

DOI 10.54596/2958-0048-2023-4-129-139

УДК 615.471

МРНТИ 76.13.15

РАЗРАБОТКА ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ СБОРА БИОМЕДИЦИНСКИХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ZIGBEE

Сильченко А.В.¹, Петров П.А.^{1*}, Гаголина О.С.¹

^{1*}Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева,
Петропавловск, Республика Казахстан

*E-mail: paolo1988@mail.ru

Аннотация

В статье описана методика разработки локальной сети удаленного мониторинга биомедицинских сигналов пациентов на основе низкоскоростной энергосберегающей технологии ZigBee. Локальная сеть базируется на двух передатчиках и одном приемном модуле, подключенном к серверу. Передатчики передают на постовой сервер информацию с датчиков о состоянии двух пациентов (температура, пульс, кровотоки). Информация отображается в удобном для визуализации специально разработанном интерфейсе. Кроме того, к передающему оборудованию подключены звуковые элементы для оповещения медицинского персонала в случае превышения пороговых значений биомедицинских сигналов. Таким образом, можно осуществлять мониторинг состояния двух и более пациентов (в условиях одного отделения, количество передатчиков может исчисляться десятками, благодаря разветвленной топологии ZigBee).

В дальнейшем, планируется увеличить количество передающих модулей для создания крупной локальной сети мониторинга в условиях одного медицинского учреждения. Кроме того, существует перспектива сбора большего количества биосигналов, включая ЭКГ, положение тела, насыщение крови пациента кислородом и т.д.

Ключевые слова: биомедицинские сигналы, состояние пациента, удаленный мониторинг, беспроводная передача.

ZIGBEE ТЕХНОЛОГИЯСЫНА НЕГІЗДЕЛГЕН БИОМЕДИЦИНАЛЫҚ СИГНАЛДАРДЫ ЖИНАУДЫҢ ЖЕРГІЛІКТІ ЖЕЛІСІН ӘЗІРЛЕУ

Сильченко А.В.¹, Петров П.А.^{1*}, Гаголина О.С.¹

^{1*}М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті,
Петропавл, Қазақстан Республикасы

*E-mail: paolo1988@mail.ru

Аңдатпа

Мақалада Zigbee төмен жылдамдықты энергия үнемдеу технологиясы негізінде пациенттердің биомедициналық сигналдарын қашықтықтан бақылаудың жергілікті желісін әзірлеу әдістемесі сипатталған. Жергілікті желі екі таратқышқа және серверге қосылған бір қабылдау модуліне негізделген. Таратқыштар датчиктерден екі пациенттің жағдайы (температура, импульс, қан ағымы) туралы ақпаратты пост серверіне жібереді. Ақпарат визуализацияға ыңғайлы арнайы жасалған интерфейсте көрсетіледі. Бұдан басқа, биомедициналық сигналдардың шекті мәндерінен асып кеткен жағдайда медициналық персоналды хабардар ету үшін таратушы жабдыққа дыбыстық элементтер қосылған. Осылайша, екі немесе одан да көп пациенттердің жағдайын бақылауға болады (бір бөлімше жағдайында ZigBee тармақталған топологиясының арқасында таратқыштардың саны ондаған болуы мүмкін).

Алдағы уақытта бір медициналық мекеме жағдайында мониторингтің ірі жергілікті желісін құру үшін таратушы модульдердің санын көбейту жоспарлануда. Сонымен қатар, ЭКГ, дене қалпы, пациенттің қанын оттегімен қанықтыру және т. б. қоса алғанда, көбірек биосигналдарды жинау мүмкіндігі бар.

Түйінді сөздер: биомедициналық сигналдар, наукастың жағдайы, қашықтан бақылау, сымсыз тасымалдау

DEVELOPMENT OF A LOCAL BIOMEDICAL SIGNAL COLLECTION NETWORK BASED ON ZIGBEE TECHNOLOGY

A.V. Silchenko, P.A. Petrov, O.S. Gagolina

^{1*}*M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan*

**E-mail: paolo1988@mail.ru*

Abstract

The article describes a methodology for developing a local network for remote monitoring of patient biomedical signals based on low-speed energy-saving ZigBee technology. The local network is based on two transmitters and one receiving module connected to the server. Transmitters transmit information from sensors about the condition of two patients (temperature, pulse, blood flow) to the on-site server. Information is displayed in a specially designed interface that is easy to visualize. In addition, audio elements are connected to the transmitting equipment to alert medical personnel if biomedical signal thresholds are exceeded. Thus, it is possible to monitor the condition of two or more patients (in one department, the number of transmitters can be in the dozens, thanks to the branched ZigBee topology).

