada a ve d değerleri ölçeklendirme görevi görür.

$$T = \begin{pmatrix} a & 0 \\ 0 & d \end{pmatrix}$$

5.5

Eğer a ve d'nin mutlak değerleri birbirine eşit ise görüntü belli bir oranda büyütülmüş veya küçültülmüş demektir(Salomon, D., 1999). Bu durumda a ve d değerleri -1 ile 1 arasında olursa görüntü belli bir oranda küçültülmüş, a ve d'nin mutlak değerleri 1'den büyükse görüntü belli bir oranda büyütülmüş demektir. Mutlak değerlerin eşit olmadığı durumlarda görüntüyü bir yöne doğru eğme işlemi gerçekleşir. Eğer a ve d değerlerinden her hangi birisi -1'e eşitse görüntü tersyüz edilmiş demektir. Burada axd değeri ölçeklendirme matrisinin determinantı olup aynı zamanda ölçeklendirme katsayısıdır. Diğer tüm negatif değerler için bu matris hem ölçeklendirme hem de yansıtma işlevlerini gerçekleştirir(Salomon, D., 1999).



Şekil 5.1 İki boyutlu dönüşümler. a: orijinal görüntü, b: yansıtma, c: eğme, d: döndürme, e: büyütme, f: küçültme

Döndürme işlemi de yine 2x2'lik matrisle gerçekleştirilebilir(Salomon, D., 1999). T matrisi eğer görüntüyü saat yönünde θ açısı kadar döndürme işlevini gerçekleştiriyorsa elemanları aşağıdaki gibi olur:

$$T = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}$$

Burada eğer 90 derecelik döndürme söz konusu ise dönüşüm matrisi aşağıdaki gibi olur:

$$T = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \quad 5.7$$

5.1.2 Homojen Koordinatlar

Basit 2x2 boyutlu matrislerle döndürme, küçültme, büyütme, eğme gibi 2 boyutlu dönüşüm işlemlerini gerçekleştirebiliriz. Fakat görüntüyü öteleme gerçekleştirilemez. Daha basit bir ifade ile 2x2'lik bir matris ile belli bir dönüşüm işlemi uygulanmış görüntünün orta noktası değişmez(Salomon, D., 1999).

Öteleme işlemi en bas olarak $x' = x+m$, $y' = y+n$ olarak tanımlanabilir. Burada x ve y noktaları belli bir dönüşüm işlemi uygulanmış noktalardır. Eğer dönüşüm işlemi biraz genelleştirilerek dönüşüm işlemi ile oldukça benzer olan $P' = PT + (m,n)$ ifadesini elde edilir. Eğer T matrisi biraz genişletilip $P' = PT$ ifadesini oluşturulursa yeni 3x3'lük T matrisi aşağıdaki gibi olur(Salomon, D., 1999):

$$T = \begin{pmatrix} a & b & 0 \\ c & d & 0 \\ n & m & 1 \end{pmatrix} \quad 5.8$$

Bu yaklaşım homojen koordinatlar olarak adlandırılır. Bu matris tüm 2 boyutlu dönüşümleri tek bir 3x3'lük matris ile mümkün kılar(Salomon, D., 1999). Sorun olan 2 boyutlu bir noktanın 3x3 boyutlu bir matris ile çarpılamamasıdır. Bu sorun noktaları homojen koordinatlara göre düzenlemektir ki bu da (x,y) noktasının sonuna 1 ekleyerek yani noktanın (x,y,1) olarak gösterilmesi ile çözülebilir(Salomon, D., 1999). Homojen koordinatlarda şu kurallar geçerlidir:

1. (x,y) noktası homojen koordinatlara dönüştürülürken basitçe, üçüncü bileşen olarak 1 değeri eklenir(Salomon, D., 1999).
2. Bir (a, b, c) üçlüsünü homojen koordinatlardan (x,y) çiftine dönüştürmek için ilk iki bileşen üçüncü bileşene bölünür. Yani $(a,b,c) \rightarrow (a/c, b/c)$ olur(Salomon, D., 1999).

Homojen koordinatları daha iyi açıklamak için (ax, ay, a) üçlüsünü ele alındığında a değeri 0 dan sonsuza doğru değıştikçe, dönüştürülmüş nokta orijinden sonsuza doğru bir çizgi üzerinde ilerler. Bu çizginin yönü a'nın büyüklüğüne değil x ve y değerlerine bağlıdır. Dolayısıyla her iki boyutlu (x,y) noktası 3 boyutlu uzayda bir çizgiye karşılık gelir. Noktaların gerçek yerini

bulmak için $Z=1$ düzlemine bakılmalıdır. Bu sebeple burada tüm noktalar $(x, y, 1)$ değerlerini alır. Homojen koordinatlar 3 boyutlu noktaların dönüştürülmesi için de kullanılır(Salomon, D., 1999).

5.8 matrisi iki boyutlu dönüşümler için kullanılır. Genel olarak $x'=ax+cy+m$ ve $y'=bx+dy+n$ lineer dönüşümünü gerçekleştirir. Burada dönüşüm 6 değişkene bağlıdır.

Eğer homojen koordinatları daha da genelleştirmek istenirse T dönüşüm matrisine biraz daha değişken eklenerek aşağıdaki matris elde edilir(Salomon, D., 1999).

$$T = \begin{pmatrix} a & b & p \\ c & d & q \\ n & m & 1 \end{pmatrix} \quad 5.9$$

Dolayısıyla (x,y) noktasının dönüşümü aşağıdaki gibi olur:

$$(x, y, 1) \begin{pmatrix} a & b & p \\ c & d & q \\ n & m & 1 \end{pmatrix} = (ax+cy+m, bx+dy+n, px+qy+1) \quad 5.10$$

İkinci kuralı da uyguladığımızda aşağıdaki değişiklikler elde edilir(Salomon, D., 1999):

$$x' = \frac{ax+cy+m}{px+qy+1} \quad 5.11$$

$$y' = \frac{bx+dy+n}{px+qy+1} \quad 5.12$$

5.1.3 Dönüşüm Matrislerinin Birleştirilmesi

Dönüşüm işlemlerini gerçekleştirirken matrislerle çalışmak kullanışlı bir yöntemdir. Bu şekilde dönüşümleri birleştirmek kolaylaşır. A, B ve C dönüşüm matrislerini birleştirebilmek için bu matrislerin çarpımını elde etmek yeterlidir(Salomon, D., 1999). x yönünde yansıtma, y yönünde ölçeklendirme ve saat yönünde 45° döndürme işlemlerini birleştirilirse yeni dönüşüm matrisi aşağıdaki gibi olur(Salomon, D., 1999):

$$\begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0,707 & -0,707 \\ 0,707 & 0,707 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0,707 & 0,707 \\ 1,414 & 1,414 \end{pmatrix} \quad 5.13$$

5.1.4 Dönüşümlerin Matrislerinin Ayrıştırılması

Dönüşüm matrisleri çarpım işlemiyle birleştirebileceği gibi, bir A dönüşüm matrisi B, C ve D dönüşüm matrislerinin çarpımıyla elde edilmiş olabilir. Öyleyse A matrisi B, C ve D matrisleri olarak ayrıştırılabilir. Bu matematiksel olarak ifade edilmek istenirse T_A dönüşüm matrisi, T_B , T_C ve T_D dönüşüm matrislerinin çarpımına eşittir denilebilir (Salomon, D., 1999). Örneğin bir eğme dönüşüm matrisini, bir eğme iki ölçeklendirme matrisinin birleşimi olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Salomon, D., 1999):

