

Упрощение процессов медицинских измерений с использованием беспроводных датчиков

Клаудиус МУР
Игорь ЧУДОВСКИЙ
info@tracking-systems.ru
Фирма Corscience GmbH & Co.
KG, Германия

На протяжении многих лет задача беспроводной передачи данных в ближнем поле представляла значительную проблему для разработчиков медицинских датчиков. В данной области исследований требуется использование современной технологии передачи данных для усовершенствования медицинского оборудования, позволяющего измерять такие характеристики пациента, как ЭКГ, уровень насыщения крови кислородом, уровень кровяного давления, вес, уровень содержания глюкозы в крови и т. п. Необходимость применения высокотехнологичных медицинских датчиков широко проявляется во всех областях медицины, где кабельные соединения приборов представляют большое неудобство для врачей, пациентов и обслуживающего персонала. Особенно остро эта проблема стоит в спортивной медицине, медицине сна, экстренной медицине и реанимации.

Введение

Учитывая хорошие характеристики в области энергопотребления, диапазона, безопасности данных, а также сетевых возможностей для передачи результатов измерений была выбрана единая стандартная технология беспроводной передачи Bluetooth.

Поскольку цифровые данные пересылаются на приемную станцию с использованием технологии Bluetooth, первичная обработка измерений может осуществляться непосредственно в датчике, а не в мониторе.

В данной статье рассматриваются приборы, использующие технологию Bluetooth: Bluetooth-ЭКГ, Bluetooth-пульсоксиметр, Bluetooth-пикфлоуметр, а также «событийный регистратор» на основе Bluetooth. С одной стороны, использование данных приборов позволяет системно наблюдать пациентов в режиме on-line (ЭКГ, пульсоксиметр). С другой стороны, данные приборы могут быть интегрированы в комплексные лечебные программы (пикфлоуметр) и могут использоваться для мониторинга пациентов высокой степени риска в домашних условиях (поясное носимое записывающее устройство).

Стандартная методика проведения медицинских измерений предусматривает проводные соединения датчиков (зачастую пациента полностью опутывают кабелями). Во многих системах каждый электрод или датчик подсоединяется к монитору с помощью отдельного кабеля. Все эти провода ограничивают движения пациента, а передаваемые сигналы изобилуют искажениями из-за перемещений кабелей и наличия электромагнитной интерференции.

Одним из практических примеров проблем, вызываемых наличием кабельных соединений, может служить отведение 12-канальной ЭКГ в эргометрии. Запись ЭКГ под нагрузкой происходит во время тренировки на велотренажере или беговой дорожке. Из-за движений пациента в проводах, располагающихся между пациентом и монитором, возникают наводки и появляются искажения сигналов. В дополнение к сказанному следует отметить, что пациент не в состоянии свободно двигаться на эргометре из-за кабелей, подсоединенных к ЭКГ-монитору.



Рис. 1. Пример классического отведения сигналов в реанимации

Более сложные измерительные деривационные системы используются в экстремальной медицине и реанимации. В данной области параллельно используется множество датчиков, информация с которых отображается на одном мониторе. Стандартный инструментальный, применяющийся здесь, включает 3-канальный ЭКГ, пульсоксиметр и оборудование для измерения уровня кровяного давления. Нетрудно предположить, что все эти кабельные соединения мешают свободному движению пациента и приводят к появлению артефактов в измерениях (рис. 1).

В настоящее время кабельные соединения между датчиком и монитором заменяются беспроводными технологиями передачи данных. При выборе такой технологии необходимо принимать во внимание экстремальные условия «окружения». Функционирование датчиков должно быть гарантировано даже в случаях, когда, например, тучный пациент, находящийся в лаборатории сна, лежит непосредственно на передатчике, таким образом полностью его экранируя. Помимо этого, должны соблюдаться требования к безопасности передачи данных (рис. 2).

