

# Теорія та засоби обробки сигналів і зображень

УДК 004.891.3

DOI: [10.20535/2523-4455.2017.22.5.92607](https://doi.org/10.20535/2523-4455.2017.22.5.92607)

## Референсная архитектура систем для анализа биомедицинских данных

Сагумбаев И. А., ORCID [0000-0001-8552-1611](https://orcid.org/0000-0001-8552-1611)e-mail [hadhoryth@gmail.com](mailto:hadhoryth@gmail.com)Попов А. А., к.т.н., доц., ORCID [0000-0002-1194-4424](https://orcid.org/0000-0002-1194-4424)e-mail [popov.kpi@gmail.com](mailto:popov.kpi@gmail.com)

Национальный технический университет Украины

“Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского” [kpi.ua](http://kpi.ua)

**Реферат**—В данной работе были исследованы проблемы разработки универсальных и адаптивных систем анализа данных. На примере построения биомедицинских систем мониторинга состояния здоровья человека были выделены основные особенности работы и построения систем, которые анализируют мультимодальные данные. К основным нерешенным проблемам создания адаптивных систем можно отнести необходимость переконфигурирования системы под входную задачу. Для решения задач переконфигурации была предложена теоретическая стратегия построения адаптивной системы анализа данных. Особенностью предложенной системы является двухуровневая архитектура: независимая референсная система и подсистема, отвечающая за адаптивную работу.

Библ. 12, рис. 5.

**Ключевые слова** — системы анализа данных; переконфигурируемые системы; референсная архитектура; адаптивные системы; машинное обучение.

### I. ВВЕДЕНИЕ

Применение алгоритмов машинного обучения за последние годы существенно ускорило и улучшило процесс обработки данных практически в любой предметной области (физика, экономика, медицина и т. д.) Медицина до сих пор остается одной из сложной формализуемых областей, так как все биологические процессы являются стохастическими и варьируются от пациента к пациенту. На данный момент широко используются алгоритмы обработки, анализа и классификации изображений (МРТ, КТ, УЗИ и т.п.), а также биомедицинских сигналов (кардиограмма, электроэнцефалограмма и т. п.), но все эти алгоритмы используются только на определенных этапах диагностики, то есть отсутствует полностью связанная архитектура, которая позволит унифицировать процесс сбора, анализа, интерпретации и визуализации данных. Задачей работы является создание и обоснование новой адаптивной архитектуры систем, которая может быть применена для анализа биомедицинских данных. В основе разработанной архитектуры лежит принцип адаптивности, то есть возможности изменения внутреннего состояния системы на основе данных, полученных извне.

### II. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ АНАЛИЗА БИОМЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ

Данные, описывающие среду, поведение, а также жизненно важные показатели человека, относят к биомедицинским. Основной сложностью в анализе таких данных является их стохастическая природа, то есть показатели могут сильно варьироваться как для каждого пациента, так и между пациентами. Современные системы позволяют получать адекватные результаты анализа, подтверждающие теорию, однако такие системы применяются только на определенных этапах всей диагностики. Наиболее распространенный пример комплексного применения алгоритмов обработки биомедицинских данных — современные носимые системы мониторинга состояния здоровья (НСМЗ) человека.

Условно архитектуру НСМЗ можно представить в виде трехслойной структуры (см. рис. 1) [1-4].

Первым слоем системы является аппаратный, включающий в себя все доступные биомедицинские сенсоры, которые позволяют производить запись заданных характеристик человека. Вторым по иерархии является слой передачи данных (коммуникационный), который описывает принимающие/отправляющие устройства, а также протоколы передачи данных. Слой аналитики и интерпретации данных является



завершающим в архитектуре НСМЗ. Поскольку внедрение машинного обучения в первую очередь повлияет на слой аналитики, то основной акцент данной работы будет направлен именно на него [5, 6].

Для того, чтобы внести корректные и необходимые изменения в слой аналитики, необходимо рассмотреть работу системы на каждом слое отдельно.

Аппаратный слой НСМЗ является ключевым, так как он отвечает за формирование данных для анализа. В системах [7, 10, 11] представлены различные вариации с разным количеством сенсоров (температура, электрокардиограмма, положение тела в пространстве и т. д.). Также стоит отметить, что с развитием микроэлектроники количество доступных датчиков растет, и при проектировании данного слоя необходимо учитывать совместимость старых сенсоров с новыми. Из [7, 10, 11] видно, что коммуникационный слой имплементируется через центральную плату, которая напрямую соединена с сенсорами, и с помощью беспроводных технологий осуществляется передача данных на удаленный сервер. При проектировании коммуникационного слоя важно учитывать методики хранения данных, поскольку длительное время передачи существенно увеличивает время работы всей НСМЗ. Поскольку данные передаются беспроводным способом, весь анализ проводится удаленно; в [7, 10, 11] слой аналитики развернут в облачном хранилище, которое позволяет постоянно расширять базу записанных сигналов.



