

İKİ DİFERANSİYEL PIR ALGILAYICI VE BİR KAMERA YARDIMIYLA EL HAREKETLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

HAND GESTURE RECOGNITION USING TWO DIFFERENTIAL PIR SENSORS AND A CAMERA

F. Erden¹, A.S. Bingöl¹, A.E. Çetin²

1. Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Hacettepe Üniversitesi
erdenfatih@gmail.com, semih@ee.hacettepe.edu.tr

2. Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Bilkent Üniversitesi
enis4cetin@gmail.com

ÖZETÇE

Bu makalede, iki diferansiyel kızılberisi algılayıcı (PIR) ve bir kamera kullanılarak geliştirilen el jestleri algılama ve sınıflandırma sistemi tanıtılmaktadır. İzlenen alanda diferansiyel PIR algılayıcı dizisi ile hareket varlığı araştırılır. Bir hareket algılanması durumunda kamera yardımıyla söz konusu hareketin el olup olmadığına, el ise çok modlu sistem verilerinin birlikte değerlendirilmesiyle hareketin hangi tanımlı sınıfa ait olduğuna karar verilir. Kamera ile el jestleri algılama ve hareketleri sınıflandırma aşamasında ten algılama ve dışbükey zarf-gedik hesaplama yöntemleri kullanılır. Farklı el hareketlerinin PIR algılayıcı verileri yardımıyla sınıflandırılması Winner-Take-All (WTA) imza metoduyla gerçekleştirilir. Bu makalenin temel katkısı, WTA imza kodlarının tek boyutlu sinyallerin sınıflandırılmasında kullanılabileceğini ve çoklu algılayıcı tümleştirmesiyle jestleri tanıma sonuçlarının geliştirilebileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler-PIR algılayıcılar, algılayıcı tümleştirme, el hareketleri tanıma, WTA imza metodu

ABSTRACT

In this paper, a hand gesture detection and classification system using two differential Pyro-electric Infrared (PIR) sensors and a camera is introduced. Motion presence is investigated in the area of interest using two differential PIR sensors. In the case of any motion detection, a decision whether it belongs to a hand or not is made by using camera and if it is a hand, which gesture belongs to which predefined class is determined by evaluating each system data together. In the stage of hand gesture detection and classification using camera, skin detection and convex hull-defect algorithms are used. Classification of different hand gestures by using differential PIR sensors is carried out by Winner-Take-All (WTA) hash method. The main contribution of this paper is to show that WTA hash codes can be utilized in classification of 1-D signals and gesture recognition accuracy can be improved by multi-sensor fusion.

Keywords-PIR sensors, sensor fusion, hand gesture recognition, WTA hash method

1. GİRİŞ

İnsanların jestlerini (özellikle el ve yüz hareketlerini) algılamaya yönelik çalışmalar 90'lı yılların başından bu yana devam etmektedir [1, 2]. Yapılan çalışmalar insan-bilgisayar etkileşimi (HCI), sanal gerçeklik (VR), uzaktan kumanda (RC)

ve endüstri alanındaki makinelerin kullanımı gibi sahalarda pek çok potansiyel uygulamaya sahiptir [3].

Elektrikli aletlerin uzaktan ve temassız yönetilmesi giderek önemsenen bir durum haline gelmektedir. Bu durum özellikle belirli işleri daha zahmetsiz ve eğlenceli bir şekilde yapma isteği ve umuma açık yerlerdeki hijyen probleminden kaynaklanmaktadır.

Jest algılama sistemleri üç grupta sınıflandırılabilir [4]: elle tutulan işaretleme aletleri kullanan sistemler, giyilebilir algılayıcılar kullanan sistemler ve 2 boyutlu 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 [5]. Fakat bunlar kaybolabilir, kaybolmasa bile odanın bir başka yerinden alınmak zorunda olmaları zahmet vericidir. Ayrıca üzerlerinde pek çok tuş bulunması kullanıcılara karmaşık gelmektedir.

