

6. Balonin N.A. *Identifiability theorems*. Saint Petersburg: Politekhnik, 2010, 48 p. (In Russ.)
7. Yakimenko A.A. On the question of identification of simultaneous equations models. *Proceedings of BSTU. Physics and Mathematics. Informatics*, 2022, no. 2 (260), pp. 10–13.
8. Prokis Dzh. *Digital communication*. Trans. From English. Ed by D.D. Klovskogo. Moscow: Radio i svyaz', 2000, 800 p. (In Russ.)
9. Abed-Meraim K., Hua W. Qiu Y. Blind System Identification. *Proceeding of the IEEE*, 1997, vol. 85, pp. 1308–1322.
10. Via J., Santamaria I., Perez J. A Sufficient Condition for Blind Identifiability of MIMO-OSTBC Channels Based on Second Order Statistics. *IEEE 7th Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications*. Cannes, 2006, pp.1–5.
11. Gustafson F., Wahlberg B. Blind equalization by direct examination of the input sequences. *IEEE Transactions on Communications*, 1995, vol. 43, no. 7, pp. 2213–2222.

Received 08.06.2023

СЕТИ СВЯЗИ И МУЛЬТИСЕРВИСНЫЕ УСЛУГИ

УДК 621.394.74

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАКЕТА СЕТИ BAN ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА

Глушак Е.В.¹, Сенгилевцев О.А.²

¹Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

²Самарский государственный медицинский университет, Самара, РФ

E-mail: evglushak@yandex.ru

В статье описывается разработка реального макета сети BAN (Body Area Network) для мониторинга за состоянием здоровья человека. Сети BAN могут помочь улучшить качество жизни людей, страдающих от различных заболеваний, таких как диабет, сердечно-сосудистые заболевания и другие. Они являются доступными для широкого круга пользователей, включая людей с ограниченными возможностями и пожилых людей. Также могут обеспечить высокий уровень безопасности, так как они используют шифрование данных и аутентификацию пользователей. Данные сети легко настраиваются и адаптируются под нужды конкретного пользователя. В статье представлены результаты проведенных исследований, которые показывают состояние человека при различных условиях. Благодаря разработанному макету сети BAN, можно не только на практике исследовать состояние здоровья людей, но и использовать его для научных исследований в университетах.

Ключевые слова: сети BAN, датчик электрокардиограммы, датчик температуры, датчик пульса, радиомодули, беспроводная передача, сенсоры, акселерометр

Введение

Сеть BAN (Body Area Network) – это беспроводная сеть, которая состоит из прилагаемых к телу устройств, передающих данные на другие электронные устройства. Данная технология, в отличие от других сопутствующих технологий, позволяет значительно снизить степень излучения, мощность и энергопотребление устройств. Система представляет собой определенное количество датчиков, подсоединяемых к телу.

Датчик – это компонент, который измеряет или контролирует определенные параметры, такие как температура, давление, влажность, уровень звука или другие физические величины, и преобразует эти данные в электрический сигнал для дальнейшей обработки в системе. Этот сигнал может быть обработан и использован для

управления системой или для получения информации о состоянии объекта. Датчики могут быть использованы в различных областях, включая промышленность, медицину, науку и т. д. [1–3]. Датчики, снимающие показания называются BSU. Передача данных – это перенос информации с одного устройства к другому, которые находятся на определенном расстоянии друг от друга без использования проводного подключения [4].

Также отметим, что в настоящее время в развитии электронного приборостроения в медицине используют два вида обмена информацией о состоянии здоровья человека: проводные каналы связи и беспроводные с передачей электромагнитных сигналов через окружающее свободное пространство. Стоит учесть, что первый способ может доставлять дискомфорт человеку. Второй же способ нацелен на модернизирование и про-

гресс в способах информационного обмена цифровыми данными в портативных устройствах, присоединяемых к телу человека. Данная технология работает при нескольких способах соединения: точка, точка-многоточка. Это позволяет сети быть гибкой и адаптивной, что обеспечивает ее способность справляться с различными сетевыми условиями и нагрузками [5].

На основе вышесказанного можно сделать вывод о высокой актуальности исследования данных сетей.

Разработка макета сети BAN

Для разработки макета сети BAN с целью мониторинга состояния здоровья человека необходимы следующие компоненты:

- датчик температуры на датчике температуры DS18B20;
- датчик электрокардиограммы (ЭКГ) на базе микросхемы AD8232;
- датчик пульса и уровня SpO₂, MAX30102;
- 3-х осевой акселерометр ADXL345;
- радиомодуль nRF24L01;
- цветной графический TFT-экран 480×320;
- mega 2560;
- arduinoNano CH340;
- датчик температуры на датчике температуры DS18B20.

На рисунке 1 показан датчик температуры, работающий на микросхеме DS18B20.