Материалы и методы

Структура беспроводных измерительных датчиков

Современные системы отведения включают электрод или датчик на теле пациента, кабель и систему обработки измерений в приемнике (рис. 3). Соединительный кабель вполне возможно может быть длиной в несколько метров. Слабые аналоговые сигналы датчика, проходящие эти несколько метров кабеля, подвержены воздействиям помех от различных источников. Достигнув монитора, аналоговые сигналы, находящиеся в милливольтовом диапазоне, затем усиливаются, фильтруются и впоследствии оцифровываются аналого-цифровым преобразователем. Приобретя цифровую форму, данные измерений могут быть обработаны и показаны на мониторе.

Если бы кому-нибудь в настоящее время потребовалось разработать медицинское оборудование для передачи сигналов на монитор, используя беспроводную технологию передачи данных, основную трудность вызвала бы задача интеграции всего объема предварительной обработки измерений в датчике. Аналоговые усилители, фильтры, ADC, микроконтроллеры и модуль передачи данных должны располагаться непосредственно на теле пациента (рис. 4).

Поскольку приборы не могут снабжаться энергией через обычные кабели, в качестве единственного энергетического источника рассматриваются обычные или перезаряжаемые батареи. Чтобы разрабатываемый прибор не стал слишком громоздким, все его компоненты должны быть разработаны и интегрированы на высоком техническом уровне для минимизации энергопотребления. Только такой прибор будет удобен для ношения пациентом, что будет его главным преимуществом перед классическими деривационными системами.

В качестве источника питания могут использоваться обычные AA и AAA батареи или перезаряжаемые батареи Li-Ion. Поскольку литий-ионные батареи имеют высокую энергетическую плотность (примерно 100 Вт·ч/кг), по сравнению с другими перезаряжаемыми батареями

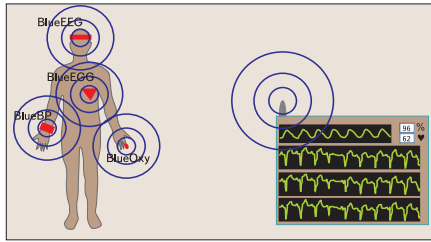


Рис. 2. Беспроводной мониторинг

(NiMH — примерно 24-40 Вт·ч/кг), а также очень компактны и доступны в различных исполнениях, они представляют собой наилучший компактный источник питания [1]. Кроме того, они полностью отвечают требованию компактности к прибору, предназначенному для ношения на теле пациента. Тем не менее, в каждом конкретном случае необходимо учитывать, будет ли более высокая стоимость системы, требующей перезаряжаемых батарей Li-Ion, доступна для пациента. Поскольку предварительная обработка измерительных данных теперь производится непосредственно в датчике, в дополнение к простому оцифровыванию здесь необходимо интегрировать более интеллектуальное устройство. Затем достаточно будет переслать вычисленное значение по беспроводному интерфейсу.

Выбор технологии передачи данных

Поскольку в медицинских аппаратных системах нельзя гарантировать соединения в пределах прямой видимости, вопрос беспроводной передачи данных сосредотачивается на радиоволновом диапазоне. Также рекомендуется использовать стандартизованную форму передачи данных. Это облегчает использование уже существующих радиомодулей, которые работают по трансмиссионным протоколам с исправлением ошибок и которые могут противостоять воздействию помех.

Еще одно преимущество стандартизованной технологии передачи данных заключается в том, что различные модули совместимы друг с другом. Таким образом, для различных применений будет достаточно оборудовать датчик беспроводным интерфейсом. В случаях, когда в качестве мониторов используются персональные компьютеры, ноутбуки или PDA, данный стандартный интерфейс может быть уже интегрирован. В процессе выбора технологии также необходимо учитывать, что на мониторе должен

быть визуализирован не один прибор. Например, в экстренной медицине необходимы одновременно сигналы ЭКГ, пульсоксиметрические параметры, а также данные об уровне кровяного давления. Если, однако, разработчик принимает решение не в пользу стандартизованной формы, то все вышеперечисленные проблемы необходимо будет решать самостоятельно.

Одним из стандартов радиосвязи, который применяется в медицинских учреждениях, является Wireless LAN. Wireless LAN, в основном, применяется в случаях, когда в помещении необходимо построить стационарные беспроводные коммуникационные сети с большими полосами частот и расстоянием 30–100 м [2]. Поэтому в медицинских учреждениях ноутбуки, не имеющие интерфейса Ethernet, имеют вход в местную сеть через Wireless LAN. Из-за высокой частоты несущей и большой полосы пропускания уровень энергопотребления является очень высоким, что делает Wireless LAN неприемлемым для использования в беспроводных медицинских датчиках [3].

