

Безжични мрежи от биомедицински сензори – перспективи за изследване

Митко Шопов

Увод

С появата и разпространението на все по-голям брой физически устройства, свързани в мрежа и достъпни през Интернет, се наблюдава засилен интерес от страна на академичната общност и индустрията в разширяването на областите на приложение на сензорните мрежи. Една от най-популярните в последните години нови области на приложение е тази на здравеопазването. Основна движеща сила на този процес в технологично отношение се явяват новите постижения в развитието на безжичната комуникация и мобилните изчислителни устройства. развитието му е заложено сред приоритетите на Седма рамкова програма на Европейския съюз [1].

Тенденция от последните години е увеличаването на броя на предлаганите на пазара преносими устройства за следене на медицински показатели, движение и активност, портативни холтер системи, носени и дори имплантируеми сензори. Основните потребители на този тип системи обаче са твърде ограничен кръг от хора, включващи професионални атлети, военни и хора със специфични нужди. За да може да се постигне по-широкото им разпространение е необходимо да се намерят отговори на редица нерешени задачи. Сред най-важните от тях са удобството и възможността за свободно движение, което от една страна е свързано с размерите на сензорите, а от друга с наличието на непрекъсната безжична комуникация, надеждната и безопасна работа на устройствата, честотата на презареждане и смяна на батериите, сигурността и защитата на снеманите данни, съвместимостта между продукти на различни производители и не на последно място цената на подобни устройства [2, 4, 5].

В статията е представен анализ на текущото състояние от развитието на мрежите от биомедицински сензори и задачите, които стоят за решаване пред тях.

Безжични мрежи от биомедицински сензори

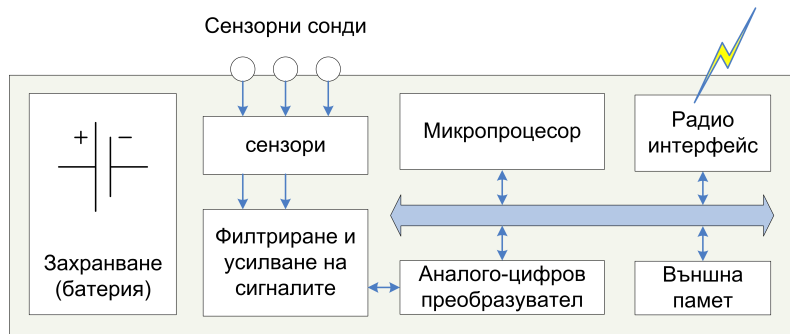
Развитието на микроелектрониката, сензорите, безжичните комуникации и новите компютърни и Интернет технологии позволи изграждането на все по-интелигентни, разпределени мрежи от безжични сензори. Това дава основание за приложението на този тип мрежи в една нова и сравнително консервативна област каквато е публичното здравеопазване. Мрежата от безжични биомедицински сензори се състои от множество сензорни възли, разположени по, в близост или имплантирани в тялото на пациента. Всеки сензорен възел трябва да изпълнява няколко основни задачи [3]:

- снемане и дискретизиране на съответните биологични сигнали;
- цифрова обработка на входния сигнал, включваща филтриране, извличане на характеристики, компресиране;
- локално буфериране;
- безжична комуникация с локален шлюз (координатор на мрежата от сензори).

За тази цел всеки сензорен възел трябва да включва следните физически компоненти [3]:

- физически сензор (или сензорен елемент);
- схема за филтриране на сигнала;
- аналого-цифров преобразувател;
- процесорен блок;
- локална памет;
- комуникационен блок;
- хранване (батерии).

Типичната архитектура на един такъв сензорен модул е показана на фигура 1 [3, 10]. Действителната вътрешна организация зависи изключително от основните изисквания поставени пред мрежата от биомедицински сензори, като функционалност, физически размери, леснота за реализиране, надеждност на комуникацията, сигурност на предаваните данни и съвместимост с други устройства.



Фиг.1: Обща блок-схема на интелигентен сензорен възел

Сензорният възел има за цел акуратното регистриране на следената величина, извършване на първична обработка над входните данни и безжичното им доставяне до локален шлюз, изпълняващ ролята на координатор на мрежата от сензори. Координаторът има за цел консолидирането на информацията от всички сензори, вторична обработка над данните на по-високо ниво, изпращането им към централен медицински сървър и предоставяне на обратна връзка към пациента.

Предизвикателства за разрешаване пред безжичните мрежи от биомедицински сензори

Безжичните мрежи от биомедицински сензори и безжичните сензорни мрежи споделят обща функционална архитектура, но разликата в оперативните им характеристики поставя нови и специфични проблеми и предизвикателства за разрешаване [2, 6].

