DOI: 10.17117/na.2016.10.03.391

Поступила (Received): 03.10.2016

<http://ucom.ru/doc/na.2016.10.03.391.pdf>

Настовьяк А.Е., Вайнер Б.Г.
**Физико-технические принципы построения
автоматизированного мультимодального
диагностического комплекса для исследования
системных реакций организма человека и животных**

Nastovjak A.E., Vainer B.G.

**The physical and technical concepts embodied in the design of the
automated multimodal diagnostic system aimed at the examination
of the organismal systemic reactions in humans and animals**

Представлены физико-технические принципы построения и предложен вариант реализации аппаратно-программного мультимодального диагностического комплекса, предназначенного для количественного анализа системного отклика организма человека и животных в ответ на кратковременные внешние интервентные воздействия. Разработка доведена до уровня, позволяющего осуществить его изготовление и применение в научных исследованиях

Ключевые слова: автоматизированный диагностический комплекс, интервентное воздействие на организм, системная реакция организма, люди, животные

The physical and technical concepts of the hardware-and-program assembled multimodal diagnostic system aimed at the quantitative analysis of the external short-term stimulation-induced organismal systemic reactions in humans and animals are presented. An operable alternative of the system is described in details. An engineering design of the research facilities is developed to the point allowing the diagnostic system production

Key words: automated multimodal diagnostic system, interventional action on the organism, organismal systemic reaction, humans, animals

Настовьяк Артем Евгеньевич

Инженер

Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова
Сибирского отделения Российской академии наук
г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 13

Nastovjak Artem Evgenevich

Engineer

Rzhanov Institute of Semiconductor Physics
SB RAS
Novosibirsk, Lavrentyev ave., 13

Вайнер Борис Григорьевич

Доктор физико-математических наук, профессор
Ведущий научный сотрудник ИФП СО РАН
Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова
Сибирского отделения Российской академии наук
Новосибирский государственный университет
г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 13

Vainer Boris Grigoryevich

Doctor of Physico-mathematical Sciences, Professor
Principal Research Scientist at ISP SB RAS
Rzhanov Institute of Semiconductor Physics
SB RAS
Novosibirsk State University
Novosibirsk, Lavrentyev ave., 13

Авторы благодарны Е.Г. Вергунову и В.И. Баранову за полезные обсуждения

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-02-07680)

Для получения максимально достоверных сведений об основных показателях состояния организма при изучении живых объектов требуется мультимодальный подход, основанный на применении диагностических аппаратных средств с разными физическими принципами регистрации поступающей из организма информации. При этом для корректного сопоставления измеренных сигналов, определения степени их взаимной корреляции и согласованности важным требованием является синхронность снятия показаний, поскольку типичная для организма человека и животных вариабельность внутреннего состояния с течением времени [1] часто не позволяет сравнивать данные, полученные неодновременно. Типичными физическими характеристиками, отражающими жизненно важные функции организма, являются электрокардиограмма (ЭКГ), ритм и профиль дыхания, температура поверхности на разных участках поверхности тела, температура ядра организма и др.

Вручную проводить такие многопараметрические синхронные измерения, считывая показания приборов, накапливая данные, одновременно реализуя также еще и заданные жестким протоколом внешние интервентные диагностические воздействия на организм (функциональные пробы), не только малоэффективно, но часто и неосуществимо. Наличие современных средств автоматизации измерений (разнообразных электроуправляемых модулей и др.) и средств синхронизации компьютерных программ, обслуживающих независимые аппаратные средства диагностики, позволяет реализовать единый программируемый диагностический комплекс, управляемый всего лишь одним оператором.

В настоящей работе представлены принципы построения и предложен вариант реализации такого аппаратно-программного диагностического комплекса (АПДК), предназначенного для количественного анализа системного отклика организма человека и животных в ответ на кратковременные внешние воздействия. Воздействиями могут служить локальная гипер- и гипотермия, изменение состава вдыхаемого воздуха, пережатие (принудительная окклюзия) крупных сосудов конечностей, ступенчатое изменение светового потока и др. Аппаратные средства при этом могут регистрировать тепловизионный сигнал, измеренный на разных участках поверхности тела и на вспомогательных объектах, сигналы характеризующие динамику дыхания, электрокардиограмму с выявлением R-R интервалов и отражением вариабельности сердечного ритма, данные о перфузии в мелких сосудах, определяемые методом лазер-доплеровской флоуметрии (ЛДФ), показания температуры ядра организма и др.

Идеология построения комплекса базируется на приобретенном опыте исследования системной реактивности организма человека и животных, где измерения проводились в ручном режиме [2–6].