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ c & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1/c & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad 5.14$$

5.1.5 Geometrik Dönüşümlerin Geri Çatımı

Bir ters dönüşüm işlemi dönüşüm matrisinin inversi ile elde edilir (Salomon, D., 1999). $P'=P.T$ eşitliğinin her iki tarafını T^{-1} matrisi ile çarpılırsa $P'T^{-1}=PTT^{-1}$ veya $P=P'T^{-1}$ ifadeleri rahatlıkla elde edilir (Salomon, D., 1999). Dolayısıyla T dönüşüm matrisinin inversi alınarak P noktasının ters dönüşümü ile P noktasını tekrardan elde edilebilir. 5.8 eşitliğine iki boyutlu dönüşümler için kullanılan T matrisin geri çatım matrisi aşağıdaki gibi olur (Salomon, D., 1999):

$$T^{-1} = \frac{1}{ad - bc} \begin{pmatrix} d & -b & 0 \\ -c & a & 0 \\ cn - dm & bm - an & 1 \end{pmatrix} \quad 5.15$$

5.1.6 Üç Boyutlu Dönüşümler

3 boyutlu dönüşümler için kullanılan T dönüşüm matrisi 2 boyutlu dönüşümlerdeki yöntemle benzer bir şekilde elde edilir. Üç boyutlu bir $P=(x,y,z,1)$ noktası $P'=(x', y', z', 1)$ noktasına aşağıdaki 4x4 matris ile dönüştürülür (Salomon, D., 1999):

$$T = \begin{pmatrix} a & b & c & p \\ d & e & f & q \\ h & i & j & r \\ l & n & m & s \end{pmatrix} \quad 5.16$$

T matrisinin son satırı (0, 0, 0, 1) olamaz çünkü bu satır izdüşüm hesabında kullanılır. PT çarpımının sonucu olan (X, Y, Z, H) dördlüsündeki H değeri $xp+yp+zr+s$ toplamına eşittir ve bu toplamın değeri genellikle 1 değildir. (x', y', z') koordinatları (X; Y, Z) koordinatlarının H'a bölünmesiyle elde edilir(Salomon, D., 1999):

$$(x', y', z') = (X/H, Y/H, Z/H) \quad 5.17$$

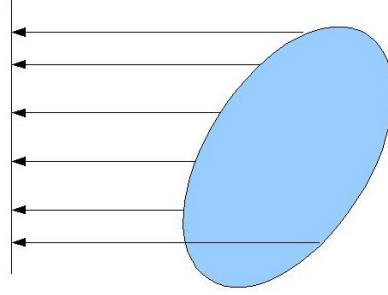
T matrisinin sol üst tarafındaki 3x3 boyutlu kısım büyüklük, yansıtma, eğme ve döndürme gibi iki boyutlu dönüşümleri kapsar. l, m ve n değerleri x, y, z yönünde öteleme işlemini gerçekleştirir(Salomon, D., 1999). p değeri x eksenini üzerinde, q değeri y eksenini üzerinde, r değeri ise z eksenini üzerinde perspektif dönüşümünü gerçekleştirir. s değeri ise genel olarak ölçeklendirme değeridir(Salomon, D., 1999).

5.2 İzdüşüm

İzdüşüm genel olarak n. boyuttan "n-1"inci boyuta doğru olan dönüşümdür(Salomon, D., 1999). İzdüşümler doğrusal veya doğrusal olmayan izdüşümler olabilir. Doğrusal izdüşümler 2 türdür: paralel ve perspektif izdüşümler. Yapılan çalışmada gerçek hayattaki 3 boyutlu nesnelerin 2 boyutlu bir düzlemdeki yerlerinin izdüşümü üzerinde durulacaktır. Burada izdüşüm gerçekleştirilmiş düzlemin 2 taraflı olduğu unutulmamalıdır. Gözlemcinin objelerin görüntüdeki dönüşümünü normal olarak izeleyebilmesi için izdüşüm yapılmış düzleme dik açıda bulunduğu varsayılmıştır.

5.2.1 Paralel İzdüşümler

Paralel izdüşümler pratikte 3 boyutlu nesnenin 2 boyutlu düzleme yerleştirilmesi amaçlı kullanılır. Buradaki esas önemli kısım, bir v yönü seçmek ve bu v yönü doğrultusunda başlangıçları P noktalarından başlayan paralel çizgiler oluşturmaktır(Salomon, D., 1999). P' izdüşüm noktaları, P noktalarıyla başlayan paralel çizgilerin izdüşüm düzlemini kestiği noktalarlardır. Bu işlem nesnenin tüm noktaları için uygulanır, paralel çizgi setleri oluşturulur(Şekil 4.1). Bu sebeple bu tür izdüşümlere paralel izdüşümler denir(Salomon, D., 1999).



Şekil 5.2 Paralel izdüşüm

5.2.2 Perspektif İzdüşümler

Perspektif izdüşümler gerçek hayattaki nesnelerin görüntüdeki yerini vereceğinden oldukça önemlidir. Buradaki önemli nokta, gözlemcinin izdüşümün merkezinde varsayılır(Salomon, D., 1999). Perspektif izdüşümün 3 önemli özelliği vardır:

- Uzaktaki nesne gözlemci tarafında daha küçük görünür (Paralel izdüşümde nesnenin boyutları izdüşümdeki ile aynıdır.) (Salomon, D., 1999).
- Gözlemcinin bakış açısına göre paralel olan nesneye ait tüm doğrular perspektif izdüşümde tek bir ufuk noktasında kesişir(Salomon, D., 1999).
- Gözlemci tarafından görülen perspektif ölçüsü nesne ile gözlemci arasındaki uzaklığa göre değişir. Nesnenin hemen yanındaki gözlemci daha perspektif görür, bunun anlamı nesnenin ön tarafı ile arka tarafındaki büyüklük farkının daha fazla olmasıdır(Salomon, D., 1999).

5.3 Ufuk Noktası

Gerçek hayattaki nesnelere ait paralel doğruların görüntü üzerindeki kesişim noktalarına *ufuk noktası* denir (Forsyth, D., Ponce, J., 2003). Perspektif dönüşümünden sonra alınan izdüşümün önemli özelliklerinden birisi de sonsuza uzanan bir objenin görüntüsün sonlu olabilmesidir. 3 boyutlu ortamda sonsuza giden herhangi bir doğru tek bir ufuk noktasından geçer(Forsyth, D., Ponce, J., 2003). Bu doğrulara örnek olarak tren yolunun kenarları, bir salon görüntüsündeki zemin veya tavan çizgileri, trafik akışındaki yol kenarları ve trafik akışı çizgileri verilebilir. Bu doğruların görüntüdeki ortak kesişimi bize ufuk noktasını verir. Bir doğruya ait ufuk noktası, gerçek dünyada aynı doğruya paralel başka bir doğruyla görüntü üzerinde kesişmesi ile elde edilir. Dolayısıyla ufuk noktası doğrunun pozisyonuna ile değil yönüne bağlıdır(Forsyth, D., Ponce, J., 2003).

