



Концепция за IoT базирана система за мониторинг на здравни показатели

Снежинка Захариева^{1*}, Йордан Стоев², Борис Ганев³

¹Катедра Електроника
Русенски университет „Ангел Кънчев“
ул. "Студентска" 8, Русе, пк. 7017
E-mail: szaharieva@uni-ruse.bg

²Катедра Електроника
Русенски университет „Ангел Кънчев“
ул. "Студентска" 8, Русе, пк. 7017
E-mail: istoev@uni-ruse.bg

³Катедра Електроника
Русенски университет „Ангел Кънчев“
ул. "Студентска" 8, Русе, пк. 7017
E-mail: boro_omega@mail.bg

*Corresponding author

Резюме: За да се премахне възможността от допускане на човешка грешка, както и улесняването на здравните специалисти, предлагаме концепция за IoT базирана система за мониторинг на здравни показатели, която дава възможност за предаване на данните от измерванията през безжичен канал за връзка до базова станция. Обект на системата за здравен мониторинг са два основни показателя - сърдечен ритъм и насищане на кръвта с кислород.

Ключови думи: LoRaWAN, здравни показатели, мониторинг, интернет на нещата

Concept for IoT - based health parameters monitoring system

Snezhinka Zaharieva, Iordan Stoev, Boris Ganey

¹Department of Electronics
University of Ruse "Angel Kanchev"
8 Studentska str., POB 7017, Ruse, Bulgaria
E-mail: szaharieva@uni-ruse.bg

²Department of Electronics
University of Ruse "Angel Kanchev"
8 Studentska str., POB 7017, Ruse, Bulgaria
E-mail: istoev@uni-ruse.bg

³Department of Electronics
University of Ruse "Angel Kanchev"
8 Studentska str., POB 7017, Ruse, Bulgaria
E-mail: boro_omega@mail.bg

*Corresponding author

Abstract: In order to eliminate the possibility of human error as well as facilitate healthcare professionals, we propose a concept of an IoT-based health parameters monitoring system that enables the transmission of measurement data over a wireless communication channel to a base station. The objectives of the health monitoring system are two main parameters, heart rate and blood oxygen saturation.

Keywords: LoRaWAN, health, monitoring, IoT

Въведение

Сърдечният ритъм е един от най-често измерваните параметри и играе огромна роля при диагностицирането на пациента. Измерването на сърдечния ритъм се превръща в ежедневие за съвременния човек и много електронни устройства, като iPods, някои фитнес уреди и мобилни телефони могат да измерят с висока точност сърдечния ритъм. Друг важен показател за определяне здравословното състояние на човека е нивото на кислород в кръвта. Пулсовата оксиметрия измерва периферното насищане с кислород (SpO₂), което отразява ефективността на сърдечно-белодробната система да достави богата на кислород кръв на тялото. Здравните специалисти следят спада на SpO₂, като ранен признак за увреждане на белодробната тъкан [1].

Съществуват различни методи за измерване на сърдечния ритъм, сред тях са Електрокардиографията, Фотоплетизмография, Осцилометрия (метод за измерване на кръвното налягане) и Фонокардиография. Всеки от тези методи измерва различни явления в човешкото тяло по време на сърдечния цикъл, за да се определи сърдечният ритъм [2].

