



Kablosuz algılayıcı ağ tabanlı taşınabilir EKG tasarımı ve uygulaması

Portable ECG design and application based on wireless sensor network

Gül Fatma TÜRKER^{1*}, İlhan TARIMER²

¹Eletronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.
gulturker@sdu.edu.tr

²Bilişim Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, Türkiye.
itarimer@mu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received:21.04.2015, Kabul Tarihi/Accepted: 23.07.2015

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2015.08860

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada, hastaların anlık veya sürekli olarak takibini gerektiren durumlarda, hareket sınırlılığı olmadan kalp sinyallerini izlemek için, taşınabilir bir elektrokardiyogram (EKG) devresi tasarlanmıştır. Tek kullanımlık Elektrotlar vasıtasıyla hastadan alınan EKG sinyalinin algılanması, yükseltilmesi, temizlenmesi ve sayısallaştırılması gerçekleştirildikten sonra Zigbee 802.11.4 standardına göre çalışan Kablosuz Algılayıcı Ağ (KAA) ile merkezi bir düğüme iletilmesi gerçekleştirilmiştir. Bilgisayarın seri portunda bulunan merkezi düğümden alınan EKG verisi, sürekli akış grafiğine dönüştürülmüştür. Geliştirilen taşınabilir bu sistem ile hasta EKG'lerinin takibinde kablo kullanma zorunluluğu ortadan kaldırılmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışmadan da görüleceği üzere KAA'nın kendi kendine ağ oluşturma yeteneği ve artırılabilir düğüm özelliği sayesinde EKG sinyallerinin uzak mesafelere iletim kısıtlaması aşılabilir. KAA ile biyolojik işaretlerin iletimi hastaların uzak mesafelerden takibini yapan birçok çalışmaya ışık tutacaktır.

Anahtar kelimeler: Elektrokardiyogram (EKG), Kablosuz algılayıcı ağlar (KAA), EKG sinyal iletimi, Taşınabilir sistem

Abstract

In this study, in order to follow the heart signals of patients that needs to be monitored instantly and continuously without mobility restrictions, a portable electrocardiogram circuit is designed. After performing the detection, upgrading, cleaning and digitizing of ECG signal received from patient via disposable electrodes, ECG signals was performed that transmit to a central node with Wireless Sensor Network (WSN) based on ZigBee 802.11.4 standard. Central node is connected to the serial port of a computer. Received data from the central node is processed on computer and continuous flow graph is obtained. The obligation to use wires for tracing patients' ECG has been removed with this portable system. As it can be seen in this study, thanks to WSN's property of forming network by itself and its augmentable loop property, the restrain of ECG signals to reach far away distances can be surmounted. The transmission of biological signals with WSN will light on many studies that follow of patients from a distance.

Keywords: Electrocardiogram (ECG), Wireless sensor networks (WSN), ECG signal transmission, Portable system

1 Giriş

Kablosuz haberleşme ve gömülü hesaplama teknolojisindeki gelişmelerle birlikte uzaktan sağlık izleme ve tele-tıp 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 [1]. Tele-tıp uygulamalarının hastanelerde, hava yolları şirketlerinin uçuş sırasında oluşabilecek sağlık sorunlarını takiplerinde, tutukluların sağlık durumlarının sürekli denetlenmesinde kullanımı sürdürülmektedir. Genellikle bilgisayar ağları aracılığıyla kullanıcılara ulaşan bu düzenlemeler tele-tibbin ülke geneline yayılmasında etkin rol oynamıştır [2].

Kablosuz Algılayıcı Ağ (KAA) uygulamaları mikro elektromekanik sistemlerdeki gelişmeler ve kablosuz haberleşme sistemlerindeki ilerlemelerle birlikte 1990'lı yıllarda önemli bir araştırma alanı haline gelmeye başlamıştır. İlk zamanlarda askeri alanda kullanılan kablosuz algılayıcı ağları zamanla maliyetlerinin düşmesi ve gelişen sensör teknolojisiyle algılama kabiliyetlerinin artmasıyla çok yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [3].

KAA kullanım alanlarından biri sağlık izleme hizmetleridir. Yapılan çalışmalar kablosuz iletişimin gelişimiyle ilerlemektedir. 2000'de yüksek veri iletim hızları ile GPRS denemeleri, 2001'de 3. Nesil telefonların çalışmalarının

başlaması, 2001'de Kablosuz geniş bant standardının belirlenmesi IEEE 802.16 (WiMax), 2003'te IEEE 802.16a geliştirilmiş versiyonu, 2003'te IEEE 802.11 versiyonu, 2003'te IEEE 802.15.4 standardı (ZigBee). Bu ilerlemeler çerçevesinde 2001'de EKG sinyalinin bluetooth modülü üzerinden iletimi [4], 2003 yılında EKG, EMG veya EEG gibi biyolojik sinyallerin iletilmesi ve görüntülenmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır [5]. 2004 yılında araştırmacılar 94 MHz çalışma frekansına sahip alıcı ve verici ile EKG işaretlerinin 12m uzaklığa kablosuz iletimini gerçekleştirmiştir [6]. 2004 yılında yapılan bir çalışmada telsiz ortamda 433 MHz ve 916 MHz'de çalışan alıcı vericilerle EKG işareti 30m uzaklığa iletilmiştir [7].

