

ÇOK MODLU YAŞAM ALANI GÖZETLEME SİSTEMLERİ

MULTI-MODAL LIVING AREA SURVEILLANCE SYSTEMS

FATİH ERDEN

DOÇ. DR. ALİ ZİYA ALKAR

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim–Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
DOKTORA TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

2015

FATİH ERDEN'in hazırladığı “**Çok Modlu Yaşam Alanı Gözetleme Sistemleri**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **ELEKTRİK VE ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. A. Enis Çetin

Başkan

.....

Doç. Dr. Ali Ziya Alkar

Danışman

.....

Prof. Dr. A. Salim Kayhan

Üye

.....

Yrd. Doç. Dr. Yakup Özkazanç

Üye

.....

Yrd. Doç. Dr. B. Uğur Töreyn

Üye

.....

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **DOKTORA TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fatma SEVİN DÜZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

23/03/2015

FATİH ERDEN

ÖZET

ÇOK MODLU YAŞAM ALANI GÖZETLEME SİSTEMLERİ

Fatih ERDEN

Doktora, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ali Ziya ALKAR

Mart 2015, 102 sayfa

Günümüzde konfor ve hayat kalitesinin artırılması ve belirli işleri daha zahmetsiz ve eğlenceli bir şekilde yapma isteği, yaşam alanlarının akıllı aletlerle donatılmasını vazgeçilmez bir ihtiyaç haline getirmiştir. Bu akıllı ortamların inşa edilmesi ile günlük hayatta sıkça kullandığımız elektrikli aletler, işlevlerini uzaktan ve temassız yönetilerek yürütebilir ve çalıştıkları ortamı bir şekilde gözetleyerek daha etkili ve verimli faaliyet gösterebilirler. Yaşam alanlarının akıllı hale getirilmesi ihtiyacını doğuran bir başka sebep de hasta, yaşlı ve özürlü insanların hayat kalitesini artırmak ve sağlık durumlarını gösteren verilerinin bir şekilde izlenmesiyle olası problemlerin önünü almaktır.

Yukarıda ifade edilen amaçlar doğrultusunda tasarlanmak istenen akıllı aletler, insanların hareketleri ve konumlarına bağlı olarak tanımlanmış tepkileri üretebilmek için gelişmiş gömülü “çevresel zeka” (ambient intelligence-Aml) ve “çevresel destekli yaşam” (ambient assisted living-AAL) teknolojilerine ihtiyaç duyar. Bu çalışmada Aml ve AAL alanlarına yönelik farklı yenilikçi uygulamalar ve yöntemler sunulmaktadır.

Çalışmada ilk olarak piro-elektrik kızılberisi (PIR) algılayıcılar ve kamera yardımıyla elektrikli aletleri uzaktan yönetmeye yarayan el hareketleri tanıma ve

algılama sistemi tanıtılmıştır. İzlenen alanda kamera ile el varlığı tespit edildikten sonra, diferansiyel PIR algılayıcı dizisi ile basit el hareketleri tanınmıştır. Geliştirilen devre yardımıyla PIR algılayıcılara ait sinyaller sayısallaştırılarak, dalgacık tabanında (wavelet domain) işlenmiş ve yeniden tasarlanmış winner-take-all (WTA) imza algoritması ile sınıflandırılmıştır. İki resim arasındaki benzerliği ölçmek için tasarlanan WTA imza algoritması, ilk defa tek boyutlu sinyallerin sınıflandırılmasında kullanılmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında yine diferansiyel PIR algılayıcı ve kameranın birlikte kullanımıyla belirli bir alandaki insan sayısını hassas bir şekilde kestirebilen bir sistem sunulmuştur. İzlenen alanda görüntü işlemeye dayalı insan yüzleri tespiti üzerinden yapılan insan sayma işleminde karşılaşılan hatalar, PIR algılayıcı verilerinin de işlenmesiyle elde edilen ilave bilgiler sayesinde azaltılmıştır. PIR algılayıcı sinyalleri dalgacık tabanında işlenmiş ve Markov modellere dayalı bir sınıflandırma yöntemiyle insanın sıradan hareketleri ve izlenen alana giriş/çıkış hareketleri %3'ün altında bir hata oranıyla ayırt edilmiştir. Bu sonuç insan sayısı kestiriminde sadece kamera kullanılan duruma göre %8'lik bir iyileşmeyi netice vermiştir.

AAL alanında yapılan bir diğer çalışma, titreşim ve PIR algılayıcıları kullanarak insana ait solunum hareketleri izleme sistemidir. Farklı tipteki algılayıcılardan elde edilen sinyaller, görgül kip ayrıştırma (EMD) ve dalgacık dönüşümü yöntemleriyle işlenmiştir. İşlenen farklı algılayıcı sinyalleri yeni bir çok modlu ortalama büyüklük fark fonksiyonunda (AMDF) tümleştirilerek, solunum aktivitesinin varlığı ve solunum hızına karar verilmiştir. EMD ve dalgacık dönüşümü yöntemlerinin ürettiği sonuçlar karşılaştırılmıştır. Önerilen çok modlu sistem solunum hızını, her iki yöntem için de en fazla 2 solunum/dakika sapmayla belirleyebilmiştir. Ayrıca çok modlu bu sistem ile uyku apnesi tespitinin de yapılabileceği gösterilmiştir. Tercih edilen algılayıcı çeşitleri sebebiyle sistem, alanında ilktir.

Çalışmada son olarak insan algılama ve izlemeye yönelik yeni bir yöntem sunulmuştur. Resim karesinde hareketli olduğu belirlenen bölgelere ait öznitelikler, bölgesel ortak değişim (regional covariance) ve bölgesel ortak fark (regional co-difference) yöntemleriyle çıkarılmıştır. Bu öznitelikler destek vektör makinelerine (SVM) beslenerek ilgili bölgedeki insan varlığına karar verilmiştir ve belirtilen öznitelik çıkarımı yöntemlerinin performansları karşılaştırılmıştır. Daha sonra

bilinen ve genellenmiş özdeğerlere (generalized eigenvalues) dayalı olarak izleme yapan yönteme alternatif olarak, WTA kodlarına dayalı bir izleme metodu önerilmiştir. Bu iki metoda ait izleme sonuçları karşılaştırılmış ve önerilen metodun işlem yükünü azaltırken, izleme hassasiyetini kabul edilebilir ölçüde koruduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Piro-elektrik kızılberisi (PIR) algılayıcı, titreşim algılayıcı, el hareketleri tanıma, insan sayma, solunum hızı tespiti, insan algılama ve izleme, algılayıcı tümleştirme, çevresel zeka, çevre destekli yaşam.

ABSTRACT

MULTI-MODAL LIVING AREA SURVEILLANCE SYSTEMS

Fatih ERDEN

**Doctor of Philosophy, Department of Electrical and Electronics
Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Ali Ziya ALKAR

March 2015, 102 pages

Today, the desire to increase the quality of life and comfort level and to do the daily jobs effortlessly and entertainingly has led the living areas to be equipped by intelligent devices. By building these intelligent environments the electrical devices, which we use very often in our daily lives, can be controlled contactless and remotely by the users. They can also function more efficiently and effectively by surveilling the environment they operate in. Another reason that makes intelligent living areas a necessity is to prevent potential health problems of elderly, disabled and already sick people.

The electrical devices, which is designed to serve the aims mentioned above, needs advanced embedded ambient intelligence (Aml) and ambient assisted living (AAL) technologies to react accordingly with the actions and locations of people in the living areas. In this study different novel applications and methods related to Aml and AAL fields are proposed.

First, a hand gesture detection and recognition system that uses a differential pyro-electric infrared (PIR) sensor array and a camera to control the electrical devices remotely is introduced. Having detected the hand presence in the

surveillance area by using the camera, simple hand gestures are recognized by the differential PIR sensor array. PIR sensors' signals are digitized with the help of a special circuit and transferred to a general purpose computer. The signals are then processed in the wavelet domain and classified by a modified winner-take-all (WTA) hash method. The WTA hash algorithm designed to measure the similarity between two images is used first in this study to classify 1-D signals.

In the second stage of this study a system consisting of a differential PIR sensor and a camera to estimate the number of people robustly in a definite area is proposed. Some errors have occurred while estimating the number of people from faces in the surveillance area by using only the image analysis. These errors are reduced by utilizing the additional information obtained from the PIR sensor signal analysis. The sensor signals are processed in the wavelet domain and then used to distinguish the entrance to/exit from the surveillance area and ordinary activities of people in that area. A Markov model based approach is employed for the classification of these two types of actions and as a result an error below 3% is achieved. The multi-modal system provides an improvement of about 8% in the accuracy success.

Another study in the AAL field is the respiratory activity tracking system which consists of a vibration and a differential PIR sensor. The signals acquired from different types of sensors are processed using wavelet transform and empirical mode decomposition (EMD). Processed sensor data are fused by using a new average magnitude difference function (AMDF) to detect respiratory movements and estimate the respiratory rate. The results produced by the wavelet and EMD methods are compared. The proposed multi-modal system can estimate the respiratory rate with a maximum of 2 breathings/minute deviation from the ground truth for both methods. The system is capable of detecting the sleep apnea as well. The study is first in its field to fuse the PIR and the vibration sensor data.

In the final stage of the study, a new human detection and tracking method is presented. The features corresponding to the moving regions in the video frame are extracted by using regional covariance and co-difference methods. These features are then fed to support vector machines (SVMs) to detect human and the detection results of the two methods are compared. A new tracking method which replaces the generalized eigenvalues with WTA hash codes in the well-known

tracking technique is proposed. The tracking performances of the two methods are compared. The new method achieves an acceptable performance while reducing the computational complexity significantly.

Keywords: Pyro-electric infrared (PIR) sensor, vibration sensor, hand gesture recognition, people counting, respiratory rate measurement, human recognition and tracking, sensor fusion, ambient intelligence, ambient assisted living.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında değerli katkı ve eleştirileriyle yol gösteren, her zaman çalışmaya teşvik eden ve güven veren eski danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. A. Semih Bingöl ve danışmanım Sayın Doç. Dr. Ali Ziya Alkar'a, yüksek lisans eğitimimin başlangıcından bu yana her konuda yardımcı ve yönlendirici olan Sayın Yrd. Doç. Dr. B. Uğur Töreyin ve Prof. Dr. A. Enis Çetin'e, önemli yorum ve değerlendirmeleri ile katkıda bulunan jüri üyesi Sayın Yrd. Doç. Dr. Yakup Özkazanç'a, her türlü desteği esirgemeyen değerli arkadaşım Osman Günay'a ve her zaman manevi olarak yanımda olan Ailem'e içtenlikle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ÇİZELGELER.....	x
ŞEKİLLER.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Katkısı.....	4
1.1.1. Farklı Algılayıcıların Birlikte Kullanımı ve Algılayıcı Verilerinin Tümleştirilmesi	4
1.1.2. Basitlik ve Uygulanabilirlik	5
1.2. Tez Planı	6
2. DİFERANSİYEL PIR ALGILAYICILAR VE KAMERA YARDIMIYLA EL HAREKETLERİNİN ALGILANMASI VE SINIFLANDIRILMASI	7
2.1. Literatür Özeti.....	8
2.2. Video Analizi ile El Hareketlerinin Algılanması ve Sınıflandırılması.....	9
2.2.1. Klasik Renk Uzayları Kullanarak Ten Algılama	10
2.2.2. Dışbükey Zarf ve Gedik Analizi	11
2.3. Diferansiyel PIR Algılayıcı Dizisi ile Hareket Algılanması ve El Hareketlerinin Sınıflandırılması	13
2.3.1. Diferansiyel PIR Algılayıcı Sistemin Çalışma Prensipleri ve Veri Aktarımı .	13
2.3.2. Algılayıcıların Çıkış Sinyallerinin İşlenmesi ve WTA Tabanlı Karar Mekanizması	17
2.4. Çok Modlu Sistem Karar Mekanizması.....	21
2.5. Uygulama ve Deneysel Sonuçlar	23
3. DİFERANSİYEL PIR ALGILAYICI VE KAMERA YARDIMIYLA HASSAS İNSAN SAYMA.....	28
3.1. Literatür Özeti.....	29
3.2. Kamera ile Yüz Algılama ve Sayma	32
3.2.1. Öznitelik Çıkarımı	33

3.2.2. İntegral Görüntü	34
3.2.3. AdaBoost Makine Öğrenme Metodu	35
3.2.4. Basamak Yapı	37
3.3. Diferansiyel PIR Algılayıcı ile İnsan Hareketlerinin Sınıflandırılması	39
3.3.1. Markov Modelleme	41
3.3.2. Markov Modeller Tabanlı Sınıflandırma.....	45
3.4. Çok Modlu Sistem ile Yüz Sayma	47
3.5. Uygulama ve Deneysel Sonuçlar	49
4. TİTREŞİM VE DİFERANSİYEL PIR ALGILAYICILARLA TEMASSIZ SOLUNUM HIZI ÖLÇÜMÜ	55
4.1. Literatür Özeti.....	56
4.2. Veri Aktarımı.....	58
4.2.1. PIR Algılayıcı.....	58
4.2.2. Titreşim Algılayıcı	59
4.3. Algılayıcı Sinyallerinin İşlenmesi	59
4.3.1. Dalgacık Ayırıştırma	61
4.3.2. EMD	62
4.3.3. AMDF	65
4.4. Uygulama ve Deneysel Sonuçlar	67
5. KAMERA YARDIMIYLA İNSAN ALGILAMA VE İZLEME	71
5.1. Literatür Özeti.....	73
5.2. Hareketli Hedef Tespiti ve İnsan Algılama.....	75
5.2.1. Arkaplan Eksiltme.....	75
5.2.1.1 Uyarlamalı Arkaplan Eksiltme.....	75
5.2.1.2 Üç-kare Farklama.....	76
5.2.2. Bölgesel Ortak Değişinti Metodu (Regional Covariance Method).....	77
5.2.3. Bölgesel Ortak Fark Metodu (Regional Co-difference Method).....	79
5.2.4. Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machines)	80
5.3. İnsan İzleme	81
5.4. Uygulama ve Deneysel Sonuçlar	85
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	89
KAYNAKLAR.....	92
ÖZGEÇMİŞ.....	101

ÇİZELGELER

Sayfa

Çizelge 2.1. Jaccard uzaklık ölçütü değer çizelgesi	21
Çizelge 2.2. Farklı algılayıcı seçimleri için 6 farklı kullanıcıya ait 312 soldan-sağa/sağdan-sola el hareketi sınıflandırma sonuçları. En iyi sonuçlar çok modlu sistemle elde edilmiştir (son satır).	25
Çizelge 2.3. Farklı algılayıcı seçimleri için 6 farklı kullanıcıya ait 298 aşağıdan-yukarıya/yukarıdan-aşağıya el hareketi sınıflandırma sonuçları. En iyi sonuçlar çok modlu sistemle elde edilmiştir (son satır).	26
Çizelge 2.4. 6 farklı kullanıcıya ait, üç diferansiyel PIR algılayıcı ve bir kamera yardımıyla el hareketleri sınıflandırma sonuçları.	27
Çizelge 3.1. Diferansiyel PIR algılayıcı ile Markov model tabanlı sınıflandırma sonuçları. Algılayıcı sinyali analizi 2 saniyelik pencereler üzerinde yapılmaktadır.50	
Çizelge 3.2. Diferansiyel PIR algılayıcı ile Markov model tabanlı sınıflandırma sonuçları. Algılayıcı sinyali analizi 3 saniyelik pencereler üzerinde yapılmaktadır.51	
Çizelge 3.3. 12 test video dizini için sadece kamera yardımıyla yapılan insan sayma işlemine ait sonuçlar	52
Çizelge 3.4. 12 test video dizini için çok modlu sistem yardımıyla yapılan insan sayma işlemine ait sonuçlar	52
Çizelge 4.1. Çok modlu sistemin 10 farklı denek için dalgacık ayrıştırma yöntemi ile ürettiği solunum hızı tespiti güvenilirlik yüzdeleri.....	68
Çizelge 4.2. Çok modlu sistemin 10 farklı denek için EMD yöntemi ile ürettiği solunum hızı tespiti güvenilirlik yüzdeleri.....	68
Çizelge 5.1. INRIA veri setindeki 1132 pozitif ve 4530 negatif test resmi için bölgesel ortak değişinti ve bölgesel fark metotlarına ait başarı oranları.....	86
Çizelge 5.2. 4 video dizisi için, genellenmiş özdeğerler üzerinden hesaplanan mesafe ölçütü- dF tabanlı izleme sonuçları.....	87
Çizelge 5.3. 4 video dizisi için, WTA kodları üzerinden hesaplanan mesafe ölçütü- dW tabanlı izleme sonuçları	87

ŞEKİLLER

Sayfa

Şekil 2.1. Asıl el görüntüsü ve bu görüntüden elde edilen ikili (binary) maske	11
Şekil 2.2. Dışbükey zarf, en büyük kontur, derinlik, başlangıç ve bitiş noktalarının gösterimi. Mavi çizgi dışbükey zarf, açık yeşil çizgi en büyük kontur, koyu yeşil çizgi derinlik, kırmızı nokta başlangıç noktası ve sarı nokta bitiş noktası. En büyük alana sahip kontur seçilerek el olduğu varsayılır.	12
Şekil 2.3. Diferansiyel bir PIR algılayıcının iç yapısının modeli	13
Şekil 2.4. Sürekli bir analog sinyal elde etmek için değiştirilmiş kızılberisi algılayıcı devresi devresi	15
Şekil 2.5. Görüş alanında hiçbir aktivitenin olmadığı durumdaki tipik bir PIR algılayıcı çıkış sinyali (Örnekleme frekansı 100 Hz)	16
Şekil 2.6. Elin soldan sağa kaydırılması hareketine karşı, aynı yatay hizada bulunan iki PIR algılayıcının ürettiği tepkiler (Örnekleme frekansı 100 Hz)	16
Şekil 2.7. Dalgacık katsayılarının $-w[k]$ bulunması ($H(z)$, filtre katsayıları $\{-1/4, 1/2, -1/4\}$ olan yüksek geçiren filtreyi temsil etmektedir.)	17
Şekil 2.8. Sırasal ölçüler, doğrusal benzeşme ölçüsünün (iç çarpım) yansıtamadığı farklılıkları yakalayabilir.	18
Şekil 2.9. 6 uzunluklu 4 farklı öznitelik vektörünün, WTA imza algoritması ile ikili kodlara dönüştürülmesi. (c) ve (d)'deki X sırasıyla; (a)'dakinin ölçeklenmiş-kaydırılmış, ± 1 bozulmuş uyarlamasıdır ve (a) ile aynı ikili kodla sonuçlanır. (b)'deki X , (a)'daki ile ilintili değildir ve farklı kodla sonuçlanır.	20
Şekil 2.10. Çok modlu sistem karar mekanizması	22
Şekil 2.11. İki diferansiyel PIR algılayıcı ve bir kameradan oluşan çok modlu el hareketleri algılama ve tanıma sistemi düzeneği	24
Şekil 2.12. Uygulamaya ait örnek bir ekran görüntüsü	25
Şekil 2.13. Üç diferansiyel PIR algılayıcı ve bir kameradan oluşan el hareketleri tanıma sistemi	26
Şekil 3.1. Haar benzeri (a) iki dikdörtgenli, (b) üç dikdörtgenli ve (c) dört dikdörtgenli öznitelik örnekleri	34
Şekil 3.2. İntegral görüntü gösterimi	35
Şekil 3.3. AdaBoost tarafından seçilen ilk iki Haar benzeri öznitelikler	37
Şekil 3.4. Basamaklı sınıflandırıcı yapı	38

Şekil 3.5. Örnek bir resme ait sınıflandırıcılar tarafından üretilen dikdörtgen bölge listesi	39
Şekil 3.6. Viola-Jones yüz algılayıcısının [34] üç test resmi üzerindeki çıktıları	40
Şekil 3.7. (a) İnsanın izlenen alana giriş/çıkışı ve (b) izlenen alanda basit el-kol hareketlerine ait örnek eğitim sinyallerinin dalgacık dönüşümü.....	42
Şekil 3.8. Durum tanımları için kullanılan $T1$ ve $T2$ eşik değerlerinin, algılayıcısının görüş alanında hiçbir aktivite olmadığı durumdaki test sinyali üzerinde gösterilişi	43
Şekil 3.9. (a) İnsanın izlenen alana giriş/çıkışı ve (b) diğer hareketleri sınıflarına ait üç-durumlu Markov modeller ve durumlar arası geçiş sayıları tanımları	45
Şekil 3.10. Sadece kamera kullanımı ile yüz saymada karşılaşılan (a) yanlış negatif ve (b) yanlış pozitif örnekleri	48
Şekil 3.11. Çok modlu yüz sayma sistemine ait örnek bir ekran görüntüsü.....	49
Şekil 3.12. Sadece kamera kullanan sistem ve çok modlu sistemin performanslarını gösteren algılama işletim (ROC) eğrileri grafiği	53
Şekil 4.1. Çok modlu solunum hızı ölçüm sistemi düzeneği.....	55
Şekil 4.2. PIR algılayıcıya 1 metre mesafede bulunan bir insana ait nefes alıp verme aktivitesine karşılık gelen algılayıcı sinyali. Örneklem frekansı 20 Hz.	58
Şekil 4.3. Yatakta uzanan bir insanın solunum aktivitesine ait tipik bir titreşim algılayıcı sinyali. Örneklem frekansı 20 Hz.....	60
Şekil 4.4. Yatakta 2 saniyelik dönme hareketi yapan bir insana ait titreşim algılayıcı sinyali.	60
Şekil 4.5. 2 basamaklı bir dalgacık ayrıştırma yapısı.....	61
Şekil 4.6. Bir insanın nefes alıp verme aktivitesine karşılık gelen PIR ve titreşim algılayıcı sinyallerin dalgacık dönüşümleri	63
Şekil 4.7. PIR algılayıcılara 1 metre mesafede bulunan ve sırt üstü yatan bir insanın nefes alıp verme aktivitesine karşılık gelen PIR algılayıcı içsel kip sinyalleri	64
Şekil 4.8. Şekil 4.6.'da gösterilen PIR algılayıcı dalgacık sinyalinin AMDF çıktısı	65
Şekil 4.9. Uyku apnesine karşılık gelen titreşim algılayıcı dalgacık sinyalinin AMDF çıktısı. Lokal minimum gözlenmemektedir.....	69
Şekil 5.1. İki aşamalı arkaplan eksiltme metodunun bir kare için uygulaması.....	78
Şekil 5.2. Bölgesel ortak değişinti metodu ile yürütülmüş sınıflandırma sonuçlarını gösteren örnek bir video karesi	80

Şekil 5.3. 4 farklı video dizisi için WTA kodları üzerinden tanımlanan mesafe ölçütüne dayalı izleme sonuçları	83
Şekil 5.4. İnsan tanıma ve izleme sistemi çalışma yöntemi	84
Şekil 5.5. (a) Genellenmiş özdeğerler tabanlı Förstner mesafe ölçütü ve (b) WTA kodları tabanlı yeni mesafe ölçütüne dayalı izleme	88

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

d_F	Genellenmiş özdeğerler tabanlı Förstner mesafe ölçütü
d_W	WTA kodları tabanlı Jaccard mesafe ölçütü
m	metre
ms	milisaniye
V	Volt

Kısaltmalar

ADL	Günlük Yaşam Aktivitesi
AMDF	Ortalama Büyüklük Fark Fonksiyonu
Aml	Çevresel Zeka
CAR	24 Saatlik Aktivite Ritmi
EMD	Görgül Kip Ayırıştırma
FFT	Hızlı Fourier Dönüşümü
GMM	Gauss Karışım Modeli
HSV	Renk Özü-Doygunluk-Parlaklık (Renk Uzayı)
MM	Markov Model
PIR	Piro-elektrik Kızılberisi
RCM	Bölgesel Ortak Değişinti Metodu
RGA	Yürüyen Gaussian Ortalaması
RGB	Kırmızı-Yeşil-Mavi (Renk Uzayı)
SVM	Destek Vektör Makineleri
WTA	Winner-Take-All
YCrCb	Parlaklık-Kırmızı Renklilik-Mavi Renklilik (Renk Uzayı)

1. GİRİŞ

Günümüzde konfor ve hayat kalitesinin artırılması ve belirli işleri daha zahmetsiz ve eğlenceli bir şekilde yapma isteği, yaşam alanlarının akıllı aletlerle donatılmasını vazgeçilmez bir ihtiyaç haline getirmiştir. Bu akıllı ortamların inşa edilmesi ile günlük hayatta sıkça kullandığımız elektrikli aletler, işlevlerini uzaktan ve temassız yönetilerek yürütebilir ve çalıştıkları ortamı bir şekilde (yaygın olarak kamera, sismik algılayıcı, mikrofon, ivme ölçer, adım sayar ve piro-elektrik kızılberisi (PIR) algılayıcıları amaca özel olarak teker teker, bir dizi halinde veya bunlardan birkaçını birleştirerek) gözetleyerek daha etkili ve verimli faaliyet gösterebilirler. Örnek olarak, televizyonlar bir uzaktan kumanda aletine ihtiyaç duymaksızın insanların el hareketleri ile program değiştirebilir, ses kontrolü yapabilir veya bir klima, ilgili alanda daha çok insanların yoğun olduğu yerlere yönelerek etkili ve verimli bir ısıtma/soğutma sağlayabilir. Bu örnek ve benzerleri ile ilgili çalışmalar, insanın varlığıyla beraber doğal hareketlerine interaktif bir şekilde tepki üreten akıllı çevreler şeklinde tanımlanabilecek “Çevresel zeka (Ambient intelligence-Aml)” başlığı altında sınıflandırılabilir.

Yaşam alanlarının akıllı hale getirilmesi ihtiyacını doğuran bir başka sebep de hasta, yaşlı ve özürlü insanların hayat kalitesini artırmak ve sağlık durumlarını gösteren verilerinin bir şekilde izlenmesiyle olası problemlerin önünü almaktır. Bu amaçlara yönelik geliştirilen gözetleme sistemleri temel olarak, insanların yaşamsal faaliyetlerinde belirgin bir değişiklik olduğunda ya da acil bir müdahaleye ihtiyaç duyulduğunda bir alarm tetikleyerek gerekli yardımın sağlanması veya belirli bir sistemin istenen tepkiyi üretmesi maksadını taşımaktadır [1]. Bu alandaki çalışmalar, “Çevresel destekli yaşam (Ambient assisted living-AAL)” kavramı altında yer alır.

2000-2005 yıllarında 65 yaş civarında olan küresel ömür ortalamasının, 2045-2050 yıllarında 75 yaşına yaklaşacağı tahmin edilmektedir. Günümüzde gelişmiş ülkelerde 60 yaş üstü nüfusun toplam nüfusa oranı %20 iken, 2050’de bu oranın %32 seviyesine tırmanması beklenmektedir [2]. Ortalama ömrün ve yaşlı nüfusun artması, günümüzde başkalarına ihtiyaç duymadan yaşamın sürdürülebilmesi ve sağlık harcamalarının azaltılması için akıllı evlerin geliştirilmesini daha da önemli hale getirmektedir. Ayrıca bağımsız yaşayabilme sadece yalnız yaşayan yaşlılar için değil, aynı zamanda kronik hastalıkları veya engelleri olan insanlar için de

kritik bir gereksinimdir. AAL çalışmalarına örnek olarak; yalnız yaşayan yaşlıların dūřmelerinin tespit edilmesi, hastalıkları sebebiyle insanların solunum aktivitelerinin takip edilmesi ve semptomların bakım merkezlerine gönderilmesi verilebilir. AAL sistemleri ile insanların sağlığına ilişkin üretilen veriler yetkililerce izlenerek erken teşhis ve acil müdahale imkanı oluşturulabilir.

Yukarıda ifade edilen amaçlar doğrultusunda tasarlanmak istenen akıllı aletler, insanların hareketleri ve konumlarına bağlı olarak tanımlanmış tepkileri üretebilmek için gelişmiş gömülü Aml ve AAL teknolojilerine ihtiyaç duyar. Bu teknolojiler geliştirilirken dikkate alınması gereken birtakım temel prensipler vardır. Aml ve AAL teknolojilerinin kullanılabilirliğine doğrudan etki eden bu prensipler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- *İnsanın doğal iletişim yöntemlerine uyumlu olmaları:* Kolay ve kullanılabilir bir insan-alet etkileşiminde istenen tepkiler, insanların örnek olarak normal bir şekilde konuşmaları, solunumları ve basit el hareketleri gibi doğal davranışlarıyla retilabilir olmalıdır.
- *Yüksek doğrulukla çalışabilmeleri:* Tanımlı olaylara karşılık yapılan analizlerde hata oranı makul bir seviyede olmalı, istenmeyen sonuçlarla karşı karşıya kalma riski azaltılmalıdır.
- *Temassız yönetilebilmeleri ve kullanıcıya rahatsızlık vermeden işleyebilmeleri:* Bu teknolojiler kullanıcıların giyerek kullanmak veya sürekli ellerinde tutmak zorunda oldukları parçalar içermemelidir. rnek olarak, yalnız yaşayan yaşlılar dūřme tespiti için kullanılan ivme ölçerleri verdikleri rahatsızlık sebebiyle üzerlerinde taşımak istememektedirler veya bir elektrikli aleti yönetmede kullanılan uzaktan kumandanın her seferinde odanın bir yerinden almak durumunda olunması, kullanıcılar için zahmet vericidir [3].
- *Yapılmak istenen işlerde kolaylık ve verimlilik sağlayabilmeleri:* İnsan-alet etkileşimi neticesinde yapılmak istenen işler, bu teknolojilerin kullanımıyla beraber daha zahmetsiz hale gelmeli ve verimli bir şekilde yapılabilmelidir.
- *Sadece ihtiyaç olması veya kullanıcının istemesi durumunda aktif olmaları:* Bu teknolojilere sahip aletler sadece kullanıcı etkileşimde bulunmak istediği zaman aktif kipe geçmelidir. Çünkü kullanıcı etkileşim esnasında veya neticesinde bir şekilde sağladığı verileri her zaman paylaşmak istemeyebilir.

- *Gizliliği ihlal etmemesi:* Aml ve AAL teknolojilerinde yararlanılan gözetleme sistemleri, yaşam alanlarındaki gizliliği korumalıdır. Sadece uygulamaya özel veriler, yine sadece ilgililere sağlanmalıdır.

Bu tez çalışmasında yaşam alanlarını daha akıllı hale getirmek maksadıyla geliştirilmiş, birbirinden bağımsız çalışan Aml ve AAL sistemleri tanıtılmaktadır. Sistemler geliştirilirken yukarıda ifade edilen beklentiler karşılanmaya çalışılmıştır. Çalışmamızda özellikle, basit ve düşük maliyetli PIR algılayıcıların başka tip algılayıcılarla tümleştirilerek kullanılması sayesinde, karmaşık Aml ve AAL problemlerine etkili çözümler üretilebileceği vurgulanmaktadır. Kullanılan gözetleme sistemleri uygulamaya özel olarak farklı kamera, diferansiyel PIR algılayıcı dizisi ve titreşim algılayıcı birleşimlerini seçmektedir. Algılayıcılardan elde edilen veriler, çeşitli sinyal ve görüntü işleme yöntemleriyle işlenerek eş zamanlı değerlendirilmekte ve ortak bir karar üretilmektedir. Bu yöntemle tasarlanan sistemler çok modlu gözetleme sistemleri olarak adlandırılmış ve bu sistemlerin, sahip oldukları yapı sebebiyle tek algılayıcı kullanan sistemlere nispeten daha güvenilir sonuçlar ürettiği gösterilmiştir.

Çalışmamızda ilk olarak diferansiyel PIR algılayıcı dizisi ve bir kameradan oluşan el hareketleri algılama ve tanıma sistemi sunulmaktadır. Bu sistem kamera ile el varlığını tespit ettikten sonra, işaret edilen farklı el hareketlerini PIR algılayıcılar yardımıyla tanır. PIR algılayıcı sinyallerinin işlenmesinde uyarlanmış Winner-take-all (WTA) imza metodundan yararlanılmakta ve hareketleri sınıflandırma işlemi dalgacık tabanında (wavelet domain) yürütülmektedir.

Diferansiyel PIR algılayıcı ve kamerayı birlikte kullanarak geliştirdiğimiz bir başka sistem, belirli bir alanda bulunan insan sayısını hassas bir şekilde kestirmeye çalışan gözetleme sistemidir. İnsan sayımı, kamera ile tespit edilen insan yüzleri üzerinden yapılır. İzlenen alana insanların giriş/çıkış hareketleri ile bu alanda hazır bulunan insanların doğal hareketleri PIR algılayıcı yardımıyla ayrıştırılır. Bu sayede kamera ile üretilen yanlış alarmlar, PIR algılayıcıdan elde edilen ilave verilerle azaltılır. PIR algılayıcı sinyallerinin işlenmesinde ve tanımlı olayların sınıflandırılmasında Markov modellerden (MM) faydalanılmaktadır.

Bu tezde ayrıca diferansiyel PIR algılayıcı ve titreşim algılayıcının beraber kullanımı ile geliştirilen solunum algılama ve solunum hızı tespit sistemi

tanıtılmaktadır. Geliştirilen çok modlu sistem ve önerilen yenilikçi yaklaşım ile diğer solunum aktivitesi izlemesi yapan sistem ve metotlara, düşük maliyetli ve yüksek hassasiyetli bir alternatif oluşturulması amaçlanmıştır. Belirtilen algılayıcıların tümleştirilmesi yoluyla solunum hızı daha hassas kestirilebilmektedir. Solunum hızına, solunum aktivitesi tespit edilen sinyalin dönemine bağlı olarak karar verilmektedir. Dönemliliği ve dönemi saptayabilmek için yeni bir çok modlu Ortalama Büyüklük Fark Fonksiyonu (AMDF) tanımlanmıştır.

Çalışmamızda son olarak, sadece kamera kullanılarak tasarlanan bir insan algılama ve izleme metodu tanıtılmaktadır. Ortak değişinti matrisleri üzerinden genellenmiş özdeğerlere dayalı izleme yerine, WTA kodları tabanlı yeni bir izleme yöntemi geliştirilmiştir. Bu sayede izleme algoritmasının işlemsel yükü belirgin ölçüde azaltılırken, izleme hassasiyeti makul düzeyde korunmuştur.

Farklı algılayıcıların birlikte kullanılması ve verilerin eş zamanlı değerlendirilmeleri, tasarlanan sistemi daha fonksiyonel hale getirmekle beraber çoğunlukla, algılanmak istenen hareketin tespitindeki hata oranını azaltmaktadır.

1.1. Tezin Katkısı

Tezin katkısı iki ana kategoride incelenebilir.

1.1.1. Farklı Algılayıcıların Birlikte Kullanımı ve Algılayıcı Verilerinin Tümleştirilmesi

Yaşam alanlarını gözetleyerek akıllı çevreler oluşturmayı amaçlayan sistemlerin karşılaştığı en büyük problemlerden biri kesinliktir. Bu tez çalışmasının en temel katkısı, tespit edilmek istenen olaylarda yüksek doğruluklu kestirimler sağlamak için farklı algılayıcıların birlikte kullanılması ve bu algılayıcılardan elde edilen verilerin tümleştirilmesi problemine yönelik sunulan önerilerdir. Geliştirilen çok modlu gözetleme sistemleri ile tek tip algılayıcı kullanan sistemlerin ürettiği hata oranlarının azaltılması amaçlanmıştır.

Kamera ve PIR algılayıcı dizisi ile el tanıma ve el hareketlerinin sınıflandırılması:

PIR algılayıcılar, ortamından farklı bir sıcaklığı olan hareketli öznelerle tepki üretirler. Dolayısı ile PIR algılayıcılar, sadece el hareketlerinin algılanmak istenmesine rağmen, yüz ve bütün bir insan bedeninin hareket etmesine de tepki üretirler. Bu problemi aşmak için PIR algılayıcılara ilave olarak bir kameradan yararlanılır ve PIR algılayıcı dizisi sinyal analizi, sadece kamera ile bir el varlığı tespit edilmesi durumunda başlar. PIR algılayıcılarla el hareketlerinin

sınıflandırılmasında WTA imza metodu tabanlı yeni bir sınıflandırma yöntemi kullanılmaktadır. İki resim arasındaki benzerliği bir ölçüt üzerinden ifade etmek üzere tasarlanmış WTA imza metodu uyarlanarak, dizideki PIR algılayıcıların her birinden elde edilen tek boyutlu sinyaller tümleştirilir ve sınıflandırılır. Söz konusu problemde WTA kod dizileri karşılaştırılırken, orijinal WTA imza metodunun kullandığı benzeşmezlik ölçütü dizilerin uzunluğuna bağımlı olduğundan, bu ölçüt yerine Jaccard benzeşmezlik ölçütü kullanılır. Bildiğimiz kadarı ile bu çalışma, el hareketlerini tanımda PIR algılayıcı ve kamerayı bir arada kullanan ilk çalışmadır.

Kamera ve PIR algılayıcı ile izlenen alanda insan sayısı kestirimi: Kameradan aktarılan görüntüler işlenirken parlama, aydınlanma ve tanınmak istenen öznenin görüntü açısı gibi problemler yüksek hata oranlarına sebep olur. Kameranın yanı sıra farklı algılayıcılar kullanılarak karşılaşılan bu hatalar azaltılabilir. Belirli bir alandaki insan sayısı kestirimi probleminde bu yola başvurulmuştur. İnsanın izlenen alana giriş/çıkışı ve bu alandaki doğal hareketlerine karşılık gelen PIR algılayıcı sinyalleri MM tabanlı bir karar mekanizması yardımıyla başarılı bir şekilde sınıflandırılır. Elde edilen sınıflandırma sonuçları ile görüntü analizi sonuçları birlikte değerlendirilerek, sadece görüntü işleme ile üretilen yanlış pozitif ve negatif tespitler önemli ölçüde azaltılır.

PIR ve titreşim algılayıcı ile solunum hızı tespiti: Solunumun önemli bir hareket olmasından hareketle, solunum aktivitesine karşılık gelen PIR veya titreşim algılayıcı sinyallerindeki dönemlilik tespit edilerek yatan bir insanın solunum hızına karar verilebilir. Fakat tek bir noktada konumlandırılmış tek tip bir algılayıcı, farklı yatış pozisyonlarında solunum aktivitesini kaçırabilir. Bu problemi çözmek için iki PIR algılayıcı ve bir titreşim algılayıcıdan yararlanılmaktadır. Tanımlanan yeni çok modlu AMDF ile algılayıcılara ait sinyaller tümleştirilerek hassas solunum kestirimi yapılır. Çok modlu AMDF'nin tanımı sayesinde, solunum hızının tespit edilebilmesi için algılayıcılardan sadece birinin solunum aktivitesini yakalaması yeterlidir.

1.1.2. Basitlik ve Uygulanabilirlik

Bu tez çalışmasında, yaşam alanlarını gözetleme problemine yenilikçi, basit ve uygulanabilir çözümler sunulmaktadır. Tasarlanan çok modlu sistemlerde kullanılan kamera, titreşim algılayıcı ve özellikle PIR algılayıcılar oldukça düşük maliyetlidir. Tasarlanan algoritmaların işlemsel yükünün az olması, bu uygulamaların basit bir mikroişlemcide tek başına çalışabilmelerini mümkün

kılmaktadır. Geliştirilen örnek uygulamalarda kamera, sadece PIR algılayıcı analog karar devresinin algılayıcının görüş alanında bir hareket tespit etmesi halinde aktive edilir. Bu yüzden, geliştirilen sistemler güç tüketimi açısından verimli sistemlerdir.

PIR algılayıcı tabanlı uygulamalar genel olarak algılayıcıları, analog devrelerinden elde edilen voltaj değerlerine göre açık/kapalı kipinde kullanmaktadır. Çalışmamızda PIR algılayıcıların analog karar devresinin yanı sıra, algılayıcılardan elde edilen sürekli zamanlı ve gerçek değerli sinyallerden de faydalanılmıştır. Geliştirilen bir devre yardımıyla PIR algılayıcıdan elde edilen bu sinyallerin işlenmesi ile orijinal şekliyle sadece açma/kapama düzeyinde fonksiyon sağlayan PIR algılayıcıların daha kabiliyetli hale gelmesi amaçlanmıştır.

Çalışmamızın sağladığı katkılara son olarak, insan izleme problemine sunduğumuz çözümdeki yenilikler ilave edilebilir. İnsan izleme için ilk olarak incelenen resim karesinde insanın bulunduğu bölge kestirilmelidir. Bu çalışmada insan algılama için destek vektör makinelerinden (SVM) yararlanılır. SVM'lere beslemek üzere öznitelik olarak seçilen düşük işlemsel yüklü ortak fark matrislerine ait algılama performansı, ortak bağıntı matrislerinininkilerle kıyas edilebilir düzeyde olduğu gösterilmiştir. Genellenmiş özdeğerlere dayalı insan izleme algoritmasına alternatif olarak WTA kodlarına dayalı yeni bir izleme metodu tasarlanmıştır. Oldukça basit bu metodun, genellenmiş özdeğerlere dayalı metot ile mücadele edebilecek sonuçlar ürettiği deneysel olarak sunulmuştur.