Съкращението и отпускането на сърдечните мускули кара кръвта да навлиза и напуска сърцето. По време на всеки сърдечен цикъл група тъкани, наречени синоатриални възли (познати и като пейсмейкър на сърцето) генерират електрически импулси, които се разпространяват в сърцето и предизвикват ритмичните контракции и отпускания на сърдечните мускули. Тези електрически импулси могат да бъдат засечени с поставянето на електроди на определени места на човешкото тяло. Електрокардиограмата улавя вариациите на електрическите импулси и така отчитат сърдечния ритъм. Кардиографията като метод за измерване на сърдечния ритъм изисква поставянето на два или повече електрода в определени точки на човешкото тяло. ЕКГ сигналът се характеризира с шест върха и спада обозначени с последователни букви: P, Q, R, S, T и U. Върхът P е резултат от мускулната контракция на предсърдието. Върхът R показва края на свиването на предсърдието и началото на вентрикуларна контракция. T върхът отбелязва края на вентрикуларната контракция. Големината на върха R нормално е в границите между 0,1mV и 1,5mV. Сърдечният ритъм се изчислява, като първо се измерва времеви интервал (обозначен с RR интервал) между два последователни R върха и се взема средната реципрочна стойност в определен период от време, обикновено 15, 30 или 60 секунди. Тази средна стойност след това се разделя до удари в минута. Върхът R е част от RQS комплекс, който представлява вентрикуларна деполяризация. ЕКГ може да се компроментира от електрически смущения на околните уреди, измервателни шумове, електромиограмни шумове (мускулни контракции), движение, движение на въздуха или смущения в дишането, инструментален шум (смущения при процеса на конвертиране на аналогожите сигнали в цифрови) [3].

Фотоплетизмографията е оптичен измервателен метод, който се използва за регистриране на измененията в обема на кръвта в кръвоносните съдове. Движението на кръвта има пулсиращ характер и създадената в резултат на това пулсова вълна може да бъде детектирана в различни участъци на кръвоносната система. Методът използва

източник на светлина и фотодетектор за регистриране интензивността на светлинния поток, който е преминал през биологичната тъкан или е отразен от нея. Интензивността на светлинния поток се променя в зависимост от измененията на кръвонапълването в съответното място, където се осъществява измерването. При фотоплетизмографския метод се извършва разпознаване на пулсовата вълна, посредством графики, снети в различни области на човешкото тяло. Алгоритъм за бърза детекция на пулсовата вълна е създаден от [4]. Алгоритъмът включва високочестотен филтър с гранична честота 0.5 Hz, пълзащо ускоряване с първа нула в 7.5 Hz, откриване на максимуми и минимуми, критерий за валидност на нарастващия фронт, оценка на подобие на текущия нарастващ фронт спрямо предишни валидни предни фронтове.

Отварянето и затварянето на клапите на сърцето произвежда звук по време на контракция и дилатация, който може да се чуе с помощта на стетоскоп. Тези звуци са в ритъм със сърцето и могат да се уловят с помощта на микрофони. Отделно от обичайните звуци на сърцето (S1 и S2 – Lub и Dub), анормални звуци сърдечен шум, също могат да се доловят. Този метод на детектиране на сърдечния ритъм се нарича фонокардиография.

Пулсовата оксиметрия измерва периферното насищане с кислород (SpO_2), което вличе на ефективността на сърдечно-белодробната система да набави насител с кислород кръв на тялото. Атлетите използват резултатите от измерванията на периферното насищане с кислород, като критерии за ефективност на положеното усилие по време на тренировка, но това изследване придоби още по-голяма важност по време на COVID-19 пандемията. За заразените хора с леки симптоми поставени под карантина в дома за възрастни хора, лесният достъп до евтин пулсов оксиметър може да помогне за определяне на развитието на заболяването и нуждата от допълнителни здравни грижи [5].

IoT базирана система за мониторинг на здравни показатели

За извършване на постоянен мониторинг на здравни показатели е предложена за разработка система, която съдържа модул за измерване на здравни параметри, с безжична връзка за обмен на данни и устройство тип Gateway, което ще прима данните от различните модули. При разработването на модула за измерване на здравни параметри и устройството за предаване на данни се обръща внимание на следните задачи:

- разработване на модул за измерване на здравни параметри;
- разработване на модул Gateway за приемане на данните за здравните параметри;
- софтуерно осигуряване на системата.