Рис. 1. Диаграмма построения носимой системы мониторинга состояния здоровья человека.

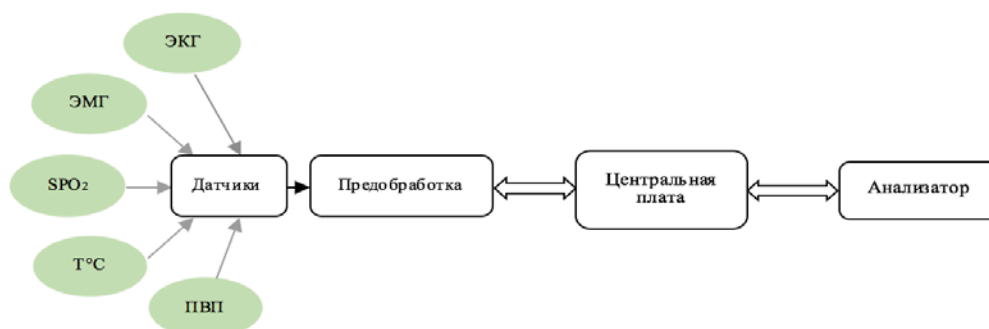


Рис. 2. Структурная схема носимой системы мониторинга состояния здоровья человека.

Из приведенного анализа примеров существующих систем следует, что на слой аналитики непосредственно будут влиять как аппаратный, так и коммуникационный слои; таким образом, использование неправильно откалиброванных сенсоров и их неправильное размещение на теле пациента может привести к большому количеству артефактов; неэффективное использование беспроводных средств для передачи данных может привести к потере данных в НСМЗ.

Общая архитектура существующих НСМЗ представлена на рисунке 2. Из рисунка 2 видно, что на данный момент реализация НСМЗ является прямоточным процессом и изменение (для смены типа анализа) одного отдельно взятого слоя может привести к существенным изменениям во всей НСМЗ, что можно назвать проблемой переконфигурации. Для решения задачи переконфигурации необходим механизм, который позволит проводить подстройку элементов всей НСМЗ автоматически.

### III. УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АНАЛИЗА БИОМЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ

Система, которая не требует ручной перестройки и может одновременно анализировать биомедицинские сигналы разной природы, называется универсальной биомедицинской системой (УБС). В данной работе предлагается архитектура УБС, построенная по аналогии с НСМЗ (рис 3). НСМЗ использовалась как образец, поскольку позволяет проанализировать полный цикл работы системы, от получения данных до интерпретации результатов их обработки, почти в реальном времени.

Предлагаемая архитектура состоит из двух компонентов: конфигурируемая подсистема с референсной архитектурой; управляющая подсистема, основной функцией которой является переконфигурирование архитектуры, исходя из заданного типа анализа.

Особенность данной архитектуры — то, что точкой входа является тренировочный агент (ТА), на начальном этапе определяющий тип анализа, который нужно применить к данным, сгенерированным в блоке формирования входных данных системы с референсной архитектурой. Более того, имплементация алгоритмов машинного обучения в ТА позволяет обрабатывать задачи в практически любой форме (текстовая форма, голосовой ввод).

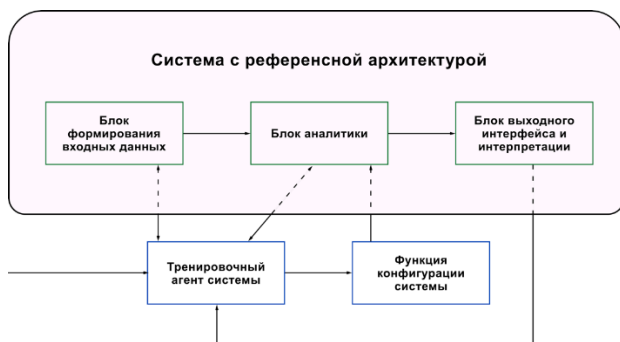


Рис. 3. Структурная схема построения универсальной системы для обработки биомедицинских данных.

Работа системы, построенной по принципу референсной архитектуры, состоит из трех основных этапов: генерация запроса на начало определенного типа анализа для ТА, генерирование функции конфигурации (ФК) для системы, построенной по референсной архитектуре, и непосредственная обработка данных с использованием полученной ФК. Также стоит отметить, что две подсистемы являются независимыми, то есть система с референсной архитектурой имеет начальное состояние, настроенное на определенный тип анализа, и может работать без наличия ТА. ТА, в свою очередь, может работать в паре с любой системой с референсной архитектурой.