1.2. Tez Planı

Tez planı şu şekildedir: Kamera yardımıyla eli algılayan ve diferansiyel PIR algılayıcı dizisi ile uyarlanmış WTA imza metodu kullanarak el hareketlerini tanıyan çok modlu sistem Bölüm 2'de tanıtılmaktadır. Bir diferansiyel PIR algılayıcı ve kamera ile belirli bir alanda MM tabanlı insan sayısı kestirimi Bölüm 3'te sunulmaktadır. Bölüm 4'te PIR ve titreşim algılayıcıyı tümleştirerek solunum aktivitesini algılayan ve solunum hızına karar veren bir sistem ile solunum hızını belirlemede faydalanan AMDF tabanlı bit metot tanıtılmaktadır. Bölüm 5'te destek vektör makineleri ile tanınan insanların WTA kodları tabanlı bir algoritma ile izlenmesi anlatılmaktadır. Son olarak Bölüm 6'da, çalışmamızda elde edilen sonuçlar özetlenmektedir.

2. DİFERANSİYEL PIR ALGILAYICILAR VE KAMERA YARDIMIYLA EL HAREKETLERİNİN ALGILANMASI VE SINIFLANDIRILMASI

İnsanların jestlerini (özellikle el ve yüz hareketlerini) algılamaya yönelik çalışmalar 90'lı yılların başından bu yana devam etmektedir [4]–[6]. Yapılan çalışmalar insan-bilgisayar etkileşimi (human-computer interaction-HCI), sanal gerçeklik (virtual reality-VR), uzaktan kumanda (remote control-RC) ve endüstri alanındaki makinelerin kullanımı gibi sahalarda pek çok potansiyel uygulamaya sahiptir [7], [8].

Elektrikli aletlerin uzaktan ve temassız yönetilmesi Aml çalışmalarında giderek önemsenen bir durum haline gelmektedir. Bu durum özellikle belirli işleri daha zahmetsiz ve eğlenceli bir şekilde yapma ve umuma açık yerlerdeki hijyen probleminden kaynaklanmaktadır. Günlük yaşamda sıklıkla etkileşim halinde bulunan bilgisayar, televizyon ünitesi, müzik seti, klima gibi elektrikli aletler uzaktan komuta edilmek istenmektedir. Umuma açık lavabolardaki kapı, musluk, sabunluk ve el kurutucusu gibi aletlere temas etme, enfeksiyon kapma ve kirlenme riskini beraberinde getirir. Mutfakta yemek hazırlayan kişinin ellerinin temiz kalması, ameliyathanelerde doktorların ellerinin steril kalması sağlık açısından zaruri durumlardır [9].

İlgilenilen alanda insan varlığına bağlı olarak sadece açma-kapama düzeyinde tepki üreten aletler için basit algılayıcılar yeterli iken, daha fazla fonksiyon kabiliyeti olan aletleri hassas bir şekilde yönetebilmek için gelişmiş Aml sistemlerine ihtiyaç vardır. Bu bölümde her biri, uzaktan yönetilmek istenen aletin belirli bir fonksiyonuyla eşleştirilebilecek birçok basit el hareketini tanıyabilen çok modlu bir sistem tanıtılmaktadır. Geliştirilen sistemde, bir diferansiyel PIR algılayıcı dizisi ve bir kamera kullanılmaktadır. PIR algılayıcı dizisi ve kameradan elde edilen veriler bir bilgisayara aktarılmakta, sonrasında bu veriler birlikte ve gerçek-zamanlı olarak değerlendirilmektedir. PIR algılayıcı dizisinden elde edilen veriler tümleştirilerek, winner-take-all (WTA) imza metodu tabanlı yeni bir yöntem yardımıyla el hareketleri sınıflandırma işlemi yürütülmektedir. Tek boyutlu diferansiyel PIR algılayıcı sinyallerinden çıkarılan WTA imza kodları ile eğitime kümesindeki kodlar arasındaki benzerliğe ve dolayısı ile analiz edilen sinyalin hangi el hareketi sınıfına ait olduğuna, Jaccard mesafe ölçütüne dayalı olarak karar verilir. PIR algılayıcılardan herhangi birine ait analog karar devresi ile bir hareket algılanması

halinde, kamera ile söz konusu hareketin bir el hareketi olup olmadığı tespit edilir. Hareket kaynağının bir el olması halinde çok modlu sistem verileri analiz edilir ve basit el hareketleri (sağa/sola, aşağı/yukarı, saat yönü/saat yönünün tersi el hareketleri, el açık/kapalı kararı ve açık parmak sayısı) hassas bir biçimde sınıflandırılır.

Bu çalışma bildiğimiz kadarıyla el hareketleri algılama ve tanıma, kamera ve diferansiyel PIR algılayıcıları birlikte kullanan ilk çalışmadır. Ayrıca çalışmamızda, iki resim arasındaki benzerliği ölçmek üzere tasarlanmış WTA imza algoritması, ilk defa tek boyutlu ve sürekli-zamanlı PIR algılayıcı sinyallerinin sınıflandırılmasında kullanılmış ve sonuçların başarısı deneysel olarak gösterilmiştir.

Video analizi ile el tanıma ve el hareketlerinin algılanması Bölüm 2.2.'de anlatılmaktadır. Diferansiyel PIR algılayıcı dizisi ile hareket algılanması ve el hareketlerinin sınıflandırılması Bölüm 2.3.'te anlatılmaktadır. Geliştiren çok modlu sistem ve karar mekanizması Bölüm 2.4.'te tanıtılmakta olup, Bölüm 2.5.'te deneysel sonuçlara yer verilmektedir.

2.1. Literatür Özeti

Jest algılama sistemleri üç grupta sınıflandırılabilir [10]: (i) elle tutulan işaretleme aletleri kullanan sistemler, (ii) giyilebilir algılayıcılar kullanan sistemler ve (iii) bir ve iki boyutlu sinyal/görüntü analizi yapan sistemler. Jestlerin algılanmasında genel olarak, kullanıcıların ellerinde tutmak ve giyerek kullanmak zorunda olduğu sistemler istenmemektedir.

Elektrikli aletler bir mesafeden dokunmaksızın, günümüzde yaygın olarak uzaktan kumanda aletleri vasıtasıyla başarılı bir şekilde yönetilebilmektedir [11], [12]. Fakat bunlar kaybolabilir, kaybolmasa bile odanın bir başka yerinden alınmak zorunda olmaları zahmet vericidir. Ayrıca üzerlerinde pek çok tuş bulunması kullanıcılara karmaşık gelmektedir [7].

Giyilebilir el hareketi algılama sistemleri temel olarak, elin belirli yerlerini kolayca tespit etmek için giyilen renkli veya üzerinde parmak uçlarına denk gelecek şekilde yerleştirilmiş ivme algılayıcılar bulunan eldivenler kullanır [13], [14]. Bu yöntemler, tanımlanabilen hareket sayısını zenginleştirirse de özel bir eldivene ihtiyaç duymaktadır.

Var olan ve genel olarak tek veya çift hücreli PIR algılayıcı tabanlı kontrol sistemleri, elin yakınlığına veya hareketine bağlı olarak açma-kapama işlemini gerçekleştirmektedir [9], [15]. Bu sistemlerin sınırlı operasyon kabiliyeti, elektrikli aletler üzerindeki insan kontrolünü oldukça kısıtlı tutmaktadır. Wojtczuk ve diğerlerinin [9] geliştirdiği 4x4'lük bir PIR algılayıcı dizisinden oluşan sistem tanınabilen hareket sayısını artırmaya karşılık, PIR algılayıcıların görüş alanında bulunan ve sıcaklığı olan her şeye tepki üretebilmesinden dolayı yüz ve insan bedeni hareketlerini de el hareketi gibi yorumlayabilme dezavantajına sahiptir. Burada önerdiğimiz sistem, PIR algılayıcılara ilave olarak bir kamera kullanması ve PIR algılayıcıların analog devrelerinin yanı sıra, algılayıcılardan elde ettiği sürekli-zamanlı ve gerçek-değerli sinyallerden de faydalanması yönüyle Wojtczuk ve diğerlerinin geliştirdiği sistemden ayrılmaktadır. Ayrıca sistemimiz, PIR algılayıcı analog sinyallerinin işlenmesinde kullandığı WTA imza kodlarına dayalı yeni yöntem sayesinde, [9]'da rapor edilenden daha yüksek tanıma yüzdeleri üretmektedir.

Görüntü dizilerini kullanarak el hareketi öznitelik çıkarımı yapan çalışmalar en aktif olanlardır, örneğin [16] ve [17]. Bu yaklaşımlar algılama uzaklığı ve hassasiyeti açısından büyük bir esneklik kazandırsa da, aydınlatma ve yansımadan kaynaklanan yanlış tespitler yapabilmektedir. Bunların yanında [18], [19], [20] ve [21] gibi daha gelişmiş video işleme tabanlı sistemler mevcuttur. Fakat bu sistemlerin güç tüketimi, maliyeti ve boyutu uygulamaların pratikliğini olumsuz etkilemektedir.

Önerdiğimiz çözüm, yakın mesafede el hareketlerini algılama ve tanıma problemine halihazırdaki yöntemlere özellikle maliyet, basitlik ve düşük güç tüketimi açısından iyi bir alternatif oluşturmaktadır. Ayrıca geliştirilen sistem çok modlu yapısı, dolayısıyla sahip olduğu iki aşamalı kontrol mekanizması ile tek tip algılayıcılı (sadece kamera veya sadece PIR algılayıcı kullanan) sistemlere nispetle daha kesin ve hassas sonuçlar üretmektedir.

2.2. Video Analizi ile El Hareketlerinin Algılanması ve Sınıflandırılması

Bu bölümde sunulan çalışmanın temel katkısı, kızılberisi algılayıcılar ve sıradan bir kameranın tümleştirilmesidir. Diferansiyel PIR algılayıcılar, görüş alanlarındaki radyasyon değişimine tepki verirler. Fakat bu değişim bir el hareketinden doğabileceği gibi, yüz hareketi veya bütün bir bedenin hareketinden de

kaynaklanabilir. Bu problemi çözmek için gerçek-zamanlı sistem ilk olarak, PIR algılayıcılar yardımıyla ilgilenilen alanda bir hareket varlığı araştırır. Bir PIR algılayıcıya ait analog karar devresinin, izlenen alanda bir hareket tespit etmesi neticesinde kamera devreye girer ve PIR algılayıcıları uyaran hareketin el olup olmadığını kontrol eder. Video analizi, PIR algılayıcılarla kontrol edildiğinden, sonuçta oluşan sistem düşük güç tüketen bir sistemdir.

Kamera ile el algılama ve el jestlerini sınıflandırma, standart video analiz metotları kullanılarak yapılır. Sadece kameradan oluşan bir sistemle şu işlemleri yapmak mümkündür: (i) elin açık/kapalı olduğunu algılama, (ii) sağa-sola, (iii) saat yönü-saat yönünün tersi ve (iii) aşağı-yukarı el hareketlerini tanıma, (iv) açık parmakları sayma. Bu işlemler, iki aşamada gerçekleştirilir: ten algılama ve dışbükey zarf-gedik (convex hull-defect) hesaplama.

2.2.1. Klasik Renk Uzayları Kullanarak Ten Algılama

Ten algılama için ilk olarak Open CV kütüphanesinde bulunan uyarlamalı ten algılama yöntemi tercih edilmiş, fakat optimal sonuçların elde edilememesi üzerine klasik renk uzaylarını kullanılmıştır. RGB renk uzayı, kanallar arasındaki yüksek ilinti, belirgin algısal düzensizlik ve parlaklık-renklilik verilerinin karışması nedenlerinden ötürü renk tabanlı algılama algoritmaları için iyi bir seçim değildir [22]. Bu sebeple, HSV ve YCrCb renk uzayları tercih edilmiştir. Ten renginde olan pikselleri saptamak için eğitime aşamasında, iki renk uzayındaki her bir kanala ait alt ve üst sınırlar belirlenir. Belirlenmiş olan sınırlar şu şekildedir:

- YCrCb renk uzayı kanal değerleri aralığı: (0-255, 131-185, 80-135)
- HSV renk uzayı kanal değerleri aralığı: (0-20, 45-255, 0-255)

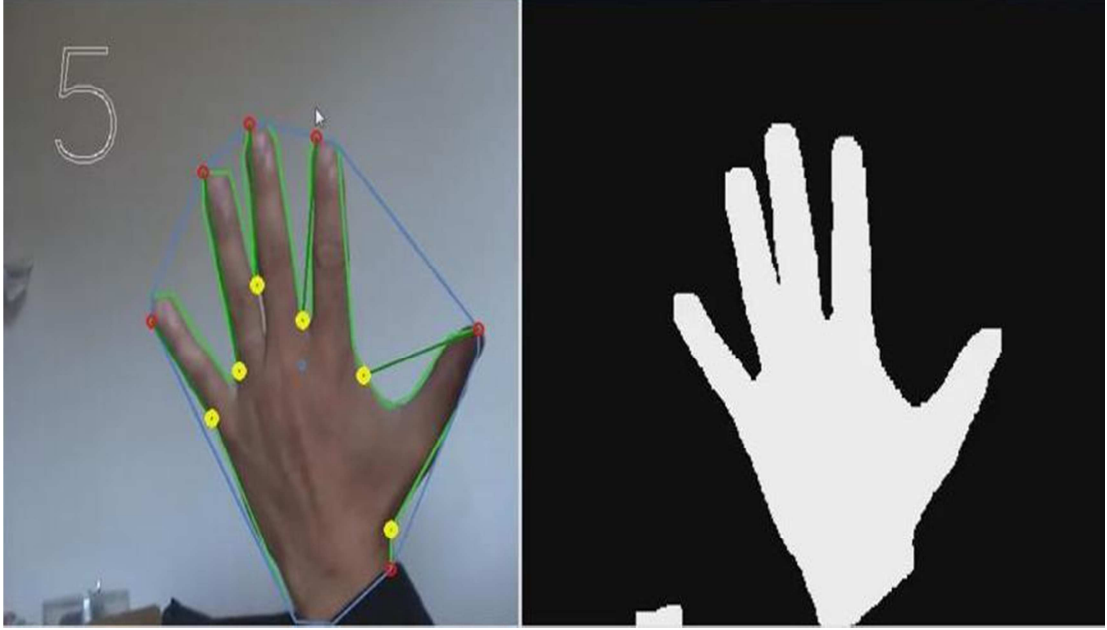
İncelenen karedeki her bir pikselin kanal değerlerinin, yukarıda belirtilen aralıkta olup olmadığına bakılır ve ten renkli pikseller beyaz renkle, diğer tüm pikseller siyah renkle işaretlenerek ikili (binary) ten maskesi elde edilir.

Uygun ten maskesi elde edildikten sonra, daha temiz bir maske için aşındırma ve açma (eroding and dilating) gibi bazı morfolojik işlemler uygulanır. Aşındırma işleminde resim herhangi bir şekildeki, genellikle bir kare veya çember, bir çekirdek (kernel) evriştirilerek (convolution) aydınlık bölgeler büyütülür. Açma işleminde ise aynı yöntemle aydınlık bölgeler küçültülürken, karanlık bölgeler

büyütülür [23]. İkili ten maskesinin bu işlemlerden sonraki hali Şekil 2.1.'de gösterilmektedir.

2.2.2. Dışbükey Zarf ve Gedik Analizi

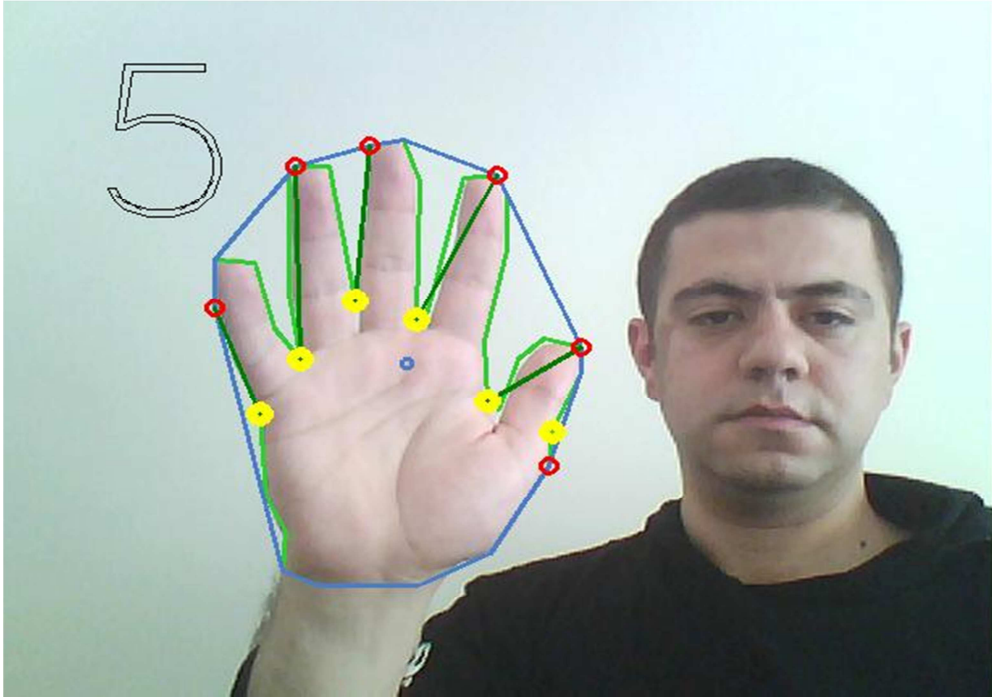
Elin açık/kapalı olduğunu algılama ve açık parmak sayısını saymak için, elde edilen ikili maskeye ait konturlar ve dışbükey zarflar çıkartılır [24], [25]. Çıkartılan dışbükey zarfların alanları hesaplanır ve en büyük alana sahip zarfın el olduğu varsayılır. Kullanıcı kameraya elini, yüzüne göre daha yakın tutmak suretiyle eline ait maske zarfının alanının, yüzüne ait olandan daha büyük olmasını sağlar. Bu sayede yüzünü değerlendirme dışı bırakır. Bu durum Şekil 2.2.'de örneklendirilmiştir. Daha sonra açık parmak sayısını saymak üzere kontur gedik hesaplamaları yürütülür.



Şekil 2.1. Asıl el görüntüsü ve bu görüntüden elde edilen ikili (binary) maske

Kontur gedik hesaplaması için OpenCV 2.0 kütüphanesinde bulunan CvConvexityDefect fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyon 3 önemli bilgi sağlamaktadır: başlangıç noktası, bitiş noktası ve derinlik. Bu bilgiler sırasıyla konturda gediğin başladığı noktayı, gediğin bittiği noktayı ve başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki en uzun mesafeyi temsil etmekte ve Şekil 2.2.'de gösterilmektedir. Şekildeki mavi çizgi dışbükey zarf, açık yeşil çizgi en büyük

kontur, koyu yeşil çizgi derinlik çizgisi, kırmızı nokta başlangıç noktası ve sarı nokta bitiş noktasıdır. Eğitim aşamasında maksimum etkileşim mesafesi de göz önünde bulundurularak, açık parmak sayısını saymada kullanılacak derinlik verisine ait bir alt sınır kararlaştırılır. Test aşamasında, bu alt sınırın üzerinde uzunluğa sahip olan derinlik çizgilerinin sayısı bulunur ve bu sayı aynı zamanda açık parmak sayısıdır. Şekil 2.2.'de, 5 açık parmağa karşılık gelen koyu yeşil renkli 5 çizgi görülmektedir. Hesaplanan açık parmak sayısı sıfır olduğunda el kapalı, bir veya birden çok olduğunda el açık sonucuna ulaşılmaktadır.



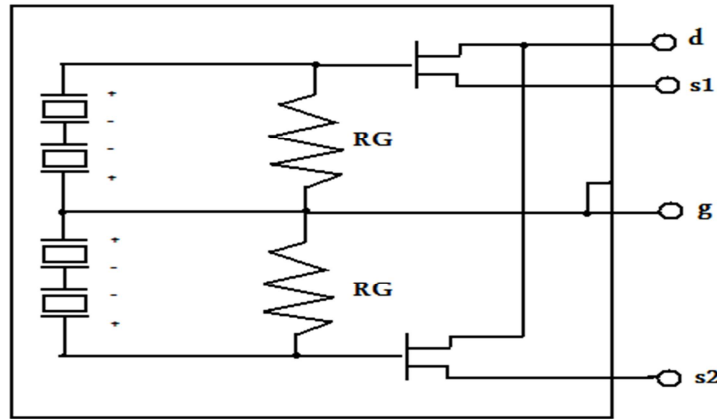
Şekil 2.2. Dışbükey zarf, en büyük kontur, derinlik, başlangıç ve bitiş noktalarının gösterimi. Mavi çizgi dışbükey zarf, açık yeşil çizgi en büyük kontur, koyu yeşil çizgi derinlik, kırmızı nokta başlangıç noktası ve sarı nokta bitiş noktası. En büyük alana sahip kontur seçilerek el olduğu varsayılır.

Kamera kullanımı ile tanımlanabilen diğer jestler; elin sağa-sola, aşağı-yukarı ve saat yönü-saat yönünün tersi istikametinde kaydırılmasıdır. Bu hareketlerin varlığına, şu andaki en büyük konturun orta noktasının bir öncekine göre, yatay ve dikey eksenlerde eğitim aşamasında kararlaştırılmış olan eşik değerlerinin üzerinde yer değiştirip değiştirmediği kontrol edilerek karar verilir.

2.3. Diferansiyel PIR Algılayıcı Dizisi ile Hareket Algılanması ve El Hareketlerinin Sınıflandırılması

Çok modlu sistem, PIR algılayıcı analog karar devresi ve algılayıcıların ürettiği zamanla-değişen tek boyutlu (1-B) sinyallerden aynı anda faydalanır. PIR algılayıcılardan birine ait analog karar devresinin bir hareket algılaması ve kamera yardımıyla bu hareketin bir el olduğunun belirlenmesi halinde, 1-B PIR algılayıcı sinyalleri analiz edilmek üzere kaydedilir. Farklı el hareketleri, Winner-take-all (WTA) imza metodu tabanlı yeni bir algoritmayla sınıflandırılır. Bu algoritma Bölüm 2.3.2.'de anlatılmaktadır. Sadece PIR algılayıcı dizisini kullanarak tanınabilen el hareketleri; soldan-sağa, sağdan-sola, aşağıdan-yukarıya, yukarıdan-aşağıya, saat yönünde-saat yönünün tersi yönündeki el hareketleridir.

PIR algılayıcı sinyallerinden öznitelik çıkarımı için, dalgacık dönüşümü (wavelet transform) kullanılır. Dalgacık tanım alanlı öznitelik vektörleri, WTA imza (WTA hash) algoritmasıyla ikili kodlara (binary codes) dönüştürülür. Bu ikili kodlar ve eğitime aşamasında kararlaştırılmış referans ikili kodlar arasında Jaccard mesafesi hesaplanarak bir benzerlik ölçütü elde edilir. Kaydedilen PIR algılayıcı dizisi sinyali, eğitime verisi ve buna bağlı olarak hesaplanan Jaccard mesafelerine göre sınıflandırılır.



Şekil 2.3. Diferansiyel bir PIR algılayıcının iç yapısının modeli

2.3.1. Diferansiyel PIR Algılayıcı Sistemin Çalışma Prensipleri ve Veri Aktarımı

Bir kızılberisi algılayıcı temel olarak, içindeki iki parçada oluşan kızılberisi radyasyon yoğunluğunun farkını ölçer. Tipik bir diferansiyel PIR algılayıcının blok çizeneği Şekil 2.3.'te gösterilmektedir. Paralel şekilde bağlanan ve çıkışları şekilde

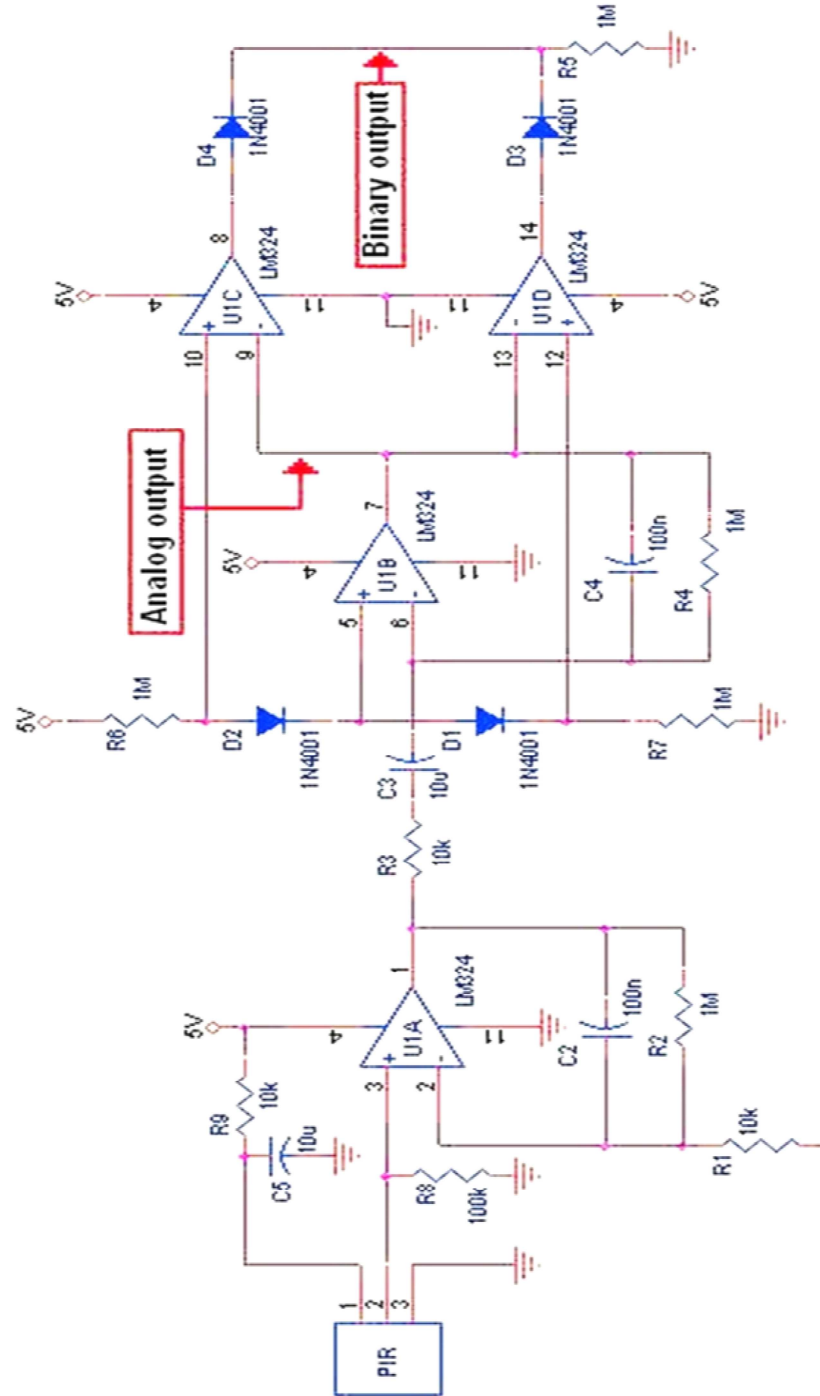
(s₁) ve (s₂) ile gösterilen piro-elektrik elemanlar, ortamdaki normal sıcaklık değişiklikleri ve hava akımının oluşturduğu etkiler neticesinde algılayıcı sinyalinde görülebilecek istenmeyen sapmaları engeller. Bu elemanlar aynı seviyede kızılberisi radyasyona maruz kaldıklarında, birbirini iptal eder ve algılayıcı (d)'de sıfır-çıkış üretir [26]. Bu sayede PIR algılayıcı, yanlış tespitleri doğru bir şekilde reddedebilir.

Bilinen PIR hareket algılayıcı devreleri ikili çıkışlar (binary outputs) üretir, fakat bu devrelerden alınan sinyalin gücünü gösteren sürekli-zamanlı bir analog sinyal yakalamak mümkündür. Bu amaca yönelik geliştirilen devrenin blok çizeneği Şekil 2.4.'te sunulmaktadır.

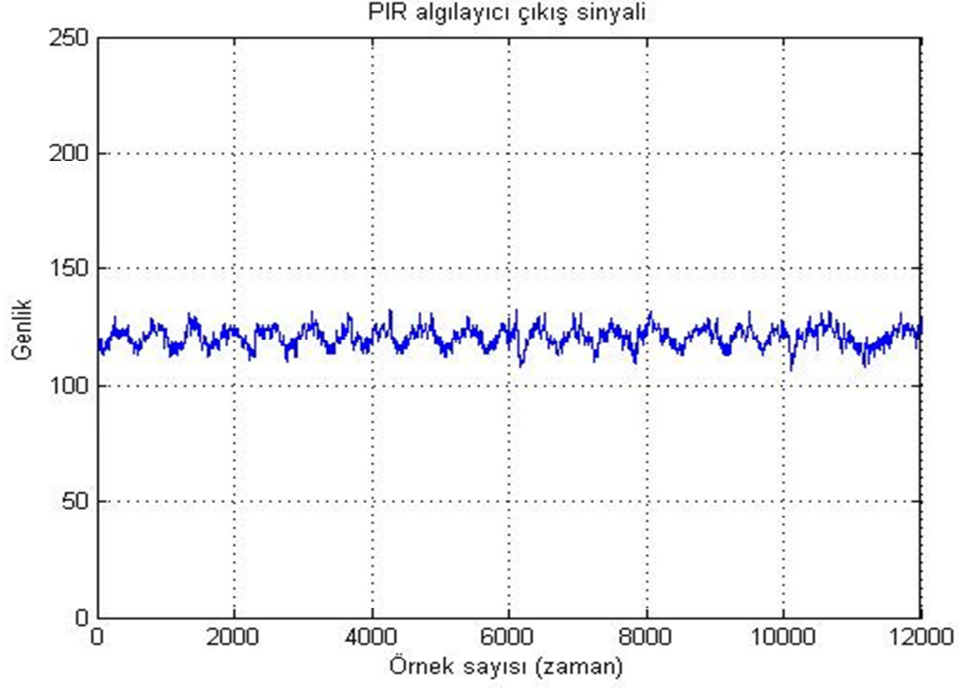
Devre, dört adet işlemsel kuvvetlendiriciye (operational amplifiers) sahiptir: U1A, U1B, U1C ve U1D. U1A ve U1B iki aşamalı bir yükseltici oluştururken, U1C ve U1D ikilisi karşılaştırıcı (comparator) işini görür. PIR algılayıcının 2'nci pinindeki çok düşük genlikli ham çıkışı, iki aşamalı yükseltici devreyle yükseltilir. U1B çıkışındaki yükseltilmiş sinyal, 0 V veya 5 V ikili sinyalinden birini çıktı olarak veren karşılaştırıcı devreye beslenir. PIR algılayıcı devresinin orijinal halinden okunan ikili çıkışlar yerine, doğrudan U1B'deki analog çıkış sinyali yakalanır. Analog çıkış sinyali, PIC16F877A tipi bir mikro denetleyici kullanılarak 100 Hz örnekleme frekansı ile sayısallaştırılır ve sayısal bir sinyal işleyicide veya genel amaçlı bir bilgisayarda işlenir. 8 bitlik nicemleme (quantization) kullanılarak örneklenmiş ve görüş alanında hiçbir aktivitenin olmadığı duruma ait tipik bir PIR algılayıcı çıkış sinyali Şekil 2.5.'te gösterilmektedir. Yatay olarak aynı hizada bulunan iki PIR algılayıcıdan, eli soldan sağa kaydırma hareketi sonucu elde edilen algılayıcı sinyalleri Şekil 2.6.'da gösterilmektedir. Soldan sağa el hareketine, sol tarafta bulunan PIR algılayıcı daha erken tepki göstermektedir.

Çok modlu sistemimiz, kameranın yanı sıra üç adet diferansiyel PIR algılayıcıya sahiptir. Her bir PIR algılayıcıdan elde edilen sinyaller, yukarıda anlatılan şekilde bilgisayara aktarılır ve jestleri sınıflandırmak üzere birlikte ve gerçek-zamanlı olarak işlenir. Sistemde, elin sağa-sola, aşağı-yukarı ve saat yönü-saat yönünün tersi istikametindeki hareketlerini daha doğru bir şekilde tespit etmek maksadıyla algılayıcıların görüş alanları uygun bir şekilde daraltılmıştır. Bir PIR algılayıcının görüş alanını matrisini $\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ ifade edecek olursak, sol tarafta bulunan PIR

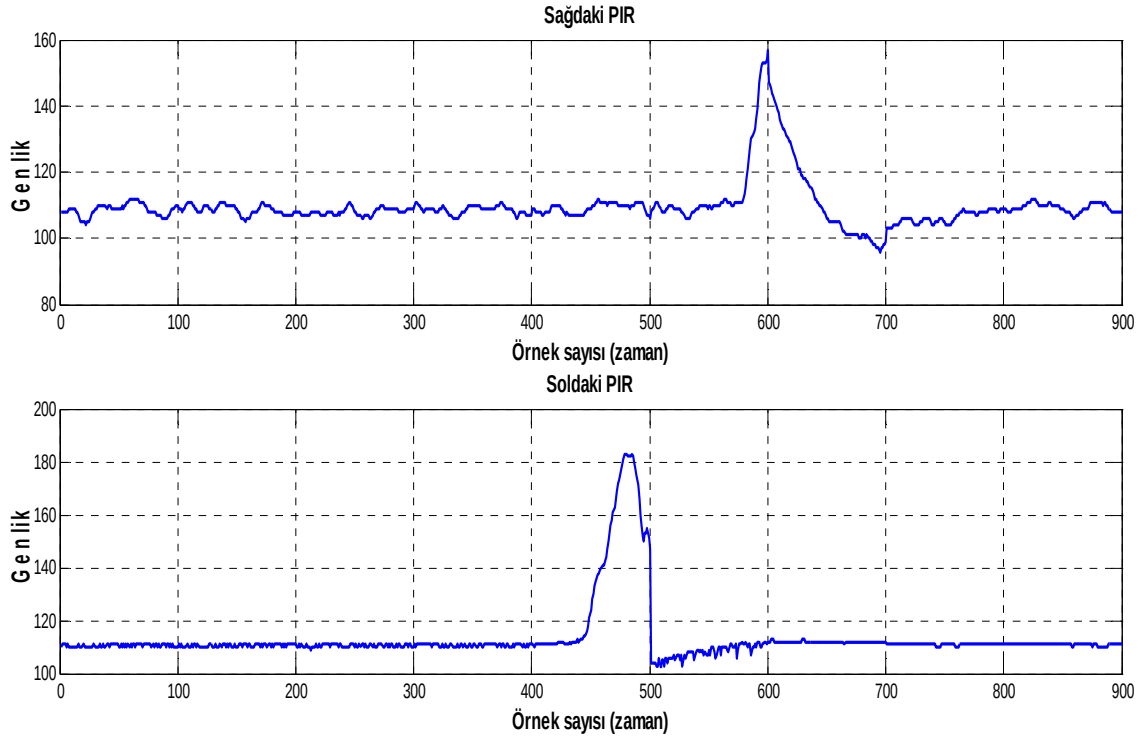
algılayıcısının görüş alanı matrisi $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$, sağ taraftakinin $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ ve yukarıdakinin $\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ şeklinde düzenlenmiştir. Bu düzenlemeyle algılayıcılar, hareketin görüş alanlarına girme ve çıkma sırasına bağlı olarak istenen tepkiyi üretirler.



Şekil 2.4. Sürekli bir analog sinyal elde etmek için değiştirilmiş kızılberisi algılayıcı devresi devresi



Şekil 2.5. Görüş alanında hiçbir aktivitenin olmadığı durumdaki tipik bir PIR algılayıcı çıkış sinyali (Örnekleme frekansı 100 Hz)

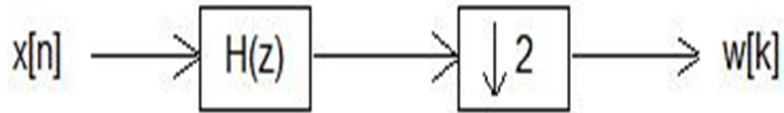


Şekil 2.6. Elin soldan sağa kaydırılması hareketine karşı, aynı yatay hizada bulunan iki PIR algılayıcının ürettiği tepkiler (Örnekleme frekansı 100 Hz)

2.3.2. Algılayıcıların Çıkış Sinyallerinin İşlenmesi ve WTA Tabanlı Karar Mekanizması

Önerdiğimiz yaklaşımda, algılayıcı sinyaline ait öznitelik çıkarımı için dalgacık tabanlı sinyal işleme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler sayesinde, farklı test ortamlarındaki çevresel değişikliklere bağlı olarak algılayıcı sinyalinde ortaya çıkan sapmalara karşı direnç sağlanır. Karar mekanizmasının hesaplama yükünü düşük tutmak için, dalgacık katsayılarını elde etmede FFT tabanlı yöntemler gibi doğrudan frekans tabanlı yaklaşımlar yerine Lagrange filtrelerini kullanmayı tercih ettik.

Diferansiyel PIR algılayıcıların birinden gelen sinyalin 100 Hz örnekleme frekansıya örneklenmiş halinin $x[n]$ olduğunu varsayalım. Dalgacık katsayıları, $w[k]$, $x[n]$ 'in [25 Hz, 50 Hz] frekans aralığı bilgisine karşılık gelen, tek aşamalı alt bant ayrışım işleminden elde edilir. Tek aşamalı alt bant ayrışım işleminde, sinyal önce Lagrange dalgacıklarına [27] karşılık gelen aritmetik bir yüksek geçiren filtreden geçirilir, sonra sinyalin çözünürlüğü yarıya indirilir. Bir PIR algılayıcıdan gelen sinyalin dalgacık katsayı dönüşümü Şekil 2.7.'de özetlenmektedir.



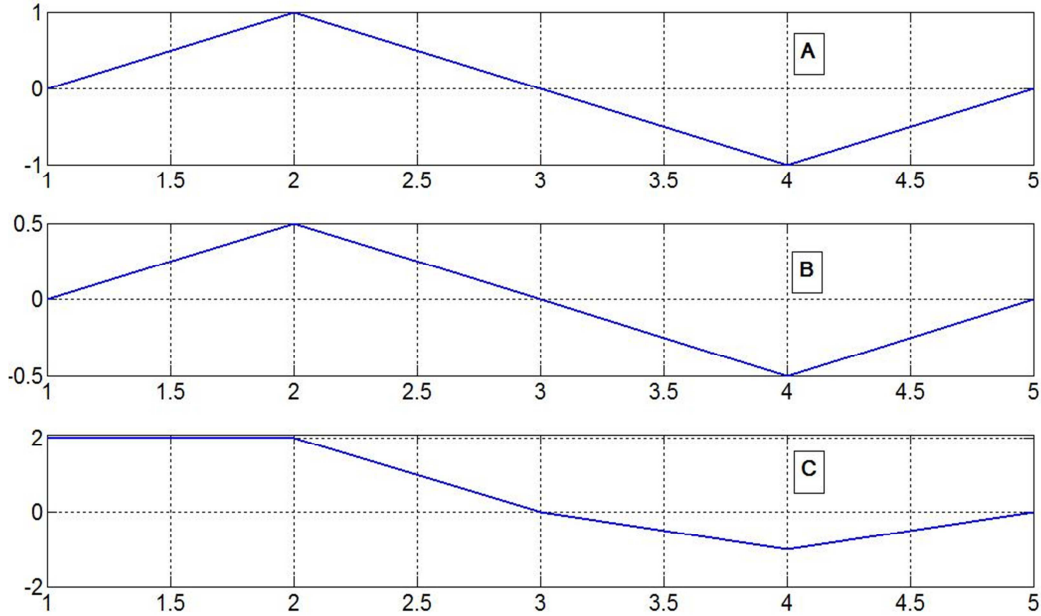
Şekil 2.7. Dalgacık katsayılarının $w[k]$ bulunması ($H(z)$, filtre katsayıları $\{-\frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}\}$ olan yüksek geçiren filtreyi temsil etmektedir.)

Kullanılan yüksek geçiren filtrenin, $H(z)$, transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$H(z) = \frac{1}{2} - \frac{1}{4}(z^{-1} + z^1)$$

Her bir diferansiyel PIR algılayıcıdan gelen örneklenmiş sinyaller 200 örneklik, dolayısıyla 2 saniyelik bir zaman dilimini kapsayan pencerelere bölünür ve her bir pencereye karşılık gelen 100 uzunluklu dalgacık katsayı dizileri bulunur. Çok modlu sistemde PIR algılayıcıların her biri, bir üçgenin köşelerine denk gelecek şekilde konumlandırılmıştır. Sağ alt köşe, sol alt köşe ve tepede bulunan PIR algılayıcıların sinyallerinin n dizimli pencerelerine ait dalgacık katsayı dizilerini

sırasıyla $w_{r,n}[k]$, $w_{l,n}[k]$ ve $w_{u,n}[k]$ ($k = 1, \dots, 100$) ile ifade edelim. $w_{r,n}[k]$, $w_{l,n}[k]$ ve $w_{u,n}[k]$ vektörleri ard arda eklenerek n 'inci pencere için 300 uzunluklu $w_{s,n}$ vektörü oluşturulur. Daha sonra üç PIR algılayıcı sinyali aynı anda temsil eden bu öznitelik vektörü, WTA imza metodu [28] ile ikili kodlara dönüştürülür.



