

# İNSAN HAREKETLERİNİN VİBRASYON VE PIR ALGILAYICILARI KULLANILARAK SINIFLANDIRILMASI

## HUMAN ACTIVITY CLASSIFICATION USING VIBRATION AND PIR SENSORS

Ahmet Yazar, A. Enis Çetin

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Bilkent Üniversitesi  
yazar@ee.bilkent.edu.tr, cetin@bilkent.edu.tr

B. Uğur Töreysin

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü  
Çankaya Üniversitesi  
toreysin@cankaya.edu.tr

### ÖZETÇE

*Yalnız yaşayan yaşlı ve bakıma muhtaç kişilerin yere düşmelerinin kısa sürede tespit edilmesi önemli bir sorundur. Bu bildiride, sismik ve pasif kızılberisi algılayıcılar kullanarak, belirli bir alanda yere düşme olayının tespit edilebilmesi için bir yöntem önerilmiştir. Sınıflandırma amacıyla, hızlı Fourier dönüşümü, mel-frekans kepsral katsayıları ve ayrık dalgacık dönüşümü teknikleri kullanılarak farklı öznelik vektörleri çıkarılmıştır. Sismik işaretler, destek vektör makineleri ile 'düşme' ve 'düşme değil' olarak iki farklı sınıfa ayrılmıştır. Pasif kızılberisi algılayıcının, belirli bir alanda hareket eden bir kişiyi tespit etmesinden sonra, sismik algılayıcının ve pasif kızılberisi algılayıcının kararları tümleştirilerek kişinin düşüp düşmediği tespit edilmektedir. Önerdiğimiz sistem gerçek zamanlı olarak standart bir bilgisayarda çalışabilmektedir.*

### ABSTRACT

*Fall detection is an important problem for elderly people living independently and people in need of care. In this paper, a fall detection method using seismic and passive infrared (PIR) sensors is proposed. Fast Fourier transform, mel-frequency cepstrum coefficients, and discrete wavelet transform based features are extracted for classification. Seismic signals are classified into "fall" and "not a fall" classes using support vector machines. Once a moving person is detected by the PIR sensor within a region of interest, fall is detected by fusing seismic and PIR sensor decisions. The proposed system is implemented on a standard personal computer and works in real-time.*

### 1. GİRİŞ

Türkiye'nin de dahil olduğu bir çok Avrupa ülkesinde yaşlı nüfus giderek artmaktadır. Yaşlı nüfusun artmasıyla beraber akıllı evlerin geliştirilmesi de daha önemli hale gelmektedir. Yakın gelecekte akıllı evlerin kullanılmalarının artmasıyla, kendi başlarına yaşayan yaşlılar ve diğer bakıma muhtaç olan insanlar başkalarına bağlı kalmadan yaşamlarını sürdürebilecek duruma geleceklerdir [1],[2]. Bu kişilerin yalnız yaşadıkları ortamda beklenmedik bir şekilde yere

düşmeleri halinde bu durumu tespit ederek yardım çağırabilecek sistemlerin oluşturulması mümkün hale gelmiştir. Bakıma ihtiyacı olan kişilerin yaşama ortamlarına yerleştirilecek bir çok farklı algılayıcı ile bu kişilerin yaptıkları işlerin her anını takip etmek mümkündür [3]. Örneğin, giyilebilir algılayıcılar kullanılarak düşen kişinin tespitine yönelik çalışmalar yapılmaktadır [4],[5]. Giyilebilir algılayıcıların sürekli olarak kişinin üzerinde bulunması gerekliliği bu sistemlerin günlük yaşamda kullanımını zorlaştırmaktadır. Yapay görü sistemleri ve akustik algılayıcılar kullanılarak düşen kişi tespiti başarılı şekilde uygulanabilmektedir [6]-[8]. Fakat, yaşam ortamlarının her kısmına yerleştirilmiş çok çeşitli ve sayıca fazla olan algılayıcılar veya kamera ve mikrofon kullanılan akıllı ev sistemleri o evlerde yaşayanları çeşitli nedenlerle rahatsız edebilmektedir. Evlerin odalarına sadece sismik ve pasif kızılberisi algılayıcılar yerleştirilerek düşen kişinin tespit edilmesi sağlanabilir. Bu algılayıcılar hem ucuzdur hem de oluşturdukları işaretler işlemci yükü oldukça düşük sistemlerle de işlenebilmektedir. Sismik algılayıcılar odalardaki görünmeyecek yerlere sabitlenerek evde yaşayan kişileri herhangi bir şekilde rahatsız etmeyecektir. Bu bildiride, sismik algılayıcıdan alınan işaretin üç farklı şekilde öznelik çıkarımı yapılarak destek vektör makinelerinin sınıflandırma sonucu ve pasif kızılberisi algılayıcının belirlenmiş alanda bir insanın olup olmadığına karar vermesinin sonucu tümleştirilerek düşme olup olmadığının tespitine yönelik bir yöntem önerilmektedir. Hızlı Fourier dönüşümü, mel-frekans kepsral katsayıları ve ayrık dalgacık dönüşümü kullanılarak sismik işaretin farklı frekans bantlarının enerjileri öznelik olarak tanımlanmıştır. Oluşturulan öznelikler doğrusal çekirdek tabanlı destek vektör makineleri ile 'düşme' veya 'düşme değil' olarak sınıflandırılmıştır. Pasif kızılberisi algılayıcı belirli bir alanda bir kişi olduğunu tespit ettikten sonra, sismik algılayıcıdan gelen işaret düşme olarak sınıflandırıldığında kişinin düştüğü sonucuna varılmaktadır.

