

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

VIDEO TABANLI ZİYARETÇİ SAYMA SİSTEMİ

MESUT CEM AKIN

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

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. BÜLENT BOLAT**

İSTANBUL, 2013

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

VİDEO TABANLI ZİYARETÇİ SAYIM SİSTEMİ

Mesut Cem AKIN tarafından hazırlanan tez çalışması 15.07.2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Bülent BOLAT

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Bülent BOLAT

Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Nihan KAHRAMAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Sırma YAVUZ

Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının hazırlanması sırasında tez konusunun belirlenmesinden, tez teslim anına kadar ihtiyaç duyduğum tüm yardımı sağlayan danışman hocam Bülent Bolat'a, eğitim hayatımda bana yardımcı olan tüm arkadaşlarıma ve aileme teşekkür ederim.

Mayıs, 2013

Mesut Cem AKIN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	5
1.3 Orijinal Katkı	5
BÖLÜM 2	
KURAMSAL TEMELLER	7
2.1 Arka Plan Çıkarma ve Modelleme	7
2.1.1 Yinelemeli Olmayan Arka Plan Modelleri	8
2.1.1.1 Ardışık Kare Farkı	8
2.1.1.2 Ortalama Süzgeç	8
2.1.1.3 Ortanca Süzgeç	9
2.1.1.4 Doğrusal Öngörü Süzgeci	9
2.1.2 Yinelemeli Arka Plan Modelleri.....	9
2.1.2.1 Kalman Süzgeci	10
2.1.2.2 Gauss Karışım Modeli	10
2.1.2.3 Yakınsamalı Ortanca Süzgeç	11
2.2 İnsan Sayımı Uygulamalarında Kullanılan Arka Plan Çıkarma Yöntemleri	12
2.3 Kümeleme Analizi	16
2.3.1 Hiyerarşik Kümeleme Yöntemleri	17
2.3.2 Bölümlemeli Kümeleme Yöntemleri.....	17
2.3.2.1 K-ortalımalı Kümeleme	18
2.4 Canny Kenar Bulma Algoritması	19
2.4.1 Yumuşatma (smoothing).....	19

2.4.2	Gradyentlerin Bulunması	20
2.4.3	Maksimum Harici Noktaların Bastırılması.....	20
2.4.4	İkili Eşikleme.....	21
2.5	Hough Dönüşümü	21
2.5.1	Hough Dönüşümü İle Doğru Tespiti.....	22
BÖLÜM 3		
VIDEO TABANLI ZİYARETÇİ SAYMA SİSTEMİ		24
3.1	Görüntünün Alınması	27
3.1.1	Video Tabanlı İnsan Sayma Sistemi Giriş Görüntüsü Özellikleri	27
3.1.2	Kameranın Konumlandırılması.....	27
3.2	Arka Plan Kestirimi.....	29
3.2.1	Arka Plan Görüntüsünün İlkendirilmesi	29
3.2.2	Arka Plan Görüntüsünün Güncellenmesi.....	29
3.3	Blok Tabanlı Arka Plan Çıkarma	30
3.4	Nokta Bulutu Analizi	33
3.4.1	[16]'da Önerilen İnsan (Küme) Sayısı ve Konumu Kestirim Yöntemi....	34
3.4.2	Önerilen İnsan (Küme) Sayısı ve Konumu Kestirim Yöntemi	35
3.5	K-ortalımalı Bölütleme Algoritması	37
3.6	Takip	40
3.7	İnsan, Nesne Tespiti.....	42
3.8	Sayım	45
BÖLÜM 4		
DENEYSEL SONUÇLAR		48
4.1	Başarı Kriterlerinin Belirlenmesi	49
4.2	Ziyaretçi Sayma Sistemi Başarısının Değerlendirilmesi	50
4.3	İnsan Nesne Tespit Başarısının Değerlendirilmesi.....	56
4.4	Sistem Performansı.....	59
BÖLÜM 5		
SONUÇ VE ÖNERİLER		61
KAYNAKLAR.....		66
ÖZGEÇMİŞ.....		69

SİMGE LİSTESİ

B	Arka Plan Görüntüsü
c_i	Küme Merkezleri
$P(..)$	Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu
V	Görüntü Matrisi
σ	Standart Sapma
σ^2	Varyans
Σ	Kovaryans Matrisi
η	Gauss Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu

KISALTMA LİSTESİ

EM	Expectation Maximization
FBEM	Foreground/Background Edge Model
FN	False Negative
FP	False Positive
HSV	Hue,Saturation,Value
MoG	Mixture of Gaussians
nRGB	Normalized Red,Green,Blue
RGB	Red, Green, Blue
TN	True Negative
TP	True Positive

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1	Takibe dayalı insan sayma sistemi genel akış şeması 3
Şekil 2.1	[9]'da önerilen arka plan çıkarma yöntemi akış şeması 13
Şekil 2.2	[9]'da önerilen arka plan çıkarma basamakları ve elde edilen sonuç..... 14
Şekil 2.3	[10]'da önerilen kenar tabanlı arka plan modeli sonuçları a) orijinal kare b) orijinal kare kenar görüntüsü c) arka plana ait kenar pikselleri d) ön plana ait kenar pikselleri 15
Şekil 2.4	Hiyerarşik sınıflama örneği 17
Şekil 2.5	K-ortalımalı kümeleme algoritması farklı başlangıç sınıf merkezleri için olası iki kümeleme sonucu 19
Şekil 2.6	Sobel operatörü kernelleri 20
Şekil 2.7	Canny kenar bulma algoritması sonucu 21
Şekil 2.8	Hough dönüşümü ile tespit edilen doğrular 22
Şekil 3.1	Video tabanlı ziyaretçi sayma sistemi akış şeması 25
Şekil 3.2	CAVIAR veri tabanından alınmış örtüşme örnekleri 27
Şekil 3.3	Kuşbakışı konumlandırılmış kamera ile alınan görüntü örnekleri 28
Şekil 3.4	Arka plan kestirimi ve blok tabanlı arka plan çıkarma sonucu a) orijinal kare b) kestirilen arka plan görüntüsü c) blok tabanlı arka plan çıkarma sonucu 30
Şekil 3.5	Piksel ve blok tabanlı arka plan çıkarma yöntemlerinin karşılaştırılması a) sıradaki kare b) kestirilen arka plan görüntüsü c) piksel tabanlı arka plan çıkarma sonucu d) blok tabanlı arka plan çıkarma sonucu 32
Şekil 3.6	Zorlayıcı bazı durumlar için blok tabanlı arka plan çıkarma sonucu a) orijinal kare b) blok tabanlı arka plan çıkarma sonucu 33
Şekil 3.7	İki farklı çevre dörtgeni için tahmin edilen insan (küme) merkezleri 36
Şekil 3.8	Nokta bulutu analizi sonucu elde edilen insan konumları a) orijinal kare b) arka plan çıkarma sonunu c) tahmin edilen insan konumları d) analiz sonucu insan içerdiği tespit edilen nokta bulutları 37
Şekil 3.9	Bölütleme basamakları a) orijinal kare b) kestirilen arka plan c) k-ortalımalı bölütleme başlangıç küme merkezleri d) blok tabanlı arka plan çıkarma sonucu e) bölütleme sonucu bulunan sınıf merkezleri f) bölütleme sonucu 38
Şekil 3.10	Değişik yüksekliklerden alınmış görüntüler için k-ortalımalı bölütleme sonuçları a) başlangıç küme merkezleri (kestirilen insan konumları) b) kümeleme sonucu bulunan merkezler d) bölütleme sonucu 39
Şekil 3.11	Takip işlemi 41

Şekil 3.12	Valiz ve bebek arabası ile geçişlerde bölütleme sonucu a) bulunan nesne merkezleri b) bölütleme sonucu	43
Şekil 3.13	Valiz ve insan geçişi sırasında Hough dönüşümü ile tespit edilen doğrular	44
Şekil 3.14	[1]'de önerilen sayım koşulu	45
Şekil 3.15	[10]'da önerilen sayım koşulu	46
Şekil 3.16	[16]'da önerilen sayım koşulu	46
Şekil 4.1	Oda girişi ve alışveriş merkezinden alınmış görüntü örnekleri a) oda girişinden alınmış görüntü b) oda girişinden alınmış görüntü bölütleme sonucu c) alışveriş merkezinden alınmış görüntü d) alışveriş merkezinden alınmış görüntü bölütleme sonucu	49
Şekil 4.2	Büyük boyutlu insan geçişi sırasında oluşan bölütleme hatası a) orijinal kare b) bölütleme sonucunu	52
Şekil 4.3	Arka planla benzer renkte kıyafetli insan geçişi sonucu oluşan bölütleme hataları a) işlenmiş orijinal kare b) bölütleme sonucu	52
Şekil 4.4	Kendisini taşıyan insan ile birlikte ve ayrı olarak bölütlenmiş iki valiz ile geçiş a) birlikte bölütlenmiş insan ve valiz b) ayrı bölütlenmiş insan ve valiz	57
Şekil 4.5	İnsan nesne tespit modülünde hataya neden olan insan geçişi a) tespit edilen insan b) Hough dönüşümü ile bulunan doğrular	58

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 4.1	Alışveriş merkezinden alınan görüntüler üzerinde yapılan testler sonucunda elde edilen genel sayım sonuçları 51
Çizelge 4.2	Alışveriş merkezinden alınan görüntüler üzerinde yapılan testler sonucunda elde edilen başarı oranları..... 53
Çizelge 4.3	Oda girişinden alınan görüntüler üzerinde yapılan testler sonucunda elde edilen sayım sonuçları 54
Çizelge 4.4	Oda girişinden alınan görüntüler üzerinde yapılan testler sonucunda elde edilen başarı oranları..... 55
Çizelge 4.5	İki grup video üzerinde yapılan testler sonucunda elde edilen genel sayım sonuçları..... 56
Çizelge 4.6	İki grup video üzerinde yapılan testler sonucunda elde edilen genel başarı oranları 56
Çizelge 4.7	İki grup video üzerinde gözlenilen insan/nesne tespit modülü sonuçları 58
Çizelge 4.8	İki grup video üzerinde yapılan testler sonucu elde edilen insan/nesne tespit modülü başarı oranları 59

VİDEO TABANLI ZİYARETÇİ SAYMA SİSTEMİ

Mesut Cem AKIN

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Bülent Bolat

Ticari uygulamalar ve güvenlik hizmetlerinde bir binanın içindeki herhangi bir katındaki veya herhangi bir kısmındaki insan sayısının takip edilebilmesi kritik önem taşır. Alışveriş merkezleri ve benzeri işyerlerinde, maliyetlerin doğru hesaplanabilmesi ve ihtiyaç duyulan iş gücünün belirlenmesi için yıl içerisindeki ziyaretçi sayısının maksimum doğrulukta takip edilmesine ihtiyaç vardır. Halihazırda insan sayımı için kullanılan ve değişik sensörlerle (kızıl ötesi, lazer, rf vs.) çalışan pek çok sistem bulunmaktadır. Bu sistemler kendilerine özgü sorunlardan dolayı istenilen doğruluk ve güvenilirlik ile çalışmamaktadır.

Gelişen bilgisayarlı görme teknikleri sayesinde, son dönemde video tabanlı insan sayma sistemleri, pek çok uygulamada sensör tabanlı sistemlerin yerini almaktadır. Video tabanlı sistemler insan akışını engellemez ve farklı ortamlarda yüksek doğruluk ile sayım işlemi gerçekleştirebilir. Bu özellikler video tabanlı sistemlerin ziyaretçi sayımı uygulamalarında tercih edilmelerinde önemli rol oynamaktadır.

Bu tezde insan sayma işlemi maksimum doğruluk ve güvenilirlikle yapan video tabanlı bir ziyaretçi sayma sistemi gerçekleştirildi. Sistem için geliştirilen bilgisayar yazılımı, bir geçiş noktasına kuşbakışı bakacak şekilde konumlandırılmış bir kameradan alınan görüntüyü girdi olarak kullanarak, binaya, odaya veya kata giriş ve çıkış yapan ziyaretçi sayımını yapar. Sistem kullanılan “K-Ortalamalı Bölütleme Algoritması” sayesinde, insanların birbirlerine çok yakın ve temas halinde geçişlerinde dahi yüksek doğruluk ile sayım işlemi gerçekleştirebilmektedir.

Büyük boyutlu valiz, alışveriş sepeti veya bebek arabası ile insanların gözlenen alandan geçmesi mümkündür. Bu nesneler eğer tespit edilemezler ise hatalı sayımlara sebep olabilirler. Geliştirilen sistem bir insan/nesne tespit algoritması kullanarak bu geçişleri tespit edip hatalı sayımları önleyebilmektedir.

Geliştirilen sistem gerçek dünya videoları ile test edilmiş ve 7'ye kadar insanın aynı anda gözlenen alandan geçtiği durumlarda dahi sayım işleminin gerçekleştirilebildiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ziyaretçi Sayma, İnsan Sayma, Görüntü İşleme, Video İşleme, K-Ortalamalı Bölütleme

VIDEO BASED PEOPLE COUNTING SYSTEM

Mesut Cem AKIN

Department of Electronics and Communications Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assist. Prof. Dr. Bülent Bolat

Tracking people number in a building, in a floor or in a room holds critical importance in commercial applications and in security services. In work places like shopping malls, counting the customer number is needed to estimate labor requirements and to calculate costs correctly. There are many systems, working with different types of sensors (infrared, laser, rf etc.), used for people counting. Those systems are not able to perform counting task with required accuracy and reliability because of some specific problems.

Recently sensor based people counting systems are replaced by video based systems in many applications, owing to improvements in computer vision technologies. Video based systems do not block people flow and can perform counting task in different environments with high accuracy. These abilities play an important role in choice of video based systems for people counting applications.

In this thesis, a video based bi-directional people counting system is developed. Designed system is able to count people with high accuracy and reliability. Computer software developed for the application uses video captured by an overhead mounted camera as input and counts people going in and out of an observed area. Even when people passing very close or touching to each other system is able to perform counting task with a very high success rate due to use of “K-Means Based Segmentation Algorithm”.

People may pass through the observed area with large suitcases, shopping cards or strollers. These objects could cause wrong counting if they are not detected.

Developed system able to detect these objects and prevent wrong counting by using a human/object check algorithm.

Developed system is tested with real world videos and it is observed that system is able to perform counting task even when 7 people passing through the observed area at the same time.

Keywords: People Counting, Image Processing, Video Processing, K-Means Based Segmentation

1.1 Literatür Özeti

Bir binaya, kata ya da belli bir alana giriş ve çıkış yapan insan sayısının yüksek doğruluk ile takip edilebilmesine imkân sağlayacak bir insan sayma sistemine ihtiyaç uzun süreden beri hissedilmektedir.

Alışveriş merkezleri, süpermarketler ve diğer işyerlerinde ziyaretçi sayısının yıllık, haftalık hatta saatlik bazda takip edilebilmesi çalışma saatlerinin maksimum verimlilikle ayarlanmasına ve ihtiyaç duyulan iş gücünün doğru tahminine imkân tanır.

Yolcu sayma sistemleri, metro, tramvay gibi ulaşım araçlarında yolcuların hangi duraklarda biniş ve iniş yaptıklarının takibine imkan tanıyarak seferlerin daha doğru bir şekilde planlanabilmesini sağlar.

İnsan Sayma sistemleri ayrıca güvenlik alanında bina tahliye planlarının ihtiyaca uygun yapılmasına ve gün içinde ihtiyaç duyulabilecek güvenlik elemanı sayısının belirlenmesine yardımcı olur.

İnsan sayımı için uzun zamandır kullanılan kontak, kızıl ötesi ve ısı algılayıcı tipi sensörlerle çalışan sistemlerin yanında son dönemde video tabanlı çözümlerde sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Genellikle turnikelerde kullanılan kontak tipi sensörler ile çalışan sistemler yapıları gereği bir seferde tek kişinin sayımını yapabilirler ve bu nedenle yaya akışını bloke ederler.

Kızıl ötesi ve ısı sensörleriyle çalışan sistemler akışı bloke etmemelerine karşın doğru sayım oranları istenilenin altındadır [1]. İnsan akışını yavaşlatmamaları ve yüksek başarı

oranları son dönemde video tabanlı sistemleri insan sayımı için ön plana çıkarmıştır. Video tabanlı sistemler aynı anda iki yönlü olarak birden çok kişinin sayımını yapabilmektedirler.

Video görüntüsü üzerinden insanların ve insan hareketlerinin tespiti ve takibi üzerine bugüne kadar pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bir kısmı insanların tespitinin yanında davranışlarının da çözülmesi üzerinde dururken [2], [3] bir kısmı ise sadece insan tespiti veya sayımı üzerine yoğunlaşmıştır.

Bu güne kadar insan sayımını yüksek doğruluk ve güvenilirlik ile gerçekleştirecek video tabanlı bir sistem üzerinde pek çok çalışma yapılmıştır. Kullanılan temel yöntemlerden birisi şekil tespiti üzerinden sayım işlemini gerçekleştirmektir [4], [5], [6], [7].

Şekil tespiti üzerinden sayım işlemini yapan uygulamalar görüntü üzerinde kafa, ayak veya insan silueti gibi belirleyici şekiller ararlar. Bulunan şekil sayısına göre de sayım işlemini gerçekleştirirler.

Yaygın şekilde kullanılan bir diğer yöntem gözlenen bir alan içinde hareket halindeki bölgeleri belirleyip takip ederek giriş ve çıkış sayısını belirlemektir [1], [8], [9], [10], [11], [12]. Hareketli bölgelerin takibine dayalı bir insan sayma sisteminin genel akış şeması Şekil 1.1’de verilmiştir.

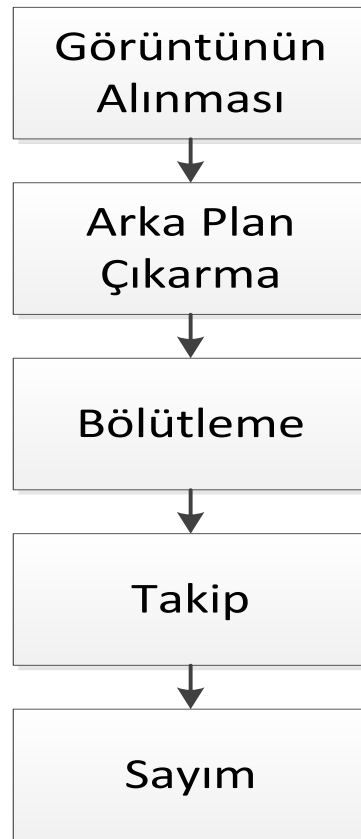
Son dönemde yapılan çalışmalarda bu yöntemlerden farklı olarak üç boyutlu görüntüler üzerinden insan sayımını gerçekleştiren sistemler önerilmiştir. Bu sistemler 3 boyutlu görüntü ile gelen derinlik bilgisinden faydalanarak sayım işlemini gerçekleştirir [13], [14], [15]. Derinlik bilgisi sayesinde bu sistemler bölütleme ve insan/nesne tespiti açısından pek çok avantaj sağlasa da üç boyutlu giriş kamerası ihtiyaçlarından dolayı maliyetleri göreceli olarak daha yüksektir.

İnsan sayımı uygulamalarında temel problemler grup halinde veya birbirine çok yakın hareket eden insanların neden olduğu örtüşmeler, birleşmeler ve ayrışmalardır. Çoğu uygulamada kamera gözlenmek istenen alana kuş bakışı bakacak şekilde konumlandırılarak örtüşmeler minimuma indirilmeye çalışılmıştır [1], [9], [10], [16], [17]. Kuşbakışı kamera konumu her ne kadar tam örtüşmeleri ortadan kaldırırsa da, insanların birbirine çok yakın veya temas halinde geçmelerinden dolayı oluşacak kısmi örtüşmeleri engelleyemez. İnsan geçişi sırasında oluşan temas ve kopmalardan

kaynaklanan birleşme ve ayrışmaları gidermek amacıyla çoğu uygulamada tespit ve takip işlemlerinden sonra ayrı bir birleşme-ayırma kontrolü yapılması gerekir [1], [9], [10]. Birleşme-Ayrışma kontrolleri pek çok durumda başarılı sonuç verse de işlem karmaşıklığını oldukça artırır.

Kameranın kuş bakışı konumlandırılmasının sağladığı bir diğer avantajda insan boyutlarının neredeyse sabit olmasıdır [1], [9]. Bu çalışmada da bu durumdan faydalanılarak bölütleme işlemi daha doğru bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Albiol vd. [8]'de duraklarda trenden inen ve trene binen yolcu sayımını gerçekleştirecek bir sistem önermiştir. Sistem tren kapısına yerleştirilen bir kameradan aldığı görüntüyü kullanır. Tren durup kapı açıldığında görüntüde tanımlanan üç sanal çizgi üzerindeki piksel değerleri örneklenerek hafızada depolanır. Daha sonra tren harekete geçmek üzere kapı kapatıldığında hafızadaki değerler işlenerek sayım gerçekleştirilir. Bu yöntem hafıza ve hesaplama maliyetini oldukça düşürür, buna karşın pratikte gerçek zamanlı bir çözüme yaklaşıp da pek çok durum için gerçek zamanlı çalışması mümkün değildir.



Şekil 1.1 Takibe dayalı insan sayma sistemi genel akış şeması

Snidaro vd. [9]'da bir akıllı bina güvenliği (Ambient Security Intelligence) uygulaması için insan sayım sistemi önermiştir. Önerilen sistem arka plan çıkarma işleminden sonra görüntü kanallarını (HSV, RGB) ayrı ayrı işlemlere tabi tutarak bölütlemeyi gerçekleştirir. Son olarak Kalman süzgeci ve ortalama kaydırmalı (mean shift) takip yöntemlerinden faydalanarak insan sayımını yapar. Velipaşalar vd. [1]'de benzer şekilde birleşmeden kaynaklı problemlerin giderilmesinde ortalama kaydırmalı takip yönteminden faydalanmıştır.

Kenar bilgisine dayanan yeni bir arka plan ön plan modeli [10]'da Yu vd. tarafından bir insan sayım uygulamasında kullanılmıştır. Yöntem arka plan modeli için sadece kenar bilgisinin saklanması ihtiyacı duyar. Bu sayede renkli veya renksiz görüntü ile çalışabilir ve oldukça hızlıdır.

Barandiaran vd. [11]'de görüntü üzerinde tanımlanan sanal çoklu çizgilerden faydalanarak yüksek başarıyla insan sayımı gerçekleştiren bir sistemi tanıtmışlardır. Sistem takibe veya şekil tespitine dayanan uygulamaların aksine tanımlanan çiziler üzerindeki optik akışı (optical flow) kontrol ederek sayım işlemini gerçekleştirir.

Bir otobüsten inen ve otobüse binen insanların sayımını optik akışı kullanarak tespit eden bir diğer sistem [18]'de Chen vd. tarafından önerilmiştir. [18]'de görüntü öncelikle bloklara ayrılmış daha sonra her bir bloğa ait hareket tahmini vektörlerinin büyüklüğüne bakılarak hareketli bölgelerin tespiti gerçekleştirilmeye çalışılmıştır.

[19]'da Ma vd. ardışık kare farkı ile tespit edilen, hareketli bölgelere ait görüntünün dikey ve yatay histogramlarını kullanarak insan içeren bölgeleri tespit etmişlerdir. Daha sonra tanımladıkları yeni bir takip sabitini kullanarak takip ve sayım işlemini gerçekleştirmişlerdir. Bu yöntem diğer yöntemlere göre oldukça hızlıdır buna karşın başarı oranı görece olarak daha düşüktür.