Технология Zigbee может быть объектом анализа в будущем, в настоящее время она получила широкое распространение в мире и является промышленным стандартом (IEEE 802.15.4). Технология Zigbee особенно удобна для использования датчиков мониторинга и контроля в быту. Например, с помощью центрального передатчика можно дистанционно включать и выключать свет, осуществлять управление видеомонитором или кондиционером. В промышленности технология Zigbee применяется для автоматизации и контроля производственных процессов [4]. Поскольку технология Zigbee является достаточно экономичной в плане энергопотребления, существует вероятность ее применения в медицинских разработках. Однако разработки в области стандартизации пока еще не вышли на тот уровень, когда можно сказать, что уже имеются решения для создания модулей первичного анализа.

Технология Bluetooth широко используется во многих областях. Этот стандарт изначально использовался для соединения компьютеров, ноутбуков, PDA, а также мобильных телефонов и периферийных устройств. Данная технология применяется также в беспроводных телефонных гарнитурах.

В разработках часто возникает необходимость одновременного подключения нескольких пе-

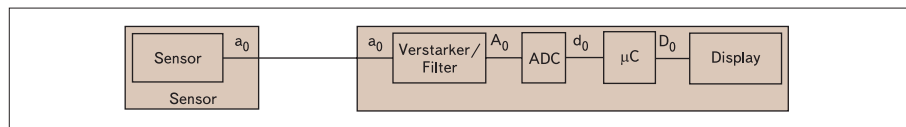


Рис. 3. Блок-диаграмма передачи медицинских данных

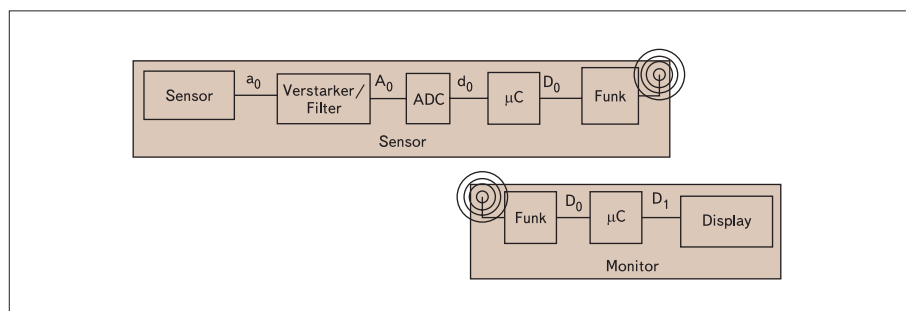


Рис. 4. Блок-диаграмма беспроводной передачи данных

риферийных устройств (например, мышь, клавиатура и принтер). Использование технологии Bluetooth позволяет одновременно работать с 7 терминальными устройствами [6]. В медицине необходимо также, чтобы связь с данными устройствами была свободной от ошибок. Исследования этой проблемы показали, что ошибки передачи, возникающие на уровне радиоканала, полностью исправляются, так что на пользовательском уровне их не возникает [5].

Все три стандарта радиосвязи, рассмотренных выше, могут применяться в медицинских технологиях. Однако в настоящее время технология Bluetooth является наиболее доступной, эффективной и приемлемой в плане энергопотребления. На сегодняшний день эта технология является единственным качественным инструментом для применения в беспроводных медицинских датчиках.

До какой степени технология Zigbee может быть привлекательной в плане применения ее в медицинских приборах — ответ на этот вопрос может быть дан только после анализа доступных модульных решений.

Результаты BT-3/6, BT-12 / BlueЭКГ — Bluetooth-ЭКГ

BlueЭКГ является мобильным компонентом прибора Bluetooth — ЭКГ, который может применяться для беспроводных измерений по 3, 6 или 12 ЭКГ-каналам (рис. 5). Модуль Bluesense используется в качестве интерфейса Bluetooth.

