

Система удаленного интеллектуального мониторинга состояния здоровья людей

Аннотация

Рассмотрена структура системы удаленного мониторинга состояния здоровья людей, включающая в себя уровни носимого монитора, мобильного устройства, сервера лечебного учреждения и носимого компьютера семейного врача. Предложен алгоритм удаленного интеллектуального мониторинга пациента, позволяющий изменять режимы работы и характеристики каналов регистрации биомедицинских сигналов, алгоритмы обработки и анализа диагностической информации при отклонении показателей текущего физиологического состояния пациента от состояния индивидуальной нормы.

Актуальность

Необходимость расширения доступности и повышения качества медицинского обслуживания в условиях увеличения численности населения, особенно пожилого возраста, требует поиска решений по диагностике и лечению заболеваний, способных охватить широкие слои населения, проживающего не только в городах, но и в удаленных населенных пунктах. Эффективным решением этой проблемы является использование технологии телемедицинского мониторинга состояния здоровья людей для профилактики заболеваний и прогнозирования риска обострения хронических заболеваний [1]-[3].

Цель исследования

Цель работы – разработка системы удаленного интеллектуального мониторинга состояния здоровья человека и прогнозирования риска обострения заболевания.

Достижение поставленной цели обеспечивается решением ряда задач, среди которых основными являются:

- разработка структуры системы длительного удаленного интеллектуального мониторинга состояния здоровья человека и прогнозирования обострения заболевания;
- разработка алгоритма удаленного интеллектуального мониторинга, обеспечивающего изменение режимов и характеристик каналов регистрации сигналов, алгоритмов обработки и анализа диагностической информации при отклонении параметров состояния здоровья людей от параметров индивидуальной нормы.

Решение задач исследования

1 Разработка структуры системы удаленного интеллектуального мониторинга состояния здоровья человека

Для мониторинга состояния здоровья человека и прогнозирования обострения заболевания система должна решать комплекс задач, связанных с регистрацией сигналов, характеризующих деятельность систем организма, обработку и анализ биомедицинской информации, оценку текущего состояния организма, выявление динамики изменения и прогнозирования обострения заболевания. Очевидно, что для решения комплекса задач система должна иметь многоуровневую структуру, каждый уровень которой должен обеспечивать оптимальность решения конкретной задачи [1].

Первый уровень иерархической системы мониторинга (носимое пациентом устройство) обеспечивает решение задачи объективной и достоверной регистрации комплекса биомедицинских сигналов и показателей деятельности систем организма. Минимизация погрешностей регистрации сигналов достигается снижением влияния носимого устройства на функционирование систем организма и привычную для пациента жизнедеятельность. Датчики и сенсоры носимого пациентом устройства должны обеспечивать неинвазивную оценку медико-биологических показателей организма человека, быть био-

логически совместимыми, не влиять на пространственно-временное распределение регистрируемых биомедицинских сигналов. Для обеспечения надежной продолжительной регистрации биомедицинских сигналов носимое устройство должно обладать высокой автономностью работы, что обуславливает целесообразность использования предварительной обработки сигналов на следующем уровне системы. Использование интеллектуальных алгоритмов регистрации и передачи биомедицинских сигналов на второй уровень системы – приемник биомедицинских сигналов – позволяет существенно снизить ток потребления и увеличить автономность устройства.

Интеллектуализация работы носимого устройства заключается в том, что при состоянии пациента, соответствующем состоянию индивидуальной нормы, задается фоновый режим работы. При этом режим активным является только канал регистрации ЭКГ. Приемник биомедицинских сигналов, представляющий собой второй уровень системы, оценивает вариативность сердечного ритма, при превышении которой границ индивидуальной нормы включает дополнительные каналы регистрации биомедицинских сигналов носимого устройства и осуществляет изменение параметров регистрации биомедицинских сигналов с целью повышения точности и достоверности оценки текущего состояния здоровья пациента. Мощности передачи сигналов по радиоканалу от носимого устройства к приемнику должна быть ограничена уровнем десятков милливатт, достаточным для передачи сигнала до приемника сигналов, находящегося поблизости от пациента. Это способствует дополнительному увеличению автономности работы носимого устройства. *Целевая функция первого уровня системы* – обеспечение точности и достоверности регистрации и передачи сигналов в условиях продолжительной автономной работы.

