

Çoklu Sensör Sinyallerinin İşlenmesiyle Düşen Kişi Tespiti

Falling Person Detection Using Multi-sensor Signal Processing

B.Uğur Töreyn, E.Birey Soyer, İbrahim Onaran, A.Enis Çetin

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Bilkent Üniversitesi, 06800 Ankara

{ugur,birey,onaran,cetin}@ee.bilkent.edu.tr

Özetçe

Düşmenin erken tespiti yaşlılar, özellikle yalnız yaşayan yaşlılar için aktif bir yaşamın sürdürülebilmesi açısından büyük önem arz etmektedir. Yaşlı kimselerin yaşadıkları binaların odaları ses ve pasif kızılberisi (PIR) algılayıcılarıyla donatılıp, titreşim sensörleri halı altlarına yerleştirilebilir. Bu bildiriye PIR ve ses sensörlerinden gelen sinyallerin işlenmesiyle düşen kişi tespiti için geliştirilen yöntem sunulmaktadır. Oda içindeki bir kişiyle bir kediye ait olağan (yürüme, oturma) ve olağan dışı (düşme) hareketlerden kaynaklanan her bir sensör çıkış sinyali saklı Markov modellerinin eğitilmesinde kullanılmıştır. Her bir sensöre ait sınıflandırma sonucu nihai düşme kararının verilmesinde kullanılmıştır.

Abstract

Falls are one of the most important problems for frail and elderly people living independently. Early detection of falls is vital to provide a safe and active lifestyle for elderly. In this paper, signals produced by sound and passive infrared (PIR) sensors are simultaneously analyzed to detect suddenly falling elderly people. A typical room in a supportive home can be equipped with sound and PIR sensors. Hidden Markov models are trained for regular and unusual activities of an elderly person and a pet for each sensor signal. Decisions of HMMs can be fused together to reach a final decision.

1. Giriş

Düşen bir kişinin tespiti, kapalı devre televizyon ve ev içi destek sistemlerini kapsayan güvenlik alanları için önemli bir uygulamadır. Yakın bir gelecekte akıllı evler, içinde bulunan kişilerin yaptıklarını pekçok güvenlik kamerası ve algılayıcılarla izleyip, ona göre işlem yapabilecek ve/veya önlem alabilecek hâle gelecektir. Bu evler, evin içindeki bakıma muhtaç yaşlılar ve çocuklara başlarına kötü birşey geldiğinde, yardım bile çağırabileceklerdir [1-5]. Yapay görü sistemleri, düşme tespiti için kullanıcıya yük getirmeyen seçenekler sunar [6,7]. Bu sisemler düşmeyi başarılı bir şekilde tespit edebilmektedir. Ancak evin banyo ve tuvalet dahil her odasına kamera yerleştirilmesi yalnız yaşayan yaşlı kişiler tarafından kendilerinde “izleniyormuş” hissi uyandırdığı için rahatsız edici bulunmaktadır. Kameralar yerine, ev içinde çeşitli odalara, özellikle banyo ve tuvaletlere yerleştirilecek ucuz pasif kızılberisi ve akustik sensörler düşme tespiti için kullanılabilir. Bu bildiriye birbirini tamamlayan bu sensörlerden gelen sinyallerin gerçek zamanda çözümlenip düşme kararının verilmesiyle ilgili bir yöntem sunulmaktadır. Sensör çıkışlarından gelen sinyaller dalgacık

domeninde işlenmektedir. Denelerimiz sonucunda dalgacık domenindeki işaretlerin, zaman domenindeki sinyallere göre ani değişimleri yakalama açısından daha başarılı sonuçlar verdiğini gözlemledik. Ani değişimlerin tespit edilmesi amacımıza en uygun yaklaşım olduğu için sensörlerden gelen sinyalleri dalgacık domeninde işledik. Dalgacık sinyallerinden elde ettiğimiz öznelik işaretlerini, saklı Markov modelleri yardımıyla gelen sinyalin bir insana mı, yoksa bir evcil hayvanı mı ait olduğunu sınıflandırmak üzere kullandık.