BlueЭКГ был разработан для использования в системах, осуществляющих мониторинг в режиме «онлайн». В первом варианте (3-канальная ЭКГ) осуществляется отведение по Эйнтховену с использованием 4 электродов. Путем конфигурирования программы монитора 3-канальная ЭКГ может быть расширена до 6-канальной.

Второй вариант — 12-канальная ЭКГ с 3 отведениями по Эйнтховену, 3 — по Гольдбергеру и 6 — по Вильсону. Помимо простейшей передачи ЭКГ-каналов, на мобильной части определяется комплекс-QRS, измеряется качество контакта электрода и пульс синусового узла сердца, а также интегрирована дефибрилляционная защита от импульсов дефибриллятора.

В процессе длительного мониторинга данные измерений передаются в реальном времени на центральную систему (например ПК, PDA, специальный монитор). В случае, если по какой-то причине связь была прервана во время передачи данных, информация сохраняется во внутренней памяти передатчика. После этого в течение 5 минут восстанавливается связь, и сохраненные данные синхронизируются с получающей системой. Применение данного прибора позволяют гарантировать полный мониторинг, даже в случаях, когда пациент случайно оказывается за пределами диапазона приема.

Характеристики работы сердца, а также текущий уровень контакта каждого электрода показываются непосредственно на дисплее прибора. В ограниченном режиме на дисплее не показываются характеристики работы сердца, однако его символическое изображение, пульсирующее с текущей частотой, остается на дисплее. В случае обнаружения комплекса QRS в дополнение к соответствующему изображению подается акустический сигнал.



Рис. 5. Bluetooth-ЭКГ



Рис. 6. Bluetooth – Пульсоксиметр

Прибор BlueЭКГ может подавать сигнал при появлении каждой R-волны.

BlueOxy — Bluetooth-пульсоксиметр

Пульсоксиметр BlueOxy представляет собой компактное независимое пульсоксиметрическое устройство, предназначенное для ношения на руке пациента (рис. 6). Данное устройство позволяет производить неинвазивные измерения уровня насыщения артериальной крови кислородом (SpO₂), а также измерения пульса пациента. Помимо измерений пульса и SpO₂, на гистограмме интегрированного дисплея показывается уровень качества сигнала.

Для проведения долгосрочного мониторинга пациента имеются режимы «оффлайн» и «онлайн». В режиме «онлайн» данные измерений передаются на главную систему (например, ПК, PDA, монитор) в реальном масштабе времени, моментально оцениваются и сохраняются. Также, как и прибор BlueЭКГ, в случае перебоев соединения BlueOxy сохраняет данные в буфере. Однако, в отличие от первого примера, здесь во-



Рис. 7. Регистратор событий CorBELT / BlueBELT для мониторинга состояния пациентов высокой степени риска

зобновление соединения происходит в течение 15 минут, а не 5, после чего сохраненные данные передаются на систему мониторинга.

В режиме «оффлайн» данные измерений сохраняются во внутренней памяти с указанием даты, времени и идентификационного номера пациента. Эти данные могут анализироваться автономно и позднее обрабатываться с помощью соответствующего программного обеспечения на ПК.

Регистратор событий CorBELT / BlueBELT для мониторинга пациентов высокой степени риска

Регистратор событий BlueBELT представляет собой систему для длительного мониторинга в домашних условиях пациентов высокой степени риска, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями (рис. 7).

Для того чтобы необходимая медицинская помощь была оказана оперативно, в случае, например, критического состояния сердца, на груди пациента с помощью ремня фиксируется прибор, весящий всего 120 г, который способен анализировать в постоянном режиме данные ЭКГ. Если поясное устройство обнаруживает данные пациента, угрожающие жизни, автоматически устанавливается связь с базовой станцией по технологии Bluetooth. Базовая станция, установленная в квартире пациента, при получении сигнала от прибора выдает опто-акустический сигнал тревоги, который предназначен для членов семьи пациента или обслуживающего персонала. Данная схема гарантирует пациенту оказание своевременной медицинской помощи и, как следствие, спасение жизни.