In the future, it is planned to increase the number of transmitting modules to create a large local monitoring network in a single medical institution. In addition, there is the prospect of collecting more biosignals, including ECG, body position, oxygen saturation of the patient's blood, etc.

Key words: biomedical signals, patient's condition, remote monitoring, wireless transmission.

Введение

Современное состояние медицинского оборудования не всегда отвечает последним достижениям в этой области. Старое оборудование, иногда даже советского образца, а также устаревшие методы диагностики и мониторинга состояния пациентов не позволяют в полной мере осуществить качественную медицинскую помощь больным людям. Мониторинг состояния пациента является одним из краеугольных камней эффективного и своевременного лечения того или иного пациента с различными заболеваниями. Отслеживание состояния больного, находящегося в сознании и самостоятельно перемещающегося по отделению, упрощено за счет обратной связи и возможности коммуникации с ним. То гораздо сложнее и важнее осуществлять периодический сбор данных о состоянии пациентов, находящихся в обездвиженном или даже в бессознательном состоянии. При обычном обследовании со стороны медицинского персонала негативное воздействие могут оказывать ряд факторов: усталость, невнимательность, формальное исполнение обязанностей, несовершенство аналогового оборудования и т.д. Таким образом, само по себе внедрение различных цифровых приборов приносит более высокую точность измерения состояния больного, но всё еще не позволяет устранить ряд сопутствующих человеческих факторов. Внедрение беспроводного мониторинга состояния пациентов решает ряд ключевых вопросов, связанных с тем, что медицинскому персоналу нет необходимости постоянно посещать больничную палату и совершать измерения различных параметров, таких как: пульс пациента, температура, сатурация, ЭКГ (электрокардиограмма), или положение тела, если пациент находится в обездвиженном состоянии. Ряд научных работ по данной тематике посвящен исследованию последних тенденций в области удаленного мониторинга [1-4].

Поэтому, актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки медицинского прибора, способного не только качественно измерять текущие данные состояния пациента, но и передавать эти данные на расстояние – либо на пост дежурной медицинской сестры, либо непосредственно лечащему врачу. При этом, количество

устройств должно быть не менее двух для создания локальной сети мониторинга состояния нескольких пациентов. В идеале, количество устройств, а соответственно, передающих модулей, должно быть равно максимальному числу пациентов, на которое рассчитано отделение.

Методы исследования

В процессе исследования были использованы следующие методы исследования:

1. методы программирования устройств беспроводной передачи данных;
2. применение схемотехнических методов построения электронных схем;
3. методы сбора и обработки данных при помощи восьмиразрядных микроконтроллеров;
4. аналитический и синтезирующие методы.

Новизна исследования заключается в том, что существующие системы беспроводного мониторинга состояния пациента основаны на технологиях, связанных с мобильными сетями или интернетом. Технология ZigBee работает по радиоканалам частотой 2,4 ГГц и не требует дополнительной аппаратуры. Предложенная система будет отличаться энергоэффективностью, простотой, надежностью и дешевизной оборудования.

Теоретическая значимость основана на то, что предложенная методика проектирования локальной сети беспроводного мониторинга состояния пациента может быть применима для многих сфер, где необходим удаленный доступ к данным.

Практическим результатом исследования является разработанная локальная сеть беспроводного мониторинга состояния пациента.

Результаты исследования

Для выбора стандарта передачи данных состояния пациента следует провести комплексный анализ нескольких параметров рассматриваемых технологий, ведь в большинстве случаев изучение только технической документации бывает недостаточно. Сравнительные характеристики данных стандартов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительные характеристики Bluetooth, Wi-Fi, ZigBee и GSM