Şekil 2.8. Sırasal ölçüler, doğrusal benzeşme ölçüsünün (iç çarpım) yansıtamadığı farklılıkları yakalayabilir.

WTA imzalama, herhangi bir öznitelik vektörünü sıkışık ikili kodlara dönüştürme imkanı sağlar. Üretilen kodlar, dönüştürülen öznitelik vektöründeki küçük bozulmalara karşı dayanıklıdır. Benzer girdiler benzer imzalar verir, örn. $x_1 \approx x_2$ ise $h(x_1) = h(x_2)$ dir, burada $h(x)$, x sinyaline ait WTA kodudur. Hesaplamaları kolayca yürütülebilen WTA imzalama, sıra ilintisini (rank correlation) korur ve boyutların mutlak değerlerine değil, değerlerin örtülü sıralamasına duyarlıdır [29]. Sırasal ölçüler (ordinal measures), benzerliğe farklı bir yorum sağlar ve doğrusal ölçülerin yansıtamadığı farklılıkları yakalayabilir. Örneğin Şekil 2.8.'de gösterilen vektörlerden A'nın B'ye benzerliği ve C'ye olan benzerliği, doğrusal ölçülerden olan kosinüs benzerliği ile ölçüldüğünde birbirine yakın sonuçlar üretir. Buna karşın kısmi sıralı istatistiklere dayalı sırasal bir benzerlik ölçütü olan WTA imzalama yöntemi A'nın B'ye, C'ye göre daha çok benzediğini doğru bir şekilde belirleyebilir.

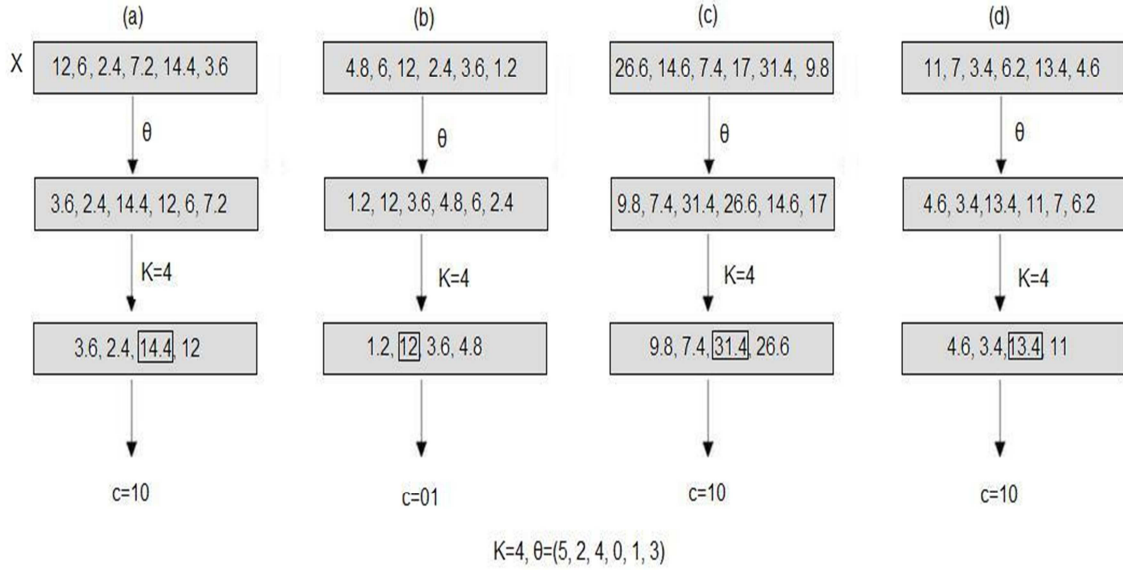
Bu durum WTA imzalama metodunun tanıtılmasından sonra sayısal olarak açıklanacaktır.

$w_{s,n}$ öznitelik vektörüne ait WTA kodu- C_X 'in hesaplanması aşağıdaki algoritmada özetlenmektedir:

-
1. Her biri $M \times M$ boyutlu rastgele permütasyon matrisleri- θ_i 'leri oluştur, $i = 1, 2, 3, \dots, h$.
(M : $w_{s,n}$ vektörünün uzunluğu)
 2. $i = 0: h - 1$ için
 - a. $W_i = \theta_i w_{s,n}$
 - b. W_i 'nin ilk K elemanını seç
 - c. Maksimum elemanın dizinini bul
 - d. İkili koda çevir- c_{x_i}
 3. $C_X = [c_{x_0}, c_{x_1}, \dots, c_{x_{h-1}}]$
-

Her bir alt küme için, belirli bir kritere (bu durumda “maksimum” değere) göre sadece “kazanan” kodlandığı için imza fonksiyonlarının bu üyesi “Winner Take All” ismini almıştır [28]. C_X ikili kod vektörü h adet, her biri 0 ve $K - 1$ aralığında değer alan kodlar içerir. Oluşturulan rastgele permütasyon matrislerinden (θ_i 'ler) her birinin, bütün satır ve sütunlarının sadece bir girdisi ‘1’ ve diğer tüm girdileri ‘0’dır. θ_i 'ler, hesaplamaların başında bir defaya mahsus olmak üzere oluşturulur ve her pencereye karşılık gelen dalgacık katsayı dizilerini karmak için kullanılır. Sırasıyla, permütasyon matrisi sayısı ve karılmış öznitelik vektörünün uzunluğunu ifade eden h ve K parametreleri, algılayıcı sinyallerini yeterince iyi temsil edebilme ve hesap yükünü düşük tutma kriterlerini sağlayacak şekilde eğitime aşamasında deneysel olarak kararlaştırılır. 6 boyutlu 4 farklı öznitelik vektörünün, WTA imza algoritmasıyla ikili kodlara dönüştürülme işlemi Şekil 2.9.'da örneklendirilmektedir. Örnekte sadece bir permütasyon vektörü ($\theta = (5, 2, 4, 0, 1, 3)$) ve $K = 4$ için elde edilen ikili kod sonuçları gösterilmektedir. (a) ve (b)'deki X 'ler, birbirleriyle ilintili değildir ve farklı kodlarla sonuçlanırlar; sırasıyla 10 ve 01. (c)'deki X , (a)'dakinin ölçeklenmiş ve kaydırılmış uyarlamasıdır ve (a) ile aynı kodla sonuçlanır. (d)'deki

X , (a)'daki her bir elemanın ± 1 bozulmuş uyarlamasıdır, fakat ilk K eleman arasında en büyük olanın dizini aynıdır ve yine (a)'daki ile aynı kodla sonuçlanır.



Şekil 2.9. 6 uzunluklu 4 farklı öznitelik vektörünün, WTA imza algoritması ile ikili kodlara dönüştürülmesi. (c) ve (d)'deki X sırasıyla; (a)'dakinin ölçeklenmiş-kaydırılmış, ± 1 bozulmuş uyarlamasıdır ve (a) ile aynı ikili kodla sonuçlanır. (b)'deki X , (a)'daki ile ilintili değildir ve farklı kodla sonuçlanır.

PIR algılayıcılardan elde edilen 1-B sinyallerinin sınıflandırılması aşamasında, resimler arasındaki benzerliği bulmak üzere WTA kodları tabanında Hamming mesafe ölçütü hesaplayan yöntem [29] kullanılmaktadır. İki kod arasındaki Hamming mesafesi, kodların aynı pozisyonlarındaki farklı girdilerinin sayısına eşittir ve alabileceği en büyük değer, kod dizisinin uzunluğuna bağlı olarak değişir. Bu sebeple PIR algılayıcı sinyallerinin sınıflandırılmasında Hamming mesafe ölçütü yerine, karşılaştırılan kodların uzunluğundan bağımsız olarak $[0,1]$ aralığında değerler alan Jaccard uzaklık ölçütü tercih edilmiştir. Hareket sınıflarını temsil eden ve test penceresinden üretilen ikili kodlar arasındaki Jaccard uzaklığı hesaplanarak, test penceresinin sınıf aidiyet kararı verilir. Herhangi C_1 ve C_2 ikili kodları arasındaki Jaccard uzaklığı hesaplanırken öncelikle ihtimal çizelgesi oluşturulur (Çizelge 2.1.). Çizelge 2.1.'deki p, q, r ve s değerleri sırasıyla $C_{1,i}, C_{2,i} = (1,1)$, $C_{1,i}, C_{2,i} = (0,1)$, $C_{1,i}, C_{2,i} = (1,0)$ ve $C_{1,i}, C_{2,i} = (0,0)$ olduğu durumların sayısına eşittir. Bu değerlere bağlı olarak Jaccard mesafesi- d , şu şekilde hesaplanır:

$$d_{c_1, c_2} = \frac{q + r}{p + q + r} \quad (2.1)$$

Çizelge 2.1. Jaccard uzaklık ölçütü değer çizelgesi

		C_1	
		1	0
C_2	1	p	q
	0	r	s

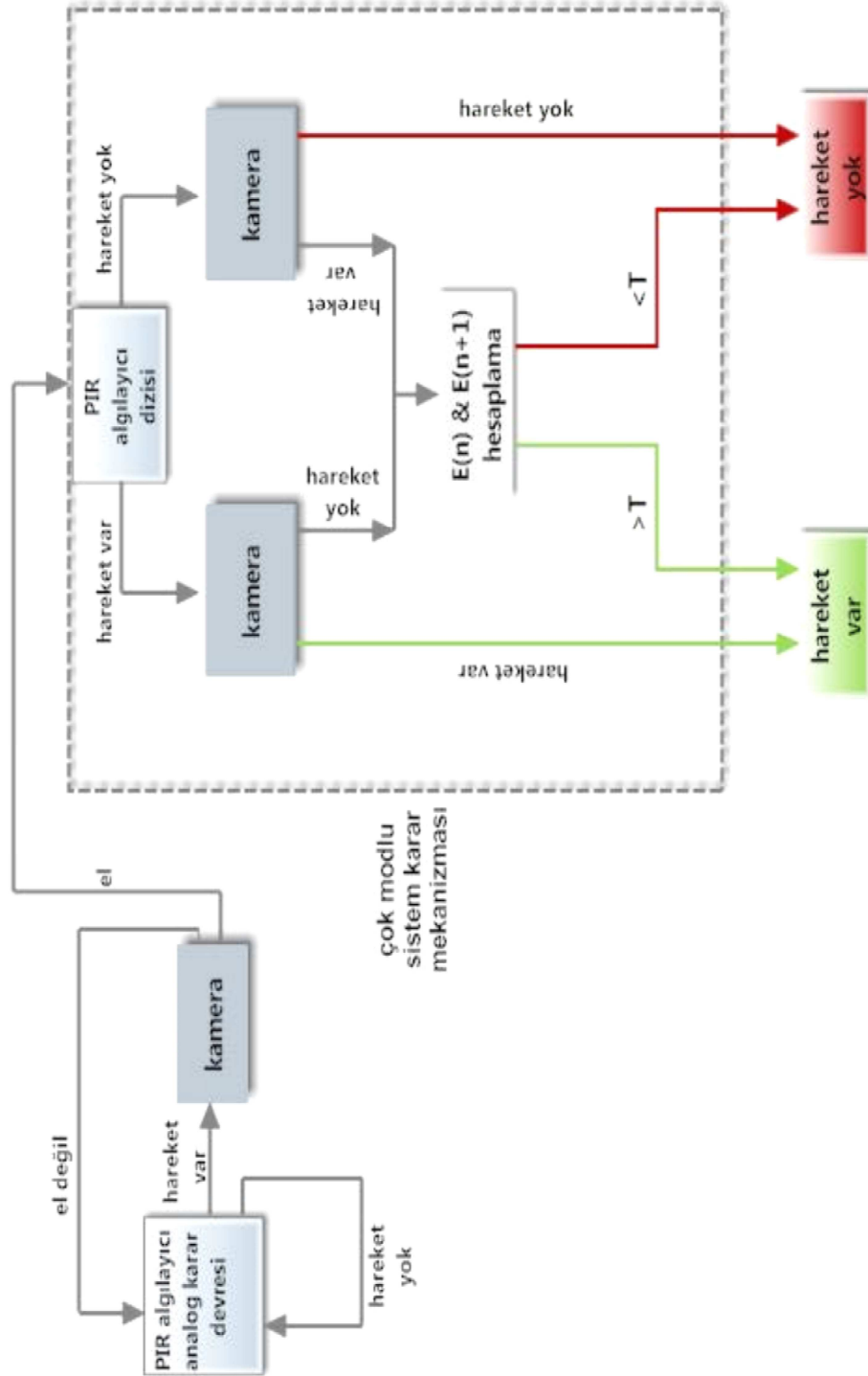
$w_{s,n}$ öznitelik vektörünün WTA kodu ile her sınıf modeli için eğitime aşamasında bulunmuş olan WTA kodları arasındaki Jaccard uzaklığı hesaplanır ve en küçük uzaklığı üreten el hareketi sınıfı, n dizinli pencere için yapılan analizin sonucu olarak rapor edilir.

İki vektör arasındaki benzerliği “~” işletmeni ile ifade edersek, kosinüs benzerliği ile Şekil 2.8.’deki vektörlere ilişkin $A \sim B = 1$ ve $A \sim C = 0.7071$ sonuçları elde edilir. Kosinüs benzerliği $[-1,1]$ aralığında değerler alır. Kosinüs benzerliğinde -1 sonucu vektörlerin birbirinden tamamen farklı olduğu anlamına gelirken, +1 sonucu maksimum benzeşme olduğunu ifade eder. Benzerlik değerlendirmesi iki vektöre ait WTA kodları arasındaki Jaccard mesafesine dayalı yapıldığında ise $A \sim B = 0$ ve $A \sim C = 0.2222$ sonuçları elde edilir. WTA kodlarına dayalı benzerlik değerlendirmesi 0 değeri ile sonuçlandığında iki vektörün birbirleriyle hemen hemen aynı olduğu, 1 değerine ulaşıldığında ise vektörlerin tamamıyla farklı olduğu anlaşılır. Sonuçlardan görüleceği üzere sırasal bir ölçüt olan WTA kodlarına dayalı benzerlik ölçütü A ’nın B ve C ’ye olan benzerliğindeki farkı, kosinüs benzerliğine göre daha iyi yansıtabilmektedir.

2.4. Çok Modlu Sistem Karar Mekanizması

En iyi sınıflandırma sonuçlarını gerçekleştirebilmek için, soldan-sağa, sağdan-sola, aşağıdan-yukarıya, yukarıdan-aşağıya, saat yönü ve saat yönünün tersi istikametindeki el hareketleri için PIR algılayıcı ve video analizi sonuçları birleştirilir. PIR algılayıcı analog karar devresinin bir hareketle uyarılması ve söz konusu hareketin bir el hareketi olduğunun kamera yardımıyla anlaşılması halinde, çok modlu sistem karar mekanizması devreye girer. PIR algılayıcı dizisinin ve kameranın ayrı ayrı verdiği neticeler birlikte değerlendirilir ve daha kesin bir

sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiş olur. Çok modlu sistem karar mekanizması Şekil 2.10.'da özetlenmiştir.



Şekil 2.10. Çok modlu sistem karar mekanizması

PIR algılayıcı dizisi ve video analizi aynı sonuçta hemfikir ise, karar açıktır. Video analizi ile bir hareket tespit edilemediği ve PIR algılayıcı dizisinin tespit ettiği durumda, PIR algılayıcı sinyallerinin n 'inci penceresine karşılık gelen dalgacık enerjisi toplamı- $E(n)$ hesaplanır:

$$E(n) = \sum_{k=50(n-1)+1}^{50(n-1)+50} |w_{l,n}(k) + w_{r,n}(k) + w_{u,n}(k)|, \quad n = 1, 2, 3 \dots$$

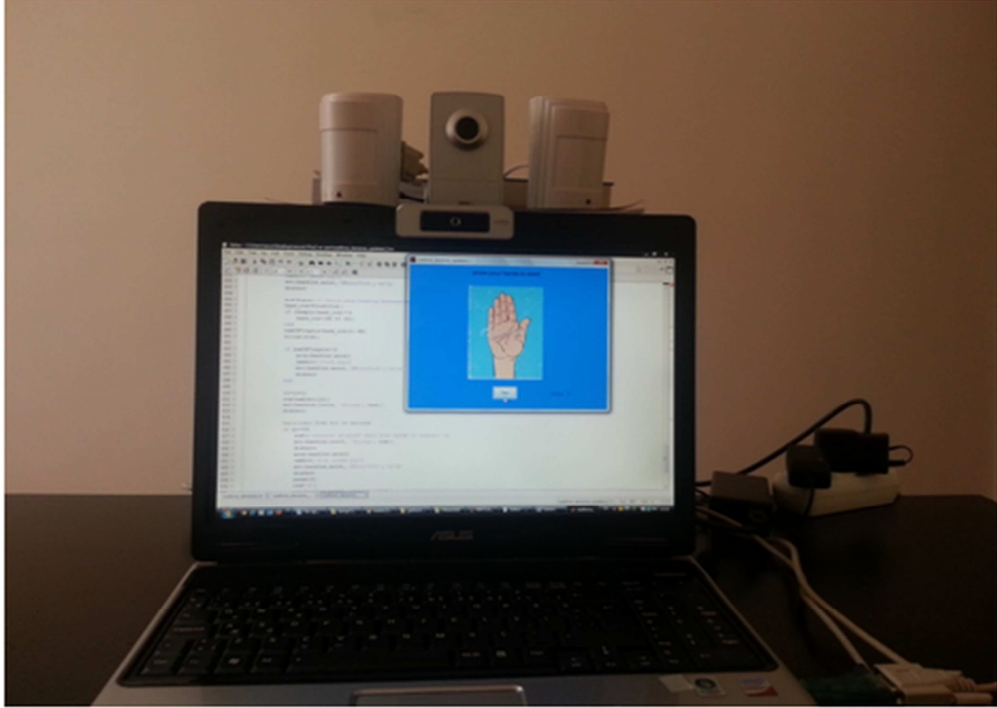
Hesaplanan $E(n)$ değeri, önceden öğrenilmiş bir T eşiğinin iki ardışık veri penceresi için de altında ise, hareket olmadığı kararı verilir. T eşiği, eğitim aşamasında kararlaştırılır. Bu eşik fiili olarak, PIR algılayıcı analog karar devresinin ürettiği sonuçlarla ilintilidir. Sınıflandırılmaya çalışılan el hareketleri diğer hareketlere göre daha uzun sürdüğünden, son karara ulaşmadan önce iki ardışık dalgacık enerji değeri, $E(n)$ ve $E(n + 1)$, göz önünde bulundurulur.

Son olarak, video analizinin bir hareket kararı ile sonuçlandığı ve PIR algılayıcı karar mekanizmasının bir hareket algılamadığı durumda ise tekrar $E(n)$ hesaplaması yürütülür. Eğer $E(n)$ T eşiğinin üzerinde ise, video analizinin tespit ettiği el hareketinin varlığına karar verilir. $E(n)$ değeri tanımlı eşik altında ise, "hareket yok" sonucuna ulaşılır.

2.5. Uygulama ve Deneysel Sonuçlar

Deneylerde ilk olarak, iki diferansiyel PIR algılayıcı ve bir kamera kullanılmıştır. Bu şekilde oluşturulan çok modlu tanıtıcı sistem Şekil 2.11.'de gösterilmektedir. Bu düzenekle el hareketlerinin sınıflandırılmasında Bölüm 2.3.2.'de anlatılandan farklı olarak, $w_{s,n}$ vektörüne $w_{u,n}$ vektörü dahil edilmez. İki PIR algılayıcıya sahip çok modlu sistem eli algılayıp, sağdan-sola ve soldan-sağa el hareketlerini tanıyabilmektedir. PIR algılayıcı dizisi 90 derece döndürüldüğünde çok modlu sistem, aşağıdan-yukarıya ve yukarıdan-aşağıya el hareketlerini de tanıyabilmektedir. Ayrıca dikey yönde hassas iki PIR algılayıcı daha ilave etmek suretiyle, tanıtılan sistem bu dört hareketi aynı anda sınıflandırabilir. Geliştirilen sistem; elektrikli aletleri basit hareket algılayıcılarıyla yöneten uygulamalara göre kullanıcıya daha fazla kontrol imkanı sunmakta, sadece video analizi tabanlı uygulamalara göre ise kullandığı iki aşamalı kontrol mekanizması sayesinde daha doğru tespitler sağlamaktadır.

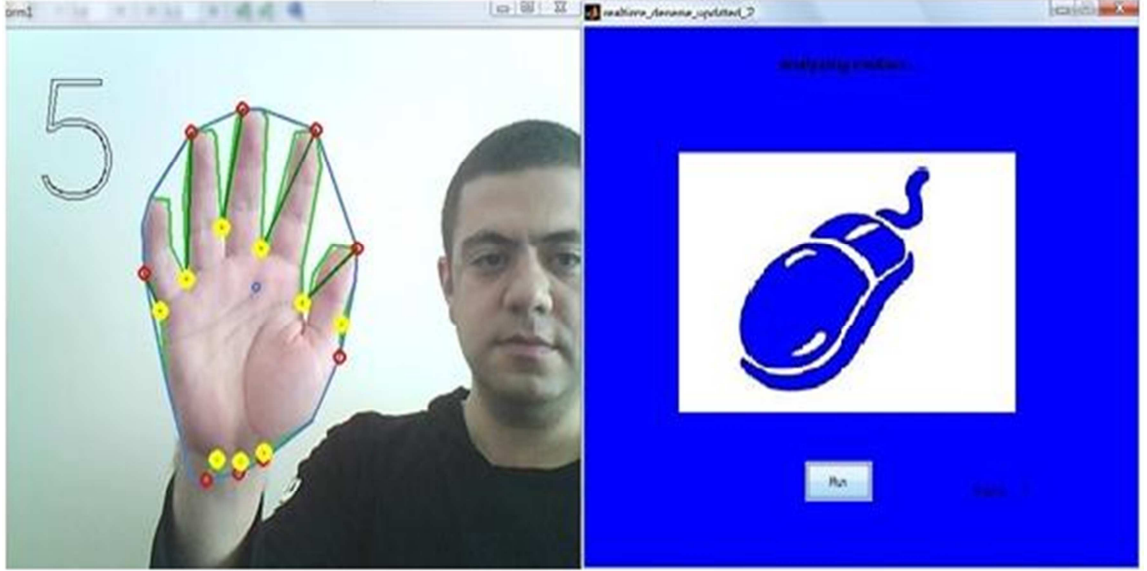
Şekil 2.11.'de gösterilen çok modlu sistem ilk olarak PIR algılayıcılar yardımıyla, izlenen alanda hareket varlığını araştırır. Kullanıcı, elektrikli aletle etkileşime geçmek istediğinde, önceden tanımlı bir el hareketini kameraya gösterir (örn. 3 veya daha fazla sayıda açık parmak) ve çok modlu sistem analizi otomatik olarak başlar. Kullanıcı etkileşimi sonlandırmak istediğinde elini yumruk haline getirir (açık parmak sayısını sıfırlar) ve el hareketleri tanıma sistemi bekleme konumuna geçer. Kullanıcı komut vermeye devam etmek isterse, 3 veya daha fazla sayıda parmağını açarak kameraya gösterir ve sistemi tekrar aktive eder. Açık parmak sayısı rakamla, elin sağdan-sola, soldan-sağa, aşağıdan-yukarıya ve yukarıdan-aşağıya hareketleri yön işaretleriyle ekranda gösterilir. Uygulamaya ait örnek bir anlık ekran görüntüsü Şekil 2.12.'de gösterilmektedir. Tanıtıcı sistemde, 5 parmağın açık olduğu el hareketi fare tıklaması şeklinde tanımlanmıştır.



Şekil 2.11. İki diferansiyel PIR algılayıcı ve bir kameradan oluşan çok modlu el hareketleri algılama ve tanıma sistemi düzeneği

Sistem, el hareketlerini 1.5 metre mesafeye kadar algılayıp tanıyabilmektedir. Kullanıcı ve uzaktan kumanda etmek istediği elektrikli alet (örn. TV ünitesi, bilgisayar) arasındaki mesafenin 2 metre civarında olduğu varsayılmıştır. Çalışma mesafesi, doğrusal seçiciliği ve menzili daha yüksek olan PIR algılayıcılarla artırmak mümkündür. Çoğu PIR algılayıcının önünde Fresnel lens bulunur. Lensin

kalitesi, PIR algılayıcının menzilini geliştirir. Bununla beraber, yönetmek istenilen elektrikli alete özel olarak her açık parmak sayısına farklı komutlar atamak başta olmak üzere yeni hareketlerin tanımlanması yoluyla, uygulama daha fonksiyonel bir hale getirilebilir ve kullanıcılara daha gelişmiş bir kontrol imkanı sunulabilir.



Şekil 2.12. Uygulamaya ait örnek bir ekran görüntüsü

Üç farklı sistem senaryosu (sadece kamera, sadece PIR algılayıcı dizisi, kamera ve PIR algılayıcı dizisi beraber) için, 312 soldan-sağa/sağdan-sola ve 298 aşağıdan-yukarıya/yukarıdan-aşağıya altı farklı kullanıcıya ait el hareketini sınıflandırma sonuçları Çizelge 2.2. ve 2.3.'te sunulmaktadır.

Çizelge 2.2. Farklı algılayıcı seçimleri için 6 farklı kullanıcıya ait 312 soldan-sağa/sağdan-sola el hareketi sınıflandırma sonuçları. En iyi sonuçlar çok modlu sistemle elde edilmiştir (son satır).

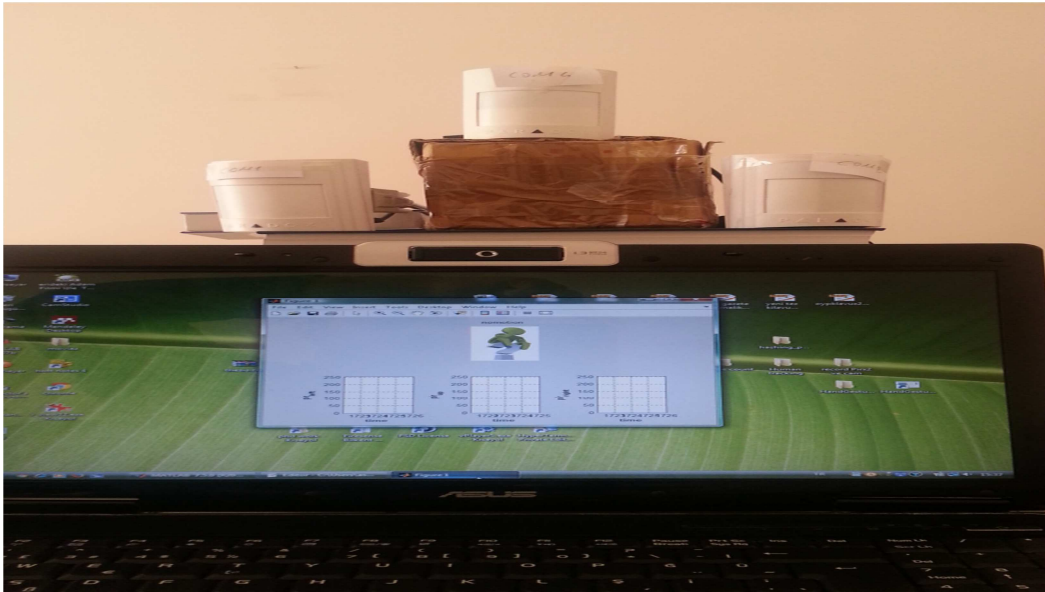
	Test Hareket Sayısı	Doğru Tespit	Yanlış Tespit
Sadece kamera	312	276	36
Sadece PIR algılayıcı dizisi	312	296	16
Çok modlu sistem	312	308	4

Çizelge 2.3. Farklı algılayıcı seçimleri için 6 farklı kullanıcıya ait 298 aşağıdan-yukarıya/yukarıdan-aşağıya el hareketi sınıflandırma sonuçları. En iyi sonuçlar çok modlu sistemle elde edilmiştir (son satır).

	Test Hareket Sayısı	Doğru Tespit	Yanlış Tespit
Sadece kamera	298	267	31
Sadece PIR algılayıcı dizisi	298	282	16
Çok modlu sistem	298	291	7

İki PIR algılayıcı ve bir kameradan oluşan çok modlu sistem yanlış tespitleri, tek modlu sistemlere göre belirgin ölçüde azaltmaktadır. Sadece video analizinin yapıldığı durumda, aydınlanma, yansıma veya hareket esnasında açısı değişen eli izleyememe gibi sebeplerden kaynaklanan yanlış tespitler yaklaşık yüzde 10 oranında iyileştirilmiştir. Çok modlu sistem basit el hareketlerini, %2'nin altında bir hata oranıyla tanıyabilmektedir.

Deneylerin ikinci kısmında, tanınabilen el hareketleri sayısını artırmak amacıyla Şekil 2.11.'de gösterilen çok modlu sisteme, bir diferansiyel PIR algılayıcı daha ilave edilerek Şekil 2.13.'teki düzenek oluşturulmuştur.



Şekil 2.13. Üç diferansiyel PIR algılayıcı ve bir kameradan oluşan el hareketleri tanıma sistemi

Üç diferansiyel PIR algılayıcı ile soldan-sağa/sağdan-sola, aşağıdan-yukarıya/yukarıdan-aşağıya ve saat yönü/saat yönünün tersi ele hareketlerini sınıflandırma doğruluk yüzdeleri Çizelge 2.4.'te sunulmaktadır. Wojtczuk ve diğerleri [9] tarafından önerilen 4×4 PIR dizisinin soldan-sağa/sağdan-sola ve aşağıdan-yukarıya/yukarıdan-aşağıya el hareketlerini tanımada ürettiği doğruluk %92.6'dır. Buna karşılık, önerdiğimiz çok modlu sistemle aynı hareketler %98.2'lik bir doğrulukla tanınabilmektedir. Ayrıca sistemimiz, [9]'da tanınamayan saat yönü ve saat yönünün tersi el hareketlerinde %94.3'lük bir tanıma doğruluğuna sahiptir.

Çizelge 2.4. 6 farklı kullanıcıya ait, üç diferansiyel PIR algılayıcı ve bir kamera yardımıyla el hareketleri sınıflandırma sonuçları.

Hareket Yönü	Test sayısı	Yanlış Tespit	Doğruluk(%)
sola/sağa	312	4	98.7
aşağı/yukarı	298	7	97.6
dairesel	282	16	94.3

3. DİFERANSİYEL PIR ALGILAYICI VE KAMERA YARDIMIYLA HASSAS İNSAN SAYMA

Belirli bir alandaki insan sayısının bulunması pek çok Aml ve AAL uygulaması için kritik bir problemdir. İzlenen bir alanda insan sayısının beklenmedik biçimde azlığı veya çokluğu sıra dışı bir durumun habercisi olabilir [30]. Bir mağaza ya da alışveriş merkezindeki insan sayısının gerçek-zamanlı ve hassas kestirimi, işletmecilere önemli veriler sağlayabilir. Bir binadaki insan sayısı bilgisi ile güç ve enerji tüketimi verimli bir şekilde yönetilebilir. Örneğin, klima ve aydınlatma seviyeleri insan sayısına ve yoğunluk konumlarına göre ayarlanabilir [31]. Durakta bekleyen yolcu sayısına göre toplu taşıma programları düzenlenebilir [32]. Televizyon kanallarının izlenme oranları medya endüstrisi için önemli bir veridir. İzlenme oranlarını tespit etmek için kullanılan mevcut yöntemler, ölçüm yapılan yerlerde yaşayan nüfus üzerinden bir kestirim yaparak, hangi yayının hangi zaman aralığında kaç kişi tarafından takip edildiğini bulmaya dayalıdır [33]. İzlenme oranları, ekranın karşısında tam olarak kaç insan olduğu bilinirse daha hassas bir şekilde ölçülebilir. Çalışmamızın bu bölümünde, bir PIR algılayıcı ve kamera yardımıyla belirli bir alanda (örn. bir odada TV ekranı karşısında) bulunan insan sayısını hassas bir biçimde tespit etmeyi amaçlayan bir sistem tanıtmaktayız. PIR algılayıcılar düşük maliyetli kızılberisi algılayıcılardır ve görüş alanları ile ilgili hem diferansiyel hareket, hem de kızılberisi imza bilgileri sağlarlar. Yapılan çalışmada, PIR algılayıcı sinyali işleme üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Video işleme tabanlı insan sayma sistemlerinde, aydınlatma ve yansıma değişiklikleri ve engelleme gibi problemlerle karşı karşıya kalınmaktadır. Ayrıca seçilen video analizi algoritmasına has birtakım sorunlar da çıkmaktadır. Önerdiğimiz yeni çok modlu sistem ile kameraya ilaveten bir diferansiyel PIR algılayıcıdan yararlanarak, sadece kamera kullanan sistemlerin ürettiği sonuçları iyileştirmeyi amaçlamaktayız. Kamera ile insan yüzü algılamada Viola ve Jones'un önerdiği yöntemden [34] yararlanılmaktadır. Bu yöntemde, resimlere ait öznitelik çıkarımı için Haar benzeri öznitelikler kullanılmaktadır. AdaBoost makine öğrenme yöntemiyle oluşturulan sınıflandırıcılarla, test edilen resimlerdeki bölgeler insan yüzü olup olmadıklarına göre sınıflandırılır. Sınıflandırıcılar, test edilen resimlerde Haar özniteliklerinin varlığına integral görüntü yöntemiyle hızlı bir şekilde karar verebilmektedir.

İzlenen alana insan giriş/çıkışı ve izlenen alandaki basit insan bedeni hareketleri PIR algılayıcı yardımıyla ayırt edilir. Belirtilen hareketlerin tanınmasında Markov modeller tabanlı bir yöntem kullanılmaktadır. PIR algılayıcı sinyalinin nitelik çıkarımı için, algılayıcının ürettiği sürekli-zamanlı ve gerçek-değerli sinyalin dalgacık dönüşümü kullanılır. Dalgacık parametreleri, iki hareket sınıfına karşılık gelen Markov modellerine beslenir ve en yüksek olasılığı üreten modele göre analiz edilen hareketin hangi sınıfa ait olduğuna karar verilir. Kameranın ürettiği yüz sayma sonuçları, PIR algılayıcı sinyali analizi ile yapılan sınıflandırma sonuçları değerlendirilerek düzeltilir. Çok modlu sistemin yanlış alarmları azalttığı ve izlenen alandaki insan sayısını daha hassas bir şekilde belirleyebildiği deneysel olarak gösterilmektedir. Kamera, sadece PIR algılayıcı analog karar devresinin algılayıcının görüş alanında bir hareket tespit etmesi halinde aktive edilir. Bu yüzden, geliştirilen sistem enerji tüketimi açısından verimli bir sistemdir. Sunduğumuz çalışma bildiğimiz kadarıyla, PIR algılayıcı ve kamerayı birleştirerek insan sayan ilk çalışmadır.

3.1. Literatür Özeti

Bu çalışmada kamera ile insan sayma işlemi, yüz algılama tabanlı yürütülmektedir. Yüz algılamanın hedefi, rastgele bir resim verildiğinde resimde herhangi bir yüzün varlığına ve resim karesindeki konumuna karar vermektir. Yüz algılama insanlar için sıradan bir iş gibi görünse de, bilgisayarlar için zorlu bir görevdir ve son yıllarda en çok çalışılan araştırma konularından biri olmuştur. Yüz algılama ile ilişkili zorluklar şu etkenlere atfedilebilir [35]:

- Poz: Bir yüze ait görüntü, kamera-yüz pozuna (öne ait, 45 derece, profil, üst taraftan aşağıya) bağlı olarak değişebilir ve göz veya burun gibi yüze ait bazı öznitelikler kısmen ya da tamamen engellenmiş olabilir.
- Yapısal bileşenlerin varlığı veya yokluğu: Sakal, bıyık ve gözlük gibi yüze ait öznitelikler olabilir veya olmayabilir ve bu bileşenler şekil, renk, boyut gibi farklılıklar taşırlar.
- Yüz ifadesi: Bir yüze ait görünüm, insanın yüz ifadesiyle doğrudan ilişkilidir.
- Perdeleme: Yüzler kısmen diğer nesneler tarafından kapanabilir. Bir grup insan görüntüsünde, bazı yüzler diğerlerini perdeleyebilir.
- Görüntüleme şartları: Görüntü oluşturulurken aydınlanma ve kamera karakteristiği yüzün görünümünü etkileyebilir.

Bir resimde yüzlerin algılanmasını amaçlayan metotlar temel olarak dört grupta sınıflandırılabilir [36]:

- i. Bilgi tabanlı yöntemler (örn. [37], [38]): Bu yaklaşımda, araştırmacıların insan yüzlerine ait bilgilerinden türetilen kurallara dayalı metotlar geliştirilir. Yüze ait öznitelikleri ve bunların birbirleriyle ilişkilerini tanımlamak için basit kurallar üretilir. Örneğin, bir resimde yüz genellikle birbirine simetrik iki göz, burun ve ağızla görünür. Özniteliklerin ilişkileri, birbirlerine karşı olan göreceli uzaklıkları ve pozisyonlarıyla temsil edilebilir. Bir girdi resminde önce yüze ait öznitelikler çıkarılır ve aday bölgeler kodlanmış kurallara dayanarak teşhis edilir. Yanlış tespitleri azaltmak için genellikle bir doğrulama işlemi uygulanır. Bu yaklaşımdaki problem, insan yüzüne ait bilgilerin, iyi tanımlanmış kurallara çevrilmesindeki zorluktur. Kuralların fazla detaylı ve katı olmaları durumunda, bütün kurallardan geçemeyen yüzleri algılamada başarısız olunabilir. Eğer kurallar fazla genel olursa, yanlış pozitiflerin sayısı artabilir. Bu yaklaşımla ilgili bir diğer problem ise, yüzü farklı pozlarda algılayabilmek üzere genişletilmesindeki zorluktur.
- ii. Öznitelik tabanlı yaklaşımlar (örn. [39]–[42]): Bu yaklaşımın temel varsayımı; insanların, yüzleri ve nesneleri farklı pozlarda ve aydınlatma koşullarında rahatlıkla algılayabilmelerinden hareketle, bu değişkenliklerden bağımsız birtakım özellikler veya özniteliklerin var olmak durumunda olmalarıdır. Önce yüze ait öznitelikleri algılama, sonra yüzün varlığına ulaşmaya yönelik çok sayıda metot önerilmiştir. Kaşlar, gözler, burun, ağız ve saç çizgisi gibi yüze ait öznitelikler, genellikle köşe algılayıcılar kullanılarak çıkarılır. Çıkarılan özniteliklerin birbirleriyle ilişkilerini tanımlamak için istatistiksel bir model oluşturulur ve yüzün varlığı doğrulanır. Çok sayıda belirgin köşeler içeren gölgeler, gürültü, perdeleme ve aydınlatma koşulları öznitelik tabanlı yaklaşımlarda karşılaşılan başlıca zorluklardır.
- iii. Şablon eşleştirme yöntemleri (örn. [43], [44]): Standart bir yüz örüntüsü, (genellikle ön cepheden) manuel olarak bir fonksiyonla önceden tanımlanır veya parametrelerle ifade edilir. Verilen bir resim girdisinde yüz konturu, gözler, ağız ve burun ile standart örüntüler arasındaki ilintiler birbirinden bağımsız olarak hesaplanır. Yüzün varlığına, bu ilintilere bağlı olarak karar

verilir. Şablon eşleştirme yöntemleri uygulaması en kolay olan yöntemlerdir, fakat ölçek, poz ve şekildeki değişkenliklerden ötürü yüz algılamada diğer yöntemlerden daha başarısızdır. Ölçek ve şekle bağımlılığı azaltmak için çok ölçekli, çok çözünürlüklü alt şablonlar önerilmektedir.

- iv. Görünüş tabanlı yöntemler (örn. [45]–[47]): Şablonların uzmanlarca önceden tanımlandığı şablon eşleştirme yöntemlerinin aksine, bu yaklaşımda modeller bir eğitime görüntüsü kümesinden öğrenilir. Görünüş tabanlı yöntemler, yüz ve yüz olmayan görüntülerin konuyla ilgili karakteristiklerini bulmak için genel olarak istatistiksel analiz ve makine öğrenme tekniklerinden faydalanırlar. Sonrasında dağılım modelleri veya ayırt edici fonksiyonlar formundaki bu karakteristikler yüz algılamada kullanılır.

Önerdiğimiz gerçek-zamanlı uygulamada, (ii) öznitelik tabanlı yaklaşımlar grubunda yer alan Viola-Jones yüz algılayıcı [34] kullanılmaktadır. Bu metot, işlemsel yük kriteri açısından oldukça verimlidir ve düşük çözünürlüklü videolarda bile iyi çalışmaktadır. Sistemimizdeki Viola-Jones yüz algılayıcı, verilen bir uygulamaya daha uygun olabilecek başka bir video tabanlı insan algılayıcı ile değiştirilebilir. Yukarıda da belirtildiği üzere burada, PIR algılayıcı ile insan hareketlerini ayırt etme üzerinde yoğunlaşmakta ve sadece kamera kullanan sistem ile yapılan insan sayma sonuçlarının çok modlu sistemle geliştirilebileceği gösterilmektedir. Çalışmamız çok modlu yapısı sebebi ile yukarıda örneklendirilen ve sadece kamera kullanan çalışmalardan farklılık arz etmektedir. Çok modlu sistemimiz, sadece kamera ile insan sayan sistemlerin karşılaştığı ve yukarıda sayılan zorluklar neticesinde ürettiği yanlış alarmları azaltmaktadır.

