

CEP BİLGİSAYARI (PDA) TABANLI TAŞINABİLİR KABLOSUZ ELEKTROKARDİYOGRAM İZLEME VE ALARM SİSTEMİ

Veysel ASLANTAŞ¹

Rifat KURBAN²

^{1,2}Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Mühendislik Fakültesi

Erciyes Üniversitesi, 38039, Melikgazi, Kayseri

¹e-posta: aslantas@erciyes.edu.tr

²e-posta: rkurban@erciyes.edu.tr

Anahtar sözcükler: Elektrokardiyogram, Cep bilgisayarı (PDA), Kablosuz haberleşme, Uzaktan sağlık izleme

ABSTRACT

This paper presents a pocket PC based portable wireless electrocardiogram (ECG) monitoring and alarm system. Human's ECG, body temperature and heart rate information are acquired and sent to the personal digital assistant (PDA) using IEEE 802.15.1 Bluetooth standard. If an emergency situation occurs, the PDA sends the information to the central server using WLAN or GSM/GPRS wireless technology. In this way, real-time remotely monitoring can be achieved. With the developed system, not only people can be monitored from outside of the hospital, but also an early treatment is possible. Furthermore locational data obtained from GPS receiver is shown on the digital map and sent to the related units. Thus, the proposed system makes the human's daily life easier and more comfortable.

1. GİRİŞ

Yaşlanan toplumların sağlık bakımlarındaki sıkıntılar bir çok ülkenin sorunu haline gelmiştir. 2025 dünya nüfusunun 761 milyonu 65 yaşının üzerinde olacağı tahmin edilmekte olup bu rakam 1990 verilerinin iki katı civarındadır [1]. Sağlık bakımı sağlayıcıları ekonomik ve akıllı sistemler meydana getirerek kalp rahatsızlıkları ve Alzheimer hastalığı gibi kronik rahatsızlık çeken insanların yaşamlarını kolaylaştırmayı planlamaktadır. Koroner kalp rahatsızlıkları, dünya genelindeki ölümlerin sebepleri arasında ilk sırada gelmekte, her yıl yaklaşık 7.2 milyon insan yaşamını çeşitli kalp rahatsızlıklarından dolayı kaybetmektedir [2]. Diğer bir yandan kablosuz haberleşme ve gömülü hesaplama teknolojisindeki gelişmelerle birlikte uzaktan sağlık izleme ve teletıp konusu son yıllarda gittikçe önem kazanmıştır. Böylece düşük maliyetli ve taşınabilir/giyilebilir uzaktan sağlık izleme sistemlerinin gerçekleştirilmesi ve bazı hastalıkların hastane dışından uzaktan izlenmesi mümkün hale gelmiştir [3].

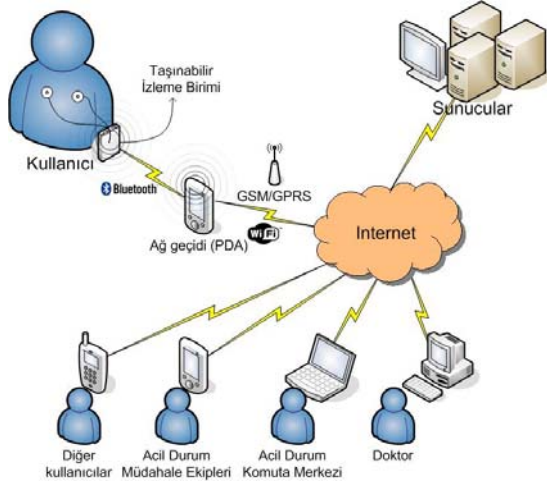
Uzaktan sağlık izleme sistemleri ile tıbbi parametrelerin her yerden sürekli izlenmesi ve bu izleme bilgilerine her yerden erişim hedeflenmektedir. Kablosuz haberleşme teknolojilerindeki maliyetin azalmasıyla, izleme sistemlerine bütünleştirilmesi gerçekleştirilmiş, dolayısıyla hastalara daha fazla hareketlilik sağlanmıştır. Uzaktan elektrokardiyogram (EKG) izleme sistemlerinde çeşitli gelişmiş telekomünikasyon teknikleri kullanılmaktadır ve ambulatuar elektrokardiyografi için çeşitli standartlar belirlenmiştir [4]. Bu tip izleme sistemleri, gerçek-zamanlı ve depola-ve-gönder olmak üzere iki şekilde incelenirler. Bugün pek çok taşınabilir Holter izleme ve kardiyak olay kayıt sistemleri ticari olarak satılmaktadır [5]. Ancak bu tip sistemlerde, EKG elektrodları kayıt ünitesine kablo ile bağlanmıştır. Bunların yanısıra İnternet [6], Bluetooth teknolojisi [7], GSM cep telefonu [8], WAP-tabanlı [9], kablosuz yerel alan ağları (WLAN) [10] ve GSM/GPRS teknolojilerini [11] kullanan sistemler önerilmiştir.