6. UYGULAMA

6.1 Günümüzde Kullanılan Akıllı Taşıma Sistemleri

Akıllı taşıma sistemleri(ATS) ile günümüzde taşımanın her alanında, kontrolün düzgün bir biçimde sağlanmasında, araçların düzenli takiplerinde ve kayıtların alınmasında kolaylıklar sağlayacak uygulamalar gerçekleştirilmektedir. Trafik kontrol merkezleri belli noktalara yerleştirilmiş trafik kameralarından yol durumlarını gerçek zamanlı olarak gözlemlemekte ve yol durumu ile ilgili birtakım bilgilere ulaşabilmektedir. Bu bilgiler ışığında yolcuların bilinçli ve daha güvenli bir şekilde seyahat etmesi amaçlanmakta, oluşabilecek kazalara daha hızlı müdahale edilebilmektedir. Akıllı taşıma sistemleri olarak gerçekleştirilen uygulamalara verilebilecek örnekler şunlardır:

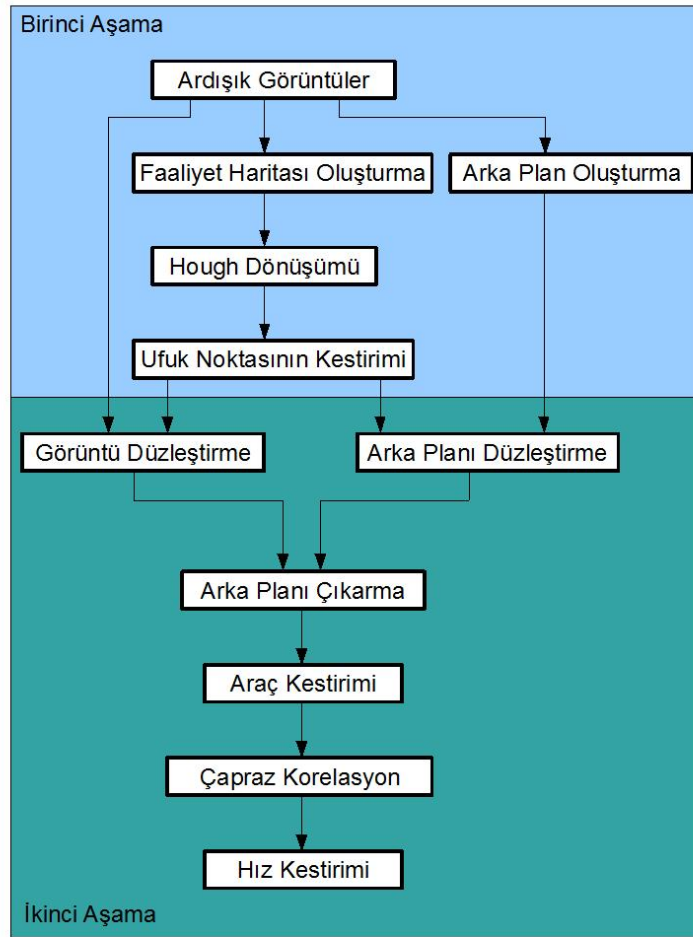
- **Akıllı Seyahat Sistemleri:** Belli bölgeler için tasarlanmış, seyahat edecek sürücüler için internet üzerinden yol ve sürüş bilgileri toplanmakta, bir veri tabanı oluşturulmakta ve kullanıcılarını seyahat edecekleri yol ile ilgili elektronik posta, sesli mesaj sistemi gibi iletişim kaynakları ile bilgilendirmektedir.
- **Otomatik Araç Yerleşim Sistemleri:** Toplu ulaşım araçların bulunduğu noktaları algılayıcılar ile belirleyen akıllı taşıma sistemleri altyapısı ile bu bilgileri toplayıp kullanıcılara eşzamanlı olarak ileten sistemlerdir.
- **İnternet üzerinden yol durumunu görüntüleme sistemleri:** Belli noktalara yerleştirilmiş trafik kameralarından alınan görüntüleri tek bir merkezde toplayıp internet üzerinden bu videoları eş zamanlı yayınlayan ve trafik durumunu anlık görüntüleyebilen sistemlerdir.
- **Değişken Mesaj Sistemleri;** Sürücülerin trafik kazaları, yoğunluk, hava ve yol durumu gibi değişimlerden haberdar edilmesi ve buna bağlı olarak alternatif güzergahlara yönlendirilmesi amaçlanmaktadır.
- **Elektronik Denetleme Sistemleri;** Trafik akışı kontrolünün sağlanması ve şehir yaşantısının kurallara uygun, medeni bir yapıya kavuşturulması amacı ile faaliyete geçirilen bir uygulamadır. Kırmızı ışık ihlal tespit sistemi, emniyet şeridi ihlal tespit sistemi bunlara örnek olarak verilebilir
- **Trafik Ölçüm Sistemleri:** Trafik ölçüm sistemi "Akıllı Yollar" projesinin temel elemanlarından biridir. Trafik Ölçüm Sistemi vasıtasıyla trafik yoğunluk bilgilerini bir merkezde toplamak ve anlık olarak yayınlamak için geliştirilmiştir. Bu sayede insanları doğru zamanda bilgilendirerek alternatif güzergahlara yönelmelerini sağlamak ve yoğun bölgelere talebi azaltarak yol ağ kapasitesinin etkin olarak kullanılması amaçlanmıştır.
- **Sayısal Görüntü Aktarım Sistemleri:** Gerçek zamanlı sayısal izleme sistemleridir. Kullandığı sayısal altyapı sayesinde kolay yönetilebilirlik ve ölçeklenebilirlik özelliklerine sahiptir. Ayrıca kodlanmış bilginin; saklanması, internete aktarımı, farklı iletişim ortamları kullanılarak iletimi, konusunda etkin kullanım sağlar.

6.2 Trafik Kameralarından Alınan Görüntüler Yardımıyla Hız Algılama Algoritması

Yapılan çalışmada 320x240 boyutlu gri seviyeli ardışık görüntüler kullanılmıştır. Uygulamadaki yazılım Matlab programı ile yazılmış, her aşama bitiminde elde edilen görüntüler ve şekiller Matlab ile oluşturulmuştur. Kullanılan görüntüler, üç ayaklı sehpa

üzerine oturtulmuş bir el kamerası yardımıyla trafik akışının kayıt edilmesi ile elde edilmiştir. Daha sonra bu kayıtlar Adobe Premiere programı ile bilgisayar ortamına alınmış ve saniyede 5 görüntü olacak şekilde ardışık görüntülere dönüştürülmüştür.

Yapılan uygulama günümüzde trafik yönetim yönetim sistemlerinin bir parçası olan sayısal görüntü aktarım sisteminden elde edilen görüntülerle birlikte kullanılabilir. Çalışmada kullanılan görüntülerin boyutları daha önce referans alınan uygulamalara göre daha küçüktür(Grammatikopoulos, L., Karras, G., Petsa, E., 2005; Cathey, F.W., Dailey, D.J., 2005). Kullanılan görüntülerin boyutları 340x280 pikseldir. Bu sayede şekil 6.1'deki blok diyagramın 2. aşaması bu sayede hızlı bir biçimde gerçekleşebilmektedir. 1. aşama ise sürekli tekrarlanması gerekmeyen, görüntüde perspektif bilgisi değişmedikçe yalnız 1 kere gerçekleştirilmesi yeterli olan ve birtakım görüntü işleme algoritmalarını içeren kısımdır.



Şekil 6.1 Hareketli görüntüde hız kestirimi için yapılan çalışmalara ait blok diyagram

6.3 Faaliyet Haritası ve Arka Plan Oluşturma

Faaliyet haritası ve arka plan çekimi yapılan sahnenin perspektif bilgisini içeren görüntülerdir. Uzaktan yönetilebilen trafik kameralarının kalibrasyon parametreleri değişmedikçe faaliyet haritası ile edinilen perspektif bilgisi değişmeyecektir. Aynı şekilde arka plan görüntüsün düzgün bir şekilde oluşturulduktan sonra perspektif bilgisi değişmedikçe yinelenmesine gerek yoktur. Bu aşamada bir takım görüntü işleme yöntemleri kullanılmış ve ardışık görüntüler yardımıyla hem araçların hareketi analiz edilmiş hem de daha sonra araç kestiriminde fark almak için kullanılacak bir arka plan görüntüsü oluşturulmuştur.

