



Evde Sağlıkta ZigBee Teknolojisine Dayalı Kablosuz Vücut Sıcaklığı ve Kalp Atım Oranı Takibi

Wireless Monitoring of Body Temperature and Heart Beat Rate at Home Healthcare based on ZigBee Technology

Anday Duru ve Gökhan Ertaş

Biyomedikal Mühendisliği Bölümü
Yeditepe Üniversitesi
duruanday@gmail.com, gokhan.ertas@yeditepe.edu.tr

Özetçe

Düşük güç tüketimi ve kablosuz sensör ağları kurulmasına imkân tanıma özellikleriyle ZigBee teknolojisinin kablosuz akıllı ev ve sağlık uygulamalarında dikkate değer kullanım potansiyeline sahip olduğu bildirilmektedir. Bu çalışmada, evde sağlık uygulamalarında kullanılmak üzere kalp atım ve vücut sıcaklığını algılayarak ZigBee kablosuz haberleşme teknolojisiyle uzak bilgisayara gönderen taşınabilir bir cihaz ve uzak bilgisayarda gönderilen verileri alıp görselleştiren bir donanım ve bir yazılım geliştirilmiştir. Cihaz içerisinde bir mikrodenetleyici sıcaklık ve kalp atım duyarlarının analog çıktılarına sayısal formların çevirip işlemekte ve ZigBee teknolojisi kullanan verici XBee modüle göndermektedir. Bu modül tarafından kablosuz ortama yayılan veriler uzak bilgisayarda bilgisayara bir XBee Explorer modülü üzerinden bağlanmış bir alıcı XBee modül içeren donanımla ve bu çalışma için özel olarak Processing programlama diliyle geliştirilmiş olan bilgisayar yazılımı tarafından toplanarak görselleştirilmektedir.

Geliştirilen sistemle yapılan ön çalışmalar sistemin vücut sıcaklığı ve kalp ritminin izlenmesini kolaylaştırdığını göstermektedir. XBee modülleri üzerindeki mikrodenetleyiciler analog-sayısal çevrimleri, hızlı değişen fizyolojik sinyaller gözönüne alındığında, arzulanan uzun örnekleme süreleriyle yapmaktadır. Bu yüzden ek bir mikrodenetleyicinin kullanımına ihtiyaç duyulabilmektedir. Masaüstü/taşınabilir bilgisayarlar, tabletler veya akıllı mobil cihazlar ZigBee alıcılarıyla donatılmadıklarından bağlanabilirlikleri için alıcı donanıma ihtiyaç duyulmaktadır. Yinede, sağladığı sağlam ve güvenli haberleşme ve dikkate değer düşük güç tüketimiyle ZigBee teknolojisinin evde sağlıkta kullanımı kazançlıdır. İleride, cihazımıza insan yürüyüşünü yakalamak için duyarlar ve zaman eşgüdümü ölçümler için gerçek zamanlı saat yerleştirmeyi planlamaktayız.

Abstract

Due to its low power consumption and making wireless sensor network setups possible, ZigBee technology is reported to have remarkable potential for use in smart home and health applications. In this study, a mobile device to acquire and transfer body temperature and heart beat to a remote

computer using ZigBee wireless communication technology; and a hardware and a computer software to receive and visualize the transmitted data on the remote computer have been developed for use in home healthcare applications. In the device, a microcontroller converts the analogue outputs of temperature and heart beat sensors into their digital form, processes the digitized data and then transfers the results to transmitter XBee module implementing ZigBee technology. Data transferred to wireless medium by this module is captured and visualized at the remote computer by the hardware that consists of a receiver XBee module connected to the computer via an XBee Explorer module and by computer software specifically developed for this study using Processing programming language.

Preliminary experiments with the system show that it facilitates monitoring of body temperature and heart beat rate. Microcontrollers on XBee modules perform analogue to digital conversions with undesirably long sampling times when rapidly changing physiological signals are considered. Thus, use of an extra microcontroller may be required. Desktop/portable computers, tablets or other smart mobile devices are not inherently equipped with ZigBee receivers, so receiver hardware is needed for connectivity. Nevertheless, providing reliable and secure communication and consuming remarkably low power, ZigBee technology would be beneficial for use in home healthcare. In future, we plan to embed sensors to capture human gait and a real time clock to synchronize measurements with time to the device.