Halihazırdaki PIR algılayıcı tabanlı sistemlerin; elektrikli aletlerin otomasyonu [15], yangın tespiti [48], insana ait düşme hareketini algılama [49], evlere yerleştirilen gömülü gözetleme sistemlerinin tasarımı ve uygulanması [50] ve el hareketleri tanıma [9] vb. alanlarda pek çok potansiyel uygulaması bulunmaktadır. Bu uygulamaların hemen hepsi PIR algılayıcı analog karar devresinin ürettiği açma/kapama sonuçlarına dayalıdır. PIR algılayıcı analog karar devresi ile algılayıcıdan elde edilen sürekli-zamanlı gerçek-değerli sinyalleri aynı anda kullanan çok az sayıda uygulama vardır. Fakat var olan bu uygulamalar başka görevler için tasarlanmıştır [51], [52]. Yun ve Lee [52]'de bir insanın hareket yönü,

hızı ve kimliğini belirlemeye yönelik geliştirdikleri PIR algılayıcı tabanlı bir sistem tanıtmaktadırlar. Her biri 4 adet PIR algılayıcıdan oluşan 3 modülden aldıkları ham verilerle elemanları, voltaj tepe değeri, tepe değeri zamanı ve geçiş süresi olan indirgenmiş bir öznitelik kümesi oluştururlar. Daha sonra bu öznitelikleri pek çok sınıflandırıcıya beslerler. Wahl ve diğerleri, dağıtılmış PIR algılayıcı yaklaşımıyla bir ofisteki insan sayısını kestirmeyi hedeflemişlerdir [31]. Bu çalışmada, bir çift PIR algılayıcının rapor ettiği hareket olaylarının zamanlamasına bağlı olarak, insanın kapıdan girme hareketi tanınmaya çalışılmaktadır. Önerdiğimiz insan sayma metodu, çok modlu yapısı ve sürekli-zamanlı PIR algılayıcı sinyalini kullanması sebebiyle bu çalışmadan ayrılmaktadır. Ayrıca Wahl ve diğerlerinin kullandığı algoritma bir ofise giren insanı tespit edebilse de, o ofiste kaç kişinin bulunduğunu sayamamaktadır. Bildiğimiz kadarıyla, Vadakkepat ve diğerlerinin kameranın yanı sıra 16 sonar tarayıcı ve dokunma algılayıcı kullanarak yüz algılama ve izleme yaptığı çalışma [53] dışında, yüz algılama ve saymada burada önerdiğimiz benzer çok modlu bir uygulama bulunmamaktadır.

Viola-Jones yüz algılayıcı ile yüz algılama ve sayma Bölüm 3.2.'de anlatılmaktadır. Diferansiyel PIR algılayıcıdan elde edilen verilerle, tanımlanan sınıflara ait Markov modellerin eğitilmesi ve bu modeller tabanında yürütülen sınıflandırma işlemi Bölüm 3.3.'te sunulmaktadır. Daha hassas bir yüz sayma işlemi için geliştirilen kamera ve diferansiyel PIR algılayıcıdan oluşan çok modlu sistemin karar mekanizması Bölüm 3.4.'te, uygulama ve deneysel sonuçlar ise Bölüm 3.5.'te anlatılmaktadır.

3.2. Kamera ile Yüz Algılama ve Sayma

Kamera ile yüz algılama ve algılanan yüzlerin sayısını belirlemede Viola-Jones metodu kullanılmaktadır. Ön cepheden yüz algılamak üzere inşa edilmiş bu metot dört anahtar kavramı birleştirir:

- Basit dikdörtgen öznitelikler (Haar benzeri öznitelikler)
- Hızlı öznitelik çıkarımı için integral görüntü yöntemi
- AdaBoost makine öğrenme yöntemi
- Pek çok özniteliği verimli bir şekilde birlikte kullanabilmek için kademeli sınıflandırıcı

Viola-Jones metodunun tercih edilmesindeki temel motivasyon; yayınlanmış en iyi sonuçlara eş değer algılama ve yanlış pozitif oranlarına sahip olması ve resimlerdeki yüzleri diğer uygulamalara göre oldukça hızlı algılayabilmesidir. Yüksek hızlı işlemeyi başarmak için diğer teknikler, resim farklama ve renkli resimlerdeki piksel rengi gibi yardımcı bilgiler kullanırken, Viola-Jones metodu sadece gri ölçekli bir resimde var olan bilgiden yararlanır.

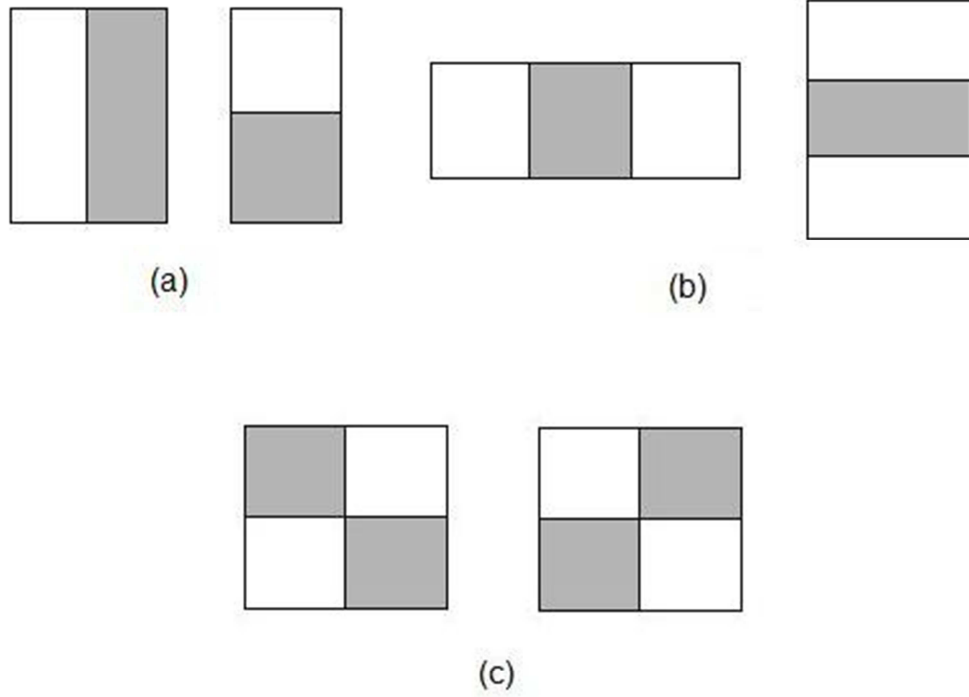
3.2.1. Öznitelik Çıkarımı

Verilen bir resimde alt bölgeleri “yüz” ve “yüz olmayan” şeklinde sınıflandırmak için Haar benzeri öznitelikler kullanılır. Haar dalgacıkları tek dalga boyulu kare dalgalardır (bir yüksek aralık ve bir düşük aralık). İki boyutta bir kare dalga, biri açık biri koyu renkli olmak üzere komşu bir çift dikdörtgendir. Görsel nesne algılama uygulamalarındaki asıl dikdörtgen kombinasyonlar gerçek Haar dalgacıkları değildir. Haar dalgacıkları yerine görsel algılama görevine uygun dikdörtgen kombinasyonlar seçilir. Bu farktan ötürü, bu öznitelikler Haar dalgacıkları değil, Haar benzeri öznitelikler olarak adlandırılır. Haar benzeri özniteliklerin tercih edilmesinin temel sebebi, bu özellikleri kullanan bir yöntemin, doğrudan piksel değerlerine dayalı yöntemlere göre çok daha hızlı olmasıdır.

Şekil 3.1.'de, Viola-Jones metodunda kullanılan Haar benzeri dikdörtgen özniteliklerden birkaçı gösterilmektedir. Bir Haar benzeri özniteliğin değeri, ikiden dörde kadar sayıda dikdörtgenin yoğunluk farkları olarak tanımlanır. Örneğin; iki dikdörtgenli özniteliğin değeri, şekildeki gri ve beyaz dikdörtgen bölgelerin ortalama piksel değerlerinin farkıdır. Bölgeler bütün öznitelikler için aynı şekilde ve boydadır ve yatay veya dikey olarak birbirine komşudur. Bu çalışmada yüz algılama için üç farklı öznitelik kullanılmaktadır: iki dikdörtgenli, üç dikdörtgenli ve dört dikdörtgenli öznitelikler. Üç dikdörtgenli özniteliğin değeri, merkezdeki dikdörtgen ile dıştaki iki dikdörtgenin ortalama piksel değerleri farkıdır. Dört dikdörtgenli özniteliğin değeri ise, çapraz dikdörtgenlerin ortalama piksel değerleri farkıdır. Hesaplanan farkın, öğrenme aşamasında ayarlanmış olan bir eşik değerinin üzerinde olması halinde, ilgili özniteliğin varlığına karar verilir.

Her resim alt bölgesi ve farklı ölçekte algılayıcılar için yüzlerce Haar benzeri özniteliğin varlığına veya yokluğuna karar vermek, işlem yükü oldukça fazla bir iştir. 384×288 piksel bir resimle çalışırken, algılayıcının taban çözünürlüğü 24×24 olarak verildiğinde, sadece iki dikdörtgenli öznitelik sayısı 180.000'den fazladır.

Öznitelikleri hızlı bir şekilde hesaplamak için integral görüntü yönteminden yararlanılır.



Şekil 3.1. Haar benzeri (a) iki dikdörtgenli, (b) üç dikdörtgenli ve (c) dört dikdörtgenli öznitelik örnekleri

3.2.2. İntegral Görüntü

Toplam alan tablosu olarak da bilinen integral görüntü, bir örgünün alt dikdörtgen bölgelerine ait değerleri hızlı ve verimli bir biçimde toplayan bir algoritmadır. Viola ve Jones, Haar benzeri özniteliklerin hesaplanmasında integral görüntü tekniğini uyguladılar. (x, y) piksel konumundaki integral görüntü, (x, y) noktasının solu ve yukarısına doğru olan piksellerin toplamıdır (Şekil 3.2. (a)) ve aşağıdaki gibi oluşturulur:

$$ii(x, y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} i(x', y')$$

burada $ii(x, y)$, (x, y) piksel konumundaki integral görüntüdür ve $i(x', y')$ orijinal görüntüdür. Bir dikdörtgendeki ortalama piksel değerini bulmak için, integral görüntü dikdörtgenin alanına bölünür. Aşağıdaki tekrar eden çiftleri kullanarak:

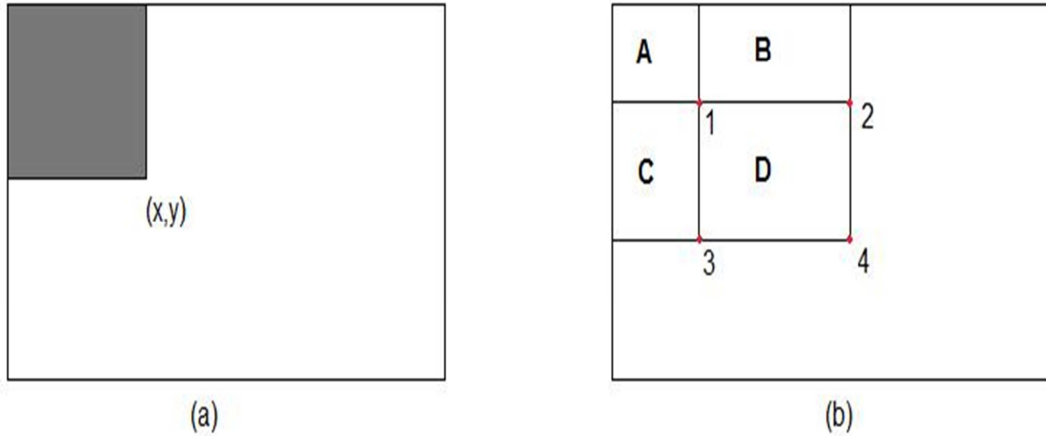
$$s(x, y) = s(x, y - 1) + i(x, y)$$

$$ii(x, y) = ii(x - 1, y) + s(x, y)$$

($s(x, y)$ birikmiş satır toplamı, $s(x, -1) = 0$ ve $ii(-1, y) = 0$) integral görüntü, resmin üzerinden bir kere geçmekle hesaplanabilir. Şekil 3.2. (b)'deki D bölgesindeki değerler toplamı şu şekilde bulunur:

$$\begin{aligned} \sum_{x,y \in D} i(x, y) &= ii(x_4, y_4) - ii(x_3, y_3) - ii(x_2, y_2) + ii(x_1, y_1) \\ &= (A + B + C + D) - (A + C) - (A + B) + A \end{aligned}$$

Dolayısıyla, herhangi bir dikdörtgendeki değerler toplamı üç aritmetik işlemle ve dört referans değerle hesaplanabilir. Açıkça görüleceği üzere, iki dikdörtgen öznitelik arasındaki fark sekiz referansla hesaplanabilir. Yukarıda tanımlanan iki dikdörtgenli öznitelik, birbirine komşu iki dikdörtgen içerdiğinden, altı referans değer kullanılarak hesaplanır. Aynı sebeple; üç dikdörtgenli öznitelik sekiz, dört dikdörtgenli öznitelik dokuz referansla hesaplanabilir.



Şekil 3.2. Integral görüntü gösterimi

3.2.3. AdaBoost Makine Öğrenme Metodu

Bir öznitelik kümesi ile pozitif ve negatif eğitme kümeleri verildiğinde, bir sınıflandırma fonksiyonu öğrenmek için istenen sayıda makine öğrenme yaklaşımı kullanılabilir. Viola-Jones yüz algılama yönteminde, kullanılacak özgün Haar benzeri öznitelikleri ve bunlara bağlı eşik değerlerini belirlemek için AdaBoost

isimli makine öğrenme yöntemi kullanılır. Her resim alt penceresi için (piksel sayısından çok daha fazla) 180.000'i aşkın dikdörtgen öznitelik vardır. Her bir öznitelik hızlı ve etkili bir şekilde hesaplanabilir olsa da, bütün bir kümenin hesaplanması oldukça masraflıdır. Buradaki hipotez, bu özniteliklerden çok az sayıda kullanılarak etkili bir sınıflandırıcı oluşturulabileceğidir. Ana görev bu öznitelikleri bulmaktır.

Bu amaca yönelik, pozitif ve negatif örnekleri en iyi şekilde ayırabilen tek bir dikdörtgen öznitelik seçmek için zayıf öğrenme algoritması tasarlanır. Zayıf öğrenici, her bir öznitelik için en az sayıda örneği yanlış sınıflandırılabileceği şekilde, en uygun eşik sınıflandırma fonksiyonuna karar verir.

Artırmalı bir sınıflandırıcı aşağıdaki şekildedir:

$$F_T(x) = \sum_{t=1}^T f_t(x),$$

burada her f_t , x nesnesini girdi olarak alan ve nesnenin ait olduğu sınıfı belirten gerçek-değerli bir sonuç döndüren bir zayıf öğrenicidir. Zayıf öğrenici çıktısının işareti, tahmin edilen nesne sınıfını tanımlar, mutlak değeri ise o sınıftaki güvenilirlik skorudur. Benzer bir şekilde T -katmanlı sınıflandırıcı, örneğin pozitif sınıfta olduğu tahmin edildiğinde pozitif, diğer durumda negatiftir.

Her zayıf öğrenici, eğitme sınıfındaki her bir örnek için çıktı olarak $h(x_i)$ hipotezini üretir. Her t tekrarlamasında, zayıf bir öğrenici seçilir ve sonuçtaki t -kademeli artırmalı sınıflandırıcı eğitme hatası toplamı- E_t en aza indirgenecek şekilde bir α_t katsayısı atanır:

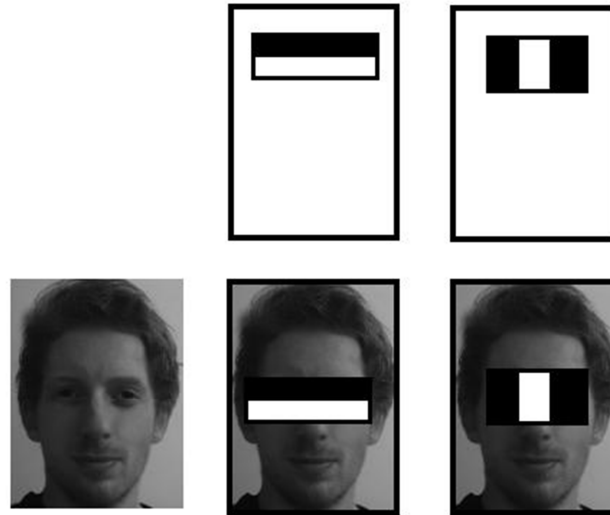
$$E_t = \sum_i E[F_{t-1}(x_i) + \alpha_t h(x_i)]$$

Burada $F_{t-1}(x)$ eğitmenin bir önceki kademesinde geliştirilmiş olan artırmalı sınıflandırıcı, $E(F)$ bir hata fonksiyonu ve $f_t(x) = \alpha_t h(x)$ sınıflandırıcıya eklenmesi düşünülen zayıf öğrenicidir. Eğitme işleminde her tekrarlamada, eğitme kümesindeki her bir örneğe, o örneğin şimdiki hatası olan $E(F_{t-1}(x_i))$ 'ye eşit bir ağırlık atanır. Böylece her bir t tekrarlamasında, 180.000 potansiyel öznitelikten biri seçilir.

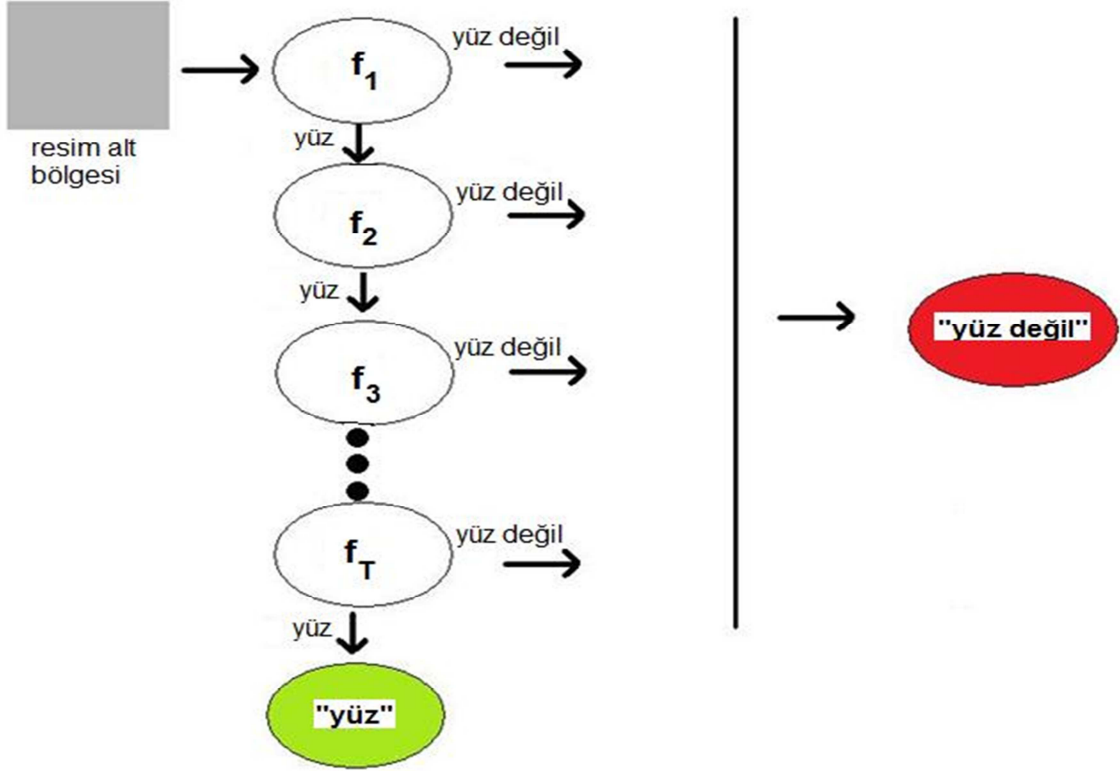
Yüz algılama görevinde AdaBoost tarafından seçilen ilk dikdörtgen öznitelik kolay yorumlanabilir ve anlamlıdır. İlk seçilen öznitelik, gözlerin olduğu bölgenin, yanakların ve burnun olduğu bölgeye göre daha koyu olması özelliğine odaklanır. İkinci seçilen öznitelik ise, gözlerin olduğu bölgenin, burun direğinin olduğu bölgeye göre daha koyu olması özelliğine odaklanır (Şekil 3.3.).

3.2.4. Basamak Yapı

Sınıflandırıcıları basamaklı bir şekilde inşa ederek hesaplama zamanı ciddi ölçüde azaltılırken, algılama performansı artırılabilir. Sınıflandırıcılara ait basamaklı yapı Şekil 3.4.'te gösterilmektedir. Her kademedeki sınıflandırıcı, önceki kademedeki sınıflandırıcılardan geçmiş eğitme örneklerini sınıflandıracak şekilde eğitilir. İlk sınıflandırıcıdan olumlu bir sonuç elde edilmesi halinde, birinci sınıflandırıcı gibi yüksek algılama oranına sahip olan ikinci sınıflandırıcı tetiklenir. İkinci sınıflandırıcı da olumlu sonuç üretirse, üçüncü sınıflandırıcı tetiklenir ve böyle devam eder. Herhangi bir noktada varılan olumsuz bir sonuç, analiz edilen alt pencerenin hemen reddedilmesine yol açar.

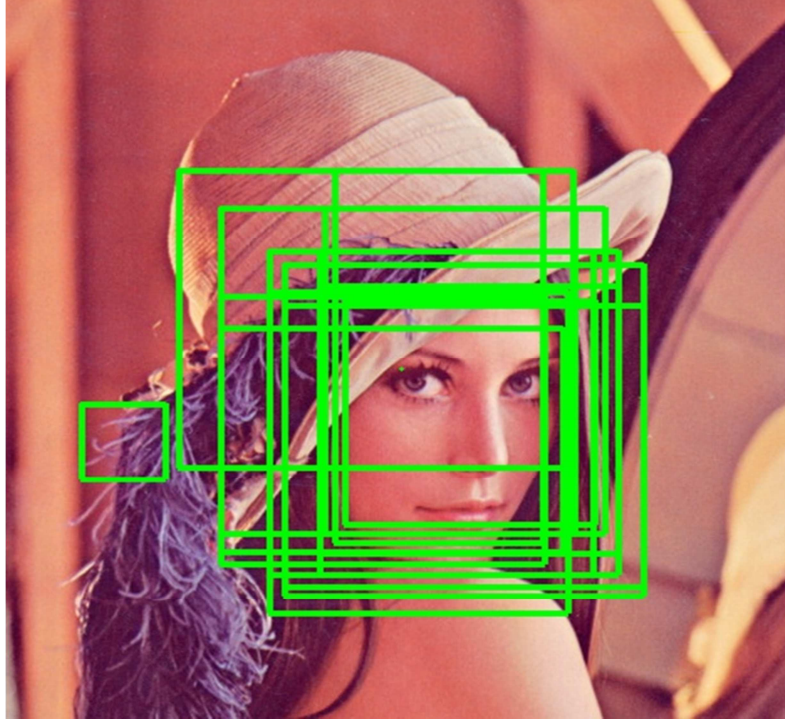


Şekil 3.3. AdaBoost tarafından seçilen ilk iki Haar benzeri öznitelikler



Şekil 3.4. Basamaklı sınıflandırıcı yapı

Basamaktaki kademeler, AdaBoost kullanılarak eğitilen sınıflandırıcılar tarafından ve yanlış negatifleri en aza indirgeyecek şekilde eşik değerlerinin belirlenmesiyle oluşturulur. Sınıflandırıcıların basamaktaki sıralaması, AdaBoost'un atadığı önem ağırlıklarına göre yapılır. En fazla ağırlığa sahip sınıflandırıcılar, yüz olmayan resim bölgelerini mümkün olduğunca hızlı reddedebilmek için ilk sıralarda yer alır. Her bir kademedeki eşik değeri, eğitme kümesindeki pozitif örneklerin tamamı veya tamamına yakın kısmını geçirecek kadar düşük ayarlanır. AdaBoost pek çok zayıf sınıflandırıcıyı birleştirerek güçlü bir sınıflandırıcı oluşturur. Burada “zayıf”, sınıflandırıcının rastgele bir tahminden biraz daha fazla sıklıkta doğru sonuç ürettiği anlamına gelir. Fakat çok sayıda zayıf sınıflandırıcının her birinin, son cevabı doğru yöne doğru bir parça itmesi neticesinde güçlü bir sınıflandırıcı elde edilir. Viola-Jones yüz algılama metodunda basamak yapının ilk beş katmanında sırasıyla 1,10, 25, 25 ve 50 öznitelik bulunmaktadır. Geri kalan katmanlar artan sayıda öznitelige sahip olup, bütün katmanlardaki toplam öznitelik sayısı 6061'dir.

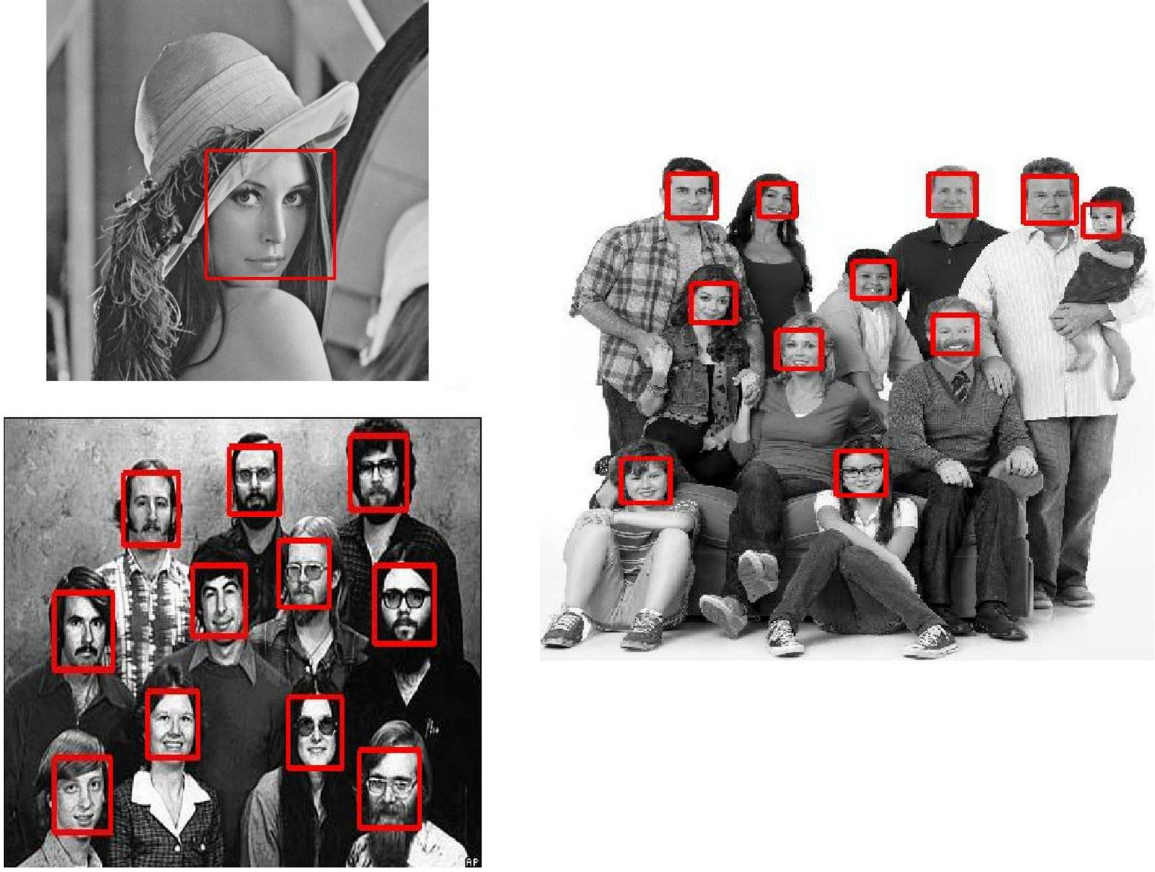


Şekil 3.5. Örnek bir resme ait sınıflandırıcılar tarafından üretilen dikdörtgen bölge listesi

Yüz algılayıcı çağırıldığında, aslında sınıflandırıcılar her pozitif resim bölgesi için pek çok sonuç döndürür. Şekil 3.5.'te örnek bir resme ait, sınıflandırıcılar tarafından üretilen dikdörtgen bölge listesi gösterilmektedir. Yüz bölgesinin kendisi, elemanları büyük ölçüde örtüşen en büyük dikdörtgen demetine sahiptir. Yüz bölgesinin sol tarafında küçük bir tespit, sol üst tarafına doğru da iki büyük tespit vardır. İzole tespitler, genellikle yanlış tespitlerdir ve görmezden gelinmeleri anlamlıdır. Büyük ölçüde örtüşme içeren dikdörtgenler gruplanır ve grubun ortalaması olan dikdörtgen bulunur. Sonuçta elde edilen dikdörtgen bölgenin, insan yüzünün resimdeki konumu olduğuna karar verilir. Viola-Jones yüz algılayıcısının bazı test resimlerine uygulanmasına ait sonuçlar Şekil 3.6.'da gösterilmektedir.

3.3. Diferansiyel PIR Algılayıcı ile İnsan Hareketlerinin Sınıflandırılması

Bu bölümde insan hareketlerinin, bir diferansiyel PIR algılayıcı verilerinin işlenmesi yoluyla sınıflandırılması anlatılmaktadır. Burada esas olarak tespit edilmek istenen hareket, bir insanın izlenen alana girmesi veya bu alanı terk etmesidir. Kamera ile üretilen yüz sayma sonuçları, diferansiyel PIR algılayıcıdan elde edilen bu yeni bilgilerle düzeltilerek daha kesin sonuçlara ulaşılmaya çalışılmaktadır.



Şekil 3.6. Viola-Jones yüz algılayıcısının [34] üç test resmi üzerindeki çıktıları

İlgilenilen alana bir insan giriş/çıkışı ve halihazırda ilgili alandaki bir insanın basit hareketleri (el, kol, bacak hareketleri gibi) veya ilgili alanda hiçbir aktivitenin olmadığı durumlar olmak üzere tanımlanan iki olay sınıfı, Markov modellere dayalı bir yöntemle sınıflandırılır. Eğitim aşamasında her bir sınıf için, dalgacık katsayıları tabanında bir model eğitilir. Test aşamasında, ilk olarak dalgacık dönüşümü yapılan bir test sinyali penceresinin, hangi modele daha çok benzediğinin olasılıksal bir yaklaşımla hesaplanmasının ardından pencerenin hangi sınıfa ait olduğuna karar verilir.

Diferansiyel PIR algılayıcı sinyali, Şekil 2.4.'teki devre vasıtasıyla bilgisayara aktarılır. Veri aktarımı, Bölüm 2.3.1.'de anlatıldığı gibi yapılmaktadır. Buradaki tek fark, sadece tek bir diferansiyel PIR algılayıcı kullanılmasıdır. Diferansiyel PIR algılayıcıdan gelen sinyal, 100 Hz örnekleme frekansı ile örneklenir. Bu sinyale ait dalgacık katsayıları $w[k]$, orijinal sinyalin [25 Hz, 50 Hz] frekans aralığı bilgisine karşılık gelen, tek aşamalı alt bant ayrışım işleminden elde edilir. Tek aşamalı alt

bant ayrışım işleminde, sinyal önce Lagrange dalgacıklarına karşılık gelen, katsayıları $\{\frac{-1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{-1}{4}\}$ olan aritmetik bir yüksek geçiren $H(z)$ filtresinden geçirilir, sonra sinyalin çözünürlüğü yarıya indirilir. PIR algılayıcıdan gelen örneklenmiş sinyalin 100 örneklik pencerelere bölündüğünü varsayarsak, her bir pencereye karşılık gelen dalgacık katsayı dizisi 50 uzunlukludur.

Eğitme kümesindeki iki dalgacık sinyali Şekil 3.7.'de gösterilmektedir. Şekil 3.7. (a)'da izlenen alana bir insan girişine karşılık gelen, Şekil 3.7. (b)'de ise izlenen alanda bulunan bir insanın basit el kol hareketlerine karşılık gelen dalgacık sinyali görülmektedir. İki eğitim sinyalinin de dalgacık dönüşümleri 30'ncu dizin civarında tepe yapmaktadır. İnsanın PIR algılayıcısının görüş alanına girme hareketine karşılık gelen dalgacık sinyali (esas hareketin olduğu zamanda), izlenen alandaki basit hareketlere karşılık gelen dalgacık sinyalinden genlik olarak daha büyüktür. Bununla beraber, izlenen alana giriş sinyalinde ana salınımı takip eden daha küçük genlikli salınımlar gözlenmektedir. Belirtilen iki sınıfa ait oluşturulan Markov modeller, bu farklar sayesinde birbirinden ayrışır. İnsanın basit hareketleri ve giriş/çıkış hareketini, ikili bilgi sağlayan sıradan bir PIR algılayıcı ile sınıflandırmak mümkün değildir.

3.3.1. Markov Modelleme

Markov modeller genellikle ses ve jest tanıma gibi uygulamalardaki örüntü tanıma problemini çözmede kullanılır. Bir Markov işleminde şimdiki durum, dizideki sadece önceki N duruma bağlıdır [54]. Örnek olarak bir trafik ışıkları dizisi (kırmızı-yeşil-sarı-tekrar) birinci derece bir Markov işlemini temsil eder.

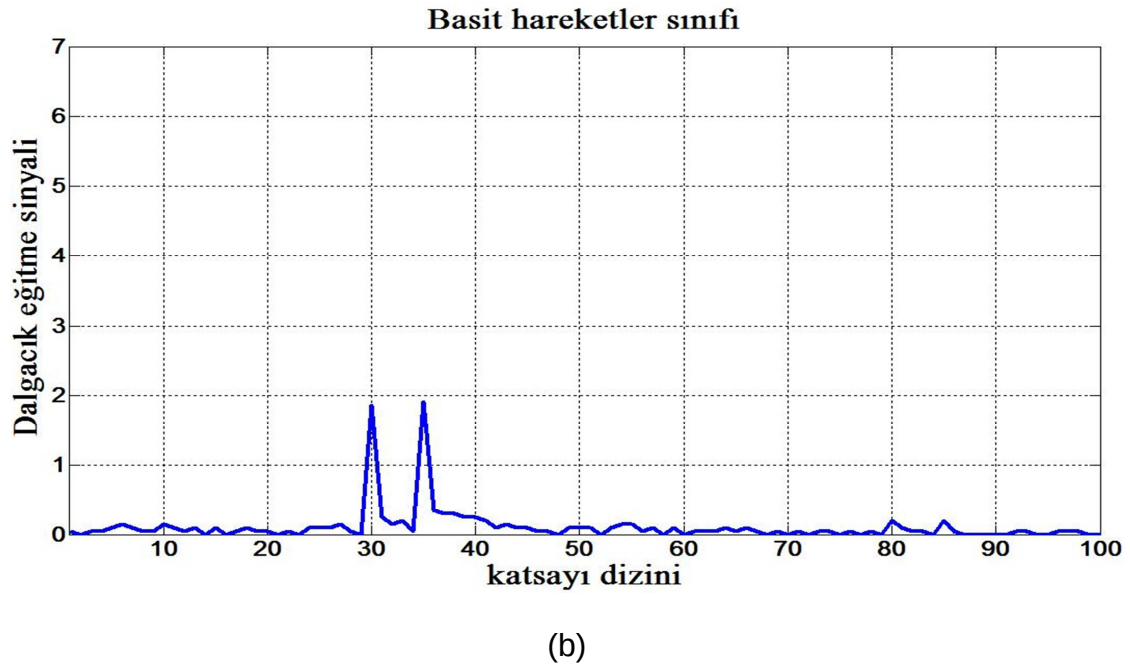
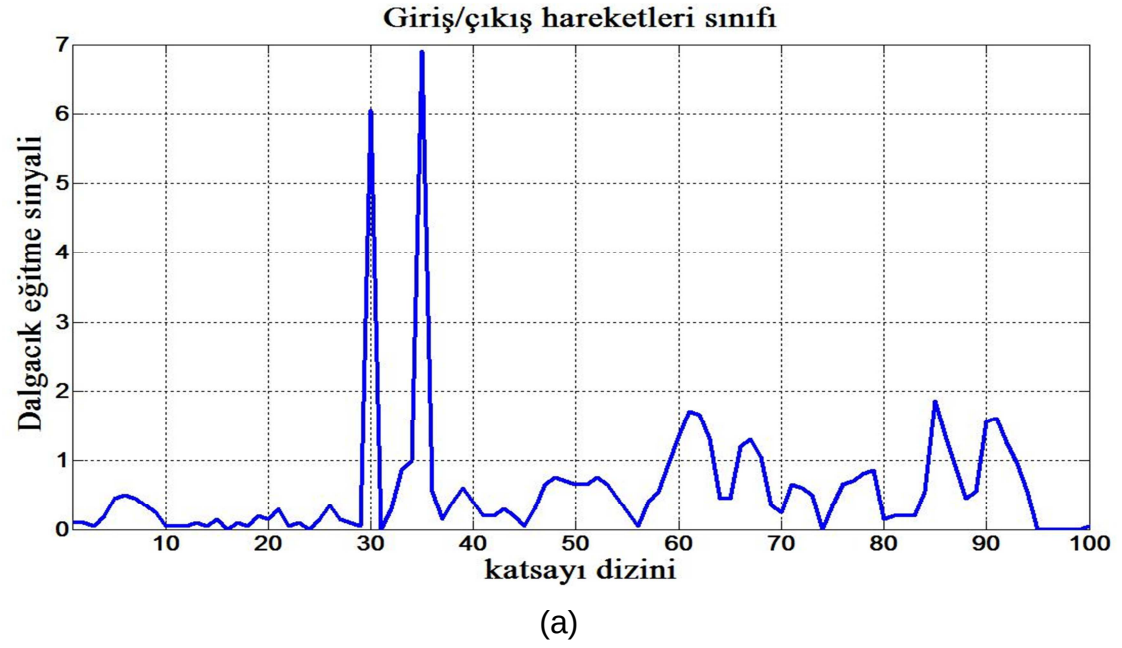
Modelleri eğitim aşamasında, insanın izlenen alana giriş/çıkışı ve diğer hareketlerini temsil eden iki sınıfın her biri için üç-durumlu Markov modelleri oluşturulur. İlk olarak, arka arkaya eklenmiş eğitim kümesine ait dalgacık katsayıları tabanındaki referans sinyallerin değerlerinin, negatif olmayan iki eşik değeriyle (T_1 ve T_2) ilişkileri incelenerek, sinyallere ait her bir örneğin durumu tanımlanır. Her iki model için de aynı eşik değerleri kullanılmaktadır. S_0 , S_1 ve S_2 'nin, bir modele ait üç farklı durumu ve $|w(k)|$ 'nin, referans sinyalin dalgacık dönüşümünün mutlak değerinin alınmasıyla oluşturulan eğitim dizisini temsil ettiğini varsayalım. L uzunluklu $|w(k)|$ eğitim dizisinin her bir elemanının hangi durumda olduğuna aşağıdaki gibi karar verilir:

$i = 0:L - 1$ için

$|w_i(k)| < T_1$ ise, S_0 durumu

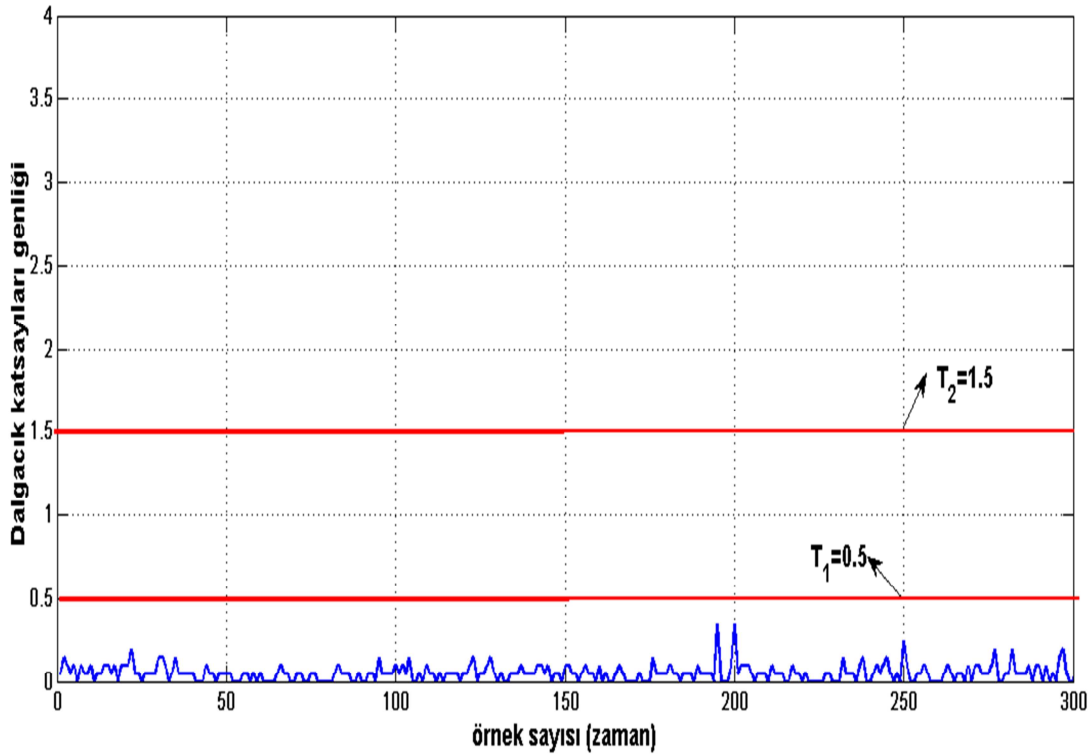
$T_1 < |w_i(k)| < T_2$ ise, S_1 durumu

$|w_i(k)| > T_2$ ise, S_2 durumuna erişilir.