21. yüzyılda kablosuz tıbbi algılayıcı ağların (WMSN- Wireless Medical Sensor Network) sağlık uygulamalarında kullanılması ile sağlık sektöründe köklü iyileştirmeler olmuştur [8]. Sağlık araştırma eğilimleri hastaların güvenli iletişimi, hastaların rahat hareketliliği ve verilerin enerji etkin yönlendirilmesi üzerine odaklanmıştır. KAA'nın kullanım alanlarından biri sağlık izleme sistemleridir ve hastaların sürekli izlenmesi için taşınabilir, giyilebilir ve implante edilebilir vücut alan ağ sistemleri üzerinde uygulamalar gelecek için önem taşımaktadır [9]. Kablosuz Vücut Alan Ağ (WBAN-Wireless Body Area Network)'ı hastaların hareketliliği için taşınabilir izleme cihazlarının kullanılması ve bağımsız izleme imkanı oluşturması gibi iki belirgin avantaj sağlamaktadır [10]. Serbest hareketliliğin yanı sıra KAA teknolojisi enerji tasarrufu gerektiren birçok yerde kullanılmış ve sağlık hizmeti gerektiren

uygulamalar için KAA çalışmaları incelenmiştir [11]. KAA'ların düşük maliyetli olması ve büyük güvenlik gereksinimleri uygulamalarda önemli bir rol oynamıştır [12],[13].

Hastaların sürekli takibi için yapılan çalışmalar içinde, giyilebilir bir EKG sistemi ile uzaktan sinyalin algılanması ve işlenmesi gerçekleştirilmiştir. Gerçek zamanlı sinyal işleme ve izleme sisteminde iletken tekstil kumaş elektrotlar seçilerek performansları değerlendirilmiş ve EKG cihazı mikroişlemci tabanlı olarak tasarlanarak mobil cihazlar üzerinden bluetooth ile haberleşebilecek yapıda geliştirilmiştir [14]. Hasta ihtiyaçlarına yönelik çeşitli giyilebilir tasarım çalışmaları sürdürülmektedir, ayrıca hastanın verilerine erişimi kolaylaştırmak için alınan EKG sinyalleri mobil cihazlar ile görüntülenebilmektedir. Yapılan bir çalışmada, uzman sistemleri uyaran kablosuz EKG uygulaması gerçekleştirilerek bluetooth aracılığı ile mobil cihaza aktarımı yapılmıştır. EKG sinyallerinde oluşacak ani durum değişiklikleri uyarı sinyali olarak uzak bir veri tabanına iletilerek uzmanlar için internet erişimine açılmıştır [15]. Zigbee temelli düşük güçlü 2.4GHz ISM bandı kullanan bir Xbee Pro (Digi) modülü ile Kablosuz EKG sinyallerinin iletimi gerçekleştirilmiştir [16].

Bu çalışmada hastanın kalp sinyalini ölçebilecek taşınabilir EKG tasarımı ve uygulamasıyla birlikte alınan kalp sinyallerinin KAA sistemiyle istenilen alanda ve KAA'nın ağ kurma özelliği ile istenilen mesafede merkez noktaya gerçek zamanlı iletimi hedeflenmiştir. Taşınabilir EKG uygulama devresi KAA yapısını oluşturan her hangi bir düğüme takılabilir şekilde tasarlanarak sistemin algılayıcı (sensör) bölümünü oluşturmuştur.

Hasta üzerine yerleştirilen EKG algılayıcı Kablosuz Algılayıcı düğümde, hastadan alınan EKG sinyali doğrudan düğüm içerisinde bulunan ADC girişine uygulanmıştır. Önceden programlanan her bir düğümün kendi aralarında haberleşmesi sağlanarak sinyal ana düğüm üzerinden bilgisayara aktarılmıştır. Ölçümler IEEE 802.15.4 standardı doğrultusunda düşük maliyet ve güç tüketimi sağlayan ZigBee teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan modül 16 bit RISC mimari yapısında MSP430 mikrodenetleyicisine sahiptir [17]. Sistemin verimli bir şekilde haberleşmesi için KAA'larda uygulamayı kolaylaştıran TinyOs işletim sistemi kullanılmıştır. Uygulama geliştirmede kullanılan dil NesC dilidir. TinyOs C diline benzer bir dil olan NesC ile yazılmıştır [18]. KAA ile gerçek zamanlı iletimin gerçekleştirilmesi, yapılan uygulama ve ölçümler bilgisayar ortamında izlenmiştir.

2 EKG ve WSN teorisi

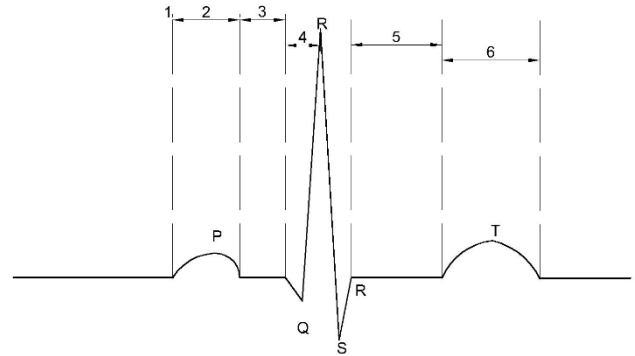
EKG sinyali insan vücudu üzerinde algılanabilen ve kalbin elektriksel aktivitesinin sonucu olarak ortaya çıkan belli tipteki biyolojik işaretlerdir. Elektrokardiyogram kalple ilgili çeşitli hastalıkların klinik teşhisi için kullanılır. Aynı zamanda diğer ölçümler için de referans teşkil eder. Bir EKG sinyalinde P, Q, R, S, T ve U harfleri dalgaları tanımlayan harflerdir. Kalp kasının kulakçık ve karıncık ile ilgili elektriksel titreşimlerini ifade etmektedir [19].