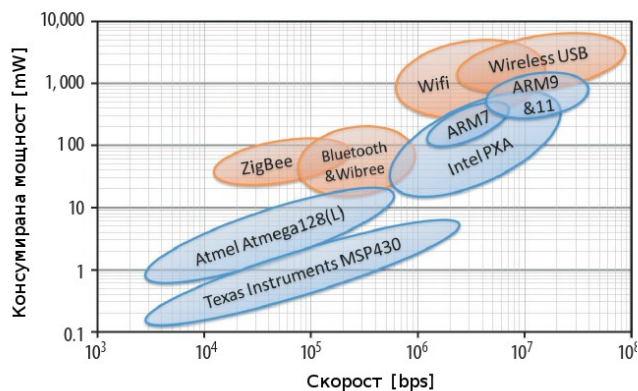
Консумирана мощност

Консумираната мощност от сензорните възли е от голямо значение при проектирането и изграждането на мрежите от биомедицински сензори. От една страна тя е свързана с необходимостта от смяна/презареждане на батериите, а от друга с техния размер, който е определящ и за крайния размер на сензора, а оттам и за удобството и приемането им от крайния потребител. Основните консуматори на мощност в сензорния възел са процесорния и комуникационния блок [10].

Локални изчисления

Всеки сензорен възел извършва редица изчисления свързани с координирането на регистрирането и филтрирането на входните сигнали, предварителна обработка над сметите данни, управлението на локалната памет, инициализирането и управлението на комуникацията. От тях единствено етапа на локална обработка на данните с цел извличане на информация от тях е незадължителна, но

именно той играе съществена роля за намаляването на общата консумирана енергия от сензорния възел. На фигура 2 [2] е представена средната консумация на най-популярните комуникационни интерфейси и микропроцесори приложими при изграждането на мрежи от биомедицински сензори. От нея става ясно, че за дадена скорост на обработка консумираната мощност от комуникационния блок значително надхвърля тази от микропроцесора. Това дава възможност за търсене на най-подходящата комбинация от локална обработка на данните и комуникация като се отчитат изискванията на приложението, изчислителните ресурси на сензора и закъснението внесено от локалните изчисления. Необходимо е модифицирането и създаването на нови алгоритми и методи на класификация на данните, които отчитат ограничените ресурси на сензорните възли.



Фиг.2: Средна консумация на безжични комуникационни интерфейси и микропроцесори [2]

Безжична комуникация

Изборът на комуникационен интерфейс е важен етап от проектирането на мрежата от биомедицински сензори. От една страна комуникацията трябва да се характеризира с ниска консумация, малки размери на комуникационния блок, висока надеждност, като същевременно осигурява необходимата пропускателна способност за различните приложения, позволява мобилност и предоставя висока степен на защита на предаваните данни. Ограничаването на радиуса на покритие до размерите на човешкото тяло е уникална характеристика, която може да реши по-голяма част от проблемите като консумирана мощност, интерференция и защита на данните [7].

Безжичната комуникация в мрежите от биомедицински сензори може да бъде базирана на специализиран комуникационен протокол. Такова решение би имало предимството от оптимално използване на ресурсите спрямо конкретно приложение, но би възпрепятствало постигането на съвместимост между устройства на различни производители. От стандартизираните протоколи най-подходящи са фамилията стандарти от групата на персоналните мрежи - IEEE 802.15.1 (Bluetooth) и IEEE 802.15.4 (Zigbee). Bluetooth стандарта е разработен като заместител на кабелите при свързването на периферни устройства и се характеризира с висока пропускателна способност, но и сравнително висока консумация, ограничен брой устройства в една мрежа и сравнително голям размер на протоколния стек, но също така широка популярност сред предлаганите на пазара мобилни устройства. Wibree е версия на Bluetooth със значително по-ниска консумация. Zigbee от своя страна е разработен за приложения свързани с контрол и автоматизация. Характеризира се с по-ниска пропускателна способност, но и по-ниска консумация, различни режими на работа намаляващи допълнително консумираната енергия и голям брой устройства в една мрежа. Други стандарти като IEEE 802.15.3 (UWB) и WirelessUSB могат да бъдат използвани за приложения изискващи по-високи скорости на обмен на малки разстояния.

Към момента е в етап на разработване нов стандарт, който много по-точно ще отчита спецификите на мрежите от биомедицински сензори – IEEE 802.15.6 (Body Area Network).