Bildirinin ikinci kısmında sismik algılayıcı işaretinden veri toplanarak öznelik çıkarılması ve destek vektör makineleri ile sınıflandırma işlemleri anlatılmıştır. Üçüncü kısımda pasif kızılberisi algılayıcı işaretini incelenmiştir. Yapılan deneyler ve genel sonuçlar sırasıyla dördüncü ve beşinci kısımlarda sunulmuştur.

---

Bu çalışma Türk Telekom tarafından 3015-03 numaralı anlaşma kapsamında desteklenmiştir.  
978-1-4673-0056-8/12/\$26.00 ©2012 IEEE

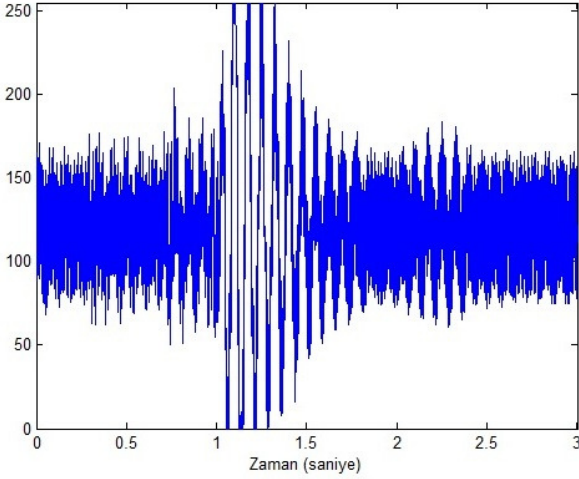
## 2. SİSMİK ALGILAYICI İŞARETİNİN İNCELENMESİ

Bu çalışmada GS-20DX sismik algılayıcı ile 10 farklı kişinin 10'ar kere düşmesiyle ve çeşitli hızlarda bir odanın içerisinde yürümleri sağlanarak veri kümesi oluşturulmuştur. Aynı zamanda kapı çarpması, yere oturulması, baston kullanımı ve koşmak gibi yanlış alarm üretmesi muhtemel durumlar için de veri toplanmıştır. Sismik algılayıcıdan alınan analog işaretler 8 bit çözünürlüklü olarak 900 Hz örnekleme frekansı ile sayısal işaretlere dönüştürülmüştür.