Рисунок 1. Датчик температуры

Датчик температуры может измерять температуру окружающей среды в диапазоне от -55 до +125 градусов Цельсия и передавать данные в виде цифрового сигнала с разрешением 12 бит по протоколу 1-Wire [6]. Благодаря использованию датчиков можно значительно упростить процесс подключения устройств к контроллеру, сократив количество необходимых портов и проводов. Датчики также позволяют использовать

более эффективные методы питания, такие как «паразитное питание», которое позволяет датчикам получать энергию прямо из сигнала, уменьшая количество необходимых кабелей и повышая общую эффективность системы. Каждый датчик может включать в себя 64-битный код, реализуемый микроконтроллером для приема и передачи данных конкретному датчику на общей шине. Каждый датчик имеет свой уникальный код, который может быть использован для идентификации датчика и получения информации от него. После подачи питания на датчик он переходит в режим ожидания, снижая энергопотребление. Для измерения температуры необходимо отправить команду на датчик, чтобы начать процесс измерения. После завершения измерения результат сохраняется в памяти датчика и датчик возвращается в режим низкого энергопотребления. Датчик ЭКГ на базе микросхемы AD8232 показан на рисунке 2.

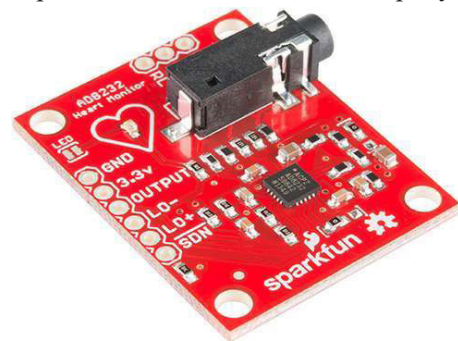


Рисунок 2. Датчик ЭКГ на базе микросхемы AD8232

Модуль ЭКГ AD8232 является одним из недорогих модулей, который предназначен для определения активности и работы сердца. Эта электрическая активность и является электрокардиограммой (ЭКГ) и может быть представлена в виде аналоговых показаний. ЭКГ всегда отличаются наличием шума, поэтому монитор сердечного ритма AD8232 выполняет функции операционного усилителя, для получения чистого сигнала для определения интервалов PR и QT [7].

Датчик ЭКГ на основе микросхемы AD8232 предназначен для получения, усиления и фильтрации сигналов электрической активности сердца. Микросхема содержит фильтры высоких частот и операционный усилитель, что позволяет удалять помехи и шумы из сигнала. Датчик необходимо подключить к осциллографу. Electrodes на теле пациента улавливают изменения потенциалов, вызванные деполяризацией сердечной мышцы. На основе AD8232 могут быть созданы портативные устройства для мониторинга здоровья сердца, такие как ЭКГ и кардиомониторы. Основная схема снятия (рисунок 3) – для запи-

си отведений электроды накладывают на правую руку (RA), левую руку (LA) и левую ногу (RL).

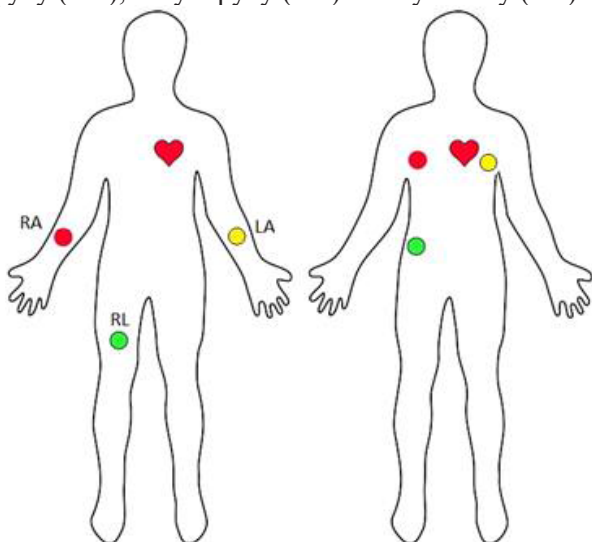


Рисунок 3. Основная схема снятия

Данные с датчика обработали в модуле biosppy для проверки полученных данных. Модуль biosppy – это программный модуль, написанный на языке Python, который обрабатывает входные данные. Эти данные могут быть в виде массива информации, который затем анализируется и обрабатывается модулем.

На рисунке 4 показаны чистые данные с человека. На первом графике (рисунок 4а) показано неотфильтрованный сигнал, полученный с датчика. На втором (рисунок 4б) – отфильтрованный сигнал. На третьем (рисунок 4в) показан пульс. Четвертый график (рисунок 4г) показывает импульс сокращения сердца.