Bildirimizin sunum akışı şu şekildedir: akustik sensör sinyallerinin işlenmesiyle ilgili yöntem ikinci bölümde anlatılmaktadır. Pasif kızılberisi ve titreşim sensörleriyle ilgili çözümlenmeler sırasıyla üçüncü ve dördüncü bölümlerde sunulmaktadır. Beşinci bölümde ise deneysel sonuçlar bildirilmektedir.

2. Akustik Sensör İşaretinin Analizi

Akıllı bir evdeki odaların ve koridorların çeşitli kısımlarına mikrofonlar yerleştirilebilir. Bu akustik sensörlerden gelen işaretler kullanılarak aniden düşen bir kişi tespit edilebilir. Bir kişinin sendeleyip düşmesine ve yürüyüşüne ait ses kayıtları sırasıyla Şekil-1a ve 1b’de gösterilmektedir.

Akustik sinyaldeki belirgin ses aktivitesi ilk olarak Jabloun ve Çetin [8-10] tarafından geliştirilen Teager enerji operatörü tabanlı yöntemle gürültüden ayırılmaktadır. Akustik sinyal, diğer ses işleme yöntemlerine benzer şekilde öncelikle pencerelere bölünmekte, bu pencerelere ait Teocap öznelik vektörleri de dalgacık domeninde uygulanan sinyal işleme teknikleriyle elde edilmektedir. Ses işareti görüldüğü gibi farklı boyutlarda 21 adet altbanda bölünmekte, böylelikle Bark veya mel skalasında olduğu gibi sesin düşük sıklık alanlarına daha fazla önem verilmektedir.

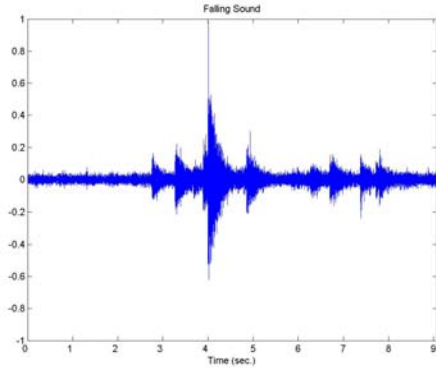
Teocap öznelik parametrelerinin hesaplanması için $s(n)$ ses işareti, Şekil-2’deki skalaya göre altbantlarına ayrıştırılarak $s_l(n)$, $l=1, \dots, L=21$, alt-ışaretleri elde edilir. Çiftlikgen dalgacık dönüşümü süzgeç öbeği kullanılarak gerçekleştirilen çözümlenme adımındaki düşük geçiren süzgece ait transfer fonksiyonu

$$H_l(z) = \frac{1}{2} + \frac{9}{32}(z^{-1} + z^1) - \frac{1}{32}(z^{-3} + z^3) \quad (1)$$

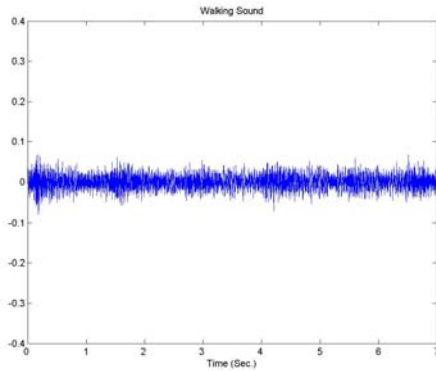
ve yüksek geçiren süzgece ait transfer fonksiyonu da

$$H_h(z) = \frac{1}{2} - \frac{9}{32}(z^{-1} + z^1) + \frac{1}{32}(z^{-3} + z^3) \quad (2)$$

olarak alınmıştır.