6.3.1 Faaliyet Haritası

Görüntüdeki perspektif bilgisini elde edebilmek için gerçek hayatta paralel olan fakat görüntü üzerinde tek bir noktada keşişen doğruları belirlemek gerekir. Daha önce yapılan çalışmalarda bu doğrular için yol çizgilerinden faydalanılmıştır(Cathey, E.W., Dailey, D.J., 2005). Eğer yol çizgilerinin bulunmadığını varsayarsak görüntü üzerinde doğrudan kenar belirlemeye çalışmak paralel doğruların belirlenmesi için yeterli olmayacaktır. Bu sebeple araçların hareketinden faydalanılarak oluşturulan faaliyet haritasından faydalanılmıştır.

6.3.1.1 Görüntü Farklarını Alma

Eğer aynı sahneye ait ardışık iki görüntünün farkı azımsanyacak değerde ise bu fark bize zamana bağlı olan değişim hakkında önemli ip uçları verir (Gonzalez, R. C., Woods, R. E., 2002). Görüntü farkı, kareler arasında hareket eden nesnenin hareket kestirimi için oldukça kullanışlı ve basit bir yoldur. İki $f(x,y)$ ve $h(x,y)$ görüntüsünün farkı $g(x,y)$ şöyle tanımlanır:

$$g(x,y) = f(x,y) - h(x,y) \quad 6.1$$

$g(x,y)$ burada f ve h görüntülerinde birbirine karşılık gelen piksellerin farklarının alınmasıyla elde edilir. Burada dikkat edilmesi gereken bir nokta vardır. Kullandığımız görüntülerdeki pikseller 8 bitle ifade edilmektedir. Yani piksel değerleri 0'dan 255'e kadar olan aralıktadır. Oysa ki fark görüntülerin değerleri -255 ile 255 arasında değişebilir. Dolayısıyla sonuçları eğer doğru bir şekilde görüntülemek istiyorsak bazı ölçeklendirme yöntemleri kullanmamız gerekmektedir. Bunun için değişik yöntemler geliştirilebilir. Faaliyet haritası oluşturulurken fark görüntüsündeki her piksel değeri fark işleminden sonra sonucun mutlak değeri alınarak elde edilmiştir. Yapılan işlem şu şekildedir:

$$g(x,y) = |f(x,y) - h(x,y)| \quad 6.2$$

Faaliyet haritasını oluşturmak için ilk olarak görüntü farkları alınmış ve bu fark görüntüleri araçların belirginleştirilmesi için ikili hale dönüştürülüp üzerlerinde birtakım görüntü işleme algoritmaları uygulanmıştır. Ardışık iki görüntünün üzerinde hareket olmayan pikselleri arasındaki farkın ideal şartlarda sıfır olması gerekir. Fakat görüntüler arasındaki ufak tefek değişimler (yaprak kıvrımları, havanın aydınlığının değişmesi gibi) fark görüntülerinde araç olmayan piksellerde de farklı gri seviyelerinin oluşmasına sebep olur. Faaliyet haritası için öncelikle iki ardışık görüntü arasındaki fark alındığında hareketsiz kısımlar fark görüntülerinde sıfır ya da sıfıra yakın değerler alır(Resim 6.2). Faaliyet haritasında araçların hareketi ile ilgili bilgi taşıyan kısım sadece üzerinde hareket olan pikseller olduğu için fark görüntüleri belli bir eşik değerinden geçirilerek ikili görüntülere çevirilir. Oluşan ikili görüntülerde hareketli piksellerin değeri 1, arka plan değeri sıfır olarak alınmıştır(Resim 6.3).



Resim 6.1 Faaliyet haritası için kullanılan görüntülerden ardışık iki örnek



Resim 6.2 Ardışık görüntülere ait fark görüntüsü



Resim 6.3 İkili hale çevirilmiş fark görüntüsü

Fark görüntülerindeki hareketi iyi analiz etmek ve araçları daha belirgin hale getirmek için her bir fark görüntüsüne genleşme işlemi uygulanmış(Resim 6.4) ve hareket bloklarının içinde kalan siyah pikseller beyaz piksellerle doldurulmuştur(Resim 6.5). Daha sonra bilgi taşıyan pikseller araçların hareket ettiği kısımlara ait pikseller olduğundan ikili fark görüntülerine

istenmeyen beyaz pikselleri yok etmek için aşındırma işlemi uygulanmıştır(Resim 2.5).



Resim 6.4 Genleşme işleminden sonraki görüntü



Resim 6.5 İçte kalan siyah piksellerin beyaz piksellerle doldurulmasından sonra oluşan görüntü



Resim 6.6 Aşındırma işlemi uygulandıktan sonraki görüntü

6.3.1.2 Görüntü Farklarının Ortalamasını Alma

Aşındırma işleminden sonraki görüntüdeki beyaz pikseller genel olarak araçların hareket ettiği bölgeleri ifade eden piksellerdir. Araçların hareketi belirginleştirildikten sonra ardışık görüntü farklarının ortalamasını aldığımızda üzerinde hareket olan her pikselin değeri ortalama görüntüsüne yansiyacaktır. Faaliyet haritasında yakınsamaya çalıştığımız görüntü araçların yol boyunca izledikleri güzelgahın görüntüsüdür(Resim 6.7). Resim 6.7'deki görüntüde görüldüğü gibi araçların hareketleri yol şeritlerini belirginleştirmiştir. Bu görüntüye yakınsamak için arda arda gelen 250 görüntünün ortalaması alınmıştır. Görüntü ortalaması şu şekilde tanımlanır:

$$\bar{g} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K g_i(x, y) \quad 6.1$$

Burada $g_i(x, y)$ ard arda gelen kareleri ifade eder(Gonzalez, R. C., Woods, R. E., 2002). K değeri ise ortalaması alınacak karelerin sayısıdır. Yapılan uygulamada 250 karenin ortalaması alınacağından eşitlik şu şekildedir:

$$\bar{g} = \frac{1}{250} \sum_{i=1}^{250} g_i(x, y) \quad 6.2$$

Burada ortalama alınmadan önce ikili görüntüdeki $[0, 1]$ değerleri $[0, 255]$ değerlerine dönüştürülür. Üzerinde hareket olan her piksel ortalamayı etkiler. Ortalama alındıktan sonra oluşturulan faaliyet haritası artık ikili değil gri seviyeli bir görüntüdür.