АРХИТЕКТУРА АПДК

Ядром АПДК является головная компьютерная программа-сервер (ГС). Она осуществляет чтение управляющих последовательностей команд (рецептов) из файла заданных параметров и их исполнение. ГС синхронизирует работу аппаратных средств посредством вспомогательных программ по протоколу

tcp/ip либо напрямую, если это возможно. Также ГС осуществляет запись уставок каналов управления и текущих значений каналов ввода/вывода со скоростью около 1 отсчета в секунду в текстовый файл, по которому в дальнейшем можно восстановить реальный протокол процедуры измерений.

Ввод/вывод сигналов "медленных" каналов (термопары, термосопротивления, напряжения и токи) осуществляется через стандартные промышленные модули ввода, например, ICP DAS PET7019 (рис. 1.). Число каналов легко наращивается путем добавления необходимого количества модулей, тип которых соответствует передаваемым сигналам. Такие промышленные модули работают в Ethernet-окружении и непосредственно общаются с OLE for Process Control (OPC)-сервером на персональном компьютере. OPC-сервер берёт на себя всю работу по обмену данными на физическом уровне и предоставляет простой и удобный доступ ГС к ресурсам ввода/вывода.

Рис. 1. Схема организации АПДК

В качестве тепловизионной измерительной системы в настоящей реализации АПДК применяется матричный тепловизор ТКВр-ИФП/СВИТ со следующими техническими характеристиками: температурная чувствительность – 0.03 °С, быстродействие – 100 кадров в секунду, рабочий спектральный диапазон – 2.45-3.05 мкм, рабочая температура ИК детектора – 78 К. Отметим, что для измерения динамики дыхания у людей и животных используется оригинальный тепловизионный способ сорбционно усиленной индикации [7, 8]. Для получения данных, характеризующих микроциркуляцию, в состав АПДК включен ЛДФ-метр ЛАКК-01, располагающий двумя (красным и инфракрасным) измерительными каналами.

Взаимодействие ГС с тепловизором также производится по протоколу tcp/ip. При этом ГС эмулирует работу оператора с интерфейсом тепловизионной

программы, инициирует запись кадров и фильмов в заданные моменты и интервалы времени. Взаимодействие с аппаратом ЛДФ осуществляется посредством вспомогательной программы, принимающей сигналы напрямую или по стандартному последовательному порту. Взаимодействие с аппаратом ЭКГ и стандартным монитором состояния пациента, регистрирующим, в частности, пульс оксиметрические данные, осуществляется через вспомогательную программу, принимающую сигналы по протоколу DICOM. Предусмотрена возможность подключения ЭКГ-мониторов, не поддерживающих DICOM.

Управление блоком нагнетания воздуха в манжетку и сброса давления в ней при проведении циклов принудительной окклюзии сосудов конечностей осуществляется через дискретные каналы стандартного модуля вывода, например, ICP DAS PET7019 (рис. 2). Регулирование давления в манжетке производится либо включением и выключением нагнетающего и стравливающего воздушных электронных клапанов в заданные моменты времени, либо присоединением/отсечкой внешнего баллона с воздухом, сжатым до заданного давления, обычно превышающего систолическое артериальное давление. При значении давления воздуха выше максимального безопасного давления в системе отпирается защитный клапан.

Рис. 2. Схема напуска и сброса воздуха в манжетке

Управление блоком формирования и подачи газовой смеси реализуется через дискретные каналы выводов стандартного модуля вывода, например, ICP DAS PET7019 (рис. 3) и стандартных регуляторов расхода газа (РРГ). Регулирование осуществляется заданием уставки для РРГ, включением/выключением клапана подачи и приостановки потока в заданные моменты времени. Газоанализатор может контролировать текущий состав подготовленной газовой смеси.

Рис. 3. Схема создания и подачи газовой смеси

Управление многосегментным столиком для размещения на нем лабораторных животных с возможностью выбора уникальной тепловой/холодовой мозаики осуществляется посредством задания параметров ПИД-регулятора (ТЕС-контроллера) и температуры уставки для каждого сегмента с модулем Пельтье (ТЕС) (рис. 4). ПИД-регулятор использует датчик температуры для обратной связи. Множество сегментов позволяет задавать индивидуальные параметры тепловых воздействий на разные участки тела объекта исследования.

Рис. 4. Схема управления термостабилизированным многосегментным столиком

Одним из структурных блоков АПДК служит модуль измерения температуры ядра организма (например, ректальной температуры тела) и локальной

температуры в других контрольных точках, способных принадлежать как организму, так и узлам АПДК (например, тепловому или холодному агенту, с помощью которого производится термическое воздействие на организм). Он построен на основе системы электронных датчиков температуры типа DS18B20 с параллельной шиной типа 1-Wire и управляющим контроллером на базе модуля беспроводной передачи данных ESP8266 (рис. 5).