Şekil 1'de EKG sinyalinin ifade ettiği aralıklar; 1 uyarının sinoatriyal çıkışı, 2 atriyal aktivasyon, 3 atriyo ventriküler iletim, 4 ventrikül aktivasyon zamanı, 5 ventriküllerin tam olarak depolarize olması, 6 ventriküler repolarizasyon olarak belirtilmiştir [20].

EKG sinyalinin görüntülenebilmesi için, beden yüzeyinin değişik bölgelerine elektrotlar yerleştirilir ve bu elektrotlar kablolar aracılığı ile elektrokardiyografa bağlanır [21]. Elektrotlar genellikle yüksek iyon konsantrasyonuna sahip

kimyasal bir yapışkan veya jel ile kullanılır. Tam amaçlı EKG sinyalleri deri yüzeyinden çeşitli şekilleri ile alınır [22]. Vücuttan alınan EKG işaretlerinin genlikleri oldukça küçük seviyedir. Bu işaretlerin yorumlanması ve işlenebilmesi için genliklerinin yeterli seviyede tutulması gerekmektedir [23]. EKG ölçüm sistemi için 0.05-150 Hz arasında bir bant genişliği önerilmiştir. EKG cihazlarında frekans distorsiyonu, doyum veya kesim distorsiyonu, elektriksel düzenlerden gelen parazitler, toprak çevrimleri, manyetik alanların etkisi, elektriksel kökenli diğer bozucu etkilerden kaynaklanan sorunlarla karşılaşılabilir [24]. Bu durumda EKG yükselticinin elektrot-deri empedansını ve gürültü kaynaklarını engellemesi gerekir. Çok yüksek ortak mod giriş empedansı, yüksek farksal giriş empedansı, her giriş için eşit ortak mod giriş empedansı, yüksek ortak mod bastırma oranı, ekranlı giriş kabloları ve sağ bacak sürücü devreleri kullanılmalıdır [25].

EKG	Genlik	EKG Aralık	Süre(s)
P	0.25mV	P-R	0.12-0.20
R	1.60mV	Q-T	0.35-0.44
Q	25% R'nin	S-T	0.05-0.15
T	0.1-0.5 mV	Q-R-S	0.09

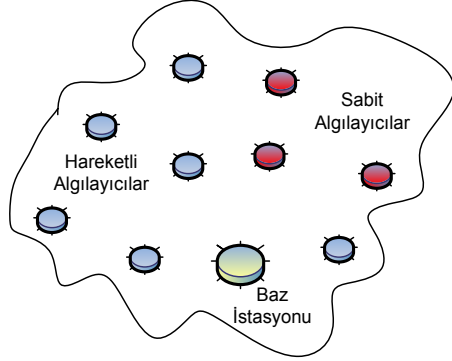


Şekil 1: EKG Sinyalinin dalga aralıkları ve EKG'de dalgalar, aralıklar ve segmentlerin isimlendirilmesi.

KAA temel olarak algılayıcılar (sensor düğüm) ve bu algılayıcılardan gelen verileri toparlayan düğüm istasyonlarından oluşmaktadır. KAA'ların temel elemanları algılama, veri işleme ve haberleşme özelliğine sahip olan algılayıcı düğümlerdir [26]. Algılayıcı düğümler, çok küçük hacimli olması özelliği ile kullanılması istenen bölgeye yerleştirilerek kendi kendine ağ oluşturabilen yeni çok yönlü bir algılama, bilgi işleme, sınıflandırma ve haberleşme donanımdır [17]. Ağ içerisindeki düğümlerden geçit düğümüne yönlendirilen veriler buradan, internet ya da uydu gibi haberleşme ortamlarına aktarılmaktadır [3]. Şekil 2'de KAA örneği verilmiştir.

Şekil 2'de verilen ağ içerisinde hareketli ve sabit pozisyonlu algılayıcılar olabilmektedir. Bu Algılayıcı Düğümler üzerinde bulunan bir veya birden fazla algılayıcı yardımıyla topladığı veriyi diğer düğümler ile kablosuz haberleşerek oluşturduğu ağ yardımıyla taşıyabilen donanım yapılarıdır. Algılayıcılar pil ile çalışan ve kısıtlı ömre sahip olan kablosuz iletişim cihazlarıdır [27]. Radyo frekans (RF) tabanlı iletişim, KAA uygulamaları için uygun bir iletişim şeklidir. KAA'lar 433 MHz ve 2 GHz arasındaki iletişim frekanslarını kullanırlar [28]. Bir Algılayıcı

Düğüm mikrodenetleyici, haberleşme ünitesi, bellek, güç kaynağı, algılayıcı düzeneğinden oluşmaktadır [17].



Şekil 2: Kablosuz algılayıcı ağ örneği.