K-ortalımalı bölütleme algoritması kullanarak bölütleme işlemini yüksek başarıyla uygulayan bir insan sayma sistemi [16]'da Antic vd. tarafından önerilmiştir. Diğer uygulamalardan farklı olarak bu yöntem insanların birbirlerine çok yakın ve temas halinde geçişlerinde dahi kişilerin tek başlarına bölütlenebilmesini sağlamaktadır. Bu nedenle ekstra bir birleşme-ayırma kontrolü gerektirmez. Bu çalışmada da [16]'da önerilene benzer bir insan sayma sistemi geliştirilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Bu tezde alışveriş merkezleri, metro istasyonları ve turistik alanlar gibi yıllık, aylık, haftalık bazda ziyaretçi-müşteri sayısının takibine ihtiyaç duyan mekanlarda ziyaretçi sayımını yüksek başarı ile gerçekleştirecek video tabanlı bir otomatik insan sayma sisteminin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada daha önce önerilen yöntemlerin sorunlarını azaltacak ve sayım işlemini yüksek doğruluk ve güvenilirlik ile yapacak bir sistemin geliştirilmesi üzerinde durulmuştur.

Tasarlanacak sistemin valiz taşıyan, bebek arabası, alışveriş sepeti iten veya birbirlerine çok yakın yürüyen insanların geçişlerinde dahi yüksek başarıyla sayım işlemini yapabilmesine çalışılmıştır. Tez için geliştirilen yöntem önerilen diğer yöntemlerin başarılı olamadığı durum senaryolarında test edilerek başarı oranı gözlenmiştir.

1.3 Orijinal Katkı

Antic vd. [16]'da blok tabanlı arka plan ön plan modeli ve k-ortalımalı kümeleme tabanlı bir bölütleme algoritmasını insan sayımı için ilk defa kullanmışlardır. K-ortalımalı kümeleme algoritmasının yapısı gereği başlangıç (initial) küme merkezlerinin konumu ve sayısı başarıyı doğrudan etkiler. [16]'da küme sayısı, yani tespit edilen insan sayısı, olası küme merkezleri arasındaki mesafeyi (insanlar arasındaki mesafeyi) belirlenen bir minimum değerin üstünde tutacak en büyük sayı olarak belirlenmiştir. Bu yöntemin çok sayıda (4,5,6...) insan geçişi durumunda soruna neden olması kuvvetli bir ihtimaldir.

Küme merkezlerinin ilklendirilmesi k-ortalımalı kümeleme algoritmasının sonucunu doğrudan etkiler. [16]'da küme (insan) merkezlerinin nasıl belirleneceğine dair herhangi bir öneri getirilmemiştir.

Bu çalışmada küme (insan) sayısının ve kümelerin ilk merkezlerinin sisteme eklenen bir nokta bulutu analizi basamağı ile belirlenmesi önerilmiştir. Önerilen yöntem sayesinde bir karede ki insan sayısı daha yüksek doğrulukla tespit edilebilir bu da bölütlemenin daha yüksek doğrulukla yapılabilmesini sağlar. Ayrıca önerilen yöntem k-ortalımalı kümeleme algoritmasına, sadece birbirine bitişik birden çok insanın tespit edildiği

durumlarda başvurur. Böylelikle sistemin hızlı ve verimli çalışması sağlanır. Buna ek olarak k-ortalımalı kümele algoritmasının ihtiyaç duyduğu başlangıç küme merkezleri, tespit edilen birleşik nokta bulutlarına ait çevre dörtgenlerinin boyutları ve merkez konumları kullanılarak belirlenmiştir. Bu şekilde algoritmanın hem daha hızlı hem de daha doğru çalışması sağlanmıştır.

İnsan sayma sistemlerinin alışveriş merkezi, tren istasyonları, marketler gibi alanlarda kullanılacak olmaları nedeniyle izlenilen bölgeden valiz, bebek arabası, alışveriş sepeti gibi büyük boyutlu eşyalar taşıyan insanların geçmeleri oldukça muhtemeldir. Sistemler bu nesneleri insan geçişlerinden ayırabilmelidir. Aksi halde başarı oranı düşer. Bu çalışmada sisteme nesneleri üzerlerinde tespit edilen doğru sayısına göre insan veya insan olmayan nesne şeklinde sınıflayan bir insan/nesne tespit basamağı eklenmiştir. Testler sonucu kullanılan yöntemin valiz ve bebek arabalarını doğru tespit edip saymadığı gözlenmiştir.

Sistem daha önce önerilen yöntemlerin zorlandığı gerçek dünya görüntüleri üzerinde test edilmiştir. Bir alışveriş merkezinden alınan, insan yoğunluğunun yüksek olduğu ve aynı anda yediye kadar insanın gözlenen alan içinde bulunduğu test senaryolarında dahi geliştirilen sistem başarılı sonuç vermektedir.

KURAMSAL TEMELLER

Video tabanlı sayım sistemleri gelişen görüntü işleme ve örüntü tanıma yöntemlerini kullanarak sayım işlemini gerçekleştirir. Bu tezde de yaygın olarak kullanılan pek çok bilgisayarlı görme tekniğinden faydalanılmıştır. Bu bölümde kullanılan yöntemlerin kuramsal temelleri kısaca anlatılmıştır

2.1 Arka Plan Çıkarma ve Modelleme

Arka plan çıkarma işlemi video görüntüsündeki hareketli nesnelerin tespit edilmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Temel olarak her yeni karenin kestirilen bir arka plan görüntüsü ile karşılaştırılarak karedeki hareketli nesnelerin tespitine dayanır. Arka plan görüntüsünün kestirilme işlemi arka plan modelleme olarak adlandırılır.

Arka plan modelleme görüntü işleme alanının üzerinde en çok çalışma yapılan konularından birisidir. Şimdiye kadar arka plan kestirimi için pek çok yöntem önerilmiş ve her sene yeni yöntemler önerilmektedir. Bu yöntemlerin her biri farklı koşullar altında başarılı sonuç verir.

Arka plan görüntüsü gün içerisindeki aydınlık değişiklikleri, gölgelenmeler ve gözlenen alana giren nesneler nedeniyle zaman içerisinde değişim gösterir. Bu nedenle kullanılacak arka plan modelinin adaptif olması yani arka plan kestiriminin zaman içinde güncellene bilmesi gereklidir.

Arka plan modelleme yöntemlerini kendi içerisinde pek çok değişik şekilde sınıflara ayırmak mümkündür. Bu yöntemler bu çalışmada, [20]'de kullanılabenzer şekilde, “Yinelemeli” ve “Yinelemeli Olmayan” arka plan modelleri olarak sınıflandırılmışlardır.

2.1.1 Yinelemeli Olmayan Arka Plan Modelleri

Yinelemeli olmayan arka plan modelleme, geçmiş N karedeki piksel değerlerindeki değişimler baz alınarak arka plan görüntüsünün kestirimine dayanır. Uygulamada N sayısı geçmiş kareler için ayrılabilen hafıza büyüklüğü ile sınırlıdır. Her yeni karede hafızadaki en eski kare yenisiyle değiştirilir ve arka plan güncellenir. Bu şekilde arka planda oluşması muhtemel değişikliklere adaptasyon sağlanmış olur. N büyüklüğü arka plan modelinin adaptasyon hızını belirler N azaldıkça arka plandaki ani değişimlere daha hızlı adaptasyon sağlanır.

Bu modellerin dezavantajları yüksek hafızaya ihtiyaç duymaları, yavaş hareket eden nesnelerin kestirilen arka planda hataya neden olması ve görelilik olarak gerçek zamanlı çalışmalarının zor oluşudur. Buna karşın hızlı adaptasyon sağlayabilirler. Yaygın olarak kullanılan yinelemeli olmayan arka plan modelleme yöntemleri “Ardışık Kare Farkı”, “Ortalama Süzgeç”, “Ortanca Süzgeç”, “Doğrusal Öngörü Süzgeci” şeklinde sıralanabilir.

2.1.1.1 Ardışık Kare Farkı

Bir önceki karenin arka plan kabul edilerek o anki kareden çıkarılmasından ibarettir. Basit ama pek çok durumda başarılı sonuç veren bir yöntemdir. Ani ışık değişimlerinden ve gölgelenmelerden etkilenir. Takip uygulamalarında ihtiyaç duyulan başarılı bölütlemeyi, gerçekleştirmesi çok zordur. Eşitlik (2.1)’deki gibi formülize edilebilir.

$$FG^t(x, y) = V^t(x, y) - V^{t-1}(x, y) \quad (2.1)$$

2.1.1.2 Ortalama Süzgeç

Ortalama süzgeç modelinde geçmiş N karenin ortalaması alınarak elde edilen görüntü arka plan kabul edilir (Eşitlik (2.2)). Hafızaya alınan N karede arka plana ait pikselleri içeren görüntülerin fazla olduğu kabulüne dayanır. Gözlenen alanda yavaş bir biçimde hareket eden nesneler hayalet adı verilen gürültülere neden olur. N sayısı artırılarak bu ve benzeri nedenle oluşabilecek gürültülerin kestirilen arka plan üzerindeki etkisi azaltılabilir bununla beraber N ile birlikte ihtiyaç duyulan hafıza alanı ve hesaplama maliyeti artar.

$$B_t(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N V_{t-i}(x, y) \quad (2.2)$$

2.1.1.3 Ortanca Süzgeç

Arka plan görüntüsüne ait her bir piksel değeri hafızada saklanan geçmiş N kareye ait piksel değerlerinin ortancası olarak atanır. Nesne geçişlerinin görüntüye ait pikseller de sayısal değerleri artıracak veya azaltacak prensibine dayanır. Ortalama süzgece göre avantajı kestirilen arka plan görüntüsünde bulanıklığa neden olmamasıdır. Bu sayede arka plan görüntüsüne ait kenar bilgisi korunmuş olur.

2.1.1.4 Doğrusal Öngörü Süzgeci

Bu modelde arka plan görüntüsü hafızada tutulan karelere ait piksel değerlerine doğrusal öngörü süzgeci uygulanarak elde edilir. Öngörü süzgeci hafızada tutulan karelerdeki değerleri kullanarak gelecek değerleri tahmin etmeye çalışır. Filtre katsayıları her yeni karede yeniden hesaplanmalıdır; bu yüzden bu yöntem gerçek zamanlı uygulamalar için uygun değildir. B_t o anki arka plan görüntüsü, V_t t anındaki kare ve α_i hafızadaki i. kareye ait öngörü katsayısı olmak üzere

$$B_t(x, y) = \sum_{i=0}^N \alpha_i \cdot V_{t-i}(x, y) \quad (2.3)$$

şeklinde gösterilebilir.

2.1.2 Yinelemeli Arka Plan Modelleri

Bu yöntemde geçmiş kareleri hafızada saklayıp bunları kullanarak bir arka plan modeli oluşturmak yerine yinelemeli bir filtre yapısıyla arka plan kestirilmeye çalışılır. İhtiyaç duyulan hafıza miktarı ve hesaplama maliyetleri oldukça düşüktür. Bu nedenle gerçek zamanlı uygulamalar için idealdir.

Dezavantajı modelde oluşabilecek hataların etkisinin uzun süre kaybolmayışıdır. Bunun nedeni her karenin arka plan modeli üzerinde kalıcı bir etki bırakma olasılığı bulunmasıdır. Buna karşın yinelemeli olmayan modelde bir karenin arka plan modelinde bıraktığı etki hafızada saklanma süresiyle sınırlıdır.

Yaygın olarak kullanılan bazı yinelemeli arka plan modelleri “Kalman Süzgeci”, “Gauss Karışım Modeli”, “Yakınsamalı Ortanca Süzgeç” şeklinde sıralanabilir.

2.1.2.1 Kalman Süzgeci

Temel haliyle Kalman süzgeci kabaca, gürültülü ortamlarda işaret seviyesi ölçümünde kullanılan bir yinelemeli filtre olarak tanımlanabilir. Arka plan modelleme amacıyla kullanıldığında ise geçişler, gölgeler, aydınlık değişimleri ve diğer nedenlerden oluşan gürültülü ortamda arka planın kestirilmesini sağlar. Pek çok çalışmada Kalman süzgecinin değişik uyarlamaları arka plan kestirimi için kullanılmıştır [9], [21].

2.1.2.2 Gauss Karışım Modeli

İlk defa [21]'de Stauffer ve Grimson tarafından önerilen Gauss dağılım modelinde (MoG) her bir piksele ait olası değerler K adet Gauss dağılım fonksiyonunun karışımı halinde tanımlanır. X_t piksele ait yoğunluk değeri, ω_{it} t anında μ_{it} ortalamalı i. Gauss dağılımına ait ağırlık, Σ_{it} kovaryans matrisi ve η Gauss olasılık yoğunluk fonksiyonu olmak üzere bir t anında gözlenebilecek piksel değerine ait olasılık fonksiyonu:

$$P(X_t) = \sum_i^K \omega_{i,t} \eta(X_t, \mu_{i,t}, \Sigma_{i,t}) \quad (2.4)$$

şeklinde hesaplanır. Gauss olasılık yoğunluk fonksiyonu η Eşitlik (2.5)'deki gibi tanımlanmıştır. Bu eşitlikte 'n' dağılımı tanımlanan datanın boyut sayısıdır. 3 renk kanallı bir görüntü için n değeri 3'tür.

$$\eta(X_t, \mu, \Sigma) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2} |\Sigma|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}(X_t - \mu)^T \Sigma^{-1} (X_t - \mu)} \quad (2.5)$$

RGB kanallarının renk değerleri bir birinden bağımsız ve eşit varyansa sahip kabul edilirse kovaryans matrisi:

$$\Sigma_{i,t} = \sigma_{i,t}^2 I \quad (2.6)$$

halini alır. Ortalama ve ağırlık değerlerinin iklenendirilmesi için EM algoritması kullanılır. Bu aşamada bir sıralama ölçütüne göre K dağılım sıraya dizilir. Sıralama kriteri:

$$r_j = \omega_j / \sigma_j \quad (2.7)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Böylelikle görüntüdeki her piksel için bir Gauss karışım modeli oluşturulmuş olur. Sıralama işleminden sonra arka plan modeli tanımlanan bir T eşik değerinden yüksek ağırlığa sahip b adet dağılım kullanılarak elde edilir. Eşitlik (2.8)'de arka plan modelinin tanımlanmasında kullanılan formül verilmiştir.

$$B = \arg \min_b (\sum_{i=1}^b \omega_i > T) \quad (2.8)$$

Her yeni karedeki pikseller Gauss karışım modelleriyle karşılaştırılır. Eğer piksel değeri modellerden biriyle eşleşirse bu model buna uygun olarak güncellenir. Eşleşme koşulu Mahalanobis uzaklığının sağlanmasına bağlıdır (Eşitlik (2.9)).

$$\sqrt{2((X_{t+1} - \mu_{i,t})^T \cdot \Sigma_{i,t}^{-1} \cdot (X_{t+1} - \mu_{i,t}))} < k\sigma_{i,t} \quad (2.9)$$

Bu eşitlikte k sabit eşik değeri 2,5 alınır. Eşleşme koşulunun sağlanması durumunda eşlenen Gauss dağılıma ait ağırlık, ortalama ve varyans değerleri Eşitlik (2.10), (2.11) ve (2.12)'de verilen formüllerden faydalanılarak güncellenir.

$$\omega_{i,t+1} = (1 - \alpha)\omega_{i,t} + \alpha \quad (2.10)$$

$$\mu_{i,t+1} = (1 - \rho)\mu_{i,t} + \rho X_{t+1} \quad (2.11)$$

$$\sigma^2_{i,t+1} = (1 - \rho)\sigma^2_{i,t} + \rho(X_{t+1} - \mu_{i,t+1}) \cdot (X_{t+1} - \mu_{i,t+1})^T \quad (2.12)$$

Bu eşitliklerde α öğrenme katsayısıdır ve ρ :

$$\rho = \alpha \cdot \eta(X_{t+1}, \mu_i, \Sigma_i) \quad (2.13)$$

şeklinde tanımlanır. Yeni piksel ile eşleşmeyen dağılımlarda ortalama ve varyans değerleri değiştirilmez sadece ağırlık değeri:

$$\omega_{i,t+1} = (1 - \alpha)\omega_{i,t} \quad (2.14)$$

eşitliğine göre güncellenir. Eğer yeni gelen piksel hiçbir dağılım ile eşleşmez ise en düşük öncelikli dağılım yeni piksel değerine göre oluşturulan dağılımla değiştirilir. Yeni dağılım küçük ağırlığa, yüksek varyansa ve ortalama olarak da yeni gelen piksel değerine sahip olacak şekilde ilklendirilir. MoG istatistiksel bir arka plan modelidir. Görüntüdeki her piksel değerine ait istatistiksel veriler düzenli olarak güncellenir ve böylece ön plana ait pikseller tespit edilir. Dezavantajı hesaplama maliyetinin yüksek oluşu ve ani ışık değişimlerinden çok etkilenmesidir.

2.1.2.3 Yakınsamalı Ortanca Süzgeç

Ortanca süzgeç yöntemi arka plan modellemede oldukça başarılı bir yöntemdir. Buna karşın işlem maliyeti ve hafıza ihtiyacı bazı durumlarda kullanılmasını engeller. Bu

sorunu gidermek için piksellere ait ortanca değeri yaklaşım yoluyla hesaplayacak yinelemeli bir model McFarlane ve Schofield tarafından önerilmiştir [23].

Yöntem her yeni karedeki piksel değerlerini arka plan modelindeki değerlerle karşılaştırır. Eğer yeni piksel değeri arka plandaki değerden büyük ise arka plana ait piksel değeri bir artırılır, değil ise bir azaltılır. Böylelikle ortanca değere basit ve hızlı bir yaklaşım yolu elde edilmiş olur.

2.2 İnsan Sayımı Uygulamalarında Kullanılan Bazı Arka Plan Çıkarma Yöntemleri

Bu bölümde değişik insan sayma uygulamalarında kullanılan 2 farklı arka plan çıkarma yönteminin incelenmesi yapılacaktır. Arka plan çıkarma işlemi görüntüdeki hareketli insanların tespit edilmesindeki ilk basamaktır. Burada yapılabilecek hatalar geri kalan tüm basamakları dolaylı olarak etkileyeceği için bu işlemin en kritik adım olduğu söylenebilir.

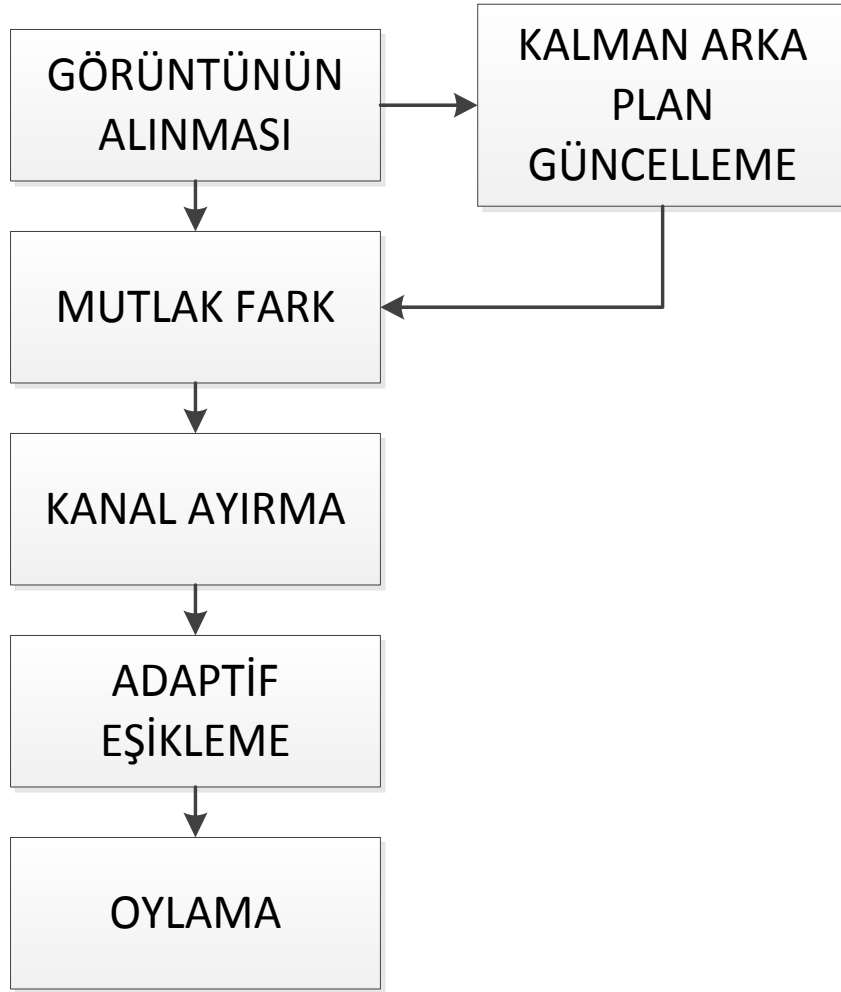
Bu çalışmada arka plan çıkarma için blok tabanlı bir yöntemden faydalanılmıştır. Bu yöntem Bölüm 3.2.2’de ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Video tabanlı bir insan sayma sistemi için gerçek zamanlı çalışma koşulunu yerine getirebilmek bir zorunluluktur. Bu yüzden böyle bir sistemde kullanılacak arka plan modelinin yüksek performans ile çalışabilmesi gereklidir. Bu bölümde anlatılan her iki yöntemde gerekli olan gerçek zamanlılık koşulunu yerine getirir.

Burada [9] ve [10]’da önerilen 2 arka plan çıkarma yöntemi anlatılmıştır. [9]’da Snidaro vd. Kalman süzgecinden faydalanarak arka plan kestirimini gerçekleştirdikten sonra arka plan çıkarma işlemini takiben görüntü kanallarını ayrı ayrı işleyerek görüntüdeki hareketli bölgeleri tespit etmişlerdir. [10]’da ise Yu vd. tarafından kenar görüntüleri üzerinden arka planın kestirilmesine dayanan tamamen yeni bir ön plan arka plan modeli önerilmiştir.

[9]’da arka plan kestirimi için [24]’de Foresti tarafından önerilene benzer şekilde Kalman süzgecinden faydalanılmıştır. Bu aşamadan sonra ön plana ait piksellerin tespiti görüntü kanallarının ayrı ayrı işlemlere tabi tutulması ile sağlanmıştır.

[9]’da önerilen arka plan çıkarma yönteminin genel akış şeması Şekil 2.1’de verilmiştir.