Resim 6.7 Ardışık 250 görüntü ile oluşturulan faaliyet haritası

6.3.2 Arka Plan Oluşturma

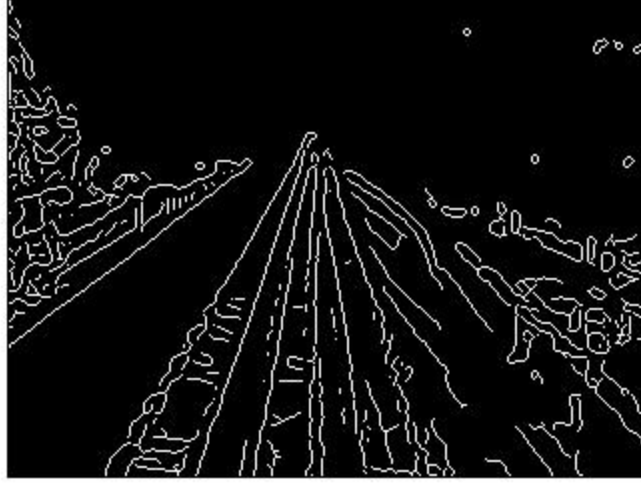
Faaliyet haritası oluşturulurken aynı ardışık görüntülerin 6.4 eşitliğine göre ortalaması alınarak bir arka plan görüntüsü oluşturulmuştur. Bu arka plan görüntüsü daha sonraki aşamalarda araç kestiriminde kullanılacaktır. Resim 6.8'de görüldüğü gibi ortalaması alınan ardışık her görüntünün arka plan görüntüsüne belli bir miktarda etkisi olmuştur. Bu görüntü ile daha sonraki aşamalarda araç kestirimi sırasında hareketli görüntüden çıkarılacak ve sadece hareket eden araçların ortaya çıkarılmasında kullanılacaktır.



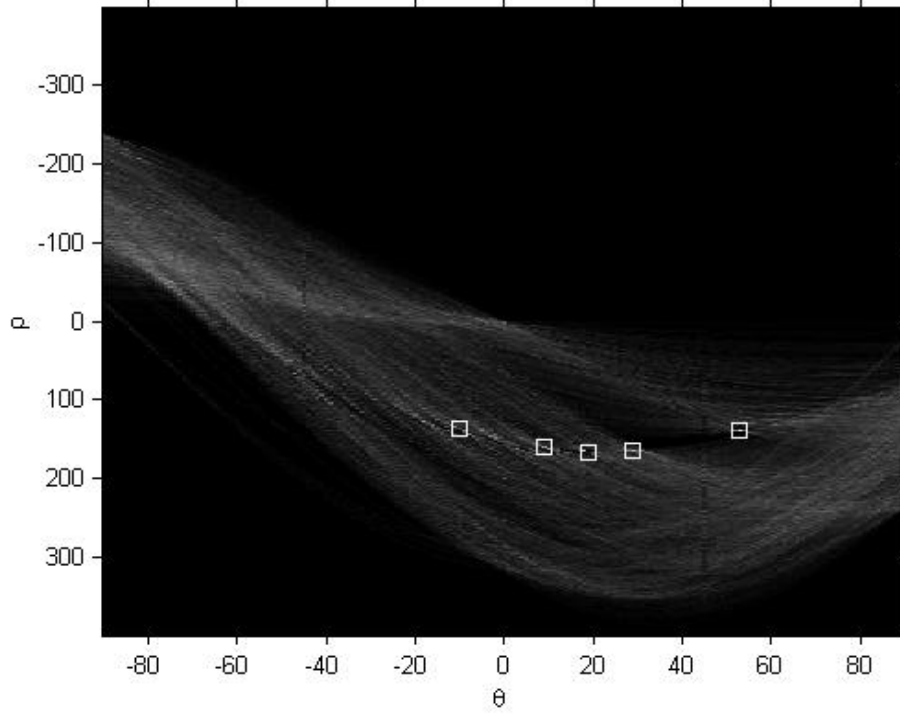
Resim 6.8 250 ardışık görüntünün ortalaması ile elde edilmiş arka plan görüntüsü

6.4 Hough Dönüşümü ve Kenar Belirleme

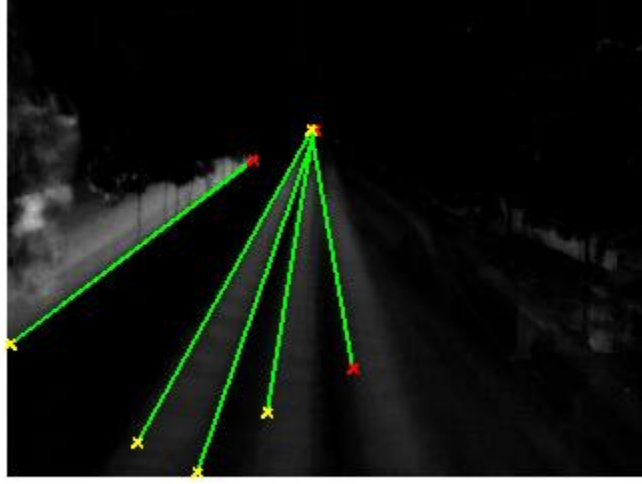
Hough dönüşümünden önce Canny gradyen işleci ile faaliyet haritasına ait bir kenar haritası çıkarılır(Şekil 6.3). Faaliyet Haritasında hareketli kısım ile arka plan arasında keskin bir geçiş olmadığı için perspektif çizgilerini belirlemede kenar çizgileri oldukça yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple gerçek kenarları birbirine bağlamak için Hough dönüşümünden faydalanılmıştır. Hough dönüşümü ile eğer p - θ düzlemindeki bir (p_0, θ_0) noktası görüntü üzerinde bir kenarı ifade ediyorsa bu kenar üzerindeki tüm pikseller için (p_0, θ_0) noktasından bir eğri geçecektir ve bu noktanın genlik değeri üzerinden geçen eğri sayısına eşit olacaktır. Böylece genlik değeri yüksek olan (p_0, θ_0) noktalarını ele alındığında perspektif hakkında doğru bilgi verecek gerçek doğruları kenar olarak işaretlemek mümkün olacaktır (Resim 6.9). Faaliyet haritası için en yüksek genlikli beş adet (p_0, θ_0) noktası seçilmiştir(Şekil 6.3).



Şekil 6.2 Faaliyet haritasına Canny gradyen işleci uygulandıktan sonra ortaya çıkarılmış kenar haritası



Şekil 6.3 Kenar haritasına Hough dönüşümü uygulandığında oluşan p - θ düzlemindeki noktalar ve genlik değeri en yüksek olan işaretlenmiş beş (p, θ) noktası



Resim 6.9 Hough dönüşümü ile faaliyet haritası üzerinde işaretlenmiş kenarlar

6.5 Doğru Kenarları Bulma

Hough Dönüşümünde verdiğimiz eşik değerine göre en belirgin kenar bilgisi taşıyan noktalar birleştirilmeye çalışılmıştır. Fakat bu doğrular yan yollar, yolun kenarına yanaşan araçlar, araçların sık şerit değiştirdiği bölgeler sebebiyle hesaplanmak istenen ufuk noktasından geçecek doğru kenarlar olmayabilir. Bu sorunu çözmek için tüm doğruların keşimleri olan noktalar incelenmiş, yanlış kesişim noktalarını eleyecek bir matris eleme yöntemi geliştirilmiştir.