Kablosuz iletişim yapan gömülü sistemler için düşük güç kullanarak dışsal olayları yöneten uygulamaları daha kolay geliştirmeyi amaçlayan bir işletim sistemidir. TinyOS birçok bileşen içermektedir ve bu bileşenler uygulamaların ihtiyacına göre eklenip çıkarılabilmektedir. TinyOS bu özelliği sayesinde gömülü sistemler için geliştirilmiş diğer işletim sistemlerinden ayrılmaktadır [29]. TinyOS üzerinde uygulama geliştirirken kullanılan dil, TinyOS'un da geliştirildiği NesC dilidir. Bileşen tabanlı bir dil olan NesC olay tabanlı bir işletim mekanizmasına sahip olan kablosuz algılayıcı ağları için uygun bir programlama dilidir.

3 Taşınabilir EKG kartının ve yazılımının geliştirilmesi

Sistem uygulaması dört kısımdan oluşmaktadır (Şekil 3). İlk kısım; kalp sinyallerini vücut üzerinden algılayan taşınabilir EKG ölçüm cihazıdır. İkinci ve üçüncü kısımlar EKG cihazından gelen işaretleri işleyen ve kablosuz olarak iletimini gerçekleştiren algılayıcı düğümlerdir. İkinci kısım verici düğüm olarak çalışır, EKG sinyallerini dijital forma dönüştürüp iletir. Üçüncü kısımdaki algılayıcı düğüm ise gönderilen sinyali algılayıp bilgisayarın USB girişine aktarma işlemini

gerçekleştirir. İletim sonucu verilerin gözlenebilmesi için sinyallerin bir grafik arayüzüne aktarılması işlemini gerçekleştiren bilgisayar, sistemin son katını oluşturmaktadır.

3.1 EKG kartının geliştirilmesi

Vücuttan alınan EKG işaretlerinin genlikleri milivolt düzeyinde olduğundan bu işaretlerin görüntülenmesi, yorumlanması ve işlenebilmesi için genliklerinin yükseltilmesi gerekir. Bu nedenle bu çalışmada yüzey montaj teknolojisiyle bir taşınabilir EKG kart tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan kartın donanım yapısının blok diyagramı Şekil 4'te görülmektedir.

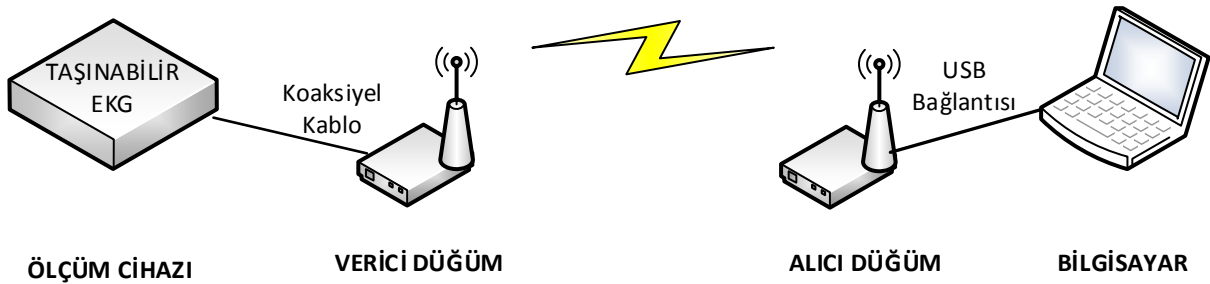
Şekil 4'te verilen yapıya uygun taşınabilir EKG devresi işaret/gürültü oranı, şehir şebeke hattının oluşturduğu 50 Hz'lik gerilim frekansı dikkate alınarak tasarlanmıştır. EKG yükselteç devresinde Ag/AgCL elektrotlar ile vücuttan alınan işaretler önce enstrumantasyon yükselteciyle yükseltilmiş, bunun için EKG devresinde dışarıdan ayarlanabilir direnç yardımıyla kazanç kontrolünü sağlayan INA128 entegresi tercih edilmiştir.

Dördüncü kat olan Notch (çentik) Filtre, 50 Hz'lik band durduran filtre devresi tasarımıyla şebeke gürültülerini zayıflatmıştır. 0.05 ve 150 Hz'lik bant aralığına sahip EKG sinyalini elde edebilmek için kesim frekanslarına bakarak band geçiren filtreler karta yerleştirilmiştir. Bu filtreler gereken frekans bandının elde edilmesini sağlamıştır. Frekans uygunlaştırma işlemleri her kat arasında yükselteç ve tampon yardımıyla sağlanmıştır.

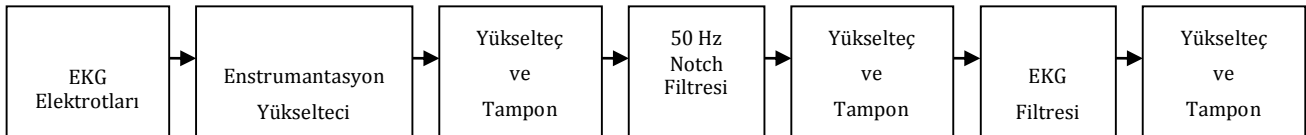
3.2 Kablosuz algılayıcı ağ düzeneğinin kurulması (Algılayıcı düğüm ve EKG kartı kombinasyonu)

Bu çalışmada, Genetlab firmasının ürettiği senseNode (algılayıcı düğüm) isimli düğümlerden ve USB bağlantılı programlayıcıdan oluşan bir KAA modülü tercih edilmiştir. Bu yapının görünümü Şekil 5'te verilmektedir.