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 [6, 7]. Bu yöntemler, tanımlanabilen hareket sayısını zenginleştirse 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 [8]. Bu sistemlerin sınırlı operasyon kabiliyeti, elektrikli aletler üzerindeki insan kontrolünü oldukça kısıtlı tutmaktadır. Wojtczuk ve diğerlerinin [5] geliştirdiği 4x4 lük bir PIR algılayıcı dizisinden oluşan sistem tanımlanabilen hareket sayısını artırmasına karşılık, PIR algılayıcıların görüş alanında bulunan ve sıcaklığı olan her şeye tepki üretmesinden dolayı yüz ve insan bedeni hareketlerini de el hareketi gibi algılayabilme dezavantajına sahiptir.

Görüntü dizilerini kullanarak el hareketi öznitelik çıkarımı yapan çalışmalar en aktif olanlardır, örneğin [9]. Bu yaklaşımlar algılama uzaklığı ve hassasiyeti açısından büyük bir esneklik kazandırsa da, aydınlatma ve yansımadan kaynaklanan yanlış tespitler yapabilmektedir. Bunların yanında [10] ve [11] tarafından üretilen video işleme tabanlı sistemler mevcuttur. Fakat bu sistemlerin enerji tüketimi, maliyeti ve boyutu uygulamaların pratikliğini olumsuz etkilemektedir.

Önerdiğimiz yeni sistemde, iki diferansiyel PIR algılayıcı (Paradox) ve bir kamera (Asus USB2.0 1.3M UVC Web Kamera) kullanılmaktadır. Algılayıcı dizisi ve kameradan elde

edilen veriler bir bilgisayara aktarılmakta, sonrasında bu veriler Matlab R2007b'de OpenCV 2.0 kütüphanelerinin de kullanımıyla, birlikte ve gerçek zamanlı olarak değerlendirilmektedir. PIR algılayıcı ile hareketi algıladıktan sonra kamera ile söz konusu hareketin bir el hareketi olup olmadığı tespit edilip, çok modlu sistem verileri birlikte değerlendirilerek el jestleri (sağa-sola hareket, el açık/kapalı ve açık parmak sayısı gibi) sınıflandırılmaktadır. Çözümümüzün, yakın mesafede el jestlerini algılama ve tanıma probleminde halihazırdaki yöntemlere özellikle maliyet, basitlik ve çok modlu yapısı sebebiyle daha kesin sonuçlar üretme açısından iyi bir alternatif olduğuna inanmaktayız.

Video analizi ile el jestlerinin sınıflandırılmasına ilişkin detaylar 2. Bölümde anlatılmaktadır. Diferansiyel PIR algılayıcı dizisi devresinin çalışma prensipleri ve el jestlerini tanımlamak için geliştirilen yöntem 3. Bölümde tanıtılmakta olup, 4. Bölümde uygulamalar ve sonuçları sunulmaktadır.

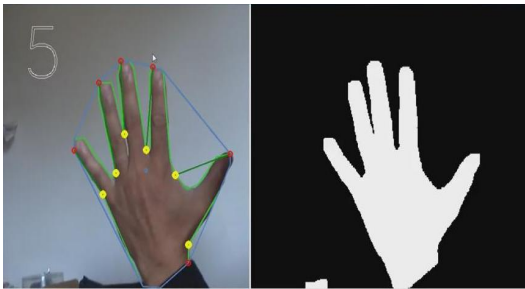
2. VIDEO ANALİZİ İLE EL JESTLERİNİN ALGILANMASI VE SINIFLANDIRILMASI

PIR algılayıcı dizisinin görüş alanında bir hareket tespit etmesi neticesinde video analizi başlar. Kamera aracılığı ile el varlığı tespiti ve el jestlerinin (parmak sayma, sağa-sola hareket, el açık/kapalı) sınıflandırılması işlemi iki aşamada yapılır: ten algılama ve dışbükey zarf-gedik hesaplama.

