

УДК 612.15

К ВОПРОСУ ОСНАЩЕНИЯ ТЕРАПЕВТОВ МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ КОМПЛЕКСОМ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИЗНАКОВ КАРДИОВАСКУЛЯРНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

В.А. ФИРАГО, Н.В. ЛЕВКОВИЧ, С.Г. СЛАВИНСКИЙ, В.М. СЛОДИНСКАЯ, Г.В. ПАНЧЕНКО

Белорусский государственный университет (г. Минск, Республика Беларусь)

Аннотация. Рассмотрен состав и особенности функционирования компьютеризированного комплекса опτικο-физических датчиков, предназначенного для измерения и визуализации объективных данных о состоянии сердечнососудистой системы пациента во время приема его терапевтом. Обсуждены проблемы балансировки нагрузки микропроцессора, обслуживающего используемые интегральные датчики и пересылку потоков данных в компьютер. Предложен способ синхронизации времени отсчетов, которые регистрируются датчиками.

Ключевые слова: Кардиоваскулярные заболевания, диагностика, комплекс датчиков, микропроцессор.

TO THE ISSUE OF EQUIPPING THERAPISTS WITH MICROPROCESSOR-BASED SENSOR COMPLEX TO DETECT SIGNS OF CARDIOVASCULAR DISEASES

V. FIRAGO, N. LEVKOVICH, S. SLAVINSKI, V. SLODINSKAYA, G. PANCHENKO

Belarusian State University (Minsk, Republic of Belarus)

Annotation. The composition and peculiarities of functioning of a computerized complex of optical-physical sensors designed to measure and visualize objective data on the state of a patient's cardiovascular system during the patient's reception by a therapist are considered. The problems of balancing the microprocessor load serving the used integrated sensors and sending data streams to the computer are discussed. A method of time synchronization of the counts recorded by the sensors is proposed.

Keywords: Cardiovascular diseases, diagnostics, sensor complex, microprocessor.

Введение

В настоящее время при приеме пациентов терапевты в поликлиниках используют ограниченный набор опτικο-электронных диагностических приборов: цифровые измерители давления и пульсоксиметры [1, 2]. Это сокращает набор объективных данных, необходимых терапевту при определении диагностических признаков, свойственных кардиоваскулярным заболеваниям, и направлении, в случае необходимости, пациентов к узкому специалисту. Например, визуализация формы колебаний давления крови в малых артериальных сосудах дает наглядную картину особенностей работы миокарда, клапанов сердца, а также состояния микроциркуляторного русла [3]. Соответствующий портативный комплекс устройств, необходимых при визуализации временных зависимостей работы сердечнососудистой системы серийно не производится, хотя в настоящее время поликлиники Республики Беларусь компьютеризированы и у каждого терапевта имеется настольный компьютер. Поэтому оснащение терапевтов наших поликлиник комплексом неинвазивных устройств, предоставляющих оперативную информацию о состоянии сердечнососудистой системы непосредственно во время приема пациентов, является актуальной задачей.

Состав комплекса и проблемы синхронизации обмена данными

Общим недостатком серийно выпускаемых малогабаритных пульсоксиметров и тонометров, оснащенных светодиодными или жидкокристаллическими мониторами для вывода измеряемых показателей, является измерение в основном одного или двух параметров. Поэтому они не приспособлены к проведению статистической обработки потока измеряемых данных. Например, малогабаритные пульсоксиметры на основе модуля MAX30102 осуществляют измерение только сатурации и частоты сердечных сокращений. Нет возможности визуализации фотоплетизмограммы, а также других параметров и их статистических характеристик. К тому же формулы расчета сатурации эмпирические, а алгоритмы обработки регистрируемых фотоплетизмограмм неустойчивы к артефактам (влиянию нестационарности среднего значения), что приводит к сбоям при их работе.

Достоверность и информативность проводимых измерений можно повысить при комплексном подходе – проведению обследования одновременно несколькими датчиками и использовании методик измерений, позволяющих оптимизировать расчетные выражения, в том числе и рефракционной пульсоксиметрии, и повысить устойчивость получаемых результатов к артефактам и индивидуальным особенностям тканей пациентов в точках исследования [3].

Достаточно информативными для терапевта показателями состояния центральной и периферической гемодинамики являются: интегральная скорость распространения пульсовой волны, усредненная форма фотоплетизмограммы, тонус артериальных сосудов микроциркуляторного русла, постоянная эндотелиальной регуляции тонуса и резерв расширения площади просвета малых сосудов артериального бассейна, получаемый при проведении окклюзивного нагрузочного теста.

Анализ возможностей современных средств оптико-физических измерений показывает, что решение рассматриваемой проблемы с минимальным набором используемых датчиков возможно при использовании совокупности неинвазивных датчиков сатурации артериальной крови, фото- и силовой плетизмографии, а также элементов для оказания необходимого функционального воздействия (плечевая и пальцевая манжетки для определения систолического и диастолического давления крови, а также окклюзии кровотока), которые подключаются к компьютеру через микропроцессорный блок управления и связи. При этом будет обеспечиваться простота и небольшая длительность (2–3 минуты) обследования, а накапливаемый объем данных и анализ их статистических характеристик даст возможность устанавливать объективные показатели вариабельности ритма работы сердца и усредненной формы колебания давления в аорте, которые дают информацию, необходимую терапевту. При использовании окклюзии плечевой артерии, возможно определение (при учете сатурации гемоглобина артериальной крови) значения резерва расширения площади внутреннего просвета малых артериальных сосудов и кровенаполнения в исследуемой точке руки при снятии окклюзии [1, 2], что важно при дифференциальной диагностике гипертензии.