Eğer basit ama kablosuz bir EKG algılayıcısı tasarlanır ve hastanın kolayca kullanabileceği nitelikte olursa, taşınabilir bir bilgisayar ile entegre edilip kritik kardiyak durumları tespit edilebilir ve kalp ritm bozukluğu gibi rahatsızlıklar teşhis edilerek erken alarm sistemleri oluşturulabilir. Böyle bir sistem ticari olarak satılan cihazların aksine kolay kullanılabilir, ekonomik ve 24 saat sürekli olarak uzaktan EKG izlemeyi gerçekleştirebilir. Bu çözüm hastanın hareket kabiliyetini kısıtlamayacağı gibi gelişmiş alarm özellikleriyle de pek çok kardiyak rahatsızlıklarını önceden teşhis edebilecektir. Diğer bir yandan, aritmi hastaları için de alternatif bir Holter cihazı olarak kullanılabilir [12].

Bu çalışmada, sürekli olay kaydetme ve taşınabilir kablosuz EKG izleme için yeni bir çözüm sunulmuştur. Takip eden bölümlerde önerilen yaklaşım ve elde edilen sonuçlar verilmiştir.

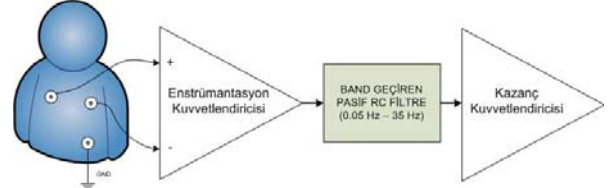
2. ÖNERİLEN SİSTEM

Kişinin EKG, vücut ısısı ve nabız gibi sağlık parametreleri Taşınabilir İzleme Birimi (TİB) adı verilen bir gömülü sistem vasıtasıyla elde edilerek, IEEE 802.15.1 Bluetooth kablosuz haberleşme standartında, ağ geçidi olarak ayarlanmış bir kişisel sayısal asistan cep bilgisayarına (PDA) aktarılması, bilgilerin cihaz üzerinde görüntülenmesi ve uzun dönemli olarak depolanması, acil durum söz konusu olduğunda bilgilerin merkezi sunucuya IEEE 802.11 WLAN veya GSM/GPRS teknolojisi ile kablosuz olarak İnternet üzerinden gönderilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu sayede, kişiye önemli ölçüde hareket özgürlüğü sağlanırken, günlük yaşamını aksatmadan tıbbi verilerin uzun dönemli olarak depolanması, merkezi sunucuya gerçek-zamanlı olarak aktarılması, olası acil durumlarda çeşitli alarmların tetiklenmesi ve ilgili kurumların harekete geçirilmesi sağlanmıştır. Önerilen yaklaşımın genel işleyiş diyagramı Şekil-1’de verilmiştir.