Название стандарта	Bluetooth (IEEE 802.15.1)	Wi-Fi (IEEE 802.11.b)	ZigBee (IEEE 802.15.4)	GSM
Частота, ГГц	2,4	2,4	0,868; 0,915; 2,4	0, 850; 0,900; 1,8; 1,9
Максимальная скорость	1 Мбит/с	110 Мбит/с	250 кбит/с	До 270 кБит/с
Чувствительность, дБм	-70	-75	-92	- 107 (neoway)
Максимальное количество узлов в сети	7	10	65 536	124 (максимальное кол-во радиоканалов в сети)
Выходная мощность (ном.), дБм	0 (класс 3) 4 (класс 2) 20 (класс 1)	20	0	2 (GSM-900)
Средний диапазон действия, м	10-100	20-300	10-100	Размер зон до 35 км
Время непрерывной работы от батареи, дни	1-7	0,5-5	100-1000+	~1
Преимущества	Энерго-эффективность, цена, передача голоса	Скорость, гибкость	Энерго-эффективность, цена, простота использования	Высокий уровень покрытия, чувствительность оборудования

Основные интересующие характеристики для разработки системы должны сводиться к следующим:

- максимально возможное количество узлов в одной сети (т.к. следует ориентироваться на большие отделения с достаточно большим количеством пациентов);
- удаленность аппаратуры друг от друга (может ограничиваться несколькими десятками метров вследствие малых локаций использования);
- скорость передачи данных (может ограничиваться несколькими сот килобит, т.к. нет необходимости передавать большие объемы данных или телеметрический тип информации);
- пониженное энергопотребление (т.к. различное электронное медицинское оборудование часто исчисляется большим потреблением энергии, выраженное в киловаттах, стоит попытаться более рационально подойти к этому вопросу).

Таким образом, на основе заданных параметров, напрашивается вывод о выборе технологии ZigBee. Эта технология специализируется пониженным потреблении электроэнергии (вследствие малых токов в «спящем» режиме), малом диапазоне видимости аппаратуры, низкой скоростью передачи данных.

В условиях стационара или даже одного отделения все недостатки ZigBee становятся её преимуществом. Главный аргумент, при этом – это большое количество подключаемых узлов. Если пикосеть Bluetooth может вмещать до 7 устройств, Wi-Fi до 10 узлов, то ZigBee – до 65536. Это даёт большие перспективы для разработки разветвленной сети удаленного мониторинга, которое может охватить весь стационар, даже при наличии нескольких сот пациентов.

Существует несколько научных работ [5-7], связанные с разработкой приборов удаленного мониторинга биомедицинских данных на основе технологии ZigBee. Созданные комплексы характеризуются энергоэффективностью и простотой сборки. Кроме того, во всех этих исследованиях используется микроконтроллер Atmega328 в качестве решающего устройства. На основе анализа и синтеза исследуемых работ, принято техническое решение использовать при разработке собственного комплекса удаленного сбора биомедицинских сигналов похожее оборудование.

При измерении и обработки биомедицинских сигналов одним из важнейших вопросов является выбор метода получения информации на конечное оборудование. К таковым методам относят проводной и дистанционный (беспроводной). Проводной метод накладывает ряд ограничений на измерение: ограниченность пространства, нагромождение аппаратуры, более обширное влияние сетевой помехи, т.к. дополнительное влияние оказывает источник питания конечной аппаратуры. В свою очередь, беспроводной способ имеет ряд преимуществ: гальваническую развязку измерительных приборов и конечной аппаратуры, возможность осуществления удаленного мониторинга состояния пациента, сбор информации от нескольких пациентов на единый сервер, минимизация влияния сетевой помехи и т.д.

Общий принцип построения беспроводных систем для сбора БС изображены на рисунке 1.