Şekil 3.7. (a) İnsanın izlenen alana giriş/çıkışı ve (b) izlenen alanda basit el-kol hareketlerine ait örnek eğitme sinyallerinin dalgacık dönüşümü

T_1 eşik değerine, eğitime kümesindeki diferansiyel PIR algılayıcının görüş alanında hiçbir aktivite olmadığı duruma ait referans sinyallerin örneklerinin tamamı, S_0 durumunda kalacak şekilde deneysel olarak karar verilir. Dolayısıyla, hiçbir aktivitenin olmadığı durum için ayrıca bir Markov modeli oluşturulmaz. Hiçbir aktivite olmama olayı, test edilen dalgacık katsayı tabanlı sinyal penceresine ait örneklerin neredeyse tamamının S_0 durumunda olup olmadığına bakılarak tespit edilir. T_2 eşiği ise, iki sınıfa ait eğitime sinyallerinin karakteristik farklarını, oluşturulan modellerde ortaya koyabilecek şekilde belirlenir. Kararlaştırılan T_1 ve T_2 eşikleri, diferansiyel PIR algılayıcının görüş alanında hiçbir aktivite olmadığı durum için kullanılan eğitime sinyalinin dalgacık dönüşümü üzerinde Şekil 3.8.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Durum tanımları için kullanılan T_1 ve T_2 eşik değerlerinin, algılayıcının görüş alanında hiçbir aktivite olmadığı durumdaki test sinyali üzerinde gösterilişi

Eşikler ve bunlara bağlı durum tanımları yapıldıktan sonra, modellere ait durum dizileri oluşturulur. Bir modele ait sekiz elemanlı örnek bir C durum dizisi aşağıdaki gibi görünebilir:

$$C = \{S_0 S_1 S_1 S_1 S_2 S_2 S_1 S_0\} \quad (3.1)$$

C durum dizisi, bu diziyle sonuçlanan eğitime sinyalinin dalgacık tabanındaki; birinci ve sekizinci elemanın T_1 eşliğinin altında, ikinci, üçüncü, dördüncü ve yedinci elemanın T_1 ve T_2 değerleri arasında ve beşinci ve altıncı elemanın T_2 eşliğinin üstünde olduğunu ifade eder. Daha sonra, her model için ayrı ayrı oluşturulmuş olan durum dizilerinde, durumlar arası geçiş sayılarını tutan a, b dizileri oluşturulur. a_{ij} ve b_{ij} sırasıyla, insanın izlenen alana giriş/çıkışı ve diğer hareketlerini temsil eden modellere ait durum dizilerindeki, S_i durumundan S_j durumuna geçiş sayıları olsun. Bu iki sınıfa ait durumlar arası geçiş dizileri şöyle tanımlanır:

$$a = [a_{00} \ a_{01} \ a_{02} \ a_{10} \ a_{11} \ a_{12} \ a_{20} \ a_{21} \ a_{22}]$$

$$b = [b_{00} \ b_{01} \ b_{02} \ b_{10} \ b_{11} \ b_{12} \ b_{20} \ b_{21} \ b_{22}]$$

Eşitlik (3.1)'deki C durum dizisinin, insanın izlenen alana giriş/çıkış hareketi modeline ait olduğunu varsayalım. Bu durumda, a durumlar arası geçiş dizisi $[0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 2 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1]$ şeklindedir. Oluşturulan iki üç-durumlu Markov modelleri, Şekil 3.9.'da gösterilmektedir.

Markov modellerinin eğitilmesi, a, b durumlar arası geçiş dizilerini kullanarak, geçişlere ait referans görülme olasılıklarının hesaplanmasıyla sonlanır. İnsanın izlenen alana giriş/çıkış hareketi ve diğer hareketleri sınıflarına ait eğitime sinyallerinin dalgacık dönüşümlerinin uzunluklarını sırasıyla L_1 ve L_2 ile ifade edersek, yine sırasıyla bu sınıflara ait referans geçiş olasılıkları şu şekilde bulunur:

$$p_a(i, j) = \frac{1}{L_1} a_{ij}$$

ve

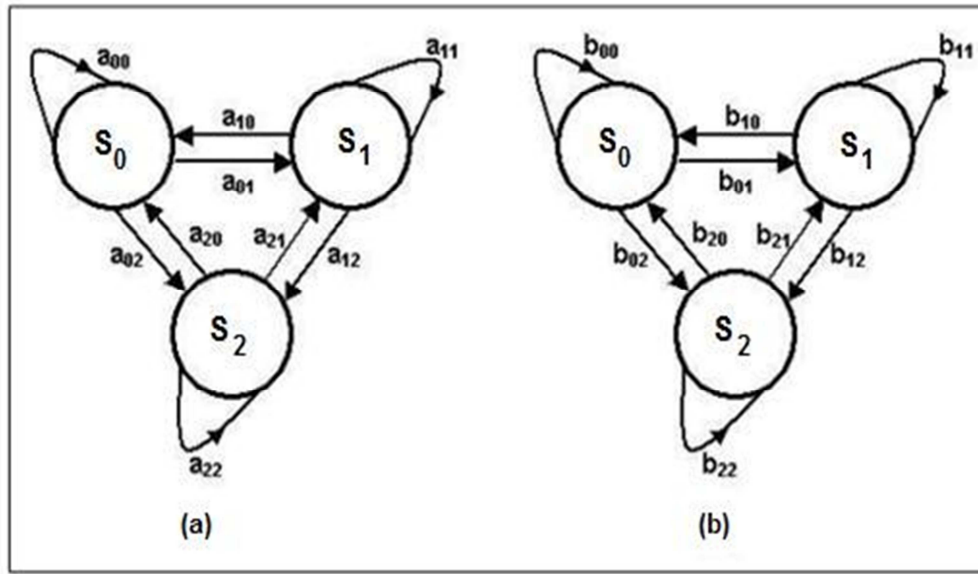
$$p_b(i, j) = \frac{1}{L_2} b_{ij},$$

burada $p_a(i, j)$ ve $p_b(i, j)$ ait oldukları modellerde S_i 'den S_j 'ye geçişlerin görülme olasılığıdır.

T_2 eşik değeri, iki sınıfa ait referans geçiş olasılıklarını belirleyen parametrelerden biridir. Yukarıda ifade edildiği gibi T_2 eşik değeri, iki hareket sınıfına ait sinyalleri

birbirinden ayırt edebilecek şekilde ayarlanmalıdır. Bu gereksinimi sağlamak için $D(T_2) = (\overline{p_a} - \overline{p_b})^2$ benzeşmezliğini maksimuma çıkaran T_2 değeri seçilir.

Markov modellerdeki durum tanımları daha farklı şekillerde de yapılabilir. Örnek olarak S_1 durumu, bir önceki örnekten şimdiki örneğe geçerken bir düşüş olması; S_2 durumu ise bir artış olması şeklinde tanımlanabilir. Böylece ayrıca bir T_2 eşik değeri belirlemeye ihtiyaç duyulmaz. PIR algılayıcının izlediği alanda hiçbir aktivite olmadığı duruma karşılık gelen dalgacık sinyali mutlak değerlerinin altında kalacağı bir eşik belirlemek yeterlidir.



Şekil 3.9. (a) İnsanın izlenen alana giriş/çıkış ve (b) diğer hareketleri sınıflarına ait üç-durumlu Markov modeller ve durumlar arası geçiş sayıları tanımları

3.3.2. Markov Modeller Tabanlı Sınıflandırma

İnsanın izlenen alana giriş çıkışı ve diğer hareketleri sınıflarına ait modellerin eğitilmesinden sonra, test sinyalinin hangi sınıfa ait olduğuna olasılıksal bir yaklaşımla karar verilir. İlk olarak test sinyalinin dalgacık dönüşümü yapılır. Dalgacık katsayıları tabanındaki sinyal 100 örnek, dolayısıyla 2 saniyelik zaman dilimini kapsayan pencerelere bölünür. Her bir pencereye ait durum dizisi oluşturulur ve durumlar arası geçiş sayıları bulunur. C 'nin şu anda analiz edilen pencereye ait durum dizisi olduğunu varsayalım. C durum dizisiyle sonuçlanan test

penceresinin insan giriş/çıkışı ve diğer hareketleri sınıfına ait olma olasılıkları sırasıyla aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$P_a(C) = \prod_{i=0}^{L-1} p_a(S(C_i), S(C_{i+1}))$$

ve

$$P_b(C) = \prod_{i=0}^{L-1} p_b(S(C_i), S(C_{i+1})),$$

burada $p_{a,b}(S(C_i), S(C_{i+1}))$ ilgili modeldeki eğitime aşamasında hesaplanmış olan, C durum dizisinin i 'nci elemanının durumundan, $i + 1$ 'nci elemanın durumuna geçiş olasılığıdır.

C durum dizisindeki S_i 'den S_j 'ye geçiş sayısını t_{ij} ile ifade edecek olursak, yukarıdaki eşitlikler şu şekilde düzenlenebilir:

$$P_a(C) = \prod_{i=0}^2 \prod_{j=0}^2 p_a(i, j)^{t_{ij}}$$

ve

$$P_b(C) = \prod_{i=0}^2 \prod_{j=0}^2 p_b(i, j)^{t_{ij}}.$$

$P_a(C)$ ve $P_b(C)$ değerleri, C durum dizisiyle sonuçlanan pencerenin ilgili sınıflara ait olma olasılıklarını ifade eder. Her pencere için, o pencereye ait durum dizisi bulunarak her iki modele de beslenir ve en yüksek olasılığı üreten modelin sınıfının, o test penceresinin sınıfı olduğu kararına ulaşılır. Sınıf aidiyeti kararı verilirken bu olasılıklar büyüklük açısından kıyaslandığından, her iki olasılık eşitliğinin iki tarafının logaritmasını almak kararı etkilemez. Eşitliklerin iki tarafının logaritmasının alınmasıyla, çarpma işlemleri yerini toplama işlemlerine bırakır ve karar mekanizmasının işlem yükü azaltılmış olur. Sonuçta varılan noktada, yeni olasılık eşitlikleri aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$P'_{a,b}(C) = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 t_{ij} \log_{10}(p_{a,b}(i, j)).$$

Sınıflandırma işleminde sadece, insanın izlenen alana giriş/çıkışı ve diğer hareketleri sınıflarına ait iki model oluşturulur. İzlenen alanda hiçbir aktivite olmaması durumu için ayrı bir model oluşturmaya gerek duyulmaz. Hiçbir aktive olmama durumu, C durum dizisi elemanlarının %90 veya fazlasının S_0 'dan oluşup oluşmadığına veya $t_{00}/(L - 1)$ değerinin ilgilenilen durum dizisi için 0.9'dan büyük olup olmadığına bakılarak test edilir.

C durum dizisini üreten, bir test sinyaline ait L uzunluklu bir pencerenin, diferansiyel PIR algılayıcı ile Markov model tabanlı sınıflandırılma algoritması aşağıda özetlenmiştir:

eğer $\frac{t_{00}}{L-1} > 0.9$ ise

test penceresi $\in$ “aktivite yok” sınıfı

Değilse

$P'_a(C) > P'_b(C)$ ise, test penceresi $\in$ “insan giriş/çıkışı” sınıfı

$P'_b(C) > P'_a(C)$ ise, test penceresi $\in$ “diğer hareketler” sınıfı

Son

3.4. Çok Modlu Sistem ile Yüz Sayma

Sadece kamera kullanılarak yapılan yüz sayma işleminde, Şekil 3.10.'da olduğu gibi hatalı tespitler görülebilmektedir. Yanlış pozitifler, aydınlanma ve yansıma sebebiyle olabileceği gibi, Viola-Jones yüz algılayıcısının kullandığı algorithmadan da kaynaklanabilir. Basamaklı sınıflandırıcı yapıdaki her bir sınıflandırıcı tarafından döndürülen ve Şekil 3.5.'te örnek bir yüz resmi üzerinde gösterilen tespit dikdörtgenleri, yanlış bir şekilde ve büyük ölçüde kesişebilir ve bu dikdörtgenlerin ortalaması resimde yüz içermeyen bir bölgeye karşılık gelebilir. Sadece kamera ile yapılan yüz sayma işlemi ayrıca, izlenen alandan bir insan çıkışı olmamasına rağmen, kamera-yüz açısının değişimi gibi sebeplere bağlı olarak yanlış negatiflerle sonuçlanabilir. Burada, yanlış pozitif ve yanlış negatif sayısını

azaltmak, dolayısıyla daha hassas ve aynı zamanda güç tüketimi daha düşük bir yüz sayımı yapabilmek için, kamera ve diferansiyel PIR algılayıcıdan oluşan çok modlu bir sistemden yararlanılmaktadır.

Çok modlu sistem ilk olarak sadece kamera ile yüz sayarak çalışmaya başlar. Belirli bir süre boyunca kamera ile sayılan yüz sayısının sabit kalması halinde kamera bekleme kipine alınır, diferansiyel PIR algılayıcı aktive edilir ve izlenen alandaki insan hareketleri, insan giriş/çıkış hareketleri ve diğer basit insan hareketleri olarak sınıflandırılır. İzlenen alandaki hareketlilik, diferansiyel PIR algılayıcı tarafından basit insan hareketleri olarak yorumlandığı veya hiçbir aktivite algılanmadığı sürece video analizi çalıştırılmaz ve ortamda, kamera ile son tespit edilen sayıda insan olduğu varsayılır. Diferansiyel PIR algılayıcı ile izlenen alanda bir insan giriş/çıkışı tespit edilmesi durumunda, video analizi tekrar başlatılır ve yüzler, dolayısıyla insanlar sayılır. Diferansiyel PIR algılayıcı karar mekanizmasının ürettiği sonuçlar gerçek-zamanlı olarak kontrol edilir ve burada anlatılan işlemler tekrarlanarak çok modlu insan sayma işlemi sürdürülür.



Şekil 3.10. Sadece kamera kullanımı ile yüz saymada karşılaşılan (a) yanlış negatif ve (b) yanlış pozitif örnekleri

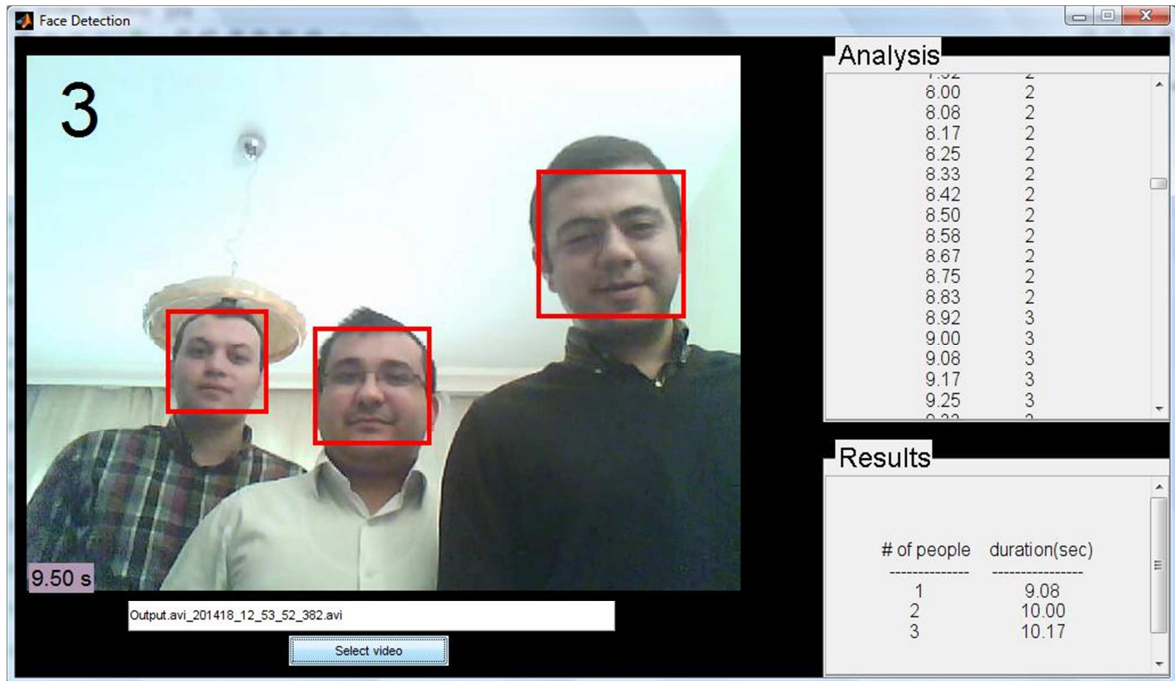
Diferansiyel PIR algılayıcı ile izlenen alanda; bir insan girişi algılanmadığında, kamera ile yüz sayma gerçekleştirilmediği için yanlış pozitifler, bir insan çıkışı algılanmadığında yine kamera devre dışı olduğu için, açı, pozisyon gibi sebeplerden kaynaklanan yanlış negatifler azaltılır. Hiçbir aktivite gözlenmediği

veya bir insan giriş/çıkışı olmadığı durumlarda video analizi bekletildiği için çok modlu sistemin güç tüketimi azaltılmış olur.

3.5. Uygulama ve Deneysel Sonuçlar

Sunulan çalışmada, hassas ve güç tüketimi düşük çok modlu bir yüz sayma sistemi önerilmiştir. Çok modlu sistem, diferansiyel bir PIR algılayıcı (Paradox) ve bir dizüstü bilgisayarda bulunan dahili (Asus USB2.0 1.3M UVC) web kameradan oluşmaktadır. PIR algılayıcı ve kameradan elde edilen veriler, dizüstü bilgisayarda Matlab R2007b vasıtasıyla gerçek-zamanlı olarak işlenmektedir.

Çok modlu sistem PIR algılayıcı ve kamera ile izlenen alanda, 5 metre mesafeye kadar hassas bir şekilde yüz sayma işlemini gerçekleştirebilmektedir. İzlenen alanda tespit edilen insan sayısı ekranda gösterilmektedir. Uygulamada ayrıca, izlenen alanda hangi zamanda kaç insan tespit edildiği ve belirli zaman aralıkları sonunda, o zaman aralığında izlenen alanda kaç kişinin ne kadar süreyle bulunduğu raporu kullanıcıya sunulmaktadır. Uygulamaya ait örnek bir ekran görüntüsü Şekil 3.11.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.11. Çok modlu yüz sayma sistemine ait örnek bir ekran görüntüsü

Markov modelleri eğitime aşamasında iki sınıf için ayrı ayrı, her biri 2 saniyelik zaman dilimlerini kapsayan 120 örnek sinyal kaydedilmiştir. Daha sonra aynı sınıfa ait algılayıcı sinyalleri Markov model parametrelerinin kestirilmesinde kullanılmıştır.

Diferansiyel PIR algılayıcı ile izlenen alana, bir insan giriş/çıkışı ve halihazırda ilgili alandaki bir insanın basit hareketleri (el, kol, bacak hareketleri gibi) veya ilgili alanda hiçbir aktivitenin olmadığı durumlar olmak üzere tanımlanan iki çeşit olaya ait saklı Markov modeller tabanlı sınıflandırma sonuçları Çizelge 3.1.'de sunulmaktadır. Test kümesi, 1-5 metre aralığında değişen mesafelerden alınmış, toplamda 702 adet 4 farklı insana ait giriş/çıkış hareketi kaydı içermektedir. İnsan giriş/çıkış hareketlerinin kaydı esnasında, diferansiyel PIR algılayıcının görüş alanında 0-3 aralığında sayıda insan bulunmaktadır. 702 test hareketi kaydı, toplamda yaklaşık 2 saatlik bir süreyi kapsamaktadır. Bu esnada PIR algılayıcının görüş alanındaki (var ise) insan/insanlar basit ve doğal el/kol hareketlerini sürdürmektedir. İzlenen alana bir insanın girmesi veya çıkması hareketi, %91'lik bir başarı oranı ile diğer basit hareketlerinden ve ilgili alanda hiçbir aktivitenin olmadığı durumlardan ayırt edilebilmektedir. Yanlış tespitlerin büyük kısmına, PIR algılayıcıya uzak mesafelerdeki giriş/çıkış hareketleri sebep olmuştur. Buna karşılık 2 saatlik test kayıtları süresince, sadece 19 kez yanlış alarm üretilmiştir. Yanlış alarmlar, PIR algılayıcının görüş alanındaki insan/insanların sıra dışı hareketlerinden (el, kol sallama gibi) kaynaklanmaktadır. Yanlış alarmlar insan sayımı ile ilgili bir hataya sebep olmaz, sadece kamerayı gereksiz yere devreye sokar ve güç tüketimini olumsuz etkiler.

Çizelge 3.1. Diferansiyel PIR algılayıcı ile Markov model tabanlı sınıflandırma sonuçları. Algılayıcı sinyali analizi 2 saniyelik pencereler üzerinde yapılmaktadır.

İnsan	Test Sayısı	Doğru Tespit	Başarı Oranı (%)
#1	197	182	92.3
#2	158	144	91.1
#3	182	168	92.3
#4	165	145	87.8

Algılayıcı sinyali analiz penceresinin 3 saniyeye çıkarılması neticesinde aynı test kümesi için elde edilen insan hareketleri sınıflandırma sonuçları Çizelge 3.2.'de verilmektedir. Bu düzenleme ile insanın izlenen alana giriş çıkış hareketi, diğer basit insan hareketlerinden ortalamada %97'lik bir başarı oranı ile ayırt edilebilmektedir. Analiz edilen sinyal penceresinin kapsadığı sürenin daha uzun tutulması, Şekil 3.7.'de görülen insanın izlenen alana girmesi anından sonraki küçük genlikli salınımların, basit hareketlerde görünen salınımlarla daha az karıştırılmasını sağlamıştır. Böylece doğru tespit yüzdesi iyileştirilmiştir. Ayrıca analiz penceresinin genişletilmesi sebebiyle, kısa süreli olan sıra dışı basit hareketleri içeren sinyal penceresinin insan giriş çıkış hareketi modeline daha az benzemesini ve buna bağlı olarak yanlış alarmların azalmasını sonuç vermiştir. Sınıflandırma sonuçlarının 3 saniyede bir yapılması ile 2 saatlik test süresince gözlenen yanlış alarm sayısı 7'ye düşürülmüştür.

Çizelge 3.2. Diferansiyel PIR algılayıcı ile Markov model tabanlı sınıflandırma sonuçları. Algılayıcı sinyali analizi 3 saniyelik pencereler üzerinde yapılmaktadır.

İnsan	Test Sayısı	Doğru Tespit	Başarı Oranı (%)
#1	197	193	97.9
#2	158	154	97.4
#3	182	175	96.1
#4	165	161	97.5

Sadece kamera kullanılarak yapılan insan sayma işlemine ait başarı oranları, Çizelge 3.3.'de verilmektedir. Viola-Jones yüz algılayıcı ile analiz edilen 640×480 boyutlu 12 test videosu, toplamda 3400'den fazla resim karesi içermekte ve kare hızı her video için 12 kare/saniyedir. Test videoları 4-8 arası sayıda insan giriş/çıkış hareketi içermektedir. Kamera ile izlenen alanda olduğundan fazla sayıda insan tespit edilen durumlar yanlış pozitiflerle, olduğundan az sayıda insan tespit edilen durumlar ise yanlış negatiflerle ifade edilmektedir. Başarı oranı, insan sayısının doğru bir şekilde tespit edildiği resim karesi sayısının toplam kare sayısına oranıdır. Test videoları her karede, 0-4 aralığındaki sayıda insan içermektedir. Sadece kamera ile yapılan yüz sayımındaki yaklaşık başarı oranı 12 test video klibi için %88.1'dir.

Çizelge 3.3. 12 test video dizini için sadece kamera yardımıyla yapılan insan sayma işlemine ait sonuçlar

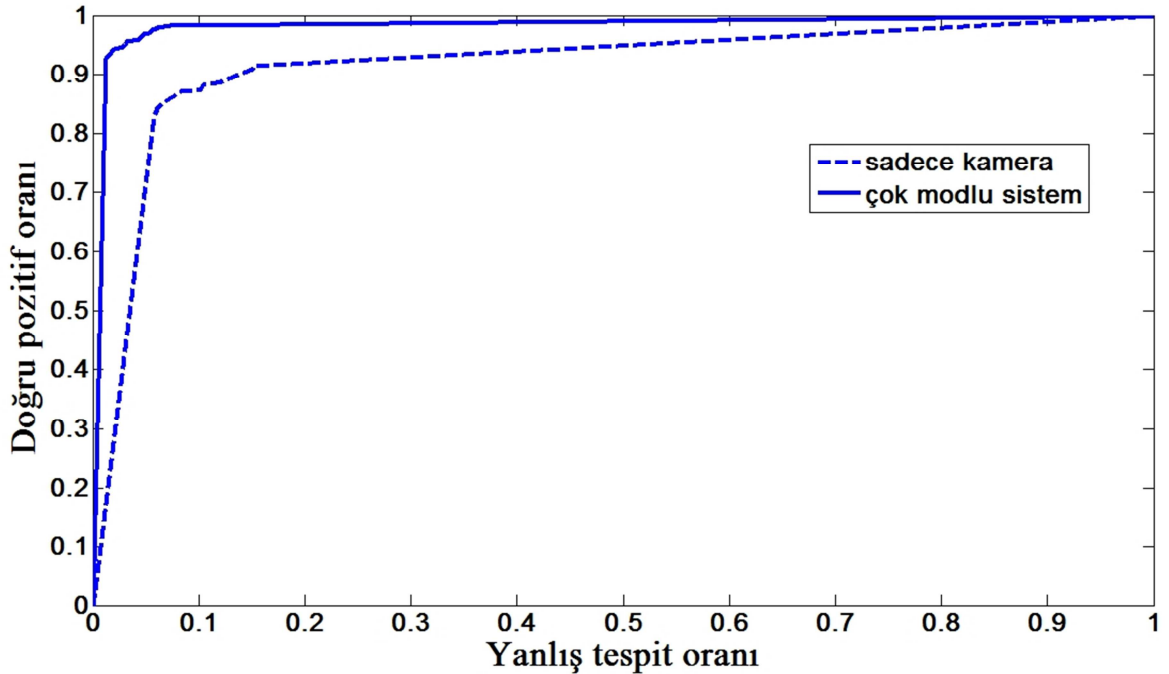
Video Dizini	Toplam Kare Sayısı	Yanlış Pozitif	Yanlış Negatif	Başarı Oranı (%)
#1	178	3	18	88.2
#2	276	2	38	85.1
#3	408	7	34	89.9
#4	351	7	23	91.4
#5	227	5	24	87.2
#6	356	6	34	88.7
#7	198	5	13	90.9
#8	230	4	35	83.0
#9	347	3	42	87.0
#10	384	5	40	88.2
#11	259	2	39	84.2
#12	190	3	21	87.3

Çizelge 3.4. 12 test video dizini için çok modlu sistem yardımıyla yapılan insan sayma işlemine ait sonuçlar

Video Dizini	Toplam Kare Sayısı	Yanlış Pozitif	Yanlış Negatif	Başarı Oranı (%)
#1	178	0	13	92.7
#2	276	0	8	97.1
#3	408	0	7	98.2
#4	351	0	11	96.0
#5	227	0	10	95.6
#6	356	0	17	95.2
#7	198	0	4	97.9
#8	230	0	13	94.3
#9	347	0	11	96.8
#10	384	0	9	97.6
#11	259	0	16	93.8
#12	190	0	10	94.7

Çizelge 3.3.'de sunulan insan sayma sonuçları, sadece kamera kullanan sisteme eklenen PIR algılayıcı ile geliştirilmiştir. Aynı test kümesi için çok modlu sistem ile elde edilen sonuçlar Çizelge 3.4.'te sunulmaktadır. Test videolarındaki insan giriş/çıkış hareketlerinin tamamı diferansiyel PIR algılayıcı tarafından doğru bir şekilde tanınmıştır. PIR algılayıcı ile insan giriş hareketinin tespit edilmediği durumlarda, kamera ile yüz sayma işlemi durduğu için yanlış pozitifler sıfırlanmıştır. İnsan çıkış hareketinin PIR algılayıcı tarafından tespit edilmediğinde yine video analizi durduğu için yanlış negatifler büyük ölçüde azaltılmıştır. Çok modlu sistem ile yapılan yüz saymada ortalama %96.1'lik bir başarı sağlanmıştır. Çok modlu sistemde video analizi PIR algılayıcı ile kontrol edildiğinden, sonuçtaki sistemin işlemsel yükü, sadece kamera kullanan sistemlere nispeten oldukça düşüktür.

Sadece kamera kullanan sistem ve çok modlu sistemin performansları Şekil 3.12.'deki algılayıcı işletim (ROC) eğrileri grafiğinde gösterilmektedir. Şekilden de açıkça görüleceği üzere, çok modlu sistem daha başarılı yüzdelere üretmektedir.



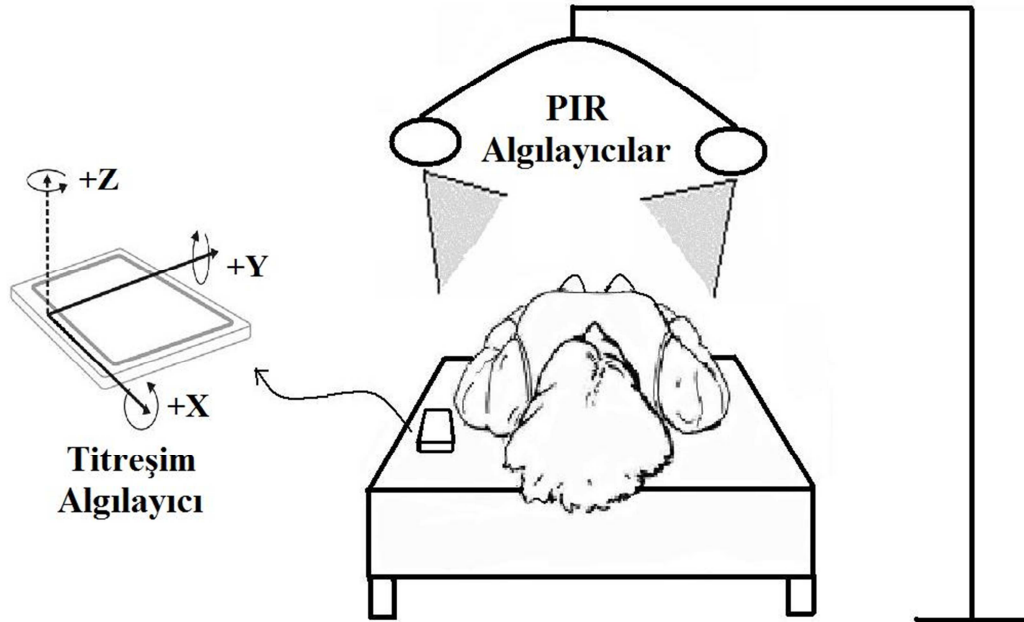
Şekil 3.12. Sadece kamera kullanan sistem ve çok modlu sistemin performanslarını gösteren algılama işletim (ROC) eğrileri grafiği

Bu bölümde izlenen belirli bir alandaki insan sayısını bulma amaçlı yeni bir sistem tanıtılmıştır. Bildiğimiz kadarıyla çalışmamız, belirtilen problemi çözmede kamera ve PIR algılayıcıyı birleştirerek kullanan ilk çalışmadır. Çalışmamızda, Markov modeller tabanlı bir algoritma ile sürekli-zamanlı ve gerçek-değerli PIR algılayıcı sinyallerini kullanarak, basit insan hareketleri ve insanın izlenen alana giriş çıkış hareketlerinin ayırt edilebildiğini gösterdik. PIR algılayıcı tetiklemediği takdirde kameranın bekleme kipinde kalması, temel olarak Viola-Jones metodundan kaynaklanan yanlış pozitif tespitleri belirgin ölçüde azalttığı gözlenmiştir. Yine aynı sebepten, çok modlu sistem düşük güç tüketimlidir.

4. TİTREŞİM VE DİFERANSİYEL PIR ALGILAYICILARLA TEMASSIZ SOLUNUM HIZI ÖLÇÜMÜ

Solunum hızı, insanların fiziksel ve psikolojik sağlığını değerlendirmede önemli bir yaşamsal belirtidir. Solunum hızı, özellikle de soluk verme süresi, bireyin stres seviyesini gösteren iyi bir tahmin unsurudur [55]. Hastane servislerinde solunum aktivitesinde önemli yoğunluk artışlarının görülmesinin, ani kalp durmasının en belirgin işaretçilerinden biri olduğu rapor edilmektedir [56]. Ayrıca zatürre gibi kalp ve ciğer hastalıklarının solunum hızını etkilediği bilinmektedir [57]. Bu sebeplerden ötürü solunum aktivitesinin izlenmesi, hastaneler, yoğun bakım üniteleri, yaşlı bakım üniteleri ve evde tıbbi bakım servislerinde kritik bir ihtiyaçtır.

Bu bölümde, birden fazla algılayıcı kullanarak hareketsiz bir insana ait solunum aktivitesini algılayan, aynı zamanda solunum hızı ölçümü de yapabilen yeni ve temassız çalışan bir AAL sistemi önermekteyiz. Tek algılayıcı sistemlerden farklı olarak, önerdiğimiz çok modlu sistem iki çeşit algılayıcıdan oluşmaktadır: PIR ve titreşim algılayıcıları. İki PIR algılayıcı yatağa yakın olarak konumlandırılan bir standın üzerine, titreşim algılayıcı ise yatağın üzerine yerleştirilir. Kullanılan algılayıcılar insan bedenine temas etmemektedir. Çok modlu solunum hızı ölçme sisteminin tipik bir görüntüsü Şekil 4.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Çok modlu solunum hızı ölçüm sistemi düzeneği

Titreşim algılayıcı, solunum aktivitesine bağlı olarak yatakta meydana gelen titreşimleri toplar. PIR algılayıcı ise yine solunum aktivitesine bağlı olarak gerçekleşen göğüsel hareketleri toplar. Algılayıcılardan alınan sinyaller bir mikroişlemci vasıtasıyla örneklenir ve çok amaçlı bir diz üstü bilgisayara aktarılarak analiz edilir. Algılayıcı sinyalleri dalgacık ayrıştırma ve görgül kip ayrıştırma (empirical mode decomposition-EMD) metotlarıyla işlenmektedir. Solunum yaklaşık olarak dönemli bir aktivitedir. Geliştirilen çok modlu sistem solunum hızı ölçümü yaparken bu gerçeğe bağlı olarak, algılayıcı sinyallerinde doğru bir filtreleme sonucu görülmesi beklenen dönemliliği yakalamaya çalışır ve belirlenen döneme göre solunum hızına karar verir. Algılayıcı sinyallerine ait dalgacık alt basamak sinyalleri ve EMD analizi ile elde edilen içsel kip sinyallerindeki (intrinsic mode signals-IMS) dönemliliği algılamak için ortalama büyüklük fark fonksiyonu (AMDF) kullanılmaktadır. Kullanılan algılayıcı tipleri ve çeşitliliğinin yanında bu çalışmadaki bir diğer yenilik de farklı algılayıcılardan elde edilen sinyallerin birleştirilerek ortak bir şekilde ve eş zamanlı değerlendirilmesidir. Bu işlem için yeni bir çok modlu AMDF tanımlamaktayız. Bu yeni AMDF ile, kullanılan algılayıcılardan sadece birinin solunum aktivitesini yakalaması neticesinde solunum hızı tespiti mümkün hale gelmektedir. Bu özellik, insanın yatış pozisyonu sebebiyle bazı algılayıcıların solunum aktivitesini kaçırabildiği göz önünde bulundurulduğunda oldukça önemlidir.

Önerdiğimiz çok modlu sistem solunum hızı ölçmenin yanı sıra uyku apnesi varlığı/yokluğu kararını da verebilmektedir. Sonuç olarak iki farklı algılayıcı kullanımı sayesinde, tek algılayıcı kullanan sistemlere göre daha güvenilir ve gürbüz bir temassız insan solunum aktivitesi ölçme ve değerlendirme sistemi geliştirilmiştir.

4.1. Literatür Özeti

Solunum aktivitesini görüntülemeye yönelik sistemler iki kategoride sınıflandırılabilir: (i) insan vücuduna giyilen sistemler (örn. göğüsel empedans pnömografi, fotopletismografi) ve (ii) insanın yakın çevresinden ölçüm yapan sistemler (örn. ses kaydı, karbondioksit algılama). [58]–[61]'de sunulan çalışmalar, birinci gruba ait iyi örneklerdendir. Reinvuo ve diğerleri [58], üzerinde yüksek çözünürlüklü bir ivme ölçer bulunan bir kemer ve basınç algılayıcı yardımıyla

solunum hızı ölçümü gerçekleştirmişlerdir. Thalab [59], solunum aktivitesini algılamada üzerinde mikrofonlar bulunan ve göğüs bölgesine takılan esnek bir kemer kullanmaktadır. Peng ve diğerleri [60] uyku hali izleme için video kamera, PIR algılayıcılar ve giyilebilir aktigrafi tabanlı bir sistem önermektedirler. Fakat bu sistem nefes alıp verme periyodunu bulmayı başaramamakta ve sistemde PIR algılayıcılar sadece açık/kapalı kipinde kullanılmaktadır. [61]'de kablosuz ve giyilebilir bir biyoempedans aleti geliştirilmiştir. Fakat bu alet temel olarak nefes alıp verme aktivitesine ait biyoempedans sinyalinin dalga şeklindeki anormallikleri algılamayı amaçlamakta ve solunum hızını doğru olarak kestirememektedir.

[62]–[68]'deki çalışmalar ikinci grubu örneklemektedir. [62], [63] ve [64]'te, sırasıyla radar Doppler etkisi tabanlı apne algılama, solunum aktivitesi görüntüleme ve stres görüntüleme tanıtılmaktadır. Wang ve diğerleri [65] yaşlı insanların uyku niteliği ve niceliğini değerlendirmek amacıyla algılayıcı tabanlı bir sistem önermektedirler. Ancak bu sistemde kullanılan PIR algılayıcılar sadece açık/kapalı kipinde kullanılmakta ve solunum periyoduna karar vermemektedir.

Solunum aktivitesi izlemede ayrıca kızılberisi kamera tabanlı görüntüleme sistemleri de kullanılmaktadır [66]. Wai ve diğerleri [67], bir dizi yatak algılayıcısı ve kameradan oluşan, insanın yataktaki pozisyonu ve yatak dışındaki farklı durumlarını görüntülemek üzere geliştirdikleri bir sistem tanıtılmaktadır. Bu makalede bir insanın uyku örüntülerini izlemek için geliştirilen sistem anlatılırken, sistemin daha ziyade yataktan düşme olayı tespitine yoğunlaştığı görülmektedir. Bununla beraber yatak odalarında kamera ile izleme, bireyin özel hayatının gizliliğinin ihlali ile ilgili sorunları da beraberinde getirmektedir.

[68]'de sadece PIR algılayıcılardan oluşan ve solunum hareketlerini görüntülemeye çalışan bir sistem sunulmaktadır. Bir hastanın solunum aktivitesindeki anormallikleri (özellikle uyku apnesi) tespit etmede algılayıcı sinyallerinin Fourier analizinden yararlanılmaktadır. Bu çalışmada solunum hızı ölçümünden, ileride yapılacak bir çalışma olarak bahsedilmiştir. Ayrıca PIR algılayıcılardan analog sinyal aktarımının nasıl gerçekleştirildiği anlatılmamaktadır. Bu bölümde sunduğumuz iki PIR algılayıcıya ilave olarak bir de titreşim algılayıcı içeren çok modlu sistem algılayıcı sinyallerini dalgacık tabanında işlemekte ve uyku apnesi tespitinin yanı sıra solunum hızı ölçümü de yapabilmektedir. Üstelik [68]'de geliştirilen sistemden çok daha az sayıda algılayıcı kullanılmaktadır.