Şekil-1. Sistemin genel işleyişi.

EKG işaretleri, insan vücudu üzerinden algılanan, kalbin bir elektriksel aktivitesi sonucu ortaya çıkan belli tipteki işaretlerdir. 0.05 mV - 10 mV genliğinde olan bu işaretler bir enstrümantasyon yükseltici ile kuvvetlendirilirken, çevresel etmenlerden oluşan 50 Hz şebeke gürültüsü, biyolojik gürültü ve devredeki aktif ve pasif elemanlardan ve akım geçen yollardan oluşan gürültüler, pasif alçak geçiren ve yüksek geçiren RC süzgeçlerle bastırılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada, 3-elektrodlü sağ-bacak sürücülü bir kuvvetlendirici tasarlanmıştır. Tek kullanımlık Ag-CI elektrotlardan alınan işaretler, enstrümantasyon kuvvetlendiricisi olarak kullanılan Analog Devices’a ait AD620 işlemsel yükseltici ile yükseltilmiş ve 0.05 Hz - 35 Hz bant geçiren pasif RC süzgeçten geçirilmiştir. Son adımda elde edilen işaret mikrodenetleyicinin analog örnekleme aralığına çekilmek için National Semiconductor’a ait LF353 işlemsel yükseltici ile tekrar yükseltilmiştir. Şekil-2’de algılayıcının blok diyagramı verilmiştir.



Şekil-2. EKG algılayıcısı blok diyagramı.

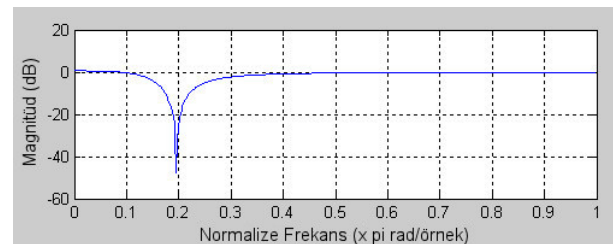
EKG verilerini örnekleme, analiz etmek ve PDA’ya iletmek için Taşınabilir izleme birimi (TİB) adı verilen bir gömülü sistem geliştirilmiş ve üzerinde çalışan yazılımın C dilindeki kod çatısı Tablo-1’de verilmiştir. TİB, EKG kuvvetlendiricisinin çıkışındaki analog işareti 512 Hz ile 8-bit çözünürlükte örneklemektedir. Diğer bir yandan, 50 Hz şebeke girişim gürültülerini tamamen basturmak için MATLAB ortamında 3. dereceden bir 50 Hz bant-durduran sayısal IIR Butterworth süzgeç tasarlanmıştır.

Tablo-1. TİB gömülü sistem yazılım çatısı.

```
#include <PIC16F877.h>
#int_rtcc //TIMER0 (RTCC) interrupt service routine
clock_isr(){ //2.048 ms’de bir tetiklenir (500 Hz)
    ekg_ornekle();
    ekg_filtrele();
    ekg_nabiz_bul();
    isi_oku(); //6 sn’de bir tetiklenir
    pakete_ve_gonder();
}
#int_rda //USART interrupt service routine
usart_isr(){
    paket_mod_degisimi_yap(); //mod=0 veya mod=1
}
main(){
    set_timer0();
    set_adc();
    enable_interrupts(INT_RTCC|INT_RDA);
    while (true){
        //NOP
    }
}
```

IIR süzgeçlerin genel ifadesi Denklem-1’de verilmiştir. Tasarlanan IIR süzgecin katsayıları kayar noktalı yani gerçek sayılardır. Mikrodenetleyicinin kısıtlı hafızası ve işlem yeteneği göz önüne alındığında katsayıların gerçek sayılar olarak kullanılması çok zor ve maliyetli hale gelmektedir. Bu yüzden elde edilen süzgeç katsayıları bir sabit ile çarpılıp yuvarlanarak tam sayı haline getirilmiştir. Kullanılan süzgeç katsayıları Tablo-2’de, tasarlanan süzgecin frekans cevabı ise Şekil-3’de verilmiştir.

$$H(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{b(1) + b(2)z^{-1} + \dots + b(n+1)z^{-n}}{1 + a(2)z^{-1} + \dots + a(n+1)z^{-n}} \quad (1)$$



Şekil-3. Tasarlanan IIR süzgecin frekans tepkisi.