#### А. Референсная архитектура. Особенности и имплементация

Система, составленная из ряда независимых блоков и пригодная после переконфигурации для решения широкого круга задач, называется референсной. В данной работе предлагается использовать три блока: блок формирования данных (БФД), блок аналитики (БА) и блок выходного интерфейса и интерпретации (БИИ). Предложенная структура представлена на рисунке 4.



Рис. 4. Структурная схема системы, построенной по принципу референсной архитектуры.

В обычных системах анализ производится последовательно, то есть с БФД через прямую связь «1» данные поступают на БА, а затем через прямую связь «2» передаются на БИИ. Стоит также отметить, что в основном такие системы имеют узкую область применения и заданные настройки, изменение которых производится вручную и является трудоемким процессом. В свою очередь, в предложенной архитектуре механизм калибровки всей системы производится автоматически за счет наличия обратных связей между блоками «3», «4», «5». Например, БФД может включать в себя ряд биомедицинских приборов: томограф, электрокардиограф, термометр и др.; в свою очередь, в блок аналитики входят алгоритмы, которые позволяют проводить анализ, используя

каждый элемент БФД отдельно, а БИИ позволяет получать результаты анализа в удобной форме. При необходимости изменения типа анализа, используя обратную связь (ОС) «1», изменяются параметры элементов БФД, пока они не достигнут стандартизированного уровня, то есть ОС «1» позволяет автоматически переконфигурировать систему под заданный тип анализа не только на уровне аналитики, но и на аппаратном уровне. Поскольку БИИ направлен на работу с экспертом в области проводимого анализа, то по результатам анализа полученные данные могут быть использованы для улучшения БА или БФД отдельно. В зависимости от сложности разрабатываемой системы количество ОС может изменяться.

#### В. Блок аналитики

Центральным элементом системы, построенной по принципу референсной архитектуры, является блок аналитики, который отвечает за проведение анализа. Структурная схема БА представлена на рис. 5.



Рис. 5. Структурная схема блока аналитики.

Началом анализа является получение данных приемным устройством из БФД через прямую связь «1» (см. рис. 4). Поскольку в сложных биомедицинских системах используется специальный протокол [10] передачи данных, после непосредственного приема проводится проверка данных на целостность. Если по результатам проверки было установлено, что полученные данные повреждены, то с помощью ОС «3» возможен повторный запрос на отправку; в случае успешной валидации производится непосредственный анализ. При начальной калибровке системы анализатор настраивается на определенный тип анализа, то есть задается последовательность алгоритмов, которые необходимо применять ко входным данным. Кроме того, полученные результаты с помощью ОС «3» также могут влиять на подстройку БФД.

#### С. Блок выходного интерфейса и интерпретации

Полученные результаты анализа необходимо интерпретировать и визуализировать. Для этого разрабатывается интерфейс, который позволит визуализировать обработку данных почти в реальном времени.

Помимо визуализации, блок выходных данных используется для сбора статистических данных, которые в дальнейшем могут быть использованы для построения численных моделей анализируемых процессов.

#### IV. ТРЕНИРОВОЧНЫЙ АГЕНТ

Тренировочный агент представляет собой независимую подсистему, к основным функциям которой относятся сканирование системы с референсной архитектурой и получение информации о доступном функционале каждого блока. Тренировочный агент представляет собой интеллектуальный классифика-

тор входных данных, но поскольку методы классификации не всегда можно применить, то они могут замещаться алгоритмами кластеризации. Примером тренировочного агента может стать нейронная сеть, используемая в [12] для прогнозов будущего состояния здоровья пациента по его электронной карте. По сути, тренировочный агент в [12] является классификатором известных диагнозов и возможных исходов для пациента при его текущем состоянии.

Возможная реализация ТА - это иерархическая система из нейронных сетей, где каждая нейронная сеть обрабатывает определенный участок входных данных. Примером такой обработки может стать текстовое сообщение для начала анализа: одна нейронная сеть направлена на анализ текста, и параллельно будет составляться ряд признаков, которые необходимо учитывать в анализе. Нейронная сеть, обладая данными со всех иерархических ступеней ТА, будет генерировать конфигурационную функцию для системы с референсной архитектурой. Следует также отметить, что ОС взаимодействуют только с материнской нейронной сетью. Материнская сеть - это нейронная сеть, которая находится на самом высшем уровне иерархически распределенных нейронных сетей. Данное ограничение связано с тем, что нейронные сети на иерархически нижних слоях обладают своими отдельными областями распознавания или классификации, и редактировать их необходимо централизованно.