В дополнение к тревожному оповещению членов семьи или обслуживающего персонала базовая станция автоматически устанавливает телефонную связь с электронной базой данных пациента в медицинском учреждении и передает данные о состоянии пациента за 10 с до события, а также за 10 с, последовавших позднее. Одновременно ЭКГ-данные автоматически пересылаются в центр слежения за пациентом и службу скорой медицинской помощи, где специалистами проводится анализ данных и, например, в случае обнаружения опасного состояния, оповещается специалист неотложной медицинской помощи.

Поскольку прибор BlueBELT был разработан для проведения длительного мониторинга пациента, в его поясном варианте не используются стандартные адгезивные электроды. Здесь применяются сухие электроды, произведенные из стали V2A, с фрактальным покрытием для увеличения площади поверхности и снижения импеданса электрода [7].

По сравнению с существующими системами, прибор BlueBELT принимает и передает сигналами

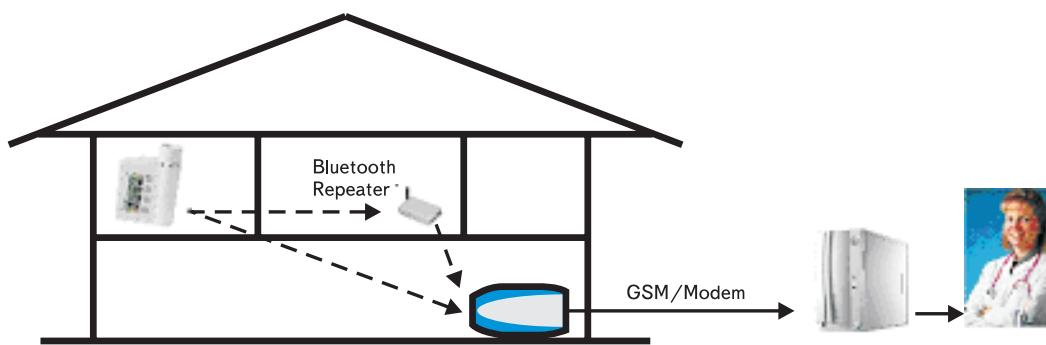


Рис. 8. Концепция мониторинга пациентов с заболеваниями астмы и легочными заболеваниями

лы тревоги в критических кардиологических случаях, что дает пациенту высокой степени риска чувство защищенности и уверенности [8]. Применение технологии Bluetooth в профилактике заболеваний можно рассмотреть на примере использования Bluetooth-пикфлоуметра (AM — 1 — BT).

Беспроводные медицинские датчики в домашнем мониторинге успешно работают в медицине сна, диализе, а также при мониторинге пациентов высокой степени риска, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями. Более того, существуют варианты для применения беспроводной измерительной регистрации для профилактики заболеваний (DMP) в области конгестивной сердечной недостаточности (CHF), высокого кровяного давления, диабета, а также астматических заболеваний и хронических обструктивных легочных заболеваний (COPD).

В программах профилактики заболеваний и домашнего мониторинга, проводимых в настоящее время, используются дневниковые записи, телефонные интервью, а также передача данных через модемы или акустические устройства связи для регистрации измерений. Проведение этих программ требует большого количества персонала, а также отличной технической квалификации в отношении контролируемого пациента. Вполне вероятно, что вследствие определенного количества эксплуатационных ошибок, здесь могут передаваться не вполне корректные данные.

При применении беспроводных датчиков пользователю не нужно заполнять какие-либо формы, нет кабелей соединения между прибором и модемом, и нет необходимости прижимать датчики к телефонной трубке для акустической передачи данных. Данные после измерений могут автоматически передаваться в беспроводном режиме на соответствующим образом оборудованный модем, не беспокоя пациента. Такой модем устанавливается единожды, и затем получаемые данные могут передаваться оператору программы.

В зависимости от варианта применения данные могут пересылаться через аналоговый модем, либо посредством GSM-соединения, либо с использованием SMS-сообщений (рис. 8).