2.1. Klasik Renk Uzayları Kullanarak Ten Algılama

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 [12]. Bu çalışmada ten algılama işi için HSV ve YCrCb renk uzayları kullanılmıştır. Seçilen renk uzayındaki her bir kanal için alt ve üst sınırlar belirlenerek, ilgili pikselin kanal değerlerinin bu aralıkta olup olmadığına bakılır ve ten renginde olan pikseller işaretlenir.

Uygun ten maskesi elde edildikten sonra, daha temiz bir maske için aşındırma ve açma morfolojik işlemleri uygulanır. Aşındırma işleminde resim kare şeklindeki bir çekirdekle evriştirilerek aydınlık bölgeler büyütülür. Açma işleminde ise aynı yöntemle aydınlık bölgeler küçültülürken, karanlık bölgeler büyütülür. Elde edilen örnek bir el maskesi Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1: Asıl el görüntüsü ve elde edilen ikili maske Dışbükey zarf-gedik ve kontur çizimleri (solda).

2.2. Dışbükey Zarf ve Gedik Analizi

Bu aşamada, ten algılama yöntemiyle elde edilen ikili maskeden konturlar çıkartılarak dışbükey zarf ve dışbükey gedik hesaplamaları yürütülür [13]. Çıkartılan konturların alanları hesaplandıktan sonra, en büyük alana sahip olan

kontur bulunur. Kullanıcı elini kameraya, yüzüne göre daha yakın tutmak suretiyle yüzünü değerlendirme dışı bırakır.

Dışbükey gedik hesaplaması için kullanılan 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 1'deki asıl el resmi üzerinde gösterilmektedir. Belirlenen değerinin üzerinde bir uzunluğa sahip olan derinlik çizgilerinin sayısı aynı zamanda açık parmak sayısını vermektedir. Hesaplanan açık parmak sayısı sıfır olduğunda el kapalı, bir veya birden çok olduğunda el açık sonucuna ulaşılmaktadır.

Video analizi ile tanınan bir diğer jest de elin sağa-sola kaydırılmasıdır. Bu hareketlerin varlığına şu andaki en büyük konturun orta noktasının bir öncekine göre, yatay ekseninde belirli bir eşik değerinin üzerinde yer değiştirmesine bağlı olarak karar verilir.

3. DİFERANSİYEL PIR ALGILAYICI DİZİSİ İLE EL JESTLERİNİN ALGILANMASI VE SINIFLANDIRILMASI

Diferansiyel PIR algılayıcılar görüş alanlarındaki radyasyon değişimine tepki verirler. Fakat bu değişim el, yüz veya bütün olarak beden hareket etmesinden kaynaklanabilir. Geliştirdiğimiz sistem bu problemi çözmek için önce PIR algılayıcı ile gerçek zamanlı olarak, ilgilenilen alanda bir hareket olup olmadığını araştırır. Algılayıcı devresinden elde edilen çıktı sinyali gücünün belirli bir eşiği aşması halinde hareket varlığına karar verilir. Sonrasında video analizi ile el tespiti yapılır, çok modlu sistem hareket analizi başlar ve işaret edilen el hareketi sınıflandırılır. Bu çalışmada PIR algılayıcı dizisi ile sınıflandırılan jestler eli sağa-sola kaydırma hareketleridir.

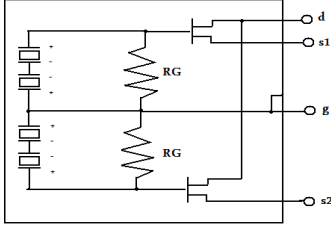
PIR algılayıcı sinyallerine ait öznelik çıkarımı için dalgacık tabanlı sinyal işleme yöntemleri kullanılmaktadır. Dalgacık katsayıları tabanlı öznelik vektörleri WTA imza metoduyla ikili kodlara dönüştürülür. Elde edilen ikili kodlar ile referans kodlar arasındaki Jaccard mesafeleri hesaplanarak benzerlik ölçütleri elde edilir. İncelenen sinyal hangi sınıfa daha çok benziyor ise o sınıfa ait olduğu kararı verilir.