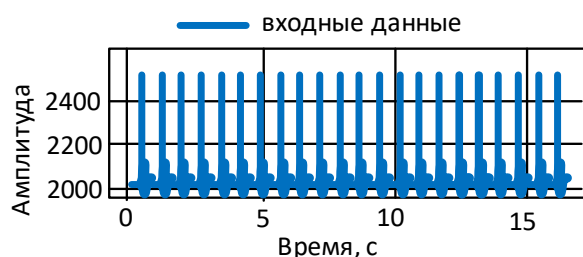


Рисунок 4а. Неотфильтрованный сигнал

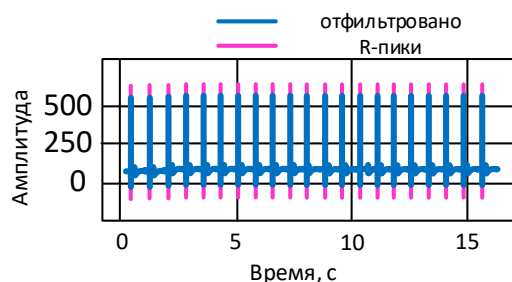


Рисунок 4б. Отфильтрованный сигнал

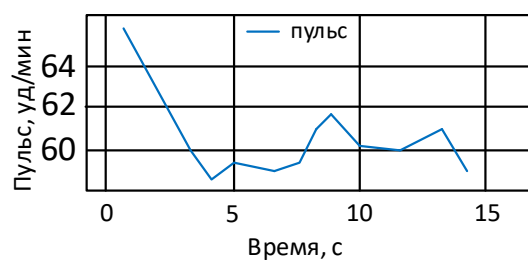


Рисунок 4в. Пульс

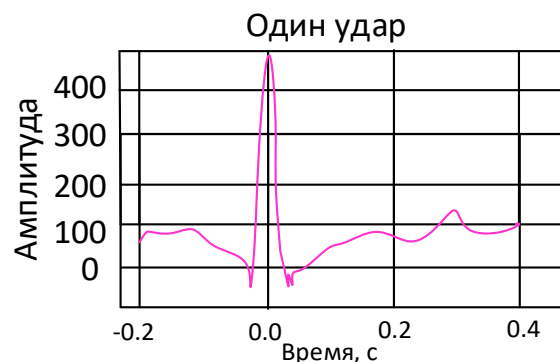


Рисунок 4г. Импульс сокращения сердца

Для создания макета будем использовать сенсорный модуль MAX30102, предназначенный для реализации различных медицинских устройств, которые контролируют сердечные ритмы, а также процент наличия кислорода в крови человека. Сенсорный модуль MAX30102 состоит из светодиодов, оптических элементов и фотоприемника. Электронная схема обработки сигналов используется благодаря наличию низкого внутреннего шума и может уменьшить или полностью ликвидировать засветку. Во время измерения данных используются каналы красного и инфракрасного света с интенсивностью и продолжительностью измерения, которые могут быть настроены с помощью программного обеспечения. MAX30102 (рисунок 5) работает от источника питания напряжением 1,8 В.

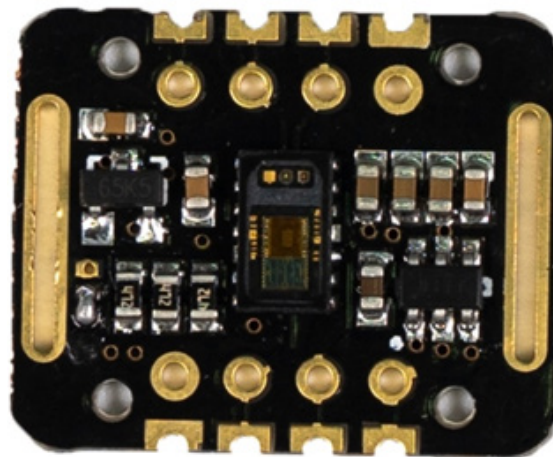


Рисунок 5. Сенсорный модуль MAX30102

Отдельный источник питания 5,0 В требуется для излучения встроенных светодиодов. Работа с какими-либо внешними устройствами осуществляется с помощью интерфейса I2C. Модуль MAX30102 может находиться в режиме ожидания и практически не потреблять ток, благодаря чему можно не использовать питание.

Sp – это обозначение процента кислорода, который содержится в крови. Определяется данный процент как отношение насыщенного кислородом гемоглобина (HbO_2) в процентах к общему содержанию гемоглобина ($HbO_2 + RHb$), определяемых с помощью фотодетектора, ИК и красного светодиода MAX30102 [8]:

$$SpO_2 = 100 \cdot \frac{C[HbO_2]}{C[HbO_2] + C[RHb]}.$$

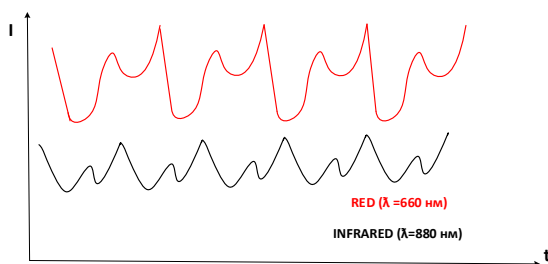


Рисунок 6. Содержание кислорода в крови

В систему SpO_2 входит схема компенсации внешней засветки (КВЗ), сигма-дельта-АЦП (аналого-цифровой преобразователь) и запатентованный цифровой фильтр используются для измерения сигналов. КВЗ (коэффициент внешней засветки) может быть использован для устранения помех и расширения динамического диапазона измерений. АЦП может быть запрограммирован на работу в диапазоне от 2 до 16 микроампер. КВЗ позволяет устранить помехи от сигналов внешней засветки до 200 микроампер. Внутренний АЦП производит непрерывное дискретное преобразование с разрешением 18 бит. Частота дискретизации датчика пульса может варьироваться от 50 до 3200 выборок в секунду. Датчик пульса оснащен монитором сердечных сокращений и оксиметрическим биосенсором со встроенными светодиодами. Он также имеет интегрированную оптическую систему, которая обеспечивает надежность измерений [8]. Датчик обладает сверхнизким энергопотреблением, подходящим для мобильных устройств. Программируемая периодичность измерения и режим энергосбережения позволяют оптимизировать энергопотребление. Электронная схема датчика потребляет менее 1 мВт, а в выключенном состоянии его потребление электрического тока составляет около 0,7 мкА. Датчик способен быстро

выводить данные, устойчив к вибрациям и обладает высоким соотношением сигнала к шуму. Он работает в диапазоне температур от -40 до 85 градусов Цельсия. Также рассмотрим 3-х осевой акселерометр ADXL34, входящий в состав нашего макета (рисунок 7).

Имеется возможность проводить измерения статического ускорения, которое вызвано гравитацией, а в части определения отклонения, может измерять даже динамическое ускорение, которое, в свою очередь, получено вследствие движения или ударов.

Блок определения активности и неактивности может свидетельствовать о движении или продолжительном состоянии покоя, а также идентифицировать превышение ускорения по любой из осей заранее заданного уровня. Детектор касаний может определять однократные и двойные касания. Датчик свободного падения определяет, находится ли устройство в свободном падении или нет. Данные от этих блоков могут быть выведены на два разных вывода прерываний. Как уже рассматривалось выше, в микросхему ADXL345, которая выполняет функцию определения скорости, входят следующие блоки [9]:

1. Блок определения активности и неактивности может свидетельствовать о движении или продолжительном состоянии покоя, а также идентифицировать превышение ускорения по любой из осей заранее заданного уровня.
2. Сенсорный детектор обнаруживает нажатия и свайпы в любом направлении.
3. Датчик падения фиксирует момент, когда устройство начинает падать.



Рисунок 7. Внешний вид акселерометра ADXL34

На рисунке 8 показан сигнал с датчика оси, который возникнет в результате падения человека

