

Vibrasyon ve PIR Algılayıcılar Kullanılarak Çevre Destekli Akıllı Ev Tasarımı

Ambient Assisted Smart Home Design Using Vibration and PIR Sensors

Ahmet Yazar, A. Enis Çetin
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Bilkent Üniversitesi
Ankara, Türkiye
yazar@ee.bilkent.edu.tr, cetin@bilkent.edu.tr

Özetçe—Yalnız başına yaşayan kişiler için evlerindeki herhangi bir acil durumun otomatik olarak tespit edilerek gerekli yardım birimlerinin uyarılması, teknolojinin ucuzlamasıyla beraber mümkün hale gelmiştir. Bu bildiride, ucuz algılayıcılar kullanılarak çevre destekli bir akıllı ev tasarımı için yapılmış çalışmalar anlatılmaktadır. Ev içerisinde düşen insan tespitine yönelik yeni önerilen yöntemde, evin bir odası içerisinde iki tane pasif kızılberisi algılayıcı aynı anda kullanılarak insan hareketinin algılandığı alanın yerden yüksekliğine bağlı bir tespit algoritması geliştirilmiştir. Hareketsiz insan tespiti üzerine yapılan çalışmalar, düşen insan tespiti çalışmalarıyla birleştirilerek acil durumlarda kullanılması amacıyla bir akıllı ev tasarımı gömülü sistem olarak gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler — *vibrasyon algılayıcı; PIR algılayıcı; düşen insan tespiti; hareketsizlik tespiti; gömülü sistemler.*

Abstract—Intelligent ambient assisted living systems for elderly and handicapped people become affordable with the recent advances in computer and sensor technologies. In this paper, fall detection algorithm using multiple passive infrared sensors is developed. As a novel method for detecting a falling person, two passive infrared sensors are used concurrently in a room and developed a determination algorithm depending on the height at which the falling event is happened. Motionless detection system is integrated with the falling person detection system to provide a complete solution. Detection algorithms are implemented using embedded microprocessors.

Keywords—*vibration sensor; PIR sensor; falling person detection; motionless detection; embedded systems.*

I. GİRİŞ

Son on yıllık süreçte, çeşitli algılayıcı ve işlemcilerin oldukça ucuzlamasıyla beraber, teknolojinin insanların yaşam alanlarının her yerine nüfuz etmesi kaçınılmaz bir hal almıştır. Akıllı ev tasarımları da bu noktada önemli bir rol üstlenmektedir. Yapılan AR-GE çalışmaları ile, ucuz ve kullanıcı dostu akıllı ev tasarımları geliştirilmesi sağlanarak insanların yaşam kalitesini artırmaya yönelik çözümler bulunması hedeflenmektedir. Akıllı ev tasarımlarının bakıma muhtaç kişilerin başkalarına ihtiyaç olmadan yaşamalarına olanak sağlamasıyla, farklı donanımları kullanan birçok akıllı ev çalışması yapılmıştır [1]. Yapay gözü sistemleri kullanılarak ev içerisinde bir kişinin takibi ve bu kişinin hareketlerinin sınıflandırılması üzerine uygulamalar geliştirilmiştir [2],[3]. Son yıllarda popülerliğini artıran Kinect türü algılayıcıların akıllı ev tasarımlarında da kullanımının arttığı görülmektedir [4],[5]. Giyilebilir algılayıcılar ise hem tek başlarına hem de

diğer sistemlere yardımcı olacak şekilde akıllı ev tasarımlarında görev alabilmektedir [6],[7]. Farklı algılayıcılar ile oluşturulmuş algılayıcı ağlarına dayalı sistemler de acil durum tespiti amacıyla tasarlanmış akıllı evlerde kullanılabilmektedir [8].

