

Системный анализ в медицине и биологии

Виртуальные приборы для биологии и медицины с использованием звуковой карты персонального компьютера*

В.И. Донцов¹, В.Н. Крутько¹, О.В. Митрохин¹¹

¹ Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук», г. Москва, Россия

¹¹ ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова», г. Москва, Россия

Аннотация. Проблемы цифровизации образования, науки и практики в различных сферах человеческой деятельности могут эффективно решаться с помощью нового класса приборов – виртуальных приборов (ВП). Рассмотрены проблемы, возникающие при разработке ВП и пути их решения, в частности ввода сигналов в компьютер через звуковую плату, при необходимости, с преобразованием напряжения в частоту. Описаны созданные авторами прототипы ряда ВП: Фонокардиограф, Спирометр, КИГ (прибор для кардиоинтервалографии), Спектрограф. Отмечается широта возможностей использования ВП в учебных и исследовательских процессах в средней и высшей школах и научных учреждениях, а также для разнообразных сфер практического применения, в частности, в области биологии и медицины.

Ключевые слова: цифровизация, цифровизация медицины, виртуальные приборы, ввод сигналов в компьютер, информатика.

DOI: 10.14357/20790279220309

Введение

В настоящее время проблема цифровизации образования и науки, а также различных сфер практической деятельности человека признана одной из наиболее важных для развития России. Данная проблема может эффективно решаться с

помощью создания виртуальных приборов (ВП), заменяющих и зачастую превосходящих по своим функциональным возможностям дорогостоящие и громоздкие натуральные приборы и устройства. Идея ВП заключается в том, что внешние сигналы регистрируются с помощью широкого спектра достаточно дешевых датчиков разного типа, таких же, как и в реальных приборах. Но затем эти сигналы поступают не в соответствующий каждому сигналу отдельный дорогой прибор, а в компьютер, где решаются задачи обработки сигнала, анализа и управления с помощью специальных программ, имитирующих функции реального прибора.

* Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-29-01046 «Разработка базы знаний, моделей и методов для оценки и управления здоровьем и трудоспособностью как важнейшими составляющими индивидуального личностного потенциала», а также при частичной финансовой поддержке НТИ в рамках научного проекта «Интеллектуальная цифровая платформа персонализированного управления качеством жизни «Health Heuristics»».

С технологиями ВП связывают большие надежды как в научном сообществе (быстрое формирование новых специализированных аппаратных комплексов для нестандартных исследований), так и в области образования (создание дешевых и просто тиражируемых учебно-демонстрационных и исследовательских приборов, пригодных для индивидуальных работ и дистантного обучения [1-7]). Наиболее трудной проблемой, возникающей при использовании ВП является ввод информации в компьютер от внешних датчиков с большим разбросом характеристик [2, 8, 9].

Целью нашего исследования являлось создание серии прототипов ВП для образовательной, научной и практической деятельности в сферах биологии и медицины.

1. Подход к решению проблем разработки виртуальных приборов

Для создания ряда прототипов ВП мы использовали специализированную программную среду LabVIEW (Laboratory Virtual Instruments Engineering), позволяющую как вводить сигналы от внешних датчиков в компьютер, так и обрабатывать их и визуализировать [2, 9, 10]. Важно отметить, что для ввода сигналов мы использовали звуковую плату (ЗП) компьютера, которая играет роль аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Также, в ряде случаев, мы использовали среду программирования Delphi с языком программирования TurboPascal для создания более продвинутого интерфейса (лицевой панели) ВП.

Разработанные нами ВП имеют следующий типичный функционал: наличие лицевой панели (аналогичной панели реального стационарного прибора), на которой визуализируется сигнал, с изменяемым масштабом (автоматически и вручную) по оси времени и величине сигнала (использование задаваемого коэффициента позволяет отображать сигнал в нужных единицах); функция спектрального анализа сигнала; функция записи сигнала в файл (в т.ч. потоковая); база данных – библиотека сигналов с возможностью их отображения, анализа и распечатки.