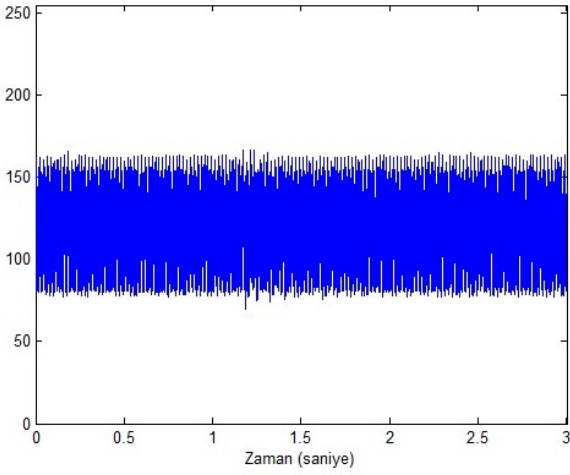
Bir kişinin düşmesi, yürümesi ve kapının çarpmasının ön-ışleme yapılmadan önceki ham hallerinin sismik algılayıcı kayıtları Şekil 1'de gösterilmiştir. Sismik algılayıcılardan farklı uzaklıklarda yürürken adımların şiddetine de bağlı olarak farklı genliklerde işaret üretilmektedir. Sismik algılayıcıya çok yakın mesafede sert adımlarla yürürken de düşme esnasında oluşan genlikte işaret oluşabilmektedir. Bu nedenle sadece genlik bilgisine dayalı sistemler yanlış alarmlar üretebilir. Düşme olayının yaklaşık iki saniye sürdüğü varsayılarak, önerilen sistemde, sismik işaretler 2048'lik pencerelere bölünerek işlenmiştir. Bu sismik işaret pencerelerinin frekans düzlemine aktarılmasıyla farklı frekans bantlarının düşme ve diğer insan aktivitelerini ayırt etmede kullanılabilceği gözlemlenmiştir.

### 2.1. Öznitelik Çıkarımı

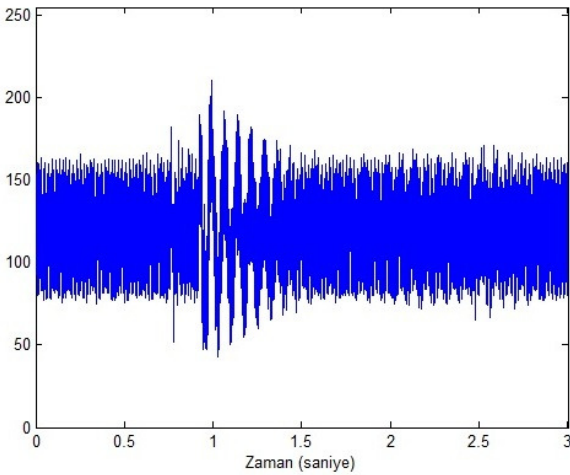
Sayısal işaretlere dönüştürülmüş analog işaretler içerisindeki arka plan ve gürültü farklı binalarda ve zeminlerde farklılık gösterebilmektedir. Farklı zeminlerde aynı durumlar için farklı genlikte sismik işaretler oluşması, sismik algılayıcıların çok iyi sabitlenmesiyle engellenebilmektedir. Binaların yapısal özelliklerinden kaynaklanan ve bina içinde çalıştırılan makinelerin ürettiği sismik işaretler farklı frekans ve genlikte arka plan oluşmasına neden olabilirler. Sistemin farklı bina ve çevre koşullarında, benzer olaylara benzer tepkiler verebilmesi için, sismik işaretlerin frekans içerikleri incelenmiştir. Bu amaçla üç farklı frekans çözümleme yöntemi kullanılmış ve yöntemler birbirleriyle karşılaştırılmıştır.



(a)

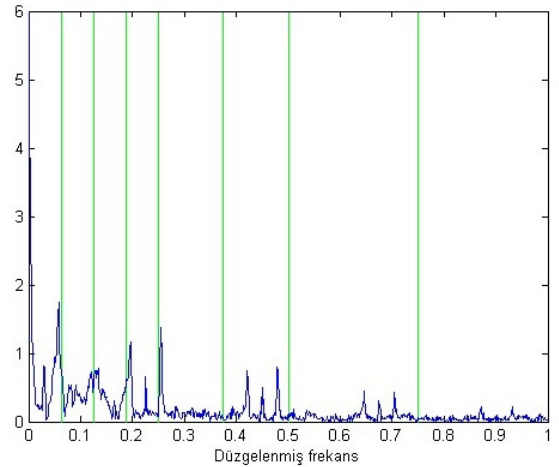


(b)



(c)

Şekil 1: Bir kişinin düşmesi (a), yürümesi (b) ve kapının çarpmasının (c) ön-ışleme yapılmadan önceki ham hallerinin sismik algılayıcı kayıtları.