Второй уровень системы – приемник сигналов. Он обеспечивает предварительную обработку биомедицинских сигналов, оценку диагностически значимых показателей, характеризующих состояние здоровья пациента, оценку текущего состояния здоровья организма пациента, управление режимом работы (подключение дополнительных каналов регистрации сигналов) и изменение параметров каналов регистрации носимого устройства. Здесь же осуществляются: анализ показателей функционирования систем организма, формирование сигналов оповещения пациента при выходе контролируемых параметров за границы индивидуальной нормы, передача биомедицинской информации по каналу WLAN на сервер лечебного учреждения, осуществляющего мониторинг состояния здоровья и прогнозирования обострения хронического заболевания. Интеллектуализация работы второго уровня системы заключается в изменении алгоритмов обработки сигналов при выходе контролируемых параметров состояния пациента за границы индивидуальной нормы. В целях эффективного использования оперативной памяти продолжительность хранения диагностически значимых показателей состояния здоровья пациента приемником не должна превышать одной недели. Запись и хранение этих показателей за более продолжительный период мониторинга состояния пациента осуществляются на сервере лечебного учреждения. Для решения всех выше-

перечисленных задач второй уровень системы должен иметь высокопроизводительный процессор. Учитывая современный уровень развития компьютерных технологий, он реализуется на смартфоне или планшете с использованием автономного или сетевого источника питания. **Целевая функция второго уровня системы** – достоверная оценка текущего состояния пациента и передача медико-биологической информации на третий уровень для осуществления длительного мониторинга и прогнозирования состояния здоровья пациента.

Третий уровень системы представлен облачными средствами и технологиями сервера лечебного учреждения, осуществляющего мониторинг состояния здоровья пациента.

Здесь осуществляются: детальный анализ динамики функционального состояния систем организма; интегральная оценка состояния здоровья; корректировка показателей индивидуальной нормы мониторируемого пациента, критериев диагностики заболеваний и прогнозирования его обострения; формирование для лечащего врача информационного сообщения об угрожающих здоровью пациента функциональных изменениях систем организма. Интеллектуализация работы системы на этом уровне заключается в изменении алгоритмов обработки и анализа сигналов в целях повышения точности и достоверности диагностики функциональных нарушений организма. **Целевая функция третьего уровня системы** – длительный мониторинг состояния здоровья пациента и прогнозирование обострения заболевания пациента.

Четвертый уровень системы образован микропроцессорной системой лечащего (семейного) врача и реализуется на носимом (планшет) или стационарном компьютере. Врач получает подробнейшую информацию о текущем состоянии пациента, динамике изменения состояния здоровья в процессе длительного мониторинга, прогноз состояния здоровья на ближайшие дни. Здесь же лечащему врачу могут быть рекомендованы типовые решения по использованию медицинских технологий и лекарственных средств для нормализации состояния здоровья пациента в случае появления угрожающих его жизни и здоровью функциональных нарушений.

Информационное взаимодействие второго, третьего и четвертого уровней системы мониторинга осуществляется с использованием канала связи WLAN. На сервер лечебного учреждения со стороны второго уровня системы поступает медико-биологическая информация о текущем состоянии здоровья пациента, в обратном направлении – на приемник пациента – обновления программных модулей, уточненные по результатам длительного мониторинга критерии оценки текущего состояния пациента, управляющие команды для реализации интеллектуального режима регистрации и обработки биоме-

дицинских сигналов. Использование канала WLAN между сервером лечебного учреждения и компьютером лечащего врача обеспечивает доступ врача к данным пациента, контроль состояния здоровья пациента, медицинское консультативное сопровождение пациента без ограничений в пространстве и во времени [4]. Врач, используя облачные средства, может корректировать программу мониторинга, средства оценки текущего состояния и прогнозирования состояния здоровья пациента. **Целевая функция четвертого уровня системы** – обеспечение контроля состояния здоровья пациента и принятия решения лечащим (семейным) врачом, медицинского сопровождения пациента врачом.