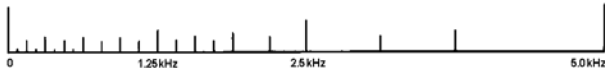


(a)



(b)

Şekil-1: Bir kişiye ait a)düşme ve b)yürüme sesi kayıtları



Şekil-2: Ses işaretine ait altband frekans bölüntülenmesi

Her bir alt-ışaret için e_l ortalama Teager enerjisi ise şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$e_l = \frac{1}{N_l} \sum_{n=1}^{N_l} |\Psi [s_l(n)]|; \quad l = 1, \dots, L. \quad (3)$$

Bu denklemde l . alt-banda ait N_l adet örneğin Teager enerjisi

$$\Psi [s(n)] = s^2(n) - s(n+1)s(n-1) \quad (4)$$

ifadesiyle hesaplanmaktadır. Son olarak, Teager Enerji Operatörü (TEO) tabanlı kepstrum katsayılarına log sıkıştırma ve ters ayrık kosinüs dönüşümü uygulanmaktadır:

$$TC(k) = \sum_{l=1}^L \log(e_l) \cos\left[\frac{k(l-0.5)\pi}{L}\right]; \quad k=1, \dots, N. \quad (5)$$

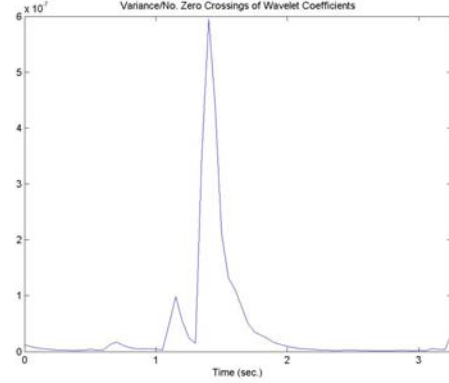
Öznelik vektörü olarak ilk 12 $TC(k)$ katsayısı kullanılmaktadır.

Yukarda anlatılan öznelik vektörüne ek olarak, ses işaretindeki her i numaralı pencerede [2,5 kHz – 5,0 kHz] sıklık bandındaki dalgacık dönüşümü katsayılarının değışintisi σ_i^2 , ve sıfır seviyesini keme sayıları Z_i , hesabedilmekedir. Yürümeye ait ses sinyalinin değışinti ve sıfır keme sayıları yarı-periyodik bir karakteristiğe sahiptir. Buna karşılık sendeleyip düşen birine ait ses işaretinin sıfır keme sayısı azalırken, değışinti değeriinde bir artış gözlenmiştir. Biz de bu

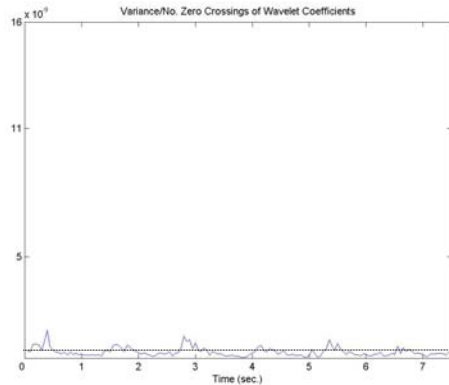
gözlemlerimize dayanarak her bir pencere için κ olarak adlandırdığımız bir parametre tanımladık:

$$\kappa_i = \frac{\sigma_i^2}{Z_i} \quad (6)$$

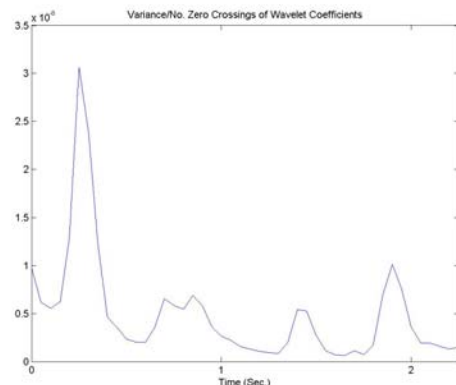
Bu ifadedeki κ_i parametresi daima pozitif değerler almaktadır. Konuşma sırasında söylenen sesli harflere ait κ parametresi sessiz harflere ait parametre değerinden daha büyüktür. Farklı durumlar için gözlenen κ parametresinin örnek numarasına göre değışimini Şekil 3'te gösterilmiştir.