Существует 3 типа сигналов с различными возможностями ввода в ЗП компьютера без использования дополнительных АЦП:

- частотные сигналы в пределах чувствительности ЗП (20 Гц – 20 кГц, 2 мВ – 2 В), которые могут подаваться на ЗП непосредственно (например, при фонокардиографии – ФКГ);
- пассивные датчики (обычно резисторного типа, например, термо- и фоторезисторы), сами не генерирующие сигнал и требующие

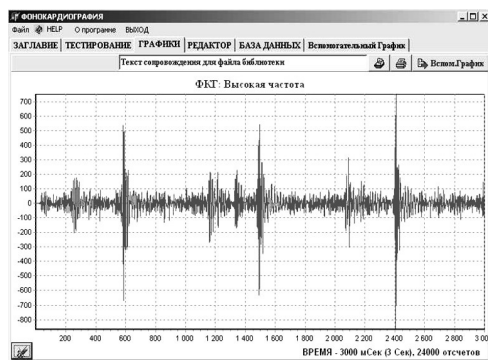
фонового питания, которое также может предоставлять сама ЗП, генерируя постоянный сигнал на выходе, питающий резисторный датчик (например датчик для термометрии); – гальванический сигнал (ниже 20 Гц), который может быть передан в ЗП только после преобразования в частотный сигнал, для чего мы использовали специальную разработанную нами микросхему – преобразователь напряжения в частоту (ПНЧ), например, для сигнала от гальванодатчика кислорода.

2. Примеры прототипов виртуальных приборов для различных областей применения

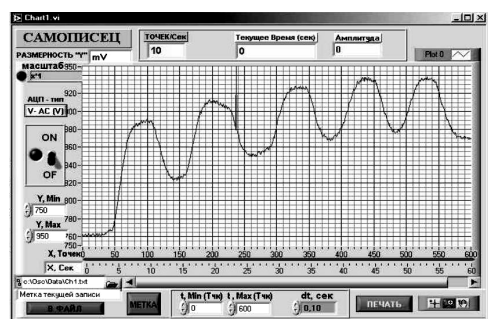
На рис. 1, в качестве примеров, показаны некоторые из разработанных авторами прототипов ВП с различными типами датчиков и различными лицевыми панелями для использования в образовательной, научной и практической деятельности в биологии и медицине.

На рис. 1,А показана лицевая панель и обработанный сигнал ВП «Фонокардиограф» (ФКГ). Простым частотным сигналом может быть, например, сигнал с высоко чувствительного микрофона (мы использовали микрофон «Кулон»), позволяющего выслушивать ритмы сердца [2, 11]. Хорошо видны два основных тона сердца и шум в одном из сердечных циклов. Сигнал может быть отфильтрован и показаны низкая, две средних и высокая частоты сигнала. ФКГ широко используется в медицине для диагностики сердечного ритма и шумов сердца. Прототип ВП «ФКГ» может быть использован в клинической медицине, биологии, а также в учебных целях в средней и высшей школах, в том числе для индивидуального дистантного обучения. Записанные звуки сердца могут быть воспроизведены, что составляет основу диагностики пороков сердца и могут пригодиться для обучения студентов медицинских ВУЗов. Существенно, что стоимость ВП «ФКГ» фактически сводится к стоимости микрофона, тогда как стационарный прибор не только стоит неизмеримо дороже, но и громоздок.

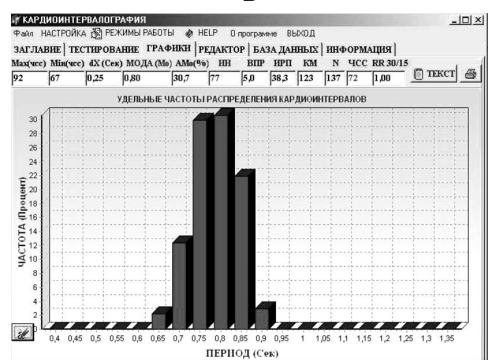
Наиболее распространенными резисторными датчиками являются терморезисторы. Они могут использоваться в различных областях: для регистрации дыхания, ввиду более высокой температуры выдыхаемого воздуха (рис. 1,Б); для пульсометрии с помощью инфракрасных датчиков (рис. 1,В), например, с использованием «клипсы» от спортивных приборов, регистрирующих пульс; для фото- и спектрометрии (рис. 1,Г) в различных биохимических исследованиях и т.п.