В соответствии с приведенным обоснованием предлагается обобщенная структура многоуровневой интеллектуальной системы удаленного мониторинга состояния здоровья (рис. 1).

Представленная обобщенная структура пригодна для описания практически всех интеллектуальных систем удаленного мониторинга состояния здоровья пациентов и прогнозирования обострения заболевания. Принципиальные различия будут касаться аппаратной части носимого устройства и программного обеспечения всех уровней системы. Очевидно, что для оценки текущего состояния пациента, имеющего конкретный вид хронического заболевания, требуются вполне определенные алгоритмы, решающие правила и критерии диагностики заболевания, прогнозирования обострения болезни. Поэтому особенности реализации аппаратной части системы первого уровня и программного обеспечения будут определяться исключительно целевой функцией всей системы удаленного мониторинга.

2 Разработка алгоритма удаленного интеллектуального мониторинга, обеспечивающего изменение режимов и характеристик каналов регистрации сигналов, алгоритмов обработки и анализа диагностической информации при отклонении параметров состояния здоровья людей от параметров индивидуальной нормы

Сущность удаленного интеллектуального мониторинга состояния здоровья людей заключается в изменении режимов работы и характеристик носимого устройства пациента, а также алгоритмов обработки и анализа биомедицинской информации на втором и третьем уровнях системы при отклонении параметров состояния здоровья пациента от параметров индивидуальной нормы.

Обобщенный алгоритм удаленного интеллектуального мониторинга состояния здоровья пациента представлен на рис. 2.



Рис. 1. Структура системы удаленного мониторинга

В представленном алгоритме после активации всей системы системой второго уровня (смартфон пациента), ввода сведений о пациенте, задания исходного режима работы носимого устройства обеспечивается регистрация биомедицинских сигналов пациента и передача их на смартфон пациента. Он осуществляет оценку текущего состояния пациента. При соответствии показателей текущего состояния здоровья пациента уровням индивидуальной нормы возможно обновление показателей нормы и выполнение процесса непрерывного мониторинга.

При отклонении показателей текущего состояния от параметров индивидуальной нормы системой второго уровня предусматривается включение дополнительных каналов регистрации сигналов на носимом устройстве и характеристик каналов, а далее – детальный анализ данных о состоянии здоровья пациента, информационная поддержка пациента либо информирование лечащего врача о состоянии здоровья пациента

путем пересылки медико-биологической информации с сервера лечебного учреждения на компьютер врача. Он, в свою очередь, может провести детальный анализ показателей состояния здоровья пациента с целью формирования рекомендаций для пациента либо принять решение об оказании экстренной медицинской помощи.

Выводы

Для повышения эффективности работы системы удаленного длительного мониторинга состояния здоровья людей с хроническими заболеваниями необходимо:

- 1) использовать многоуровневую структуру системы, в которой каждый уровень системы будет обеспечивать оптимальное решение задач и достижение целевой функции уровня;
- 2) использовать алгоритмы интеллектуального мониторинга, которые позволят повысить точность оценки состояния здоровья людей, достоверность диагностики заболеваний;