(a)



(b)

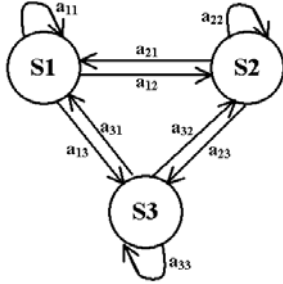


(c)

Şekil-3: Dalgacık katsayılarının varyanslarının sıfır keme sayısına oranı κ_i 'nin (a)düşme, (b)yürüme ve (c)konuşma sırasındaki değışimleri. Eşik değeri olan T κ -domeninde tanımlanmış ve kesikli bir çizgiyle (b)'de işaretlenmiştir.

Ses işaretine dayalı aktivite sınıflandırması saklı Markov modelleriyle gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla yürümeye, konuşmaya ve düşmeye karşılık gelen üç durumlu üç Markov modeli kullanılmaktadır. Eğer i . pencerede bir ses aktivitesi tespit edilmemişse model S1 durumunda, eğer $T < \kappa_i$ doğrusya S2 durumunda ve eğer $\kappa_i > T$ doğrusya S3 durumundadır.

Modellere ait geçiş olasılıkları, yirmi ardışık dalgacık işaretleri penceresi kullanılarak kestirilmektedir. Seslerin sınıflandırılması sırasında, ardışık yirmi κ parametresi kestirilmekte ve bu parametrelere karşılık gelen durum dizisi çıkarılmaktadır. Bu durum dizisi üç modele beslenerek en yüksek olasılığı üreten model tespit edilmektedir.



Şekil-4: Üç durumlu Markov modeli. Bu modellerden üç tanesi konuşma, yürüme ve düşme sesleriyle eğitilmiştir.

Yaptığımız deneylere göre yürüme sesi işareti için farklı durumlar arasındaki geçiş sayısı aynı durumlarda kalma sayılarından fazla olmaktadır. Buna karşın, sıradan bir konuşma için hesabedilen κ değerleri yüksek değerler almakta, bu da konuşma için eğitilen Markov modelinde a_{33} olasılığının yüksek değer almasına sebep olmaktadır. Düşme sesinde ise uzun bir sessizlikten sonra κ değerlerinde ani bir yükselme ve bir süre sonra da ani bir azalma gözlenmektedir. Böylelikle düşme sesi işareti için S1 ve S3 durumlarında bulunma ve bu durumlar arasındaki geçiş olasılıkları S2'de bulunma, S2'den çıkma ve S2'ye gelme olasılıklarından daha fazla olmaktadır.

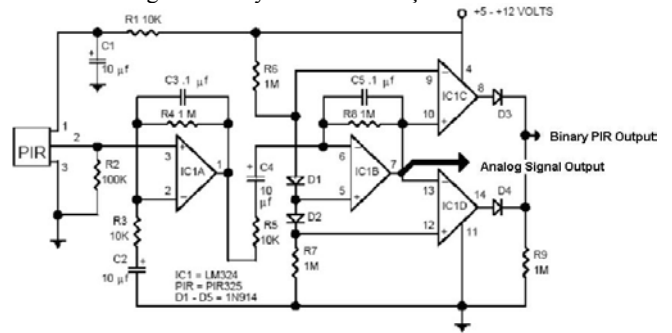
3. Pasif Kızılberisi Sensör (PIR) İşaretinin Çözümlemesi

Piyasadaki mevcut PIR sensörleri görüş açıları içinde hareket olup olmamasına göre ikil çıktı üretmektedir. Biz bu çalışmada sensör arayüz devresindeki son basamağı çıkarıp, sensör tarafından üretilen analog elektrik sinyalini doğrudan elde ettik. Bu sinyali 300 Hz'le örnekleyip işledik. İlgili devre Şekil-5'te sunulmuştur.