Mevcut akıllı ev tasarımları, çevre destekli sistemler ve giyilebilir sistemler olmak üzere iki farklı başlık altında değerlendirilebilir. Çevre destekli sistemlerin donanımları içerisinde, yapay gözü sistemleri, Kinect türü algılayıcılar, çeşitli algılayıcı ağları sayılabilir. Giyilebilir sistemlere örnek olarak da ivmeölçer gibi algılayıcılar ile oluşturulmuş taşınabilir modüller gösterilebilir. Çevre destekli sistemlerden yapay gözü sistemlerinin bir olumsuz özelliği, işlenen görüntülerin her ne kadar ev dışına çıkmıyor olduğu bilinse de, evdeki kişide sürekli izleniyormuş psikolojisinin oluşabilmesidir. Yine çevre destekli sistemlerden, Kinect türü algılayıcıların yüksek maliyetleri bir piyasa ürünüde kullanılabilecek seviyede değildir. Yapay gözü sistemleri ve Kinect türü algılayıcılardan evin her noktasını kapsayacak sayıda kullanılması gerekmektedir. Çünkü bu sistemlerin görüş açısı dışına çıktığında ev içerisinde gerçekleşen olaylar takip edilemeyecektir. Giyilebilir sistemlerin olumsuz özellikleri ise, bu giyilebilir modüllerin sürekli olarak kişinin üzerinden bulunması gerekliliğinden dolayı ortaya çıkabilecek durumlardan kaynaklanmaktadır. Örneğin, yaşlı bir kişi bu modülü takmayı unutabilir veya bazı zamanlarda modülü takmak istemeyebilir. Çevre destekli sistemlerin giyilebilir sistemlere karşı bir üstünlüğü, çalışmaları için gerekli elektrik enerjisinin doğrudan evin elektrik hattından sağlanabiliyor olmasıdır.

Düşük fiyatlı algılayıcılardan oluşturulmuş algılayıcı ağları ile çevre destekli ve özel yaşama saygılı akıllı evler tasarlamak mümkündür. Bir önceki çalışmamızda, vibrasyon ve pasif kızılberisi (PIR) algılayıcılar kullanılarak düşen insan tespiti üzerine bir yöntem önerilmişti [9]. Önceki çalışmamızda vibrasyon algılayıcı işaretlerinin frekans içeriği incelenerek düşen bir insanın oluşturduğu algılayıcı işaretleri, düşme olayının gerçekleşmediği zaman aralıklarında oluşan algılayıcı işaretlerinden ayrıştırılmaya çalışılmıştı. PIR algılayıcı kullanılarak ise, düşen insan tespiti sırasında oda içerisinde gerçekten bir kişi olup olmadığı teyit edilerek muhtemel yanlış alarmların önüne geçilmek istenmişti. Bu bildiride, önceki çalışmalara ek olarak yeni bir düşen insan tespiti yöntemi önerilmektedir. Ayrıca, oda içerisindeki hareketsiz insanın tespiti üzerine de çalışmalar yapılmıştır. PIR algılayıcılar kullanılarak kontrolsüz alev tespiti, evcil hayvan hareketlerinin insan hareketlerinden ayrıştırılması ve tehlikeli gaz

sızıntılarının tespitine yönelik yapılmış önceki çalışmalar, düşen insan tespiti uygulaması ile birleştirilerek Arduino Uno32 mikroişlemciler ile bir akıllı ev tasarımı bilgisayardan bağımsız olarak gerçekleştirilmiştir [10],[11]. Ev içerisinde tek başına yaşayan kişi için normal olmayan bir durum tespit edildiğinde, sabit hat üzerinden otomatik telefon etme özelliği olan bir modül ile istenilen bir kişinin telefonunun çaldırılmasıyla bu kişi uyarılabilmektedir.

Bildirinin ikinci kısmında düşen insan tespiti ile ilgili yeni önerilen yöntemler tanıtılmıştır. Üçüncü kısımda hareketsiz insanın tespiti üzerine yapılan çalışmalar anlatılmıştır. Yapılan deneyler ve sonuçlar sırasıyla dördüncü ve beşinci kısımlarda sunulmuştur.