Şekil 5'te algılayıcı düğümlerin kontrolünü sağlayan USB girişli programlayıcı ve üzerinde anten bulunan sistemde kullanılan algılayıcı düğüm görülmektedir.



Şekil 3: Sistemin genel blok diyagramı.



Şekil 4: EKG yükselteç devresi blok diyagramı.

Algılayıcı düğüm 2.4 GHz IEEE 802.15.4/Zigbee standardı RF alıcı vericisi bulunduran CC2420 entegresini kullanmaktadır.

10 KB ana bellek içeren 16 bit RISC mimarisinde MSP430 Mikrodenetleyicisine sahiptir. Algılayıcı düğüm üzerinde bulunan 41 pinli soket programlayıcı ve tasarlanan taşınabilir EKG ile bağlantı kurmayı sağlar. Bağlantı öncesi EKG yükseltici üzerine zener diyotlar eklenerek devre voltaj değişimlerinden kaynaklanabilecek yanmalara karşı korunmuştur. Şekil 6'da tasarımı gerçekleştirilen taşınabilir EKG kartı verilmiştir. Düğümlere yerleştirilen algılayıcı olarak görev yapmaktadır. Burada EKG algılayıcısına bağlı olan düğümde veri, ADC girişinden alınıp işlenerek RF katından yayılır. Farklı programlanan en yakın düğüm RF katından bu veriyi alır, RF katı yardımıyla diğer en yakın düğüme aktarır. Böylece merkezi düğüme iletilen veri USB programlayıcıya doğrudan iletilip seri porttan bilgisayara giriş yapar. Ağ ile bilgisayarlar arasındaki bağlantı, yüksek seviyeli bir dil kullanılarak yapılabilir. Böylece dijital olarak alınmış EKG sinyali, bir grafik arayüzünde görüntülenebilir.



Şekil 5: USB Programlayıcı ve algılayıcı düğümü.



Şekil 6: Taşınabilir EKG kartı.

3.3 Kablosuz algılayıcı düğüm ile verici uygulaması

Kalp sinyallerini kablosuz iletmek için kullanılan alıcı verici düğümler birbirinden farklı kodlar ile programlanır. Gerçekleştirilen uygulamada TinyOS işletim sistemi kullanıldığından NesC programlama dili ile TinyOS işletim sistemi arası bağlantı Eclipse derleyicisi ile sağlanmıştır. Böylece, her düğümün veri işlemi uzak noktaya iletilebilir. Bu programda bileşenlerin ve arayüzlerin isimleri uygulama dosya isimleri ile aynıdır. Bileşenler arası çift yönlü etkileşim bulunur [30].

Sistemde kullanılan verici düğüm öncelikle EKG verilerini ADC girişlerinden alır. ADC girişlerinden birine uygulanan analog sinyal verici düğüm içerisinde dijital forma dönüştürülür ve belirtilen band aralığında ortama yayılır. Bu doğrultuda programda ADC giriş ucu seçiminde MSP430 GeneralIO ve Aktivate arayüzleri kullanılarak Algılayıcı Düğüm'ün 21. Port'u aktifleştirilir. Aşağıda 21. port'un seçildiği ara program verilmiştir.

```
configuration ActivateAcc {  
    provides interface Activate;  
}  
implementation {  
    components ActivateAccM, MSP430GeneralIO;  
    Activate = ActivateAccM;  
    ActivateAccM.Port21 -> MSP430GeneralIO.Port21;  
}
```

Yukarıdaki aktivasyon program parçasıyla "düğüm" EKG sinyallerini, 21. porttan alır.

İletim için verici katında kullanılan arayüzler "Main, OscilloscopeM, TimerC, Leds, AccmeterC as Sensor, GenericComm as Comm, ActivateAcc" olarak belirlenmiştir. Radyo frekansları yardımıyla iletilen 8 bit'lik veri 57600 baud rate (1 sn'de iletilen veri adedi) olarak aktarılmıştır.

Aşağıda verilen örnekte arayüzler kullanılarak timer ve led kontrolleri yapılmaktadır.

```
Interface Timer {  
    Command result_t start(char type, uint32_t interval);  
    Command result_t stop();  
    Event result_t fired();  
}
```

```
interface Leds {  
    async command result_t init();  
    async command result_t redOn();  
    async command result_t redOff();  
    async command result_t redToggle();  
    async command uint8_t get();  
    async command result_t set(uint8_t value);  
}
```

3.4 Kablosuz algılayıcı düğüm ile alıcı uygulaması

Kablosuz Algılayıcı Düğümlerin programlanmasıyla oluşturulan alıcı katı vericiden gelen sinyalleri RF yardımıyla alarak bilgisayarın USB girişine aktarmaktadır. Şekil 7'de bu çalışmada kullanılan bir düğümün USB programlayıcı ile bağlantısı verilmiştir.



Şekil 7: Sensenode'un USB programlayıcısıyla bağlantısı.