3.1. Diferansiyel PIR Algılayıcı Sistemin Çalışma Prensipleri ve Veri Aktarımı

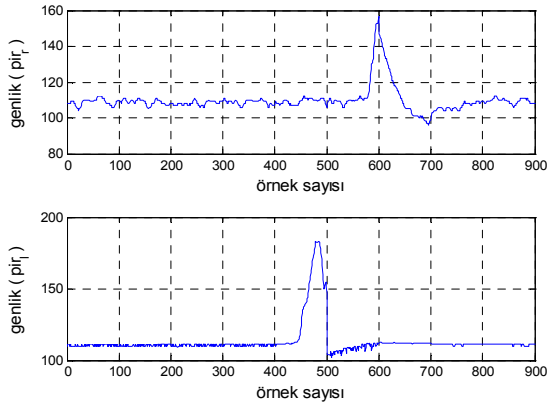
Bir kızılberisi algılayıcı temel olarak içindeki iki parçadan oluşan kızılberisi radyasyon yoğunluğunun farkını ölçer. Paralel şekilde bağlanan elemanlar, ortamdaki normal sıcaklık değişiklikleri ve hava akımının oluşturduğu etkileri engeller. Bu elemanlar aynı seviyede kızılberisi radyasyona maruz kaldıklarında, birbirini iptal eder ve algılayıcı sıfır-çıkış üretir [14]. Bu sayede PIR algılayıcı, yanlış tespitleri doğru bir şekilde reddedebilir. Tipik bir diferansiyel PIR algılayıcının blok çizeneği Şekil 2'de gösterilmektedir.

Bilinen PIR hareket algılayıcı devreleri ikili çıkışlar üretir, fakat alınan sinyalin gücünü gösteren sürekli bir analog sinyal yakalamak mümkündür. Bu amaca yönelik geliştirilen devre, alınan sinyalin gücünü zamana bağlı bir fonksiyon olarak temsil eden bir sinyal olarak yakalar. Algılayıcının sinyal çıkışı 2 katmanlı bir yükselticiye beslenir ve PIC16F877A tipi bir mikro denetleyici kullanılarak sayısallaştırılır. Elde edilen zamanda ayrıntı sinyal, sayısal bir sinyal işleyicide veya genel amaçlı bir bilgisayarda işlenir. PIR algılayıcı dizisinden, eli soldan sağa kaydırma hareketi sonucu elde edilen algılayıcı sinyalleri Şekil 3'te gösterilmektedir.

Tasarladığımız sistemde, elin sağa veya sola doğru hareketini daha doğru bir şekilde tespit etmek amacıyla algılayıcıların görüş alanları uygun bir şekilde daraltılmıştır. Bir PIR algılayıcının görüş alanını soldan sağa $[1 \ 1 \ 1 \ 1]$ vektörüyle ifade edecek olursak, sol tarafta bulunan PIR algılayıcısının görüş alanı vektörü $[1 \ 1 \ 0 \ 0]$, sağ taraftakinin ise $[0 \ 0 \ 1 \ 1]$ şeklindedir. Bu düzenlemeyle algılayıcılar, hareketin görüş alanlarına girme ve çıkma sırasına bağlı olarak istenen tepkiyi üretirler.



Şekil 2: Bir PIR algılayıcısının iç yapısının modeli.



Şekil 3: Elin soldan sağa kaydırılması hareketine karşı PIR algılayıcıların ürettiği tepkiler.