II. DÜŞEN İNSAN TESPİTİ

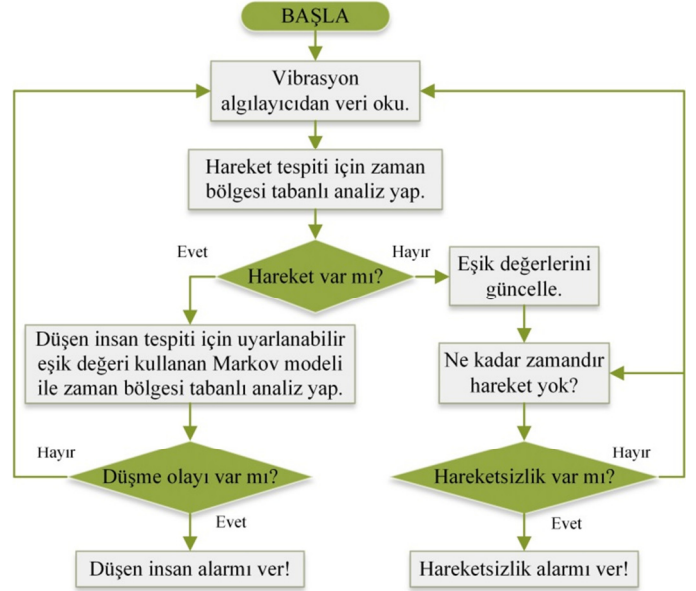
Yalnız başına yaşayan yaşlıların ev içerisinde yere düşerek kalkamamaları durumunda acil yardımın gecikmesiyle oluşabilecek problemlerin önüne geçebilmek için otomatik düşen insan tespitine yönelik farklı çalışmalar hızla artmaktadır [12]. Düşen insan tespitine yönelik önerdiğimiz iki yeni yöntemden ilkinde, vibrasyon algılayıcı işareti zaman bölgesi tabanlı olarak işlenerek uyarlanabilir eşik değerli ve üç-durumlu Markov modeli ile sınıflandırılmaktadır. Diğer yöntemde ise, iki tane PIR algılayıcının uygun şekillerde yerleştirilmesiyle hareket tespitine dayalı bir algoritma geliştirilmiştir. Son olarak bu iki farklı yöntemin beraber kullanıldığı sistem de anlatılmıştır.

A. Vibrasyon Algılayıcı Kullanılarak Oluşturulmuş Sistem

Vibrasyon algılayıcıları, zemindeki titreşimleri algılayarak elektriksel işaretlere dönüştüren donanımlardır. Ev içerisinde vibrasyon algılayıcıları kullanılarak yere düşen bir kişinin zeminde oluşturacağı titreşimlerin diğer titreşim kaynaklarından ayırt edilmesiyle düşen insan tespiti üzerine çalışılmıştır. Vibrasyon algılayıcıları çevre zeminlerdeki tüm titreşimleri algıladığından dolayı, algılayıcı işaretinin içerisinde birçok gürültü bulunabilmektedir. Bu gürültü miktarı, binanın zemin yapısıyla veya daire içerisinde çalışan cihazların ürettiği titreşimlerle değişebilmektedir. Uyarlanabilir algoritmaların geliştirilmesi, vibrasyon algılayıcı işaretindeki değişen gürültü miktarıyla başa çıkabilmek için önemlidir. Ayrıca vibrasyon algılayıcılar komşu dairelerden mümkün olduğunca uzak ve evin merkezine yakın şekilde konumlandırılmalıdır.

Şekil 1'den de görülebileceği üzere, düşme olayının tespiti için uyarlanabilir eşik değerli Markov modelleri kullanılmıştır. Zemindeki titreşimlerden oda içerisinde insan hareketi olmadığı sonucuna ulaşırsa aşağıdaki algoritma ile arka plandaki gürültünün yeni varyansı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Markov modellerinde kullanılan eşik değerleri de arka plandaki gürültünün miktarına göre güncellenmektedir. σ_k^2 işaret penceresinin anlık varyansı, $\sigma_{k,g}^2$ ise arka plandaki

$$\begin{aligned} & \text{if } \sigma_k^2 > 1.1 \times \sigma_{k-1,g}^2 + \varepsilon \\ & \quad \sigma_{k,g}^2 = \sigma_{k-1,g}^2 \\ & \text{else} \\ & \quad \sigma_{k,g}^2 = \alpha \times \sigma_{k-1,g}^2 + (1 - \alpha) \times \sigma_k^2 \end{aligned}$$



Şekil 1. Vibrasyon algılayıcı kullanılan yöntemin algoritma akış şeması.