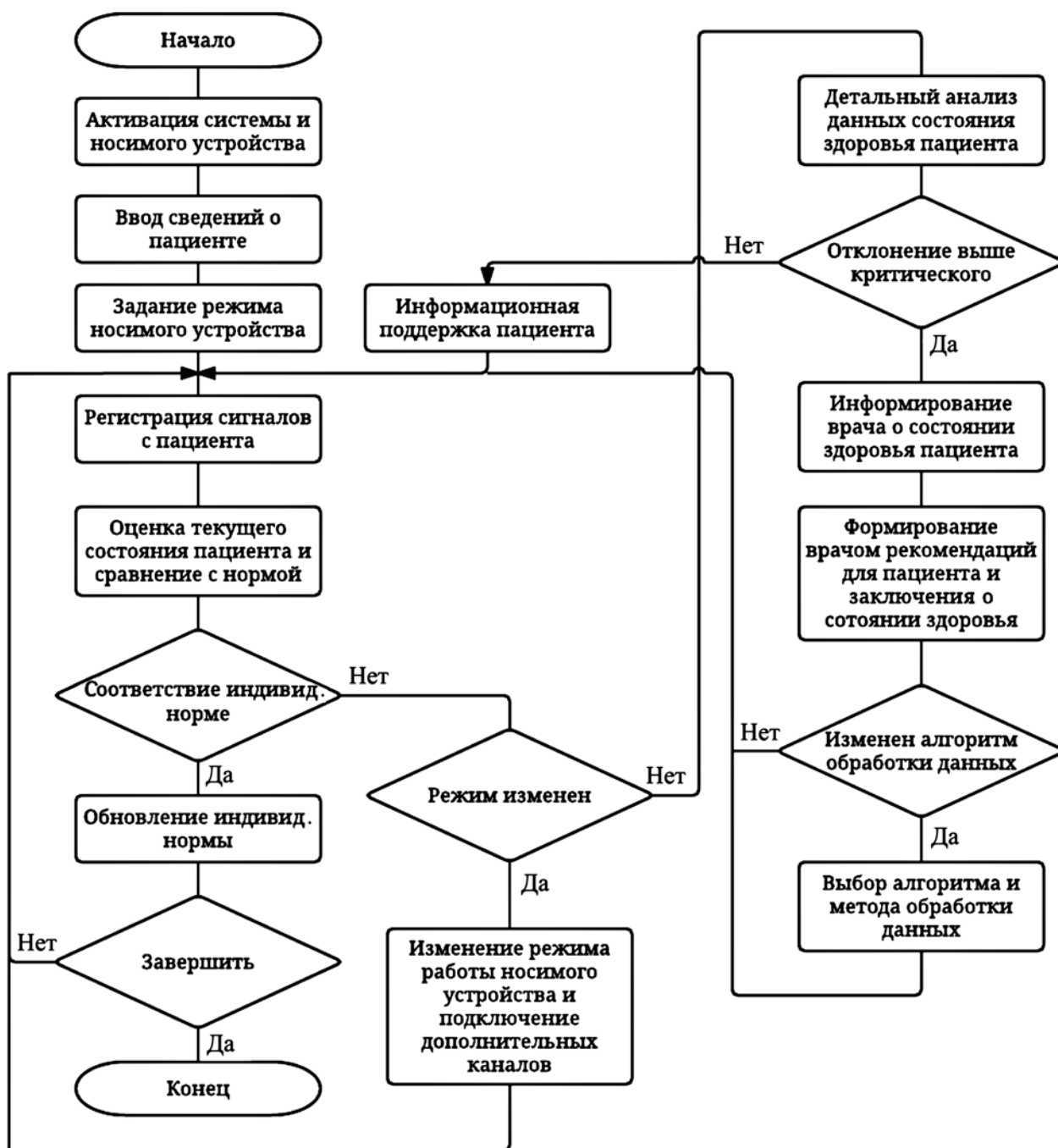


Рис. 2. Обобщенный алгоритм интеллектуального мониторинга

- 3) использовать информационную поддержку пациента при отклонении показателей состояния здоровья пациента от параметров индивидуальной нормы;
- 4) использовать мобильное уведомление врача, наблюдающего за пациентом, и медицинское сопровождение пациента в экстренных ситуациях.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 16-07-00599 «Модели, методы и система интеллектуального телемедицинского мониторинга состояния здоровья человека и прогнозирования обострения заболеваний».

Список литературы:

1. Anisimov A., Pustozarov E., Yuldashev Z. Intelligent remote health monitoring system for patients with chronic diseases / Proceedings of the XII Russian-Germany Conference on Biomedical Engineering. Suzdal. 2016. PP. 18-22.
2. Пустозеров Е.А., Юлдашев З.М. Дистанционный мониторинг состояния больных сахарным диабетом // Медицинская техника. 2014. № 2. С. 15-18.

3. Анисимов А.А., Юлдашев З.М., Бибичева Ю.Г. Безокклюзионная оценка динамики артериального давления по времени распространения пульсовой волны // Медицинская техника. 2014. № 2. С. 8-12.
4. Пустозеров Е.А., Юлдашев З.М. Система mhealth для информационной поддержки больного сахарным диабетом // Биотехносфера. 2013. № 1 (25). С. 39-44.