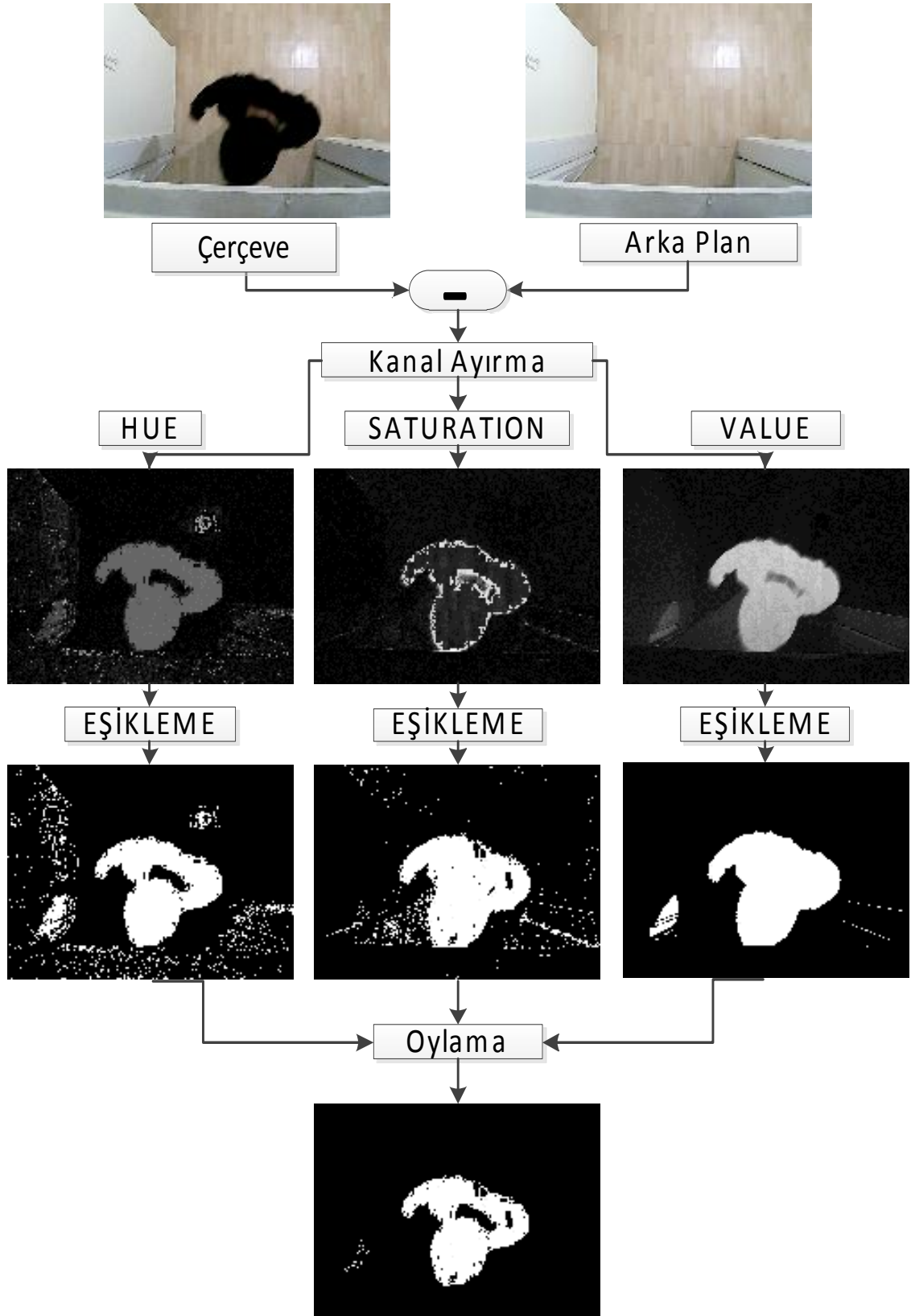
Şekil 2.1 [9]'da önerilen arka plan çıkarma yöntemi akış şeması

İlk olarak Kalman süzgeci ile kestirilen arka plan ile her yeni karenin mutlak farkı hesaplanır (Eşitlik 2.15).

$$D_t(x, y) = |B_t(x, y) - V_t(x, y)| \quad (2.15)$$

Arka plan çıkarma işlemi sonucunda fark görüntüsü “D” elde edilmiş olur. Bu aşamadan sonra klasik arka plan çıkarma yöntemlerinden farklı olarak, fark görüntüsü kanallarına ayrılır (RGB, HSV...) ve her kanal ayrı ayrı eşikleme işlemine tabi tutulur

Eşikleme aşamasında sistemin aydınlık değişikliklerinden daha az etkilenmesi için [25]'de önerilen adaptif eşik değeri belirleme yönteminden faydalanılmıştır. Daha sonra elde edilen resimlerdeki her piksele oylama işlemi (VE, VEYA, 3'te 2 başarı) uygulanarak hareket halindeki parçaları içeren siyah beyaz görüntü elde edilmiş olur. Şekil 2.2'de sistemin basamakları ve her basamaktan sonra elde edilen sonuçlar görülmektedir.

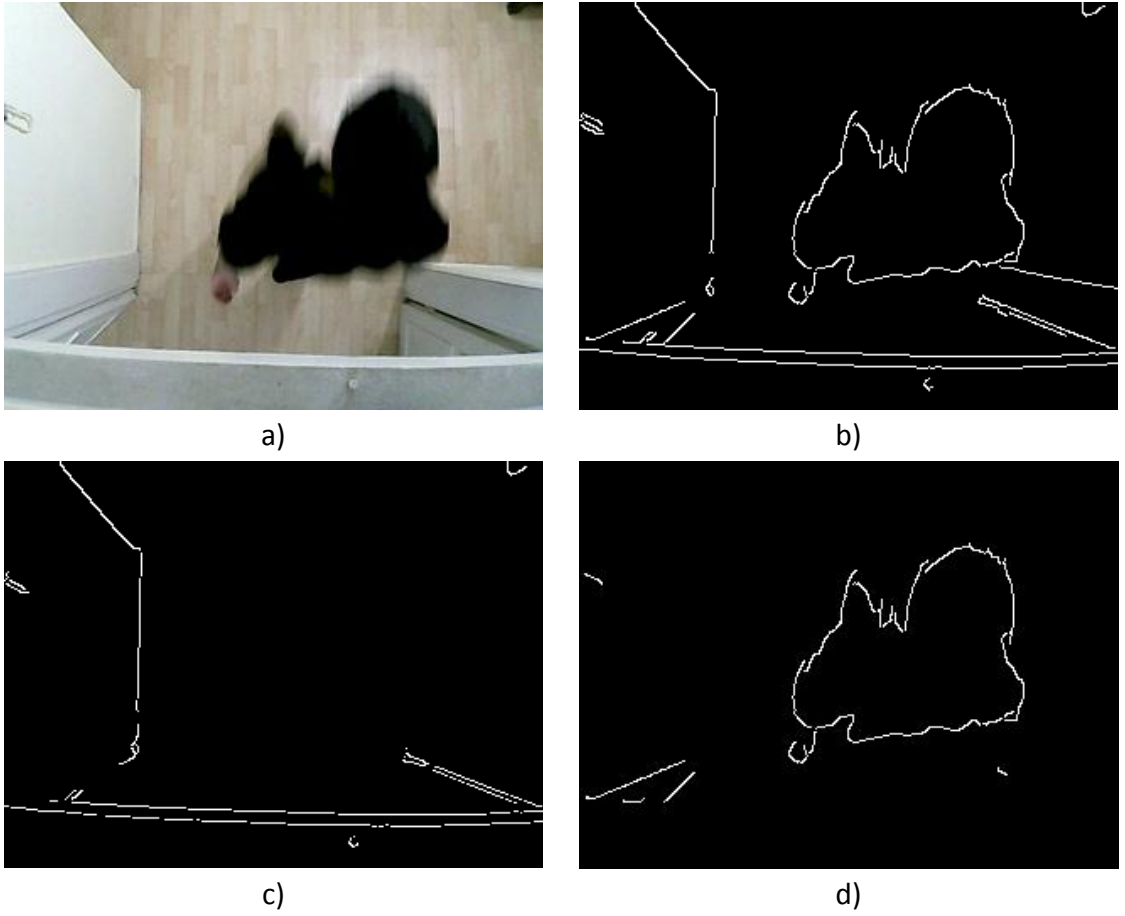


Şekil 2.2 [9]'da önerilen arka plan çıkarma basamakları ve elde edilen sonuç
 Snidaro vd. bu aşamada bölütlemenin maksimum doğrulukta sağlanabilmesi için RGB, HSV ve nRGB renk uzaylarında testler uygulamış ve testlerin sonucunda HSV uzayında

maksimum başarı elde edildiğini gözlemişlerdir. Bu çalışmada yapılan deneyler sonucunda da benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Yu vd. [10]'da arka plan modelinin kenar bilgisine dayanarak oluşturulduğu FBEM (ön plan/arka plan kenar modeli) adını verdikleri yeni bir arka plan ön plan tespit yöntemi önermişlerdir.

Kenarlar bir görüntüye ait bilgilerin en yoğun bir şekilde tutulduğu ve ışık değişiklikleri ile gölgelenmelerden en az etkilenen karakteristiklerdir. [10]'da bu durumdan faydalanarak bir arka plan ön plan modeli oluşturulmuştur.



Şekil 2.3 [10]'da önerilen kenar tabanlı arka plan modeli sonuçları a) orijinal kare b) orijinal kare kenar görüntüsü c) arka plana ait kenar pikselleri d) ön plana ait kenar pikselleri

Yöntem öncelikli olarak Canny kenar bulma algoritmasından faydalanarak her kareye ait kenar görüntüsünü bulur. Arka arkaya yakalanan karelere ait N adet kenar görüntüsü hafızada saklanır. Her yeni karede kenar olarak tespit edilen piksellerin geçmiş N karenin kaçında kenar pikseli olarak tespit edildiği kontrol edilir. Eğer piksel N

karenin belirli bir çoğunluğunda kenar pikseli olarak tespit edildi ise arka plana ait kabul edilir aksi halde ön plana ait olduğu düşünülür.

Eğer hafızadaki N kare içinde bir pikselin kenar olarak kabul edildiği kare sayısı $a(x,y)$ ve $P(x,y)$ pikselin arka plana ait olma olasılığı olarak kabul edilirse:

$$P(x,y) = \frac{a(x,y)}{N} \quad (2.16)$$

şeklinde hesaplanır. Ön plan kararı için tanımlanan eşik değeri t ve o anki kareye ait kenar görüntüsü K olmak üzere, bir pikselin ön plana mı yoksa arka plana mı ait olduğuna:

$$K(x,y) = \begin{cases} \text{arka plan} & \text{eğer } P(x,y) > t \\ \text{ön plan} & \text{eğer } P(x,y) \leq t \end{cases} \quad (2.17)$$

eşitliği ile karar verilir.

Yöntem arka plan modellemesinde sadece kenarlara ait piksellerle işlem yaptığı için performans açısından da oldukça başarılıdır. Şekil 2.3’de bu yöntem kullanılarak elde edilen sonuçlar görülmektedir.

2.3 Kümeleme Analizi

Kümeleme işlemi bir veri grubundaki bilgilerin seçilen kriterlere göre farklı gruplara ayrılmasıdır. Kümeleme eğitici-siz bir sınıflama yöntemidir. Eğitici-siz sınıflama yöntemlerinde sınıflama işlemi elde bulunan ve hangi sınıfa ait olduğu bilinen veri özelliklerinden faydalanılarak gerçekleştirilir. Eğitici-siz sınıflamada hangi sınıfa ait olduğu bilinmeyen bir veriye ait özellikler, elde bulunan ve sınıfı bilinen verilerden çıkartılmış özellikler ile karşılaştırılır. Sınıfı bilinmeyen veri, çıkartılan özelliklere göre en çok benzerlik gösterdiği sınıftan kabul edilir.

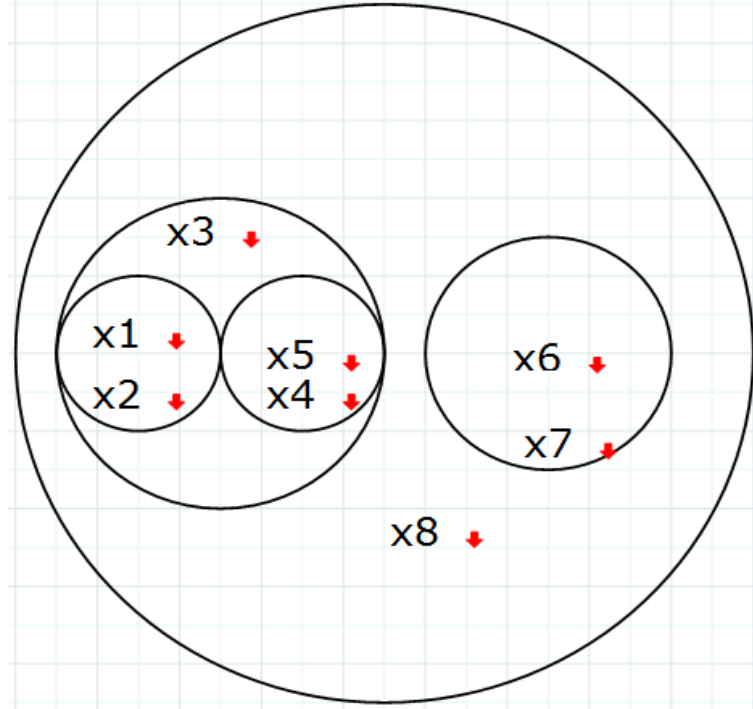
Eğitimsiz sınıflamada ise istenilen, bulunduğu sınıf bilinmeyen bir veri grubunu kendi içinde yakınlık gösteren alt kümeler oluşturacak şekilde gruplara ayırmaktır. İşlem sonucunda aynı küme içerisinde tanımlanan veriler arası benzerliklerin fazla kümeler arası benzerliklerin az olması istenir.

Bir veri grubundaki birimlerin kümelenmesi işlemi bu birimlerin birbirleriyle olan uzaklıkları kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Veri grubunu oluşturan birimlerin

özelliklerine bakılarak hangi uzaklık ölçüsünün kullanılacağına karar verilmelidir. Bu amaçla Öklid, Manhattan, Pearson, Minkovski uzaklığı yaygın olarak kullanılmaktadır [26]. Kümeleme analizi yöntemleri kendi içerisinde bölümlenmeli kümeleme yöntemleri ve hiyerarşik kümeleme yöntemleri şeklinde ikiye ayrılabilir.

2.3.1 Hiyerarşik Kümeleme Yöntemleri

Hiyerarşik kümeleme yöntemleri bir veri grubundaki birimleri hiyerarşik olarak kümeler ayırır. Kümeler kendi içerisinde alt kümeler ayrılarak bir hiyerarşik yapı oluşturulur. Bir veri birden çok kümeye ait olabilir. Bu yöntemler ağaç veri yapısından faydalanarak kümelerin görselleştirilmesini sağlar [27]. Şekil 2.4’de bir hiyerarşik kümeleme sonucu elde edilen küme yapısı görülmektedir.



Şekil 2.4 Hiyerarşik sınıflama örneği

Yaygın olarak kullanılan bazı hiyerarşik kümeleme yöntemleri aşağıda tekil bağlantı, tüm bağlantı, ortalama bağlantı şeklinde sıralanabilir.

2.3.2 Bölümlenmeli Kümeleme Yöntemleri

Bölümlenmeli kümeleme yöntemleri, n adet birimden oluşan veri grubunu değeri önceden belirlenen k adet kümeye ayırmak için kullanılır. Hiyerarşik yöntemlerden

farklı olarak bir veri sadece bir kümeye ait olabilir ve oluşturulan her küme en az bir birim içermelidir [27]. Bölümlemeli kümeleme yöntemleri kendi içerisinde:

- Uzaklık Tabanlı Yöntemler
- Yoğunluk Tabanlı Yöntemler

olmak üzere ikiye ayrılır. Uzaklık tabanlı yöntemlere örnek olarak k-ortalama, k-meloids, Clara-Clarans kümeleme yöntemleri gösterilebilir [26], [27], [28].

Yoğunluk tabanlı yöntemlerde DBSCAN yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir [28], [29]. Bu çalışmada k-ortalama kümeleme yönteminden faydalanılmıştır. Bölüm 2.3.2.1’de k-ortalama kümeleme yöntemi ayrıntılı olarak incelenmiştir.

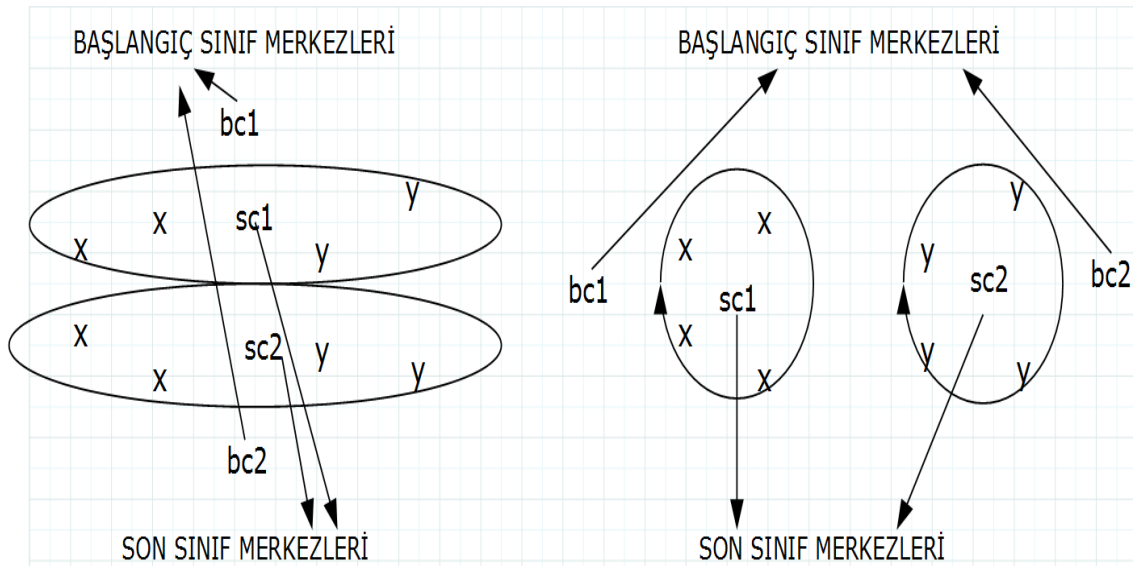
2.3.2.1 K-ortalama Kümeleme

K-ortalama kümeleme algoritmasının temel amacı n adet veri nesnesinden oluşan bir veri kümesini k adet kümeye bölümlemektir. K değeri başlangıçta bilinmelidir. Algoritma diğer bölümlemeli yöntemler gibi iteratif olarak çalışır. Her bir iterasyonda veri nesneleri kendilerine en yakın merkeze sahip kümeye atanır. Daha sonra küme elemanlarının ortalamaları hesaplanarak yeni küme merkezi olarak atanır. Bu işlem küme elemanları artık değişim göstermeyene kadar veya önceden belirlenen maksimum iterasyon sayısına ulaşılan kadar tekrarlanır [27].

K-ortalama kümeleme adımları:

1. k kümeye ait küme merkezleri ($c_1, c_2, c_3, \dots, c_k$) ilklendirilir. İlklendirme sırasında seçilen başlangıç küme merkezlerinin konumu kümeleme başarısını doğrudan etkiler.
2. Veri Kümesindeki her nesne kendisine en yakın merkeze sahip kümeye atanır. Yakınlık Öklid, Manhattan, Pearson, Minkovski veya diğer uzaklık ölçme yöntemleri ile hesaplanabilir.
3. Atama sonrası her bir kümede bulunan nesnelerin ortalamaları alınarak yeni küme merkezi belirlenir.
4. Merkezler değişim göstermeyene veya önceden belirlenen bir maksimum iterasyon sayısına ulaşıncaya kadar 2 ve 3 tekrarlanır.

Küme merkezlerinin ilklendirilmesi sırasında seçim işlemi merkezlere rasgele noktalar vererek veya küme verilerin dağılımları göz önüne alınarak gerçekleştirilebilir. İlklemede kullanılacak yöntem ve seçilen başlangıç küme merkezleri algoritma sonucunu doğrudan etkiler. İlkendirme sırasında yapılacak farklı seçimler durumunda elde edilebilecek iki farklı sonuç Şekil 2.5’de görülmektedir.



Şekil 2.5 K-ortalımalı kümeleme algoritması farklı başlangıç sınıf merkezleri için olası iki kümeleme sonucu

2.4 Canny Kenar Bulma Algoritması

Canny kenar bulma algoritması ilk olarak John Canny tarafından önerilmiştir [30]. Hough dönüşümünün ihtiyaç duyduğu siyah beyaz kenar görüntüsünün elde edilmesinde yaygın olarak kullanılır [10], [24]. Pek çok durum için en ideal kenar bulma algoritmasıdır.

Canny kenar bulma algoritması tek bir operatör ile kenar görüntüsünün elde edilmesinden daha karmaşık bir yapıdadır. Canny kenar bulma algoritması yumuşatma, gradiyentlerin bulunması, maksimum harici noktaların bastırılması ikili eşikleme, basamaklarından oluşur.

2.4.1 Yumuşatma (smoothing)

Öncelikli olarak gürültünün yok edilmesi amacıyla yumuşatılmasına ihtiyaç vardır. Bu amaçla genelde görüntüye Gauss süzgeç uygulanır.

$$g(x,y) = G_{\sigma} * f(x,y) \quad (2.18)$$

$$G_{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2.19)$$

Eşitlik (2.18) ve (2.19)'da g yumuşatılmış görüntü, f gri seviye orijinal görüntü, G Gauss filtresidir. σ Gauss yayılımı yani yumuşatma miktarını belirler.

2.4.2 Gradyentlerin Bulunması

Canny kenar bulma algoritması kenarları temel olarak gri sevi görüntüde değişimlerin maksimum olduğu noktalarda bulur. Bu noktalar bir görüntüde gradiyentlerin bulunması ile tespit edilir. Gradyentler genellikle yumuşatılmış görüntüye Sobel operatörü uygulanarak bulunur.

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

Şekil 2.6 Sobel operatörü çekirdekleri

İlk olarak, Şekil 2.6'da verilen çekirdekler görüntüye uygulanarak dikey ve yatay gradiyentler hesaplanır. Bunu takiben bu gradiyentlerin Öklid uzaklığı hesaplanarak piksellere ait gradiyentler bulunur (Eşitlik (2.20)).

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (2.20)$$

Buna ek olarak gradieyentler kullanılarak kenarların yönünde bulunmalıdır(Eşitlik(2.21)). θ değeri daha görüntü üzerinde kenar takibinin mümkün olabilmesi için kendine en yakı 45 derecelik açıya yuvarlanır.

$$\theta = \arctan\left(\frac{|G_x|}{|G_y|}\right) \quad (2.21)$$

2.4.3 Maksimum Harici Noktaların Bastırılması

Sadece lokal değişimlerin maksimum olduğu noktalar kenar olarak kabul edilir. Bu noktalar dışındakiler ise silinir. Bu işleme maksimum harici noktaların bastırılması adı verilmiştir.

Bu amaçla θ değeri ile yönü belirlenen her pikselin kenar şiddeti kendisine göre pozitif ve negatif yönde olan piksellerin kenar şiddeti ile karşılaştırılır. Eğer daha büyük değere sahip ise tutulur aksi halde silinir (bastırılır).

2.4.4 İkili Eşikleme

Maksimum harici noktaların bastırılmasından sonra elde edilen görüntü kenar görüntüsüne oldukça yakındır. Buna rağmen gürültü nedeniyle oluşabilecek hatalar muhtemeldir. Bunun önlenmesi için görüntüye bir eşikleme işlemi uygulanır.