А



Б



В



Г

Рис. 1. Прототипы ВП: А – ФКГ (микрофон «Кулон», высокочастотная область спектра); Б – Спирометр (сигнал с терморезистора, запись дыхания); В – КИГ (запись с фоторезистора, результат расчета кардиоинтервалов); Г – Спектрограф (запись с фотодатчика, результат анализа спектра)

Спирометрия (рис. 1,Б) является широко распространенным методом клинической медицины, а также нового направления в геронтологии – медицины антистарения.

КИГ (рис. 1,В) часто используется в качестве метода функциональной диагностики в сферах здоровьесбережения, авиакосмической, спортивной и клинической медицины для оценки уровня стресса и адаптационных возможностей организма. Важно заметить, что часто изменения в КИГ предшествуют развитию заболеваний, и поэтому КИГ находит широкое применение в профилактической медицине. На рис. 1,В показаны 12 расчетных показателей ритма сердца и гистограмма распределения кардиоинтервалов (видно, что она смещена вправо – это брадикардия как результат преобладания парасимпатической иннервации, что подтверждает и анализ спектра – рис. 1,Г). КИГ осуществляет также обработку данных для отображения волн высокой частоты (дыхательные волны, отображающие соотношение активности симпатического и парасимпатического отделов нервной системы), низкой частоты (активность вазомоторного центра) и очень низкой частоты (так называемые энерготрофные волны). Простота и наглядность КИГ позволяет использовать эти ВП в сфере образования, даже в средней школе, а многопараметричность – в исследовательских целях. При этом библиотека заранее записанных сигналов позволяет работать на КИГ в системе образования в имитационном режиме – без снятия сигнала.

На базе семейства различных фотодатчиков нами разработаны прототипы ВП для биохимического анализа – фотометр, спектрометр, флуориметр и производные от них ВП. Все они представляют собой вариации количественной регистрации сигнала с фотодатчиков после прохождения света через раствор, поглощающий излучение, и требуют также источников света – в том числе обычных фотодиодов. Наборы фотодиодов с различным спектром испускания реализуют фото- и спектрометр, а фильтры для фотодатчика – флуориметр. Интересно отметить, что испытания на чувствительность по стандартному флуорохрому показали возможность регистрации простым ВП «Флуориметр» концентраций, величины которых находятся на пределе чувствительности стационарных приборов стоимостью десятки тысяч долларов. Лицевая панель и функционал ВП для биохимических исследований типичны и сходны с ВП общего типа (рис. 1,Г), показывая сигнал в цифровом и/или графическом виде.

Таким образом, представленная работа иллюстрирует возможность использования практически

любых типов датчиков для ввода сигнала в компьютер и практически любых преобразований сигнала, что делает возможным, легким и дешевым технологию создания и применения ВП для различных нужд учебного и исследовательского процессов в средней и высшей школах и научных учреждениях, а также для разнообразных сфер практического применения, в частности, в области биологии и медицины. ВП включают в себя внешние датчики физических, химических и биологических сигналов, преобразователи этих сигналов в цифровую форму для ввода в компьютер через звуковую плату и компьютерную программу для обработки этих сигналов, имитирующую функционал физического прибора – аналога, включая изображаемую на мониторе его лицевую панель.

Перспективным направлением развития технологии ВП является использование смартфонов вместо персональных компьютеров с передачей сигнала от датчиков на периферии через Bluetooth и формированием на экране смартфона лицевой панели имитируемого прибора.