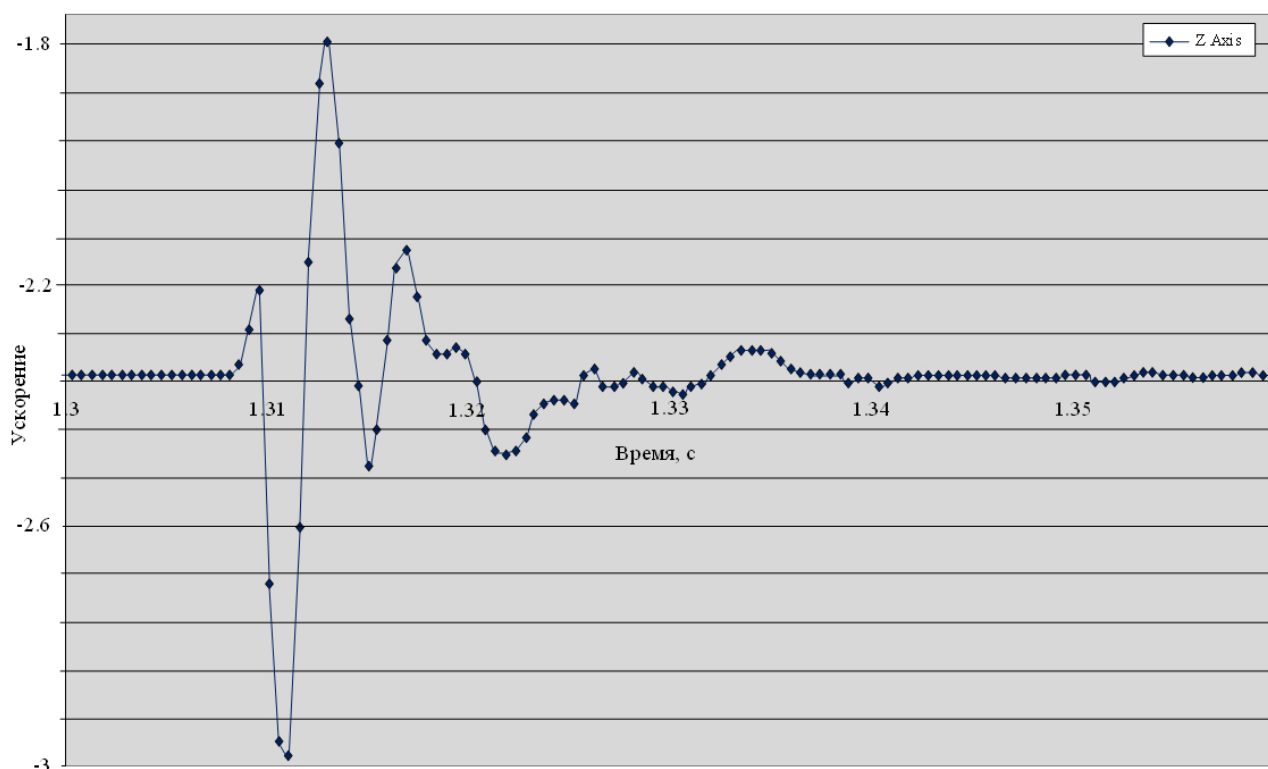


Рисунок 8. Высокочастотный всплеск сигнала при легком ударе по оси Z

в пространстве. Данная информация может показать потерю сознания человека при его перемещении в помещении.

Радиомодуль nRF24L01, входящий в состав разработанного макета показан на рисунке 9. Он работает на частоте 2,4 ГГц, имеет напряжение от 3,3 до 3,6 В и обеспечивает дальность связи до 100 метров на открытом пространстве и до 30 метров в помещении [10].



Рисунок 9. Радиомодуль nRF24L01

Цветной графический TFT-экран 480×320 показан на рисунке 10.

Рабочее напряжение: 3,3-5 В. Разрешение 480×320 (RGB). На рисунке 11 показан микроконтроллер ATmega2560, который преобразовывает полученную информацию с радиомодуля в графический вид.

Рабочее напряжение модуля составляет 5 В. Рекомендуемое входное напряжение находится в диа-

пазоне от 7 до 12 В. На рис. 12 показана используемая для макета плата ArduinoNano CH340 [11].



Рисунок 10. Цветной графический TFT-экран



Рисунок 11. Микроконтроллер ATmega2560



Рисунок 12. Плата ArduinoNano CH340

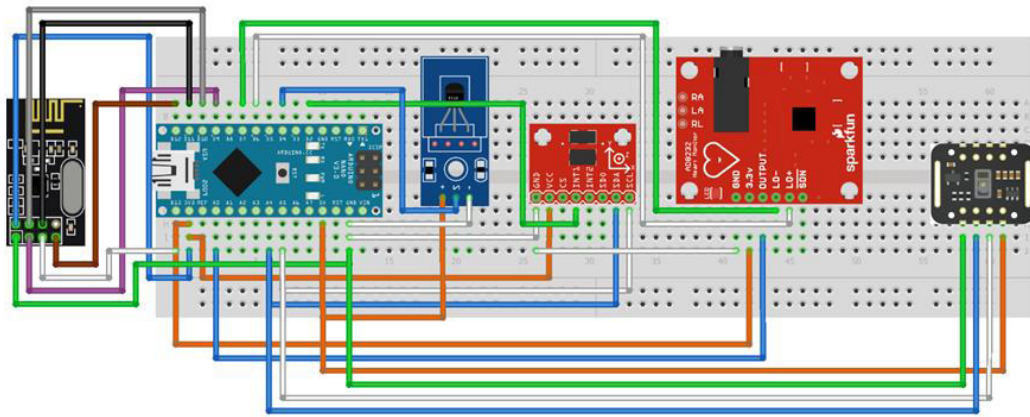


Рисунок 13. Макетная плата

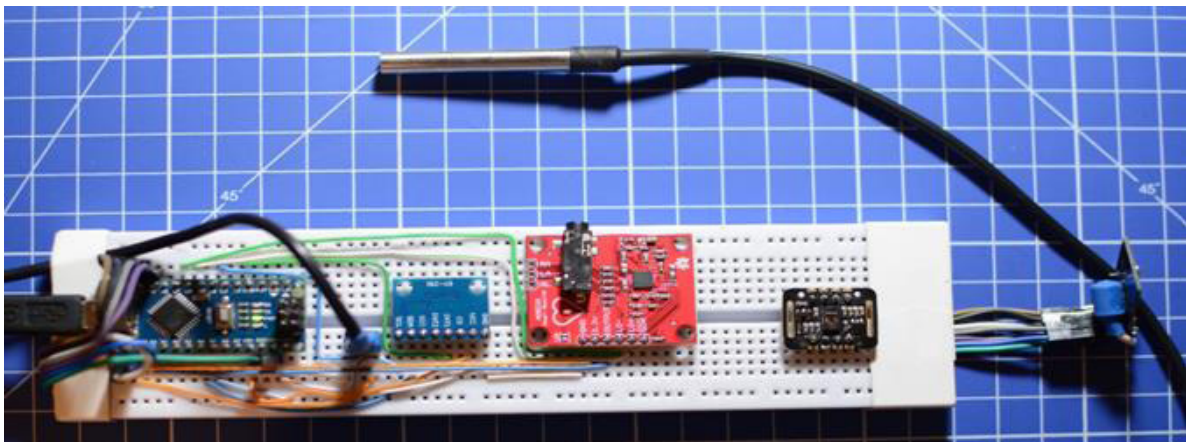


Рисунок 14. Собранный макет передатчика

Результаты проведенных экспериментов

Далее согласно приведенным ниже схемам проводим сборку на макетной плате (рисунок 13).