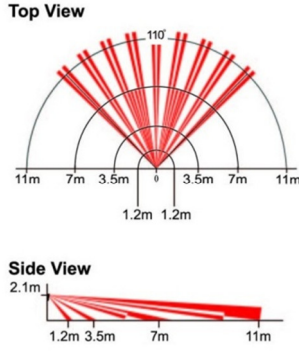
gürültünün değişen varyansı olarak tanımlanmıştır.

Vibrasyon algılayıcılarının kullanıldığı düşen insan tespiti uygulamasında, tespit sadece düşme anında yapılabilmektedir. Düşme olayının öncesinde ve sonrasında oluşan işaretler anlamlı bir bilgi sağlayamamaktadır. Zeminde titreşim oluşturmadan bir yerlere tutunarak yavaş yavaş düşülmesi durumunda düşme tespit edilmesinin oldukça güç olduğu görülmüştür. Çevre zeminlerden gelen titreşimlerle de sistemin kötü yönde etkilenmesi mümkün olabilmektedir. Bu sorunları çözmek için, iki tane PIR algılayıcı kullanılarak düşme olayının bir süreç olarak incelendiği yeni bir yöntem geliştirilmiştir.

B. Çoklu PIR Algılayıcı Kullanılarak Oluşturulmuş Sistem

Sıcaklık yayan nesneler aynı zamanda kızılberisi ışınlam da yaymaktadırlar. PIR algılayıcıları, insan gözünün göremediği kızılberisi ışınlamaları elektriksel işaretlere çevirmeye yarayan donanımlardır. Bir insanın yaydığı kızılberisi ışınlamaların elektriksel işaretlere dönüştürülmesiyle, algılayıcıların görüş açıları içinde insan hareketi olup olmadığı anlaşılabilmektedir. Algılayıcı işaretinin oluşmasında, algılayıcı kutusu yüzeyine yerleştirilen Fresnel lensin de önemli bir etkisi vardır. Bina içlerinde ortak kullanılan alanlarda harekete duyarlı olarak ışıkların otomatik yakılması amacıyla sıkça kullanılan PIR algılayıcıların lens yapıları, genelde tavana yakın şekilde yerleştirilmek üzere tasarlanmıştır. Şekil 2'de bir PIR algılayıcının görüş açısına örnek gösterilmiştir. PIR algılayıcının lens yapısı tasarlanırken, görüş açısının sadece aşağı tarafa doğru olması hedeflenmiştir.

İki tane PIR algılayıcı altlı üstlü uygun şekilde odanın bir köşesine yerleştirilerek düşen insan tespiti için farklı yükseklikteki hareketler birbirinden ayrıştırılmaya çalışılmıştır. Bir tane PIR algılayıcı, evde yaşayan kişinin diz hizasındaki yükseklikte ve görüş açısı aşağı tarafa bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Diğer PIR algılayıcı ise, aynı kişinin bel hizasındaki yükseklikte aşağıdaki algılayıcıya göre ters



Şekil 2. Paradox 476+ PIR algılayıcının ürün katalogundaki görüş açıları.

bağlanmış olarak ve görüş açısı yukarı tarafa doğru bakacak şekilde konumlandırılmıştır. Aşağıdaki algılayıcı oda içerisinde diz hizasının altındaki hareketleri algılayarak, yukarıdaki algılayıcı bel bölgesinin yukarıdaki hareketleri algılamaktadır. Algoritmanın en temel haliyle, eğer bir süre yukarıdaki PIR algılayıcı hareket algılamaz ama aşağıdaki PIR algılayıcı hareket algılıyorsa düşen insan ihtimali var denilmektedir. Şekil 3'te iki PIR algılayıcının kullanıldığı sistemin algoritma akış şeması gösterilmiştir.