Рассматриваемый здесь пикфлоуметр устанавливает соединение (Bluetooth master) с мобильным телефоном после проведения измерений и посылает SMS-сообщение на принимающий

сервер. Затем эти данные автоматически анализируются оператором программы профилактики заболеваний. При обнаружении значений, превышающих допустимые, с контролируемым пациентом устанавливается связь, либо он направляется в соответствующее медицинское учреждение. Данная схема взаимодействия с пациентом будет способствовать выявлению отклонений в здоровье пациента на ранних стадиях развития заболевания и у него появится возможность своевременного обращения к специалисту.

Выводы и перспективы

Рассмотренные в данной статье датчики демонстрируют уровень существующих в настоящее время разработок медицинских приборов с применением технологии Bluetooth. В настоящее время имеется возможность создания на их основе систем для проведения «онлайн»-мониторинга, мониторинга пациентов высокой степени риска, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями, а также повышения эффективности существующих и планируемых программ профилактики заболеваний.

Все представленные датчики и приборы минимизируют неподвижность пациента и его обслуживающего персонала, а также способствуют снижению ошибок передачи информации с датчиков.

Более того, данные новые подходы к мониторингу пациентов в их домашних условиях позволяют реализовывать концепции, которые не были возможны в прошлом.

В таких областях, как спортивная медицина, медицина сна, экстренная медицина, реанимация, а также мониторинг в домашних условиях, у врачей и обслуживающего персонала появляется больше уверенности в проведении обычных процедур.

Обычный аналоговый модем с Bluetooth-приемником, установленный в доме пациента, превращается в приемную станцию. Это выгоднее, чем использование связи GSM или SMS. Для мобильных вариантов применения мобильные телефоны и смарт-фоны могут выполнять роль подходящих принимающих станций. С этих принимающих станций данные идут на веб-сервер, который осуществляет оценку измерений с возможной постановкой диагноза. Подобным образом реализуются медицинские порталы, позволяющие осуществлять интегрированное наблюдение за па-

циентами в рамках программ профилактики заболеваний.

Следующим шагом в этом направлении будет интеграция датчиков с процессорами для обработки информации. В качестве примера можно привести вышеописанный пульсоксиметрический прибор. С его помощью можно провести вычисление уровня кислородного насыщения на основе измеренных переданных данных непосредственно в передатчике. Это снижает трафик не беспроводном интерфейсе, в свою очередь, снижает уровень энергопотребления. Тем не менее, необходимо внимательно рассчитать, могут ли быть достигнуты достаточные значения тока при использовании низкопотребляющего микроконтроллера.

Еще одним преимуществом применения датчиков с интегрированным интеллектом является возможность простейшего подсоединения приборов к различным мониторам. Это особенно полезно для разработчиков OEM-приборов. В дополнение следует отметить, что стандартные мониторы достаточно просто модифицировать, поскольку для получения данных измерений необходимо лишь интегрировать в них интерфейс Bluetooth. **□**

Литература

1. K. Heinloth. Die Energiefrage: Bedarf und Potentiale, Nutzung, Risiken und Kosten. Verlag Vieweg, Braunschweig, Wiesbaden, 1997
2. DAFU, Datenfunk in Deutschland (Wireless LAN), <http://www.wf.dafu.de>, Dezember 2004
3. DPAC Technologies, Airborne 802.11b Serial Bridge Module, WNLB-SE-DP101, Datenblatt, Juli 2004.
4. A. Sikora, IEEE802.15.2 und ZigBee — Drahtlose Low-Datarate-Mesh-Networks, Design&Elektronik, vol. 10/2004, pp. 126-133.
5. H. Pals, M. Gönne, H. Matz, H. Gehring, Untersuchung zur Störanfälligkeit von Bluetooth im perioperativen Bereich, Biomedizinische Technik, vol. 49-1, pp. 238-239, 2004.
6. J. Bray, C. F. Sturman, BLUETOOTH Connect Without Cables, Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, USA.
7. A. Bolz, W. Urbaszek, Technik in der Kardiologie, Verlag Springer, Heidelberg etc. 2002
8. M. Braecklein, C. Moor, I. Tchoudovski, A. Bolz, Erprobung eines automatischen Systems zur kontinuierlichen häuslichen Überwachung von kardiologischen Risikopatienten, Biomedizinische Technik, vol. 49-1.