1. Giriş

Wi-Fi (IEEE 802.11), Bluetooth (IEEE 802.15.1) ve ZigBee (IEEE 802.15.4) mevcut kablosuz haberleşme teknolojilerinin başlıcalarıdır. Tablo 1' de bu teknolojilerin temel özellikleri listelenmektedir. Tablodan kolayca anlaşılacağı gibi Wi-Fi teknolojisi yüksek boyuttaki verilerin çok hızlı aktarımları için oldukça uygundur. Bir kablosuz ağda en fazla otuz iki adet Wi-Fi kullanan cihaz yer alabilmektedir. Bunların yanında, ne yazık ki, Wi-Fi teknolojisinin güç tüketimi oldukça yüksektir. Bluetooth teknolojisi daha düşük güç tüketimi yanında hızlı veri aktarımı özelliğiyle dikkat çekmektedir. Fakat bir kablosuz ağ da en fazla sekiz adet Bluetooth kullanan cihaz yer alabilmektedir. ZigBee teknolojisi ise çok düşük güç tüketiminin yanı sıra yeterli haberleşme mesafesi ve düşük

Biyotelemetri

3. Gün 27 Eylül 2014 Cumartesi (11.45-13.00)

ama makul veri aktarım hızı özellikleriyle ve de oldukça yüksek sayıda cihazın kablosuz ağda yer alarak kablosuz sensör ağlarının kurulmasına imkân tanınmasıyla diğer teknolojiler arasından öne çıkmaktadır.

Tablo 1: Başlıca kablosuz haberleşme teknolojileri [1].

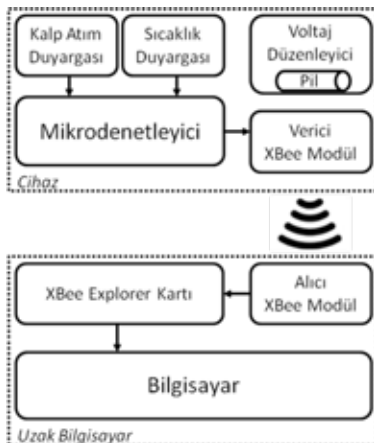
	ZigBee	Bluetooth	Wi-Fi
Çalışma Frekansı	868/900MHz veya 2.4GHz	2.4GHz	2.4/5.8 GHz
Kaplama Mesafesi	10-100m	1-10m	1-100m
Azami Veri Hızı	250 Kbit/s	1 Mbit/s	54 Mbit/s
Azami Bağlantı	65000	8	32
Güç Tüketimi	Çok Düşük	Düşük	Yüksek

ZigBee teknolojisinin endüstride sıcaklık ölçüm ve takibi gibi kablosuz veri iletimine ihtiyaç duyulan uygulamalarda kullanılabileceği rapor edilmektedir [2, 3]. Bu teknoloji akıllı ev uygulamalarında birçok çözüm sunmaktadır [4]. Sağlıkta ZigBee teknolojisinin uygulama alanlarının başında hastaneler ve evde bakım gelmektedir. Her iki alanda da mevcut kan basıncı ölçer, kızılötesi sıcaklık ölçer, elektrokardiyografi ve benzeri cihazlara takılarak bu cihazlarca hesaplanan ölçüm değerlerini kablosuz ortama aktaran ve uzak merkezi sunuculara gönderen sistemler tasarlanmış bulunmaktadır [5-8]. Bu teknolojinin kablosuz akıllı ev ve evde sağlıkta çok büyük kullanım potansiyeli olduğu bildirilmektedir [9].

Bu çalışmada, evde sağlık uygulamalarında kullanılabilecek, kalp ritmi ve vücut sıcaklığını algılayarak ZigBee kablosuz haberleşme teknolojisiyle uzak bilgisayara gönderebilen bir taşınabilir cihaz ve uzak bilgisayarda gönderilen verileri alıp görselleştirebilen bir donanım ve bir yazılım içeren bir sistem geliştirilmiştir.