İki PIR algılayıcının kullanıldığı yöntemde, zeminde titreşim oluşmadığı durumlardaki yavaş düşmeler de tespit edilebilmektedir. PIR algılayıcılar ev dışından herhangi bir şekilde etkilenmemektedir. Sadece düşme anında değil de, istenilen zaman aralığında inceleme yapılabildiğinden dolayı düşen kişinin yeniden ayağa kalktığı da anlaşılabilmektedir. Fakat düşen insanın tespit edilerek acil yardım çağırılmasına kadar geçen süre kritik bir öneme sahiptir. PIR algılayıcılarının kullanıldığı sistemde düşme anından sonra belli bir süre odanın gözlenmesi gerektiğinden, düşme olayı bir miktar geç sezelebilmektedir. Bu soruna çözüm olması için iki PIR algılayıcı ve vibrasyon algılayıcı beraber kullanılarak bir yöntem önerilmiştir.

C. Vibrasyon ve Çoklu PIR Algılayıcılar Birlikte Kullanılarak Oluşturulmuş Sistem

Vibrasyon algılayıcı işaretinin işlenmesiyle muhtemel bir düşme olayı tespit edilirken, aynı anda iki PIR algılayıcıdan ortamdaki hareketlerin analiz edilmesiyle düşme olayının daha yüksek oranda doğrulukla tespit edilmesi sağlanmıştır. Vibrasyon algılayıcı işaretinin sınıflandırılması sonucu düşen insan olarak sınıflandırma yapıldığında, sadece iki PIR algılayıcının kullanıldığı sistemde daha kısa süreli bir analiz yapılarak daha hızlı bir tespit algoritması oluşturulmuştur. Şekil 4'te bu yöntemin algoritmasının akış şeması görülebilmektedir.

III. HAREKETSİZ İNSAN TESPİTİ

Ev içerisinde belli bir süre hareketsiz kaldığı takdirde bu hareketsizliğin tespit edilebilmesi, acil durumlar için tasarlanmış bir akıllı ev için kritik öneme sahiptir. Yalnız başına yaşayan kişi düşüp olduğu yerde kalabilir, yatağından kalkamayacak bir durumda olabilir veya oturduğu koltuktan kalkamayabilir. Hareketsizlik tespiti, bir düşmenin kaçırılması durumunda geç de olsa alarm üretilmesini güvence etmektedir.



Şekil 3. İki vibrasyon algılayıcı kullanılan yöntemin algoritma akış şeması.

Bu sebeple hareketsizlik tespiti, düşen insan tespiti algoritmalarının önemli bir parçası olarak da düşünülebilir. Sistem uzun süre hareketsizlik tespit ettiğinde uyarıcı bir mesaj vererek evdeki kişinin hareket etmesini de sağlayabilir. Örneğin, yaşlı insanlar özellikle kış aylarında sürekli oturmak istemektedirler.

Vibrasyon algılayıcı kullanılarak hareketsiz insan tespiti yapılırken, zeminde belli bir süre yürüme esnasında oluşan titreşimler algılanmamışsa hareketsizlik var denilmektedir. İki PIR algılayıcının kullanıldığı sistem de ise, aşağıdaki algılayıcının hareket algılayıp algılamaması dikkate alınmaktadır. Yatağına yatan bir kişi yukarıdaki algılayıcının hareket algılamasına sebep olabilecektir. Fakat aşağı taraftaki algılayıcının hareket algılamaması, evde hareketsizlik var anlamına gelmektedir.