Очевидно дадената система, която включва модула за измерване на здравни параметри и модула за приемане на данни трябва да изпълнява функции на мониторинг и контрол. За измерване на здравните параметри, би било подходящо използването на едночипов микроконтролер с подходящ сензор. Съществуват много фирми производители, които предлагат микроконтролери с различна архитектура и възможности. Избор на даден микроконтролер, който би бил подходящ за системата, ще се направи след като се уточнят всички модули. Микроконтролер (понякога съкратено μC или MCU) е малък компютър разположен на една интегрална схема, съдържаща процесорно ядро, памет и програмируеми входни/изходни периферни устройства. Програмната памет е под формата на флаш или еднократно програмируем ROM, която е най-често в самата интегрална схема. В него се намира и една малка по

размер RAM памет. Микроконтролерите са предназначени за вградени приложения, за разлика от микропроцесорите използвани в персонални компютри. Микроконтролери се използват в автоматично контролирани продукти и устройства, като например системи за контрол в автомобила, имплантируеми медицински изделия, дистанционни управления, офис техника, уреди, електрически инструменти, играчки и други системи. Намаляват се размера и разходите по отношение на един микроконтролер, като съответно се увеличават възможностите му – бързодействие, памет и входно/изходни интерфейси.

Разработвания модул за измерване на здравни параметри се нуждае от сензор, който ще измерва пулс и кислород. За целите на настоящия проект ще бъде избран сензорен модул, с малки размери, подходящ за приложение в мобилни устройства. Ниската консумация на енергия също е един от показателите определящи избора му. Избраният сензор е от генерацията Ultra-low-power devices.

За реализацията на устройството за измерване на здравни показатели пулс и кислород е избран MAX30102 на Maxim Integrated. Сензорът MAX30102 е интегриран модул за пулсова оксиметрия и пулсомер [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. MAX30102 включва вътрешни светодиоди, фотодетектори, оптични елементи и електроника с ниско ниво на шум с отхвърляне на околната светлина. Това силно чувствително устройство работи с едно захранване от 1,8V и отделно захранване с 3,3V за вътрешните светодиоди. Комуникацията се осъществява чрез стандартен I2C-съвместим интерфейс. Този сензор може да бъде изключен чрез софтуер с нулев ток в режим на готовност, което позволява на основните силови релси да останат захранвани през цялото време. MAX30102 притежава следните характеристики:

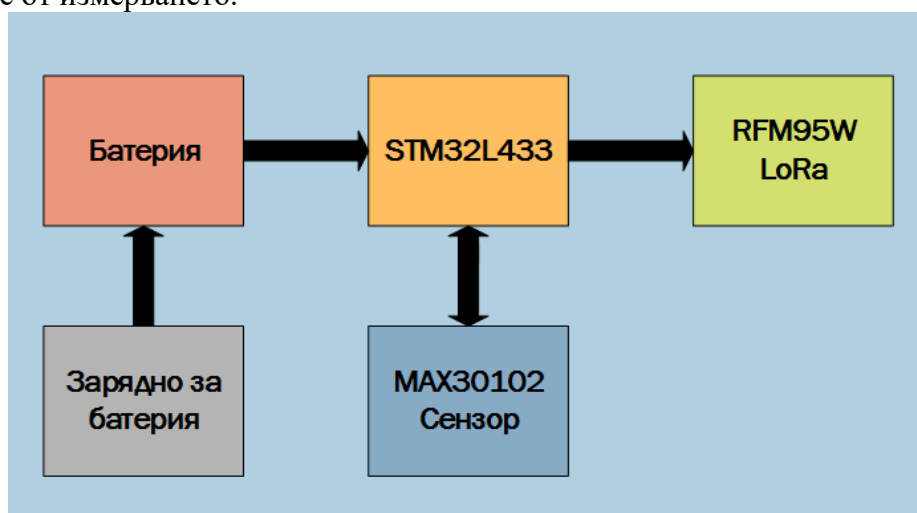
- Оптичен сензор за проследяване на пулс и кислород;
- Размери 5.6mm x 3.3mm x 1.55mm, 14-пинов оптичен модул и интегрирано покривно стъкло за оптимално представяне;
- Ниска консумация на енергия;
- Програмируема честота на дискретизация и LED ток за спестяване на енергия; Сензор за пулс с ниска мощност (<1mW);
- Ултра нисък ток на изключване (0.7µA тип.);
- Възможност за бързо извеждане на данни;
- Висока честота на извадката; Устойчивост на артефакти от движение;
- Висока SNR; от -40 ° C до + 85 ° C диапазон на работната температура.

Сензорът се свързва към микроконтролер с интерфейс I2C, което ще продиктува изборът на микроконтролер.