Съвместимост и интеграция

Съвместимостта между устройства на различни производители и улеснената интеграция на ново устройство към мрежата от биомедицински сензори е важна предпоставка за по-бързото им и лесно налагане и развитие. Continua Health Alliance [12] обединява голям брой производители на комуникационно и медицинско оборудване и има за цел да подпомогне този процес чрез избор на подходящи стандарти и спецификации и дефиниране на ограничения и допълнения към тях.

С повишаване на изчислителните ресурси на вградените микропроцесорни системи все по-голямо популярност добива тенденцията за прилагането на адаптирани версии на Web

технологии в системите за автоматизация и измервания [11]. Мрежите от биомедицински сензори също биха могли да спечелят от използването на стандарти за Web услуги (XML, WSDL, SOAP) в контекста на съвместимост и интеграция с наличните медицински и корпоративни информационни системи [8, 9].

Свобода на движение

Свободата на движение е важна предпоставка за по-лесното приемане от потребителите на безжичните биомедицински сензорни мрежи. Тя може да бъде разделена на две основни категории. Първата включва свобода на движение на тялото и възможността за изпълнение на нормалните ежедневните дейности. Основни задачи тук са свързани с намаляване на размера на сензорите, удължаване на живота на батериите и търсенето на нови начини за поставяне и прикрепяне на сензорите към тялото. Втората категория е свързана с обхвата на безжичните мрежи и възможността за свободно придвижване на големи разстояния. Основните задачи тук са в осигуряване на алтернативни комуникационни канали и алгоритми за автоматично превключване между тях, механизми за локално запазване на данните и обработката на кризисни ситуации. Основна роля при решаването им ще играят новите генерации мобилни мрежи и системите за локализация.

Сигурност

Осигуряването на висока степен на защита е изключително важна задача предвид естеството на предаваните данни в мрежите от биомедицински сензори. Механизмите за сигурност трябва да включват защита от подслушване, от сгрешени или подменени данни, от атаки от типа отказ на услугата. Необходимо е разработването на рамка от правила за обмяна на ключове, автентикация, оторизация и осигуряването на интегритет на данните.

Друго важно изискване към мрежите от биомедицински сензори е осигуряването на приемливо качество на услугата (QoS) и възможност за приоритизиране на трафика особено при мрежи, съчетаващи следенето на некритични и критични параметри.

Примерна реализация на мрежа от биомедицински сензори

С цел да се демонстрират по-пълно възможностите за развитие пред мрежите от

биомедицински сензори е представена примерна реализация, включваща мобилен телефон и биомедицински сензори за снемане на пулс, кислородно насищане и ЕКГ.

Мобиления телефон използван в примерната реализация е Android Dev Phone 1 (фигура 3) [13], характеризира се с процесор Qualcomm 7210 528MHz, цветен touch-screen дисплей с резолюция 480x320, операционна система Android 1.6, GPS и следните комуникационни интерфейси – GSM/GRPS/EDGE/3G, Bluetooth 2.0 EDR и IEEE 802.11 b/g.



Фиг.3: Мобилен телефон Android [13]

Биомедицинският сензор за снемане на пулс и кислородно насищане използван в примерната реализация е Onyx II 9560 (фигура 4) [14] на фирмата Nonin. Той се характеризира с малък размер – поставя се на пръста на пациента без допълнителни елементи, сертификат за съвместимост с Continua Version One Design Guidelines [12], Bluetooth 2.0 комуникационен интерфейс от клас I с обхват до 100м, локална памет за запомняне на измерванията при отсъствие на връзка, ниска консумация, захранване от 2 AAA батерии.

Последният елемент на примерната реализация е портативен ECG модул (фигура 5) [15] оборудвана с Bluetooth 2.0 комуникационен интерфейс клас II – до 10-20м.



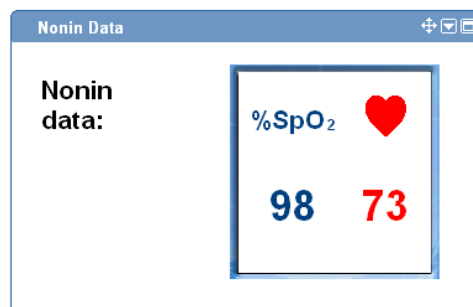
Фиг.4: Биомедицински сензор (пулс и кислородно насищане) - Onyx II 9560 [14]

Снетите данни се изпращат в реално време без междинно запомняне. Визуализирането и обработването на данните се извършва в приемащото устройство. Системата е разработена в лабораторията по биомедицинско инженерство към Технически Университет София.