4.2.2. Titreşim Algılayıcı

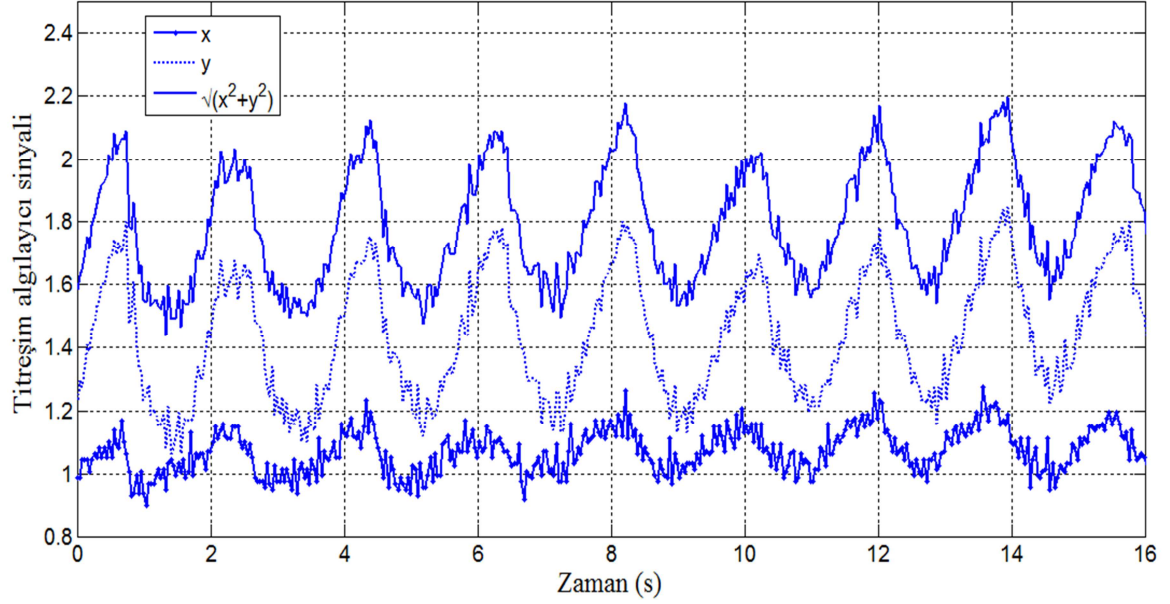
Titreşim algılayıcılar genellikle sismik aktiviteleri, mekanik sistem ve makinelerdeki titreşimleri algılamada yararlanılan ve ayrıca cep telefonları ve tablet bilgisayarlarda da kullanılan ivme ölçerler tabanlıdır. Ticari amaçlı tasarlanmış ivme ölçerlerde piezo-elektrik, piezo-direnç ve kapasitif bileşenler kullanılarak mekanik hareketler bir elektrik sinyaline dönüştürülür. Bu çalışmada titreşim algılayıcıdan elde edilen elektrik sinyali, nefes alıp vermeye bağlı olarak yatak üzerinde meydana gelen titreşimleri yakalamak için yeterli olan 20 Hz örnekleme frekansı ile örneklenir. Bir mikroişlemci yardımıyla sayısallaştırılan titreşim algılayıcı sinyali ayrık-zamanlı işleme için genel amaçlı bir düz üstü bilgisayara transfer edilir.

Kullandığımız LSM330DLC titreşim algılayıcı Şekil 4.1.'de gösterildiği üzere üç eksen (x-yuvarlama, y-yunuslama ve z-sapma) yönünde ivme bilgisi sağlamaktadır. Titreşim algılayıcı sinyallerinin kaydı esnasında z-sapma ekseninden gelen ivme bilgisinin, solunum aktivitesi ile ilintili anlamlı bir bilgi vermediği gözlenmiştir. Bu yüzden, sadece x-yuvarlama ve y-yunuslama eksenleri yönünden gelen ivme bilgisi dikkate alınmıştır. Titreşim algılayıcıdan elde edilen sinyal ile PIR algılayıcı sinyalini karşılaştırmak için, titreşim algılayıcıdan elde edilen iki farklı sinyal tek boyutta $\sqrt{x^2 + y^2}$ sinyali ile temsil edilmektedir, burada x ve y sırasıyla x-yuvarlama ve y-yunuslama eksenlerine ait sinyal değerleridir. Bir insanın solunum aktivitesine ait tipik bir titreşim algılayıcı sinyali Şekil 4.3.'te gösterilmektedir. Titreşim algılayıcının çıkış sinyalini temsil eden tek boyutlu sinyal de, PIR algılayıcı gibi hemen hemen dönemli bir dalga şekli göstermektedir. Buna karşılık, insanın yataktaki 2 saniyelik dönem hareketi neticesinde elde edilen titreşim algılayıcı sinyali, Şekil 4.4.'te görüleceği üzere büyük genlikli bir sinyaldir ve açık bir şekilde dönemli değildir. Çok modlu sistem nefes alıp verme dönemini hesaplarken, solunuma bağlı olmayan bu büyük genlikli sinyalleri içeren pencereleri değerlendirme dışı tutar.

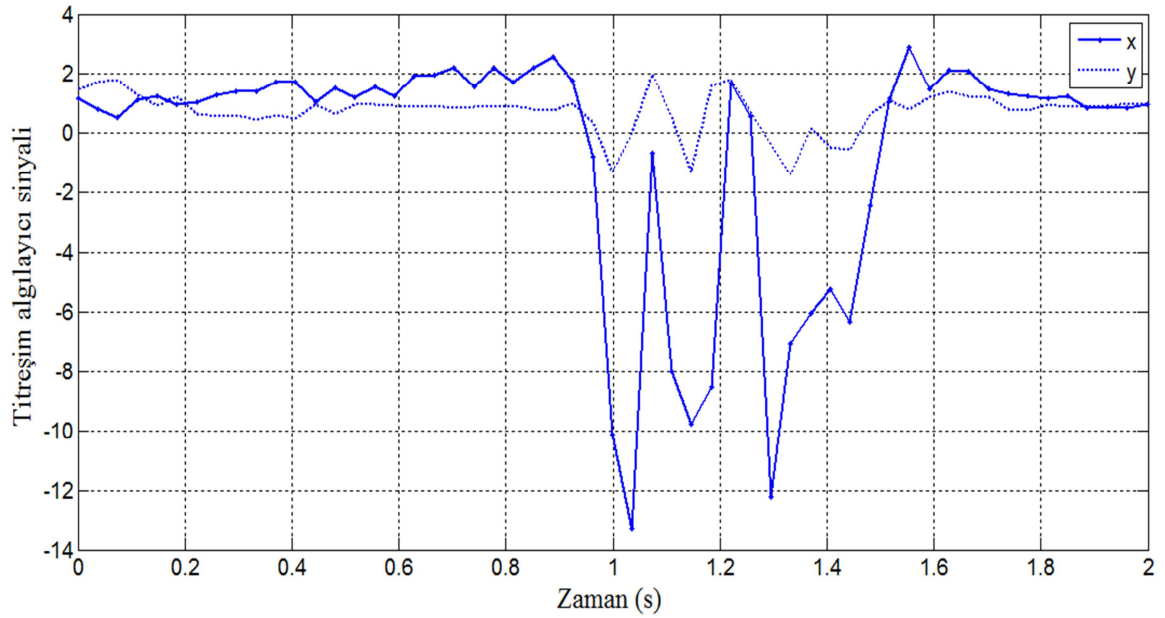
4.3. Algılayıcı Sinyallerinin İşlenmesi

Solunum hızına karar verebilmek için PIR ve titreşim algılayıcılardan elde edilen sinyaller ilk olarak, solunum aktivitesindeki dönemliliği yakalayabilmek için iki farklı

yöntemle işlenir: (i) dalgacık ayrıştırma ve (ii) EMD. Bu işlemlerden sonra elde edilen sinyallerin dönemine (dolayısıyla solunum hızına) AMDF ile karar verilir.



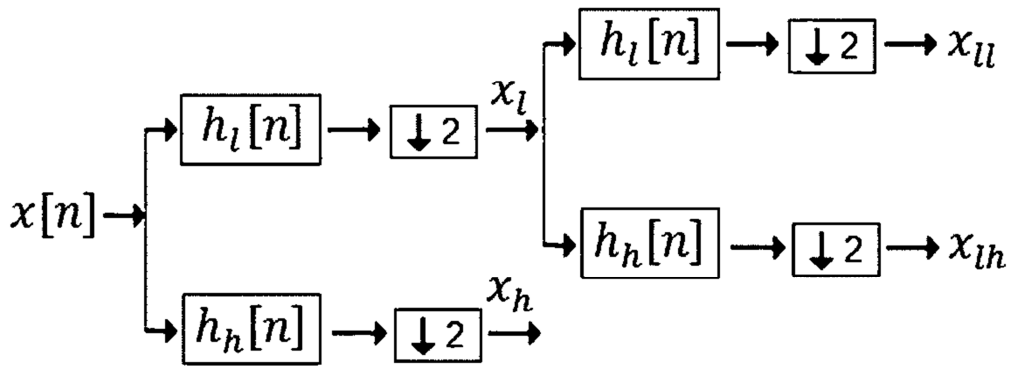
Şekil 4.3. Yataкта uzanan bir insanın solunum aktivitesine ait tipik bir titreşim algılayıcı sinyali. Örnekleme frekansı 20 Hz.



Şekil 4.4. Yataкта 2 saniyelik dönme hareketi yapan bir insana ait titreşim algılayıcı sinyali.

4.3.1. Dalgacık Ayırıştırma

Bir insanın solunum aktivitesi, en yüksek frekansı 1 Hz olan düşük frekanslı bir aktivitedir. Dolayısıyla algılayıcıların çıkış sinyallerinin örnekleme frekansı, halihazırda tercih edildiği gibi, belirtilen frekansın en az iki katı olmalıdır. Bununla beraber gürültü genellikle yüksek frekanslıdır. Yaklaşık olarak dönemli olan solunum aktivitesi üzerinde çalışıldığından, algılayıcı sinyallerinin işlenmesinde ilk aşamada bir dalgacık ağacı kullanılarak, kaydedilen algılayıcı sinyallerinin frekans içeriği ilgilenilen aralığa çekilmektedir.



Şekil 4.5. 2 basamaklı bir dalgacık ayırıştırma yapısı

Dalgacık tabanlı analiz, özellikle PIR algılayıcı sinyalinde, sıcaklık ve hava akımı gibi çevresel değişikliklere karşı gürbüzlük ve direnç sağlar. Bir dalgacık basamağı yüksek geçiren bir filtre, alçak geçiren bir filtre ve örnek sayısı düşürücüden oluşur. İki veya daha fazla sayıda dalgacık basamağından oluşan bir dalgacık ağacı giriş sinyalini, özel frekans içeriklerine sahip alt sinyallere ayırıştırır. Örnek olarak Şekil 4.5'teki dalgacık ağacında ilk ayırıştırma basamağı sonrasında x_l alt sinyali, 20 Hz örnekleme frekansı ile örneklenen giriş sinyalinin [0,10 Hz] aralığındaki frekans içeriğine sahip olur. Dalgacık sinyali x_h orijinal sinyalin [10 Hz, 20 Hz] aralığındaki frekans içeriğine sahip olur ve solunum aktivitesiyle ilintili bilgiler içermediğinden göz ardı edilir. Solunum aktivitesi düşük frekanslı bir aktivite olduğundan x_l alt sinyali, dalgacık ağacının ikinci basamağı kullanılarak işlenmeye devam edilir ve [0, 5 Hz] frekansına sahip x_{ll} alt sinyali edilir. x_{lh} alt sinyali aynı sebepten yine dikkate alınmaz. Her basamakta örnek sayısını 2 ile azaltmak, zamanda çözünürlüğü yarıya indirir. Dolayısıyla orijinal algılayıcı sinyalinde her N örnek 1

saniyeye karşılık gelirken, dalgacık tabanında her N örnek m saniye karşılık gelir, burada m dalgacık ayrıştırma ağacındaki basamak sayısıdır. Dalgacık basamaklarının sayısına, orijinal sinyalin örnekleme frekansı ve sonuçta ulaşılmak istenen frekans bilgisine bağlı olarak karar verilir. Burada, sadece $[0, 1\text{Hz}]$ frekans aralığı ile ilgilendiğimizden, 4 basamaklı bir dalgacık ayrıştırma ağacı kullanılmaktadır. Kullandığımız Lagrange dalgacıklarına ait alçak geçiren ve yüksek geçiren filtreler sırasıyla,

$$h_l[n] = \left\{ \frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{1}{4} \right\}$$

ve

$$h_h[n] = \left\{ \frac{1}{4}, -\frac{1}{2}, \frac{1}{4} \right\}$$

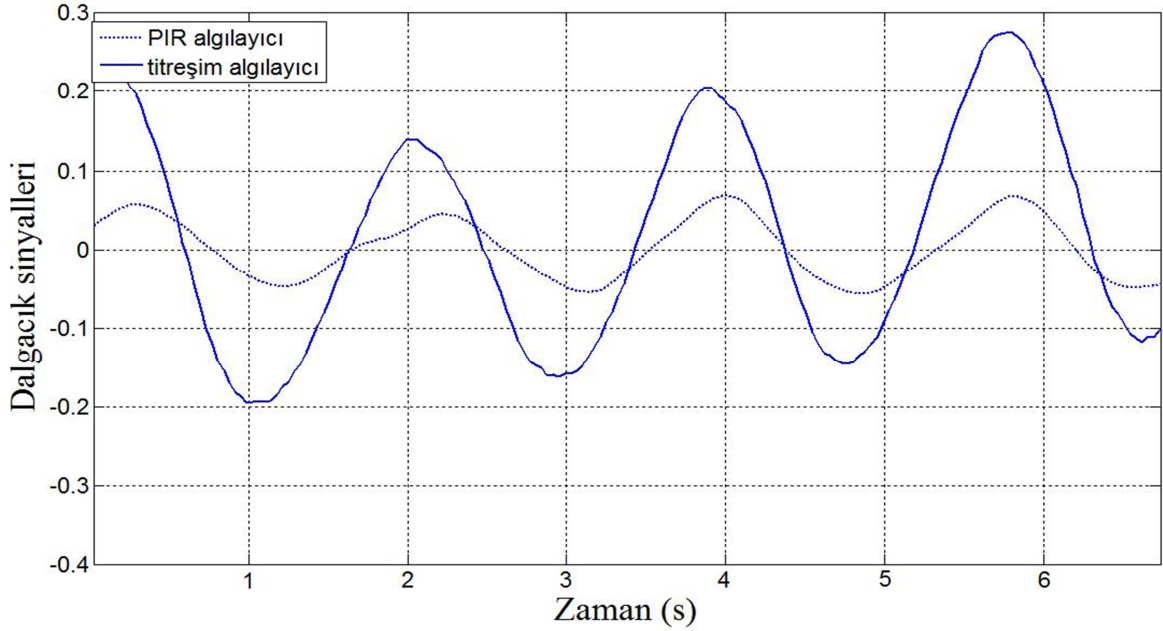
şeklinde [27]. Lagrange dalgacıkları işlemsel verimliliği en yüksek olan dalgacıklardır, çünkü hiçbir çarpım işlemine ihtiyaç duymaksızın hesaplanabilirler. Ayrıca solunum hızı tespiti problemi için yine aynı sebepten [68]'de önerilen Fourier analizine göre de daha verimlidir. Algılayıcı sinyallerinin dalgacık analizi için literatürde bahsedilen diğer filtre öbekleri de kullanılabilir. PIR algılayıcılara 1 metre mesafede bulunan ve sırt üstü yatan bir insanın nefes alıp verme aktivitesine karşılık, PIR algılayıcılardan birine ve titreşim algılayıcıya ait çıkış sinyallerinin dalgacık dönüşümleri Şekil 4.6.'da gösterilmektedir.

Dalgacık dönüşümü sinyallerin analizindeki işlemsel yükü azaltırken, sinyallerin dönemli olma özelliklerini muhafaza eder. Şekil 4.6.'da görüldüğü üzere, solunum aktivitesine karşılık gelen PIR ve titreşim algılayıcıların çıkış sinyallerinin dalgacık dönüşümleri hemen hemen dönemlidir ve aralarında güçlü bir ilinti vardır.

4.3.2. EMD

Görgül kip ayrıştırımı (EMD) Huang ve diğerleri [69] tarafından, karmaşık veri kümelerini sonlu ve genellikle az sayıda basit bileşenlere ayırmak için önerilmiş bir yöntemdir. Bu bileşenler içsel kip fonksiyonları (IMF) olarak adlandırılır. IMF tanım olarak, aynı sıfırdan geçiş sayısı ve uç nokta sayısına sahip ve zarfları sıfıra göre simetrik olan herhangi bir fonksiyondur. Zaman tabanında işleyen EMD yöntemi uyarlamalı ve oldukça verimlidir. Ayrıştırma yöntemi verinin zaman tabanındaki özelliklerine dayalı olduğundan, doğrusal ve durağan olmayan süreçlere

uygulanabilir. Algoritmasının basitliği sebebiyle EMD tekniği, özellikle biyomedikal uygulamaların içinde olduğu pek çok alanda başarılı sonuçlar üretmiştir [70]–[72].



Şekil 4.6. Bir insanın nefes alıp verme aktivitesine karşılık gelen PIR ve titreşim algılayıcı sinyallerin dalgacık dönüşümleri

Dalgacık ayrıştırımı ve EMD yöntemlerinin ikisi de bir sinyali farklı zaman ölçeklerine ayırır. Bu iki yöntem arasındaki temel fark: Dalgacık ayrıştırımı, ana dalgacık seçimine dayalı olarak önceden sabitlenmiş bir filtre kümesi tanımlarken, EMD sinyal ayrıştırma işlemini uyarlamalı ve veri-güdümlü olarak yürütür.

EMD yöntemi bir sinyalin, düşük frekanslı ve yüksek frekanslı bileşenlerinin toplamı şeklinde kestirilmesiyle başlar. Bu kestirim sinyali oluşturan bütün salınımlar için yapıldığında, yüksek frekanslı bileşen “içsel kip fonksiyonu (IMF)”, düşük frekanslı bileşen ise “bakiye” olarak adlandırılır. Daha sonra aynı işlem, bakiyeyi yeni bir zaman dizini olarak ele alarak bakiyeye uygulanır ve yeni bir IMF ile yeni bir bakiye çıkartılır. Bir $x(t)$ sinyaline verildiğinde, EMD algoritması n yineleme sayısı için aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. $x(t)$ 'ye ait bütün uç noktaları (minimum ve maksimum) bul
2. kübik eğri fonksiyonu ile bütün maksimum ve minimum noktaları ayrı ayrı birleştirerek alt ve üst zarfları ($e_{alt,i}(t)$ ve $e_{üst,i}(t)$) üret

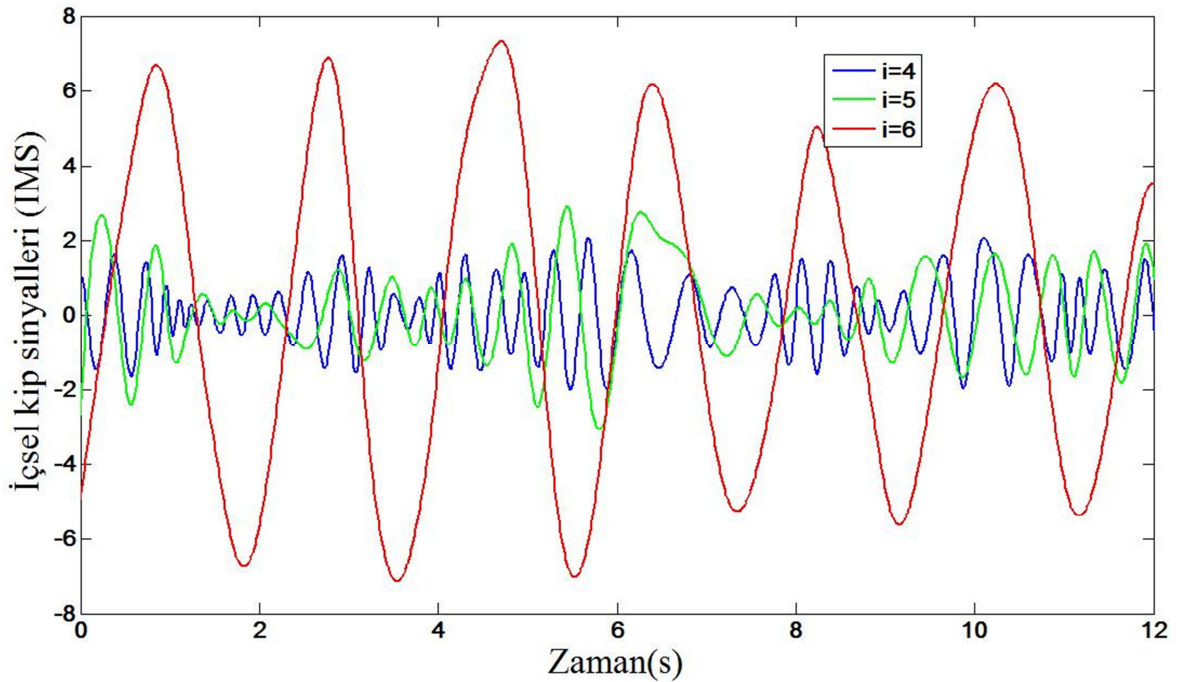
3. bölgesel ortalamayı hesapla: $r_i(t) = (e_{alt,i}(t) + e_{üst,i}(t))/2$
4. yüksek frekanslı bileşeni çıkar: $d_i(t) = x(t) - r_i(t)$
5. $r(t)$ üzerinden yinele: $x(t) = r_i(t)$

Sıfır-ortalama koşulu altında $d_i(t)$ 'ler, IMF olarak anılır. Ayırıştırma süreci sonunda EMD yöntemi $x(t)$ sinyalini, sonlu sayıda IMF'ler ve en son bakiyenin toplamı olarak ifade eder:

$$x(t) = \sum_{i=1}^n d_i(t) + r_n(t),$$

burada $d_i(t)$ 'ler IMF'lerdir ve $r_n(t)$ en son bakiyedir.

PIR algılayıcılara 1 metre mesafede bulunan ve sırt üstü yatan bir insanın nefes alıp verme aktivitesine karşılık, PIR algılayıcılardan birinin çıkış sinyaline ait EMD yöntemi ile üretilen içsel kip sinyalleri üç yineleme değeri için Şekil 4.7.'de gösterilmektedir. Şekilden görüleceği üzere, solunum aktivitesinin dönemliliği EMD algoritmasının altıncı yinelemesinde elde edilen filtre ile yakalanmıştır. Altıncı yineleme sonrası elde edilen içsel kip sinyalinin her bir salınımı bir solunum aktivitesine karşılık gelmektedir.



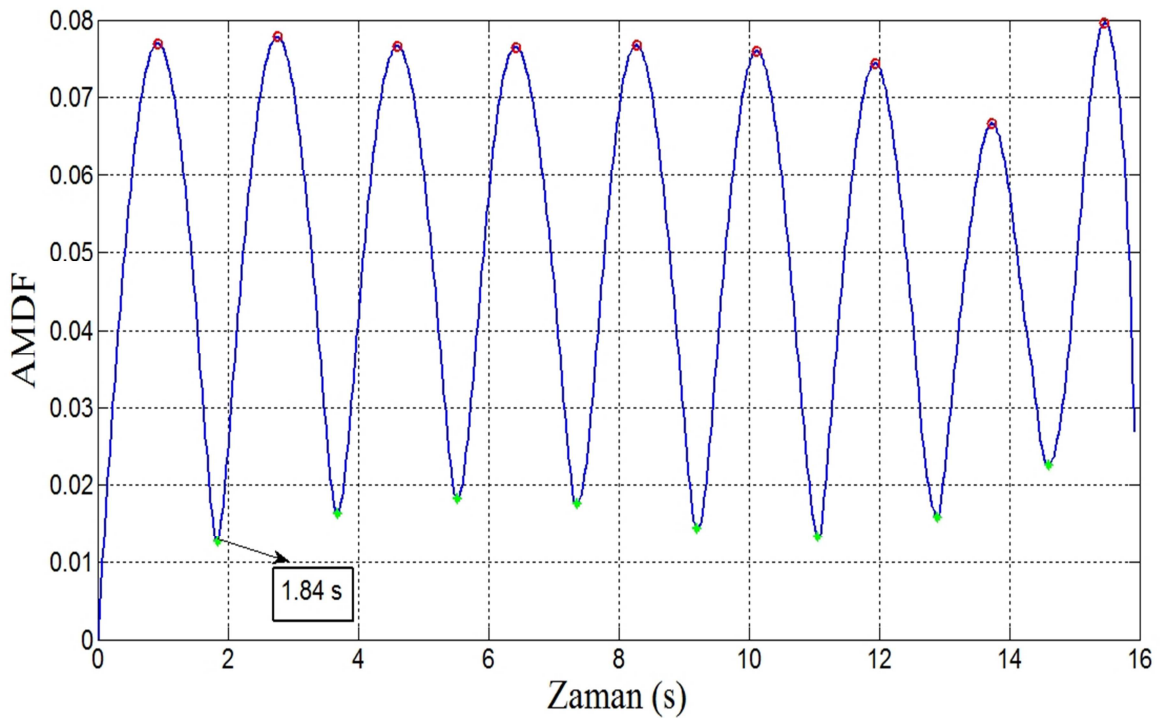
Şekil 4.7. PIR algılayıcılara 1 metre mesafede bulunan ve sırt üstü yatan bir insanın nefes alıp verme aktivitesine karşılık gelen PIR algılayıcı içsel kip sinyalleri

4.3.3. AMDF

Altı yinelemeli EMD metodu ve dört basamaklı dalgacık ayrıştırma ağacından elde edilen alt sinyaller daha sonra, (var ise) dönemli davranışları tespit etmek üzere ortalama büyüklük fark fonksiyonu (AMDF) kullanılarak işlenmeye devam edilir. AMDF yaygın olarak ses işlemede ünlü ses birimlerini algılamada ve ünlü seslerin periyotlarına karar vermede kullanılır. AMDF şu şekilde tanımlanır:

$$AMDF[k] = \frac{1}{N} \sum_n |u[n] - u[n - k]|, \quad (4.1)$$

burada $u[n]$, orijinal sinyalin $[0, 1.25 \text{ Hz}]$ bandından gelen x_{l4} dalgacık sinyalini temsil eder ve N analiz edilen zaman penceresindeki örnek sayısıdır. Zaman penceresi bu durumda, solunum hızı solunum/dakika cinsinden bulunmak istendiğinden, 1 dakikadır. Şekil 4.6.'daki PIR algılayıcı dalgacık sinyali için AMDF çıktısı Şekil 4.8.'de gösterilmektedir. Burada AMDF ile solunum hızına karar verme tekniği, dalgacık tabanlı PIR algılayıcı sinyali üzerinden örneklendirilmiştir. EMD yöntemi için yine AMDF metodu üzerinden aynı şekilde hesaplama yapılır.



Şekil 4.8. Şekil 4.6.'da gösterilen PIR algılayıcı dalgacık sinyalinin AMDF çıktısı

AMDF, $u[n]$ sinyalinin periyotlarına karşılık gelen bir dizi lokal minimumlar göstermektedir. Bu aşamada, ilk lokal minimumu bulup, bu minimum noktanın

zaman endeksini kullanarak sinyalin dönemine, dolayısıyla solunum hızına karar veririz. Örnek olarak Şekil 4.7.'de AMDF verisi gösterilen insan, yaklaşık olarak 1.84 saniyede bir nefes alıp vermektedir. Dönemlilik, Şekil 4.5.'teki dalgacık sinyallerinden de bulunabilir ancak AMDF, verilerin ortalamasını alarak gürbüzlük sağlar (Eşitlik 4.1) ve ayrıca hiçbir çarpım işlemi yapmadan hesaplanabilir.

Sadece bir algılayıcı kullanıldığı durumda, analiz edilen sinyalin dönemliliğine ve dönemine yukarıda anlatıldığı gibi karar verilir. Fakat burada, insanın yatış pozisyonu gibi etkenlere bağlı olarak tek bir algılayıcı ile solunum aktivitesini kaçırma ihtimali bulunduğundan, birden fazla algılayıcı kullanılmaktadır. Dolayısıyla Eşitlik 4.1.'deki AMDF tanımını, çoklu algılayıcı sistemimiz için yeniden yapmamız gerekmektedir. Bu amaçla tanımladığımız, iki farklı algılayıcı sinyalini bir arada değerlendiren ve izlenen aktivitenin dönemine karar veren yeni AMDF şu şekildedir:

$$AMDF_2[k] = \frac{1}{N} \sum_n \alpha_u |u[n] - u[n - k]| + \alpha_v |v[n] - v[n - k]|, \quad (4.2)$$

burada $u[n]$ PIR algılayıcılardan birine ait dalgacık sinyali, $v[n]$ titreşim algılayıcıya (veya diğer PIR algılayıcıya) ait dalgacık sinyali ve α_u ve α_v birtakım ağırlıklardır. İki'den fazla algılayıcı bulunması durumunda ise, Eşitlik 4.2 aşağıdaki gibi düzenlenebilir:

$$AMDF_L[k] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^L \sum_n \alpha_i |u_i[n] - u_i[n - k]| \quad (4.3)$$

burada L algılayıcı sayısıdır. $AMDF_L$, birden fazla algılayıcı sinyal kaydını birlikte değerlendirerek, sinyallerin karşılık geldiği aktivitenin dönemli ya da dönemsiz olduğuna karar verdiği için, çok modlu AMDF olarak adlandırılır. Eşitlik 4.3'te orijinal ve kaydırılmış hallerinin farkı alınan algılayıcı sinyallerinden herhangi birisinin dönemli olması durumunda, $AMDF_L$ bir lokal minimum gösterir. Bu özellik oldukça önemlidir, çünkü algılayıcılardan bir veya daha fazlasından, insanın uyuma pozisyonuna bağlı olarak solunum aktivitesini yansıtan sinyaller elde edilemeyebilir. İnsanlar, nefes alıp verme esnasında bir şekilde hareket ettiğinden, titreşim algılayıcı veya yatış pozisyonuna bağlı olarak PIR algılayıcılardan biri veya ikisi birden bu aktiviteyi toplar ve çok modlu AMDF solunum hızına karar verir. AMDF'nin bir diğer avantajı da, iki algılayıcı sinyali arasındaki yanlış solunum hızı ölçümlerini netice verebilecek muhtemel faz farklarının üstesinden gelebiliyor

olmasıdır. Aralarında faz farkı bulunan iki dönemli sinyalin ve kaydırılmış hallerinin farkları toplamı olan sinyal yine dönemli bir sinyaldir ve çok modlu AMDF ile dönemi bulunabilir.

4.4. Uygulama ve Deneysel Sonuçlar

Çok modlu deneysel solunum hızı ölçüm sistemimiz, yatağa yakın bir stant üzerine yerleştirilmiş iki PIR algılayıcı ve yatağın üzerine yerleştirilmiş bir titreşim algılayıcıdan oluşmaktadır. Şekil 4.1.'de gösterildiği gibi, PIR algılayıcıları üzerinde bulunduran stant insanın göğüs hizasına karşılık gelecek şekilde yerleştirilir. Algılayıcıların görüş alanları insan bedeninde solunuma bağlı olarak gerçekleşen hareketleri farklı yatış pozisyonlarında görebilecek şekilde ayarlanmıştır. Titreşim algılayıcı doğrudan yatak üzerine yine göğüs bölgesine yakın bir konuma yerleştirilir ve insanın vücuduna temas etmesi gerekmez. Bu düzenekle solunum hızı ölçümü temassız olarak gerçekleştirilir. Bu sayede insanların giyerek kullanmak zorunda oldukları sistemlerin, yatarken verdiği rahatsızlıklardan kurtulmuş olunur.

Yaşları 10-49 arasında değişen toplamda 10 farklı insan için solunum hızı ölçme sistemine ait sonuçlar dalgacık ayrıştırma ve EMD yöntemleri için sırasıyla, Çizelge 4.1. ve Çizelge 4.2.'de verilmektedir. Deneklerden sırt üstü, yüz üstü ve yan yatar pozisyonlarda yatağa yatmaları ve 1 dakika boyunca nefes alıp vermeleri istenmiştir. Bir insan yatakta hareket ettiği zaman, PIR ve titreşim algılayıcılar büyük genlikli sinyaller üretirler. Bu hareketlere karşılık gelen sinyal pencereleri açık bir şekilde solunum aktivitesine ait değildir ve sinyallerin bu kısmı solunum hızı hesaplama sürecine dahil edilmez. AMDF, bu ve benzeri karakterdeki pencereler için bir lokal minimum göstermez. Bu sayede söz konusu pencereler değerlendirme dışı bırakılır. Kayıtlar, PIR algılayıcıları taşıyan stant deneklere 20-100 cm aralığında değişen mesafelerde konumlandırılarak alınmıştır. Deneyler her bir denek ve farklı yatış pozisyonlarının her biri için ortalama 30 kayıt, toplamda ise 900'den fazla kayıt içermektedir. Yapılan testler sonrasında, çok modlu solunum hızı tespit sisteminin hiçbir kayıt için, iki yöntem için de kesin referanslardan 2 solunum/dakika'dan daha büyük sapmalar üretmediği gözlenmiştir. Ayrıca hassasiyet, ölçümün kesin referanstan 1 solunum/dakika'dan daha küçük bir sapmayla sonuçlanması şeklinde tanımlanırsa, çok modlu sistem solunum hızı tespitini %92'lik bir hassasiyetle başarabilmektedir. PIR algılayıcılar

ile insan arasındaki mesafe 1 metreye kadar sonucu etkilememektedir. Daha uzak mesafelerde PIR algılayıcıların istenen tepkileri veremedikleri gözlenmiştir.

Dalgacık ayrıştırma metodu ve EMD metodu birbirine oldukça yakın kestirim başarı yüzdeleri göstermektedir ve hassasiyet açısından yaklaşıldığında bir yöntem diğerinden daha avantajlı değildir. İşlem yükü açısından bakılacak olursa EMD yöntemi, algoritmasının yinelenme sayısı ve kübik eğri fonksiyonunun işlemsel karmaşıklığı düşünüldüğünde, dalgacık ayrıştırma yöntemine göre daha fazla hesap yüküne sahiptir. Dolayısıyla dalgacık ayrıştırma yöntemi daha avantajlıdır denebilir.

Çizelge 4.1. Çok modlu sistemin 10 farklı denek için dalgacık ayrıştırma yöntemi ile ürettiği solunum hızı tespiti güvenilirlik yüzdeleri

Yatış Pozisyonu	$\epsilon < 0.5$	$0.5 < \epsilon < 1$	$1 < \epsilon < 2$
Yüz üstü	%73	%21	%6
Sırt üstü	%64	%28	%8
Yan yatış	%58	%32	%10

ϵ : solunum hızı ölçümündeki hata (solunum/dakika)

Çizelge 4.2. Çok modlu sistemin 10 farklı denek için EMD yöntemi ile ürettiği solunum hızı tespiti güvenilirlik yüzdeleri

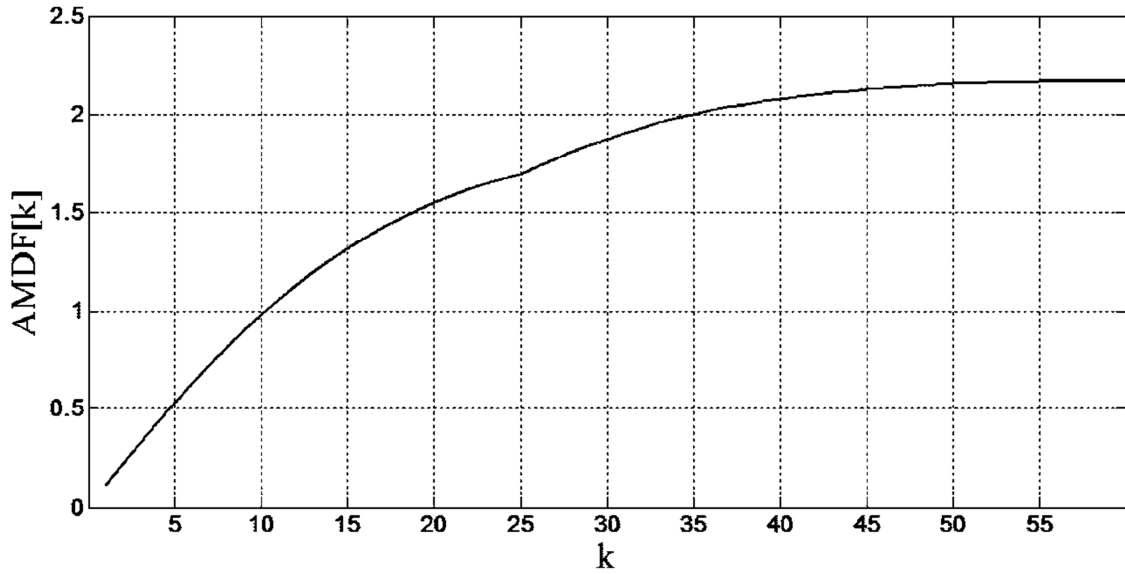
Yatış Pozisyonu	$\epsilon < 0.5$	$0.5 < \epsilon < 1$	$1 < \epsilon < 2$
Yüz üstü	%71	%22	%7
Sırt üstü	%66	%29	%5
Yan yatış	%58	%33	%9

ϵ : solunum hızı ölçümündeki hata (solunum/dakika)

PIR algılayıcı ve titreşim algılayıcıları ayrı ayrı kullanarak solunum hızı kestirimi yapmak mümkündür. Fakat bazı yatış pozisyonlarında (özellikle, PIR algılayıcılar için sırt üstü yatış pozisyonu ve titreşim algılayıcı için yan yatış pozisyonları) algılayıcılar nefes alıp verme aktivitesini yakalayamamaktadır. Önerilen sistem birden fazla sayıda ve çeşitte içerdiği algılayıcılar sayesinde bu problemin

üstesinden gelebilmektedir. Algılayıcılardan birinin veya ikisinin solunum aktivitesini kaçırmaması durumunda, diğer algılayıcı veya algılayıcılar yakalar. Çizelge 4.1. ve Çizelge 4.2.'de görüldüğü üzere, çok modlu sistem hiçbir durumda solunum aktivitesini kaçırmamış ve bütün ölçümlerde maksimum 2 solunum/dakika hata payıyla kestirim yapabilmıştır.

Uyku apnesi esnasında insanda solunuma bağlı hareketler olmadığından, titreşim algılayıcı ve PIR algılayıcılara ait alt basamak sinyallerinin genliği sıfıra çok yaklaşır. Bu sonucu kullanarak çok modlu sistem vasıtasıyla uyku apnesi de tespit edilebilir. AMDF, uyku apnesine ait pencerelerde lokal minimum göstermez ve değeri k arttıkça artar. İnsanın hareketsiz kaldığı bir pencereye ait AMDF çıktısı Şekil 4.9.'da gösterilmektedir. AMDF çıktısının şekilde görülene benzer bir hal alıp almadığı kontrol edilerek apne varlığına karar verilir.



Şekil 4.9. Uyku apnesine karşılık gelen titreşim algılayıcı dalgacık sinyalinin AMDF çıktısı. Lokal minimum gözlenmemektedir.

Sonuç olarak bu bölümde, solunum hızını temassız bir şekilde ölçmeye yarayan güvenilir bir sistem tanıtılmıştır. Bildiğimiz kadarı ile çalışmamız, PIR algılayıcı ve titreşim algılayıcı kombinasyonunu kullanarak solunum hızı tespiti yapan ilk çalışmadır. Buradaki diğer önemli katkı, birden çok algılayıcıya ait veriyi birleştirerek ortak bir karar vermek için tanımlanmış yeni bir çok modlu AMDF'dir. İnsan vücudu nefes alıp verme aktivitesi esnasında belirgin bir şekilde hareket

ettiğinden, titreşim veya PIR algılayıcılardan en az biri solunum aktivitesini yakalar. Sistemin bu özelliğinden yararlanan çok modlu AMDF, solunumdaki dönemliliği ve dönemi tespit eder. Önerilen sistem ayrıca uyku apnesi tespitinde de kullanılabilir. Algılayıcı verilerinin işlenmesinde kullanılan dalgacık dönüşümü ve AMDF hiçbir çarpma işlemi yapmadan yürütülebildiğinden, bütün sistem bir mikro işlemci kullanılarak çalıştırılabilir.

5. KAMERA YARDIMIYLA İNSAN ALGILAMA VE İZLEME

Hamill ve Knutzen [73] insan faaliyet ve hareketlerini, çevredeki bir noktaya göre yer, pozisyon ve tavırlardaki değişiklikler olarak tanımlar. İnsan hareketlerini izleme, bilim adamları ve araştırmacıların muskuloskeletal sistemi modelleme çalışmalarına başladıkları beşinci yüzyıldan beri ilgi konusu olmuştur [74]. İnsan bedeninin anatomik karmaşıklığı ve hareketlerine tesir eden psikolojik, fizyolojik ve mekanik etkenlerin çeşitliliği, insan algılama ve izleme konusunun günümüze kadar sabit bir çalışma alanı olarak kalmasını sağlamıştır. İnsan hareketlerinin izlenmesi atletik performans analizi, insan-makine ara yüzü, içerik tabanlı resim kaydı ve video görüşme gibi pek çok uygulamanın ilgi alanına girer [75].

Endüstriyel çalışma alanlarında insan ve robotlar arasındaki işbirliği, bunların birbirlerini tamamlayan özelliklerinden faydalanır [76]. Robotlar insanlar için tehlikeli ve yorucu olan tekrarlı işleri yapabilirken, insanlar zeka gerektiren daha karmaşık işleri yürütebilirler. Fakat çalışma alanlarındaki insan-robot etkileşimi, robotlarla veya ağır nesnelerle çarpışma ihtimali sebebiyle insan operatörler için tehlikeli olabilir. Bu nedenle insan operatörlerin lokasyon tespitlerinin hassas bir şekilde yapılması olası kazaları önlemek için önem arz etmektedir.