2. Geliştirilen Sistem

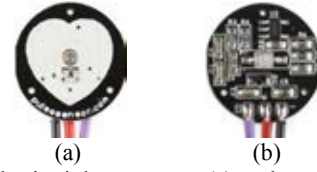
Geliştirilmiş olan sistemin blok şeması Şekil 1' de görüldüğü gibidir. Cihaz içerisinde bir kalp atım duyargası, bir sıcaklık duyargası, bir mikrodenetleyici, bir voltaj düzenleyici devresi, pil ve verici olarak çalışan bir XBee modül yer almaktadır. Uzak bilgisayar tarafında ise alıcı olarak çalışan bir XBee modül, bu modülün bilgisayara USB portu üzerinde bağlanmasına imkan tanıyan bir XBee Explorer kartı ve bilgisayarda koşturulan bir yazılım yer almaktadır.



Şekil 1: Geliştirilen sistemin blok şeması.

2.1. Kalp Atım Duyargası

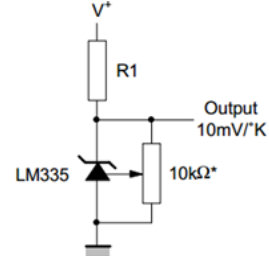
Cihaza bağlı kalp atım duyargası, kılcak damarların kanla dolmasının bir sonucu olarak artan doku hacmi ve bu artışın sonucu olarak ışıktaki yansıma oranı düşüşüne dayalı optik prensiplere göre çalışmaktadır. Parmağa veya kulak memesine kolayca takılabilen, küçük boyutlara sahip bu duyarga üzerinde Şekil 2' de görüldüğü gibi optik sürücü, sinyal yükselticisi ve pasif filtre katı bulunmaktadır. Ayrıca, duyarga analog çıktılar vermektedir [10].



Şekil 2: Kalp ritmi duyargasının (a) önden ve (b) arkadan görünüşü [10].

2.2. Sıcaklık Duyargası

Cihaz düşük maliyetli LM335Z sıcaklık duyargasına sahiptir. Bu duyarga için kalibrasyona imkan tanıyan elektronik bağlantı şeması Şekil 3'te gösterilmektedir (Bu uygulamada $V^+=3.3V$ ve $R1=215\Omega$ olarak ayarlanmıştır). Her bir Kelvin derece için +10mV doğrusal analog çıktı üreten bu duyarga, vücut sıcaklığına uygun çalışma sıcaklık aralığına ve düşük ölçüm hatasına sahiptir [11].



Şekil 3: Sıcaklık duyargası için bağlantı şeması [11].

2.3. Mikrodenetleyici ve Yazılım

Cihazda MegaAVR ailesinin bir üyesi olan ATmega328p mikrodenetleyicisi yer almaktadır (Atmel). Giriş/çıkış olarak programlanabilen yirmi üç bacağına sahip olan bu mikrodenetleyiciyi, gelişmiş analog veri işleme kabiliyeti ve kolay programlanabilme ve düşük güç tüketimi özellikleriyle ön plana çıkmaktadır (Aktif moda yalnızca 200nA akım çekmektedir) [12].

Mikrodenetleyicide kalp ritmi ve sıcaklık duyargalarının çıktılarını olan analog sinyaller sayısal formlarına 10-bit çözünürlükle çevrilip işlenmektedir. Sayısallaştırılmış sıcaklık sinyalinden, duyarga için tanımlı dönüşüm denklemiyle, santigrat derece cinsinden sıcaklık hesaplanır. Sayısallaştırılmış kalp ritim sinyali ise sırasıyla yazılımsal olarak gerçekleştirilmiş Butterworth tipi üçüncü dereceden bir alçak geçiren filtreden (kesim frekansı 5Hz) ve bir yüksek geçiren filtreden (kesim frekansı 0.8Hz) geçirilir. Filtrelenmiş sinyalde sinyalin tepe yaptığı zaman noktalar ve bir dakikalık zaman dilimi göz önüne alınarak kalp atım sayısı hesaplanır. Sayısal kalp ritim sinyali, hesaplanmış sıcaklık ve hesaplanmış kalp atım sayısı, Tablo 2' de görülen veri paketi yapısıyla, 115200bit/s hızında seri haberleşme kullanılarak cihaz içerisinde verici olarak çalıştırılan bir XBee modüle

Biyotelemetri

gönderilir. Anlatılan bu fonksiyonları yerine getiren mikrodenetleyici yazılımı Arduino IDE platformu üzerinde C programlama dili kullanılarak geliştirilmiş ve derlendikten sonra bir USBasp Atmel Programlayıcı kullanılarak mikrodenetleyiciye yüklenmiştir.