Matris eleme yönteminde Hough dönüşümü ile işaretlenmiş ve numaralandırılmış kesişim noktalarının hem x değerleri ve y değerleri ile iki ayrı matris oluşturulur. Kesişim noktalarının x değerleri v_{px} matrisinde y değerleri ise v_{py} matrisinde toplanır(Şekil 6.4). Bu matrislerdeki noktaların satır ve sütun değerleri o noktanın kaçınıcı doğrulara ait kesişim noktası olduğunu gösterir. Örneği bir noktaya ait satır ve sütun değerleri sırasıyla 2 ve 3 ise bu nokta 2. ve 3. doğruların kesişim noktasıdır. Dolayısıyla matrisleri yarı yarıya doldurmak yeterli olacaktır. Burada birbiri ile ilgili olan noktalar en sona kalacak şekilde ilgisiz kesişim noktalarına ait satır ve sütunlar elenir(Şekil 6.5). Eğer bir matriste herhangi bir satıra veya sütuna ait x veya y noktalarının ilgisiz olduğu düşünülüyorsa bu satır ve sütunların numarası yanlış kenarı ifade ediyor demektir. Örneğin bir matristeki ikinci sütundaki elemanlar ilgisiz değerlere sahip ise her iki matriste de 2. satır ve 2. sütundaki elemanların elenmesi gerekmektedir. Burada da bir eşik değeri seçimi söz konusudur. İlgisiz olduğunu düşündüğümüz noktanın diğer noktalara

göre kaç piksel uzaklıkta olduğunu seçmemiz gerekmektedir. Bu çalışma için bu değer beş olarak seçilmiştir.

$$vp_x = \begin{pmatrix} 0 & 153.1985 & 157.7191 & 155.5116 & 159.4875 \\ 0 & 0 & 155.2245 & 153.9027 & 158.3693 \\ 0 & 0 & 0 & 160.2987 & 159.8642 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 159.9031 \end{pmatrix}$$

$$vp_y = \begin{pmatrix} 0 & 169.0916 & 182.1111 & 175.7535 & 187.2039 \\ 0 & 0 & 180.2350 & 172.9646 & 197.5309 \\ 0 & 0 & 0 & 184.0511 & 183.7243 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 183.3654 \end{pmatrix}$$

Şekil 6.4 Hough doğrularının kesişim noktaları ile oluşturulmuş matrisler

$$vp_x = \begin{pmatrix} 0 & 153.1985 & 157.7191 & 155.5116 & 159.4875 \\ 0 & 0 & 155.2245 & 153.9027 & 158.3693 \\ 0 & 0 & 0 & 160.2987 & 159.8642 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 159.9031 \end{pmatrix}$$

$$vp_y = \begin{pmatrix} 0 & 169.0916 & 182.1111 & 175.7535 & 187.2039 \\ 0 & 0 & 180.2350 & 172.9646 & 197.5309 \\ 0 & 0 & 0 & 184.0511 & 183.7243 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 183.3654 \end{pmatrix}$$

$$vp_x = \begin{pmatrix} 0 & 153.1985 & 157.7191 & 155.5116 & 159.4875 \\ 0 & 0 & 155.2245 & 153.9027 & 158.3693 \\ 0 & 0 & 0 & 160.2987 & 159.8642 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 159.9031 \end{pmatrix}$$

$$vp_y = \begin{pmatrix} 0 & 169.0916 & 182.1111 & 175.7535 & 187.2039 \\ 0 & 0 & 180.2350 & 172.9646 & 197.5309 \\ 0 & 0 & 0 & 184.0511 & 183.7243 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 183.3654 \end{pmatrix}$$

Şekil 6.5 Eleme aşamaları

Şekil 6.5'te görüldüğü gibi sırasıyla 1. ve 2. doğrular elenmiştir. Dolayısıyla 3., 4., ve 5. doğruların kesişimleri olan noktaların ele alınması gerekmektedir. İlgisiz noktalara ait satır ve sütunlar elendikten sonra kalan noktaların ortalaması alınarak ufuk noktası hesaplanmıştır.

Ufuk noktasını doğru hesaplamak görüntünün düzgün bir biçimde düzleştirilmesini sağlayacaktır. Bu sebeple kesişim noktalarının hem x hem de y değerleri için ayrı iki matris oluşturulmuştur ve herhangi bir matrisde ilgisiz olduğu belirlenen bir noktaya ait satır ve sütun diğer matriste de aynı doğruyu simgelediği için silinmiştir. Bu yöntemin farklı aralıklardaki ardışık görüntülerde denediğinde oldukça verimli olduğu görülmüştür.

6.6 Görüntünün Düzleştirilmesi

Pek çok uygulamada görüntüdeki perspektif bilgisini elde etmek ve görüntü düzleştirmek için ufuk noktası kullanılmaktadır(Fangi, G., Gagliardini, G., Malinverni, E. S., (2001). Yapılan uygulamalarda bu durum 3 şekilde incelenmiştir:

1. Tek ufuk noktası ile görüntü düzleştirme: Bu tür uygulamalarda tek bir eksen boyunca perspektif dönüşümü söz konudur. Dolayısıyla paralel doğruların kesiştiği tek bir ufuk noktası vardır. Tezde yapılan uygulamada tek bir ufuk noktası vardır
2. İki ufuk noktası ile görüntü düzleştirme: İki eksen üzerinde perspektif dönüşümü söz konusudur. Paralel doğruların kesiştiği iki ufuk noktası vardır.
3. Üç ufuk noktası ile görüntü düzleştirme: Üç eksen üzerinde perspektif dönüşümü söz konusudur. 3 ufuk noktası ile ters dönüşüm işlemi uygulanır.

Görüntüde ufuk noktası kestirildikten sonra ters dönüşüm işlemlerini uygulayarak görüntüyü düzleştirmek mümkün olabilmektedir(Fangi, G., Gagliardini, G., Malinverni, E. S., (2001). Öncelikle görüntünün dönüşüm matrisini elde etmek gerekmektedir. Yapılan çalışmada görüntünün $Z=0$ düzleminde izdüşümünün gerçekleştiği varsayılmıştır. Görüntünün yerleşimi ufuk noktası $x=0$ doğrusu yani y eksenine gelecek şekildedir.

3 boyutlu dönüşümler için T dönüşüm matrisine göre y eksenini boyunca alınan perspektif dönüşümünde ufuk noktası y eksenini üzerinde olduğu için perspektif dönüşümün ufuk noktasının y değerine bağlı olması gerekir. Dolayısıyla perspektif dönüşümü için uygulanan T_p dönüşüm matrisi aşağıdaki gibidir(Fangi, G., Gagliardini, G., Malinverni, E. S., (2001):

$$T_p = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & q \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Burada herhangi bir öteleme işlemi söz konusu olmadığı için $l=m=n=0$ alınmıştır(Fangi, G., Gagliardini, G., Malinverni, E. S., (2001). Aynı zaman matrisin sol üst köşesi yani iki boyutlu dönüşümlere ait olan kısım, herhangi bir iki boyutlu dönüşüm gerçekleşmediği için birim matris olarak alınmıştır. Burada sadece y eksenini üzerin bir perspektif dönüşümü söz konusudur. Dolayısıyla matris de ufuk noktasının y değerine bağlı olan bir q elemanı vardır.