Dış alanlarda terör gibi potansiyel tehlikeler sebebiyle, gelişmiş gözetleme sistemlerine gerek duyulmaktadır. Tehlike durumlarının oluşmasını önlemek için, gelişmiş gözetleme sistemlerinin insanları izlemesine ihtiyaç vardır [77].

İç alanlarda günlük yaşam aktivitelerinin (activity of daily living-ADLs) gözlemlenmesi, insanların fiziksel ve akli sağlık problemlerine dair birtakım ipuçlarının elde edilmesine olanak sağlar. İnsanların işlevsellik durumunu değerlendirmek için kullanılan yöntemlere örnek olarak, Katz günlük yaşam aktivitesi (Katz ADL) ölçeği verilebilir. Katz ADL endeksi banyo yapma, giyinme, tuvalete gitme, yürüme, yeme içme ve yataktan sandalyeye geçme kabiliyetlerini puanlayarak kişinin bağımsız yaşama kapasitesini ölçer [78]. Hesaplanan puanda bir azalma olması kişinin tıbbi gözetime alınması gerektiğini haber verir.

Günlük aktiviteler, önemli ölçüde fiziksel ve akli sağlıkla ilintilidir ve hayat kalitesinin öncelikli etkenidir. Bilhassa ilerleyen yaşlarda görülen fiziksel rahatsızlıklar hareket azlığından kaynaklanmakta olup, bu durum bağımlı yaşama zorunluluğuna yol açmaktadır. Brandes ve diğerleri [79], osteoartrit hastalığının

erken teşhisi için insanların günlük yaşamda yürüme miktarlarının önemli bir veri olduğunu belirtmektedir. Ayrıca aktivite örüntüleri, sırt ve boyun ağrıları, 24 saatlik aktivite ritmi (circadian activity rhythm-CAR) ve uyku, otizm ve ruhsal hastalıklar gibi alanlarda yapılan çalışmaların pek çoğu insan hareketlerinin izlenmesine dayanmaktadır [74].

Bağımsız günlük aktiviteyi ölçmede yararlanılan geleneksel yöntemler özensizdir ve içerdiği birtakım problemlerden ötürü değerini yitirmektedir. Örneğin aktivite ve egzersizleri kendi kendine rapor etmeye dayalı anket ve günlük tutma gibi metotlar, özellikle yaşlıların söz konusu olduğu durumlarda, hafızaya dayalı olduğu için güvenilir değildir ve zaman alıcıdır. Diğer bir geleneksel yöntem olan hastabakıcı tutma ise bakıcılara büyük bir sorumluluk yüklemekte ve oldukça yüksek bir maliyete neden olmaktadır. Ayrıca bakıcıların, hastaların yanında olmadığı zamanlarda acil bir müdahale gerekebilir ve bu müdahale bakıcıların durumdan bilgi sahibi olacağı ana kadar gecikebilir.

Bu bölümde iç ve dış alanlarda yukarıda belirtilen ihtiyaçları karşılamaya yönelik geliştirilen insan algılama ve izleme sistemi anlatılmaktadır. Önerilen çalışmada ilk olarak uyarlamalı arkaplan eksiltme ve üç-kare farklama metotlarını birleştiren iki aşamalı bir arkaplan eksiltme algoritması yardımıyla, video karesindeki hareketli bölgeler tespit edilir. Sonra bu bölgelere ait öznitelik çıkarımı yapılır ve çıkarılan özniteliklerin destek vektör makinelerine (support vector machines-SVM) beslenmesiyle “insan” içeren bölgeler bulunur. Bu bölgelerin sınıflandırılmasında, öznitelik çıkarımı için ortak değişinti (covariance) ve ortak fark (co-difference) matrisleri kullanılmaktadır. Son olarak tespit edilen insan, ortak değişinti matrisleri arasındaki benzerliği genellenmiş özdeğerlere (generalized eigenvalues) dayalı mesafe ölçütü üzerinden hesaplayan bir yöntem ve WTA kodları üzerinden bir benzerlik ölçütü tanımlayarak hesaplayan yeni bir başka yöntemle takip edilir. Ortak değişinti ve ortak fark metotlarının sınıflandırmadaki başarıları deneysel olarak gösterilmektedir. Bu çalışmada sunulan en temel yenilik, WTA kodlarına dayalı olarak geliştirilen insan izleme metodudur. Bu yeni metot ve genellenmiş özdeğerlere dayalı metodun izleme performansları karşılaştırılmış ve yeni metodun izlemede kullanılabilecek etkin bir metot olduğu sonucuna varılmıştır.

Hareketli hedef tespiti ve insan algılama teknikleri Bölüm 3.2.’de, insan izlemede kullanılan yöntemler Bölüm 3.3.’te anlatılmaktadır. Tercih edilen özniteliklere ait

sınıflandırma sonuçları ve izleme yöntemlerinin performans karşılaştırmaları Bölüm 3.4.'te sunulmaktadır.

5.1. Literatür Özeti

İnsan hareketlerini gözlemlemek üzere tasarlanmış sistemler üç ana kategoride sınıflandırılabilir: 1) İvme ölçer, adım sayar gibi giyilen hareket algılayıcılar tabanlı sistemler; 2) Titreşim, ses ve yayılan kızılberisi radyasyon verilerini kullanan çevresel algılayıcılar tabanlı sistemler; 3) Yaşam alanlarının gerçek-zamanlı olarak görüntülendiği ve bir algoritma yardımıyla insanın işaretlenip izlendiği video analizi tabanlı sistemler.

İvme ölçerlerle insan hareketlerini değerlendirme ilk olarak 1950'lerde önerilmiştir [80], [81]. Bu aletler pahalı, hantal ve güvenilir olmaları dolayısıyla taşınabilir izleme teknikleri için uygun değildi. Fakat son yirmi yılda, özellikle otomotiv endüstrisinde hava yastıkları sistemlerinde kullanma maksadıyla, ivme ölçer imalatında bir devrim gerçekleşmiş ve geliştirilen yeni nesil ivme ölçerler insan hareketlerini izlemede düşük maliyetli bir çözüm olarak sunulmuştur [82]. Culhane ve diğerleri [83] biri gövdeye diğeri bacağa yerleştirilen iki ivme ölçerle oturma, kalkma, uzanma ve yürüme hareketlerini %95 doğruluk oranıyla tespit etmektedirler. [84]'te önerilen metot dört ivme ölçerle dönme, koşma, merdiven tırmanma gibi 20 farklı insan pozunu sınıflandırabilmektedir. Menz ve diğerleri [85] ile Zijlstra ve diğerlerinin [86] yaptıkları çalışmalarda ivme ölçer yardımıyla adım atma zamanı, simetrisi ve hızı gibi insanın yürüyüş biçimine ait parametreler doğru bir şekilde ölçülebilmektedir. Ayrıca ivme ölçerler yardımıyla insanların denge analizi yapılabilen ve kliniksel değerlendirmelerden de yararlanılarak kusurlar belirlenebilmektedir [87], [88]. Obezite, şeker ve kalp yetmezliği hastalarının yaptıkları egzersizleri kontrol etmek için adım sayarlardan faydalanılmaktadır [89]–[91].

Giyilen hareket algılayıcı tabanlı sistemler taşınabilir olmaları sebebiyle dış mekanlarda da kullanılabilmesi eksiksiz bir hareket analizi için avantaj sağlar. Fakat özellikle yaşlı insanların çoğu, sürekli şarj etmek zorunda olmaları ve taşımayı zahmetli ve rahatsız edici bulmaları sebebiyle bu aletleri kullanmada gönülsüz davranmaktadırlar [92]. Üstelik insanların bu sistemleri üzerlerine yerleştirmeyi unutmaları da söz konusudur. Bunlara ek olarak genellikle kalçaya ve bele yerleştirilen bütün adım ölçerler yavaş yürümelerde mesafe ve adım sayısını

olduğundan düşük tahmin etmektedir. Çünkü dikey hareketler, düşük yürüme hızında yeterince titiz algılanamamaktadır [93], [94].

Çevresel algılayıcılar tabanlı sistemler yapıları itibariyle insan hareketiyle ilgili oldukça basit düzeylerde veri sağlarlar. Bu yüzden genellikle, ilgilenilen alanda insan hareketlerini izlemek ve gezingelerini belirlemek için tercih edilmezler, daha ziyade insan varlığını algılama ve düşme tespitinde kullanılırlar ve konum, yakınlık gibi temel bilgiler üretirler. Sixsmith ve diğerleri [95] bir kızılberisi algılayıcı dizisi kullanarak geliştirdikleri SIMBAD isimli sistemle termal bir hedefi algılar, hedefe ait hareketsizlik tespiti yapar ve buna bağlı olarak düşme olayının varlığına karar verirler. Alwan ve diğerleri [96] titreşim algılayıcısından yararlanarak insanın günlük hareketleri ve düşme olayını oldukça küçük bir hata oranıyla ayırt edebilmektedirler. Aynı görev bir başka çalışmada [97] ses algılayıcılarla, benzer bir hata yüzdesiyle başarılmıştır. Mrazovac ve diğerleri [3], bir eve yerleştirilmiş mikrofona dizisi ve kızılberisi algılayıcılarla insanın konumu ve yakınlığına göre elektrikli aletlerin önceden tanımlanmış tepkileri üretmesini sağlarlar. SAMCAD isimli sistem, aralarında kablosuz haberleşen kızılberisi algılayıcıları kullanarak bir evde yaşayan kişiye ait CAR analizi yapar [98]. Sistem ilk olarak sakinin, evin hangi odasında ne kadar süreyle kaldığı bilgisiyle eğitilir, daha sonra olağan durumdan belirli bir ölçüde sapma tespit etmesi halinde alarm üretir. Ayrıca, kızılberisi algılayıcıların çıkış sinyalinin tanımlı bir eşiği aşması kontrol edilerek sakinin aktivite yoğunluğuna dair basit seviyede bilgiler sağlanır.

Çevresel algılayıcılara dayanan sistemler daha ileri düzeyde ve detaylı bilgiye ihtiyaç duyan uygulamalar için uygun değildir. Ayrıca yaşam alanlarında var olan aşırı gürültü, bu tür algılayıcılar için istenmeyen bir durum olup yanlış alarmlara sebep olmaktadır.

İnsan hareketlerinin izlenmesinde pek çok açıdan en etkili yöntem video analizi tabanlı olanlardır. Video analizine dayalı sistemlerin dezavantajı, kullanıcıların yaşam alanlarındaki özel hayatlarının ikinci bir göz tarafından izlenmesini istememeleridir. Buna rağmen video analizine dayalı dış ortamlarda insanın algılanıp izlenmesi; iç ortamlarda düşme riski algılama, düşme tespiti, vücut pozisyonundaki değişiklikleri belirlemeye yönelik pek çok çalışma mevcuttur [99]–[103]. Video analizine dayalı insan algılama ve izleme yöntemlerinde kullanılan tekniklere, takip eden bölümlerde değinilecektir.

5.2. Hareketli Hedef Tespiti ve İnsan Algılama

Video analizi ile insan algılamada ilk olarak hareketli hedefler tespit edilir. Bu çalışmada hareketli hedefleri tespit etmede, uyarlamalı arkaplan eksiltme ve üç-kare farklama metotlarını birlikte kullanan iki aşamalı yöntemden yararlanılır. Sınıflandırma aşamasında, bölgesel ortak fark ve bölgesel ortak değişinti metotları kullanılarak aday bölgelere ait elde edilen öznitelik vektörleri, destek vektör makinelerine beslenir ve söz konusu hedefin insan olup olmadığına karar verilir.

5.2.1. Arkaplan Eksiltme

Arkaplan eksiltme, gözetleme uygulamalarında bir sahnede hareketli hedefleri ayırmada yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Aydınlatma ve dış etkenlere bağlı dinamik değişikliklerden etkilenmesine rağmen arkaplan eksiltme, en eksiksiz öznitelik verisini sağlayan yöntemdir. Algoritma, gözlenen görüntü ve hareketli hedefi içermeyen arkaplan görüntüsünün kestirimi arasında bir karşılaştırma yürütür. “Arkaplan eksiltme”, ismini kestirilen görüntüden gözlenen görüntünün çıkarıldığı ve sonucun eşiklenerek hareketli hedefin algılandığı basit işlemde alır [104].

Literatürde arkaplan eksiltme uygulamasına yönelik pek çok metot bulunmaktadır. Bu metotlar, video karelerinden arkaplanı etkili bir biçimde kestirmeye yönelik farklı öneriler sunar. Wren ve diğerleri, yürüyen Gaussian ortalamasına dayalı (RGA) hızlı ve az bellek ihtiyacı duyan bir arkaplan eksiltme algoritması geliştirmişlerdir [105]. Koller ve diğerleri, bu algoritmayı yenileyerek seçici arkaplan yenileme yöntemini önermişlerdir [106]. Lo ve Velastin’in yaptıkları çalışmada [107] zamansal orta değer filtresine (temporal median filter) dayalı yöntemin, RGA ya dayalı olandan daha iyi sonuçlar verdiği iddia edilmektedir, fakat işlemsel karmaşıklığı oldukça yüksektir. Pek çok arkaplan eksiltme algoritması, birden çok hedefle uğraşmak gerektiğinde Gauss karışım modeli (GMM) kullanır [108], [109].

Bu çalışmada hareketli hedefleri belirlemek için uyarlamalı arkaplan eksiltme ve üç-kare farklama metotlarını birleştiren yöntem [110] tercih edilmektedir. Seçilen yöntem, verim ve hız açılarından beklentilerimizi karşılamaktadır.

5.2.1.1. Uyarlamalı Arkaplan Eksiltme

Uyarlamalı arkaplan eksiltme tekniği, arkaplan eksiltme algoritmasının çevresel değişikliklere karşı daha gürbüz olmasını amaçlar. Bu yaklaşımın ana fikri, bir yandan hareketli hedefleri algımlarken, diğer yandan arkaplanı çevresel

değişikliklere göre güncel tutmaktır. İlk aşamada küçük çevresel değişiklikleri benimsemek için arkaplanın istatistiksel bir modeli oluşturulur. n 'inci karedeki her p_n piksel değeri için zamansal filtre kullanılarak $\bar{p}_n$ yürüyen ortalaması ve σ_{p_n} standart sapması hesaplanır. Filtre

$$F(t) = e^{\frac{t}{\tau}}$$

şeklindedir ve τ bir zaman sabitidir. Filtre şu şekilde uygulanır:

$$\bar{p}_{n+1} = \alpha \bar{p}_{n+1} + (1 - \alpha) \bar{p}_n$$

$$\bar{\sigma}_{n+1} = \alpha |p_{n+1} - \bar{p}_{n+1}| + (1 - \alpha) \bar{\sigma}_n$$

$\alpha = \tau \times f$, f ise video karesi hızıdır. Bu istatistiksel model önplan (foreground) piksellerine karar vermek için basit bir eşikten ziyade gürültü ölçümlerini de bünyesinde barındırır.

Eğer p_n piksel değeri için $p_n > \bar{p}_n + 2\sigma$ şartı sağlanırsa bu piksel önplan pikseli olarak değerlendirilir. Bu noktada söz konusu pikselin durumuna karar vermek için çoklu hipotez yaklaşımı kullanılır. Yeni bir istatistik kümesi $(\bar{p}', \sigma')$ oluşturulurken, eski küme saklanır. Eğer 3τ zaman sonra piksel eski istatistik değerlerine dönmezse, eski istatistikler yenileriyle yer değiştirilir. Hareketli pikseller bir bağlı parça yaklaşımı kullanılarak birleştirilir, böylece ayrık hedef bölgelerin her biri çıkarılabilir. Geçici hareketli objeler görüntü akışında, arkaplan modeline dahil edilmeyen kısa süreli değişikliklere sebep olurken, kalıcı değişiklikler 3τ zaman sonra arkaplana katılır.

5.2.1.2. Üç-kare Farklama

Uyarlamalı arkaplan eksiltme uygulaması, tek başına kullanıldığı durumda sahnede önce sabit olup sonra harekete geçen hedefleri algılamada yaşanan zorluk sebebiyle üç-kare farklama yöntemiyle birleştirilerek kullanılır. $I_n(x)$ 'in, n zamanında x piksel pozisyonundaki yoğunluk değeri olduğunu varsayalım. Üç-kare farklama kuralı bir pikselin, şimdiki ile bir önceki karede ve şimdiki ile daha önceki karedeki yoğunluk değerinin belirgin bir şekilde, bir $T_n(x)$ değerinden büyük bir farkla, değişip değişmediğini kontrol eder. Eğer

$$|I_n(x) - I_{n-1}(x)| > T_n(x) \text{ ve}$$

$$|I_n(x) - I_{n-2}(x)| > T_n(x)$$

ise, pikselin hareketli olduğuna karar verir. $B_n(x)$ 'in şimdiki karede x pozisyonundaki pikselin yoğunluk değeri olduğunu varsayalım. Arkaplan modeli $B_n(x)$ ve fark eşiği değeri $T_n(x)$ 'in ikisi de görüntü dizisinde gözlenen piksel yoğunluklarına ait istatistiksel özelliklerdir. İlk olarak $B_0(x)$, $I_0(x)$ 'e; $T_0(x)$ ise sıfırdan farklı bir sayıya eşitlenir ve zamanla şu şekilde güncellenir:

$$B_{n+1}(x) = \begin{cases} \alpha B_n(x) + (1 - \alpha)I_n(x) & x \text{ hareketli değil ise} \\ B_n(x) & x \text{ hareketli ise} \end{cases}$$

$$T_{n+1}(x) = \begin{cases} \alpha T_n(x) + (1 - \alpha)(5 \times |I_n(x) - B_n(x)|) & x \text{ hareketli değil ise} \\ T_n(x) & x \text{ hareketli ise} \end{cases}$$

α yeni bilgilerin eskilerinin yerine ne kadar hızlı alacağına karar verir. Dikkat edilmelidir ki, eğer pikseller hareketli değilse sabit bir arkaplan elde edilir. Uyarlamalı arkaplan eksiltme ve üç-kare farklama yöntemlerini birleştiren iki aşamalı metodun bir kare için örnek bir uygulaması Şekil 5.1.'de gösterilmektedir. İlerleyen bölümlerde tanıtılan yöntemlere ait örnek uygulamaları daha anlaşılır bir şekilde gösterebilmek için dış mekanlarda yapılmış kayıtlar tercih edilecektir.

Yukarıda anlatılan iki aşamalı yöntemle hareketli hedefler tespit edildikten sonra, bulunan hedeflerin “insan” ve “insan değil” şeklinde tanımlanan iki sınıftan hangisine ait olduğuna karar verilir. Sınıflandırma aşamasında hedef bölgelere ait öznitelik çıkarımı için iki farklı metot kullanılmaktadır: (i) bölgesel ortak değişinti metodu, (ii) bölgesel ortak fark metodu.

5.2.2. Bölgesel Ortak Değişinti Metodu (Regional Covariance Method)

Algılama ve sınıflandırma problemlerinde, en önemli aşamalardan biri de öznitelik seçimi ve çıkarımıdır. İyi bir öznitelik ayırt edici, kolay hesaplanabilir olmalıdır ve algılama, izleme gibi çeşitli görevler için verimli algoritmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Renk, gradyan ve filtre tepkileri gibi çeşitli görüntü istatistiklerinin ham piksel değerleri, görüntü öznitelikleri için en basit seçimlerdir ve bilgisayarla görmede (computer vision) uzun yıllardır kullanılmaktadır, örn. [111], [112]. Fakat bu öznitelikler, keskin olmayan hareketler ve aydınlanma değişikliklerinin varlığında gürbüz değillerdir. Bazı çalışmalarda, algılama ve eşleştirme problemi için histograma dayalı metotlardan yararlanılmaktadır, örn. [113], [114]. Bu çalışmada video karesindeki hareketli hedefleri ait öznitelik çıkarımı için ilk olarak Porikli ve diğerlerinin önerdiği bölgesel ortak değişinti metodu (RCM) kullanılmaktadır [115].



Şekil 5.1. İki aşamalı arkaplan eksiltme metodunun bir kare için uygulaması

Bölgesel ortak değişinti metodu, algılama ve sınıflandırma algoritmalarında bir görüntüye ait bir bölgeyi ortak değişinti matrisiyle tanımlamak için kullanılır. Öznitelik olarak görüntü istatistiklerinin birleşik dağılımı yerine, ortak değişinti kullanılır, bu sebeple boyutluluk daha küçüktür. Bu yöntem son yıllarda insan, yüz ve bazı objeleri algılama ve sınıflandırma problemlerinde başarıyla uygulanmıştır [115], [116].

RCM ile öznitelik çıkarımı,

$$z_k = \left[x \ y \ I \ \left| \frac{dI(x,y)}{dx} \right| \left| \frac{dI(x,y)}{dy} \right| \left| \frac{d^2I(x,y)}{dx^2} \right| \left| \frac{d^2I(x,y)}{dy^2} \right| \right]^T \quad (5.1)$$

ile başlar. Burada I karenin (x, y) pozisyonundaki yoğunluk değeridir, $\frac{dI(x,y)}{dx}$ yatay ilk türev ve $\frac{dI(x,y)}{dy}$ dikey ilk türevdir. $\frac{d^2I(x,y)}{dx^2}$ ve $\frac{d^2I(x,y)}{dy^2}$ sırasıyla, yatay ve dikey ikinci türevi ifade eder, k ise pikselin etiketidir. İlk türev resmin $[-1 \ 0 \ 1]$ filtresiyle, ikinci türevse $[-1 \ 2 \ -1]$ filtresiyle evriştirilmesinden elde edilir. Bu çalışmada, ilgilenilen bölge 128×64 boyutundadır, dolayısıyla k $(1, 2, 3, \dots, 128 \times 64)$ değerlerini alır. Her piksel lokasyonu için 7×7 ortak değişinti matrisleri hesaplanır:

$$C_R = |c_R(i, j)| = \left(\frac{1}{n-1} \left[\sum_{k=1}^n z_k(i) z_k(j) - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n z_k(i) \sum_{k=1}^n z_k(j) \right] \right) \quad (5.2)$$

Bir bölge tanımlayıcı olarak ortak değişinti matrislerini kullanmanın pek çok avantajı vardır. Bir bölgeden çıkarılan tek bir ortak değişinti matrisi değişik açı ve pozlardaki bölgeyle eşleşmek için genellikle yeterlidir. Ortak değişinti matrisi, birbiriyle ilinti olabilecek farklı öznelikleri tümleştirmeye imkan sağlar. Matrisin diyagonal girdileri her bir niteliğin değişkenliğini (variance) temsil ederken, diyagonal olmayan girdiler ilintiyi (correlation) temsil eder. Ortak değişinti matrisleri, diğer bölge tanımlayıcılara göre düşük boyutludur ve simetri sebebiyle $d \times d$ boyutlu C_R sadece $(d^2 + d)/2$ farklı değere sahiptir.

Bir R bölgesi için ortak değişinti C_R , sıralama ve nokta sayısı ile ilgili bir herhangi bir bilgi içermemektedir. Bu özellik bölgelerin, farklı resimlerdeki belli ölçek ve döndürmelerine karşı değişmezlik sağlar. Aynı durum aydınlanma etkileri için de geçerlidir.

5.2.3. Bölgesel Ortak Fark Metodu (Regional Co-difference Method)

Hareketli hedefleri temsil etmek için kullandığımız diğer metot ise bölgesel ortak fark metodudur [117]. Bu metot kullanımıyla öznelik çıkarımı, bölgesel ortak değişinti metodunda olduğu gibi her piksel için Eşitlik 4.1'deki 7 boyutlu z_k vektörün oluşturulmasıyla başlar. Sonraki aşamada ortak fark matrisleri, ortak değişinti matrisi formülünün düzenlenmiş şekliyle hesaplanır:

$$C_R = |c_R(i, j)| = \left(\frac{1}{n-1} \left[\sum_{k=1}^n z_k(i) \oplus z_k(j) - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n z_k(i) \oplus \sum_{k=1}^n z_k(j) \right] \right) \quad (5.3)$$

Burada $\oplus$ işletmeni, basit bir toplama işletmenidir fakat sonucun işareti, tıpkı çarpma işleminde olduğu gibi toplananların işaretine göre değişir. Verilen a ve $b \in R$ iki gerçel reel sayı için, $a \oplus b$ aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$a \oplus b = \begin{cases} a + b, & a, b \geq 0 \text{ ise} \\ a - b, & a \leq 0, b \geq 0 \text{ ise} \\ -a + b, & a \geq 0, b \leq 0 \text{ ise} \\ -a - b, & a, b \leq 0 \text{ ise} \end{cases}$$

Ortak fark matrisi, ortak değişinti matrisine benzer davranışlar sergiler. Ortak fark matrisi, z_k içindeki iki değişken birbiriyle doğru orantılıyken ortak değişinti matrisi gibi pozitif sonuçlar üretirken, söz konusu değişkenler ters orantılıyken yine ortak değişinti matrisiyle aynı şekilde negatif sonuçlar verir. Belirlenen bir bölge için, ortak fark matrisinin hesap yükü ortak değişinti matrisine göre oldukça düşüktür. Çünkü Eşitlik 4.2.'deki çarpma işleminin yerini toplama işlemi almıştır. Eşitlik 4.3'te

kullanılan $\oplus$ işletmeni bütünlük, birleşmelilik ve özdeşlik özelliklerini sağlar, yani bir birim öge (monoid) işlevidir.

5.2.4. Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machines)

Destek vektör makineleri, istatistiksel öğrenme tabanlı sınıflandırma metotlarında yaygın bir şekilde kullanılır. SVM maksimizasyon ve optimizasyon teknikleri kullanarak örüntü sınıfları arasında ayırt edici bir sınır üretmeye çalışır. Pek çok örüntü algılanmasında yararlanılan yöntem Vladimir Vapnik tarafından geliştirilmiştir. Bu çalışmada video karelerindeki hareketli hedefleri temsil eden, bölgesel ortak değişinti ve bölgesel ortak fark metotları kullanılarak çıkarılan öznitelik vektörleri, sağlanan SVM kütüphanesi [118] yardımıyla değerlendirilir. Hedef bölgeler “insan” ve “insan değil” olmak üzere iki kategoride sınıflandırılır. Uygulamaya ait örnek bir video karesi için bölgesel ortak değişinti metodu ile yürütülmüş sınıflandırma işlemi Şekil 5.2.’de gösterilmektedir. Hareketli bölgeler, ait oldukları sınıfları temsil eden renkte bir çerçeve ile işaretlenir. “insan” sınıfına ait bölgeler kırmızı renkli çerçeve ile gösterilirken, “insan değil” sınıfına ait bölgeler yeşil renkli çerçeve ile temsil edilir.



Şekil 5.2. Bölgesel ortak değişinti metodu ile yürütülmüş sınıflandırma sonuçlarını gösteren örnek bir video karesi

Bölüm 5.2.2. ve 5.2.3.'te tanıtılan yöntemlere ait karşılaştırmalı sınıflandırma sonuçları, Bölüm 5.4.'te sunulmaktadır. “insan” sınıf etiketli bölgelerin belirlenmesinden sonra izleme aşamasına geçilir.

5.3. İnsan İzleme

Destek vektör makineleriyle insan, diğer hareketli objelerden ayırt edildikten sonra ortak değişinti matrisleri üzerinden yapılan işlemler yardımıyla izlenir. Verilen objeye en çok benzeyen bölgeyi bulmak için, hedef obje bölgesi ve aday bölgelere karşılık gelen ortak değişinti matrisleri arasında “uzaklık” hesaplamaya ihtiyaç vardır.

Ortak değişinti matrisleri Öklid uzayının elemanı değildir. Örnek olarak bu uzay, negatif ölçekleyicilerle çarpma işlemi altında kapalı değildir. Makine öğrenme metotlarının çoğu Öklid uzayında çalışır ve bu yüzden bizim kullandığımız öznitelikler için uygun değildir. İzleme işlemi için matrisler arası bir mesafe hesaplamasına ihtiyaç duyulduğundan, aritmetik çıkarma doğru sonuç vermez. Burada, öznitelik eşleşmesi için pozitif belirli simetrik matrisler arasında tanımlanan bir “uzaklık” ölçütünden faydalanan, “en yakın” komşu arama algoritması kullanılmaktadır [119].

Şimdiki video karesinin, SVM’ler ile “insan” sınıfına ait olduğu belirlenmiş bölgesi için halihazırda hesaplanmış ortak değişinti matrisleri, izlemede “insan” sınıfı modeli olarak kullanılır. Daha sonraki video karesinde, bir önceki karedeki hedef bölgeye komşu olan bölgelere ait ortak değişinti matrisleri hesaplanır. İlk karedeki hedef bölgeye tanımlanan uzaklık ölçütü cinsinden en yakın olan aday bölge, insanın şimdiki karedeki yeri olarak atanır.

Hedef bölge ve komşu bölgelerin ortak değişinti matrisleri arasındaki mesafe hesaplanırken iki farklı tanımdan yararlanılmaktadır: (i) Förstner ve Moonen [120] tarafından önerilen, genellenmiş özdeğerlere (generalized eigenvalues) dayalı benzeşmezlik ölçütü, (ii) yeni bir WTA kodları tabanlı Jaccard benzeşmezlik ölçütü.

(i) Bu tanımda, ortak değişinti matrislerine ait genellenmiş özdeğerlerin karesi alınmış logaritmalarının toplamları hesaplanır. Sonucun karekökü alınarak, hedef ve aday bölgelerin ortak değişinti matrisleri arasındaki benzeşmezlik ölçütü bulunur:

$$d_F(C_h, C_{a,i}) = \sqrt{\sum_{k=1}^n \ln^2 \lambda_k(C_h, C_{a,i})}, \quad i = 1, \dots, m$$

Burada m , aday bölge sayısıdır. $\lambda_k(C_h, C_{a,i})$, sırasıyla hedef ve i 'nci aday bölgelerin ortak değişinti matrislerini temsil eden C_h ve $C_{a,i}$ 'nin genellenmiş özdeğerleridir ve aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\lambda_k C_h x_k - C_{a,i} x_k = 0, \quad k = 1 \dots n$$

burada $x_k \neq 0$ genellenmiş özvektörlerdir (eigenvectors) ve n , iki matrisin genellenmiş özdeğer sayısıdır.

(ii) (i)'de tanıtılan d_F ölçütü hesaplamasının işlem yükünün fazlalığı nedeniyle ortak değişinti matrislerinin WTA kodlarından faydalanılan yeni bir uzaklık ölçütü- d_W önerilmektedir. d_W ölçütü hesaplamasında ilk olarak, C_h ve $C_{a,i}$ ortak değişinti matrisleri vektörel formda yazılır. Bölüm 2.3.2.'de anlatılan algoritma yardımıyla, her iki matrise ait WTA kodları bulunur. Bu iki WTA koduna ait Çizelge 2.1.'deki değer tablosu oluşturulur. Sonra Eşitlik 2.1.'i kullanarak hedef ve aday bölgelerin benzeşmezliğinin ölçütü olan Jaccard mesafesi- d_W hesaplanır. 4 farklı video dizisi için d_W ölçütüne dayalı izleme sonuçları Şekil 5.3.'te gösterilmektedir.

d_F ve d_W mesafe ölçütleri pozitif belirli simetrik matrisler C_h ve $C_{a,i}$ için, ölçüt aksiyomlarını sağlar:

1. $d(C_1, C_2) \geq 0$ ve $d(C_1, C_2) = 0$, sadece $C_1 = C_2$
2. $d(C_1, C_2) = d(C_2, C_1)$
3. $d(C_1, C_2) + d(C_1, C_3) \geq d(C_2, C_3)$

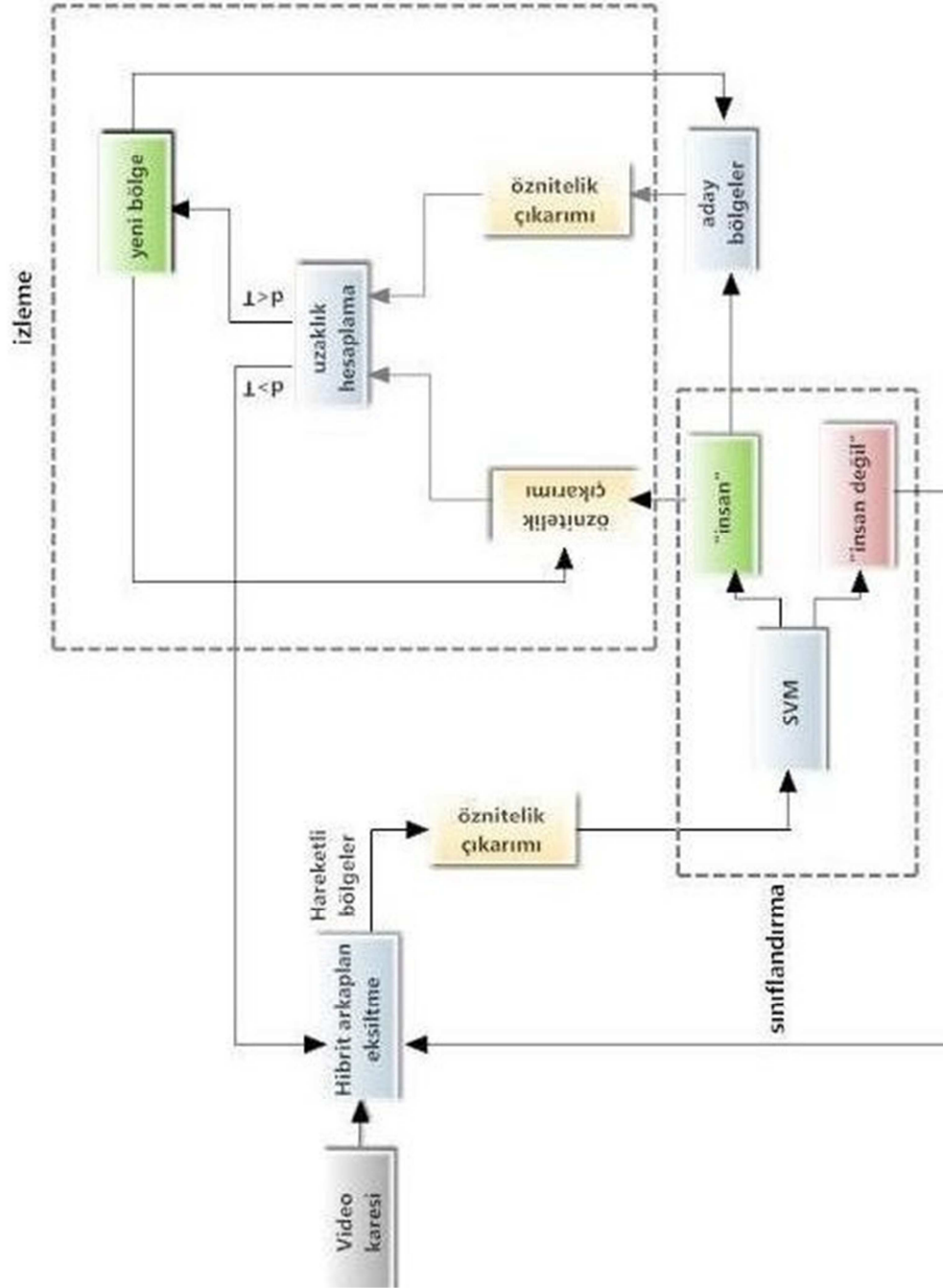
SVM'lerle insan algılandıktan sonra, sınıflandırma işlemi durur ve yeni video karelerindeki insanın yeri, izleme yöntemiyle bulunmaya çalışılır. Aday komşu bölgeler arasında en küçük d_F veya d_W değerlerine sahip, dolayısıyla hedef bölgeye en çok benzeyen bölgenin, yeni video karesinde insanın bulunduğu bölge olduğu varsayılır. Hedef bölge ortak değişinti matrisi, yeni bölgeye göre güncellenir ve izleme devam eder. İnsan algılama ve izleme sisteminin çalışma yöntemi Şekil 5.4.'te özetlenmektedir.



Şekil 5.3. 4 farklı video dizisi için WTA kodları üzerinden tanımlanan mesafe ölçütüne dayalı izleme sonuçları

Hesaplanan d_F ve d_W değerlerinin, her ikisi için de eğitim aşamasında ayrı ayrı belirlenmiş olan eşik değerlerini aşmaları, izlenen sahnede insanın takip edilemediği veya artık kameranın görüş açısında bulunmadığı anlamına gelir. Bu durumlarda ortak değişim matrislerine dayalı izleme işlemine ara verilir ve

SVM'lerle sınıflandırma işlemi tekrar başlatılır. (i) ve (ii)'deki uzaklık ölçütü tanımlarına dayalı izleme yöntemlerinin performansları, Bölüm 5.4.'te incelenmektedir.



Şekil 5.4. İnsan tanıma ve izleme sistemi çalışma yöntemi

5.4. Uygulama ve Deneysel Sonuçlar

Sunulan çalışmada Axis M101 ağ kamerası kullanılmıştır. Kameradan aktarılan veriler Matlab R2007b'de işlenmiş ve analiz edilmiştir.

İnsan algılama ve takip etme için önerilen yöntemde hareketli bölgeleri bulmak için uyarlamalı arkaplan eksiltme ve üç-kare farklama yöntemlerini birleştiren iki aşamalı bir arkaplan eksiltme yöntemi tercih edilmiştir. Objelerin sınırlarını tam olarak belirlemeyi mümkün kılmasa da, bu yöntem oldukça basit ve alternatiflerine göre (örn. olasılıksal yöntem [121]) hesap yükü daha düşüktür. İki aşamalı yöntem saniyede 15 kareye kadar işleyebilmekte ve öğrenme süresi sadece birkaç saniye sürmektedir, dolayısıyla bu yöntem gerçek-zamanlı uygulamalarda hareketli bölgeleri tespit etmede kullanılabilir.

Hareketli bölgelere ait öznitelik vektörleri destek vektör makineleriyle sınıflandırılmıştır. Eğitim aşamasında INRIA veri kümesinde [122] sağlanan resimlerin kesilmiş ve düzenlenmiş şekilleri kullanılmıştır. Veri kümesi 96×160 boyutunda, 16 piksel kenar boşluklu 2416 pozitif resim ve değişik boyutlarda 1218 negatif resim içermektedir. Pozitif küme, 1213 insan resmi ve bu resimlerin ayna görüntülerinden oluşan, toplamda 2416 resim içerir. Pozitif eğitim kümesini oluştururken 64×128 boyutlu ortalananmış bir pencere kullandık. Negatif eğitim kümesi için ise, her bir resmi 64×128 boyutlu rastgele 10 pencereyle örneklenmiş, böylece 12180 negatif resim elde edilmiştir.

INRIA veri kümesinde bulunan 1132 pozitif ve 4530 negatif test resimleri kullanılarak, bölgesel ortak değişinti ve ortak fark metotları test edilip karşılaştırılmıştır. Her biri M özniteliğe sahip N tane piksel içeren bir resim bölgesi düşünüldüğünde, dolayısıyla $M \times M$ boyutlu olan ortak değişinti ve ortak fark matrisleri hesaplanırken; ortak değişinti matrisini hesaplarken yapılan $M^2 + M/2N$ adet çarpma işlemi yerini, ortak fark matrisini hesaplamada aynı sayıda toplama ve işaret karşılaştırma işlemlerine bırakır [123]. Bu sayede hesap yükü önemli ölçüde azaltılmış olur. Hesap yükünün azaltılması eşleşen bölgeleri belirlemek için özellikle bütün bir resmin veya bir video karesinin çeşitli ölçeklerde taranmasının gerekli olduğu gerçek-zamanlı uygulamalarda önem arz eder. İki farklı öznitelik çıkarımı yöntemi ile yapılan sınıflandırma sonuçları Çizelge 5.1'de gösterilmektedir. Daha düşük hesap yüküne sahip olan bölgesel ortak fark

metodu, pozitif test kümesinde daha başarılı bir performans sergilemekte ve yanlış alarm oranını %3 seviyesinde tutabilmektedir.

Çizelge 5.1. INRIA veri setindeki 1132 pozitif ve 4530 negatif test resmi için bölgesel ortak değişinti ve bölgesel fark metotlarına ait başarı oranları

Metot	Pozitif Test Kümesi	Negatif Test Kümesi
Bölgesel ortak değişinti	731/1132=%65	4158/4230=%98,3
Bölgesel ortak fark	877/1132=%77	4110/4230=%97

SVM'lerle "insan" sınıfına ait olduğu belirlenen bölgeler, ortak değişinti matrislerine dayalı yöntemlerle izlenmektedir. İzleme aşamasında şimdiki video karesinde "insan" olarak sınıflandırılan bölgeye, bir sonraki video karesinde en çok benzeyen bölge bulunur ve bu bölgenin, insanın yeni yeri olduğu varsayılır. Bu çalışmada hedef ve aday komşu bölgelerin ortak değişinti matrisleri arasındaki mesafeyi ölçmede iki farklı mesafe tanımından yararlanılmıştır: (i) genellenmiş özdeğerler tabanlı Förstner mesafe ölçütü- d_F , (ii) WTA kodları tabanında Jaccard uzaklığı hesaplayan yeni bir mesafe ölçütü- d_W .