Заключение

В работе представлен новый быстро развивающийся класс приборов – виртуальные приборы (ВП), имитирующие и иногда даже превосходящие по своим функциям реальные дорогостоящие физические аналоги. ВП многократно дешевле своих физических аналогов, но не уступают, а иногда и превосходят их по своей функциональности. Описаны созданные авторами прототипы ВП: Фонокардиограф, Спирометр, КИГ (прибор для кардиоинтервалографии), Спектрограф. Рассмотрены проблемы, возникающие при разработке ВП и пути их решения, в частности новое техническое решение проблемы ввода сигналов в компьютер через звуковую плату, при необходимости, с преобразованием напряжения в частоты. ВП имеют высокую чувствительность и простоту за счет использования звуковой платы персонального компьютера для регистрации и оценки сигнала, позволяют использовать различные типы сигналов

в большом диапазоне, а также имеют возможность использовать все возможности компьютера, чего нет у обычных приборов.

Литература.

1. *Дмитриев В.М., Гембух Л.А.* Концептуальная модель реально-виртуальной лаборатории // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2022. Т. 22. № 2. С. 5-16.
2. *Донцов В.И.* Виртуальные приборы в учебном и научном процессе. Использование в биологии и медицине. Lambert Academic Publishing, Saarbrücken; 2011.
3. *Крутько В.Н., Донцов В.И., Потемкина Н.С. и др.* Информационные и когнитивные технологии здоровьесбережения (обзор)// Труды ИСА РАН. 2019. Т. 69. № 1. С. 50-60.
4. *Румановский И.Г., Драчёв К.А.* Технология интеграции виртуальной лаборатории в lms moodle // Bulletin of PNU. 2022. Т. 64. № 1.
5. *Фомичева Е.Е.* Виртуальные лабораторные работы в дистанционном обучении физике //Мир науки, культуры, образования. 2022. № 1 (92). С. 64-69.
6. *Adeluyi O., Lee J.A.* Medical Virtual Instrumentation for Personalized Health Monitoring: A Systematic Review. J Healthc Eng. 2015. 6(4). P. 739-777.
7. *Wang W.B., Li J.Y., Wu Q.J.* The Design of a Chemical Virtual Instrument Based on LabVIEW for Determining Temperatures and Pressures. J Autom Methods Manag Chem. 2007. 68143.
8. *Гёлль П.* Как превратить персональный компьютер в измерительный комплекс. Litres; 2022.
9. *Кринг Д., Трэвис Д.* LabVIEW для всех. Litres; 2022.
10. *Федосов В., Нестеренко А.* Цифровая обработка сигналов в LabVIEW. Litres; 2022.
11. *Guo Z., Moulder C., Zou Y., Loew M., Durand L.G.* A virtual instrument for acquisition and analysis of the phonocardiogram and its internet-based application. Telemed J E Health. 2001. 7(4). P. 333-339.

Донцов Виталий Иванович. Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук», г. Москва, Россия. Ведущий научный сотрудник. Доктор медицинских наук. Количество печатных работ: 180 (в т.ч. 10 монографий). Область научных интересов: моделирование живых систем, системные механизмы старения, информатика здоровья, информационные технологии, компьютерные системы диагностики здоровья и старения. E-mail: dontsovvi@mail.ru

Крутько Вячеслав Николаевич Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук», г. Москва, Россия. Заведующий отделом, доктор технических наук, кандидат биологических наук, профессор. Количество печатных работ: 330 (в т.ч. 15 монографий). Область научных интересов: медицинская информатика и компьютерные системы для оценки и прогноза здоровья и старения. E-mail: krutkovn@mail.ru (ответственный за переписку).

Митрохин Олег Владимирович. Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России, г. Москва, Россия. Заведующий кафедрой общей гигиены Института общественного здоровья. Доктор медицинских наук, профессор. Количество печатных работ: 70 (в т.ч. 5 монографий). Область научных интересов: общественное здоровье, гигиена, организация госсанэпидслужбы по обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия населения. E-mail: mov1163@yandex.ru

Virtual instruments for biology and medicine using a personal computer sound card

V.I. Dontsov¹, V.N. Krut'ko¹, O.V. Mitrokhin^{II}

¹Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

^{II}Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia.