3.2. Algılayıcıların Çıkış Sinyallerinin İşlenmesi ve Karar Verme Mekanizması

Önerdiğimiz yaklaşımda, algılayıcı sinyaline ait öznelik çıkarımı için dalgacık tabanlı sinyal işleme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler sayesinde, ortamdaki sıcaklık değişimlerine bağlı olarak algılayıcı sinyalinde ortaya çıkan sapmalara karşı direnç sağlanır. Karar mekanizmasının hesaplama yükünü düşük tutmak için, dalgacık katsayılarını elde ederken FFT tabanlı yöntemler gibi doğrudan frekans tabanlı yaklaşımlar yerine Lagrange filtrelerini kullanmayı tercih ettik.

Bir diferansiyel PIR algılayıcıdan gelen sinyalin 100 Hz örnekleme frekansıyla örneklenmiş halinin $x[n]$ olduğunu varsayalım. Dalgacık katsayıları, $x[n]$ 'in $[25 \text{ Hz}, 50 \text{ Hz}]$ frekans aralığı bilgisine karşılık gelen, tek aşamalı alt bant ayrışım işleminden elde edilir. Tek aşamalı ayrışım işleminde, sinyal önce Lagrange dalgacıklarına [15] karşılık gelen aritmetik bir yüksek geçiren filtreden geçirilir, sonra sinyalin çözünürlüğü yarıya indirilir. Yüksek geçiren filtrenin transfer fonksiyonu, $H(z)$, aşağıdaki gibidir:

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

Her bir diferansiyel PIR algılayıcıdan gelen örneklenmiş sinyaller 100'lük pencerelere bölünür ve her bir pencereye karşılık gelen 50'lik dalgacık katsayıları dizileri bulunur. Sağ ve solda bulunan PIR algılayıcıların n endeksli pencerelere ait dalgacık katsayıları dizilerini sırasıyla $w_{r,n}[k]$ ve $w_{l,n}[k]$ ($k=1, \dots, 50$) ile, toplamlarını da $w_{s,n}[k]$ ile ifade edelim. $w_{s,n}$ dizisinin enerjisinin belirli bir eşiği aşması durumunda, algılayıcıların görüş alanında bir hareket olduğu sonucuna varılır. Daha sonra iki PIR algılayıcıyı birden temsil eden bu öznelik vektörü, WTA imza metoduyla ikili kodlara dönüştürülür. WTA imza metodu herhangi bir nitelik vektörünü sıkışık ikili kodlara dönüştürmeye imkan sağlar. Üretilen kodlar, nitelik vektöründeki küçük bozulmalara karşı dayanıklıdır, sıra ilintisini korur ve hızlıca hesaplanabilir [16]. Herhangi bir X dizisine ait C_X WTA kodunun hesaplanması Tablo 1'de gösterilmektedir.

Sınıflandırma aşamasında her bir pencerenin iki sınıftan hangisine daha çok benzediğine bakılarak sınıf aidiyet kararı verilir. Bu çalışmada benzeme ölçütü olarak Jaccard mesafesi kullanılmaktadır. Herhangi C_1 ve C_2 ikili kodları arasındaki Jaccard mesafesi hesaplanırken öncelikle ihtimal tablosu oluşturulur (Tablo 2). Tablo 2'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 $C_{1,i}, C_{2,i} = (0,0)$ durumlarının sayısını temsil eder. Bu değerlere bağlı olarak Jaccard mesafesi, d , şu şekilde hesaplanır:

$$d_{C_1, C_2} = \frac{q+r}{p+q+r} \quad (2)$$

Tablo 1: WTA kodu hesaplaması

- X dizisi uzunluğunda h tane permütasyon dizisi, $\theta_i, i=0, \dots, h-1$ oluştur.
- $i=1: h$ için
 - * X dizisini θ_i 'ye göre kar- X' .
 - * X' 'in ilk K elemanından en büyük olanının endeksini bul, ikili koda çevir- c_{x_i} .
- $C_X = [c_{x_0}, c_{x_1}, \dots, c_{x_{h-1}}]$

$w_{s,n}$ dizisine ait WTA kodu ile eğitime aşamasında her iki sınıf için bulunmuş olan WTA kodları arasındaki Jaccard uzaklığı hesaplanır ve n endeksli pencerenin daha küçük sonucu üreten sınıfa ait olduğu neticesine varılır.