Hedef ve bir aday bölgeye ait $M \times M$ boyutlu ortak değişinti matrisleri arasındaki uzaklığı, d_F mesafe ölçütü tanımı üzerinden hesaplama işleminin işlemsel karmaşıklığı $O(M^3)$ 'dir. Uzaklık hesaplaması d_W mesafe ölçütü tanımı üzerinden yapıldığında, işlemsel karmaşıklık $O(h \log(K))$ 'dır. Burada; h oluşturulan permütasyon matrisi sayısı, K ise ortak değişinti matrisi vektör şeklinde yazıldığında seçilecek eleman sayısıdır. $M > K, h$ olduğundan WTA kodları tabanlı izleme, genellenmiş özdeğerlere dayalı izlemeye göre çok daha az işlem yüküne sahiptir. Bu hesaplamalar, her bir video karesindeki hedef bölge ile pek çok aday bölge arasında ve bir video akışındaki her bir kare için yapıldığından, önerilen mesafe ölçütü tanımı işlem yükünde önemli bir azalma sağlar. Bir video karesindeki bir hedef bölgeye en çok benzeyen bölge, 25 komşu bölge arasında aranmaktadır. Hedef ve aday bölgelerin her birine ait ortak değişinti matrisleri 7×7 boyutludur. Uygulama, P8600 2.4GHz bir bilgisayarda çalıştırılmaktadır. Bu

koşullarda bir tarama işlemi; d_F mesafe ölçütü tabanlı algoritma ile ~ 12 ms/kare sürerken, d_W mesafe ölçütlü algoritma ile ~ 5 ms/kare sürmektedir.

Çizelge 5.2. 4 video dizisi için, genellenmiş özdeğerler üzerinden hesaplanan mesafe ölçütü- d_F tabanlı izleme sonuçları

	Toplam Kare Sayısı	Kaçırma	Başarı Oranı
Video 1	194	22	88.6
Video 2	228	16	92.9
Video 3	192	24	87.5
Video 4	164	15	90.8

Çizelge 5.3. 4 video dizisi için, WTA kodları üzerinden hesaplanan mesafe ölçütü- d_W tabanlı izleme sonuçları

	Toplam Kare Sayısı	Kaçırma	Başarı Oranı
Video 1	194	29	85.0
Video 2	228	18	92.1
Video 3	192	31	83.8
Video 4	164	22	86.5

Genellenmiş özdeğerler ve WTA kodlarına dayalı izleme yöntemlerinin performansları, Şekil 5.3.'te ekran görüntülerine ait örnekler gösterilen ve toplamda 750'den fazla kare içeren 4 video dizisi için ölçülmüştür. Video 2 352×288 , diğer video dizileri 320×240 boyutlarındadır ve kare hızı tüm video dizileri için 12 kare/saniye'dir. İzleme yöntemlerini göreceli olarak karşılaştırmak için Porikli ve Tüzel'in yaklaşımı [119] kullanılmıştır. Başarı oranı, insan konumunun doğru bir şekilde kestirilebildiği kare sayısının dizideki toplam kare sayısına oranı olarak tanımlanmıştır. Kestirilen bölge merkezinin hedef bölge merkezinin 12×12 komşuluğu içinde olması durumunda, konum kestirimi başarılı olarak değerlendirilmiştir. İzleme yöntemlerinin belirtilen koşullardaki performansları Çizelge 5.2 ve 5.3.'te sunulmaktadır. WTA kodlarına dayalı izleme, genellenmiş özdeğerlere dayalı yöntemle göre kısmen daha düşük bir başarı oranı sağlasa da, işlem yükünün düşük tutulmasının daha kritik olduğu gerçek-zamanlı

uygulamalarda tercih edilebilir ve ihtiyacı karşılayabilir. Şekil 5.5.'te Video 2'de tespit edilen insana ait, d_F ve d_W mesafe ölçütü tanımlarına dayalı izleme sonuçları gösterilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 5.5. (a) Genellenmiş özdeğerler tabanlı Förstner mesafe ölçütü ve (b) WTA kodları tabanlı yeni mesafe ölçütüne dayalı izleme

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Günümüze kadar çevresel zeka (Aml) ve çevre destekli yaşam (AAL) alanlarında yapılan pek çok çalışma, yaşam alanlarını akıllı hale getirmenin mümkün olduğunu göstermiştir. Bu durum özellikle yalnız yaşayan yaşlılar ve engelli insanlar için önem ifade etmektedir. Akıllı çevrelerin oluşturulmasıyla beraber elektrikli aletlerin uzaktan yönetilmesi, yaşam alanlarındaki güç tüketiminin verimli hale gelmesi ve kişinin sağlık durumuyla ilgili bilgiler taşıyan verilerin erken zamanlı elde edilmesi gibi faydalar sağlanmaktadır.

Bu tez çalışmasında akıllı yaşam alanları oluşturmaya yönelik çeşitli çok-modlu çözümler sunulmuştur. Örnek uygulamalarla, birden fazla algılayıcıdan elde edilen verilerin birlikte ve gerçek zamanlı işlenmesini sağlayan yeni yöntemler tanımlanmıştır. Bu yöntemler sayesinde, geliştirilen çok-modlu sistemlerin tek tip algılayıcı kullanan sistemlere göre daha hassas sonuçlar ürettiği deneysel olarak kanıtlanmıştır. Sadece açma/kapama düzeyinde bilgi sağlayan PIR algılayıcılardan, geliştirilen devre yardımıyla sürekli-zamanlı ve gerçek-değerli sinyaller elde edilmiş ve bu sinyallerin işlenmesiyle karmaşık problemlere düşük maliyetli alternatif çözümler üretilmiştir. Kamera ve PIR algılayıcıların birlikte kullanıldığı çözümlerde, kameranın sadece gerekli durumlarda PIR algılayıcı kontrolüyle aktive edilmesi sayesinde düşük güç tüketimi sağlanmıştır. Tasarlanan algoritmaların işlemsel yükünün oldukça az olması, geliştirilen uygulamaların basit bir mikroişlemcide tek başına çalışmasını mümkün kılmaktadır.

Diferansiyel PIR algılayıcı dizisi ve kamera yardımıyla basit el hareketleri tanımda yaklaşık %97 oranında bir doğruluk yakalanmıştır. Bildiğimiz kadarıyla bu sistem kamera ve PIR algılayıcıları bir arada kullanan ilk el hareketleri tanıma sistemidir. Önerilen sistemle tanınabilen el hareketleri; soldan-sağa, sağdan-sola, aşağıdan-yukarıya, yukarıdan aşağıya ve saat yönü/saat yönünün tersi el hareketleridir. Tanınan her bir harekete farklı komutlar atamak suretiyle, kullanıcılara elektrikli aletleri daha üst düzeyde, temassız ve uzaktan kontrol etme imkanı sunulabilir. Ayrıca PIR algılayıcı sayısını artırarak ve/veya birden fazla basit hareketten oluşan yeni hareket dizileri tanımlayarak kontrol kabiliyeti artırılabilir. PIR algılayıcılar görüş alanlarında bulunan ve ortamdaki farklı sıcaklığa sahip öznelerle tepki üretirler. PIR algılayıcı dizisine ilave olarak kullanılan kamera ile el tanınması yapılarak, çok-modlu sistemin sadece el hareketlerini tanınması sağlanmıştır. İki

resim arasındaki benzerliği değerlendirme amacıyla tanımlanan winner-take-all (WTA) imza algoritması dñzenlenerek, ilk defa tek boyutlu sinyallerin sınıflandırılmasında kullanılmıştır. En fazla 1.5 metre olan el hareketleri tanıma mesafesi, PIR algılayıcıların görñş açılarının birbirlerine göre dñzenlenmesiyle artırılabilir.

Öğrenilmiş imgeleri video analizi ile tanımada parlama, aydınlanma ve engelleme gibi aşılması güç problemlerle karşı karşıya kalınmaktadır. Bu problemler, tanıma sonuçlarında ihmal edilemeyecek hatalara sebep olmaktadır. Bu çalışmada PIR algılayıcıların kullanımıyla, sadece kamera ile insan saymada karşılaşılan hataların azaltılabileceği örnek bir uygulama ile gösterilmiştir. İzlenen alandaki insan sayısı kestirimi için görüntü işleme sonuçlarına ek olarak bir PIR algılayıcıdan elde edilen verilerden yararlanılmıştır. İnsanın izlenen alandaki basit hareketleri ve giriş/çıkış hareketlerine karşılık gelen PIR algılayıcı sinyalleri, Markov modellen bir sınıflandırma mekanizması kullanılarak birbirinden ayırt edilmiştir. El hareketleri tanımada önerilen WTA imza metodu sırasal bir benzeşme ölçütü tanımlamaktadır. İnsanın basit hareketleri ve giriş/çıkış hareketlerine karşılık gelen sinyaller, sırasal ölçülere dayalı olarak sınıflandırılmayacağından burada Markov modeller tabanlı yöntem tercih edilmiştir. Çok-modlu sistem ile insan saymada, sadece kamera kullanılan duruma göre %8'lik bir başarı artışı sağlanmış ve ortalama %96.1 doğruluk yakalanmıştır. Önerilen çok-modlu sistem ile yaşam alanlarında insanların daha çok bulunduğu yerler tespit edilerek; klima gibi elektrikli aletlerin daha verimli çalışması, kanalların izlenme oranlarının daha hassas bir şekilde kestirilebilmesi gibi pek çok örnek uygulama geliştirilebilir.

Tezimizde geliştirilen ve AAL başlığı altında yer alabilecek bir diğer çalışma da titreşim ve PIR algılayıcılarla, yatmakta olan bir insana ait solunum hızı kestirimidir. Bu çalışma, kullandığı algılayıcı kombinasyonu ve farklı algılayıcı verilerinin tümleştirilmesi için tanıttığı yöntem açısından ilktir. PIR ve titreşim algılayıcı verileri EMD ve dalgacık dönüşümü yöntemleriyle işlenmiş, takip eden çıktıların önemliliğine ve dönemine yeni tanımlanan bir çok-modlu AMDF yöntemiyle karar verilmiştir. Bu AMDF yöntemi, farklı algılayıcı verilerini birlikte ve gerçek zamanlı değerlendirerek solunum varlığına ve hızına dair ortak bir karar verme imkanı sağlamıştır. Çok-modlu solunum sistemi, PIR algılayıcıların 1 metre

mesafeye kadar konumlandırılması halinde farklı yatış pozisyonları için sıfır hata oranı başarmıştır. Burada hata; kestirilen solunum hızının, gerçek solunum hızından 2 solunum/dakikadan daha az sapması şeklinde tanımlanmıştır. Seçilen algılayıcı çeşitleri ve konumlandırılmaları sisteme, insanın yatış pozisyonundan bağımsız bir şekilde çalışabilme kabiliyeti tanımıştır. İzlenen bir insana ait, en önemli yaşamsal verilerden olan solunum hızına ilişkin veriler bir sağlık merkezi ile gerçek-zamanlı paylaşılabilir. Bu sayede pek çok olası hastalık zamanında teşhis edilebilir. Ayrıca, erken fark edilen uyku apnesi varlığı sayesinde kalp krizleri ve felç rahatsızlıklarının önüne geçilebilir.

Tezimizin son bölümünde, insan algılama ve izlemeye yönelik geliştirilen yeni bir yöntem tanıtılmıştır. Ortak bağıntı matrisleri üzerinden genellenmiş özdeğerlere dayalı olarak izleme yapan yöntemde, genellenmiş özdeğerler yerine WTA kodları kullanılmıştır. Bu sayede izleme algoritmasının işlemsel yükü belirgin ölçüde azaltılırken, izleme hassasiyetinden verilen taviz makul düzeyde tutulmuştur. Gelecekte, yaşam alanlarında insanların tanıtılan izleme yöntemiyle davranışlarını modelleyerek, bu modellerden sapmaların belirlenmesi düşünülmektedir. Örnek olarak bir insanın 24 saatini yaşam alanının hangi bölümlerinde geçirdiğine bakılarak, kişinin temel ihtiyaçlarını (uyuma, yeme içme vs.) ne kadar süre ve sıklıkta karşıladığı ve günlük ne miktarda hareket ettiği gibi davranışları modellenir. Sonrasında kişinin günlük yaşamı izlenerek, belirlenen davranış modelinden bir gün boyunca ne kadar farklı hareket ettiği saptanır. Normal karşılanan kararlaştırılmış eşiklerin üzerinde sapmaların görülmesi, bu sapmaları izleyen sağlık merkezlerine erken müdahale fırsatı verebilir. Ayrıca bu izlemeler, kişinin özel hayatını ihlal etmeden yaşam alanına ait bir resim üzerinde sadece kişinin yürüme yörüngelerinin çizilmesi ile gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Brownsell, S., Bradley, D., Cardinaux, F., Hawley, M., Developing a Systems and Informatics Based Approach to Lifestyle Monitoring within eHealth: Part II - Analysis & Interpretation, *IEEE First International Conference on Healthcare Informatics, Imaging and Systems Biology*, 26-29 Temmuz, California, Amerika, 213-220, **2011**.
- [2] Hijaz, F., Afzal, N., Ahmad, T., Hasan, O., Survey of fall detection and daily activity monitoring techniques, *IEEE International Conference on Information and Emerging Technologies*, 14 Haziran, Karachi, Pakistan, 1-6, **2010**.
- [3] Mrazovac, B., Bjelica, M. Z., Papp, I., Teslic, N., Smart Audio/Video Playback Control Based on Presence Detection and User Localization in Home Environment, *Second Eastern European Regional Conference on the Engineering of Computer Based Systems*, 5-6 Eylül, Bratislava, Slovakia, 44-53, **2011**.
- [4] Davis, J., Shah, M., Visual gesture recognition, *IEE Proceedings Vision, Image and Signal Processing*, 141, 101-106, **1994**.
- [5] Rehg, J., Kanade, T., Digit-Eyes: Vision-based human hand tracking, *Proceedings of the Workshop on Motion of Non-Rigid and Articulated Bodies*, 2-6 Mayıs, Stockholm, İsveç, 16-22, **1994**.
- [6] Segen, J., GEST: A learning computer vision system that recognizes hand gestures, *Machine Learning, A multistrategy approach*, (eds: Michalski R.S., Tecuci G.), California, Amerika, 4, 621-634, **1994**.
- [7] Freeman, W., Weissman C., Television control by hand gestures, *IEEE Workshop on Automatic Face and Gesture Recognition*, 26-28 Haziran, Zurich, İsviçre, **1995**.
- [8] Kim, J., Lee, C., Song, K., Min, B., Bien, Z., Real-time hand gesture recognition for avatar motion control, *Proceedings of Human-Computer Interaction*, 14-18 Haziran, Sydney, Avustralya, 96-101, **1997**.
- [9] Wojtczuk, P., Armitage, A., "PIR sensor array for hand motion recognition," *The Second International Conference on Sensor Device Technologies and Applications*, 21-27 Ağustos, French Riviera, Fransa, 99-102, **2011**.
- [10] Ishikawa, M., Matsumura, H., Recognition of a hand-gesture based on self-organization using a DataGlove, *Proceedings of the 6th International Conference on Neural Information Processing*, 16-20 Kasım, Perth, Avustralya, 2, 739-745, **1999**.
- [11] Goldstein, S. W., Programmable remote control device for interacting with a plurality of remotely controlled devices, *US Patents 5,410,326*, **1995**.
- [12] Morales, F., TV remote control unit, *US Patents D331,058*, **1992**.
- [13] Iwai, Y., Watanabe K., Gesture recognition using colored gloves, *Proceedings of 13th International Conference on Pattern Recognition*, 25-29 Ağustos, Viyana, Avusturya, 1, 662-666, **1996**.

- [14] Perng, J., Pister, K., Fisher, B., Hollar, S., Acceleration sensing glove, *16th International Symposium on Wearable Computers*, 18-22 Haziran, Newcastle, İngiltere, **2012**.
- [15] Samson, R., Winings, T., Automated dispenser for disinfectant with proximity sensor, *US Patents 5,695,091*, **1997**.
- [16] Hsieh, C., Liou, D., Lee, D., A real time hand gesture recognition system using motion history image, *2nd International Conference on Signal Processing Systems*, 5-7 Ekim, Dalian, Çin, 2, 394, **2010**.
- [17] Yun, L., Peng, Z., An automatic hand gesture recognition system based on Viola-Jones method and SVMs, *2nd International Workshop on Computer Science and Engineering*, 19-21 Mayıs, Xiamen, Çin, 2, 72-76, **2009**.
- [18] GestureTek Technologies, www.gesturetek.com (Mayıs, **2014**).
- [19] EyeSight Mobile Technologies, www.eyesight-tech.com (Mayıs, **2014**).
- [20] Edge3 Technologies, www.edge3technologies.com (Mayıs, **2014**).
- [21] KINECT for Windows, <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/> (Mayıs, **2014**).
- [22] Vezhnevets, V., Sazanov, V., Andreeva, A., A Survey on Pixel-Based Skin Color Detection Techniques, *Proceedings of Graphicon*, 3, 85-92, **2003**.
- [23] Anonim, Eroding and Dilating, http://docs.opencv.org/doc/tutorials/imgproc/erosion_dilatation/erosion_dilatation.html#eroding-and-dilating, (Ocak, **2014**).
- [24] Anonim, Structural Analysis and Shape Descriptors, [http://docs.opencv.org/modules/imgproc/doc/structural_analysis_and_shape_descriptors.html?highlight=convex_hull#CvSeq* cv ConvexHull2\(const CvArr* input, void* hull_storage, int orientation, int return_points\)](http://docs.opencv.org/modules/imgproc/doc/structural_analysis_and_shape_descriptors.html?highlight=convex_hull#CvSeq* cv ConvexHull2(const CvArr* input, void* hull_storage, int orientation, int return_points)) (Ocak, **2014**).
- [25] Anonim, Structural Analysis and Shape Descriptors, [http://docs.opencv.org/modules/imgproc/doc/structural_analysis_and_shape_descriptors.html?highlight=convex_defect#CvSeq* cv ConvexityDefects\(const CvArr* contour, const CvArr* convexhull, CvMemStorage* storage\)](http://docs.opencv.org/modules/imgproc/doc/structural_analysis_and_shape_descriptors.html?highlight=convex_defect#CvSeq* cv ConvexityDefects(const CvArr* contour, const CvArr* convexhull, CvMemStorage* storage)) (Ocak, **2014**).
- [26] Thornqvist, L., Using a PIR Sensor in a Motion Detection System Design, *Future Magazine*, 68-74, **2011**.
- [27] Kim, C. W., Ansari, R., Cetin, A. E., A class of linear-phase regular biorthogonal wavelets, *Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustic, Speech and Signal Processing*, 23-26 Mart, San Fransico, Amerika, 4, 673-676, **1992**.
- [28] Yagnik, J., Strelow, D., Ross, D. A., Lin, R., The power of comparative reasoning, *International Conference on Computer Vision*, 6-13 Kasım, Barcelona, İspanya, 2431–2438, **2011**.
- [29] Dean, T., Ruzon, M. A., Segal, M., Shlens, J., Vijayanarasimhan, S., Yagnik, J., Fast, Accurate Detection of 100,000 Object Classes on a Single Machine, *Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 23-28 Haziran, Portland, Amerika, 1814-1821, **2013**.

- [30] Leach, M. J. V., Sparks, E. P., Robertson, N. M., Contextual anomaly detection in crowded surveillance scenes, *Pattern Recognition Letters*, 44, 71–79, **2014**.
- [31] Wahl, F., Milenkovic, M., Amft, O., A distributed PIR-based approach for estimating people count in office environments, *Proceedings of IEEE 15th International Conference on Computational Science and Engineering*, 5-7 Aralık, Paphos, Kıbrıs, 640-647, **2012**.
- [32] Conte, D., Foggia, P., Percannella, G., Tufano, F., Vento, M., Counting moving people in videos by salient points detection, *Proceedings of International Conference on Pattern Recognition*, 23-26 Ağustos, İstanbul, Türkiye, 1743–1746, **2010**.
- [33] Nielsen, <http://www.nielsen.com/us/en/nielsen-solutions/nielsenmeasurement/nielsen-tv-measurement.html> (Şubat, **2014**).
- [34] Viola, P., Jones, M., Rapid object detection using a boosted cascade of simple features, *Proceedings of IEEE Computer Society Conference Computer Vision and Pattern Recognition*, 8-14 Aralık, Hawaii, Amerika, 1, 511, **2001**.
- [35] Yang, M. H., Kriegman, D., Ahuja, N., Detecting faces in images: a survey, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24, 34-58, **2002**.
- [36] Zhang, C., Zhang, Z., *A Survey of Recent Advances in Face Detection*, Technical Report, Microsoft Research, **2010**.
- [37] Yang, G., Huang, T. S., Human face detection in a complex background, *Pattern Recognition*, 27, 53–63, **1994**.
- [38] Kotropoulos, C., Pitas, I., Rule-based face detection in frontal views, *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 21-24 Nisan, Munich, Almanya, 4, 2537-2540, **1997**.
- [39] Dai, Y., Nakano, Y., Face-texture model based on SGLD and its application in face detection in a color scene, *Pattern Recognition*, 29, 1007–1017, **1996**.
- [40] Kjeldsen, R., Box, P. O., Heijmans, Y., Kender J., Finding skin in color images, *Proceedings of the Second International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, 14-16 Ekim, Vermont, Amerika, 312–317, **1996**.
- [41] Leung, T. K., Burl, M. C., Perona, P., Finding faces in cluttered scenes using random labeled graph matching, *Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Computer Vision*, 20-23 Haziran, Massachusetts, Amerika, 637-644, **1995**.
- [42] McKenna, S. J., Gong, S., Raja, Y., Modelling Facial Colour and Identity with Gaussian Mixtures, *Pattern Recognition*, 31, 1883–1892, **1998**.
- [43] Craw, I., Tock, D., Bennett A, Finding Face Features, *European Conference on Computer Vision*, 19-22 Mayıs, Santa Margherita Ligure, İtalya, 1-23, **1992**.

- [44] Lanitis, A., Taylor, C., Cootes, T., Automatic face identification system using flexible appearance models, *Image and Vision Computing*, 13, 393–401, **1995**.
- [45] Rajagopalan, A. N., Kumar, K. S., Karlekar, J., Manivasakan, R., Patil, M. M., Desai, U. B., Poonacha, P. G., Chaudhuri, S., Finding faces in photographs, *Sixth International Conference on Computer Vision*, 4-7 Ocak, Bombay, Hindistan, 640-645, **1998**.
- [46] Turk, M., Pentland, A., Eigenfaces for Recognition, *Journal of Cognitive Neuroscience*, 3, 71–86, **1991**.
- [47] Osuna, E., Freund, R., Girosi, F., Training Support Vector Machines: An Application to Face Detection, *Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 17-19 Haziran, San Juan, Porto Riko, 130-136, **1997**.
- [48] Erden, F., Toreyin, B. U., Soyer, E. B., Inac, I., Gunay, O., Kose, K., Cetin A. E., Wavelet based flickering flame detector using differential PIR sensors, *Fire Safety Journal*, 53, 13–18, **2012**.
- [49] Toreyin, B. U., Soyer, E. B., Onaran, I., Cetin, A. E., “Falling person detection using multisensor signal processing,” *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 29, **2008**.
- [50] Bai, Y. W., Shen, L. S., Li, Z. H., Design and implementation of an embedded home surveillance system by use of multiple ultrasonic sensors, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 56, 119–124, **2010**.
- [51] Erden, F., Bingol, A. S., Cetin, A. E., Hand gesture recognition using two differential PIR sensors and a camera, *IEEE 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference*, 23-25 Nisan, Trabzon, Türkiye, 349-352, **2014**.
- [52] Yun, J., Lee, S.-S., Human movement detection and identification using pyroelectric infrared sensors, *Sensors*, 14, 8057–81, **2014**.
- [53] Vadakkepat, P., Lim, P., De Silva, L. C., Jing, L. J. L., Ling, L. L., Multimodal Approach to Human-Face Detection and Tracking, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 55, 1385-1393, **2008**.
- [54] Kay, S. M., *Intuitive probability and random processes using MATLAB*. Springer Science and Business Media, 83, **2006**.
- [55] Homma, I., Masaoka, Y., Breathing rhythms and emotions, *Experimental Physiology*, 93, 1011-1021, **2008**.
- [56] Cretikos, M. Bellomo, R., Respiratory rate: the neglected vital sign, *Medical Journal of Australia*, 188, 657, **2008**.
- [57] Min, S., Yun, Y., Shin, H., Simplified Structural Textile Respiration Sensor based on Capacitive Pressure Sensing Method, *IEEE Sensors Journal*, 14, 3245-3251, **2014**.
- [58] Reinvo, T., Hannula, M, Measurement of respiratory rate with high-resolution accelerometer and EMFit pressure sensor, *Proceedings of IEEE Sensors Applications Symposium*, 7-9 Şubat, Texas, Amerika, 192-195, **2006**.

- [59] Al Thalab, F., Wearable acoustic device for monitoring breathing sounds, *US Patents* 8,663,126, **2014**.
- [60] Peng, Y., Lin, C., Multimodality sensor system for long-term sleep quality monitoring, *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, 1, 217-227, **2007**.
- [61] Seppä, V., Väisänen, J., Measuring respirational parameters with a wearable bioimpedance device, *13th International Conference on Bioimpedance and the 8th Conference on Electrical Impedance Tomography*, 29 Ağustos-2 Eylül, Graz, Avusturya, 663-666, **2007**.
- [62] Weinreich, G., de Chazal, P., Wang, Y., A pilot study on non-contacting detection of central apneas, *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering*, 7-12 Eylül, Munich, Almanya, 790-791, **2009**.
- [63] Uenoyama, M., Matsui, T., Yamada, K., Non-contact respiratory monitoring system using a ceiling-attached microwave antenna, *Medical and Biological Engineering and Computing*, 44, 835-840, **2006**.
- [64] Suzuki, S., Matsui, T., Imuta, H., A novel autonomic activation measurement method for stress monitoring: non-contact measurement of heart rate variability using a compact microwave radar, *Medical and Biological Engineering and Computing*, 46, 709-714, **2008**.
- [65] Wang, H., Zheng, H., Augusto, J. C., Martin, S., Mulvenna, M., Carswell, W., Wallace, J., Jeffers, P., Taylor, B., McSorley, K., Monitoring and analysis of sleep pattern for people with early dementia, *IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine Workshops*, 18-21 Aralık, 2010, Hong Kong, 405–410, **2010**.
- [66] Murthy, J. N., van Jaarsveld, J., Fei, J., Pavlidis, I., Harrykisson, R. I., Lucke, J. F., Faiz, S., Castriotta, R. J., Thermal infrared imaging: a novel method to monitor airflow during polysomnography, *Sleep*, 32, 1521–1527, **2009**.
- [67] Wai, A. A. P., Huang, W., Victor, S. F. F., Biswas, J., Chi-Chun, H., Koujuch, L., Situation-aware patient monitoring in and around the bed using multimodal sensing intelligence, *Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Environments*, 19-21 Temmuz, Kuala Lumpur, Malezya, 128–133, **2010**.
- [68] Hers, V., Corbugy, D., Joslet, I., Hermant, P., Demarteau, J., Delhougne, B., Vandermoten, G., Hermanne, J. P., New concept using Passive Infrared (PIR) technology for a contactless detection of breathing movement: A pilot study involving a cohort of 169 adult patients, *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 27, 521–529, **2013**.
- [69] Huang, N. E., Shen, Z., Long, S. R., Wu, M. C., Shih, H. H., Zheng, Q., Yen, N.-C., Tung, C. C., Liu, H. H., "The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis," *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 454, 903–995, **1998**.

- [70] Lu, Y., Yan, J., Yam, Y., Model-Based ECG Denoising Using Empirical Mode Decomposition, *IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine*, 1-4 Kasım, Washington, Amerika, 191-196, **2009**.
- [71] Nimunkar, A. J., Tompkins, W. J., R-peak detection and signal averaging for simulated stress ECG using EMD, *Proceedings of the 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology*, 23-26 Ağustos, Lyon, Fransa, 1261–1264, **2007**.
- [72] Campolo, M., Labate, D., La Foresta, F., Morabito, F. C., Lay-Ekuakille, A., Vergallo, P., ECG-derived respiratory signal using Empirical Mode Decomposition, *Proceedings of IEEE International Workshop on Medical Measurements and Applications*, 399–403, **2011**.
- [73] Hamill, J., Knutzen, K. M., *Biomechanical basis of human movement*, Lippincott Williams & Wilkins, 3. Baskı, 575, **2003**.
- [74] Godfrey, A., Conway, R., Meagher, D., OLaighin, G., Direct measurement of human movement by accelerometry, *Medical Engineering and Physics*, 30, 1364–1386, **2008**.
- [75] Cai, Q., Aggarwal, J. K., Automatic tracking of human motion in indoor scenes across multiple synchronized video streams, *Sixth International Conference on Computer Vision*, 356-362, 4-7 Ocak, Bombay, Hindistan, 640-645, **1998**.
- [76] Corrales, J. A., Candelas, F. A., Torres, F., Hybrid tracking of human operators using IMU/UWB data fusion by a Kalman filter, *3rd ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, 2-5 Eylül, Amsterdam, Holanda, 193-200, **2008**.
- [77] Zhou, J., Hoang, J., Real Time Robust Human Detection and Tracking System, *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 20-26 Haziran, California, Amerika, 3, 149–149, **2005**.
- [78] Wallace, M., Shelkey, M., Monitoring functional status in hospitalized older adults, *The American Journal of Nursing*, 108, 64–71, **2008**.
- [79] Brandes, M., Schomaker, R., Möllenhoff, G., Rosenbaum, D., Quantity versus quality of gait and quality of life in patients with osteoarthritis, *Gait Posture*, 28, 74–79, **2008**.
- [80] Gage, H., “Accelerographic analysis of human gait,” *Mechanical Engineering*, 80, **1965**.
- [81] Inman, V., Eberhart, H., The major determinants in normal and pathological gait, *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 35, 543-558, **1953**.
- [82] Culhane, K. M., O'Connor, M., Lyons, D., Lyons, G. M., Accelerometers in rehabilitation medicine for older adults, *Age and Ageing*, 34, 556–560, **2005**.
- [83] Culhane, K. M., Lyons, G. M., Hilton, D., Grace, P. A., Lyons, D., Long-term mobility monitoring of older adults using accelerometers in a clinical environment, *Clinical Rehabilitation*, 18, 335–343, **2004**.
- [84] Bussmann, J. B., Martens, W. L., Tulen, J. H., Schasfoort, F. C., van den Berg-Emons, H. J., Stam, H. J., Measuring daily behavior using ambulatory

- accelerometry: the Activity Monitor, *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, 33, 349–356, **2001**.
- [85] Menz, H. B., Lord, S. R., Fitzpatrick, R. C., Age-related differences in walking stability, *Age and Ageing*, 32, 137–142, **2003**.
 - [86] Zijlstra, W., Hof, A. L., Assessment of spatio-temporal gait parameters from trunk accelerations during human walking, *Gait & Posture*, 18, 1–10, **2003**.
 - [87] Cho, C. Y., Kamen, G., Detecting balance deficits in frequent fallers using clinical and quantitative evaluation tools, *Journal of the American Geriatrics Society*, 46, 426–430, **1998**.
 - [88] Yack, H. J., Berger, R. C., Dynamic stability in the elderly: identifying a possible measure, *Journal of Gerontology*, 48, M225–M230, **1993**.
 - [89] Hoodless, D. J., Stainer, K., Savic, N., Batin, P., Hawkins, M., Cowley, A. J., Reduced customary activity in chronic heart failure: assessment with a new shoe-mounted pedometer, *International Journal of Cardiology*, 43, 39–42, **1994**.
 - [90] Fogelholm, M., Kukkonen-Harjula, K., Oja, P., Eating control and physical activity as determinants of short-term weight maintenance after a very-low-calorie diet among obese women, *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders*, 23, 203–210, **1998**.
 - [91] Yamanouchi, K., Shinozaki, T., Chikada, K., Nishikawa, T., Ito, K., Shimizu, S., Ozawa, N., Suzuki, Y., Maeno, H., Kato, K., Daily walking combined with diet therapy is a useful means for obese NIDDM patients not only to reduce body weight but also to improve insulin sensitivity, *Diabetes Care*, 18, 775–778, **1995**.
 - [92] Stone, E. E., Skubic, M., Evaluation of an inexpensive depth camera for passive in-home fall risk assessment, *5th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, 23–26 May, Dublin, Ireland, 71–77, **2011**.
 - [93] Bassett, D. R., Ainsworth, B. E., Leggett, S. R., Mathien, C. A., Main, J. A., Hunter, D. C., Duncan, G. E., Accuracy of five electronic pedometers for measuring distance walked, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28, 1071–1077, **1996**.
 - [94] Freedson, P. S., Miller, K., Objective monitoring of physical activity using motion sensors and heart rate, *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 71, S21–S29, **2000**.
 - [95] Sixsmith, A., Johnson, N., A smart sensor to detect the falls of the elderly,” *IEEE Pervasive Computing*, 3, 42–47, **2004**.
 - [96] Alwan, M., Rajendran, P. J., Kell, S., Mack, D., Dalal, S., Wolfe, M., Felder, R., A Smart and Passive Floor-Vibration Based Fall Detector for Elderly, *IEEE 2nd International Conference on Information and Communications Technologies*, 24–28 Nisan, Damascus, Suriye, 1, 1003–1007, **2006**.
 - [97] Popescu, M., Li, Y., Skubic, M., Rantz, M., An acoustic fall detector system that uses sound height information to reduce the false alarm rate, *Proceedings of the 30th Annual International Conference of the IEEE*

Engineering in Medicine and Biology, 21-24 Ağustos, Vancouver, Kanada, 4628–4631, **2008**.

- [98] Virone, G., Alwan, M., Dalal, S., Kell, S. W., Turner, B., Stankovic, J. A., Felder, R., Behavioral patterns of older-adults in assisted living, *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 12, 387–398, **2008**.
- [99] Cai, Q., Mitiche, A., Aggarwal, J., Tracking human motion in an indoor environment, *Proceedings of the International Conference on Image Processing*, 23-26 Ekim, Washington, Amerika, 1, 215-218, **1995**.
- [100] Yu, X., Approaches and principles of fall detection for elderly and patient, *IEEE 10th International Conference on e-Health Networking, Applications, and Services*, 7-9 Haziran, Singapur, 42-47, **2008**.
- [101] Nait-Charif, H., McKenna, S. J., Activity summarisation and fall detection in a supportive home environment, *Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition*, 23-26 Ağustos, Cambridge, İngiltere, 4, 323-326, **2004**.
- [102] Teixeira, T., Savvides, A., Lightweight People Counting and Localizing in Indoor Spaces Using Camera Sensor Nodes, *First ACM/IEEE International Conference on Distributed Smart Cameras*, 25-28 Eylül, Viyana, Avusturya, 36-43, **2007**.
- [103] Cogun, F., Cetin, A. E., Object tracking under illumination variations using 2D-cepstrum characteristics of the target, *IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing*, 4-6 Ekim, Saint-Malo, Fransa, 521-526, **2010**.
- [104] McIvor, A., Background subtraction techniques, *Image and Vision Computing*, 2, 3099-3104, **2000**.
- [105] Wren, C. R., Azarbayejani, A., Darrell, T., Pentland, A. P., Pfinder: real-time tracking of the human body, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 19, 780–785, **1997**.
- [106] Koller, D., Weber, J., Huang, T., Malik, J., Ogasawara, G., Rao, B., Russell, S., Towards robust automatic traffic scene analysis in real-time, *Proceedings of the 12th International Conference on Pattern Recognition*, 9-13 Ekim, Jerusalem, İsrail, 1, 126-131, **1994**.
- [107] Lo, B. P. L., Velastin, S. A., Automatic congestion detection system for underground platforms, *Proceedings of the International Symposium on Intelligent Multimedia, Video, and Speech Processing*, 4 Mayıs, Hong Kong, 158-161, **2001**.
- [108] Stauffer, C., Grimson, W. E. L., Adaptive background mixture models for real-time tracking, *Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 23-25 Haziran, Colorado, Amerika, 2, 279-286, **1999**.
- [109] Power, P. W., Schoonees, J. A., Understanding Background Mixture Models for Foreground Segmentation, *Image and Vision Computing*, 2002, 267–271, **2002**.

- [110] Collins, R. T., Lipton, A. J., Kanade, T., Fujiyoshi, H., Duggins, D., Tsin, Y., Tolliver, D., Enomoto, N., Hasegawa, O., Burt, P., Wixson, L., A System for Video Surveillance and Monitoring, *System*, 823. 69, **2000**.
- [111] Brunelli, R., Poggio, T., Face recognition: features versus templates, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 15, 1042-1052, **1993**.
- [112] Maree, R., Geurts, P., Piater, J., Wehenkel, L., Random subwindows for robust image classification, *Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 20-26 Haziran, California, Amerika, 1, 34-40, **2005**.
- [113] Porikli, F., Integral histogram: a fast way to extract histograms in Cartesian spaces, *Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 20-26 Haziran, California, Amerika, 1, 829-836, **2005**.
- [114] Georgescu, B., Meer, P., Point matching under large image deformations and illumination changes, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 6, 674-688, **2004**.
- [115] Tuzel, O., Porikli, F., Meer, P., Region Covariance: A Fast Descriptor for Detection and Classification, *Computer Vision – ECCV 2006*, Springer Berlin Heidelberg, 589–600, **2006**.
- [116] Tuzel, O., Porikli, F., Meer, P., “Human Detection via Classification on Riemannian Manifolds,” *IEEE Computer Society Conference Computer Vision and Pattern Recognition*, 18-23 Haziran, Minnesota, Amerika, 1-8, **2007**.
- [117] Cetin, A. E., Duman, K., Tuna, H., Eryildirim, A., Multiplier free co-difference matrix for image and video processing, *IEEE 17th Signal Processing and Communications Applications Conference*, 9-11 Nisan, Kocaeli, Türkiye, 728-731, **2009**.
- [118] Chang, C. C., Lin, C. J., LIBSVM: a library for support vector machines, <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm/> (Eylül, **2013**).
- [119] Porikli, F., Tuzel, O., Meer, P., Covariance Tracking using Model Update Based on Lie Algebra, *IEEE Computer Society Conference Computer Vision and Pattern Recognition*, 17-22 Haziran, New York, Amerika, 1, 728-735, **2006**.
- [120] Förstner, W., Moonen, B., A Metric for Covariance Matrices, *Qua vadis Geodesia*, 66, 113–128, **1999**.
- [121] Sheikh, Y., Shah, M., Bayesian Object Detection in Dynamic Scenes, *IEEE Computer Society Conference Computer Vision and Pattern Recognition*, 20-26 Haziran, California, Amerika, 1, 74–79, **2005**.
- [122] INRIA Data Set, <http://pascal.inrialpes.fr/data/human/> (Temmuz **2013**).
- [123] Tuna, H., Onaran, I., Cetin, A. E., Image Description Using a Multiplier-Less Operator, *IEEE Signal Processing Letters*, 16, 75-753, **2009**.

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Fatih ERDEN

Doğum Yeri : Ankara

Medeni Hali : Evli

E-posta : erdenfatih@gmail.com

Adresi : Öveçler Mah. 1335. Sok. No:55/15 Çankaya/ANKARA-TÜRKİYE

Eğitim

Lise : Kalaba Anadolu Lisesi (2003)

Lisans : Bilkent Üniversitesi (2007)

Yüksek Lisans : Bilkent Üniversitesi (2009)

Doktora : Hacettepe Üniversitesi (2015)

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce - İyi

Almaca - Temel

Deneyim Alanları

Sinyal ve görüntü işleme, algılayıcı tümleştirme, kızılberisi algılayıcılar, örüntü tanıma

İş Deneyimi

Bilkent Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği: Öğretim ve Araştırma Görevlisi (2007-2009)

Tek-İmaş Medikal: Mühendis (2009-...)

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

1. Erden, F., Cetin, A. E., Method and device for detecting human breathing activity using pyroelectric infrared (PIR) and vibration sensors, *USPTO Provisional Application*, Application Number: 62022229, Temmuz **2014**.

2. Erden F., Cetin, A. E., Hand Gesture Based Remote Control System Using Infrared Sensors and a Camera, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 60, 4, 675-680, **2014**.

Tezden Üretilmiş ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

1. Erden F., Bingöl, A. S., Cetin A. E., Hand gesture recognition using two differential PIR sensors and a camera, *IEEE 22. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı*, 23-25 Nisan, Trabzon, Türkiye, 349-352, **2014**.

2. Yazar A., Erden, F., Cetin, A. E., Multi-sensor ambient assisted living system for fall detection, *IEEE International Conference on Acoustic, Speech and Signal Processing - Show & Tell Proposals*, 4-9 Mayıs, Florence, Italy, **2014**.

3. Erden, F., Alkar, A. Z., Cetin, A. E., Piro-elektrik kızılberisi (PIR) ve titreşim algılayıcılar yardımı ile insana ait solunum aktivitesini algılamaya yönelik bir metot ve tertibat, *Ar-Ge ve Teknoloji Günleri – AreGE-3 “Üniversite Patentleri Yarışıyor”*, 11-12 Aralık, İzmir, Türkiye, **2014**.