Микроконтролерите на ST Microelectronics STM32L433xx са разработен с цел да покриват нуждите на устройства с ултра ниска мощност. Те са базирани на високопроизводително 32-битово RISC ядро Arm® Cortex® -M4, работещо на честота до 80 MHz. Ядрото Cortex-M4 разполага с формата плаваща запетая с една прецизност (FPU), която поддържа всички Arm® системи за обработка на данни с една прецизност и типове данни. Микроконтролерите STM32L433xx разполагат с високоскоростна памет (флаш памет до 256 Kbyte, 64 Kbyte на SRAM), Quad SPI интерфейс за флаш памет (наличен във всички пакети) и широка гама от подобрени I / O и периферни устройства, свързани към две APB шини, две AHB шини и 32-битова мулти-AHB шинна матрица. STM32L433xx предлагат бърз 12-битов ADC (5 Msps), два компаратора, един операционен усилвател, два ЦАП канала, вътрешен референтен буфер за напрежение, RTC с ниска мощност, един 32-битов таймер с общо предназначение, един 16-битов PWM таймер, посветен на управлението на двигателя,

четири 16-битови таймери с общо предназначение и два 16-битови таймера с ниска мощност. Освен това са налични до 21 капацитивни сензорни канала. Устройствата разполагат и с вграден LCD драйвер 8x40 или 4x44, с вътрешен преобразувател. Те също така разполагат със стандартни и усъвършенствани комуникационни интерфейси. STM32L433xx работи при температура от -40 до $+85$ °C ($+105$ °C температурата на транзисторната връзка), от -40 до $+105$ °C ($+125$ °C температурата на транзисторната връзка) и от -40 до $+125$ °C ($+130$ °C температурата на транзисторната връзка). Температурата варира от 1,71 до 3,6 V VDD захранване при използване на вътрешен LDO регулатор и от 1,05 до 1,32 V VDD12 захранване при използване на външно SMPS захранване. Големия набор от енергоспестяващи режими позволява проектирането на приложения с ниска мощност. Поддържат се някои независими захранвания: аналогов независим вход за ADC, DAC, OPAMP и компаратори и 3.3 V специален вход за USB. VBAT вход позволява да се архивират RTC и регистрите за архивиране. Специализираните VDD12 захранвания могат да се използват за заобикаляне на вътрешния LDO регулатор, когато са свързани към външен SMPS.

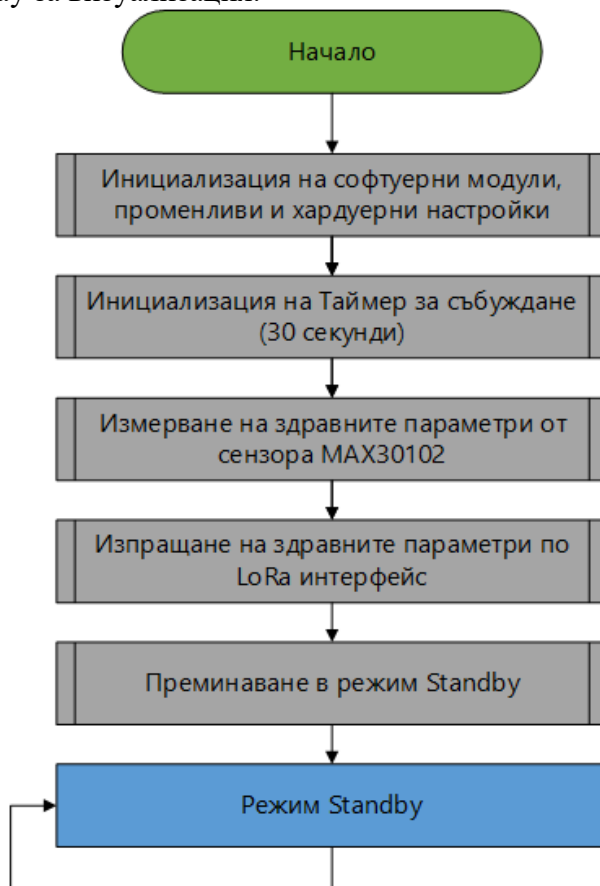
В блоковата схема, представена на фигура 1 са разположени микроконтролер – STM32L433 като основна част от модула, MAX30102 сензор за измерване на здравните параметри, Батерия, схема за заряд на батерията и RFM95W LoRa модул за предаване на данните от измерването.