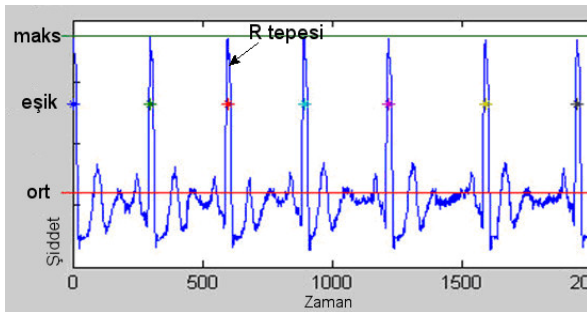
Tablo-2 Tam sayılara çevrilmiş süzgeç katsayıları.

B(1) = 133	B(2) = -219	B(3) = 133
A(1) = 150	A(2) = -219	A(3) = 117

Bu işlemin ardından EKG verileri analiz edilerek kişinin nabız bilgisi hesaplanmaktadır. Nabız bulma işleminde, EKG verisindeki R tepeleri arasındaki uzaklık bulunmakta ve enterpolasyon ile bir dakika içerisindeki frekansı hesaplanmaktadır. Nabız bulma algoritması 6 sn'lik veri üzerinde çalışmaktadır. Bu verinin ilk bir saniyesini öğrenme amaçlı kullanmakta ve sonraki 5 sn'lik kısımdaki R tepelerini bulmaktadır. Her bir tepe arasındaki uzaklığı göz önünde bulundurarak yaklaşık nabız oranlarını hesaplamakta ve bulunduğu değerlerin ortalamasını alıp nabız değeri olarak PDA'ya göndermektedir. Nabız bulma algoritmanın akışı şu şekildedir:

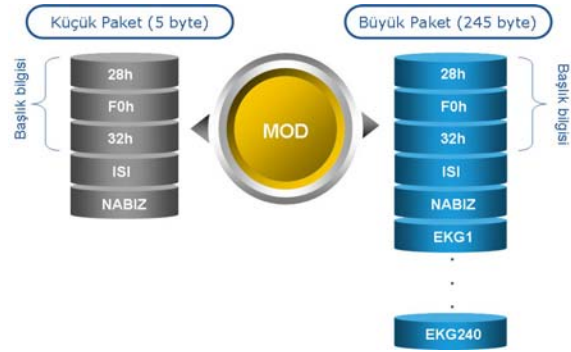
- 1 sn'lik EKG verisinin ortalama değerini bul (ort)
- 1 sn'lik EKG verisinin maksimum değerini bul (maks)
- Eşik seviyesini belirle, $Esik=(ort+maks)/2$
- 5 sn'lik kısım için eşik seviyesini geçen tepelerin yerlerini bul
- Tepeler arası mesafelerden nabızı hesapla
- Eğer nabız 40 -130 arasında değilse o değeri yoksay
- Elde ettiğin nabız değerlerinin ortalamasını al
- Bu işlemleri 6 sn'de bir tekrarla

Şekil-4'de algoritmanın EKG verileri üzerinde bulunduğu R tepeleri ve adaptif eşik seviyesi * karakterleri ile gösterilmiştir.