Şekil 2: Bir kişinin düşmesi sırasında kaydedilmiş sismik işaretin hızlı Fourier dönüşümünün düzeltilmiş hali ve bantların ayrılma noktaları.

### 2.1.1. Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD) ile Öznitelik Çıkarımı

Sismik algılayıcı işareti, hızlı Fourier dönüşümü alındıktan sonra farklı boyutlarda 8 adet banta bölünmüştür. Bu bantların enerjileri öznitelik olarak kullanılmıştır. Şekil 2'de düşme anında elde edilen bir sismik işaretin Fourier dönüşümünün düzelenmiş hali ve bantların ayrılma noktaları gösterilmektedir. Sismik işaretlerin düşük frekanstaki kısımlarında daha fazla sayıda bant kullanılarak düşük frekansların önemi artırılmıştır, çünkü enerji düşük bantlara yoğunlaşmıştır.

### 2.1.2. Mel-frekansı Kepstral Katsayıları (MFKK) Kullanılarak Öznitelik Çıkarımı

Hızlı Fourier dönüşümü alınan sismik işaretin bir bantındaki enerji aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır [9]:

$$G(m) = \sum_{k \in B(m)} |X(k)|^2 \quad (1)$$

$X(k)$ , hızlı Fourier dönüşümü alınmış sismik işaretin bir bantındaki verilerdir.  $B(m)$ , enerjisi bulunacak bantın indislerini göstermektedir. Mel-frekansı kepsral katsayıları aşağıdaki ayrık kosinüs dönüşümü (AKD) denklemiyle elde edilerek öznitelik vektörü olarak kullanılmıştır.

$$C(m) = AKD^{-1} \{ \log(G(m)) \} \quad (2)$$

### 2.1.3. Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) ile Öznitelik Çıkarımı

Ayrık dalgacık dönüşümü için 3 seviyeli bir ağaç kullanılarak 8 adet öznitelik çıkarılmıştır. Düşük geçiren ve yüksek geçiren süzgeçlere ait transfer fonksiyonları aşağıdaki gibidir:

$$H_l(z) = \frac{1}{4}z^{-1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{4}z \quad (3)$$

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

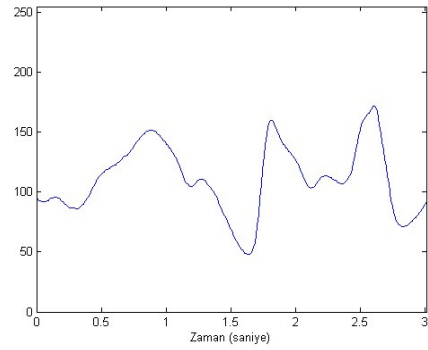
## 2.2. Destek Vektör Makineleri ile Sınıflandırma Yapılması

Öznitelik çıkarımı yapıldıktan sonra sınıflandırma işlemi için destek vektör makineleri kullanılmıştır. Destek vektör makineleri ile sistemin eğitilmesi ve testler için LIBSVM kütüphaneleri kullanılmıştır [10]. Doğrusal çekirdek tabanlı destek vektör makineleri ile veri kümesi, düşme veya düşme değil olmak üzere iki sınıfa ayrıştırılmaya çalışılmıştır. Polinomsal veya radyal çekirdek tabanlı sınıflandırmalar da test edildiğinde doğrusal çekirdek tabanlı destek vektör makinelerinin düşme olayının sınıflandırılması için yeterli olduğu gözlenmiştir.

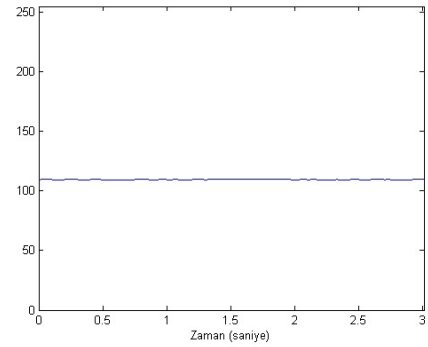
## 3. PASİF KIZILBERİSİ ALGILAYICI İŞARETİNİN İNCELENMESİ