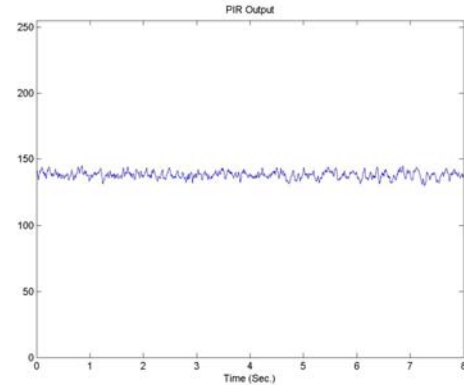
PIR sensöründen gelen işaretin şiddeti, sensörün görüş açısı içindeki 'sıcak' nesnelerin hareketleriyle orantılıdır. Örnek bir PIR işareti Şekil-6'da sunulmuştur. Bu haliyle PIR sensörü yalnızca akustik sensörlerden gelen işaretlerin analiziyle verilecek konuşma veya yürüme kararının doğruluğu büyük ölçüde destekler bir özellik gösterecektir. Eğer bir odada PIR sensörü herhangi bir hareket tespit edemediyse, o odadan gelen diğer sensör sinyalleri işleme tabi tutulmayabilir. Öte yandan PIR sensöründen gelen hareket varlığını bildiren sinyal bir kimseye ait olabileceği gibi, evcil bir hayvana da ait olabilir. Bir kimsenin hareketinden kaynaklanan PIR sinyalinin şiddeti, çoğunlukla bir evcil hayvandan

kaynaklanan işaretin şiddetinden az olmaktadır. Ancak, çıktı sinyalinde basit bir şiddet karşılaştırmasıyla sınıflandırmayı gerçekleştiremeyiz çünkü PIR sinyalinin şiddeti uzaklıkla azalmaktadır. Şekil-7'de yürüyen bir kişiye ve bir kediye ait PIR sinyalleri gösterilmiştir.

Kedi ve insana ait PIR sinyalleri akustik sensör işaretinin analizine benzer biçimde Şekil-4'te gösterilen Markov modellerinin PIR sensöründen gelen sinyale ait dalgacık katsayılarıyla eğitilmesiyle sınıflandırılmaktadır. PIR sensöründen odada hareket yokken elde edilen sinyalin doğru akım değeri odanın sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Analizi bu değişimlerden bağımsız kılmak için tek seviyeli bir alt-band çözümüyle sıklık bandı [75Hz - 150Hz] arasındaki dalgacık katsayıları kullanılmıştır.



Şekil-5: PIR sensöründen analog işaret elde edilmesini sağlayan devreye ait devre şeması

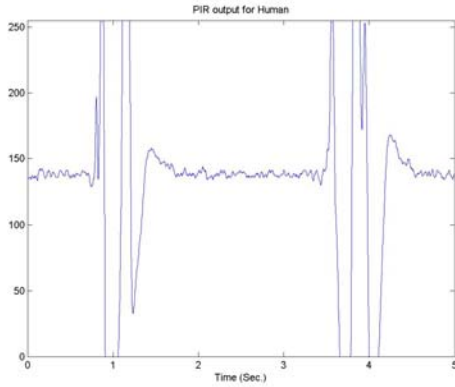


Şekil-6: Hareketin olmadığı bir odada kaydedilmiş, 300 Hz'le örneklenip 8 bit'le nicellenmiş bir PIR sinyali

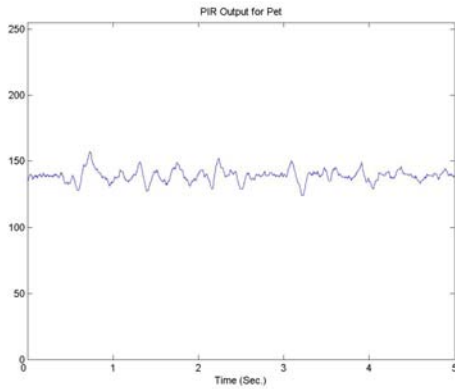
4. Deneysel Sonuçlar

Akustik ve PIR sensör çeşitleri için oluşturulan modeller bir kimseye ait ikişer dakikalık yürüme, düşme ve konuşma sesleriyle ve bir kediye ait bir oda içerisindeki rastgele hareketleriyle eğitilmiştir.