Tablo 2: Veri Paketi Yapısı.

S	Kalp Atım Verisi	T	Hesaplanmış Sıcaklık	Q	Hesaplanmış Kalp Atımı
----------	------------------	----------	----------------------	----------	------------------------

2.4. Verici ve Alıcı XBee Modüller

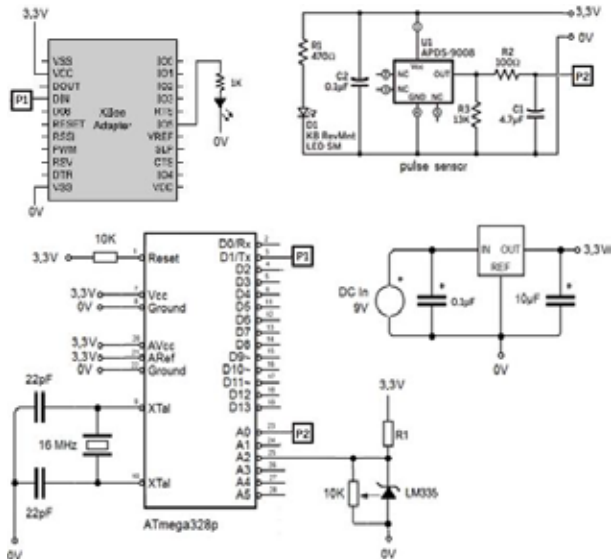
XBee modüller, ZigBee teknolojisini kullanarak haberleşen ve sinyali çoklu yönde yayabilen oldukça küçük elektronik aygıtlardır. Adresleme, haberleşme ve güvenlik fonksiyonlarından sorumlu bir mikrodenetleyici ve kablosuz haberleşme için birtakım elektronik devre elemanları barındıran bu aygıtların farklı ihtiyaçlara göre tasarlanmış farklı modelleri mevcuttur [13]. Bu çalışmada, 2.4GHz frekansında çalışan, 250Kbps hızda veri alışverişi yapan ve 90m kapalı alan kaplama mesafesi olan iki adet XBee 2mW PCB Anten Seri 2 modül kullanılmıştır (Bakınız Şekil 4). Modüllerden bir tanesi cihazın içerisinde yer almakta ve verici görevi görerek mikrodenetleyiciden gelen sayısal verileri kablosuz ortama yaymaktadır. Diğer modül ise uzak bilgisayarda alıcı olarak çalışmaktadır.



Şekil 4: XBee 2mW PCB antenli modül [13].

2.5. Voltaj Düzenleyici Devre ve Pil

Cihaz içerisinde yer alan duyargalar, mikrodenetleyici ve verici XBee modül +3.3V DC besleme gerilime ihtiyaç duymaktadır. Bu gerilim seviyesi cihazda +9V pil kaynağından bir besleme katı tarafından sağlanmaktadır. Bu kat uygun kondansatörler bağlanmış bir LD1117V33 voltaj düzenleyici tümleşik devresi içermektedir. Geliştirilen cihaza ait tüm elektronik devre çizimi Şekil 5’ de görülmektedir.



Şekil 5: Geliştirilen cihaza ait elektronik devre çizimi.