На данной схеме показан макет соединения датчиков с контроллером ArduinoNano. На рисунке 14 приведена фотография собранного макета. Полученный макет работает от напряжения 5В, получаемого от microUSB, благодаря чему его можно запитать от любого портативного аккумуляторного зарядного устройства для зарядки обычных смартфонов.

Загружаем необходимые библиотеки в ArduinoNano, далее прописываем переменные среды для работы. Сигналы, считываемые с датчиков кислорода, температуры, акселерометра (играет роль датчика падения человека), распределяя по группам, передаем по радио модуля на 2 плату Arduino ATmega2560.

В Arduino ATmega2560 так же собираем необходимые библиотеки, а также разбираем полученный сигнал и выводим показания на монитор, показаниями задаем критические параметры (температуру 35-38, кислород 80-100, аксиометр ставим на срабатывание при ускорении перемещения

в осях – падение человека) при которых на дисплее будет отображаться тревога (рисунок 15).

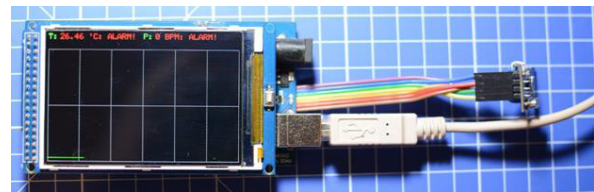


Рисунок 15. Приемник

Разработанная логика функционирования передатчика представлена в виде алгоритма (рисунок 16). Данный алгоритм показывает логику работы передатчика от инициализации программы, циклического опроса датчиков до передачи полученных данных в радиоканал. На рисунке 17 показана логика работы приемника.

Благодаря разработанным алгоритмам реализованный макет для мониторинга состояния здоровья человека сможет показать сбой в работе сердца с помощью датчика ЭКГ, а также определить процент содержания кислорода в крови и температуру тела, что в данный момент является актуальным в связи с COVID-19 и распространением других заболеваний.