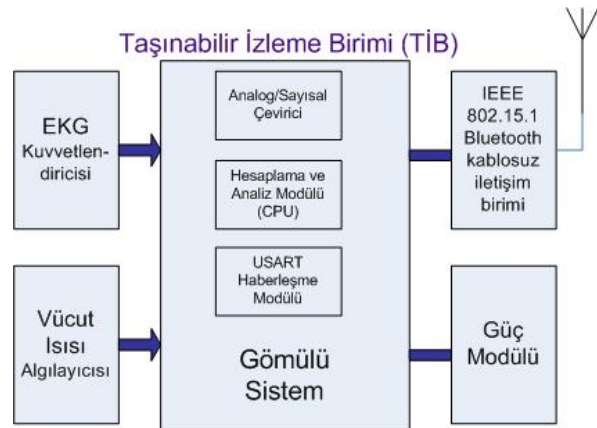
Şekil-4. Nabız bulma algoritması.

TİB, Maxim-Dallas'a ait DS1621 sayısal ısı algılayıcısından vücut ısısı bilgisini I²C protokolü üzerinden okumaktadır. Elde ettiği bu verileri (EKG, nabız ve ısı) Şekil-5'de belirtilen biçimde paketlemektedir. Sistemde iki farklı veri paketi bulunmaktadır. Küçük paket olarak adlandırılan paket toplam 5 byte uzunlukta olup, bunun ilk 3 byte'ı başlık bilgisini içermekte, geri kalan kısmı ise 1 byte ısı ve 1 byte hesaplanan nabız bilgisinden oluşmaktadır. Büyük paket olarak adlandırılan diğer paketin ilk 5 byte'ı küçük paketle aynı olup devamında 240 byte filtrelenmiş EKG işareti bulunmaktadır. Kullanıcı hangi paketi istediğini TİB'e bildirebilmektedir.

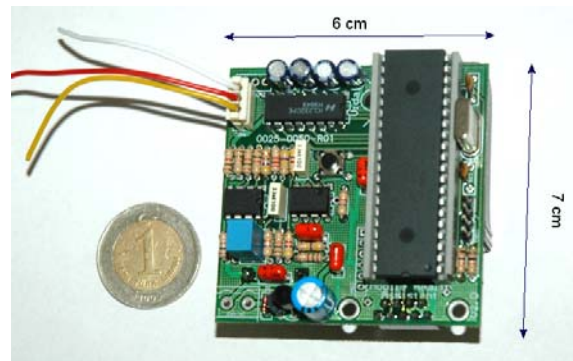


Şekil-5. Haberleşmede kullanılan veri paketleri.

Bu veriler, Bluetooth modülü vasıtasıyla PDA'ya aktarılmakta ve orada depolanmaktadır. Mikrodenetleyici tabanlı tasarlanan bu sistemde Microchip'e ait PIC16F877 entegresi kullanılmıştır. TİB'in blok diyagramı Şekil-6'da, tasarlanan prototip ise Şekil-7'de verilmiştir.



Şekil-6. Taşınabilir İzleme Birimi blok şeması.

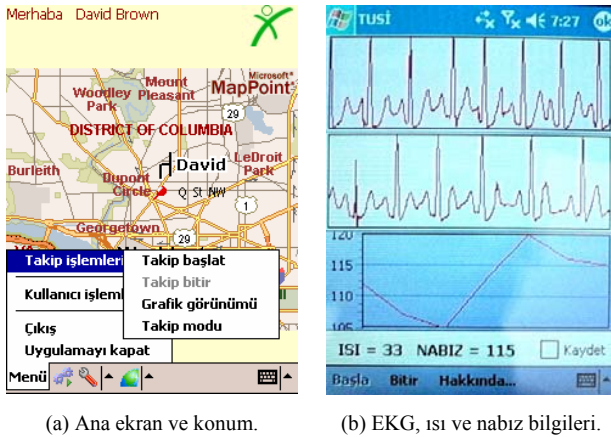


Şekil-7. Geliştirilen TİB prototipi.