Şekil 2.7 Canny kenar bulma algoritması sonucu

Canny algoritması ikili bir eşikleme yöntemi uygular. Bunun için iki eşik değeri T_1 ve T_2 , $T_2 > T_1$ olmak üzere belirlenir. Daha sonra T_2 değerinden büyük değere sahip pikseller güçlü kenar pikselleri olarak işaretlenir. T_2 'den küçük fakat T_1 değerinden büyük pikseller ise zayıf kenar pikselleri olarak tanımlanır. Kalan pikseller elenir.

Bu aşamadan sonra güçlü kenar pikselleri, kesin kenar olarak kabul edilir ve zayıf kenar pikselleri sadece güçlü bir kenar pikseli ile bağlantılı ise kesin kenar pikseli olarak atanır. Böylelikle siyah beyaz kenar görüntüsü elde edilmiş olur (Şekil 2.7).

2.5 Hough Dönüşümü

Hough dönüşümü yaygın olarak görüntüler üzerinden geometrik şekillerin tespit edilmesi amacıyla kullanılır. Hough dönüşümü yapısı gereği bir kenar bulma ve eşikleme işlemi takiben siyah beyaz görüntüler üzerinde uygulanır.

Bu çalışmada görüntü üzerinde bulunan doğruların tespitinde Hough dönüşümünden faydalanılmıştır. Şekil 2.8’de Hough dönüşümü ile tespit edilmiş doğrular görülmektedir.



Şekil 2.8 Hough dönüşümü ile tespit edilen doğrular

2.5.1 Hough Dönüşümü İle Doğru Tespiti

Hough dönüşümü görüntü uzayındaki veriyi parametre uzayına taşıyarak şekil tespiti problemini bir yoğunluk tespiti problemine dönüştürür. Yoğunluk uzayına geçildikten sonra doğru tespiti temelde bir oylama işlemine dönüşür.

Bir doğrunun genel tanımı Eşitlik (2.22)’deki gibi yapılabilir.

$$y = ax + b \quad (2.22)$$

Bu tanım koordinat düzleminde her farklı a, b değeri için farklı bir doğruyu temsil etmektedir. Diğer bir doğru tanımı:

$$x \cdot \cos \alpha + \sin \phi \alpha - \rho = 0 \quad (2.23)$$

şeklinde yapılabilir. Eşitlik (2.23)’de ρ tanımı yapılan doğruya (0,0) noktasından çizilen dikmeyi göstermektedir.

Her farklı (ρ, α) değeri farklı bir doğruyu ifade eder. Böylelikle görüntü uzayındaki bir doğru, parametre uzayında tek bir nokta ile tanımlanmış olur. Eğer parametre uzayında görüntü üzerindeki bir (x, y) noktasından geçen doğruları ifade eden sonsuz sayıdaki (ρ, α) noktasını işaretler isek bir sinüs eğrisi elde ederiz. Yani görüntü uzayındaki her nokta parametre uzayında bir sinüs eğrisi ile temsil edilir.

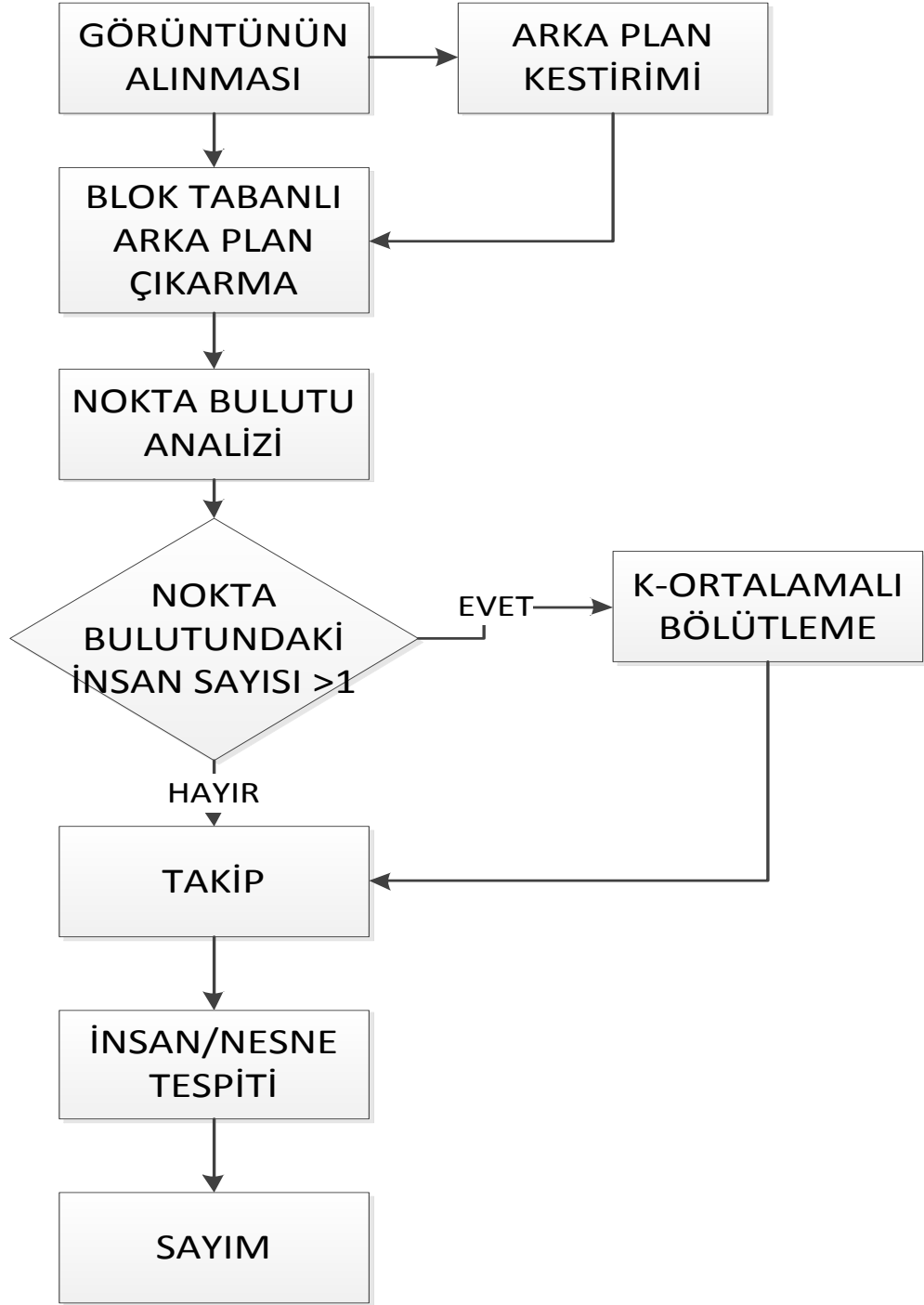
Kenar bulma işlemi sonucunda tespit ettiğimiz tüm noktalar için bu işlemi tekrarladığımızda parametre düzleminde sinüslerin belirli noktalarda yoğun bir şekilde kesiştiği görülür. Sinüslerin kesiştiği bu noktalar görüntü uzayında tespit edilen doğruları tanımlar.

VIDEO TABANLI ZİYARETÇİ SAYMA SİSTEMİ

Bu bölümde alışveriş merkezleri, turistik alanlar, metro istasyonları gibi mekanlarda ihtiyaç duyulan insan sayımını yapacak video tabanlı bir ziyaretçi sayma sisteminin tasarım ve gerçekleştirme detayları anlatılmıştır. Bu amaçla bu tez kapsamında bir video tabanlı ziyaretçi sayma sistemi C++ yazılım dili ve OpenCv açık kaynaklı bilgisayarlı görme kütüphanesi kullanılarak geliştirilmiştir. Sistem bu amaçla geliştirilen pek çok uygulamanın sorun yaşadığı insanların birbirine çok yakın veya temas halinde geçtiği, valiz taşıdığı veya bebek arabası ittiği durumlarda dahi başarıyla çalışabilmektedir. Sistem temel olarak aşağıdaki alt kısımlara ayrılabilir:

- Görüntünün Alınması
- Arka Plan Kestirimi
- Blok Tabanlı Arka Plan Çıkarma
- Nokta Bulutu Analizi
- K-Ortalımalı Bölütleme
- Takip
- İnsan/Nesne Tespiti
- Sayım

Tasarlanan sistem bir bina girişine, bir koridora veya izlenmek istenilen herhangi bir alana kuşbakışı bakacak şekilde konumlandırılmış kameradan aldığı görüntüyü kullanarak ziyaretçi sayımını yapar. Geliştirilen sistemin ayrıntılı akış şeması Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1 Video tabanlı ziyaretçi sayma sistemi akış şeması

Kameradan alınan görüntüde öncelikli olarak arka plan kestirimine ihtiyaç vardır. Bu amaçla bir arka plan kestirim modülü geliştirilmiştir. Arka plan kestirim modülü sistemin ilklendirilmesi sırasında bir arka plan modeli oluşturur ve sistem çalıştığı sürece periyodik olarak bu modeli günceller. Böylece sistemin gün içerisindeki ışık değişikliklerinden ve arka planda oluşabilecek diğer değişikliklerden olabildiğince az etkilenmesi sağlanır.

Hareket halindeki insanların tespiti ve doğru biçimde bölütlenebilmesi için bir arka plan çıkarma işlemi gereklidir. Bu aşamada [16]'da önerilen blok tabanlı arka plan çıkarma yönteminden faydalanılmıştır. Bu yöntem görüntüde oluşabilecek ani ışık değişikliklerinden çok az etkilenir ayrıca daha sonra kullanılacak k-ortalımalı bölütleme algoritmasının hızlı bir şekilde uygulanabilmesi için gereklidir.

Nokta bulutu analizi aşamasında tespit edilen ön plan görüntüsündeki nokta bulutları içerdikleri insan sayısına göre sınıflandırılır. Birden fazla insan içerdiği tespit edilen nokta bulutları k-ortalımalı bölütleme algoritmasından faydalanılarak bölütlenir.

K-ortalımalı bölütleme modülü insanların birbirine çok yakın veya temas halinde geçişlerinde dahi tek başlarına bölütlenilmelerine ve dolayısıyla tek başlarına takip edilebilmelerine olanak tanır. Bu bölütleme algoritması bir insan sayım sisteminde ilk defa [16]'da Antic vd. tarafından kullanılmıştır.

Bu çalışmada algoritmanın kullanım şekli değiştirilerek algoritmadan sadece birden çok insanın bulunduğu nokta bulutlarının doğru şekilde bölütlenilmesinde faydalanılmıştır. Ayrıca tüm k-ortalımalı kümeleme algoritmaları için kritik önem taşıyan küme (insan) merkezlerinin belirlenmesi içinde yeni bir yöntem önerilmiştir. Bu şekilde algoritmanın hem daha hızlı çalışması hem de daha doğru sonuç vermesi sağlanmıştır.

Sayım işleminin doğru bir şekilde yapılabilmesi için video tabanlı sayım sistemlerinde insanların gözlenen alan boyunca takip edilmesi gereklidir. Takip modülü bir karede bölütleme işlemi sonucu tespit edilen insanların, bir önceki karede tespit edilmiş olan insanlarla doğru bir şekilde eşleştirilmesini sağlar.

İnsan sayım sistemlerine ihtiyaç duyulan mekânlarda alışveriş sepeti, bavul, bebek arabası gibi eşyalarla geçiş yapan insanların bulunması kuvvetli bir ihtimaldir. Bu geçişler eğer tespit edilemezler ise sistem başarısını düşürür. İnsan nesne tespit modülü bu geçişlerin insan geçişlerinden ayrılması için geliştirilmiştir.

Bölütleme tespit ve takip aşamalarından sonra, sırada sayım işlemi vardır. Ani ışık değişiklikleri ve gölgeler nedeniyle bölütleme aşamasında oluşabilecek hataların yanlış sayımlara neden olmaması gerekir. Bu amaçla sayım için iki farklı yöntem denenmiş ve geliştirilen modülde uygulanmıştır.

3.1 Görüntünün Alınması

Bu bölümde geliştirilen video tabanlı insan sayma uygulamasının girdi olarak kullandığı video görüntüsünün özellikleri ve bu görüntünün elde edilmesinde kullanılan yöntem anlatılmıştır.

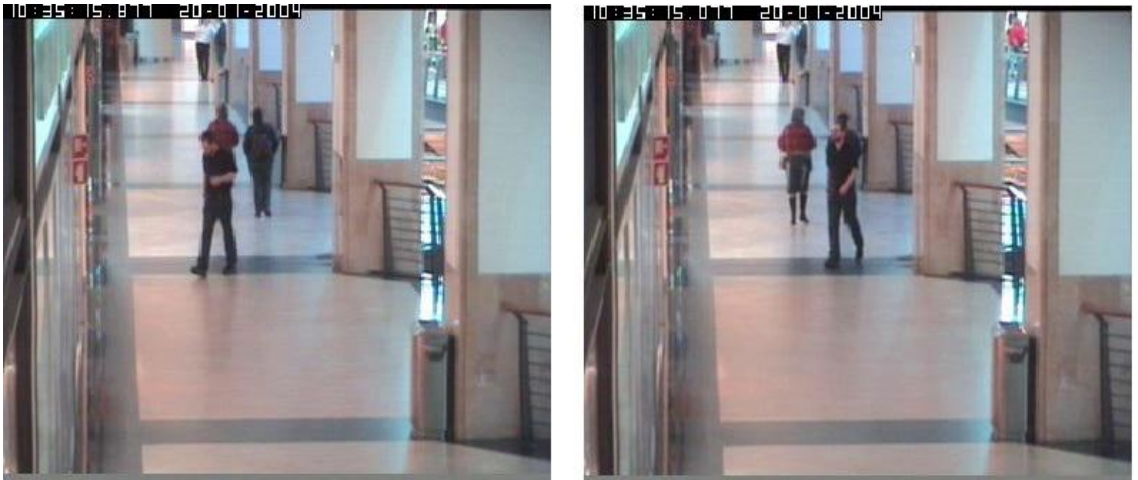
3.1.1 Video Tabanlı İnsan Sayma Sistemi Giriş Görüntüsü Özellikleri

Geliştirilen insan sayma sistemi ihtiyaç duyulan giriş görüntüsünün elde edilebilmesi için bir kameraya ihtiyaç duyar. Kullanılan blok tabanlı arka plan çıkarma yöntemi renkli görüntüyü kullanarak çalışır [16]. Bu nedenle sistem giriş sensörü olarak dijital renkli görüntü çıkışı verebilecek herhangi bir kamerayla çalışabilir. Bu durum sistemin kurulum masrafını oldukça düşürür.

Bu tez için gerçekleştirilen sistem teorik olarak her çözünürlükte çalışabilir. Bununla beraber 1280x720 gibi çok yüksek çözünürlüklerde ihtiyaç duyulan gerçek zamanlı çalışma koşulunun sağlanması oldukça zordur. Sistem 640x480 ve 320x240 çözünürlüklerinde test edilmiş gerçek zamanlı olarak başarıyla çalıştığı gözlenmiştir.

3.1.2 Kameranın Konumlandırılması

İnsanların birbirlerine yakın hareketleri sonucunda oluşan örtüşmeler (occlusions) insan sayma uygulamalarında çözülmesi gereken problemlerin başında gelir. Kameranın gözlenmek istenen alana önden bakacak şekilde konumlandırılması durumunda oluşan örtüşmelere örnek Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2 CAVIAR veri tabanından alınmış örtüşme örnekleri

Bu örtüşmeler kalabalık ortamlarda öyle yoğun bir şekilde oluşur ki hemen hiç bir takip algoritması istenilen başarıyla insan takibini gerçekleştiremez. Bu nedenle yüksek doğrulukla insan sayma işlemini gerçekleştirmek çok zor bir hale gelir.

Pek çok video tabanlı insan sayma uygulamasında örtüşmelerden kaynaklanan sorunları minimuma indirmek için kamera izlenmek istenilen alana kuşbakışı bakacak şekilde konumlandırılmıştır [1], [9], [10], [11], [16]. Kuşbakışı kamera konumu tam örtüşme (insanların birbirlerinin önünü tamamen kapamaları) ihtimalini ortadan kaldırdığı gibi kısmi örtüşmeleri de minimuma indirir.

Kuşbakışı kamera kullanımının sağladığı bir diğer avantaj ise yukarıdan bakıldığında insanların hemen hemen aynı boyutta görünmesidir. Kameranın yerleştirildiği yükseklik ve lens seçimine bağlı olarak tespit edilen insan boyutu değişse de testlerle veya basit bir kalibrasyon işlemiyle bir insanın kapladığı ortalama alan bulunabilir [1], [11].

Sağladığı bu avantajlar sebebiyle bu çalışmada da kuş bakışı kamera konumu tercih edilmiştir. Şekil 3.3’de bu çalışmada kullanılan ve kuş bakışı kamera ile alınmış görüntü örnekleri verilmiştir.



Şekil 3.3 Kuşbakışı konumlandırılmış kamera ile alınan görüntü örnekleri

3.2 Arka Plan Kestirimi

Bu bölümde sistemin kilit parçalarından olan arka plan kestiriminin nasıl gerçekleştirildiği anlatılmıştır. Sistem ilk çalışma sırasında öncelikle arka plan görüntüsünü ilklendirir. Daha sonra olası aydınlık değişikliklerinden etkilenmemek için arka plan görüntüsü periyodik olarak güncellenir.

3.2.1 Arka Plan Görüntüsünün İlklendirilmesi

Bu çalışmada gözlenen alan içerisinde hareket eden insanların tespit edilmesinde arka plan çıkarma işleminden faydalanılmıştır. Bunun için öncelikli olarak arka plan görüntüsünün belirlenmesine ihtiyaç duyulur. İlk çalışma anında bölütleme, takip ve sayım aşamalarına geçilmeden arka plan görüntüsünün kestirilmesi şarttır.

Arka plan görüntüsünün kestirilmesinde ortalama süzgece dayalı arka plan modeli kullanılmıştır. Bu amaçla sistem ilk çalışma anında kameradan alınan ilk N karenin ortalamasını hesaplar ve elde edilen sonuç arka plan görüntüsü olarak belirlenir. Bu işlem için kullanılan formül, x ve y piksel koordinatları, N ortalaması hesaplanmak istenilen kare sayısı, B arka plan görüntüsü, V ise kameradan alınan kare olmak üzere Eşitlik (3.1)'de verilmiştir.

$$B(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N V_i(x, y) \quad (3.1)$$

3.2.2 Arka Plan Görüntüsünün Güncellenmesi

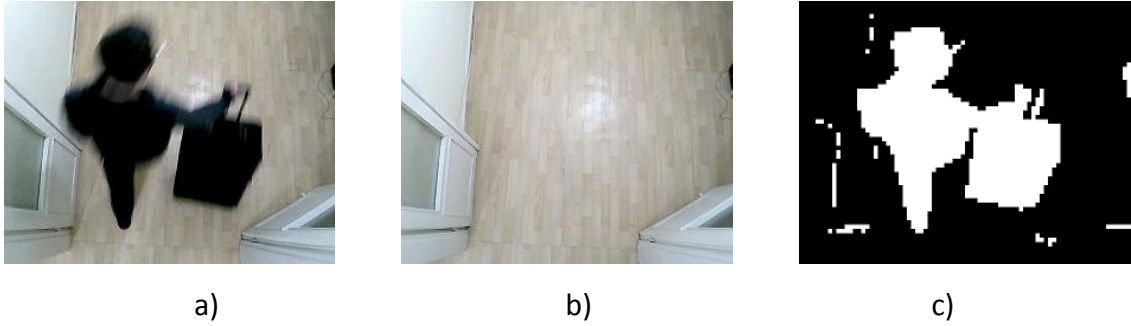
İlk çalışma anında oluşturulan arka plan modelinin zaman içerisinde değişmesi kaçınılmazdır. Gün içerisindeki aydınlık değişimleri sonucu arka planda değişiklikler oluşabileceği gibi gözlenen alana bırakılan nesnelerde bu duruma sebep verebilir. Bu nedenle arka plan görüntüsünün zaman içerisinde güncellenmesine ihtiyaç vardır.

Güncelleme işlemi için [16]'da bu amaçla kullanılmış olan ve Eşitlik (3.2)'de verilen yinelemeli süzgeçten faydalanılmıştır.

$$B^{t+1}(x, y) = (1 - \alpha) \cdot B^t(x, y) + \alpha \cdot V^t(x, y) \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte t zaman faktörü, B arka plan görüntüsü, V kameradan alınan bir sonraki kare, x ve y piksel indisleri α ise öğrenme katsayısıdır.

Öğrenme katsayısı α sistemin ihtiyaç duyduğu öğrenme hızı ve kare hızına göre belirlenmelidir. Antic vd. [16]'da tipik değerler olarak 0,01 ile 0,1'in uygun olacağını belirtmiştir. Bu çalışmada deneyler sonucunda 0,01 ile 0,03 arasında seçilmesinin iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. Bu yöntem oldukça düşük bir işlem karmaşıklığına sahiptir ve diğer adaptif arka plan yöntemlerine göre oldukça hızlı çalışır. Testler yöntemin sağladığı bu avantajlara ek olarak başarısının da oldukça yüksek olduğunu göstermiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Arka plan kestirimi ve blok tabanlı arka plan çıkarma sonucu a) orijinal kare b) kestirilen arka plan görüntüsü c) blok tabanlı arka plan çıkarma sonucu

3.3 Blok Tabanlı Arka Plan Çıkarma

Arka plan çıkarma işlemi gözlenen bir alandaki hareket ve değişikliklerin tespit edilmesinde yaygın olarak kullanılır. Pek çok takip ve sayım uygulamasında arka plan çıkarma yöntemlerinden faydalanılmıştır. Yaygın olarak kullanılan bir yöntem piksel tabanlı bir çıkarma işlemi takiben uygulanan bir otomatik eşikleme işlemiyle ön plan bölütlenmesinin sağlanmasıdır[1], [7]. Bu yaklaşım her durumda istenilen doğrulukta bölütlemeye imkân vermeyebilir.

Antic vd. [16]'da piksel tabanlı arka plan çıkarma yöntemlerine alternatif olabilecek blok tabanlı bir yöntem önermişlerdir. Bu çalışmada da ön plan görüntüsünün elde edilmesinde bu yöntemden faydalanılmıştır.

Antic vd. çalışmalarında istatistiksel yöntemlere dayanan bir arka plan ön plan yöntemi önermişlerdir [16]. Yöntem öncelikli olarak kestirilen arka plan görüntüsünü ve o an kameradan yakalanan kareyi bloklara ayırır. Daha sonra her bir blok için tanımlanan çarpım ve ıraksama faktörleri hesaplanır. Son olarak bu değerler belli eşik değerleri ile karşılaştırılarak her bir bloğun ön plana mı yoksa arka plana mı ait olduğuna karar

verilir. Bu çalışmada da bu yöntem kullanılarak bir blok tabanlı arka plan çıkarma modülü tasarlanmıştır.