*Зафар Мухамедович Юлдашев,
д-р техн. наук, профессор,
зав. кафедрой,
Алексей Андреевич Анисимов,
аспирант, ассистент,
кафедра биотехнических систем,
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»,
г. С.-Петербург,
e-mail: yuld@mail.ru*

А.М. Гатауллин, А.В. Овчинников

Применение оборудования «CompactRIO» и программной среды LabView для одновременной регистрации и обработки биоэлектрических сигналов различного типа

Аннотация

Для одновременной регистрации электроэнцефалограмм и других биоэлектрических сигналов предлагается система сбора информации «CompactRIO» фирмы «National Instruments» (США), состоящая из шасси со вставляемыми 32-канальными NI-9205 модулями записи биологических сигналов.

Разработан виртуальный прибор с реализованными алгоритмами обработки сигнала ЭЭГ в программной среде LabView, позволяющий рассчитать амплитуды основных ритмов, частотно-амплитудный и частотно-временной спектры сигналов ЭЭГ в различных отведениях.

Введение

В настоящее время для диагностики ряда заболеваний (эпилепсия, тревожные состояния, нарушения сна) разрабатываются различные методы регистрации и обработки биоэлектрических сигналов, в том числе комплексные (полисомнография), с одновременной записью сигналов электроэнцефалограмм (ЭЭГ), электрокардиограмм (ЭКГ), электромиограмм (ЭМГ), храпа и др. [1]-[3]. При этом чаще всего исследователи и медицинские работники не имеют возможности перестраивать и программировать оборудование для усовершенствования диагностических методик по причине жесткой архитектуры имеющегося оборудования. Компания «National Instruments» (NI) выпускает специальное оборудование модульного типа для исследователей и разработчиков.

Целью рассматриваемой работы является разработка модульной системы регистрации и обработки сигналов ЭЭГ, ЭМГ и ЭКГ пациентов с применением системы сбора данных NI «CompactRIO» (rapid input-output) и программной среды NI LabView для обеспечения свободы исследователей в выборе концепции анализа данных при независимости от имеющегося нейрофизиологического оборудования.

Материалы и методы

Краткое описание NI «CompactRIO» для реализации системы сбора и обработки сигналов ЭЭГ

NI «CompactRIO» представляет собой систему сбора данных с реконфигурируемым или перенастраиваемым входом в соответствии с параметрами входного сигнала и числа датчи-

ков. Иными словами, с одной системой сбора данных NI «CompactRIO» можно использовать модули различного типа, предназначенные для регистрации токов и напряжений различного диапазона. Это позволяет одновременно регистрировать сигналы ЭЭГ, ЭМГ и ЭКГ.

Для записи биологических сигналов фирмой «National Instruments» разработан специальный модуль NI 9205, который можно с различными предусилителями применять для записи ЭЭГ и ЭКГ. NI «CompactRIO» состоит из следующих основных блоков: шасси с 4 или 8 слотами, в шасси вставляются модули сбора данных различного назначения (рис. 1). Слот шасси – это гнездо с COM-портом для присоединения модулей сбора данных. COM-порт – стандартный вход для связи различных устройств с персональным компьютером. С помощью встроенного в шасси микроконтроллера через USB-канал происходит обмен данными и управляющими командами с персональным компьютером. Данные записываются в память персонального компьютера для дальнейшей программной обработки. Обработка данных осуществляется с помощью различных программ, но удобнее это делать с помощью NI LabView. Из полученных с помощью системы сбора данных NI «CompactRIO» «сырых» данных ЭЭГ, ЭМГ, ЭКГ можно извлечь различную диагностическую информацию, реализовав алгоритмы обработки сигнала в виде виртуального прибора (VI) NI LabView. В том числе можно рассчитать амплитуду тета-, альфа-, бета-ритмов, а также амплитудный и частотно-временной спектры перечисленных сигналов.

Система сбора и обработки данных ЭЭГ на основе NI «CompactRIO» реализуется исходя из числа пациентов и поставленных задач; для этого выбираются подходящее шасси и модули сбора данных. Например, если нужно зарегистриро-