Yalnız ses verisi analiziyle gerçekleştirilen düşme tespitine ait test sonuçları, hem ses hem PIR verisi analiziyle yapılan düşme tespitine ait test sonuçlarıyla Tablo-1'de karşılaştırılmıştır. Farklı sensörlerce elde edilen sonuçlar mantıksal "ve" işlemiyle birleştirilmiştir. Sadece akustik sensör analizi yapıldığında yürüme ve konuşma durumlarında yanlış alarmlar olabilmektedir. Ancak tablonun son kolonundan da görüldüğü gibi bu alarmlar PIR sensörünün kullanılmasıyla giderilmiştir.



(a)



(b)

Şekil-7: PIR sensörüne 2 m uzaklıktaki (a)yürüyen bir kimeseye ve (b)çeşitli hareketler yapan bir kediye ait sinyaller.

Tablo-1: Toplam 163 kayıta ait tespit sonuçları ve yanlış alarm sayıları

Akustik Sinyal İçeriği	Kayıt sayısı	Düşme tespit edilen kayıt sayısı		Yanlış alarm üretilen kayıt sayısı	
		Sadece Akustik Analizle düşme tespiti	Hem Akustik hem PIR Analiziyle düşme tespiti	Sadece Akustik Analizle düşme tespiti	Hem Akustik hem PIR Analiziyle düşme tespiti
Yürüme+konuşma	16	7	0	7	0
Konuşma	55	19	0	19	0
Yürüme	53	4	0	4	0
Düşme	39	39	39	0	0

5. Sonuç

Bu bildiriye odalarının muhtelif kısımlarına pasif kızılberisi ve akustik sensörler yerleştirilmiş akıllı bir ev içerisinde düşen kişi tespiti için geliştirilen bir yöntem sunulmuştur. Sensör çıkışlarından elde edilen sinyallerden dalgacık dönüşümü tabanlı öznelik vektörleri çıkarılmış, bu vektörler sensör çeşidine göre ses ya da hareket aktivitesi tespiti

mekanizmalarına beslenmiştir. Düşmenin yanı sıra yürüme ve konuşma gibi aktivitelere ait öznelik vektörleri saklı Markov modelleri yardımıyla sınıflandırılmıştır. Farklı sensörlerden gelen sonuçlar nihai kararın verilmesinde kullanılmıştır.

6. Kaynakça

- [1] Barnes, N.M., Edwards, N.H., Rose, D.A.D., Garner, P.: Lifestyle Monitoring: Technology for Supported Independence. IEE Comp. and Control Eng. J. (1998).
- [2] Bonner, S.: Assisted Interactive Dwelling House: Edinvar Housing Assoc. Smart Tech. Demonstrator and Evaluation Site In: Improving the Quality of Life for the European Citizen (TIDE), (1997) 396–400.
- [3] McKenna, S.J., Marquis-Faulkes, F., 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).
- [4] Nait-Charif, H., McKenna, S.: Activity Summarisation and Fall Detection in a Supportive Home Environment. In Proc. of ICPR'04, (2004) 323-326.
- [5] Goforth, P. W.: Multi-event Notification System for Monitoring Critical Pressure Points in Persons with Diminished Sensation of the Feet. USPTO Patent Number 4647918, Issued on March 3rd, 1985.
- [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] Jabloun F., Cetin, A.E.: The Teager energy based feature parameters for robust speech recognition in car noise, In Proc. of IEEE ICASSP'99, (1999) 273-276.
- [9] Dimitriadis, D.-V., Maragos, P., Potamianos, A.: Robust AM-FM Features for Speech Recognition. IEEE Signal Processing Letters, vol. 12, pp.621-624, 2005.
- [10] Shi-Huang Chen, Jhing-Fa Wang: A wavelet-based voice activity detection algorithm in noisy environments. In Proc. Int. Conf. on Electronics, Circ. and Systems (2002), 995-998.