Blok tabanlı arka plan çıkarma modülü Bölüm 3.2’de anlatılan kestirim yöntemiyle oluşturulan arka plan görüntüsünü o anki kare ile karşılaştırarak ön plan görüntüsünü elde eder. Gölge ve aydınlık değişimi durumunda her karedeki renk kanallarının (RGB) aşağıdaki modele göre değiştiği varsayılır [16].

$$V_{m,n}^t(x, y) = \beta_{m,n,c} \cdot B_{m,n,c}^t + W_{m,n,c}^t(x, y) \quad (3.3)$$

Eşitlik (3.3)’de m, n blok indisleri, c kanal numarası, x ve y blok içi piksel koordinatları, W beyaz, Gauss gürültü β çarpım katsayısıdır. Sistemde kullanılan blok boyutları 8x8, 12x12, 16x16 vb. olabilir. Deneyler sonucunda 8x8’lik blok boyutunun en başarılı sonucu verdiği gözlenmiştir. Çarpım katsayısı β maksimum benzerlik kestirim yönteminden faydalanılarak oluşturulmuştur. Çarpım katsayısının hesaplanmasında kullanılan formül Eşitlik (3.4)’de verilmiştir.

$$\beta_{m,n,c} = \frac{\sum_{x,y} V_{m,n,c}^t(x,y) \cdot B_{m,n,c}^t(x,y)}{\sum_{x,y} (B_{m,n,c}^t(x,y))^2} \quad (3.4)$$

Arka plana ait blokların çarpım katsayıları bire yakın değerler çıkmalıdır. Ön plan görüntüsünün bölütlenmesinde çarpım faktörüne ek olarak ıraksama katsayısından da faydalanılır. Antic vd. [16]’da bir blok içerisindeki kanallara ait en büyük ve en küçük çarpım katsayısı arasındaki farkı ıraksama katsayısı olarak tanımlamışlardır. ıraksama katsayısını tanımlayan formül Eşitlik (3.5)’de verilmiştir.

$$\delta\beta_{m,n,c} = \max_c \beta_{m,n,c} - \min_c \beta_{m,n,c} \quad (3.5)$$

Çarpım ve ıraksama katsayıları hesaplandıktan sonra ilgili bloğun arka plana mı yoksa ön plana mı ait olduğu bloğa ait kat sayıların belirli eşik değerleriyle karşılaştırılması sonucu belirlenir. FG ön planı temsil etmek üzere bu karşılaştırmayla ilgili formül eşitlik (3.6)’da verilmiştir.

$$FG_{m,n} = \begin{cases} 1 & \text{if } \delta\beta > T1 \text{ or } |\beta_{m,n,c} - 1| > T2 \\ 0 & \end{cases} \quad (3.6)$$

Antic vd. [16]’da T1’in (0.1, 0.2) ve T2’nin (0.3, 0.6) aralığında seçilmesinin iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir. Buna karşın bu çalışmada yapılan deneylerde T1 için (0.3, 0.4),

T2 için ise (0.5 , 0.6) aralığının en iyi sonucu verdiği gözlenmiştir. Bu durum kullanılan görüntülerdeki gürültü miktarının farklı oluşundan kaynaklanmış olabilir.

Blok tabanlı arka plan çıkarma görüntüde oluşan gölgelere karşı dayanıklı olması ve ani ışık değişikliklerinden piksel tabanlı yöntemlere göre daha az etkilenmesi sebebiyle insan sayım uygulamaları için idealdir.

Şekil 3.5’de aynı görüntü için blok tabanlı ve piksel tabanlı çıkarma işlemi sonuçları verilmiştir. Bu görüntüde de blok tabanlı yöntemin gölgelere karşı dayanıklılığı açıkça görülmektedir.



a)



b)



c)



d)

Şekil 3.5 Piksel ve blok tabanlı arka plan çıkarma yöntemlerinin karşılaştırılması a) sıradaki kare b) kestirilen arka plan görüntüsü c) piksel tabanlı arka plan çıkarma sonucu d) blok tabanlı arka plan çıkarma sonucu

Blok tabanlı çalışmak sistemin ihtiyaç duyduğu gerçek zamanlı performansın sağlanmasında da kritik rol oynar. Sistemde kullanılan k-ortalama bölütleme algoritmasının da istenilen hız ve başarılı sonuç vermesine yardımcı olur. Bu çalışmada blok tabanlı arka plan yöntemi görece zorlayıcı pek çok video ile test edilmiş ve başarılı

sonuç verdiği gözlenmiştir. Şekil 3.6’da zorlayıcı bazı görüntüler üstünde elde edilen arka plan çıkarma işlemi sonuçları verilmiştir.



Şekil 3.6 Zorlayıcı bazı durumlar için blok tabanlı arka plan çıkarma sonucu a) orijinal kare b) blok tabanlı arka plan çıkarma sonucu

3.4 Nokta Bulutu Analizi

Nokta bulutu analizi modülü ilk defa [16]’da önerilen ve bu çalışmada da kullanılan k-ortalımalı bölütleme algoritmasının ihtiyaç duyduğu görüntüde ki insan sayısının ve olası insan koordinatlarının kestirimini gerçekleştirir. Bu çalışmada insan sayısının ve

olası pozisyonlarının tespiti için farklı bir yöntem önerilmiştir. Bu bölümde Antic vd. tarafından önerilen yöntem ile bu çalışmada geliştirilen yöntem ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Arka plan çıkarma işlemi sonucu gözlenen alan içerisinde hareket halindeki nesneleri içeren ön plan görüntüsü elde edilmiş olur. Bu aşamada elde edilen ön plan görüntüsünde birbiriyle temas halinde veya çok yakın bir şekilde hareket eden insanlar birleşik nokta bulutları olarak görünür.

Video tabanlı insan sayım uygulamaları için bu şekilde hareket eden insanların doğru bir biçimde bölütlenebilmeleri oldukça zorlayıcıdır. Buna ek olarak görüş alanına birbirine yakın bir şekilde giren iki insan görüş alanı içerisinde ayrılabilir veya tam tersi ayrı bir şekilde hareket eden insanlar görüş alanı içerisinde temas edebilir.

Çoğu uygulamada bu durumun üstesinden gelebilmek için ayrı bir birleşme-ayırışma kontrolü uygulanmıştır [1], [10], [11]. Birleşme ayırışma kontrolü algoritmaları genellikle başarılı sonuç verse de işlem karmaşıklığını oldukça arttırır. Buna karşın insan sayımı uygulaması için ilk defa [16]'da önerilen ve bu çalışmada da kullanılan k-ortalımalı bölütleme algoritması sayesinde insanların birbirine temas halinde geçişlerinde dahi doğru bir şekilde bölütlenmesi mümkün olur. Bu çalışmada da k-ortalımalı bölütleme algoritmasının bu özelliğinden faydalanılmıştır.

K-ortalımalı kümeleme algoritmaları küme sayısının önceden bilindiğini varsayar ve ancak bu şekilde kullanılabilir. K-ortalımalı bölütleme algoritmasının kullanılabilmesi için elde edilen ön plan görüntüsünde kaç kişinin bulunduğu tespit edilmesine ihtiyaç vardır. Buna ek olarak k-ortalımalı kümelemede ilk küme merkezlerinin seçimi sonucu doğrudan etkiler. Yani algoritma çalıştırılmadan önce insanların olası konumları olabildiğince doğru tahmin edilerek ilklendirilmelidir. Bu çalışmada görüntüdeki insan sayısının ve insanların olası koordinatlarının tespiti için nokta bulutu analizinden faydalanılmıştır.

3.4.1 [16]'da Önerilen İnsan (Küme) Sayısı ve Konumu Kestirim Yöntemi

Antic vd. [16]'da ön plan görüntüsündeki insan (küme) sayısını, insanlar arası mesafeyi belirlenen bir minimum değerin üzerinde tutacak en büyük sayı olarak belirlemişlerdir.

Bu sayı ortalama insan genişliği şeklinde seçilmiştir. Buna göre “k” görüntüdeki insan (küme) sayısı, D_{min} sınıflar arası izin verilen en küçük mesafe ve insan (küme) merkezleri c_i ($i = 1, 2, 3, \dots, k$) olmak üzere, insanlar(kümeler) arası en küçük mesafe d_{min} aşağıdaki gibi formülize edilir:

$$d_{min}^k = \min_{1 \leq i < j \leq k} ||c_i - c_j|| \quad (3.7)$$

Buradan yola çıkılarak tahmin edilen insan sayısı k:

$$k^* = \max\{k \mid d_{min}^k > D_{min} \wedge d_{min}^{k+1} < D_{min}\} \quad (3.8)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Yapılan çalışmalar sonucunda gözlenmiştir ki arka plan çıkarma işlemi sırasında oluşacak küçük hatalar dahi bu yöntemin sınıf sayısını yanlış tespit etmesine ve bölütlemenin yanlış yapılmasına neden olabilir.

[16]’da k-ortalımalı kümeleme algoritması için çok önemli olan ve başarıyı doğrudan etkileyen başlangıç (initial) küme merkezlerinin (olası insan konumlarının) nasıl seçileceği ile ilgili bir öneri getirilmemiştir. İnsan konumlarının yanlış seçilmesi tüm bölütlemenin yanlış yapılmasına neden olabilir.

3.4.2 Önerilen İnsan (Küme) Sayısı ve Konumu Kestirim Yöntemi

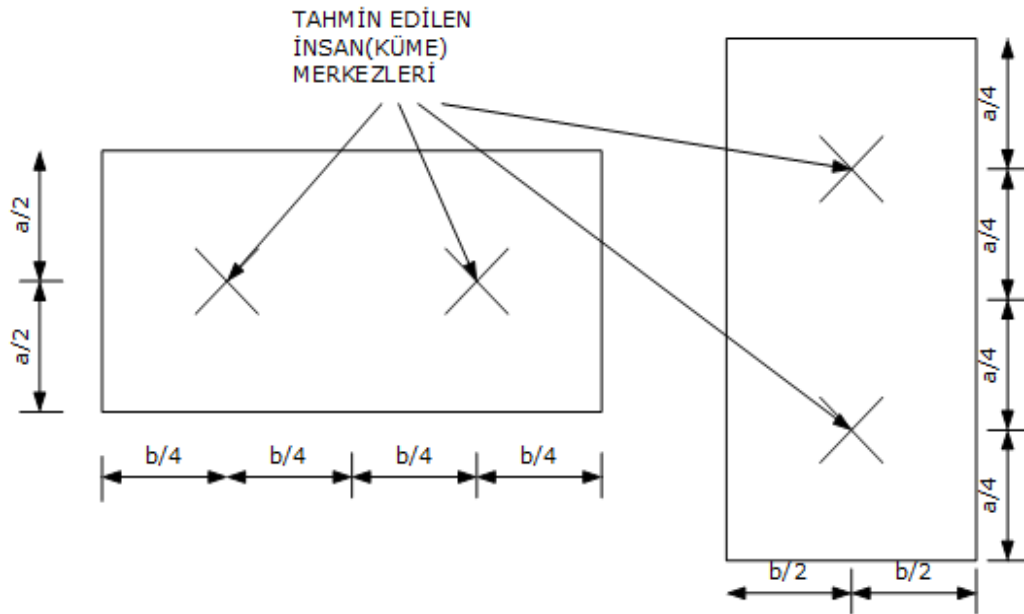
Arka plan çıkarma işleminden sonra hareketli nesnelerin birleşik nokta bulutları olarak görüldüğü ön plan görüntüsü elde edilmiş olur. Kullanılan kuşbakışı kamera konumu sayesinde bu görüntüde insanların büyüklüğü hemen hemen sabittir. Geliştirilen nokta bulutu analizi modülü bu durumdan faydalanarak öncelikle insan olamayacak kadar küçük parçaları eler. Kalan parçalar büyüklüklerine bakılarak içerdikleri insan sayısına göre sınıflandırılır.

Böylece görüntüdeki insan sayısı oldukça doğru bir şekilde tespit edilmiş olur. Bu yöntemi takiben sadece birden çok insan içerdiği tespit edilen parçalar k-ortalımalı bölütleme algoritması kullanılarak parçalarına ayrılır. Tek insan içeren parçalar ise çevre dörtgenleri ve ağırlık merkezleri bulunarak bir önceki karede tespit edilen insanlar ile eşleştirilmek üzere takip modülüne aktarılır. Nokta bulutu analizi sırasında ayrıca k-ortalımalı bölütleme algoritmasında başlangıç küme merkezi olarak

kullanılmak amacıyla olası insan konumları (merkezleri) da kestirilir. Bu amaç için nokta bulutlarının içerdiği tahmin edilen insan sayısı ve çevre dikdörtgenleri kullanılmıştır. Nokta bulutuna ait çevre dikdörtgenin kenar uzunlukları A ve B, sol alt köşe koordinatı (a,b) noktası ve bu parça içerisinde tespit edilen insan sayısı k olmak üzere, bir nokta bulutu içerisinde bulunan insanların olası merkezleri c_i ($i= 1, 2, 3... k$) Eşitlik (3.9)'daki formül ile bulunabilir.

$$c_i = \begin{cases} \left(a + \frac{A}{k}, b + i \cdot \frac{B}{k}\right) & \text{if } A \leq B \\ \left(a + i \cdot \frac{A}{k}, b + \frac{B}{k}\right) & \text{if } A > B \end{cases} \quad (3.9)$$

Bu şekilde tahmin edilen olası insan konumları daha sonra birden çok insan içeren nokta bulutlarının bölütlenmesi sırasında kullanılan k-ortalımalı bölütleme algoritmasının başarısını artırır ve daha hızlı sonuç vermesini sağlar. Şekil 3.7'de iki insan içeren nokta bulutlarına ait olası iki farklı çevre dikdörtgeni için tahmin edilen insan konumları verilmiştir.



Şekil 3.7 İki farklı çevre dörtgeni için tahmin edilen insan (küme) merkezleri

Önerilen nokta bulutu analizi yönteminin kullanılması sonucunda şu sonuçlar elde edilmiş olur:

- Gürültü sonucu ön plan olarak belirlenen blokların elenmesi
- Nokta bulutlarının içerdikleri insan sayısına göre sınıflandırılması

- Tek insan içeren nokta bulutlarının ağırlık merkezlerinin bulunması
- Birden çok insan içeren nokta bulutlarında insanların olası konumlarının kestirimi

Şekil 3.8’de nokta bulutu analizi sonucu kestirilen insan konumları ve insan içerdiği tespit edilen nokta bulutları gözükmemektedir.



a)



b)



c)



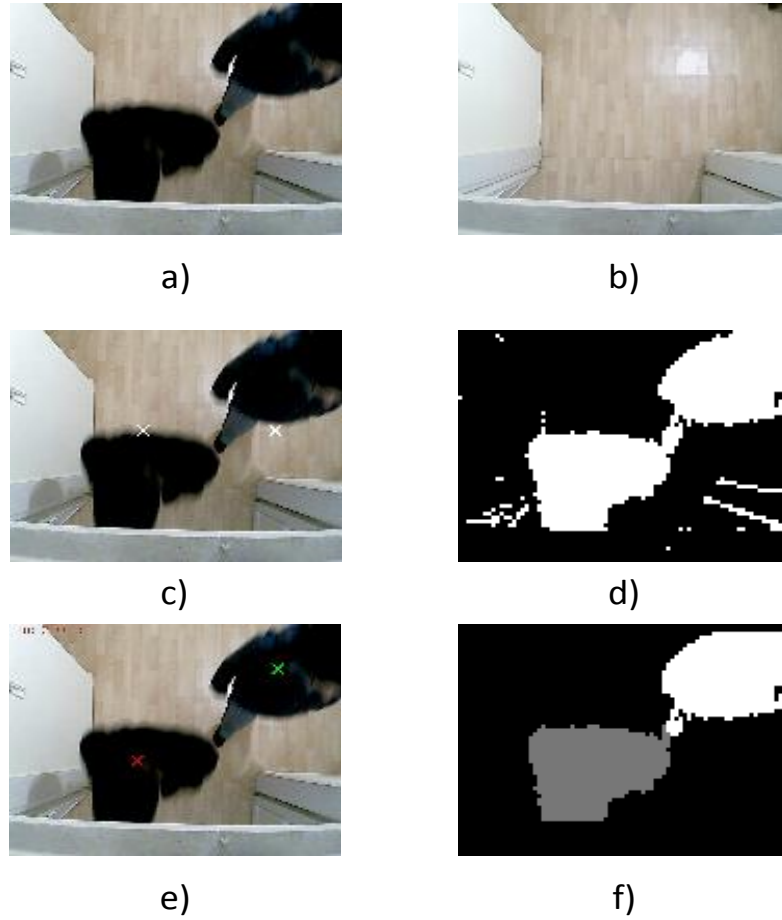
d)

Şekil 3.8 Nokta Bulutu analizi sonucu elde edilen insan konumları a) orijinal kare b) arka plan çıkarma sonunu c) tahmin edilen insan konumları d) analiz sonucu insan içerdiği tespit edilen nokta bulutları

3.5 K-ortalımalı Bölütme Algoritması

Nokta bulutu analizi sonucunda görüntüdeki insan sayısı ve olası konumları tespit edilmiş olur. Bununla birlikte birbiriyle temas halinde bulunan insanların konumlarının net bir şekilde tespitine ihtiyaç vardır. Bunun netleştirilmemesi bölütlemenin ardından gerçekleştirilecek takip işleminde hatalara neden olabilir. Kuş bakışı kamera konumu ve blok tabanlı arka plan analizi sayesinde elde edilen ön plan görüntüsünde insanlar basit geometrik şekiller halinde görünür. Bu şekilde görünen insanların kümeleme analizi ile

bir birinden ayrılması mümkündür. Şekil 3.9'da görüntünün yakalanmasından bölütlemenin tamamlanmasına kadar uygulanan tüm basamaklar görülmektedir.

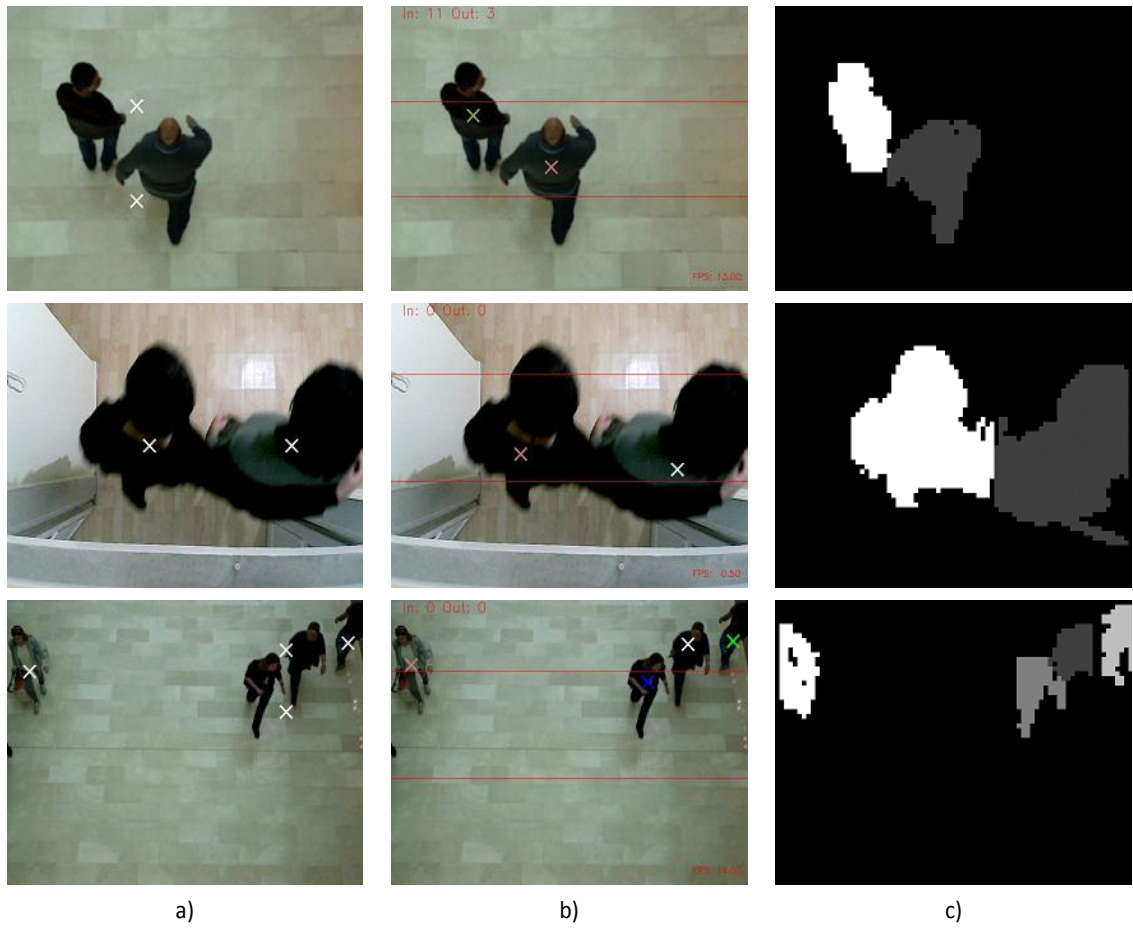


Şekil 3.9 Bölütleme basamakları a) orijinal kare b) kestirilen arka plan c) k-ortalımalı bölütleme başlangıç küme merkezleri d) blok tabanlı arka plan çıkarma sonucu e) bölütleme sonucu bulunan sınıf merkezleri f) bölütleme sonucu

İnsan sayım uygulamalarında kümeleme analizi [15] ve [16]'da kullanılmıştır. Bu çalışmada da benzer bir yöntem temas halinde hareket eden insanların tek başlarına bölütlenebilmesi ve konumlarının tespiti amacıyla kullanılmıştır.

Her ne kadar iki çalışmada da k-ortalımalı kümeleme algoritması kullanılmış olsa da, pratikte çalışmaların algoritmayı kullanım biçimleri oldukça farklıdır. Antic vd. [16]'da ön plan görüntüsü olarak belirlenen bloklar üzerinde doğrudan k-ortalımalı kümeleme algoritması kullanmışlardır. Tespit edilen parçaların birbirinden tamamen ayrık olduğu durumlarda bile bölütlemeyi k-ortalımalı kümeleme ile yapmışlardır. Bu durumun çok fazla kişinin aynı anda gözlenen alanda bulunduğu karelerde hataya neden olması muhtemeldir.

Bu çalışmada ise öncelikle bir nokta bulutu analizi basamağı ile ön plan görüntüsünde tespit edilen her bir nokta bulutu içerdiği insan sayısına göre sınıflandırılmış, daha sonra sadece birden çok insan içerdiği tespit edilen bileşenler üzerinde k-ortalımalı kümeleme algoritması kullanılarak insanların tek başlarına bölütlenmesi sağlanmıştır. Bu sayede ihtiyaç olmayan durumlarda algoritma çalıştırılmayarak sistemin daha hızlı çalışması sağlanmıştır. Ayrıca algoritma başarısını doğrudan etkileyen başlangıç küme merkezlerinin ilklendirilmesi içinde yeni bir yöntem önerilmiştir.



Şekil 3.10 Değişik yüksekliklerden alınmış görüntüler için k-ortalımalı bölütleme sonuçları a) başlangıç küme merkezleri (kestirilen insan konumları) b) kümeleme sonucu bulunan merkezler d) bölütleme sonucu

Şekil 3.10'da değişik yüksekliklerden alınmış görüntüler üzerinde kestirilen insan konumları ve k-ortalımalı bölütleme sonuçları görülmektedir. İnsanların tamamen bitişik olduğu durumlarda dahi bölütleme başarıyla yapılabilmektedir.