3. Gün 27 Eylül 2014 Cumartesi (11.45-13.00)

2.6. XBee Explorer Kartı

Bir XBee modülün yapılandırılması veya bilgisayara bağlanarak kullanılması için ek bir donanım ihtiyacı duyulmaktadır. Bu çalışmada Şekil 6’da görülen XBee Explorer kartı bu ihtiyaca yönelik kullanılmıştır. Bu kart bilgisayara USB portu üzerinden bağlanmakta ama kendini bir seri port olarak göstermekte ve üzerine yerleştirilen XBee modülünü bilgisayarın tanıyıp erişmesine olanak tanımaktadır. Bu çalışmada alıcı XBee modülü XBee Explorer kartı üzerinden uzak bilgisayara bağlanmıştır.



Şekil 6: XBee Explorer kartı [14].

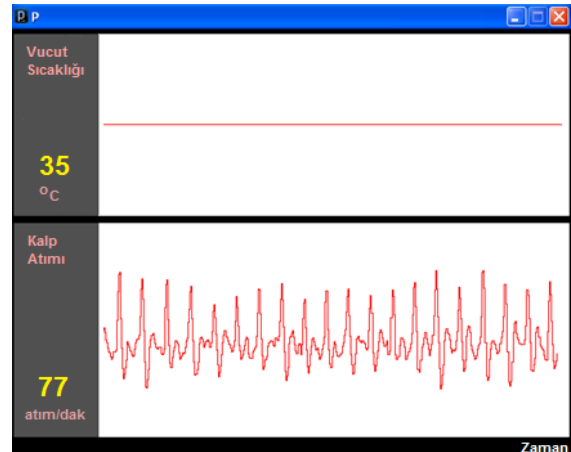
2.7. Bilgisayar Yazılımı

Uzak bilgisayarda alıcı XBee modül tarafından alınan veri paketlerinden verilerin çıkarımı ve görselleştirilmesi için bir bilgisayar yazılımı gereklidir. Böyle bir yazılımın kodlanması için birçok programlama dili mevcuttur. Bunların arasında Processing programlama dili, basit yapısıyla kolayca öğrenilebilir ve açık kaynak kodu yaklaşımıyla kolay entegre edilebilir birçok hazır kütüphanesi olan ücretsiz sunulan Java tabanlı bir programlama dilidir. Yazılımlar geliştirme arayüzü olan Processing Development Environment kullanılarak yazılmakta ve aynı arayüz üzerinden çalıştırılmaktadır.

Bu çalışmada uzak bilgisayarda toplanan veriler çalışma kapsamında Processing programlama dili kullanılarak kodlanmış bir bilgisayar yazılımı tarafından görselleştirilmektedir. Bu yazılım vücut sıcaklığı-zaman ve kalp ritmi-zaman olmak üzere iki şekil ve hesaplanmış anlık sıcaklık ve kalp atım sayısını gösteren yazılar barındıran bir formdan oluşmaktadır.

3. Sonuçlar

Geliştirilen sistemle sağlıklı gönüllülerle denemeler yapılmıştır. Bu denemelerde kalp atım duyargası sol el işaret parmağına ve sıcaklık duyargası sağ el işaret parmağına tutturulmuştur. Gözlemler ve elde edilen sonuçlar sistemin vücut sıcaklığı ve kalp atımının anlık izlenmesini kolaylaştırdığını göstermektedir. Örnek bir gönüllü için bilgisayar yazılımı ekran görüntüsü Şekil 7’ de görülmektedir.



Şekil 7: Bilgisayar yazılımı ekran görüntüsü.



Biyotelemetri

3. Gün 27 Eylül 2014 Cumartesi (11.45-13.00)

Geliştirilen cihaz mevcut haliyle taşınabilir bir yapıya sahiptir ancak vücut üzerine giyilebilecek bir tasarımla daha yaygın kullanılabilir hale getirilmesi mümkündür. Kalp atım duyargasından alınan analog sinyallere binen gürültünün süzülmesi için mikrodenetleyicide yazılımsal filtreleme gerçekleştirilmektedir ve bu mikrodenetleyicinin işlem yükünü bir miktar arttırmaktadır. Donanımsal filtreleme ile bu yükün hafifletilmesi fayda sağlayabilir. Sıcaklık duyargasının verimli ve güvenilir çalışabilmesi için sürücü devresindeki dirençlerin uygun değerlerde olması gerekmektedir. Bu duyarganın direk sayısal ölçümler sunabilen gelişmiş bir sıcaklık duyargasıyla değiştirilmesi gerçekleştirmelerde kolaylıklar sağlayabilir.