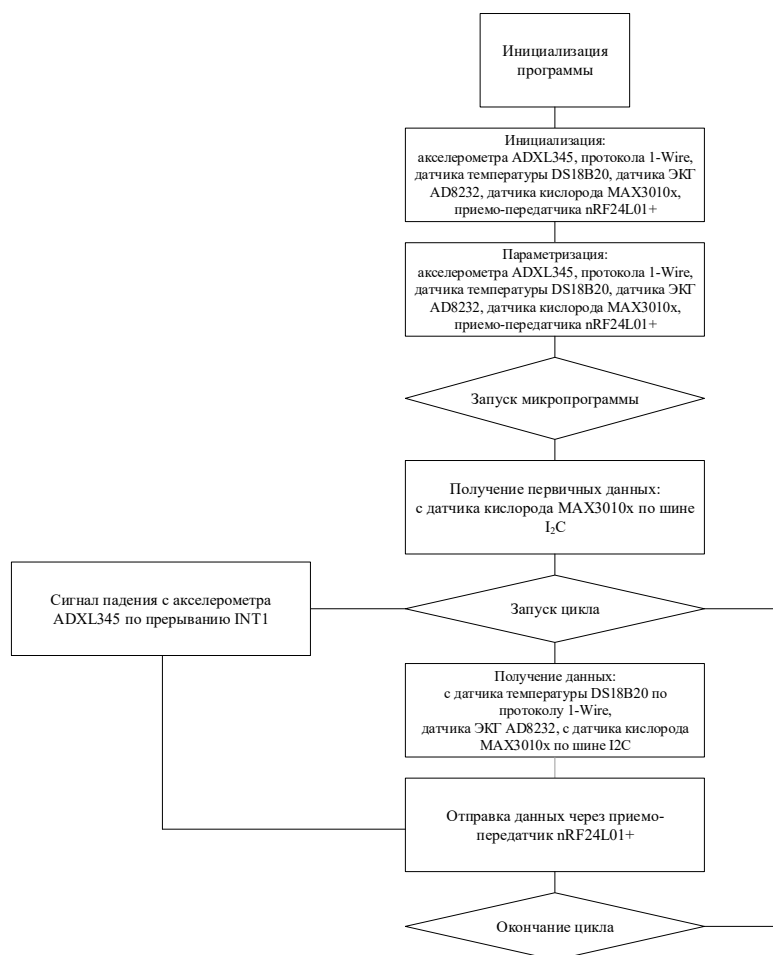


Рисунок 16. Логика работы передатчика

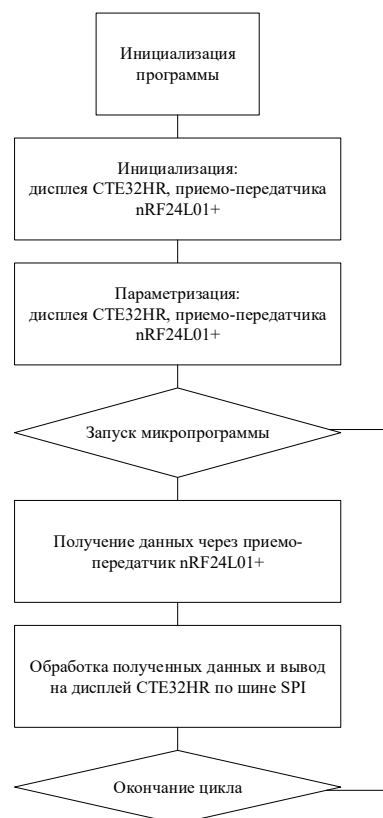


Рисунок 17. Логика работы приемника

Заключение

Разработанное устройство гораздо дешевле зарубежных аналогов. Данное устройство позволяет следить за состоянием здоровья пожилых людей или людей с ограниченными возможностями. Также данный макет можно применять для проведения лабораторных работ при обучении студентов в ВУЗах.

Дальнейшая разработка будет заключаться в уменьшении размеров модели, в установке более точных датчиков, планируется заменить радио модуль на GSM или Wi-Fi для передачи на более дальние расстояния.

Также дальнейшая работа будет заключаться в написании мобильного приложения для мониторинга (доступного для операционных систем iOS, Android и РЕД ОС), возможности разработки и подключения дополнительных датчиков (датчика контроля за капельницей пациента, датчика дыхания), а также планируется установка модуля для сбора и хранения данных.

Литература

1. Аль-Наггар Я.М. Исследование методов кластеризации и оценки качества обслуживания в сетях интернета вещей на основе нечеткой логики: дис. ... канд. тех. наук. М., 2016. 165 с.
2. Лобанов В.М. Экспериментальный стенд для исследования возможности использования тела человека в качестве среды передачи цифровых данных // Медицинская техника. 2009. №6. С. 17–21.
3. Павлов К.А. Исследование возможности передачи электрического сигнала через тело человека // Микроэлектроника и информатика: материалы 15-й Всероссийской межвузовской научно-технической конференции студентов и аспирантов. М.: МИЭТ, 2008. С. 278.
4. Павлов К.А. Первые шаги к созданию технологии передачи данных через тело человека // Молодежь и современные информационные технологии: материалы VII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск: СПб Графикс, 2009. С. 51–52.
5. Сверхширокополосные беспроводные натель-

- ные сенсорные сети / А.С. Дмитриев [и др.] // Радиотехника и электроника. 2013. Т. 58, № 12. С. 1160–1170.
6. Павлов К.А. Исследование системы передачи данных с использованием тела человека в качестве передающей среды // II Научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов: материалы конференции. М.: НП «ЦРП ЗелАО г. Москвы», 2010. С. 32.
 7. Датчик температуры с интерфейсом 1-Wire. URL: <http://mypractic.ru/ds18b20-datchik-temperature-s-interfejsom-1-wire-opisanie-na-russkom-yazyke.html> (дата обращения: 05.09.2023).
 8. Подключение датчика сердечного ритма. URL: http://www.electronica52.in.ua/proekty-arduino/arduino_ad8232 (дата обращения: 05.09.2023).
 9. Пульсоксиметрия от Maxim: новый датчик MAX30102. URL: <https://www.compel.ru/lib/77838> (дата обращения: 07.09.2023).
 10. Подключения акселерометра ADXL345 к Arduino. URL: <https://robot-kit.ru/article/Accelerometer-Arduino-ADXL345> (дата обращения: 07.09.2023).
 11. Радиомодуль nRF24L01. Обзор. URL: <https://robototekhnika.ru/content/article/radiomodul-nrf24l01-chast-1-obzor> (дата обращения: 08.09.2023).
 12. Arduino Nano V3.0 CH340 на ATmega328. URL: <https://compacttool.ru/viewtovar.php?id=482> (дата обращения: 06.09.2023).

Получено 13.09.2023

Глушак Елена Владимировна, к.т.н., доцент кафедры сетей и систем связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. 443010, ул. Льва Толстого, 23. Тел. +7 917 118-65-66. E-mail: evglushak@yandex.ru

Сенгилевцев Олег Андреевич, начальник центра системного администрирования и развития локально-вычислительных сетей Самарского государственного медицинского университета. 443079, г. Самара, ул. Гагарина, 18. Тел. +7 964977-55-83. E-mail: odmin@samsmu.ru

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE BAN NETWORK LAYOUT FOR HUMAN HEALTH MONITORING

Glushak E.V.¹, Sengilevtcev O.A.²

¹*Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation*

²*Samara State Medical University, Samara, Russian Federation*

E-mail: evglushak@yandex.ru

This article describes the development of a real BAN (Body Area Network) network layout for human health monitoring. BAN networks can help improve life quality of people suffering from various diseases, such as diabetes, cardiovascular diseases and others. They are accessible to wide range of users, including people with disabilities and the elderly. They can also provide a high level of security, since they use data encryption and user authentication. These networks may be easily configured and adapted to the needs of a particular user. The article presents results of studies that show state of the human health under various conditions. Thanks to the developed BAN network layout, it is possible not only to study the condition of human health in practice, but also to use it for scientific research at universities.