Sistemde Web servisleri, Mobil kullanıcı yazılımı, Acil durum müdahale operatörü yazılımı, Acil durum ambulans ekibi yazılımı ve Web uygulaması olmak üzere 4 farklı yazılım bulunmaktadır. Ayrıca veritabanı üzerinde saklı yordamlar ve tetikleyiciler bulunmaktadır. Tüm yazılımların birbirleri ve veritabanı ile ilişkileri de geliştirilen XML Web servisleri vasıtasıyla sağlanmaktadır. Bütün yazılım mimarisi Microsoft Visual Studio 2005 ortamında .NET teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Web servisleri, sistemi oluşturan yazılımların, endüstri standardı olmuş haberleşme protokolleri üzerinde iletişim kurmasını sağlar. Web servislerini WWW üzerinden hizmet vermesi de kullanılabilirliği olabilecek en üst seviyeye çıkarmakta yardımcı olur. Güvenlik, yetkilendirme, kimliklendirme gibi işlemlerin tek bir merkez üzerinden yürütülmesi, takip sisteminin güvenliğinin sağlanmasında önemli bir rol oynar.

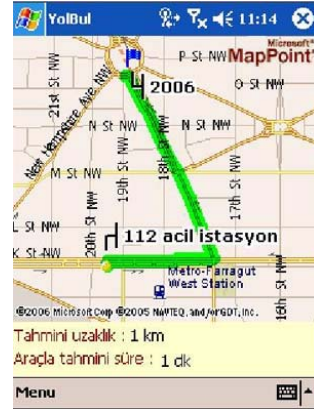
Mobil kullanıcı yazılımı, takip edilen kullanıcının taşınabilir cihazında (PDA) koştan bir uygulamadır. Sistem için çok büyük öneme sahiptir. Çünkü sistemin acil durum senaryolarını tetikleyen tüm analizler bu uygulamada gerçekleştirilir. TIB kullanıcından elde ettiği sağlık verilerini Bluetooth seri port profilini (SPP) kullanarak belli periyotlarda PDA'ya iletir. Bluetooth protokolündeki standart kriptolama seçenekleri aktif edilerek verilerin 3. şahıslara karşı korunması da gerçekleştirilmiş olur. Mobil kullanıcı yazılımındaki analiz motoru verilerin tanımlanan limitleri aşıp aşmadığına bakarak verilerin kritiklik derecesini belirler. Kritiklik derecesine göre, ya kullanıcıya bir uyarı mesajı gönderilir ya da bir alarm tetiklenip ilgili tüm acil sağlık istasyonlarına ve doktora bilgi verilir. Ayrıca PDA yazılımı yine Bluetooth teknolojisini kullanarak taşınabilir bir GPS alıcısıyla haberleşerek kişinin konum bilgisini elde eder ve Microsoft Mappoint servisleri ile ekranda gösterir. Mobil kullanıcı yazılımı ekran görüntüleri Şekil-8'de verilmiştir.



Şekil-8. PDA Mobil kullanıcı yazılımı.

Elde edilen veriler PDA ekranında gösterilirken acil bir durum olduğu anda WLAN kablosuz yerel alan ağı kullanılarak, eğer kapsama alanında bir WLAN erişim noktası yoksa PDA üzerindeki GSM/GPRS teknolojisi kullanarak merkezi sunucuya İnternet üzerinden Web servisleri aracılığıyla gönderir. Eğer kapsama alanında bir GSM operatörü de yoksa veriler PDA üzerinde depolanır ve ilk bağlantı gerçekleştiği zaman veriler yine merkezi sunucuya gönderilir. Veri trafiğini azaltmak ve verimi yükseltmek için veriler gönderilmeden Gzip algoritması ile yüksek oranda sıkıştırılır.

Acil durum ambulans ekibi yazılımı, kritik durumdaki hastaya müdahale edecek ekibin kullandığı yazılımdır. Takip edilen kişilerin sağlık değerleri kritik bir durum arzettiğinde bir alarm meydana gelir ve acil durum ambulans müdahale ekip yazılımına iletilir. Bu yazılım ekip ile hastanın konumunu PDA ekranında gösterir ve aradaki en kısa yolu işaretleyerek hastaya çok hızlı bir şekilde ulaşılmasını sağlar. Şekil-9'da acil durum ambulans müdahale ekip yazılımının PDA ekran görüntüsü görülmektedir.