Программа для ESP8266 составлена с помощью свободно распространяемого программного комплекса Arduino IDE. Согласно спецификации цифровой датчик DS18B20 регистрирует значения температуры в диапазоне $-55^{\circ}\text{C} \dots +125^{\circ}\text{C}$ с разрешением 12 бит, имея абсолютную погрешность $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ в диапазоне $-10^{\circ}\text{C} \dots +85^{\circ}\text{C}$. Каждый датчик обладает уникальным 64-битным адресом. Все датчики подключены к единой трехпроводной шине [9]. Модуль ESP8266 обращается к датчикам последовательно во времени с запросом на начало измерений и на выдачу результата. Примерно один раз в секунду ESP8266 осуществляет отправку собранных показаний в ГС по беспроводной сети WiFi. Из соображений техники безопасности при работе с людьми питание ESP8266 осуществляется от автономного аккумулятора для предотвращения поражения объекта исследований электрическим током высокого напряжения.

Рис. 5. Схема организации опроса датчиков температуры

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базе опыта работ по исследованию системной реактивности организма человека и животных, реализованных в ручном режиме, разработана оригинальная архитектура аппаратно-программного диагностического комплекса, позволяющего в автоматическом режиме проводить синхронные измерения и запись: 1) обзорной температурной карты тела методом матричного тепловидения, 2) электрокардиограммы с возможностью последующего определения variability сердечного ритма, 3) временного профиля и частоты дыхания на больших (часы) промежутках времени, 4) уровня перспирации, 5) температуры ядра организма, 6) величины микроциркуляторной перфузии методом ла-

зер-доплеровской флоуметрии. Также через пользовательский интерфейс комплекс дает возможность управлять параметрами измерительного процесса и по заданному протоколу осуществлять внешние интервентные воздействия на изучаемый живой объект. Разработка АПДК доведена до уровня, позволяющего осуществить его изготовление и применение в научных исследованиях.

Список используемых источников:

1. Николаева Е. И., Вергунов Е. Г., Ельникова О. Е. Модель устойчивой адаптации хронически больных людей с использованием вариабельности кардиоритма // *Современные проблемы науки и образования*. Пенза, 2015. № 1-1. С. 1578-1578. DOI: 10.17513/spno.2015.1.121-19223
2. Вайнер Б. Г., Вергунов Е. Г., Баранов В. И., Маркель А. Л., Серяпина А. А., Кармакулова И. В. Комплексный инструментальный мониторинг динамики функционального состояния организма животного, подверженного внешним нагрузкам: изучение согласованности дыхания и сердечного ритма // *Научный альманах*. 2015. № 10-3 (12). С. 443-449. DOI: 10.17117/na.2015.10.03.443
3. Вайнер Б. Г., Вергунов Е. Г., Баранов В. И. Синхронизм, выявленный при одновременном измерении сердечного ритма, динамики дыхания и поверхностной температуры тела у лабораторных крыс в состоянии сна // *Наука и образование: проблемы и перспективы развития* 2014. Ч. 3. Тамбов: Юком, 2014. С. 39-41.
4. Вайнер Б. Г., Баранов В. И., Вергунов Е. Г. Тепловизионно-интервалографический подход к изучению сосудистой реактивности у мелких лабораторных животных // *Наука и образование в жизни современного общества* Ч. 12. Тамбов. 2013. С. 21-23.
5. Vainer B. G., Morozov V. V. Infrared thermography-based integrated approach aimed at objective evaluation of systemic vascular reactivity in humans // *QIRT 2014*. 7-11 July 2014, Bordeaux, France. Available at QIRT Open Archives: <http://qirt.gel.ulaval.ca/archives/qirt2014/QIRT2014.html> (Paper QIRT-2014-190).
6. Vainer B. G., Baranov V. I., Vergunov E. G. Infrared thermography as applied to the studies of cardiovascular system in rats // *QIRT 2014*. 7-11 July 2014, Bordeaux, France, 2014. Available at QIRT Open Archives: <http://qirt.gel.ulaval.ca/archives/qirt2014/QIRT2014.html> (Paper QIRT-2014-157)
7. Вайнер Б.Г. Новые способы исследования внешнего дыхания у животных и человека // *Наука и образование в XXI веке*. Ч. 12. Тамбов: Юком, 2014. С. 35-38.
8. Вайнер Б. Г. Применение тепловизионного метода адсорбционной индикации для исследования дыхания у человека // *Перспективы развития науки и образования*. Ч. 8. Тамбов: Юком. 2015. С. 32-34.
9. Arduino и цифровой датчик температуры DS18B20.
URL: <http://arduino-diy.com/arduino-tsifrovoy-datchik-temperatury-DS18B20>

© 2016, Настовьяк А.Е., Вайнер Б.Г.

Физико-технические принципы построения автоматизированного мультимодального диагностического комплекса для исследования системных реакций организма человека и животных

© 2016, Nastovjak A.E., Vainer B.G.

The physical and technical concepts embodied in the design of the automated multimodal diagnostic system aimed at the examination of the organismal systemic reactions in humans and animals