K-ortalımalı bölütleme işleminin yaygın olarak kullanılan k-ortalımalı kümelemeden çok büyük bir farkı yoktur. Algoritma temel olarak aynı adımları izler. Bununla beraber

insan sayma uygulamalarında sistemin gerçek zamanlı çalışması esastır. Uygulamada k-ortalımalı kümeleme algoritması uzun süre sonuca ulaşamayabilir ve hatta sonsuz döngüye düşebilir. Bu durum sistemin tamamen işlevsiz hale gelmesine neden olur.

Bunu önlemek için bir uygulama detayı olarak algoritmanın iterasyon sayısı sistem performansının çok düşmesine izin vermeyecek bir N sayısı ile sınırlandırılmalıdır. Bu çalışmada küme merkezlerinin olası algoritma sonuçlarına oldukça yakın seçilmesi sayesinde N değerinin yüz gibi oldukça düşük seçilmesi durumunda dahi sistemin yüksek başarıyla çalıştığı gözlenmiştir.

Algoritma adımları:

1. Nokta bulutu analizi sonucunda bulunan olası insan konumları ile küme merkezleri ilklendirilir.
2. Birden çok insan içerdığı tespit edilen parçacığa ait her blok Öklid uzaklığına göre en yakın olduğu kümeye atanır.
3. Atama sonrası her bir kümede bulunan blokların koordinatlarının (x,y) ortalamaları alınarak yeni küme merkezleri belirlenir.
4. Merkezler değişim göstermeyene veya N iterasyon sayısına ulaşıncaya kadar 2 ve 3 tekrarlanır.

şeklinde sıralanabilir.

3.6 Takip

K-ortalımalı bölütleme aşaması ile gözlenen alandan geçmekte olan nesnelerin (insanların) tespiti tamamlanmış olur. Bu aşamadan sonra sıra takip ve sayım işlemine gelir.

Ani ışık değişimleri, gürültü gibi nedenlerle bölütlemeye oluşabilecek ufak hataların yanlış sayımlara sebebiyet vermemesi için gözlenen alandan geçmekte olan insanların takip edilmesine ve sayım kararı için takip aşamasında elde edilen verilerin kullanılmasına ihtiyaç vardır.

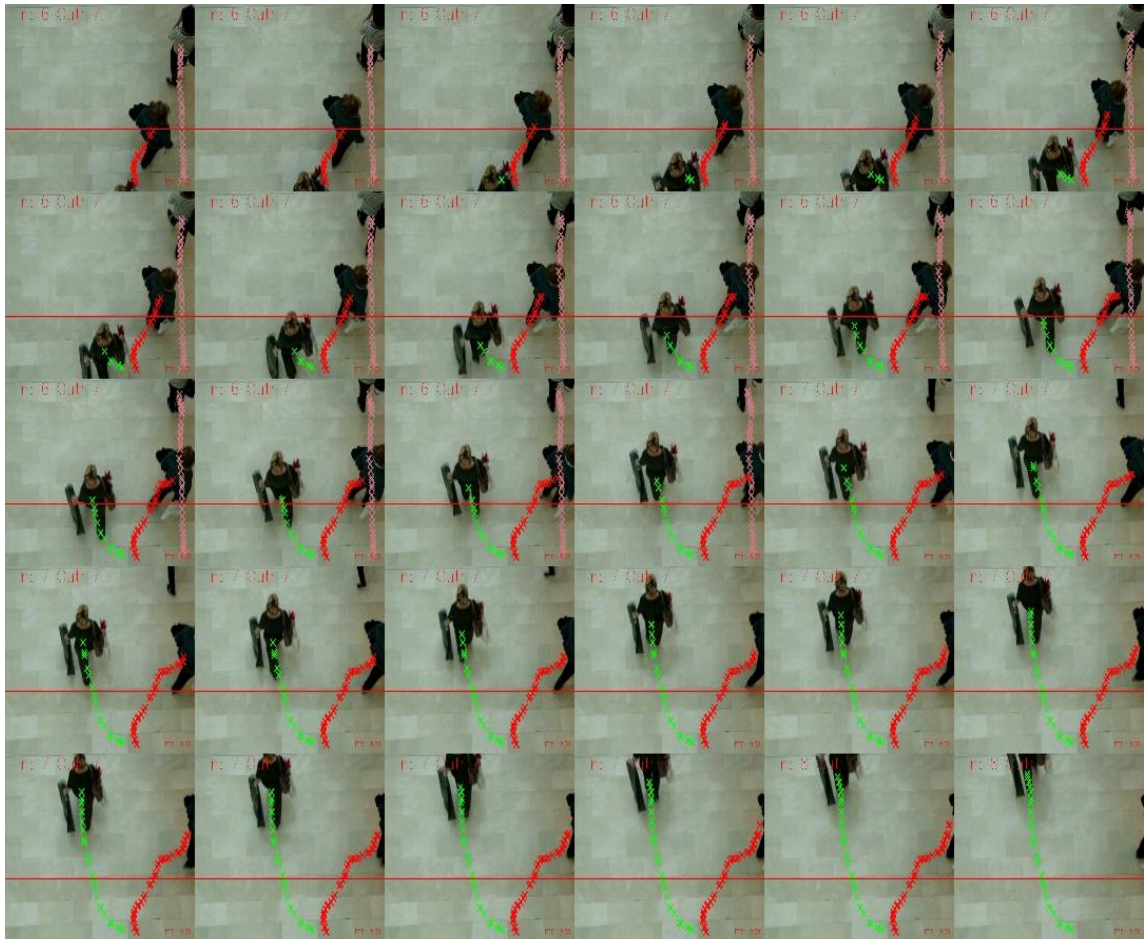
Takip işleminin gerçekleştirilebilmesi için n. karede tespit edilen hareketli nesnelerin n-

1. karede tespit edilenlerle eşleştirilmesi gereklidir. Bu amaçla pek çok değişik sayım

uygulamasında tespit edilen nesnelere ait ayırt edici özellikler belirlenip bunlar kullanılarak takip işlemi gerçekleştirilmiştir [1], [9].

Takip için kullanılan özelliklerden bazıları çevre dikdörtgeni koordinatları, ağırlık merkezleri, renk kanallarının histogramları, yoğunluk olarak sıralanabilir [1], [9]. Bu çalışmalarda hareket halinde ki insanların temasları ve ayrılışları da takip sırasında ayrı bir birleşme-ayrışma kontrolü basamağı ile gerçekleştirilmiştir.

Birleşme-ayrışma kontrolü Kalman süzgeci, ortalama kaydırmalı (mean shift) takip gibi algoritmaların birleşme ve ayrışmalar nedeniyle eşleşemeyen insanların takibi için kullanılmasını gerektirir. Bu durum hem işlem karmaşıklığını artırır hem de takip başarısını düşürür.



Şekil 3.11 Takip işlemi

Bu çalışmada nokta bulutu analizi ve k-ortalımalı kümeleme ile her durumda tespit edilen nesnelerin tek başlarına bölütlenmeleri sağlanmıştır. Bu nedenle herhangi bir birleşme-ayrışma kontrolüne ihtiyaç yoktur.

Bu çalışmada takip işlemi basit ve hızlı bir şekilde, bir karede tespit edilen hareketli nesnelerin bir önceki karede tespit edilen kendilerine en yakın nesne ile eşleştirilmesi ile yapılmıştır.

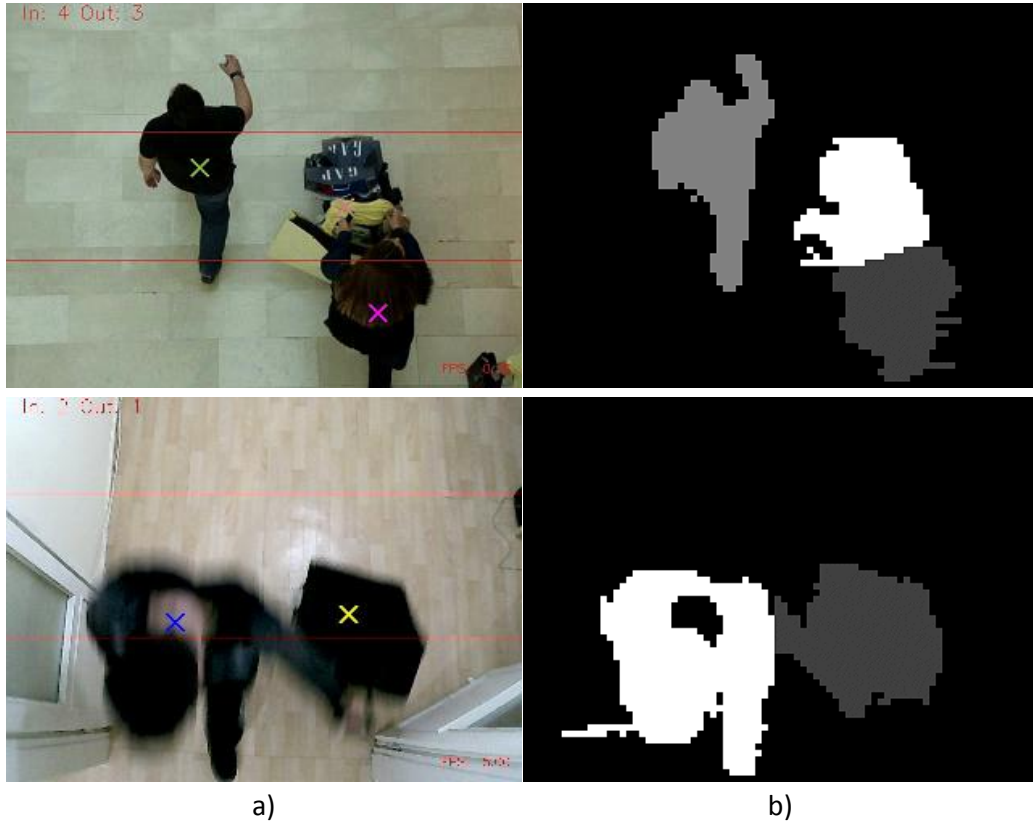
Tespit edilen nesneler arası mesafe Öklid uzaklığı kullanılarak hesaplanır. Eşleşmenin sağlana bilmesi için ardışık iki karede tespit edilen nesneler arasındaki uzaklığın belirlenen bir D değerinden büyük olmaması şartı aranır. n 'inci karede tespit edilip $n+1$ 'inci karede eşleşemeyen nesnelerin gözlenen alanı terk ettiği kabul edilir. $n+1$ 'inci karede tespit edilip n 'inci karede tespit edilen hiçbir hareketli nesne ile eşleşemeyen nesnelerin ise gözlenen alana yeni giriş yaptığı sonucuna varılır. Şekil 3.11'de kullanılan takip yöntemi ile elde edilen sonuçlar görülmektedir.

Bu yöntem bir insanın konumunda iki kare arasında çok büyük değişiklik olmayacağı varsayımına dayansa da deneyler sonucu oldukça başarılı sonuç verdiği gözlenmiştir. İnsanların görece hızlı ve birbirlerinin yolunu keserek hareketlerinde dahi takip başarıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca işlem karmaşıklığının düşük ve çalışma hızının yüksek olması da böyle basit bir yöntemin tercih edilmesinde rol oynamıştır.

3.7 İnsan/Nesne Tespiti

Video tabanlı insan sayım sistemlerini en çok zorlayan durumlardan biri insan olmayan nesnelerin, gözlenen alan içerisinden geçiş yapmasıdır. Valiz taşıyan, bebek arabası veya alışveriş sepeti iten insanların geçişleri eğer tespit edilemez ise sayım hatalarına neden olabilir. İnsan/nesne tespit modülü bu geçişlerin insan geçişlerinden ayrılabilmesini sağlar.

Bu çalışmada geliştirilen sistem, geçiş yapan insanların bölütlenmesinde insan boyutlarının kuş bakışı kamera ile alınmış görüntüde hemen hemen sabit olmasından faydalanır. Bu sayede küçük boyutlu torba veya çanta taşıyarak geçiş yapan insanlar sayım hatasına neden olmaz. Buna karşın alışveriş sepeti, valiz bebek arabası gibi büyük hacimli eşyaların bölütleme sırasında insanlardan ayrı bir şekilde tespiti muhtemeldir. Şekil 3.12'de bebek arabası ve valiz ile geçişin gerçekleştiği iki durum için bölütleme sonucu görülmektedir. Görüldüğü gibi büyük boyutlu nesneler tek başlarına bölütlene bilmektedir.



Şekil 3.12 Valiz ve bebek arabası ile geçişlerde bölütleme sonucu a) bulunan nesne merkezleri b) bölütleme sonucu

[31]'de valiz, alışveriş sepeti gibi nesnelerin katı yapılarından dolayı daha çok doğru barındıracağı varsayımından yola çıkarak görüntüde tespit edilen her bir nokta bulutunun nesne içerip içermediğini ve kaç insan içerdiğini belirleyecek bir yöntem önerilmiştir. Bu çalışmada da benzer bir şekilde insan/nesne ayrımı için nokta bulutları üzerinde tespit edilen doğru sayısından faydalanılmıştır. [31]'den farklı olarak bu çalışmada insan/nesne tespit modülü bir parçacığın içindeki gerçek insan sayısının belirlenmesi için değil, takibi gerçekleştirilen her nesnenin, insan olup olmadığının belirlenmesi için kullanılmıştır.

İnsan nesne tespit algoritması gözlenen alanda tespit edilen her nesne üzerinde önce Canny kenar bulma algoritması ve sonra Hough doğru bulma algoritmasını çalıştırır [32], [33]. Eğer nesne üzerinde eşik değeri olarak belirlenen bir K sayısından fazla doğru tespit edilir ise bu nesnenin insan olmadığı varsayılır. Bu şekilde insan veya insan olmayan şeklinde sınıflandırılan her nesne takip edilmeye devam edilir. Nesnenin takibi sırasında bu sınıflama işlemi her tespitten sonra tekrarlanır. Takip edilmekte olan

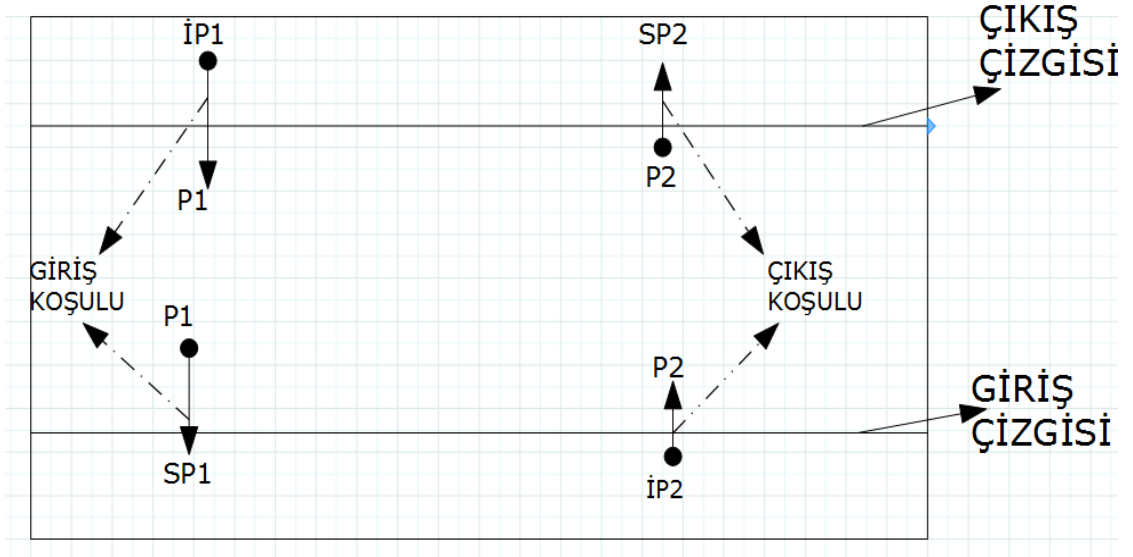
nesne gözlenen alanı terk ettiğinde, eğer insan olarak kabul edildiği kare sayısının nesne olarak kabul edildiği kare sayısına oranı belli bir R değerinden fazla ise insan kararı verilir ve sayım aşamasına geçilir aksi halde sayım işlemi gerçekleştirilmez.

Şekil 3.13’de insan ve valiz geçişleri sırasında Hough dönüşümü ile tespit edilen doğrular görülmektedir. Yukarıdan bakıldığında insan vücudunda kol ve bacaklar dışında düzgün bir şekilde devam eden doğrusal kısımların görülme olasılığı düşüktür. Deneylerde insan geçişlerinde ikiden az doğrusal parça tespit edildiği gözlenmiştir. Valiz, bebek arabası, alışveriş sepeti gibi nesneler yapıları gereği pek çok doğrusal parça içermektedir.

Deneylerde bu cisimlerin geçişlerinde 3 veya daha fazla doğrusal parçanın tespit edildiği gözlenmiştir. Bu sayede tespit edilen doğru sayısına bakılarak nesne insan ayrımı yapılabilmektedir.

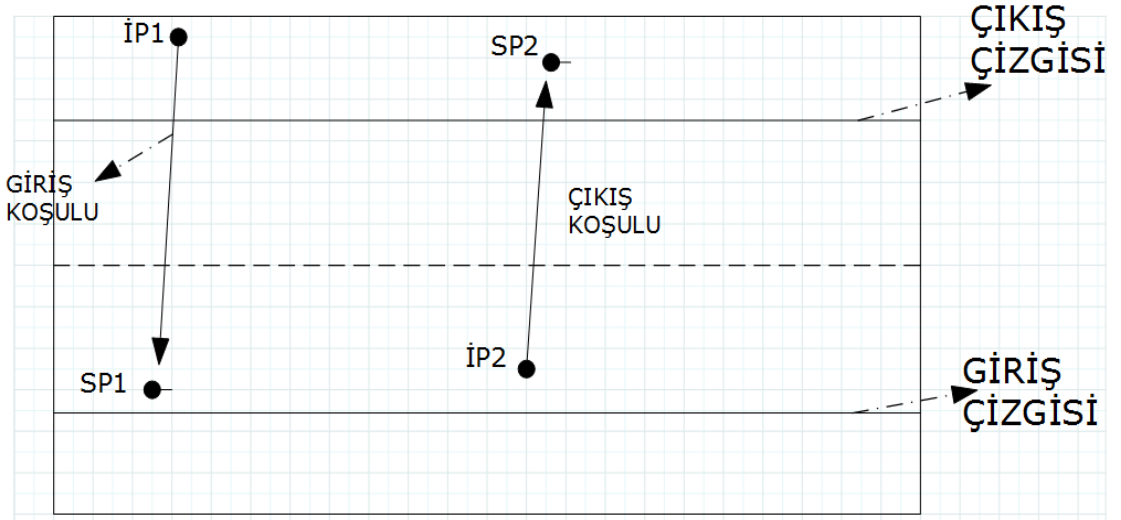


Şekil 3.13 Valiz ve insan geçişi sırasında Hough dönüşümü ile tespit edilen doğrular



Şekil 3.15 [10]'da önerilen sayım koşulu

[9]'da kullanıcı tarafından bir ara yüzle değiştirilebilen giriş ve çıkış alanı tanımlanmıştır. Hareket halindeki nesnelerin ilk ve son temas ettikleri alanın farklı olması durumunda sayım koşulu sağlanmış olur. [16]'da da benzer bir yöntem kullanılmıştır. Yalnızca alan tanımlamaları yerine yine sanal iki çizgi tanımlanarak takip edilen insanların giriş (ilk tespit edildiği) ve çıkış yaptığı (son kez tespit edildiği) noktaların yakın olduğu çizgilerin farklı olması durumunda sayım işlemi gerçekleştirilir.



Şekil 3.16 [16]'da önerilen sayım koşulu

Şekil 3.16'da [16]'da önerilen sayım koşulu gösterilmiştir. Sayım için gerek ve yeter şart hareket halindeki insanları ilk ve son tespit edildiği noktaların farklı çizgilere yakın olmasıdır.

Bu çalışmada [10]'da ve [16]'da kullanılanlara benzer yöntemlerle sayım işlemi gerçekleştirilmiştir. Yöntemlerin benzer sonuç verdiği gözlenmiştir. Buna ek olarak sayım koşulunun sağlanması için tespit edilen nesnenin insan/nesne tespit modülü tarafından insan olarak sınıflandırılması ve takip sırasında en az 5 karede st üste tespit edilmiş olması koşulu aranır. Böylelikle gürültü ve olası yanlış bltlemelerin neden olabileceği sayım hataları nlenmeye çalışılmıştır.

DENEYSEL SONUÇLAR

Bu çalışmada geliştirilen sistem daha önce geliştirilmiş olan sistemler için oldukça zorlayıcı koşullar içeren iki yönde geçişlerin bulunduğu 13 test videosu üzerinde denenmiş ve başarı oranı gözlenmiştir.

Test videoları temel olarak 2 gruptan oluşmaktadır:

1. Bir Alışveriş Merkezinden Alınmış Gerçek Durum Senaryoları
2. Tez Çalışması İçin Oluşturulmuş Durum Senaryoları

Birinci gruptaki videolar bir alışveriş merkezinden alınmış gün ışığında kaydedilmiş gerçek görüntülerdir.

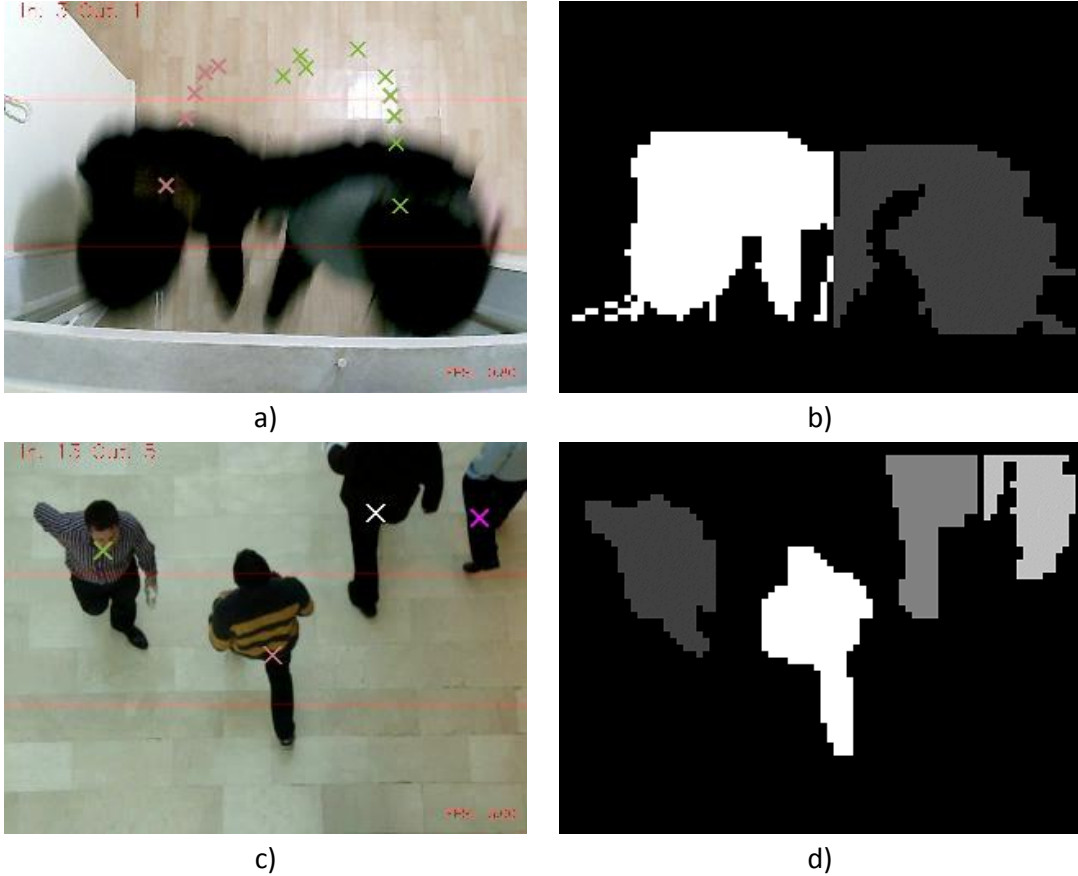
İkinci gruptaki videolar ise tez çalışmaları sırasında değişik geçiş senaryolarının canlandırılıp kaydedilmesiyle oluşturulmuştur. Bu videolar floresan ışığı altında kaydedilmiştir.