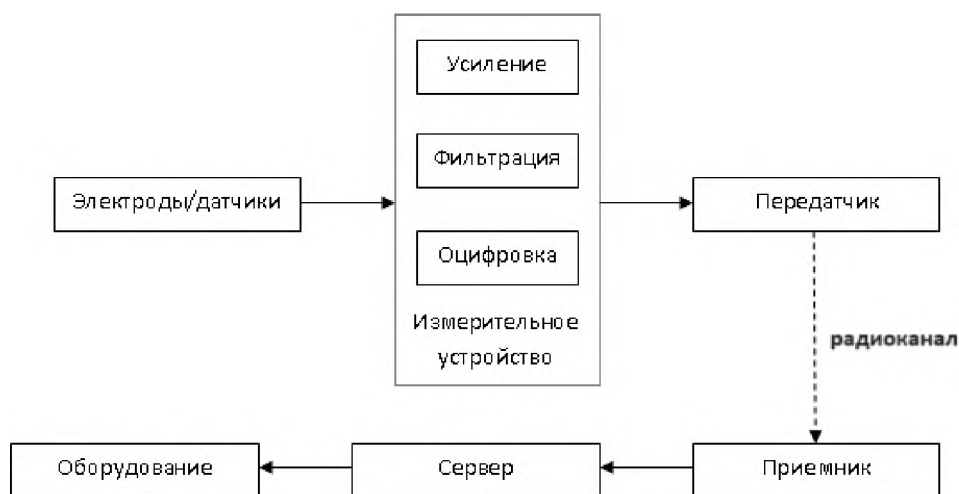


Рисунок 1. Общая структурная схема удаленного сбора биомедицинских сигналов

В качестве опытного образца принято решение создать комплекс для мониторинга состояния двух пациентов. Локальная сеть будет состоять из двух передающих устройств ZigBee (маршрутизаторов) и одного приемного (координатора), непосредственного подключенного к серверу. В качестве измеряемых биомедицинских сигналов используются температура и пульс больного, как одни из наиболее важных показателей жизнедеятельности.

Структурная схема сети ZigBee для удаленного мониторинга состояния двух пациента изображена на рисунке 2[8].



Рисунок 2. Структурная схема сети ZigBee для удаленного мониторинга состояния двух пациентов

Датчики 1, 2 (датчик температуры DS18B20 и пульсоксиметр MAX30102) соединяются с маршрутизатором ZigBee (передатчик). Датчики 3, 4 (датчик температуры DS18B20 и датчик пульса Pulse Sensor) также соединяются с маршрутизатором ZigBee. Данные с двух передатчиков по радиоканалу поступают на координатор ZigBee (приемник). Для координатора нам не нужно подключать еще один микроконтроллер, он будет непосредственно соединен с персональным компьютером через USB-кабель. Во

избежание потерь данных или их наложения, следует разделить передаваемые данные по времени, что легко сделать программным методом. Для обеспечения связи между приемником и передатчиками, все они должны принадлежать одной PAN сети.

С учетом конечного оборудования (датчики, микроконтроллер, переходник на ZigBee оборудование), можно получить конечную блок-схему для удаленного сбора данных пациента с двух передатчиков (рисунок 3). Микроконтроллеры 1 и 2 соединены с XBee Shields – специальными устройствами, обеспечивающими коммуникацию между платами Arduino и передатчиками. Роль передатчиков исполняют маршрутизаторы сети ZigBee (routers). Таким образом, информация независимо друг от друга, будет поступать по одному радиоканалу на частоте 2,4 ГГц.

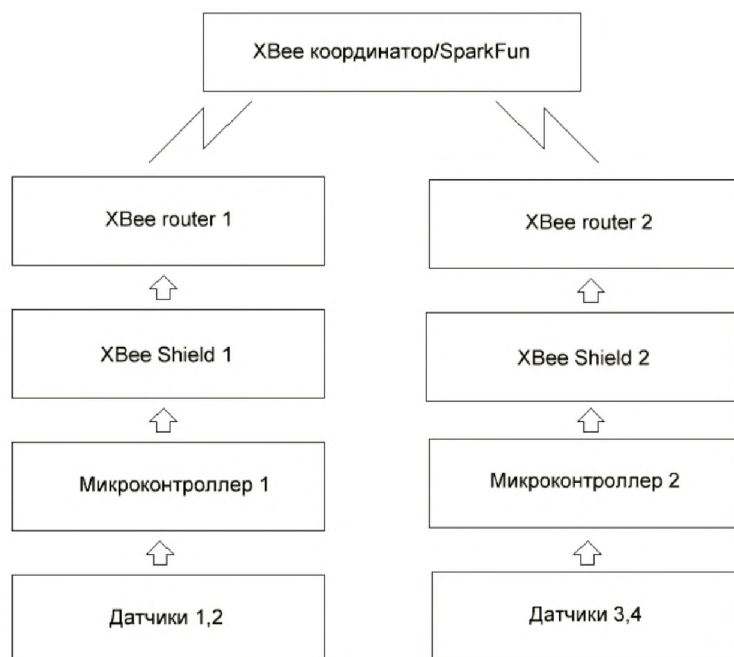


Рисунок 3. Структурная схема сети удаленного сбора данных двух пациентов

На рисунках 4 и 5 изображены обобщенные графические блок-схемы для реализации локальной сети ZigBee удаленного мониторинга состояния двух пациентов. Данные с датчиков поступают на микроконтроллер, затем через XBee Shield на передатчик. Передатчик излучает сигнал по радиоканалу на частоте 2,4 ГГц с помощью небольшой антенны. Приемник с определенной чувствительностью, равной примерно - 98 дБм, принимает информацию и передает её на последовательный порт персонального компьютера.