Veri işlemek için alıcı katında kullanılan arayüzler "Main, StdControl, UARTControl, RadioControl, Leds, olarak belirlenmiştir. Radyo frekansları yardımıyla alınan sinyaller 8 bit'lik veriler şeklinde alınır ve kullanılan arayüzler yardımıyla bilgisayarın USB girişine aktarılır. Aşağıda verilen program parçasıyla oluşturulan arayüz sayesinde, RF'den gelen sinyal algılanır.

```
interface Radio {  
    command result_t txBit(uint8_t data);  
    command result_t txMode();  
    command result_t rxMode();  
    command result_t setBitRate(char level);  
    event result_t txBitDone();  
    event result_t rxBit(uint8_t bit);  
}
```

Kablosuz Algılayıcı Düğüm tarafından USB girişine aktarılan EKG sinyallerini grafik olarak izlemek için Microsoft Visual Studio derleyicisi kullanılmıştır. Oluşturulan arayüz veri girişi seçmeye izin verir böylece istenen port seçilebildiği gibi, farklı portlardan gelen EKG sinyalleri ekranda izlenebilir. Bu arayüz belirtilen Porttan 57600 baud rate hızında gelen verinin 500 Byte olduğunda ekrana yazdırılmasını sağlar. 16 bit'den oluşan her verinin USB'den bilgisayara iletimi 1 ms sürer.

4 Bulgular ve tartışma

Kalp sinyalinin vücuttan algılanması için en uygun derivasyon ile tek kullanımlık elektrotlar seçilmiştir. Bu çalışmada düşük genlikli EKG sinyallerinin iletilmesi için gerekli yükseltmeler yapılmıştır. EKG sinyalinin bozulmasına yol açabilecek ve gürültü olarak kabul edilen istenmeyen sinyalleri ortadan kaldırmak için filtre kullanılmıştır.

Bu tasarıma ait tüm donanım, yüzey montaj teknolojisi ile gerçekleştirilmiştir. Yüksek toleranslı malzeme kullanımında EKG sinyalinde bozukluklar oluşmuştur. Toleransın yüksek olması hesaplanan filtre devrelerinin doğru çalışmasını engellediğinden en uygun değerler çok sayıda direncin birleştirilmesiyle bulunmuştur. Bu doğrultuda uygulaması gerçekleştirilen EKG ile vücuttan alınan sinyaller yükseltilmiş ve Kablosuz Algılayıcı Dügüme bağlanarak iletme hazır hale getirilmiştir. Bu aşamada her iki devre farklı değerlerde kaynak gerilimi gerektirdiğinden, tasarlanan EKG devresi çıkışına tek bir kaynak sonrası regülatör eklenerek her iki devrenin gerilimi sağlanmıştır. Ayrıca zener diyotlar yardımıyla devreler voltaj değişimlerinden kaynaklanabilecek yanmalara karşı korunmuştur. Şekil 8'de KAA ve EKG donanım birimlerinin bağlantı şekilleri verilmiştir. İlk şekilde gösterilen anten katı eklenmiş KAA düğüm üzerinde yer alan 41 pinli soket, tasarımı gerçekleştirilen EKG üzerine eklenmiştir. Böylece iki devrenin birbiri ile bağlantısı sağlanmış ve bir avuç içinde görünümün büyüklük olarak değerlendirilmesi için aşağıda verilmiştir.

EKG Sinyallerinin Kablosuz İletimi: Sinyal iletimi için ilk aşama, NesC programlama dili ile programlanabilen algılayıcı düğümlerin haberleşmelerinin sağlanmasıdır, ikinci aşama ise KAA düğümler için tasarlanan taşınabilir EKG kartının verici düğüme yerleştirilmesidir. Böylece vücuttan alınan EKG sinyallerinin düğümler üzerinde kontrollü bir şekilde ilerlemesi sağlanmış olur. Dikkat edilmesi gereken her bir düğümün ayrı ayrı programlanmasıdır. Merkezi düğüm ve ağı tamamlayan diğer düğümlerin programlanması sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Programlanan düğümler iletimi gerçekleştirdiklerinde EKG sinyali USB girişinden bilgisayara aktarılır. Dijital olarak gelen veriler arayüz yardımıyla hem görüntülenmiş hem de grafiğe çevrilmiştir. Şekil 9'da iletim sonrası bilgisayardan izlenen EKG

sinyalleri verilmiştir.

Kablosuz iletim ortamlarında kullanılan radyo frekansı, optik iletişim ve kızılotesi teknolojileri incelendiğinde optik iletişim görüş alanı gerektirir, kızılotesi yayım kapasitesi için yetersizdir. Bu nedenle radyo frekansı üzerinden iletişim ile uzak mesafelerde daha verimli bir haberleşme sağlanabilmektedir. KAA Teknolojisi 433 MHz ve 2.4 GHz arasındaki iletişim frekansını kullanan alıcı-verici düğümlerden oluşur ve istenilen noktalara en uygun aralıklar ile düğümler yerleştirilerek haberleşmenin kesintisiz sağlanması gerçekleştirilir. Belirlenen bir baz düğüm ile internet ihtiyacı olmadan bilgisayarlarda izleme ve depolama işlemi sağlanabilmektedir. Kablosuz iletişim teknolojisi olan GSM tabanlı hücreli haberleşen bir sistem ise yeterli kapasitede bir şebeke sağlamaya çalışmaktadır ancak EKG verilerinin sürekli iletimi için hastane ortamı düşünüldüğünde hastaların şebekenin olmadığı noktalarda bulunmuş olmaları kesintiye neden olacaktır. KAA haberleşmesinde ise ağ yapısını hastane ortamına göre tasarımı gerçekleştirilebileceğinden KAA teknolojisinin kullanılması uygun görülmüştür. GSM teknolojisinin GPRS, Edge, 3G gibi internet ile desteklenmekte olması hasta verilerinin uzmanlar tarafından hızlı bir şekilde değerlendirilmesini sağladığı yapılan çalışmalarda gözlenmiştir.