Для изготовления требуемых датчиков (для большого пальца руки и ноги и плечевой манжетки) целесообразно использовать серийно выпускаемые интегральные модули для измерения сатурации артериальной крови MAX30102 и дифференциальные датчики давления воздуха в плечевой и пальцевых манжетках ABPMRRV001PD2A3. Для взаимодействия с ними используется шина I2C. Также необходимы исполнительные элементы, позволяющие управлять давлением воздуха в этих манжетках. Для задания режимов работы этих интегральных модулей и управления элементами установки требуемых значений давления в манжетках, а также управления процессом получения потоков измеряемых данных и передачи их в компьютер оптимально использовать микропроцессорную плату STM32F103C6T6, которая имеет все необходимые блоки для взаимодействия с датчиками и внешним компьютером. Программное обеспечение (ПО) этого комплекса приходится разбивать на два уровня: нижний (программа функционирования микропроцессора) и верхний (программа управления комплексом, обработки поступающих потоков данных и визуализации результатов на экране монитора компьютера в настраиваемом скользящем временном окне в режиме реального времени).

Дополнительным признаком состояния артериальных сосудов микроциркуляторного русла будет задержка между силовой и фото плетизмограммами. Поэтому при реализации

предлагаемого решения кроме задачи балансировки нагрузки на используемый микропроцессор, осуществляющий управление функционированием нескольких датчиков и их параллельный опрос, будет возникать проблема синхронизации времени отсчетов данных, регистрируемых разными датчиками со своими темпами формирования выборок. Для точного измерения требуемых задержек необходимо на верхнем уровне программного обеспечения формировать единую шкалу отсчетов по времени для всех используемых датчиков.

Предлагаемые решения и их обсуждение

Считывание данных с датчиков требует ПО, обеспечивающего исполнение заданных программных инструкций в точное (предсказуемое) время и за точный (предсказуемый) интервал времени. Операционные системы общего пользования (для ПК) таковыми не являются, поэтому в предлагаемый компьютеризированный комплекс включен микропроцессор, который осуществляет чтение данных с используемых цифровых датчиков и передачу их на ПК.

Так как объем оперативной памяти микропроцессора ограничен и способен вместить данные измерений не более чем за последнюю секунду, необходимо периодически (несколько раз в секунду) осуществлять пакетную передачу данных на ПО верхнего уровня. Для этого используется менеджер буферов, который по запросу любого из канала измерений предоставляет ему буфер, после заполнения которого он возвращается менеджеру буферов, а взамен канал получает новый буфер. Заполненный буфер ставится в очередь на отправку в компьютер по каналу USB, а после отправки перемещается в очередь свободных буферов.

В используемых интегральных датчиках используются тактовые генераторы на основе RC-цепочек, что обуславливает несинхронную дискретизацию сигналов при их преобразовании в цифровую форму. Поэтому при получении отсчетов сигналов от датчиков вместе с данными сохраняются и отметки времени (по счетчику микропроцессора) их поступления в буфер. При такой организации передачи потоков данных появляется возможность приведения времени отсчетов данных с помощью интерполяции на верхнем уровне ПО к одной регулярной последовательности t_i и формирования синхронизированных последовательностей сигналов с датчиков $U_k(t_i)$.

Применение предлагаемого компьютеризированного устройства с набором датчиков позволит визуализировать на экране компьютера форму колебаний давления в ткани плеча руки и артериолах пальцев конечностей (в том числе и в более информативном вейвлет представлении) с выводом на экран определяемых параметров (частоты сердечных сокращений, скорости нарастания систолы и параметров, описывающих форму фотоплетизмограммы). Дополнительно выводятся статистические оценки определяемых параметров (среднее значение, среднеквадратическое отклонение, гистограммы), а также оценки кровенаполненности, сатурации гемоглобина артериальной крови кислородом в исследуемой точке и резерва расширения площади внутреннего просвета малых артериальных сосудов. Набор получаемых сведений и оперативная визуализация результатов проводимых совместных (разнородных) измерений существенно повышают их информативность для вынесения диагностических заключений.

Простота применения комплекса (проводимые действия аналогичные измерению давления и сатурации артериальной крови кислородом) и большая информативность получаемого потока данных с их визуализацией на экране компьютера способствует качественному улучшению процесса ведения пациента и выявления динамики изменения основных показателей при повторных приемах.

Заключение

Принципиальное отличие предлагаемых решений от опубликованных в доступной литературе заключается: в применении комплекса датчиков и проведении совместных измерений фото и силовых плетизмограмм и их параметров с учетом параметров давления крови; сопоставлении сатурации гемоглобина артериальной крови с кровенаполненностью микроциркуляторного русла; визуализации (на основе обработки фотоплетизмограммы)

индивидуальных особенностей работы миокарда и клапанов сердца с учетом состояния малых артериальных сосудов; определении резерва расширения внутрисосудистого просвета малых артериальных сосудов микроциркуляторного русла. Это позволит существенно повысить эффективность принятия решений по дальнейшему ведению пациента.

Список литературы

1. Кубарко А.И., Мансуров В.А., Светличный А.Д., Рагунович Л.Д. Распространение пульсовой волны по малым сосудам: результаты измерений и подходы к моделированию / Неотложная кардиология и кардиооваскулярные риски. 2020; Том 4 (2): 1037-1044.
2. Глазков А.А., Лапитан Д.Г., Макаров В. В., Рогаткин Д.А. Оптический неинвазивный автоматизированный прибор для исследования центральной и периферической гемодинамики / Физические основы приборостроения. 2021; Том 10 (4): 28-36. DOI: 10.25210/jfor-2104-028036.
3. Фираго, В.А. Оценка жесткости малых артериальных сосудов поверхностных биотканей по их спектрально-временным профилям диффузного отражения светового излучения / Журнал прикладной спектроскопии. 2024; Том 91 (1):107-123.