Şekil-9. Acil durum ambulans müdahale ekip yazılımı.

Acil durum müdahale operatör yazılımı ise 112 acil servis komuta merkezindeki operatörlerin kullandığı bir yazılımdır ve Win32 mimarisinde tasarlanmıştır. Bu program sayesinde operatör, takibi yapılan kişinin ölçülen parametrelerini (EKG, nabız ve ısı) gerçek zamanlı olarak görür, sesli iletişime geçerek durumunu daha iyi analiz eder ve kişiyi yönlendirir. Böylece kişiye etkin bir müdahale ile durumunun daha da kötüleşmeden sağlık kurumlarına iletilmesi sağlanır. Aynı zamanda operatör, acil durumları sayısal harita üzerinde ayrıntılı şekilde görebilir.

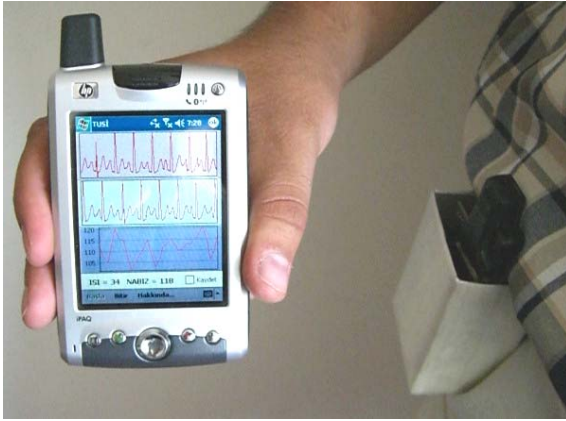


Şekil-10. Acil durum müdahale operatör yazılımı.

Program üzerinden, takip edilen kişinin harita üzerinde konumu, takip edilen kişinin bulunduğu yere en yakın sağlık kuruluşları, kişinin sisteme kayıtlı bilgileri, EKG, sıcaklık ve nabız verileri grafiksel

olarak, acil yardım ekiplerinin durumu, takip edilen kişinin periyodik önerileri ve yapılmışlık durumları, takip edilen kişinin oluşan acil durumları gibi bilgilere ulaşılabilir. Acil durum müdahale operatör yazılımının ana ekranı Şekil-10'da verilmiştir.

Diğer bir yandan Web uygulaması ile kişinin durum bilgileri, acil durumları, acil durum önerileri, periyodik önerileri, algılayıcı parametreleri, takip işlemleri, mesaj gönderme ve rapor görüntüleme işlemleri web üzerinden gerçekleştirilebilmektedir. Güvenlik kullanıcı bazlı yetkilendirme işlemiyle sağlanmaktadır. Bu uygulamanın web tabanlı olmasının sağladığı en büyük avantaj, doktorun nerede olursa olsun kişiye ve kişinin bilgilerine kolayca ulaşabilmesidir. Böylece hasta ve doktor için mekandan tamamen bağımsız bir izleme sistemi gerçekleştirilmiş olmaktadır. Şekil-11'de kişi üzerindeki TİB ve PDA birimleri görülmektedir.



Şekil-11. Kişi üzerindeki TİB ve PDA.

3. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, PDA tabanlı taşınabilir kablosuz elektrokardiyogram izleme ve alarm sistemi gerçekleştirilmiştir. Önerilen sistem kardiyak arrest, kalp çarpıntısı (ventricular tachycardia) veya aritmi gibi rahatsızlıklar için hastane içinden veya dışından sürekli olay kaydedici olarak kullanılabilir. Diğer bir yandan TİB ve PDA'nın ayrı olması ve bunların kablosuz haberleşebilmeleri, PDA'nın merkezi sunucu ile kablosuz haberleşebilmesi ile sistem dağıtık bir mimari oluşturmakta, kişinin yaşamını zorlaştırmadan hareket kabiliyetini artırmaktadır. Ayrıca Bluetooth, WLAN ve GSM/GPRS gibi PDA'larda standart olarak bulunan teknolojilerin kullanılmasıyla harici ek haberleşme donanımlarının tasarlanmasına gerek kalmamış ve dolayısıyla sistem boyutları da küçültülmüştür. Kolay kullanılabilirliği ve taşınabilirliği göz önüne alındığında, sistem pek çok kardiyak rahatsızlığı teşhisi ve tedavisi için önemli bir rol oynamakta ve kişinin hayat kalitesinin yükseltilmesine de yardımcı olmaktadır.

Gerçekleştirilen prototiplerin güç tüketimi yaklaşık 80 mA ve boyutları 3 cm x 6 cm x 7 cm olup bu değerler

daha da küçültülebilir. Ayrıca daha kapsamlı bir sağlık izleme için EKG, nabız ve ısı bilgilerinin yanı sıra tansiyon, darbe oksimetresi ve PPG, x-y-z vücut hareketi gibi algılayıcılar da sisteme entegre edilebilir. Diğer bir yandan sistemden elde edilen veriler yapay zeka teknikleri ile otomatik olarak yorumlanabilir ve detaylı analizler yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] P.E. Ross, "Managing Care Through the Air", IEEE Spectrum, Dec 2004, pp 14-19.
- [2] World Health Organisation (WHO), "The Atlas of Heart Disease and Stroke", 2002, http://www.who.int/cardiovascular_diseases/resources/atlas/en/index.html.
- [3] Binkley P.F., "Predicting the potential of wearable technology", Engineering in Medicine and Biology Magazine, IEEE Volume 22, Issue 3, May 2003 (s):23 – 27.
- [4] M. H. Crawford, "ACC/AHA Guidelines for ambulatory electrocardiography.", Journal of the American College of Cardiology, vol. 34, pp. 912-48, 1999.
- [5] K. Y. Kong, C. Y. Ng, and K. Ong, "Web-Based Monitoring of Real-Time ECG Data," Computers in Cardiology, vol. 27, p.189, 2000.
- [6] A. I. Hernández, F. Mora, G. Villegas, P. G., and G. Carrault, "Real-Time ECG Transmission Via Internet for Nonclinical Applications," IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed, vol. 5, pp. 253-7, 2001.
- [7] J. Andreasson, M. Ekström, A. Fard, J. G. Castano, and T. Johnson, "Remote System for Patient Monitoring Using Bluetooth," presented at Sensors, 2002.
- [8] R. H. Istepanian, B. Woodward, E. Gorilas, and P. A. Balos, "Design of mobile telemedicine systems using GSM and IS-54 cellular telephone standards.", J Telemed Telecare, vol. 4, pp.80-2, 1998.
- [9] K. H. Hung and Y.-T. Zhang, "Implementation of a WAP-Based Telemedicine System for Patient Monitoring," IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed., vol. 7, pp. 101-107, 2003.
- [10] D. L. Rollins, C. R. Killingsworth, G. P. Walcott, R. K. Justice, and R. E. Ideker, "A Telemetry System for the Study of Spontaneous Cardiac Arrhythmias," IEEE Trans on Biomed Eng, vol.47, pp. 887-92, 2000.
- [11] Fensli R., Gunnarson E., Hejlesen O., "A wireless ECG system for continuous event recording and communication to a clinical alarm station", EMBC 2004, Volume 1, 2004 (s):2208 - 2211 Vol.3.
- [12] R. Kurban, "Kablosuz Taşınabilir Uzaktan Sağlık İzleme Sistemi: Mobil Sağlık Danışmanı", Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2006.