Bir odanın kapısının içeride kimse yokken aniden çarpması gibi durumlarda muhtemel yanlış alarmları önlemek için pasif kızılberisi algılayıcılar kullanılabilir. Kızılberisi algılayıcı işaretlerinin genliği ısı yayan nesnelere hareket etmesiyle

değişmektedir. Isı yayan nesnenin algılayıcıya olan uzaklığı ve nesnenin sıcaklığının miktarı da algılayıcı işaretini etkilemektedir. Şekil 3'de herhangi bir hareketin olmadığı bir odada kaydedilmiş ve bir düşme esnasında kaydedilmiş pasif kızılberisi algılayıcı işaretleri görülmektedir. Bu kayıtlar 8 bit çözünürlüklü olarak 100 Hz örnekleme frekansı ile alınmıştır. Sismik işaretin destek vektör makineleri ile sınıflandırılması sonucunda düşme olduğuna karar verildiği takdirde pasif kızılberisi algılayıcı, belirlenmiş alanda insan olup olmadığı kararına varmaktadır. Eğer pasif kızılberisi algılayıcı belirlenen alanda bir insan olduğunu tespit ederse, düşme olarak sınıflandırılan sismik işaretin gerçekten bir insanın düşmesiyle oluştuğu anlaşılmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 3: Bir kişi düşerken (a) ve odada herhangi bir hareket yokken (b) pasif kızılberisi algılayıcı kayıtları.

## 4. DENEYLER

Deneyle 100 düşme, 829 yürüme/baston kullanımı/koşma, 30 yere oturma ve 30 kapı çarpması anı 2048'lik pencereler halinde kullanılmıştır. Bu veri kümesinin bir kısmı destek vektör makinelerinden model oluşturulmasında eğitim amaçlı kullanılmıştır. Hızlı Fourier dönüşümü, mel-frekansı kepsral katsayıları ve ayrık dalgacık dönüşümü yöntemleri için farklı modeller oluşturularak, veri kümesi her model için ayrı ayrı test edilmiştir. Pasif kızılberisi algılayıcı işaretleri 200'lük pencerelere bölünerek, bu pencerelerdeki varyanslar deneysel sonuçlar sonucu belirlenmiş bir eşik seviyesi ile karşılaştırılmıştır. Bu eşik seviyesi geçildiğinde, pasif kızılberisi algılayıcının kapsama alanında hareket eden bir insan olduğu varsayılmıştır. Deneysel sonuçlar Tablo 1 ve Tablo 2'den görülebilmektedir.

Tablo 1: Sadece sismik algılayıcı işaretleri kullanılarak 2048'lik test pencerelerinin doğru veya yanlış olarak tespit edilme sayıları.

	Doğru Tespit / Yanlış Tespit		
	HFD	MFKK	ADD
<b>Düşme</b>	60 / 0	60 / 0	60 / 0
<b>Yürüme/ Baston Kullanımı/ Koşma</b>	497 / 0	497 / 0	497 / 0
<b>Yere oturma</b>	19 / 1	19 / 1	20 / 0
<b>Kapı çarpması</b>	18 / 2	18 / 2	18 / 2

Tablo 2: Sismik ve pasif kızılberisi algılayıcı işaretlerinin birlikte kullanılmasıyla 2048'lik test pencerelerinin doğru veya yanlış olarak tespit edilme sayıları.

	Doğru Tespit / Yanlış Tespit		
	HFD	MFKK	ADD
<b>Düşme</b>	60 / 0	60 / 0	60 / 0
<b>Yürüme/ Baston Kullanımı/ Koşma</b>	497 / 0	497 / 0	497 / 0
<b>Yere oturma</b>	19 / 1	19 / 1	20 / 0
<b>Kapı çarpması</b>	20 / 0	20 / 0	20 / 0

Tablolarda, test kümesinde kullanılan örneklerden elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Veri kümesinin kalan kısmı destek vektör makinelerinin eğitimi amacıyla kullanılmıştır. İstatiksel sonuçlara bakıldığında düşme, yürüme, baston kullanımı ve koşma olayları üç farklı öznelik çıkarım yöntemiyle de %100 doğruluk oranıyla düşme ya da düşme değil olarak iki sınıfa ayrıştırılabilmektedir. Ani kapı çarpmalarından kaynaklanabilecek yanlış alarmlar pasif kızılberisi algılayıcılar kullanılarak önlenmektedir. Yere oturulması ile oluşturulan veri kümesinde hızlı Fourier dönüşümü ve mel-frekansı kepsral katsayıları ile öznelik çıkarıldığında birer tane yanlış alarm gözlenirken, ayrık dalgacık dönüşümü ile öznelik çıkarıldığında yanlış alarm tespit edilmemiştir.