Şekil 4.1’de iki grup görüntüye ait birer örnek ve bu karelere ait bölütleme sonucu görülmektedir.

Görüntülerde benzer çalışmaların test edildiği durumların oldukça üzerinde olan toplam 150 giriş, çıkış gerçekleşmektedir. Bu sayede oldukça çok sayıda durum senaryosunda sistemin başarısı gözlenmiştir.

Test senaryoları içinde insanların birbirine temas ederek geçiş yaptığı, hareketleri sırasında birleşmelere ve ayrışmalara sebep olacak şekilde geçişler yaptığı durumlar mevcuttur. Aynı anda gözlenen alanda yedi kişinin bulunduğu durumlarda dahi sistem başarıyla çalışabilmektedir. Bunlara ek olarak valiz ile geçişler ve alışveriş merkezinden

alınan videolarda bebek arabası ile geçiş yapan insanlar bulunmaktadır. Bu durumların tespitinde insan/nesne tespit modülü devreye girer. İnsan sayımı başarısı ve insan olmayan nesne geçişlerinin tespiti sırasında gözlenen sonuçlar birbirlerinden ayrı olarak ele alınmıştır.



Şekil 4.1 Oda girişı ve alışveriş merkezinden alınmış görüntü örnekleri a) oda girişinden alınmış görüntü b) oda girişinden alınmış görüntü bölütleme sonucu c) alışveriş merkezinden alınmış görüntü d) alışveriş merkezinden alınmış görüntü bölütleme sonucu

Bu bölümde deneyler sonucu elde edilen sonuçlar ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Bölüm 4.1’de başarı oranlarının ölçümünde kullanılan yöntem anlatılmış, 4.2’de ziyaretçi sayım ve 4.3’de insan/nesne tespit algoritmalarının başarı oranları değerlendirilmiştir. Bölüm 4.4’de sistemin genel performansı ele alınmıştır.

4.1 Başarı Kriterlerinin Belirlenmesi

İnsan sayım sistemlerinde gürültü, yanlış veya eksik bölütleme, insan olmayan nesne geçişleri gibi nedenlerle fazla veya eksik sayımların olması mümkündür. Bu sayımlar

birbiri yerine geçip genel sayım sonucunun olduğundan daha doğru çıkmasına neden olabilir. Sistemin başarısının, sadece genel sayım toplamının gerçek geçişlerle karşılaştırılarak yapılması yanlış sonuçlara varılmasına neden olur. Bu yüzden bu çalışmada sayım başarısının belirlenmesinde doğruluk oranı, ayıricılık oranı ve F-ölçüsü kavramlarından faydalanılmıştır. TP, FP ve FN sırasıyla gerçek pozitif, gerçek negatif ve sahte negatif'e ait gösterimler olmak üzere doğruluk oranı, ayıricılık oranı ve F-ölçüsü:

$$\text{Doğruluk Oranı} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (4.1)$$

$$\text{Ayıricılık oranı} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (4.2)$$

$$\text{F-ölçüsü} = \frac{2 \cdot \text{Doğruluk Oranı} \cdot \text{Ayıricılık oranı}}{\text{Doğruluk Oranı} + \text{Ayıricılık oranı}} \quad (4.3)$$

şeklinde tanımlanır.

İnsan sayım uygulaması için:

- TP: Doğru tespit edilen giriş ve çıkışlar
- FP: Yanlış tespit edilen giriş ve çıkışlar
- FN: Tespit edilemeyen giriş ve çıkışlar

şeklinde tanımlanır.

İnsan, nesne tespit algoritması için ise:

- TP: Nesne (Valiz, bebek arabası, alışveriş sepeti) olarak sınıflanan nesneler
- FP: Nesne olarak sınıflanan insanlar
- FN: İnsan olarak sınıflanan nesneler

şeklinde tanımlanır. Bu tanımlardan faydalanarak geliştirilen sistemin başarısını daha doğru bir şekilde değerlendirmek mümkündür.

4.2 Ziyaretçi Sayma Sistemi Başarısının Değerlendirilmesi

Geliştirilen ziyaretçi sayma sisteminin test edildiği 2 grup videodan bir alışveriş merkezinden alınan görüntüleri içeren 5 videoya ait ayrıntılı sonuçlar Çizelge 4.1'de görülmektedir.

Çizelge 4.1 Aışveriş merkezinden alınan görüntüler üzerinde yapılan testler sonucunda elde edilen genel sayım sonuçları

Video	Toplam Giriş - Çıkış	Doğru Tespit Edilen Giriş - Çıkış	Tespit Edilemeyen Giriş - Çıkış	Yanlış Tespit Edilen Giriş - Çıkış
Avm_1	17 - 6	15 - 6	2 - 0	0 - 0
Avm_2	19 - 1	16 - 1	3 - 0	0 - 0
Avm_3	16 - 10	16 - 10	0 - 0	1 - 0
Avm_4	8 - 3	7 - 3	1 - 0	0 - 0
Avm_5	8 - 7	8 - 7	0 - 0	0 - 0
Toplam	68 - 27	62 - 27	6 - 0	1 - 0

Toplam 95 giriş ve çıkıştan 6'sı sistem tarafından tespit edilememiştir. Bir durumda ise sistem insan geçişi olmamasına rağmen sayım yapmıştır. Tespit edilemeyen sayımlardan üçü çok büyük veya çok küçük boyutlu geçişlerin neden olduğu bölütleme hatalarından kaynaklanmaktadır.

Bölütleme işlemi kuşbakışı kameradan alınan görüntülerde insan boyutunun hemen hemen sabit olmasından faydalanılarak gerçekleştirilmiştir. Bölütleme başarısızlığından kaynaklanan sayım hatalarına, küçük çocukların kapladığı alanın insan büyüklüğü için kabul edilen eşik değere ulaşmaması ve büyük boyutlu insanların bazı karelerde bir yerine iki kişi olarak bölütlenmesi sebep olmuştur. Şekil 4.2'de nesne boyutundan kaynaklı bir bölütleme hatası görölmektedir. Tespit aşamasında soruna neden olan bir diğer önemli durum ise arka plan rengine yakın renkte kıyafet giyen insanların geçişidir. Sistemde kullanılan blok tabanlı arka plan modeli renk bilgisini kullanarak çalışır. Bu nedenle beyaz zemin üzerinde beyaz giysili insanların tespit edilememesi kaçınılmazdır. Arka plana yakın renkte cisimlerin arka plandan ayrılması görüntü tabanlı bir sistemin temel sorunu olup, ekstra bir sensör (ısı, derinlik vb.) kullanılmadan çözümü zor görönmektedir.



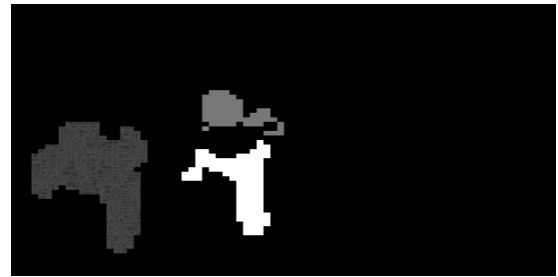
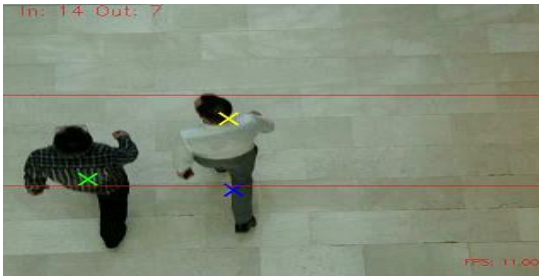
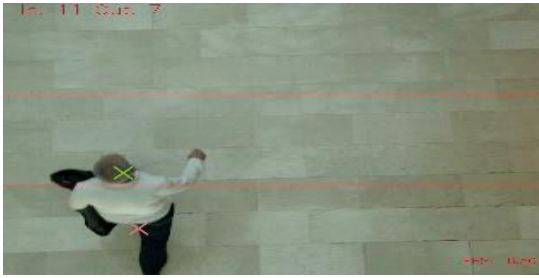
a)



b)

Şekil 4.2 Büyük boyutlu insan geçişi sırasında oluşan bölütleme hatası a) orijinal kare b) bölütleme sonucunu

Bir durumda görülen fazla sayıma da yine beyaz kazak giymiş bir kişinin iki parça olarak bölütlenip takip edilmesi sebep olmuştur. Şekil 4.3’de arka plana benzer renkte kıyafet giyen kişilerin bulunduğu kareler ve bölütleme sonuçları görülmektedir.



a)

b)

Şekil 4.3 Arka planla benzer renkte kıyafetli insan geçişi sonucu oluşan bölütleme hataları a) işlenmiş orijinal kare b) bölütleme sonucunu

Diğer bir hata ise geçiş yapan bir insanın, insan/nesne tespit modülü tarafından nesne olarak tespit edilmesi sonucu oluşmuştur. Bu durumun nedenleri Bölüm 4.3’de ayrıntılı olarak incelenmiştir. Tespit edilemeyen geçişlerin farklı bir nedenin ise takip algoritmasının kritik bölgelerde yaptığı eşleşme hataları olduğu gözlenmiştir. Uygulanan takip algoritmasının çok basit bir yapıda olması ve eşleşmeler için sadece birbirini takip eden iki karede tespit edilen insanlar arası uzaklık kriterini göz önünde

bulundurması bu duruma neden olmaktadır. Eşleşme hatalarına çok sık rastlanılmasa da sistemde gözlenen hatalar içerisinde en ciddi hatanın bu olduğu söylenebilir.

Bu videolarda bir karede en fazla yedi kişinin geçişi görülmektedir buna ek olarak pek çok durumda üç, dört kişinin aynı anda geçişlerine rastlanılmaktadır. Videolarda insan sayma sistemi için zorlayıcı durumlar olan birleşmeler, ayrışmalar temas halinde geçişler mevcuttur. Çok sayıda insan küçük boyutlu poşetler ve çantalar taşımaktadır. Bunlara ek olarak alışveriş merkezinden alınan görüntülerde bebek arabası ile üç geçiş bulunmaktadır.

Bütün bu zorlayıcı koşullara rağmen sistem alışveriş merkezinden alınan görüntülerde %98 doğruluk oranı, %93 ayırıcılık ve %95 F-ölçümü başarısına ulaşmıştır. Alışveriş merkezinden alınan videolara ait ayrıntılı başarı oranları Çizelge 4.2 görülmektedir.

Çizelge 4.2 Alışveriş merkezinden alınan görüntüler üzerinde yapılan testler sonucunda elde edilen başarı oranları

Video	Doğruluk Oranı (Precision)	Ayırıcılık (Recall)	F-Ölçümü (F-Score)
Avm_1	1.0	0.91	0.95
Avm_2	1.0	0.85	0.91
Avm_3	0.96	1.0	0.97
Avm_4	1.0	0.90	0.90
Avm_5	1.0	1.0	1.0
Toplam	0.98	0.93	0.95

Geliştirilen sistemin test edildiği ikinci tür videolar, bu tez kapsamında bir oda girişine kamera yerleştirilerek yakalanmıştır. Bu videolar insanların hareketleri sırasında oluşabilecek birleşme, ayrışma, temas halinde geçiş gibi çeşitli durum senaryolarını içerir. Bu görüntülerde bir karede görüntüde en fazla iki kişi bulunmaktadır. Bu nedenle görel olarak bir insan sayma sistemi için ilk gruptaki videolara göre daha az zorlayıcı oldukları söylenebilir. Çizelge 4.3'te ziyaretçi tanıma sisteminin oda girişinden alınan görüntüler ile test edilmesi sonucunda elde edilen sonuçlar görülmektedir. Toplam 55

giriş ve çıkıştan yalnızca iki tanesi sistem tarafından tespit edilememiştir. Toplamda hiç yanlış sayım (fazla sayım) yapılmamıştır.

Görüntülerdeki sekiz valiz ile geçişin hiçbirisi sayım hatasına neden olmamaktadır. Bu geçişler insan/nesne tespit sisteminin ayrıntılı olarak anlatıldığı Bölüm 4.3’de ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Çizelge 4.3 Oda girişinden alınan görüntüler üzerinde yapılan testler sonucunda elde edilen sayım sonuçları

Video	Toplam Giriş - Çıkış	Doğru Tespit Edilen Giriş - Çıkış	Tespit Edilemeyen Giriş - Çıkış	Yanlış Tespit Edilen Giriş - Çıkış
Oda_1	3 - 3	3 - 3	0 - 0	0 - 0
Oda_2	4 - 4	4 - 4	0 - 0	0 - 0
Oda_3	3 - 4	3 - 3	0 - 1	0 - 0
Oda_4	5 - 4	5 - 3	0 - 1	0 - 0
Oda_5	2 - 3	2 - 3	0 - 0	0 - 0
Oda_6	3 - 3	3 - 3	0 - 0	0 - 0
Oda_7	3 - 3	3 - 3	0 - 0	0 - 0
Oda_8	3 - 3	4 - 4	0 - 0	0 - 0
Toplam	27 - 28	27 - 26	0 - 2	0 - 0

Gerçekleşen iki hatalı sayımdan biri takip algoritmasının eşleşmeyi doğru yapamamasından diğeri ise nesne insan sınıflama algoritmasının insan geçişini nesne olarak sınıflamasından kaynaklanmıştır.

Sistem oda girişinden alınan görüntüler üzerinde %98 doğruluk oranı, %93 ayırıcılık ve %95 F-ölçümü başarısına ulaşmıştır. Çizelge 4.4’te sistemin oda girişinden alınan değişik videolar üzerinde elde ettiği başarı oranları ayrıntılı olarak verilmiştir.

Genel toplam incelendiğinde sistem 150 insan geçişinden 142’sini doğru şekilde sayabilmiş ve sekiz insan geçişini tespit edememiştir. Bunun yanında sistem toplamda sadece bir defa geçişin olmadığı durumda sayım işlemi gerçekleştirmiştir.

Sayım hatalarına neden olan durumlar:

- Çok küçük veya büyük boyutlu insan geçişlerinin neden olduğu bölütleme hataları
- Arka planla aynı veya çok yakın renkte kıyafet giyen insan geçişleri
- Takip algoritmasından kaynaklı eşleme hataları

olarak sıralanabilir.

Çizelge 4.4 Oda girişinden alınan görüntüler üzerinde yapılan testler sonucunda elde edilen başarı oranları

Video	Doğruluk Oranı (Precision)	Ayırıcılık (Recall)	F-Ölçümü (F-Score)
Oda_1	1.0	1.0	1.0
Oda_2	1.0	1.0	1.0
Oda_3	1.0	0.85	0.91
Oda_4	1.0	0.88	0.93
Oda_5	1.0	1.0	1.0
Oda_6	1.0	1.0	1.0
Oda_7	1.0	1.0	1.0
Oda_8	1.0	1.0	1.0
Toplam	1.0	0.98	0.99

Deneyler sonucunda bu tez kapsamında geliştirilen ziyaretçi sayma sisteminin iki gruptaki videolar için toplamda %99 doğruluk oranı, %94 ayırıcılık ve %96 F-ölçüsü başarısına ulaşmıştır. Alışveriş merkezi ve oda girişinden alınan görüntüler üzerinde yapılan denemeler sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'te ve sistemin genel başarısı Çizelge 4.6'da görülmektedir.

Gürültü, ışık değişiklikleri, örtüşmeler ve diğer nedenlerden ötürü insan sayım işlemini %100 başarı ile yapabilmek video tabanlı bir yöntem için mümkün görünmemektedir. Bu nedenle elde edilen bu başarı oranı gerçek zamanlı bir insan sayma sistemi için maksimuma çok yakın kabul edilebilir.

Çizelge 4.5 İki grup video üzerinde yapılan testler sonucunda elde edilen genel sayım sonuçları

Video	Geçiş Yapan İnsan Sayısı	Doğru Tespit Edilen Geçiş	Tespit Edilemeyen Geçiş	Yanlış Tespit Edilen Geçiş
Oda + Avm	150	142	8	1

Çizelge 4.6 İki grup video üzerinde yapılan testler sonucunda elde edilen genel başarı oranları

Video	Doğruluk Oranı (Precision)	Ayırıcılık (Recall)	F-Ölçümü (F-Score)
Oda + Avm	0.99	0.94	0,96

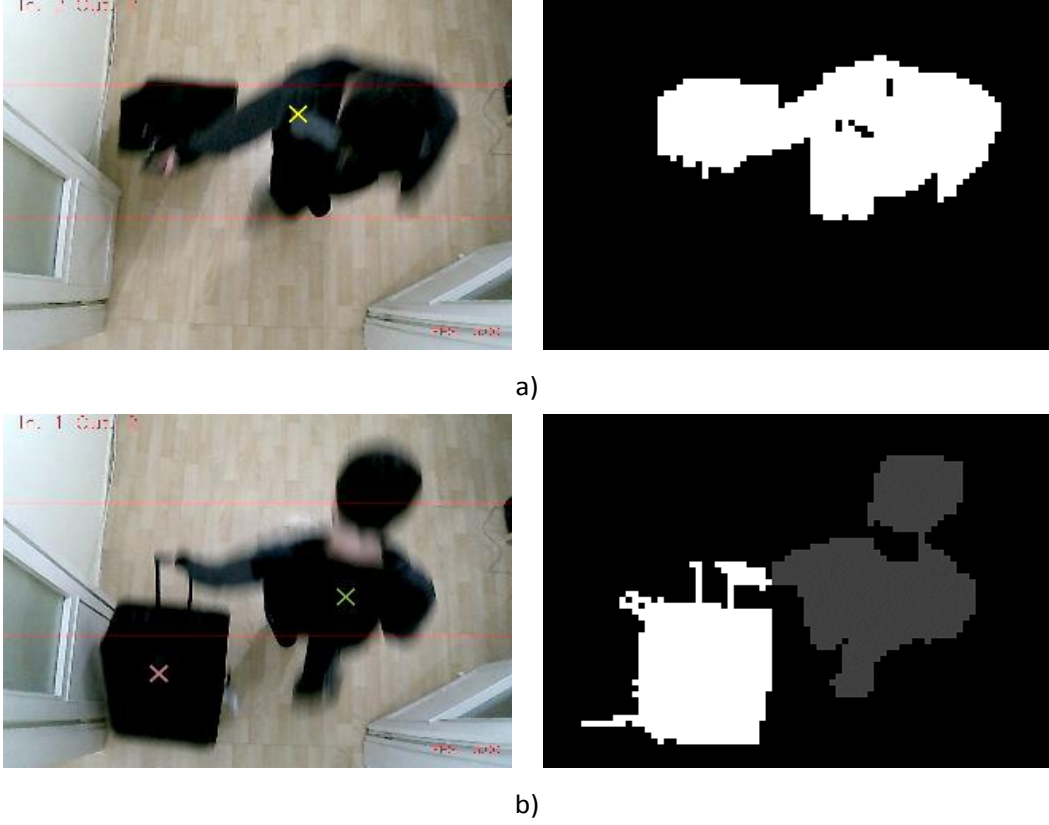
4.3 İnsan Nesne Tespit Başarısının Değerlendirilmesi

Geliştirilen ziyaretçi sayma sisteminin test edildiği videolarda valiz ve bebek arabası ile geçiş yapan insanlar bulunmaktadır. Bu geçişler eğer tespit edilmezler ise sayım hatalarına neden olabilirler.

Bu amaçla bir nesne insan tespit modülü sistemde kullanılmıştır. Bu modülün başarısı sistem başarısını doğrudan etkiler. Geçiş yapan nesne veya insanın sayımının yapılabilmesi için giriş çizgisine yakın bir konumda tespit edilip çıkış çizgisine kadar takip edilmesi gereklidir, aksi halde sayım koşulu yerine getirilmemiş olur ve sayım modülü sayım işlemini gerçekleştirmez. Benzer şekilde insan/nesne tespit modülünün de fonksiyonel olabilmesi için nesnenin (bebek arabası, valiz vb.) gözlenen alan boyunca takip edilmesi gerekmektedir. Aksi halde sayım modülü zaten sayımı engelleyeceğinden insan/nesne tespit modülü işlevsizleşir.

Videolarda üç bebek arabalı ve sekiz de büyük boyutlu valiz taşıyan insan geçişi bulunmaktadır. Bu geçişlerin hiç birisi hatalı sayıma neden olmamıştır. Üç bebek arabasından ikisi görüntüye girişlerinden çıkışlarına kadar takip edilmiş ve kullanılan insan/nesne ayırma modülü sayesinde tespit edilerek sayılmamıştır. Diğer bebek arabası takip ve bölütleme sırasında yeterli yer kaplamadığı için kendisini iten insanla birlikte bölütlenmiş yine de sayım sırasında hataya neden olmamıştır.

Bebek arabalarının takibinde takip algoritması bazı karelerde eşleşme hatası yapmakta ve bebek arabasını iten kişiyle bebek arabasının eşleşmesine neden olmaktadır. Buna rağmen geçiş sırasında bebek arabaları sayılmamıştır.



Şekil 4.4 Kendisini taşıyan insan ile birlikte ve ayrı olarak bölütlenmiş iki valiz ile geçiş a) birlikte bölütlenmiş insan ve valiz b) ayrı bölütlenmiş insan ve valiz

Valizle geçişlerde takip işlemi bebek arabalarına oranla daha yüksek bir başarıyla gerçekleştirilmiştir. Oda girişinden alınan videolarda bulunan sekiz valizle geçişten altısı gözlenen alana girişlerinden çıkışlarına kadar başarı ile takip edilmiştir. Diğer iki geçiş bazı karelerde tek başlarına bazı karelerde kendilerini taşıyan insanla birlikte bölütlenmiştir. Şekil 4.4’de geçiş sırasında kendisini taşıyan insan ile birlikte ve ayrı olarak bölütlenmiş iki valiz ile geçiş görülmektedir.

Toplamda iki bebek arabası altı valiz insan/nesne tespit algoritması tarafından doğru bir şekilde nesne olarak sınıflandırılmış ve bu sayede sayım hataları önlenmiştir. Diğer bir valiz ve iki bebek arabası geçişi bölütleme ve takip sonucu sayım koşulunu yerine getirmedikleri için sayılmamıştır. Deneyler sonucu gözlenen insan/nesne tespit modülü sonuçları Çizelge 4.7’de görülmektedir.