ZigBee teknolojisi temelli oldukça küçük elektronik aygıtlar olan XBee modüller üzerlerinde mikrodenetleyici ile gelmektedirler. Bu mikrodenetleyici vasıtasıyla birtakım analog-sayısal çevrimlerin gerçekleştirilmesi mümkün olsa da, bu çalışma kapsamında yapılmış olan denemelerde, analog kalp atım sinyalinin güvenilir bir biçimde sayısal haline çevrilemediği görülmüştür. XBee modülleri üzerindeki mikrodenetleyiciler analog sayısal çevrimleri, hızlı değişen fizyolojik sinyaller gözönüne alındığında, arzulanmayan uzun örnekleme süreleriyle yapmaktadırlar. Bu yüzden ek bir mikrodenetleyicinin kullanımına ihtiyaç duyulabilmektedir.

Öte yandan, masaüstü/taşınabilir bilgisayarlar, tabletler veya akıllı mobil cihazlar ZigBee alıcılarıyla donatılmadıklarından bağlanabilirlikleri için harici bir alıcı donanıma ihtiyaç duyulmaktadır. Yine de, sağladığı sağlam ve güvenli haberleşme ve dikkate değer düşük güç tüketimiyle ZigBee teknolojisinin evde sağlık uygulamalarında kullanımı kazançlı olacaktır. İleride, cihazımıza insan yürüyüşünü yakalamak için duyargalar ve gün saat eşgüdümlü ölçümler yapabilmek için gerçek zamanlı saat yerleştirmeyi planlamaktayız.

4. Kaynakça

- [1] Lee, J., Su, Y. ve Shen, C., “A Comparative Study of Wireless Protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi”, *33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2007, 46-51.
- [2] Zheng, Li., “Zigbee Wireless Sensor Network in Industrial Applications”, *International Joint Conference SICE-ICASE*, 2006, 1067-1070.
- [3] Veerasingam, S., Karodi, S., Shukla, S. ve Yeleti, M.C. “Design of Wireless Sensor Network Node on ZigBee for Temperature Monitoring”, *International Conference on Advances in Computing, Control, & Telecommunication Technologies*, 2009, 20-23.
- [4] Hwang, S. ve Yu, D., “Remote Monitoring and Controlling System Based on ZigBee Networks”, *International Journal of Software Engineering and Its Applications*, 6, 35-24, 2012.
- [5] Hong, JH., Kim, NJ., Cha, EJ., ve Lee, TS., “Development of Zigbee-based Mobile Healthcare System”, *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 2006 IFMBE Proceedings*, 2007, 4065-4068.
- [6] Arnil, J., Punsawad, Y. ve Wongsawat, Y., “Wireless sensor network-based smart room system for healthcare monitoring”, *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, 2011, 2073-2076.
- [7] Kotevska, O., Vlahu-Gjorgievska, E. ve Koceski, S., “Using Zigbee low-power wireless standard for

monitoring patients' signs”, *ICT Innovations 2013 Web Proceedings*, 171-179, 2013.

- [8] Lin, C., Tuan, P. ve Pei, C., “ZigBee-Based Wireless Homecare System Implementation”, *Gerontechnology*, dx.doi.org/10.4017/gt.2008.07.02.093.00, 2008.
- [9] Dağtaş, S., Pekhteryev, G., Sahinoğlu, Z., Cam, H. ve Challa, N., “Real-time and secure wireless health monitoring”, *Int J Telemed Appl*, dx.doi.org/10.1155/2008/135808, 2008.
- [10] Gitman, Y. ve Murphy, J., “Pulse Sensor”, *Make Magazine*, 52-56, 2012.
- [11] LM335Z datasheet. <http://www.ti.com/lit/gpn/lm335z>.
- [12] ATmega328p datasheet. <http://www.atmel.com>.
- [13] Xbee Series 2 PCB antenna. <https://www.sparkfun.com/products/11217>.
- [14] XBee Explorer. <https://www.sparkfun.com/products/8687>