Фиг.5: Портативен ЕКГ модул [15]

В примерната реализация е изградена безжична мрежа (piconet в контекста на Bluetooth) между мобилния телефон и биомедицинските сензори. Мобиленият телефон изпълнява ролята на координатор на мрежата и периодично извлича данните от измерванията в суров вид. Върху входните данни се прилага първична локална обработка и конвертиране до XML формат. Възможно е задаване на гранични стойности на следените параметри и асоцииране на алармено известяване към потребителя при излизане извън тях. На фигура 6 е показано мобилно приложение за визуалното представяне на резултатът от измерването на кислородното насищане и пулса на дисплея.



Фиг.6: Приложение за следене на пулс и кислородно насищане

Изводи и бъдещо развитие

В статията са разгледани особеностите на безжичните мрежи от биомедицински сензори. Безжичните мрежи от биомедицински сензори са един от компонентите на системите за персонализирано здравеопазване и като такива се различават значително по своята същност и

особености от тези на безжичните сензорни мрежи. Това изисква решаването на нови проблеми и предизвикателства. В статията е направен опит за очертаване на най-важните групи от тях, с които са свързани и възможностите за бъдещо развитие. Сред най-важните от тях са избор на оптимален комуникационен протокол за различните групи приложения, определяне на идеалната комбинация от локални изчисления и безжична комуникация, защита на данните и не на последно място дефиниране на интерфейс към останалите компоненти в системите за персонализирано здравеопазване.

Благодарности

Работата, представена в тази статия, е частично финансирана по проект 102ПД078-19/2010 на Технически Университет – София и проект ВГ 051РО001-3.3.04/13 на ОП „Развитие на човешките ресурси” на Европейския Социален Фонд 2007-2013г.

Литература

- [1].Боянов, К., Д. Тодоров, М. Петкова. Информационните и комуникационните технологии и Седма рамкова програма на Европейския съюз. - *Списание Автоматика и Информатика*, брой 3, стр.7-12, 2006.
- [2].Hanson, M. et. al. Body Area Sensor Networks: Challenges and Opportunities. – *IEEE Computer Magazine*, pp. 58-65, 2009.
- [3].Milenkovich, A., C. Otto, and E. Jovanov. Wireless sensor networks for personal health monitoring: Issues and an implementation. – *Journal of Computer Communications*, vol.29, pp. 2521-2533, 2006.
- [4].Shnayder, V. et.al. Sensor Networks for Medical Care. *Technical Report TR-08-05*, Harvard University, 2005.

- [5].Yu, P, M. Wu, H. Yu, and G. Xiao. The Challenges for the Adoption of M-Health, Proc. IEEE Conference on Service Operations and Logistics and Informatics, Shanghai, China, June 21-23, pp. 181-186, 2006.
- [6].Lo, B. and G. Yang. Body Sensor Networks – Research challenges and opportunities. Proc. Of IET Seminar on Antennas and Propagation for Body-Centric Wireless Communications, pp. 26-32, 24 April 2007.
- [7].Jovanov, E. A Survey of Power Efficient Technologies for Wireless Body Area Networks. Proc. IEEE EMBS, Vancouver, Canada, pp. 3628, 2008.
- [8].Hashmi, N., D. Myung, M. Gaynor, S. Moulton. A sensor-based, Web Service-enabled, Emergency Medical Response System. Proc. Of EESR'05, pp. 25-29, 2005.
- [9].Shabo, A., S. Rabinovici-Cohen, P. Vortman. Revolutionary impact of XML on biomedical information interoperability. IBM Systems Journal, vol. 45, no 2, pp. 361-372, 2006.
- [10].Raghunathan V., C. Schurgers, S. Park, and M. Srivastava. Energy Aware Wireless Sensor Networks. *ACM Transactions on Embedded Computing Systems*, Vol.3, No.1, pp. 431-447, February 2004.
- [11].Kakanakov, N. and G. Spasov. Adaptation of web service architecture in distributed embedded systems. Proc. of CompSysTech'05, pp. IIIВ.10-1-IIIВ.10-6, June 2005.
- [12].Continua Health Alliance - <http://www.continuaalliance.org/>
- [13].Спецификация на Android Dev Phone 1 - <http://www.obsessable.com/cell-phone/android-dev-phone-1/specs/>
- [14].Спецификация на Onyx II 9560 - <http://www.nonin.com/Onyx9560>
- [15].Спецификация на безжичен ЕКГ модул - <http://81.161.242.159/biomed/>

За контакти:

инж. Митко Шопов, тел: 032 659758, e-mail: mshopov@tu-plovdiv.bg, докторант в Технически Университет – София, филиал Пловдив.