Görüntüde perspektif dönüşümü ile birlikte $Z=0$ düzlemine bir izdüşüm söz konusudur. İzdüşüm matrisi de aşağıdaki gibidir(Fangi, G., Gagliardini, G., Malinverni, E. S., (2001):

$$T_I = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad 6.4$$

İki dönüşüm işlemini birleştirebilmek için dönüşüm matrislerinin çarpımının yeterlidir(Salomon, D., 1999). Dolayısıyla perspektif dönüşümü ve $Z=0$ düzlemi üzerindeki izdüşümden sonra dönüşüm matrisi aşağıdaki gibi olur:

$$T = T_P T_I = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & q \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & q \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad 6.5$$

Referans alınan sistemde x, y, z noktalarını x', y', z' noktalarına dönüştürdüğümüzü varsayarsak yapılan dönüşümün eşitliği şu şekilde olur(Fangi, G., Gagliardini, G., Malinverni, E. S., (2001):

$$[x \ y \ z \ 1] \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & q \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = [x \ y \ 0 \ (yq+1)] = \left[\frac{x}{(yq+1)} \ \frac{y}{(yq+1)} \ 0 \ 1 \right] = [x' \ y' \ 0 \ 1] \quad 6.6$$

Burada ufuk noktasının y değerine Y_{UN} denir q değeri $1/Y_{UN}$ değerine eşit olur. Dolayısıyla ufuk noktasını kestirdikten sonra düzleştirilmiş görüntüdeki noktaların yerlerini hesaplamak basit bağıntılarla mümkün olabilir(Fangi, G., Gagliardini, G., Malinverni, E. S., (2001):

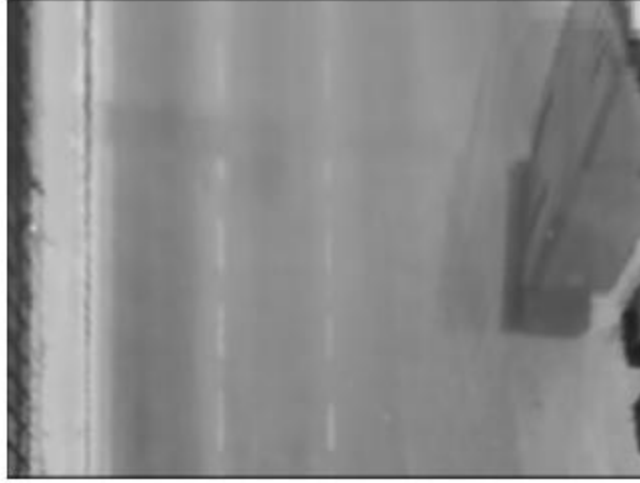
$$x' = \frac{x}{(yq + 1)} \quad 6.7$$

$$y' = \frac{y}{(yq + 1)} \quad 6.8$$



Resim 6.10 Düzleştirilmiş ardışık görüntüler

Resim 6.10'da düzleştirilmiş ardışık görüntüler görülmektedir. Bu işlem ardışık her görüntüye uygulanmaktadır. Düzleştirmenin amacı hız problemini basitleştirmek ve perspektif dönüşümünden kaynaklanan uzunluklardaki değişimi sabitlemektir. Doğru düzleştirilmiş ardışık görüntülerde araçlar kestirildikten sonra gerçek hayatta katedilen mesafeyi bulmak için araçların kaç piksel boyunca hareket ettiğini bulmak yeterli olacaktır. Resim 6.11'te de düzleştirilmiş arka plan görüntüsü görülmektedir.



Resim 6.11 Düzleştirilmiş arka plan görüntüsü

6.7 Araç Kestirimi

Ardışık görüntüler düzleştirildikten sonra araç kestirimi için arka plan görüntüsü ve her bir düzleştirilmiş ardışık görüntünün farkları elde edilmiştir(Resim 6.12) Resim 6.14'te verilen örnekte bir ardışık görüntünün arka plan görüntüsü ile farkı ele alınmıştır. Fark görüntüsünde araçlara ait olmayan ve istenmeyen piksellerin yok edilmesi için görüntüdeki gri seviyeleri belli bir eşik değerinden geçirilmiştir(Resim 6.13). Yapılan uygulama için eşik değeri 25 olarak seçilmiştir. Burada sadece araçların bulunduğu bölgeler analiz edileceği için fark görüntüleri ikili hale getirilmiştir. Bununla birlikte araçlara ait gri seviyeleri yola ait gri seviyelerine bazı durumlarda(yağmurlu havalarda gökyüzü yansıması, gün ışığının çok parlak olduğu saatler) birbirine çok yakın değerler aldığı için görüntü farklarında bazı araçlara ait bazı pikseller yok olmuştur. Bu durum istenmeyen bir durumdur ve zaman zaman araca ait bölgenin ikiye bölünmesine sebep olmaktadır. Bu durumun önüne geçenilmek için ikili fark görüntülerine morfolojik kapama işlemi uygulanmıştır. Bu işlem araçların ortaya çıkarılmasında oldukça verimli olmuştur(Resim 6.14). Bu aşamadan sonra görüntüdeki hedef kısımlar olan araçların sınırları belirlenmiş olur.



Resim 6.12 Düzleştirilmiş bir görüntüyle arka plan görüntüsünün farkı



Resim 6.13 Belli bir eşik değerinden geçirilmiş fark görüntüsü



Resim 6.14 Morfolojik kapama işlemi sonrasında görüntü üzerindeki yerleri belirlenen araçlar

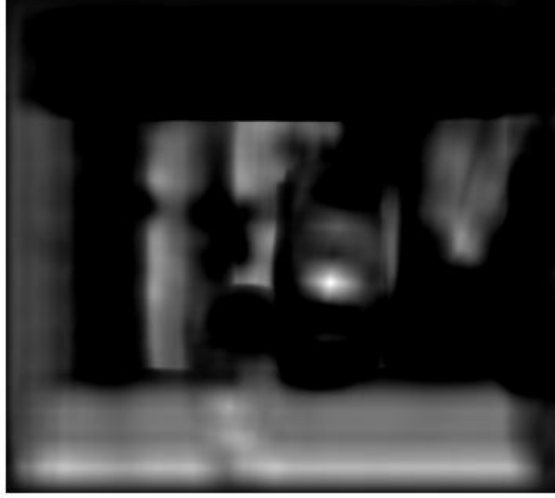
6.8 Çapraz Korelasyon

Araçların bulunduğu bölgeler ardışık görüntüler üzerinde işaretlendikten sonra bu araçların iki ardışık görüntü arasında kaç piksel yol aldığını bulmak için araçların bulunduğu bölge ile hedef nesne olan araca ait pikseller arasındaki ilişkiye bakılacaktır. Burada önemli olan bir nokta bu uygulama için görüntünün sınırlarında yer alan araçların hız kestirimine dahil edilmemesidir. Bunun sebebi aracın sadece küçük bir bölümünü görüntü üzerinde olduğunda bu bölgenin birçok araçla benzeşebilme sorunudur. Sınırları bütünüyle görüntü içinde yer alan araçlar hız kestirimine dahil edilmiştir. Yapılan uygulamadan önemli olan diğer bir özelliği ise hedef sayısını da hesaplayabildiği için araç sayımını da gerçekleştirebilmesidir.

Hedef nesne yani araçlar tek tek belirlendiğinde araçlara ait olan kısımların gerçek görüntüdeki yerlerini bulmak için hedef görüntü ile ardışık görüntülere çapraz korelasyon fonksiyonu uygulanır (resim 6.15). Resim 6.15'te hedef nesne olan araç ve bu aracın bulunduğu ardışık iki görüntü görülmektedir. Daha sonra çapraz korelasyon katsayılarının her görüntü için maksimum değerlerine bakılır. Bu değerlerin bulunduğu bölgeler arasındaki fark aracın kaç piksel boyunca yol aldığını gösterir(Resim 6.16)



Resim 6.15 Ardışık iki görüntü ve bu görüntülerde aranacak hedef görüntü



Resim 6.16 Çapraz korelasyon görüntüleri. Burada maksimum noktalar aracın bulunduğu bölgeyi göstermektedir. Aracın iki ardışık görüntü arasında aldığı yol açıkça görülmektedir.