IV. DENEYLER

Yapılan deneylerde GS-20DX vibrasyon algılayıcı ve Paradox 476+ PIR algılayıcılar kullanılmıştır. Vibrasyon algılayıcı için 500 Hz ve PIR algılayıcılar için 100 Hz örnekleme frekansları kullanılmıştır. Her iki algılayıcıda da 8 bit çözünürlük tercih edilmiştir. Sonuçların alındığı veri kümesi, tüm algılayıcılardan aynı anda alınmış bir dakikalık kayıtlar içeren toplam bir saatlik kayıttan oluşmaktadır. Vibrasyon algılayıcı işareti ikişer saniyelik pencereler halinde işlenirken, PIR algılayıcılar birer saniyelik pencereler halinde işlenmiştir. Birer dakikalık düşme kayıtları içerisinde, düşme öncesi, düşme anı ve düşme sonrasındaki durumların mümkün olduğunca gerçekçi olmasına dikkat edilmiştir. Toplam yirmi dakika düşme kaydı, yirmi dakika düşme olayı dışındaki normal insan hareketleri, yirmi dakika da hareketsizlik kayıtları alınmıştır. Normal insan hareketleri içerisinde yürüme, koşma, koltuğa oturma, eşya sürüklenme, eşya yere düştükten sonra eğilip alma, kapının aniden çarpması gibi çeşitli hareketler bulunmaktadır. Kayıtlar, yeni bir binanın üçüncü katında beton zeminde, eski bir evin ikinci katında parke zeminde ve yeni bir binanın dördüncü katında parke zeminde olmak üzere üç farklı ortamda alınmıştır.

Tablo 1. Vibrasyon Algılayıcı Kullanıldığında Hata Matrisi

Gerçek	Tahmin	
	Düşme	Düşme değil
Düşme	18	2
Düşme değil	4	36

Tablo 2. Çoklu PIR Algılayıcı Kullanıldığında Hata Matrisi

Gerçek	Tahmin	
	Düşme	Düşme değil
Düşme	19	1
Düşme değil	2	38

Tablo 3. Vibrasyon ve Çoklu PIR Algılayıcılar Birlikte Kullanıldığında Hata Matrisi

Gerçek	Tahmin	
	Düşme	Düşme değil
Düşme	20	0
Düşme değil	2	38

Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3 üzerinden de görülebileceği gibi, en yüksek doğruluk oranı vibrasyon ve çoklu PIR algılayıcıları beraber kullanılarak elde edilmiştir. Vibrasyon algılayıcı tek başına kullanıldığında yavaş düşmeler tespit edilemezken, algılayıcıya çok yakinken yere sert oturulması sırasında yanlış alarm oluşabilmektedir. PIR algılayıcılarının kullanıldığı sistemde, yere kendi isteğiyle oturan bir kişinin bir müddet yerden kalkmaması durumunda yanlış alarm oluştuğu gözlenmiştir. Vibrasyon ve çoklu PIR algılayıcılarının beraber kullanıldığı sistem, sadece PIR algılayıcılarının kullanıldığı sisteme kıyasla daha hızlı tespit yapabilmektedir.

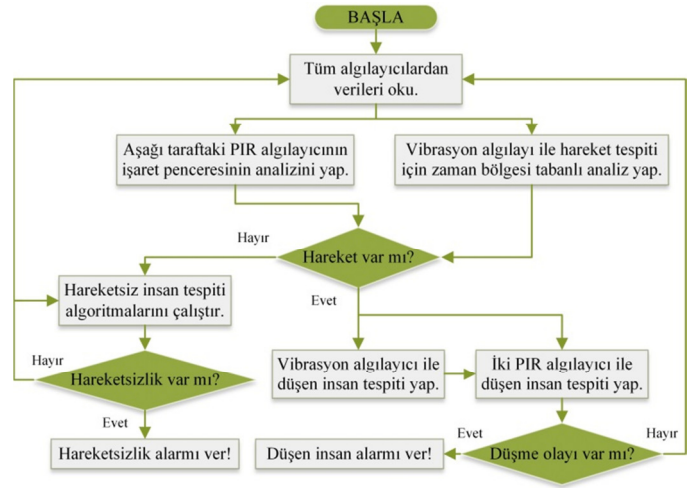
V. SONUÇLAR

Bu bildiride, vibrasyon ve çoklu PIR algılayıcıları kullanılarak acil durumlarda alarm üretebilen bir akıllı ev tasarımı anlatılmıştır. Bu algılayıcılar kullanılarak düşen insan tespiti ve hareketsizlik tespiti üzerine yeni yöntemler önerilmiştir. Önceki yapılan çalışmalardan kontrolsüz alev tespiti, evcil hayvan hareketlerinin insan hareketlerinden ayrıştırılması ve tehlikeli gaz sızıntılarının tespiti algoritmaları akıllı ev sistemine eklenmiştir.