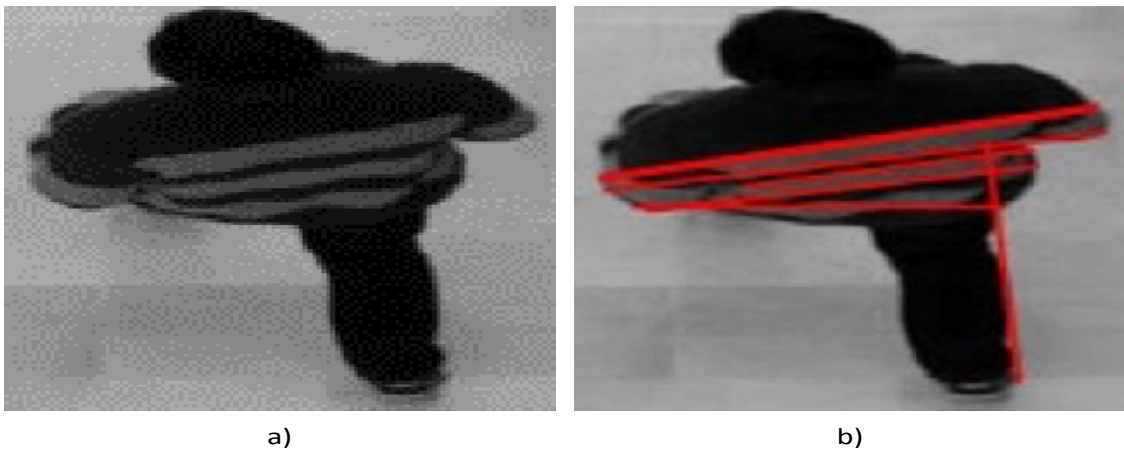
Çizelge 4.7 İki grup video üzerinde gözlenen insan/nesne tespit modülü sonuçları

Video	Takibi Gerçekleştirilen İnsan Geçişi	Takibi Gerçekleştirilen Nesne Geçişi	Doğru Tespit Edilen Nesne Geçişi	Nesne Olarak Sınıflandırılan İnsan Geçişi
Avm + Oda	144	8	8	2

Gözlenen alan boyunca takip edilemeyen, nesne ve insan geçişleri sistem tarafından sayılmaz. Bu nedenle bu geçişler üzerinde insan/nesne tespit algoritması çalıştırılmamıştır. Çizelge 4.7’de bu nedenle sadece takibi doğru bir şekilde gerçekleştirilen insan ve nesne geçişlerine yer verilmiştir.

Bir ziyaretçi sayma sisteminin kullanılacağı alanlarda insan geçişlerinin nesne geçişlerine oranla daha fazla gerçekleşmesi muhtemeldir. Bu nedenle kullanılacak bir insan/nesne tespit algoritmasının sahte pozitif oranının düşük olması gerekir. Aksi halde modül geçişler sırasında pek çok insanın nesne olarak sınıflanıp sayılmamasına neden olur.

Bu çalışmada kullanılan yöntem gözlenen alana girişlerinden çıkışlarına kadar başarılı bir şekilde takip edilen iki insan geçişinin sayımına engel olarak hataya neden olmuştur. Bu iki yanlış sınıflama, doğru bir şekilde sınıflanan 142 insan geçişi göz önünde bulundurulduğunda oldukça düşük bir sahte pozitif oranına karşılık gelmektedir.



Şekil 4.5 İnsan nesne tespit modülünde hataya neden olan insan geçişi a) tespit edilen insan b) Hough dönüşümü ile bulunan doğrular

İnsan nesne tespit modülünde hataya neden olan durumlardan birincisinde geniş çizgili kazak giyen bir kişinin geçişi görülmektedir. Kıyafet seçimi sistemin, geçiş sırasında, fazla sayıda doğru tespit etmesine ve geçişi nesne geçişi olarak sınıflamasına sebep olmuştur (Şekil 4.5).

Sayımlı insan/nesne tespit modülü yüzünden engellenen diğer geçişte ise arka planda bulunan bazı köşeli nesneler geçiş sırasında gölgelenmelerden dolayı ön plan olarak bölütlenmiştir. Bu nesneler üzerindeki doğrular geçişin insan olarak sınıflandırılmasını önlemiştir. Çizelge 4.8’de insan/nesne tespit algoritmasının iki gruptaki test videoları üzerinde yakaladığı başarı oranı görülmektedir.

Çizelge 4.8 İki grup video üzerinde yapılan testler sonucu elde edilen insan/nesne tespit modülü başarı oranları

Video	Doğruluk Oranı	Ayırıcılık	F-Ölçümü
Oda + Avm	0.80	1.0	0,88

Nesne olarak tespit edilen 2 insan doğruluk oranını %80’e kadar düşürmüştür. İnsan nesne tespit modülü takip edilebilen 8 nesne geçişini de doğru bir şekilde sınıflandırarak yüzde yüzlük bir ayırıcılık oranına ulaşmıştır. Sayımlı engellenen 2 insan geçişinin etkisiyle F-ölçümü %88 olarak elde edilmiştir. İnsan nesne tespit algoritması yanlış sayımlara neden olacak nesne geçişlerini tespit ederek sistemin genel başarısını artırmıştır.

4.4 Sistem Performansı

Geliştirilen video tabanlı ziyaretçi sayma sistemi 3.4 ghz İntel i7 işlemciye sahip kişisel bilgisayar üzerinde denenmiştir. Testler sonucunda sistemin 640x480 çözünürlüğe sahip videolar üzerinde saniyede ortalama 20 kare ile sorunsuz bir şekilde sayım işlemini gerçekleştirdiği görülmüştür. Sistem ayrıca video çözünürlüğü düşürülerek 340x480 çözünürlüğe sahip görüntüler üzerinde de test edilmiş ve sorunsuz bir şekilde çalıştığı gözlenmiştir.

640x480 çözünürlük bir gözetim uygulaması için oldukça yüksek bir çözünürlüktür. Sistem ayrıca yediye kadar insanın aynı anda geçişleri gibi performans açısından zorlayıcı test senaryolarında denenmiştir. Bütün bunlar göz önünde

bulundurduğunda geliştirilen sistemin yüksek doğruluğun yanında yüksek performans sağladığı da görülür.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında pek çok zorlayıcı durumda insan sayımını gerçekleştirebilecek güvenilir bir ziyaretçi sayma sistemi gerçekleştirilmiştir.

Sistem için C++ yazılım dili ve OpenCv kütüphanesi kullanılarak geliştirilen bilgisayar programı, MS Windows tabanlı bir bilgisayar üzerinde, gözlenmek istenilen alana kuş bakışı bakacak şekilde konumlandırılmış renkli sayısal bir video kameradan başka hiç bir giriş sensörüne ihtiyaç olmadan sayım işlemini yapabilmektedir.

Geliştirilen sistem gün ışığında bir alışveriş merkezinden alınan görüntüler ve floresan aydınlığında bir odaya giriş ve çıkış yaparak bu tez için oluşturulan görüntüler olmak üzere iki grup görüntü üzerinde test edilmiştir. Sistemin her iki durumda da yüksek başarı ile çalıştığı gözlenmiştir.

Sistem benzer sistemler için zorlayıcı olan ve pek çok uygulamanın test edilmediği valiz ve bebek arabası ile geçişlerin bulunduğu, insanların çok yakın veya temas halinde geçtiği, gözlenen alanda yediye kadar kişinin aynı anda bulunduğu durum senaryolarında test edilmiş ve yüksek başarı ile sayım işlemini gerçekleştirdiği görülmüştür.

Tez kapsamında geliştirilen sistem 3 bebek arabası 8 valiz ile geçişin bulunduğu, gözlenen alanlardan toplam 150 insan geçişinin görüldüğü 13 test videosu üzerinde denenmiş ve %99 doğruluk oranı, %94 ayırıcılık oranı ve %96 F-ölçüsü başarısına ulaşmıştır. Video tabanlı bir sayım sistemi için %100 başarının mümkün görülmediği düşünülecek olursa ulaşılan bu başarı oranının bir insan sayma sitemi için maksimuma çok yakın olduğu söylenebilir. 150 giriş ve çıkış benzer sistemlerin test edildiği

durumlarla karşılaştırıldığında oldukça yüksektir. Bu şekilde geliştirilen sistem olabildiğince çok farklı durum senaryosunda test edilmiştir.

Geliştirilen sistem insanların tespitinde blok tabanlı arka plan çıkarma ve k-ortalımalı bölütlemeyi kullanır. Blok tabanlı arka plan çıkarma yönteminde görüntü önce bloklara ayrılır. Sonra her bir blokta bulunan piksel değerleri kestirilen bir arka plan görüntüsündeki piksel değerleri ile karşılaştırılır. Karşılaştırma sonucu bloğun ön plana mı yoksa arka plana mı ait olup olduğuna karar verilir.

Blok tabanlı arka plan ön plan modeli, geliştirilen sistemin ışık değişimlerinden ve geçişler sırasında oluşacak gölgelenmelerden minimum düzeyde etkilenmesini sağlayarak arka plan çıkarma işleminin başarısını artırır. Buna ek olarak kullanılan k-ortalımalı bölütleme algoritmasının gerçek zamanlı performans verebilmesi de bu yöntem sayesinde mümkün olur.

İnsan sayma sistemlerinde birden çok insanın aynı anda geçişlerinin neden olacağı temaslar, hareket sırasında birleşmeler ve ayrışmalar kaçınılmazdır. Bu tezde bu birleşme durumlarında dahi hareket halindeki insanların tek başlarına bölütlenmesi için k-ortalımalı bölütleme algoritmasından faydalanılmıştır. Böylelikle pek çok uygulamada kullanılan birleşme ayrışma kontrolü işlemine ihtiyaç kalmadan sayım gerçekleştirilmiştir.

K-ortalımalı kümeleme algoritmalarında küme sayısının bilinmesi gereklidir. Ayrıca küme merkezlerinin konumu algoritma başarısını doğrudan etkiler. Bu çalışmada küme sayısının belirlenmesinde nokta bulutu analizinden faydalanılmıştır. Buna ek olarak başlangıç küme merkezlerinin belirlenmesi için yeni bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem, birden çok insan bulundurduğu tespit edilen nokta bulutlarının çevre dikdörtgenlerine ait merkez noktalarını, kullanarak basit ve hızlı bir şekilde olası insan konumlarını belirler ve başlangıç küme merkezi olarak atar. Bu yöntem sayesinde hem bölütlemenin çok daha yüksek başarı oranı ile yapılabilmesi hem de sistemin üç, dört, beş gibi çok sayıda insanın aynı anda geçtiği durumlarda da başarı ile çalışabilmesi sağlanmış olur.

İnsan sayım işleminin gerçekleştirilebilmesi için geçiş yapan insanların gözlenen alan boyunca takip edilebilmesi gereklidir. Takip işlemi için bir karede tespit edilen hareketli

nesnelerin bir önce ki karede tespit edilen nesneler ile eşleştirilmesine ihtiyaç vardır. Eşleştirme sisteme yük getirecek komplike takip algoritmalarının kullanılması yerine sadece takip eden karelerde tespit edilen birbirine en yakın insanların birbiri ile eşleştirilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem oldukça basit ve hızlıdır. Buna karşın deneyler sonucunda bazı karelerde eşleşme hatalarının olduğu ve bu hataların iki durumda eksik sayımlara neden olduğu gözlenmiştir.

İnsan sayma sistemlerinin zorlandığı bir diğer durumda insan olmayan nesne geçişlerinin insan geçişlerinden ayrılmasıdır. Bu gibi sistemlerin kullanılması muhtemel alanlarda valiz taşıyan, bebek arabası veya alışveriş sepeti ile geçiş yapan insanların bulunması kaçınılmazdır. Bu çalışmada bu tarz nesne geçişlerinin tespitinde karmaşık yapay zeka algoritmalarına ihtiyaç duymadan insan/nesne tespitini gerçekleştirecek bir yöntem kullanılmıştır.

Yöntem bebek arabası, valiz gibi sert hatlara sahip cisimlerin üzerlerinde, insanlara oranla daha fazla doğrusal parça bulunacağı prensibine dayanır. Hough dönüşümünden faydalanılarak, geçişler sırasında tespit edilen her hareketli nesnenin, üzerindeki doğrusal parçalar tespit edilmiştir. Daha sonra nesneler üzerinde tespit edilen doğru sayılarına bakılarak geçişlerin insana mı yoksa nesneye mi ait olduğu karara varılmıştır.

Sistemin test edildiği videolarda üçü bebek arabası sekizi valiz ile olmak üzere toplam on bir nesne geçişi bulunmaktadır. Bu geçişlerden hiç biri sistemde sayım hatasına neden olmamıştır. İnsan/nesne ayrımında insan geçişlerinin nesne olarak sınıflandırılmaması çok önemlidir. Kullanılan insan/nesne tespit yöntemi doğru şekilde takip edilen 144 insan geçişinden sadece ikisini nesne olarak sınıflandırmıştır. Böylelikle oldukça düşük bir sahte pozitif oranına ulaşılmıştır.

Sonuç olarak bu çalışmada kullanılan insan/nesne tespit yöntemi %80 doğruluk oranı, %100 ayıricılık oranı ve %88 F-ölçümü başarıyla insan/nesne ayrımını gerçekleştirmiştir.

Geliştirilen sistemin performans açısından da oldukça başarılı olduğu söylenebilir. Bir gözetim uygulaması için oldukça yüksek sayılabilecek 640x480 çözünürlüğe sahip görüntüler üzerinden saniyede ortalama yirmi karelik bir performans sağlanmıştır. Bu

performansın yazılım üzerinde çeşitli optimizasyonlar yapılarak daha da artırılması mümkündür.

Deneyler sonucunda kullanılan takip algoritmasının bazı durumlarda hataya neden olduğu görülmüştür. Algoritmanın daha çok parametre kullanarak eşleşmeleri gerçekleştirecek bir şekilde geliştirilmesi sistem başarısını artırabilir. Gelecek çalışmalarda bu konu üzerinde durularak takip işlemini daha başarılı yapacak bir modül geliştirilir ise insan sayım güvenilirliği artırılabilir.

Sistem için geliştirilen yazılım komut satırı üzerinde çalıştırılabilecek seviyededir. Sitemin genel kullanımına geçilebilmesi için bir kullanıcı ara yüzünün geliştirilmesi gereklidir. Sistem yapısı gereği ilk çalışma anından sonra kullanıcının çok fazla müdahalesine ihtiyaç duymaz. Bu yüzden basit ve kullanıcı dostu bir ara yüzün geliştirilmesi sistemin dağıtımına geçilmesi için yeterli olacaktır.

Bu çalışmada geliştirilen yazılım Windows tabanlı bir makine üzerinde geliştirilmiş olsa da kullanılan OpenCv kütüphaneleri değişik platformlarda kullanılmaya uygundur. Bu sayede sistem ufak modifikasyonlarla değişik platformlara uyarlanabilir.

Hem maliyetlerin düşürülmesi hem de ihtiyaç duyulan alanda kurulumun daha kolay yapılabilmesi için görüntünün alınacağı kamerayı da üzerinden bulunduran gömülü bir insan sayma sistemine ihtiyaç vardır. Bu çalışmada sayım için kullanılan yöntem gömülü sistemler üzerinde kullanılmaya uygundur. OpenCv'nin sağladığı avantajlardan faydalanılarak yazılımın kolayca Android işletim sistemi tabanlı bir cihaza uyarlanması mümkün olacağı gibi seçilecek işlemciye uygun yeni bir yazılımın geliştirilmesi de mümkün olabilir. İnsan sayımı için geliştirilecek gömülü bir sistem, sadece bu amaç için ayrılmış kuvvetli bir işlemcinin kullanımıyla performans açısından da ciddi avantajlar sağlayabilir.

Alışveriş merkezleri, turistik mekânlar gibi yıl içerisindeki ziyaretçi sayısının takip edilmesine ihtiyaç duyulan alanlarda sayım işlemini insan akışını engellemeden, yüksek doğruluk ve güvenilirlik ile gerçekleştirebilecek gerçek zamanlı video tabanlı bir sistem bu çalışma sonucunda geliştirilmiştir.

Sistem yakaladığı yüksek doğruluk oranının yanında çok sayıda insanın aynı anda geçişi durumunda da çalışabilmesi ve bebek arabası valiz gibi nesnelerin geçişlerini tespit

ederek sayım hatalarına neden olmaması özellikleri ile bu alanda daha önce önerilen sistemlere üstünlük sağlamaktadır. Çalışma sırasında geliştirilen sistem ayrıca yüksek zorlayıcılık oranına sahip gerçek görüntüler üzerinde test edilmiş ve bu durumlarda dahi yüksek başarı yakaladığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Velipasalar S., Tian Y.-L., ve Hampapur A. (2006). "Automatic counting of interacting people by using a single uncalibrated camera," IEEE International Conference of Multimedia and Expo, , 0:1265–1268, 9-12 July Toronto.
- [2] Haritaoglu I., Harwood D. ve Davis L., (2000). "W4: real time surveillance of people and their activities", IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8:809-830
- [3] Haritaoglu I. ve Flickner M. (2001). "Detection and tracking of shopping groups in stores", Proceeding of the IEEE Computer Vision and Pattern Recognition, 1:431-438, December 2001 Kauai
- [4] T. Zhao ve R. Nevatia (2003). "Bayesian human segmentation in crowded situations," in Computer Vision and Pattern Recognition, 459–466,. 18-20 July 2003 Wisconsin
- [5] Bala V. B., Deschamps A. ve Carincotte C. (2012). "Counting people in the crowd using a generic head detector" IEEE Ninth International Conference on Advanced Video and Signal-Based Surveillance, 470-475, 18-21 September 2012 Beijing
- [6] Ye Q., (2010). "A robust method for counting people in complex indoor spaces" 2nd International Conference on Education Technology and Computer (ICETC), 22-24 June Shangai
- [7] Liu X., Tu P.H., Rittscher J., Perera A. ve Krahnstoeve N., (2005). "Detecting and counting people in surveillance applications", IEEE Conf. on Advanced Video and Signal Based Surveillance, 306-311, 15-16 September, 2005 Como.
- [8] Albiol A., Mora I. ve Naranjo V., (2001). "Real-time high density people counter using morphological tools," IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. 2:204–218,
- [9] Snidaro L., Micheloni C. ve Chiavedale C., (2005). "Videosecurity for ambient intelligence," IEEE Transactions Systems, Man and Cybernetics, Part A, , 35:133–144.
- [10] Yu S., Chen X., Sun W. ve Xie D., (2008). "A Robust Method for Detecting and Counting People" International Conference on Audio, Language and Image Processing, 1545:1549 07-09 July 2008, Shangai

- [11] Barandiaran J., Murguia B., ve Boto F., (2008). "Real-time people counting using multiple lines," Ninth International Workshop on Image Analysis for Multimedia Interactive Services, , 159–162, May 7-9, 2008, Klagenfurt
- [12] Jaijing K., Kaewtrakulpong P. ve Siddhichai S., (2009). "Object Detection and Modeling Algorithm for Automatic Visual People Counting System" 6th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, ECTI-CON 2009. sayı:02, sayfa 1062 – 1065. May 2009 Pataya
- [13] Zhang X., Yan J., Feng S., Lei Z., Yi D. ve Li S.Z., (2012). "Water Filling: Unsupervised People Counting via Vertical Kinect Sensor", IEEE Ninth International Conference on Advanced Video and Signal-Based Surveillance, 215-220, 18-21 September 2012, Beijing
- [14] Hernandez D., Castrillon M. ve Lorenzo J., (2011). "People counting with re-identification using depth cameras", Imaging for Crime Detection and Prevention 2011 (ICDP 2011), 1-6, 3-4 Nov 2011 London
- [15] García J., Gardel A., Bravo I. ve Lázaro J.L., and Martínez M., (2012). "Tracking People Motion Based on Extended Condensation Algorithm", Systems, Man, and Cybernetics: Systems, IEEE Transactions , 43:606-618
- [16] Antic B., Letic D., Culibrk D., ve Crnojevic V., (2009). "K-means based segmentation for real time zenithal people counting", IEEE 16th International Conference Image Processing (ICIP), 2565-2568, 7-10 October 2009 Cairo.
- [17] Xu X., Wang Z., Liang Y. ve Zhang Y., (2007). "A Rapid Method for Passing People Counting Monocular Video Sequences", 1657-1662, Proceedings of the Sixth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, , 19-22 August 2007, Hong Kong
- [18] Chen C.H., Chang Y.C., Chen T.Y. ve Wang D.J., (2008). "People counting system for getting in/out of a bus based on video processing," Eighth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA), 565–569, 26-28 November 2008, Kaohsiung
- [19] Ma H., Lu H. ve Zhang M., (2008). "A Real-time Effective System for Tracking Passing People Using a Single Camera", Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation, June 25- 27, 2008, Chongqing, China
- [20] Cheung S-C.S. ve Kamath C., (2004). "Robust techniques for background subtraction in urban traffic video," Video Communications and Image Processing, January 2004 San Jose,
- [21] Wren C., Azabajejani A., Darrel T. ve Pentland A., (1997). "Pfindex: Real-time tracking of the human body," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 19:780-785.
- [22] Stauffer C. ve Grimson W.E.L., (1999). "Adaptive background mixture models for real-time tracking," Proceedings of the IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, 246–252, 23-25 June 1999, Fort Collins

- [23] McFarlane N. ve Schofield C., (1995). "Segmentation and tracking of piglets in images," Machine Vision Application; 83:187-193,
- [24] Foresti G. L., (1999). "Object recognition and tracking for remote video surveillance," IEEE Transactions Circuits and Systems for Video Technology., 9:1045–1062.
- [25] Snidaro L. ve Foresti G., (2003). "Real-time thresholding with Euler numbers," Pattern Recognition Letters., 24:1533–1544.
- [26] Akın, Yasemin Koldere, (2008). Veri Madenciliğinde Kümeleme Algoritmaları ve Kümeleme Analizi, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri Anabilim Dalı, İstatistik Bilimdalı
- [27] Jain A.K., Murty M.N. ve Flynn P.J., (1999). "Data Clustering: A Review", ACM Computing Surveys, 31: 264-323 .
- [28] Han J., ve Kamber M., (2001). Data Mining Concepts and Techniques, First Edition, Morgan Kaufman Publisher Inc. San Francisco.
- [29] Ester M., Kriegel H., Sander J. ve Xu X., (1996). "A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise", 2nd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. Portland, USA
- [30] Canny J., (1986). "A computational approach to edge detection," IEEE Transactions Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8:679–698,.
- [31] Sacchi C., Gera G., Marcenaro L., ve Regazzoni C. S., (2001). "Advanced image processing tools for counting people in tourist site-monitoring applications,"IEEE Signal Processing. 81:1017–1040.
- [32] Chutatape O. ve Guo L., (1999),"A modified Hough transform for line detection and its performance,"Pattern Recognition., 32:181–192
- [33] Galambos C., Matas J. ve Kittler J., (1999). "Progressive probabilistic Hough transform for line detection," IEEE Computer Society Computer Vision and Pattern Recognition, Conference , 554–560, 23—25 June 1999

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Mesut Cem AKIN
Doğum Tarihi ve Yeri :13.10.1986 YALOVA
Yabancı Dili :İNGİLİZCE
E-posta :mesustcemakin@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektrik Elektronik Mühendisliği	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi	2010
Lise	Sayısal	Şehit Osman Altinkuyu Anadolu Lisesi	2004