6.9 Hız Kestirimi

Yapılan uygulama için referans bir uzaklık ya da bilinen bir aracın tek seferlik hız bilgisi yeterlidir. Burada amaç iki ardışık görüntü arasında aracın ne kadar mesafe kattığını ölçebilmektir. Bunun için gerçek dünyadan alınan bir dikey mesafe bilgisine ihtiyaç vardır. Ardışık görüntüler düzleştirildikten sonra hız ölçümü sorunu tek boyuta indirgenmiştir. Yolun uzunluğu görüntüdeki pikseller boyunca sabitlendiği için aracın ardışık iki görüntü arasında

kaç piksel yol aldığını bulmak yeterlidir(Resim 6.16). Daha sonra gerçek dünyada bilinen bir uzaklığı görüntüdeki boyutları ile oranlayarak bulacağımız ölçek çarpanı yardımıyla aracın gerçekte ne kadar yol katettiğini bulabiliriz. İki görüntü arasında bilinen zaman dilimi olan kare hızı ile de aracın hızını hesaplamamız mümkün olacaktır. Bu çalışmada saniyede 5 görüntü karesi almak hız hesaplanması için yeterli olmuştur. Dolayısıyla iki görüntü arasında geçen süre 200 ms'dir.

Aracın piksellerarası ne kadar mesafe katettiğini hesaplamak için bir ölçek çarpanından faydalanırız. Ölçek çarpanı görüntüdeki herhangi bir uzunlun gerçek dünyada karşılık gelen mesafeye oranıdır. Birimi piksel/m'dir. Ölçek çarpanını S ve araçların piksellerarası katettiği yolu P ile ifade edersek hız bağıntısı aşağıdaki gibi olur:

$$V = \frac{P/S}{t} \quad 6.9$$

Burada t süresi, aracın iki ardışık görüntü arasında geçen süreye eşittir.

Hareketli görüntüde hız kestirimi algoritması farklı iki yolda ve farklı trafik akışlarından alınan görüntülerle denenmiştir. Referans uzaklık olarak deneme yapılan ve hız bilgileri bilinen aracın uzunluğu alınmıştır. Buna göre elde edilen değerler ve hata oranları Çizelge 6.1'de verilmiştir.

HESAPLANAN HIZ	GERÇEK HIZ	HATA ORANI
24,8 km/saat	25 km/saat	%0,8
41 km/saat	42 km/saat	%2,4
52,44 km/saat	54 km/saat	%3

Çizelge 6.1 Deneme hızları ile hesaplanan hızların karşılaştırılması ve hata oranları

7. SONUC

Ardışık görüntülerin taşıdıkları zamansal hareket bilgisi analiz edildiğinde araçların gerçek hayattaki hız değerlerine oldukça yakın değerler elde edildiği gözlemlenmiştir. Uzamsal olarak görüntüdeki noktaların yer değiştirmesi ve geometrik dönüşümlerin geriçatımları gerçekleştirildikten sonra hız sorunu oldukça basite indirgenmiş ve daha önceki çalışmalara bakıldığında (Dailey, D.J., Li, L., 1999) (Schoepflin, T.N., Dailey, D.J., 2003) hesap karmaşıklığı büyük oranda azaltılmıştır.

Yapılan çalışma trafik akışının karmaşık olduğu şehiriçi trafiğinde denenmiş, bununla birlikte geliştirilen matris eleme yöntemi ile doğru perspektif bilgisi elde edilmeye çalışılmıştır. Daha önce yapılan çalışmalardaki görüntülerde düzgün trafik akışı ve belirgin yol çizgileri bulunmaktadır(Cathey, F.W., Dailey, D.J., 2005; Grammatikopoulos, L., Karras, G., Petsa, E., 2005). Bu çalışmada düzgün yol çizgilerinin ve trafik akışının bulunmadığı durumlar için de alternatif bir uygulama geliştirilmeye çalışılmıştır. Çalışmada kameranın döndürme açısı 0 alınmış ve yolun eğimi ihmal edilmiştir. Aksi durumlar için birden fazla ufuk noktası da dönüşüm hesaplarına dahil edilerek çözümler üretilebilir. Bununla birlikte trafik kameraların yerleştirildiği yolların tümü düz olamayacağından ileriki çalışmalarda kıvrımlı yollar için de çözüm üretilmesi yapılan uygulamayı daha kullanışlı hale getirebilir.

Günümüzde akıllı taşıma sistemleri kapsamında kullanılan sayısal görüntü aktarımı sistemleriyle yapılan çalışma gerçek hayattaki trafik değerlerinin ölçümünde kullanılabilir. Yapılan çalışmanın bir diğer özelliği ise ardışık iki görüntü arasında araç sayımını da gerçekleştirebilmesidir. Böylece sadece trafik kameralarından alınan görüntüler ile hız bilgisi ve trafik yoğunluğu ölçülebilir. Aynı zamanda hız limiti aşımı da tespiti gibi denetleme sistemleri için de yapılan çalışmada geliştirilen uygulama kullanılabilir.

KAYNAKLAR

Bowik, A., (1999), Handbook of Image and Video Processing, Academic Press, Canada.

Cathey, F.W., Dailey, D.J., (2005), “A Novel Technique to Dynamically Measure Vehicle Speed using Uncalibrated Roadway Cameras”, Intelligent Vehicles Symposium, 2005. Proceedings. IEEE, 6-8 June 2005, 777 – 782.

Dailey, D.J., Li, L., (1999), “An algorithm to estimate vehicle speed using uncalibrated cameras”, Intelligent Transportation Systems, 1999. Proceedings. 1999 IEEE/IEEEJ/ISAI International Conference on, 5-8 Oct. 1999, 441 – 446.

Fangi, G., Gagliardini, G., Malinverni, E. S., (2001), “Photointerpretation and Small Scale Stereoplotting with Digitally Rectified Photographs with Geometrical Constraints”, Proceedings of the XVIII. International Symposium of CIPA 2001, Potsdam, Germany, September 18-21, 2001, 160.

Forsyth, D., Ponce, J., (2003), Computer Vision: A Modern Approach, Prentice Hall.

Gonzalez, R. C., Woods, R. E., (2002), Digital Image Processing, Prentice Hall, New Jersey.

Grammatikopoulos, L., Karras, G., Petsa, E., (2005), “Automatic Estimation Of Vehicle Speed From Uncalibrated Video Sequences”, International Symposium on Modern Technologies, Sofia, 03-04 November, 2005, 332-338.

Jähne, B., (2005), Digital Image Processing, Springer

Maduro, C., Batista, K., Peixoto, P., Batista, J., (2008), “Estimation of vehicle velocity and traffic intensity using rectified images”, Image Processing, 2008. ICIP 2008. 15th IEEE International Conference on, 12-15 Oct. 2008, 777 – 780.

Marchan-Maillet, S., Sharaiha, Y. M., (2005), Binary Digital Image Processing: A Discrete Approach, Academic Press, London.

Pratt, W. K., (2007), Digital Image Processing, Wiley-Interscience, USA.

Salomon, D., (1999), *Computer Graphics and Geometric Modeling*, Springer.

Schoepflin, T.N., Dailey, D.J., (2003), “Dynamic camera calibration of roadside traffic management cameras for vehicle speed estimation”, *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, Jun 2003, 90 – 98.

Xiao, C. H., Yung, N.H.C., (2007), “A Novel Algorithm for Estimating Vehicle Speed from Two Consecutive Images”, *Applications of Computer Vision, 2007. WACV '07. IEEE Workshop on*, Feb. 2007, 12.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 22.07.1982

Doğum yeri İstanbul

Lise 1993-2000 Vefa Anadolu Lisesi

Lisans 2000-2004 Yıldız Üniversitesi Elektrik Elektronik fakültesi
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurum(lar)

2004-2007 ATM Film Prodüksiyon LTD. ŞTİ

2007-Devam ediyor Türk Telekom A.Ş.