Фигура 1 Блокова схема на модула за измерване на здравни параметри

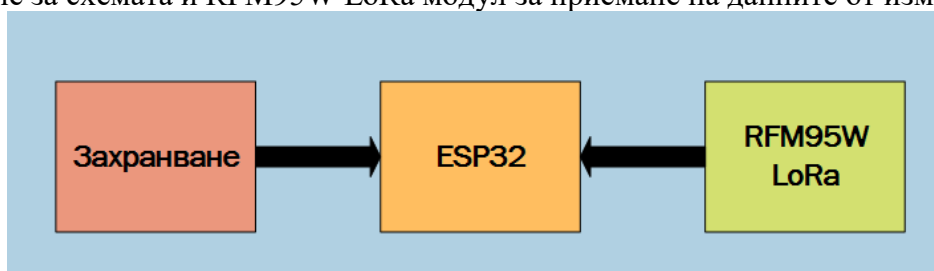
Програмното осигуряване на модула се разработва в програмна среда System Workbench for STM32. Използвани са стандартни библиотеки, разработени от ST Microelectronics, които предоставят на разработчика на софтуер за микроконтролера възможност за бързо разработване на програмния код. Такива библиотеки са комуникация по I2C интерфейс, управление на режимите с ниска консумация, методите за събуждане на микроконтролера от различните режими с ниска консумация т.н. Алгоритъмът на разработения софтуер е представен на фигура 2. Изпълнението на програмата в микроконтролера започва с инициализация на променливите и настройка на хардуерните регистри на микроконтролера. След това е инициализиран Таймер, който ще събуди микроконтролера 30 секунди след преминаването му в режим Standby. Следва измерване на здравните параметри от сензора MAX30102 и тяхното изпращане по LoRa интерфейс към Gateway за изобразяване. След като микроконтролера изпрати данните към Gateway, преминава в режим Standby. След като изтече времето на вътрешния Таймер, той ще ресетира микроконтролера и изпълнението на програмния

код ще започне изпълнението си отначало, като ще бъдат измерени новите данни и изпратени към Gateway за визуализация.



Фигура 2 Алгоритъм на софтуера в модула за измерване на здравните параметри

В блоковата схема, представена на фигура 2.8 са разположени SoC модулет ESP32, захранване за схемата и RFM95W LoRa модул за приемане на данните от измерването.



Фигура 3 Блокова схема на модула тип Gateway за визуализация на здравни параметри

Програмното осигуряване на модула Gateway се разработва в програмна среда Arduino IDE. При разработването на фърмуера са използвани стандартни библиотеки от Arduino. Разработен е фърмуер на базата на представения на фигура 3 алгоритъм на работа. Изпълнението на програмата започва с инициализация на софтуерни модули, променливи и различни видове настройки и свързване към предефинирана WiFi мрежа. Следва инициализация на хардуерния LoRa интерфейс. В системата е организиран

безграен цикъл в който се проверява за получено съобщение по LoRa интерфейса и при наличие, то се визуализира в разработения HTTP сървър за визуализация.



Фигура 3 Алгоритъм на софтуера в модула тип Gateway за визуализация

Заклучение

Постоянният мониторинг на показатели на човешкото здраве, като температура, пулс, ниво на кислород и др. е трудна задача. Към момента съществуват мониторингови системи, които се ползват единствено ако пациента е на легло и тези системи изискват окабеляване. На практика при увеличаване на разстоянието между системата и компютъра, системата се оказват безполезна. Съществуващите системи са огромни по размери, проследяването на състоянието на пациентите не е възможно след напускането на заведението и не могат да се ползват индивидуално.