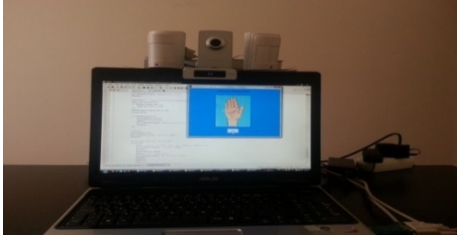
Tablo 2: Jaccard mesafe ölçütü değer tablosu

		C_1	
		1	0
C_2	1	p	q
	0	r	s

4. UYGULAMA VE SONUÇLAR

İki PIR algılayıcı ve bir kameradan oluşan çok modlu algılayıcı sistem el varlığı tespit edilebilmekte ve basit el jestlerini etkili bir şekilde sınıflandırılabilir. Sistemimiz; elektrikli aletleri basit hareket algılayıcılarıyla yöneten uygulamalara göre kullanıcıya daha fazla kontrol

imkanı sunmakta, sadece video analizi yürüten uygulamalara göre ise çok modlu yapısı sayesinde daha kesin tespitler sağlamaktadır. Sistemimizin düzeneği Şekil 4'te gösterilmektedir. Çok modlu sistem ilk olarak PIR algılayıcılar vasıtasıyla ortamdaki hareket varlığını araştırır. Kullanıcı iletişime geçmek istediğinde, tanımlı el jestini kameraya gösterir ve çok modlu hareket analizi kendiliğinden başlar. Açık parmak sayısı rakamla, elin sağdan sola veya soldan sağa hareketi yön işaretleriyle ekranda gösterilir. Sistem bir süre sonra bekleme konumuna geçer, kullanıcı yeni komutlar vermek istediğinde aynı el jestini yaparak sistemi tekrar aktive eder.



Şekil 4: İki diferansiyel PIR algılayıcı ve bir kameralı el hareketi algılama ve tanıma sistemi düzeneği

Sunulan çalışmada PIR algılayıcılar ve kamera tümleştirilerek, ürettikleri veriler aynı anda ve gerçek zamanlı olarak değerlendirilmekte, bu sayede çift kontrollü bir jest tanıma işlemi yapılmaktadır. 4 farklı kullanıcıya ait 78 tane sağa/sola el kaydırma jesti kayıtlarının sınıflandırma sonuçları sadece PIR algılayıcılar, sadece kamera ve çok modlu algılayıcı sistem durumları için Tablo 3'te gösterilmektedir. Video analizinde genel olarak aydınlatma ve yansıma problemleri kaynaklı yanlış tespitler, çok modlu sistem analizi ile büyük ölçüde aşılmış ve %10'luk bir gelişme sağlanmıştır.

PIR algılayıcılardan elde edilen tek boyutlu sinyallerin sınıflandırılmasında, resimlerdeki objelerin benzerliğini WTA kodları tabanında Hamming mesafe ölçütü ile bulmaya çalışan yöntem [17] kullanılmıştır. Büyüklüğü, kod dizisinin uzunluğuna bağlı olarak değişen Hamming mesafe ölçütü yerine, dizinin uzunluğundan bağımsız $[0,1]$ aralığında mesafe değerleri üreten Jaccard mesafe ölçütü kullanılmıştır.

Tablo 3: 78 sağa/sola el kaydırma jesti testlerine ait farklı algılayıcı seçimlerinden elde edilen sınıflandırma sonuçları

	Toplam test sayısı	Doğru tespit	Yanlış tespit
Kamera	78	69	9
PIR dizisi	78	74	4
Çok modlu sistem	78	77	1

Uygulamamızda el hareketleri algılama ve tespiti 1,5 metre mesafeye kadar yapılabilmektedir. Ancak, PIR algılayıcıların birbirine göre konumları ve görüş açılarının ayarlanması ve video analizinde kullanılan derinlik mesafesi eşliğinin uygun biçimde yeniden tanımlanması ile aynı işler daha uzak mesafelerden başarılabilir. Bununla beraber, uzaktan yönetmek istenilen elektrikli alete özel olarak, her açık parmak sayısına farklı komutlar atamak başta olmak üzere yeni hareketlerin tanımlanması yoluyla sistem daha fonksiyonel bir hale getirilebilir ve kullanıcılara daha gelişmiş bir kontrol imkanı sunulabilir.