5 Sonuçlar ve öneriler

Bu çalışmada taşınabilir bir EKG ölçüm cihazı tasarlanmış ve hasta EKG verileri, KAA ile kablo zorunluluğunu ortadan kaldırarak uzak bir bilgisayara iletilmiştir. Gerçekleştirilen sistem bir hastane ortamında hastanın EKG verilerini doktorun kullandığı bir bilgisayara kablosuz olarak aktarabilir. Böylece hastanın kabloların olmadığı bir sistemde uzaktan takibi sağlanmış olur. Gelişmekte olan kablosuz iletim teknolojilerinin medikal alanda kullanıldığı gözlenmektedir. Bluetooth ve radyo frekansları üzerinden yapılan çalışmalar incelendiğinde iletim sorunsuz olarak gerçekleştirilmiştir ancak hastaların bulunduğu alandan çok kısa mesafe sonrasında sinyalin etkisi azaldığı için bağlantı sorunları gözlenmiştir. Buna çözüm üretmek amaçlı KAA teknolojisi incelenmiş ve çok büyük bir ağ oluşturarak haberleşme sağlaması özelliği ile hem uzak noktalar arası veri iletişimi sağlayacağı hem de çok sayıda hastanın da eklenebileceği bir yapı hedeflenmiştir.

Yapılan uygulama tek bir hasta için iki adet KAA düğüm haberleştirilerek gerçekleştirilmiştir. Verici Dügümden Algılayıcı katını oluşturan taşınabilir EKG devresi ölçüm sonuçlarını, alıcı düğüm sayesinde merkez bilgisayara anlık olarak aktarımını sağlamıştır. İletim mesafesi uygulamalı olarak değerlendirilmiş ve ara algılayıcı düğüm eklenerek mesafenin genişletilebileceği izlenmiştir. Kablosuz Algılayıcı Dügümlerin kısıtlı enerji problemi nedeniyle düğümlerde kullanılan kalem piller yerine, gerilim değeri daha yüksek pil seçilmiş ve pil ömrü çekilen akım değerine göre hesaplanmıştır. Ayrıca yapılan kablosuz taşınabilir EKG cihazları ile karşılaştırılarak hasta için rahatsızlık oluşturmayacak şekilde uygun büyüklükte ve ağırlıkta tasarım gerçekleştirilmiştir.

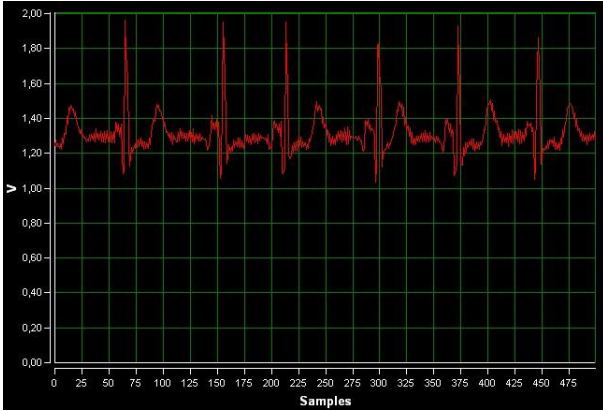
Yapılan denemelerde vücut üzerinden alınan EKG sinyali, öncelikle osiloskop ile görüntülenmiştir. Görüntülenen EKG sinyallerinin KAA teknolojisi kullanılarak kablosuz iletimi gerçekleştirilmiştir. İletim sonrası EKG sinyalleri USB port üzerinden bilgisayara giriş yapmış ve arayüz programına alınarak grafiğe dönüştürülmüştür.



Şekil 8: KAA ve EKG donanımı.

Bu uygulamanın sonucunda iletilen EKG sinyallerinin doğruluğu osiloskop üzerinde izlenen sinyallerle karşılaştırılmıştır. İletimde gecikme ya da bozulma olmadığı gözlenmiştir. Biyolojik sinyallerin değerlendirilmesi öncelikle tanı ve teşhis amaçlı kullanılan hastane EKG cihaz çıkışı ile sinyal karşılaştırılmıştır. Sürekli takip için yeterli doğrulukta ve seviyede sinyal izlendiği ve Q, R, S, T değerlerinin oluşumunda problem olmadığı gözlenmiştir. Ancak hassas bir ölçüm için çıkış sinyalinin bilgisayara aktarıldıktan sonra filtreler ile netleştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Bu çalışma, aynı anda birden fazla hasta ile ilgilenilmesi gereken hastane ortamında, uzak bir noktadan hasta EKG verilerinin takip işlemi gerçekleştirebilir. Ayrıca bu çalışmada tasarlanan EKG algılayıcısı gibi diğer tür biyolojik sinyal algılayıcıları da tasarlanarak KAA sistemi ile iletilebilir.



Şekil 9: Bilgisayarda izlenen EKG sinyalleri.