Abstract. The problems of digitalization of education, science and practice in various spheres of human activity can be effectively solved with the help of a new class of devices – virtual instruments (VI). The problems arising during the development of VI and the ways to solve them are considered, in particular, a new technical solution to the problem of entering signals into a computer via a sound card, if necessary, with the conversion of voltage into frequency. The prototypes of a number of VI created by the authors are described: Phonocardiograph; Spirometer; CIG (a device for cardiointervalography); Spectrograph. The breadth of possibilities of using VI in educational and research processes and scientific institutions, as well as for various fields of practical application, in particular, in the field of biology and medicine, is noted.

Keywords: digitalization, digitalization of medicine, virtual instruments, input of signals into a computer, computer science.

DOI: 10.14357/20790279220309

References

1. Dmitriev V.M., Gembuh L.A. 2022. Konceptual'naja model' real'no-virtual'noj laboratorii [Conceptual model of a real-virtual laboratory]. Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Komp'yuternye tehnologii, upravlenie, radioelektronika [Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer technology, control, radio electronics] 22(2):5-16.
2. Dontsov V.I. 2011. Virtual'nye pribory v uchebnom i nauchnom processe. Ispol'zovanie v biologii i medicine [Virtual devices in the educational and scientific process. Use in biology and medicine]. Lambert Academic Publishing. Saarbrucken.
3. Krut'ko V.N., Donysov V.I., Potemkina N.S. 2019. Informacionnye i kognitivnye tehnologii zdorov'esberezhenija (obzor) [Information and cognitive technologies of health saving (review)]. Trudy Instituta sistemnogo analiza Rossijskoj akademii nauk [Proceedings of the Institute of System Analysis of the Russian Academy of Sciences] 69(1):50-60.
4. Rumanovskij I.G., Drachjov K.A. 2022. Tehnologija integracii virtual'noj laboratorii v lms moodle [Technology of virtual laboratory integration in lms moodle]. Bulletin of PNU. 64(1).
5. Fomicheva E.E. 2022. Virtual'nye laboratornye raboty v distancionnom obuchenii fizike [Virtual laboratory work in distance learning physics]. Mir nauki, kul'tury, obrazovanija [The world of science, culture and education] 1 (92):64-69.
6. Adelyi O., Lee J.A. 2015. Medical Virtual Instrumentation for Personalized Health Monitoring: A

- Systematic Review. *J Healthc Eng.* 6(4):739-777. Doi: 10.1260/2040-2295.6.4.739.
7. Wang W.B., Li J.Y., Wu Q.J. 2007. The Design of a Chemical Virtual Instrument Based on LabVIEW for Determining Temperatures and Pressures. *J Autom Methods Manag Chem.* 68143. Doi: 10.1155/2007/68143.
 8. Gjoll'P. 2022. Kak prevratit' personal'nyj komp'yuter v izmeritel'nyj kompleks. [How to turn a personal computer into a measuring complex]. Litres.
 9. Kring D., Trjevis D. 2022. LabVIEW dlja vseh [LabVIEW for everyone]. Litres.
 10. Fedosov V., Nesterenko A. 2022. Cifrovaja obrabotka signalov v LabVIEW: uchebnoe posobie [Digital signal processing in LabVIEW: textbook]. Litres.
 11. Guo Z., Moulder C., Zou Y., Loew M., Durand L.G. 2001. A virtual instrument for acquisition and analysis of the phonocardiogram and its internet-based application. *Teleded J E Health.* 7(4):333-339. Doi: 10.1089/15305620152814737. PMID: 11886669.

Dontsov V.I. MD. Federal Research Center "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences, 119333, 44/2 Vavilova str., Moscow, Russia. E-mail: dontsovvi@mail.ru.

Krut'ko V.N. PhD, Professor, Federal Research Center "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences, 119333, 44/2 Vavilova str., Moscow, Russia. e-mail: krutkovn@mail.ru.

Mitrokhin O.V. MD., Professor, ISechenov First Moscow State Medical University, 8-2 Trubetskaya str., Moscow, Russian Federation, 119991. E-mail: mov1163@yandex.ru.