5. KAYNAKÇA

- [1] Rehg, J. M., Kanade, T., "Digit-Eyes: Vision-based human hand tracking" (No. CMU-CS-93-220), CARNEGIE-MELLON UNIV PITTSBURGH PA DEPT OF COMPUTER SCIENCE, 1993.
- [2] Segen, J., GEST: "A learning computer vision system that recognizes hand gestures", *Machine Learning. A Multistrategy Approach*, 4, 621-634, 1994.
- [3] Freeman, W. T., Weissman, C., "Television control by hand gestures", *Proc. of Intl. Workshop on Automatic Face and Gesture Recognition* 179-183, 1995.
- [4] Ishikawa, M., & Matsumura, H., "Recognition of a hand-gesture based on self-organization using a DataGlove", *Neural Information Processing, Proceedings. ICONIP'99. 6th International Conference* 2, 739-745, IEEE, 1999.
- [5] Wojtczuk, P., Armitage, A., Binnie, T. D., Chamberlain, T., "PIR sensor array for hand motion recognition", *SENSORDEVICES, The Second International Conference on Sensor Device Technologies and Applications* 99-102, 2011.
- [6] Iwai, Y., Watanabe, K., Yagi, Y., Yachida, M., "Gesture recognition using colored gloves", *In Pattern Recognition, Proceedings of the 13th International Conference, I*, 662-666, IEEE, 1996.
- [7] Perng, J. K., Fisher, B., Hollar, S., Pister, K. S., "Acceleration sensing glove (ASG)", *Wearable Computers, Digest of Papers. The Third International Symposium*, 178-180, IEEE, 1999.
- [8] Winings, T. R., Samson, R., "Automated dispenser for disinfectant with proximity sensor", *U.S. Patent No. 5,695,091, Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office*, 1997.
- [9] Hsieh, C. C., Liou, D. H., Lee, D., "A real time hand gesture recognition system using motion history image", *Signal Processing Systems (ICSPS) 2nd International Conference*, 2, 394, IEEE, 2010.
- [10] GestureTek Technologies, www.gesturetek.com (Mayıs, 2013)
- [11] KINECT for Windows, <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/> (Mayıs, 2013)
- [12] Vezhnevets, V., Sazonov, V., Andreeva, A., "A survey on pixel-based skin color detection techniques", *Proc. Graphicon*, 3, 85-92, 2003.
- [13] Structural Analysis and Shape Descriptors, http://docs.opencv.org/modules/imgproc/doc/structural_analysis_and_shape_descriptors.html#convexhull (Şubat, 2013)
- [14] Thornqvist, L., "Using a PIR Sensor in a Motion Detection System Design", *Future Magazine*, 2011.
- [15] Kim, C. W., Ansari, R., Cetin, A. E., "A class of linear-phase regular biorthogonal wavelets", *Acoustics, Speech, and Signal Processing, ICASSP-92, IEEE International Conference*, 4, 673-676, IEEE, 1992.
- [16] Yagnik, Jay, Dennis Strelow, David A. Ross, Ruei-sung Lin., "The power of comparative reasoning." *In Computer Vision (ICCV), 2011 IEEE International Conference on*, pp. 2431-2438. IEEE, 2011.
- [17] Dean, Thomas, Mark A. Ruzon, Mark Segal, Jonathon Shlens, Sudheendra Vijayanarasimhan, Jay Yagnik., "Fast, Accurate Detection of 100,000 Object Classes on a Single Machine." *In IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2013.