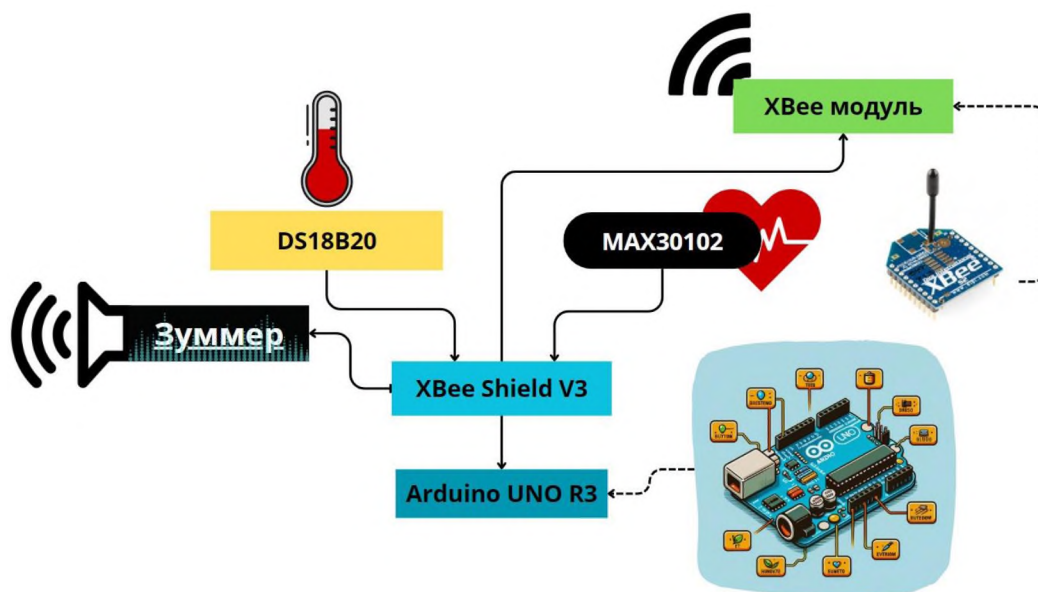


Рисунок 4. Блок-схема для связи «передатчик 1 – приемник».

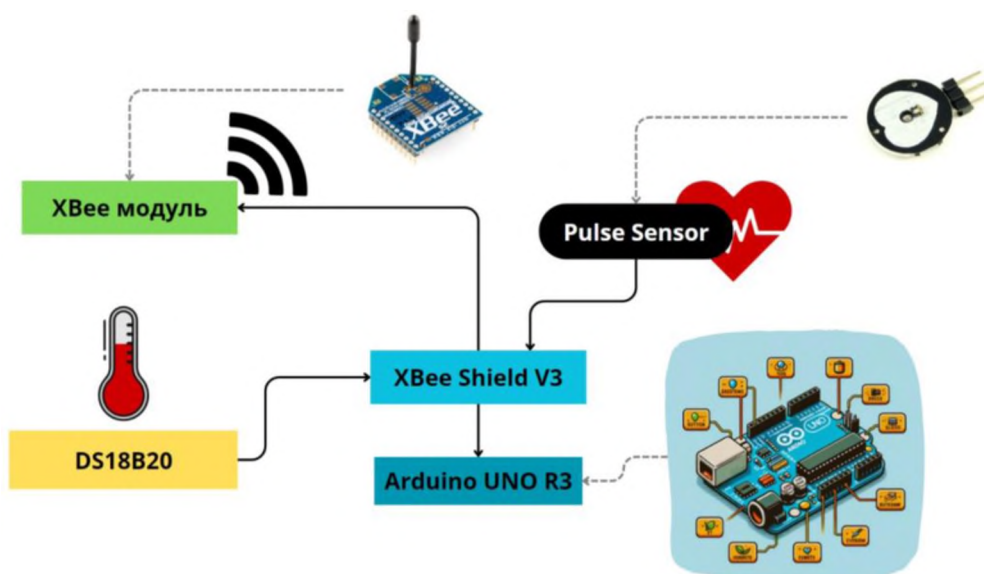


Рисунок 5. Блок-схема для связи «передатчик 2 – приемник».