Tüm algoritmalar Arduino Uno32 mikroişlemciler üzerinde bilgisayardan bağımsız olarak çalıştırılmıştır. Arduino mikroişlemciler laboratuvar içerisindeki kabinlere dağıtılarak bir ev ve odalarının benzetimi üzerinde gerçek zamanlı olarak test yapılmıştır. Herhangi bir acil durumda, otomatik telefon etme modülü ile istenilen kişiye haber verilebilmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Riquebourg, V. et.al. , "The Smart Home Concept : our immediate future," E-Learning in Industrial Electronics, 2006 1ST IEEE International Conference, pp.23-28, 18-20 Dec. 2006.

**Şekil 4.** Vibrasyon ve çoklu PIR algılayıcıların birlikte kullanıldığı yöntemin algoritma akış şeması.

- [2] Quoc, C.N. et.al. , "Real-Time Human Tracker Based on Location and Motion Recognition of User for Smart Home," Multimedia and Ubiquitous Engineering, 2009. MUE '09. Third International Conference, pp.243-250, 4-6 June 2009.
- [3] Toreyin, B.U.; Dedeoglu, Y.; Cetin, A.E.; , "HMM based falling person detection using both audio and video," Lecture Notes in Computer Science, vol. 3766, pp.211-220, 2005.
- [4] Ben Hadj Mohamed, A. et.al. , "Using a Kinect WSN for home monitoring: Principle, network and application evaluation," Wireless Communications in Unusual and Confined Areas (ICWCUCA-2012), pp.1-5, 28-30 Aug. 2012.
- [5] Mastorakis, G.; Makris, D.; , "Fall detection system using Kinect's infrared sensor," Journal of Real-Time Image Processing, pp.1-12, March 2012.
- [6] Nyan, M.N.; Tay, F.E.; Murugasu, E.; , "A wearable system for pre-impact fall detection," Journal of Biomechanics, 41(16), pp.3475-3481, Dec 2008.
- [7] Yavuz, G.R.; Yalcin, H.; Akarun, L.; Ersoy, C.; , "Wavelet transform based fall detection," 19th Signal Processing and Communications Applications (SIU-2011), pp.142-145, 20-22 April 2011.
- [8] Medjahed, H.; Istrate, D.; Boudy, J.; Baldinger, J.-L.; Dorizzi, B.; , "A pervasive multi-sensor data fusion for smart home healthcare monitoring," Fuzzy Systems (FUZZ), 2011 IEEE International Conference on, pp.1466-1473, 27-30 June 2011.
- [9] Yazar, A.; Toreyin, B.U.; Cetin, A.E.; , "Human activity classification using vibration and PIR sensors," 20th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU-2012), pp.1-4, 18-20 April 2012.
- [10] Erden, F.; Toreyin, B.U.; Soyer, E.B.; Inac, I.; Gunay, O.; Kose, K.; Cetin, A.E.; , "Wavelet based flame detection using differential PIR sensors," 20th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU-2012), pp.1-4, 18-20 April 2012.
- [11] Erden, F.; Soyer, E.B.; Toreyin, B.U.; Cetin, A.E.; , "VOC gas leak detection using Pyro-electric Infrared sensors," Acoustics Speech and Signal Processing (ICASSP-2010), pp.1682-1685, 14-19 March 2010.
- [12] Mubashir, M. et.al. , "A survey on fall detection: Principles and approaches," Neurocomputing, Volume 100, pp.144-152, 2013.