За да се премахне възможността от допускане на човешка грешка, както и улесняването на здравните специалисти, предлагаме концепция за IoT базирана система за мониторинг на здравни показатели, която дава възможност за предаване на данните от измерванията през безжичен канал за връзка до базова станция. Обект на системата за здравен мониторинг са два основни показателя - сърдечен ритъм и насищане на кръвта с кислород.

Благодарности

The research leading to these results has received funding from the Ministry of education and science under the National science program INTELLIGENT ANIMAL HUSBANDRY, grant agreement №°Д01-62/18.03.2021

Литература

1. Neff T. Routine oximetry: a fifth vital sign? *Chest* 1988;94:227.
2. Stoneham MD, Saville GM, Wilson IH. Knowledge about pulse oximetry among medical and nursing staff. *Lancet* 1994;344:1339e42.
3. Sinex JE. Pulse oximetry: principles and limitations. *Am J Emerg Med* 1999;17:59e67.
4. Nenova B., I. Iliev (2010). An Automated Algorithm for Fast Pulse Wave Detection, *Bioautomation*, 14, 203-216.
5. N. B. Ahmed, S. Khan, N. A. Haque and M. S. Hossain, "Pulse Rate and Blood Oxygen Monitor to Help Detect Covid-19: Implementation and Performance," 2021 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS), 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/IEMTRONICS52119.2021.9422520.
6. L. Hakizimana, M. Wannous, "Distributed medical record system using portable devices, case study of Rwanda work in progress", IEEE International Conference on Applied System Invention (ICASI), IEEE Press, New York, 2018.
7. D. Mishra, S. Chandra, A. Chandra, S. Jain, M. Sarkar, "A portable system for real time non contact blood oxygen saturation measurements" 2017.
8. G. Ates, K. Polat, "Measuring of oxygen saturation using pulse oximeter based on Fuzzy logic", IEEE International Symposium on Medical Measurement and Applications, Budapest, Hungary, May 2012.
9. F. M. Ferrera, F. J. Ferrero, C. Blanco, J. C. Vierra, M. G. Vega, J. R. Blanco, "Design of a low cost instrument for pulse oximetry", IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, Italy, 2006.
10. N. Sutar, M. Parihar, R. Ijare, K. Gowari, "Design and development of SMD based wearable pulse oximeter", IEEE International Conference on Communication and Signal Processing, India, 2016.
11. F. Tang, X. Zhou, A. Bermek, "A low power and fast tracking light to frequency converter with adaptive power scaling for Blood SpO2 sensing", IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems, vol. 13, no. 1, pp. 26-37, February 2019.
12. J. Wan, Y. Zou, Y. L. J. Wang, "Reflective type blood oxygen saturation detection system based on MAX30100", IEEE International Conference on Security, Pattern Analysis, and Cybernetics (SPAC), China, 2017.

Snezhinka Zaharieva

E-mail: szaharieva@uni-ruse.bg



Assistant professor PhD Eng. Snezhinka Zaharieva, is a teacher at the Faculty of Electrical Engineering, Electronics and Automation at Angel Kanchev University of Ruse. His research interests are in the field of specialized electronic systems for industrial process control based on statistical analysis and accuracy assessment. She has over 11 years of teaching experience, over 25 publications in refereed databases and over 35 publications in national conferences with international participation. Research and interests are currently focused on the various aspects of efficient use of energy resources based on Predictable Internet of Things (PIoT).

Iordan Stoev

E-mail: istoev@uni-ruse.bg



PhD Eng. Yordan Ivanov Stoev is a Hydroacoustics Expert at the State Enterprise "Port Infrastructure", Specialized Division, Directorate "Management of Ship Traffic - Danube River" My work is related to hydrographing the bottom of the ports in the Bulgarian section of the Danube River and preparation of hydrographic maps for the subsequent preparation of orders for safe navigation in the ports, issued by the Ruse River Supervision Directorate and the Lom River Supervision Directorate. My scientific interests are related to communication protocols and sensors for measuring different physical quantities. I have extremely good abilities in developing printed circuit boards for various types of electronic devices. My interests are also related to programming for different platforms - Windows and Linux operating systems, as well as microcontrollers in different forms - 8, 16 and 32 bit from different manufacturers.