Keywords: *BAN networks, electrocardiogram sensor, temperature sensor, pulse sensor, radio modules, wireless transmission, sensors, accelerometer*

DOI: 10.18469/ikt.2023.21.1.04

Glushak Elena Vladimirovna, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23, L. Tolstoy Street, Samara, 443010, Russian Federation; Associate Professor of Networks and Communication Systems Department, PhD in Technical Science. Tel. +7 917 118-65-66. E-mail: evglushak@yandex.ru

Sengilevtcev Oleg Andreevich, Samara State Medical University, 18, Gagarina Street, Samara, 443079, Russian Federation; Head of the Center for System Administration and Development of Local Area Networks. Tel. +7 964 977-55-83. E-mail: odmin@samsmu.ru

References

1. Al-Naggar Ya.M. Research of clustering methods and evaluation of the quality of service in the Internet of Things networks based on fuzzy logic: dis. ... cand. tech. sciences. Moscow, 2016, 165 p. (In Russ.)
2. Lobanov V.M. Experimental setup for studying the possibility of using the human body as a medium for digital data transmission. *Medicinskaya tekhnika*, 2009, no. 6, pp. 17–21. (In Russ.)
3. Pavlov K.A. Investigation of the possibility of transmitting an electrical signal through the human body. *Mikroelektronika i informatika: materialy 15 Vserossijskoj mezhvuzovskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii studentov i aspirantov*. Moscow: MIET, 2008, pp. 278. (In Russ.)
4. Pavlov K.A. The first steps to the creation of data transmission technology through the human body. *Molodezh' i sovremennye informacionnye tekhnologii: materialy VII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh*. Tomsk: SPB Grafiks, 2009, pp. 51–52. (In Russ.)
5. Dmitriev A.S. et al. Ultrawideband wireless body-area sensor networks. *Radiotekhnika i elektronika*, 2013, vol. 58, no. 12, pp. 1160–1170. (In Russ.)
6. Pavlov K.A. Research of a data transmission system using the human body as a transmitting medium. *II Nauchno-tekhnicheskaya konferenciya molodyh uchenyh i specialistov: materialy konferencii*. Moscow: NP «CRP ZelAO Moskvu», 2010, pp. 32. (In Russ.)
7. Temperature sensor with 1-Wire interface. URL: <http://mypractic.ru/ds18b20-datchik-temperature-s-interfejsom-1-wire-opisanie-na-russkom-yazyke.html> (accessed: 05.09.2023). (In Russ.)
8. Connection of the heart rate sensor. URL: http://www.electonica52.in.ua/proekty-arduino/arduino_ad8232 (accessed: 05.09.2023). (In Russ.)
9. Pulse oximetry from Maxim: the new MAX30102. URL: <https://www.compel.ru/lib/77838> (accessed: 07.09.2023). (In Russ.)
10. Connecting the ADXL345 accelerometer to Arduino. URL: <https://robot-kit.ru/article/Accelerometer-Arduino-ADXL345> (accessed: 07.09.2023). (In Russ.)
11. Radio module nRF24L01. Overview. URL: <https://robototekhnika.ru/content/article/radiomodul-nrf24l01-chast-1-obzor> (accessed: 08.09.2023). (In Russ.)
12. Arduino Nano V3.0 CH340 on ATmega328. URL: <https://compacttool.ru/viewtovar.php?id=482> (accessed: 06.09.2023). (In Russ.)

Received 13.09.2023

АНТЕННЫ, АФУ И УСТРОЙСТВА СВЧ

УДК 004.852

АНТЕННЫ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ НА БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ

Котков КВ., Минкин М.А.

Самарское инновационное предприятие радиосистем, Самара, РФ

E-mail: mma@siprs.ru

Широкое распространение беспилотных летательных аппаратов различного назначения, расширяющиеся сферы их применения и постоянно возрастающие требования по стойкости каналов связи настоятельно требуют создания новых эффективных антенных решений для аппаратуры командных радиолиний управления и полезной нагрузки. Статья посвящена краткому анализу имеющихся сведений о радиолиниях беспилотных летательных аппаратов, решений в области антенн для аппаратуры командных радиолиний управления и полезной нагрузки и исследованию перспективных антенн для размещаемых на беспилотных летательных аппаратах ретрансляторов. Проведенный обзор основных типов антенн, устанавливаемых на корпус беспилотного летательного аппарата, включая штыревые, микрополосковые и спиральные, а также антенные решетки на их основе, позволил обосновать перспективность использования низкопрофильных и спиральных антенн для ретрансляторов, размещаемых на беспилотных летательных аппаратах. Проведенные исследования частотных и пространственных характеристик низкопрофильных и спиральных антенн подтвердили их достаточную эффективность. Предложенные решения могут быть положены в основу разработки перспективных антенн для ретрансляторов, размещаемых на беспилотных летательных аппаратах.