На рисунках 6 и 7 изображены макеты для первого и второго передающего устройства. В состав обоих макетов входит: датчики, микроконтроллер на плате Arduino, передатчик ZigBee, XBee Shield.

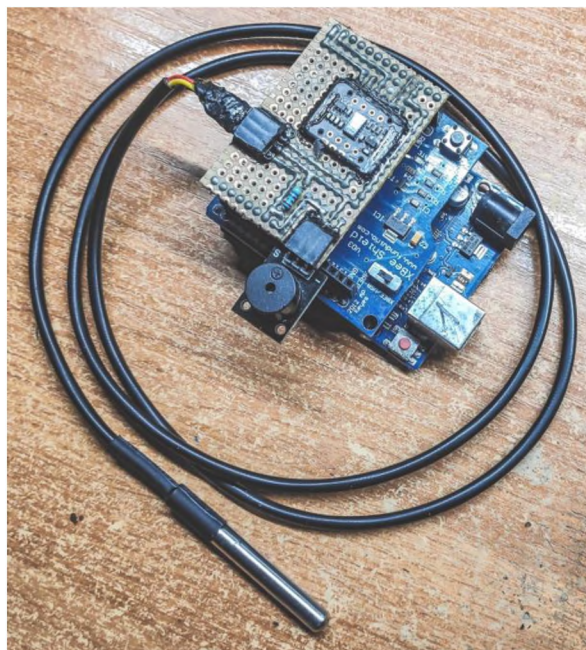


Рисунок 6. Макет для первого передающего модуля.

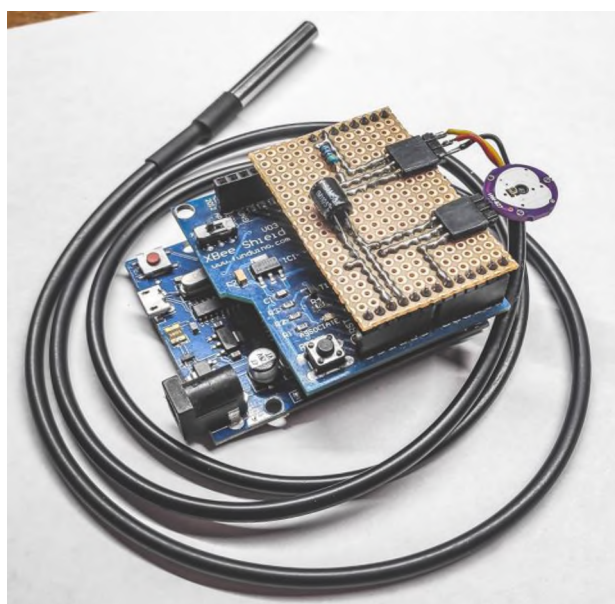


Рисунок 7. Макет для второго передающего модуля.

На рисунке 8 изображен общий вид оборудования, необходимого для создания локальной сети удаленного мониторинга на основе двух передатчиков и одного приемника.

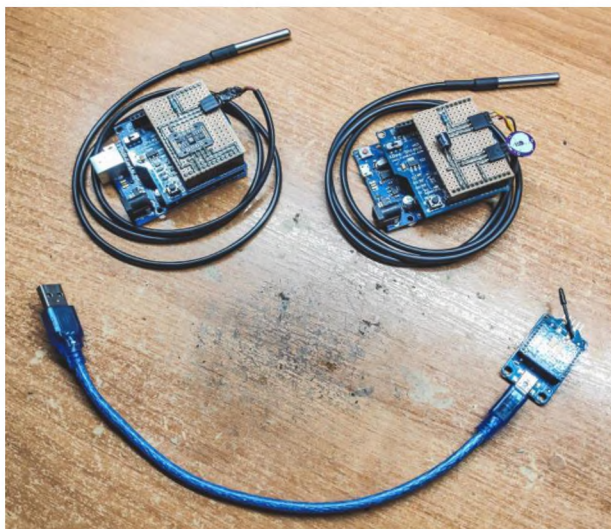


Рисунок 8. Общий вид оборудования для разработки локальной сети удаленного мониторинга состояния пациента.