## 5. SONUÇLAR

Bu bildiri de sismik ve pasif kızılberisi algılayıcılar kullanılarak belli bir alanda düşme olayının tespitine yönelik bir çalışma sunulmuştur. Sismik algılayıcı işaretlerinden hızlı Fourier dönüşümü, mel-frekansı kepsral katsayıları ve ayrık dalgacık dönüşümü teknikleriyle öznelik vektörleri çıkarılmış, destek vektör makineleri ile sınıflandırma yapılmıştır. Pasif kızılberisi algılayıcı işaretleri kullanılarak belirli bir alanda hareketli bir kişi olup olmadığına karar verilmiştir. Sismik ve pasif kızılberisi algılayıcıların işaretlerinin işlenmesiyle verilen kararlar tümleştirilerek düşme olayının gerçekleşip gerçekleşmemesi hakkında nihai

sonuca ulaşılmıştır. Önerilen sistem, gerçek zamanlı olarak standart bir bilgisayarda da çalıştırılarak istatistiksel sonuçlardaki başarıyı sağlamıştır.

Gelecekteki çalışmalarda düşme olayının tespitiyle beraber insan adımlarının diğer sismik algılayıcı işaretlerinden ayrıştırılması sağlanabilir. Bu sayede algılayıcıların yerleştirildiği odalarda bir insanın hareket edip etmediği anlaşılabilir veya gün içerisinde evdeki adım sayıları kaydedilerek farklı akıllı ev çözümleri geliştirilebilir. Kızılberisi algılayıcı işaretlerinden daha farklı şekillerde yararlanılması da sonraki çalışmalar için düşünülmektedir.

## 6. TEŞEKKÜR

GS-20DX sismik algılayıcısını bize veren Karel şirketine teşekkür ederiz.

## 7. KAYNAKÇA

- [1] Marquis-Faulkes F., McKenna, S.J., Gregor P., Newell A.F., "Scenario-based Drama as a Tool for Investigating User Requirements with Application to Home Monitoring for Elderly People", in Proc. of HCI, 2003.
- [2] Nait-Charif H., McKenna S.J., "Activity Summarisation and Fall Detection in a Supportive Home Environment", In Proc. of ICPR'04, 2004, pp. 323-326.
- [3] Brownsell, S., Bradley, D., Cardinaux, F., Hawley, M., "Developing a Systems and Informatics Based Approach to Lifestyle Monitoring within eHealth: Part I - Technology and Data Management", in HISBIEEE, pp. 264-271, 2011.
- [4] Nyan M.N., Tay F., Murugasu E., "A wearable system for Pre-impact Fall Detection", Journal of Biomechanics, vol. 41, pp. 3475-3481, 2008.
- [5] Yavuz G.R., Yalçın H., Akarun L., Ersoy C., "Dalgacık Dönüşümüne Dayalı Düşme Sezme", IEEE 19. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, SIU-2011, Antalya, 2011.
- [6] Töreyn, B.U., Dedeoğlu, Y., Çetin, A.E., "HMM Based Falling Person Detection Using Both Audio and Video", in Proc. of IEEE Int. Workshop on Human-Computer Interaction, Beijing, China, Lecture Notes in Computer Science, vol. 3766, pp. 211-220, Springer-Verlag GmbH, 2005.
- [7] Töreyn, B.U., Dedeoğlu, Y., Çetin, A.E., "Ses ve Video İşaretlerinde Saklı Markof Modeli Tabanlı Düşen Kişi Tespiti", IEEE 14. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, SIU-2006, Antalya, 2006.
- [8] Töreyn, B.U., Soyer, E.B., Onaran İ., Çetin, A.E., "Çoklu Sensör Sinyallerinin İşlenmesiyle Düşen Kişi Tespiti", IEEE 15. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, SIU-2007, Eskişehir, 2007.
- [9] Cakir S., Çetin A.E., "Mel-cepstral Feature Extraction Methods for Image Representation", Optical Engineering 49 (2010) 097004.
- [10] Chih-Chung Chang and Chih-Jen Lin, LIBSVM : a library for support vector machines. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, 2:27:1--27:27, 2011. Software available at <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>