6 Teşekkür

Muğla Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

7 Kaynaklar

- [1] Binkley PF. "Predicting the potential of wearable technology". *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 22(3), 23-27, 2003.
- [2] Yılmaz E. "Uzayda olsanız da sağlığınız denetim altında". *Bilim Teknik Dergisi*, 336(1), 50-52, 1999.
- [3] Akyıldız İF, Su W, Sankarasubramaniam Y, Cayirci E. "Wireless sensor networks: A survey", *Computer Networks*, 38(4), 393-422, 2002.
- [4] Marr D. ECG Application Featuring Data Transmission by Bluetooth. MSc Thesis, University of Queensland, Brisbane, Australia, 2001.
- [5] Aman A, Al-İmarı K, Rashid M. "Telemetry based system for measurement and monitoring of biomedical signals". In *System on Chip for Real-Time Applications*, The 3rd The Institute of Electrical and Electronics Engineers International Workshop on, Calgary Canada, 30 June-2 July 2003.
- [6] Melnyk MD, Silberman JM. A Wireless Electrocardiogram System. MSc Thesis, Cornell University, Ithaca, NY, USA 2004.
- [7] Thaddeus RF, Fulford J, Wei G, Welsh M. "A portable, low-power, wireless two-lead ECG system". *Proceedind of the 26. Annual International Conference of The Institute of Electrical and Electronics Engineers*, San Francisco, 2-5 September 2004.
- [8] Kumar P, Lee HJ. "Security issues in healthcare applications using wireless medical sensor networks: A survey". *Sensors*, 12(1), 55-91, 2012.
- [9] Darwish A, Hassanien AE. "Wearable and implantable wireless sensor network solutions for healthcare monitoring". *Sensors*, 11(6), 5561-5595, 2011.
- [10] Hussain MA, Alam MN, Kwak KS. "Directional MAC approach for wireless body area networks". *Sensors*, 11(1), 771-784, 2011.
- [11] Egbogah EE, Fapojuwo AO. "A survey of system architecture requirements for health care-based wireless sensor networks". *Sensors*, 11(5), 4875-4898, 2011.
- [12] Saleem S, Ullah S, Kwak KS. "A Study of IEEE 802.15.4 security framework for wireless body area networks". *Sensors*, 11(2), 1383-1395, 2011.
- [13] Chen CS, Lee DS. "Energy saving effects of wireless sensor networks: a case study of convenience stores in Taiwan". *Sensors*, 11(2), 2013-2034, 2011.
- [14] Ozkaraca O, Guler I. "Denosing and remote monitoring of ECG signal with real-time extended kalman filter in a wearable system". *Biomedical Engineering: Applications, Basis and Communications*, 27(1), 2015.
- [15] Lin C, Chang K, Lin CL, Chiang C, Lu S, Chang S, Lin B, Liang H, Chen R, Lee Y, Ko L. "An Intelligent telecardiology system using a wearable and wireless ECG to detect atrial fibrillation". *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 14(3), 726-733, 2010.
- [16] Mukala V, Lakafosis V, Traille A, Tentzeris M. "A novel Zigbee-Based low-cost, low-power wireless ECG system". *Microwave Symposium Digest (MTT), IEEE MTT-S International*, Anaheim, CA, USA, 23-28 May 2010.
- [17] Wenger H. "Hardware architectures for MSP430-Based wireless sensor nodes performing elliptic curve cryptography". *11th International Conference on Applied Cryptography and Network Security*, Banff, AB, Canada, 25-28 June 2013.

- [18] Gay D, Levis P, Behren VR, Welsh M, Brewer E, Culler D. "The NesC language: a holistic approach to networked embedded systems". *ACM SIGPLAN Conference on Programming Language Design and Implementation*, San Diego, CA, USA, 8-11 June 2003.
- [19] Yazgan E, Korürek M. *Tıp Elektronikliği*. İstanbul, Türkiye, İstanbul Teknik Üniversitesi Rektörlüğü Yayın Evi, 1996.
- [20] Acartürk E. *Pratik Elektrokardiyografi*. Adana, Türkiye, Kare Yayınları, 2001.
- [21] Berbari EJ. *Principles of Electrocardiography*. Editor: Bronzino JD. The Biomedical Engineering Handbook Second Edition, Boca Raton, FL, USA, CRC Press, 2003.
- [22] Gomez P. "EKG Signal Processing: An Algorithm to detect and align QRS Complexes". Florida International University, Miami, USA, 2002.
- [23] Güler İ. "Biyomedikal Enstrümantasyon Ders Notları". Ankara, Türkiye, 239-255, 2008.
- [24] Atar E. *EKG Bilgisi*. İstanbul, Türkiye, Atlas Kitapçılık Yayınevi, 1993.
- [25] Fard DJ. Sayısal Nabız Sayıcı EKG Yükseltici Tasarım ve Yapımı. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 1989.
- [26] Koybasi Z, Kaya I. "Security and power consumption comparisons of wireless sensor networks". *21st Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, Northern Cyprus, Turkey, 24-26 April 2013.
- [27] Pathan ASK, Hyung-Woo L, Choong SH. "Security in wireless sensor networks: issues and challenges". *8th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, 20-22 February 2006.
- [28] Zhao F, Guibas L. *Wireless Sensor Networks*. 1st Edition. San Francisco, USA, Elsevier, 2004.
- [29] TinyOS Tutorial. "TinyOS Home Page", <http://www.tinyos.net> (19.6.2015).
- [30] Yıldırım KS, Kantarcı A. "Kablosuz algılayıcı ağlar için Tinyos ile uygulama geliştirme". *Akademik Bilişim Konferansı*, Muğla, Türkiye, 10-12 Şubat 2010.