Для удобства восприятия входных данных, принято решение использовать не терминал, встроенный в утилиту X-CTU (программа для работы с Xbee модулями), а написать специальную графическую программу на языке программирования Python (рисунок 9).

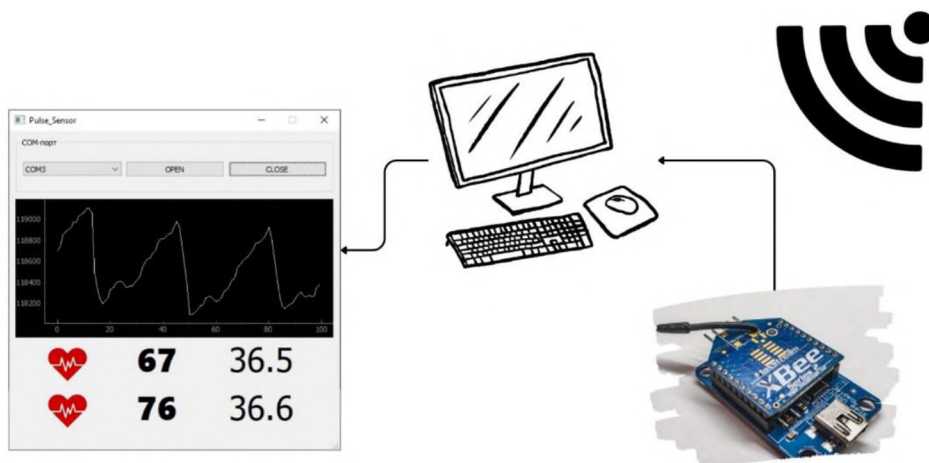


Рисунок 9. Внешний вид интерфейса приема данных.

Программа считывает данные с последовательного порта персонального компьютера. Данные туда поступают через приемник с двух радиопередатчиков.

В примере, изображенном на рисунке 9, для одного передатчика показания пульса равны 67, показания температуры 36,5 градусов; для второго передатчика пульс равен 76, температура также равна 36,5 градусов. Информация обновляется по каждому вновь поступающему пакету данных. Для суточного мониторинга данные с любого терминала последовательного порта, можно вывести в Excel-файл с построением кривых изменения состояния за сутки.

График, изображенный на рисунке, соответствует кровотоку в пальце, к которому подключен датчик МАХ30102 (значения осей: ординаты соответствуют бодрейту примерно 119 кБит/с, ось абсцисс – тайминг).

Дискуссия

Представленная разработанная система имеет малый охват территории (40-50 метров) и низкие скорости передачи данных (250 кБит/с). Однако для заявленных целей такой комплекс будет весьма эффективным, т.к. в условиях одного медицинского отделения или учреждения, а также пакетной передачи данных, низкие скорости передачи и малый радиус действия не являются помехой.

Преимуществом же данной системы является низкое потребление электроэнергии приемо-передающим оборудованием, а также возможность наращивания количества модулей (практически неограниченно) для охвата полного количества пациентов.

Заключение

Разработанная система может быть усовершенствована за счет внедрения дополнительных датчиков сатурации, положения тела, ЭКГ. Кроме того, сеть может быть спроектирована с большим количеством передающих модулей, что обеспечит возможностью мониторинга состояния пациентов как в условиях отделения, так и целого лечебного комплекса.

Представленное исследование и устройства могут быть полезны в любых сферах здравоохранения, в частности в условиях стационаров.

Литература:

1. Петраевский, В.А. Удаленный мониторинг состояния пациента скорой помощи / В.А. Петраевский, Е.А. Кузьменко, А.К. Марков // Инженерный вестник Дона. – 2020. – № 3(63). – С. 44.
2. Юлдашев, З.М. Система удаленного мониторинга состояния здоровья людей с хроническими заболеваниями и прогнозирования периодов обострения / З.М. Юлдашев // Медицинская техника. – 2022. – № 5(335).
3. Удаленный мониторинг состояния здоровья. Аналитический обзор / А.С. Сиротина, О.С. Кобякова, И.А. Деев [и др.] // Социальные аспекты здоровья населения. – 2022. – Т. 68, № 2. – С. 1. – DOI 10.21045/2071-5021-2021-68-2-1.
4. Медицинский центр удаленного мониторинга пациентов с COVID-19: опыт организации и оценка эффективности / В.А. Бойков, С.В. Барановская, И.А. Деев [и др.] // Бюллетень сибирской медицины. – 2021. – Т. 20, № 2. – С. 12-22. – DOI 10.20538/1682-0363-2021-2-12-22.
5. Аль-Дхамари Д.Х., Безуглов Д.А., Шевчук П.С., Енгибарян И.А. Разработка беспроводной системы дистанционного управления и контроля мышечной активности и температуры на основе ZigBee // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №6.; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=16191> (дата обращения: 06.12.2023).
6. Аль-Дхамари Д.Х., Безуглов Д.А., Шевчук П.С., Енгибарян И.А. Разработка беспроводной системы дистанционного мониторинга состояния пациентов на основе ZigBee И LabView // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №6.; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=16189> (дата обращения: 06.12.2023).
7. Зубарев, А.А. Программно-аппаратный комплекс для передачи данных в беспроводной сети ZigBee / А.А. Зубарев, Е.А. Зубарева, А.Г. Анатольев // Информационные технологии и автоматизация управления: Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов, работников образования и промышленности, Омск, 27–28 мая 2022 года / Отв. редактор А.В. Никонов. – Омск: Омский государственный технический университет, 2022. – С. 108-113.
8. Мусраунова, А.С. Беспроводный мониторинг данных теплицы с помощью технологии ZigBee / А.С. Мусраунова, П.А. Петров // Автоматизация. Современные технологии. – 2022. – Т.76, № 2. – С. 85-88. – DOI 10.36652/0869-4931-2022-76-2-85-88.

References:

1. Petraevskij, V.A. Udalennyj monitoring sostoyaniya pacienta skoroj pomoshchi / V.A. Petraevskij, E.A. Kuz'menko, A.K. Markov // Inzhenernyj vestnik Dona. – 2020. – № 3(63). – S. 44.
2. Yuldashev, Z.M. Sistema udalennogo monitoringa sostoyaniya zdorov'ya lyudej s hronicheskimi zabolevaniyami i prognozirovaniya periodov obostreniya / Z.M. Yuldashev // Medicinskaya tekhnika. – 2022. – № 5(335).
3. Udalennyj monitoring sostoyaniya zdorov'ya. Analiticheskij obzor / A.S. Sirotina, O.S. Kobyakova, I.A. Deev [i dr.] // Social'nye aspekty zdorov'ya naseleniya. – 2022. – T. 68, № 2. – S. 1. – DOI 10.21045/2071-5021-2021-68-2-1.
4. Medicinskij centr udalennogo monitoringa pacientov s COVID-19: opyt organizacii i ocenka effektivnosti / V.A. Bojkov, S.V. Baranovskaya, I.A. Deev [i dr.] // Byulleten' sibirskoj mediciny. – 2021. – T. 20, № 2. – S. 12-22. – DOI 10.20538/1682-0363-2021-2-12-22.
5. Al'-Dhamari D.H., Bezuglov D.A., Shevchuk P.S., Engibaryan I.A. Razrabotka besprovodnoj sistemy distancionnogo upravleniya i kontrolya myshechnoj aktivnosti i temperatury na osnove ZigBee // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. – 2014. – № 6.;
URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=16191> (data obrashcheniya: 06.12.2023).
6. Al'-Dhamari D.H., Bezuglov D.A., Shevchuk P.S., Engibaryan I.A. Razrabotka besprovodnoj sistemy distancionnogo monitoringa sostoyaniya pacientov na osnove ZigBee I Lab View // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. – 2014. – № 6.;
URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=16189> (data obrashcheniya: 06.12.2023).
7. Zubarev, A.A. Programmno-apparatnyj kompleks dlya peredachi dannyh v besprovodnoj seti Zig-Bee / A.A. Zubarev, E.A. Zubareva, A.G. Anatol'ev // Informacionnye tekhnologii i avtomatizaciya upravleniya: Materialy XIII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov, rabotnikov obrazovaniya i promyshlennosti, Omsk, 27–28 maya 2022 goda / Otv. redaktor A.V. Nikonov. – Omsk: Omskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2022. – S. 108-113.
8. Musraunova, A.S. Besprovodnyj monitoring dannyh teplicy s pomoshch'yu tekhnologii Zigbee / A.S. Musraunova, P.A. Petrov // Avtomatizaciya. Sovremennye tekhnologii. – 2022. – T. 76, № 2. – S. 85-88. – DOI 10.36652/0869-4931-2022-76-2-85-88.