#### Выводы

Существующие системы для анализа биомедицинских данных имеют строго определенную область применения и используются только на определенном этапе диагностики. Предложена новая архитектура, которая состоит из двух подсистем: подсистема, построенная по принципу референсной архитектуры, и управляющая подсистема. Подсистема с референсной архитектурой включает в себя все основные блоки, необходимые для проведения обработки данных: аппаратная часть, часть аналитики и блок интерпретации данных, причем на начальном этапе такая система может работать только с определенным типом сигнала. Управляющая подсистема, в свою очередь, состоит из тренировочного агента, который направлен на адаптивное управление первой, а именно: исходя из заданного типа анализа, используя данные подсистемы, с референсной архитектурой, генерируется функция конфигурации, которая описывает все изменения, которые необходимо внести в первую подсистему для проведения заданного типа анализа.

К основным преимуществам разработанной архитектуры можно отнести автономность работы и возможность проводить разные типы анализа без ручной подстройки аппаратной части.

Надійшла до редакції 09 лютого 2017 р.

УДК 004.891.3

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Alexandros Pantelopoulos; Nikolaos G. Bourbakis, "A Survey on Wearable Sensor-Based Systems for Health Monitoring and Prognosis," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, vol. 40, no. 1, pp. 1-12, January 2010. DOI: [10.1109/TSMCC.2009.2032660](https://doi.org/10.1109/TSMCC.2009.2032660)
- [2] R. Paradiso; G. Loriga; N. Taccini, "A wearable health care system based on knitted integrated sensors," *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 9, no. 3, pp. 337-344, September 2005. DOI: [10.1109/TTB.2005.854512](https://doi.org/10.1109/TTB.2005.854512)
- [3] Aleksandar Milenković; Chris Otto; Emil Jovanov, "Wireless sensor networks for personal health monitoring: Issues and an implementation," *Computer Communications*, vol. 29, no. 13-14, pp. 2521-2533, August 2006. DOI: [10.1016/j.comcom.2006.02.011](https://doi.org/10.1016/j.comcom.2006.02.011)
- [4] Vladyslav Ukis; Srividya Tirunellai Rajamani; Bijesh Balachandran; Thomas Friese, "Architecture of Cloud-Based Advanced Medical Image Visualization Solution," in *IEEE International Conference on Cloud Computing in Emerging Markets (CCEM)*, Bangalore, India, 2013. DOI: [10.1109/Trust-Com.2012.144](https://doi.org/10.1109/Trust-Com.2012.144)
- [5] Marco Bazzani; Davide Conzon; Andrea Scalera; Maurizio A. Spirito; Claudia Irene Trainito, "Enabling the IoT Paradigm in E-health Solutions through the VIRTUS Middleware," in *IEEE 11th International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom)*, Liverpool, UK, 2012. DOI: [10.1109/CCEM.2013.6684428](https://doi.org/10.1109/CCEM.2013.6684428)
- [6] Emil Jovanov; Aleksandar Milenkovic; Chris Otto; Piet C de Groen, "A wireless body area network of intelligent motion sensors for computer assisted physical rehabilitation," *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 2, no. 6, 01 March 2005. DOI: [10.1186/1743-0003-2-6](https://doi.org/10.1186/1743-0003-2-6)
- [7] moteiv Corp., "Telos revision B datasheet". URL: <http://www.moteiv.com/products/docs/telos-revb-datasheet.pdf>
- [8] Chris Otto; John P. Gober; Reggie W. McMurtrey; Aleksandar Milenković; Emil Jovanov, "An implementation of hierarchical signal processing on wireless sensor in TinyOS environment," in *ACM-SE 43 Proceedings of the 43rd annual Southeast regional conference*, Kennesaw, Georgia, 2005. DOI: [10.1145/1167253.1167266](https://doi.org/10.1145/1167253.1167266)
- [9] Shnyder, Victor; Chen, Bor-rong; Lorincz, Konrad; Fulford-Jones, Thaddeus R. F.; Welsh, Matt, "Sensor Networks for Medical Care," 2005. [Online]. Available: <http://nrs.harvard.edu/urn-3:HUL.InstRepos:24829604>.
- [10] Wood, Anthony D., Leo Selavo; John A. Stankovic, "SenQ: An embedded query system for streaming data in heterogeneous interactive wireless sensor networks," in *Distributed computing in sensor systems: 4th IEEE international conference, DCOSS 2008*, Santorini Island, Greece, 2008. ISBN: [978-3-540-69170-9](https://doi.org/978-3-540-69170-9)
- [11] Jorjeta G. Jetcheva; David B. Johnson, "Adaptive demand-driven multicast routing in multi-hop wireless ad hoc networks," in *MobiHoc '01 Proceedings of the 2nd ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing*, Long Beach, CA, USA, 2001. DOI: [10.1145/501422.501423](https://doi.org/10.1145/501422.501423)
- [12] Ondrej Krejcar; Dalibor Janckulik; Leona Motalova, "Complex biomedical system with biotelemetric monitoring of life functions," in *EUROCON 2009*, St.-Petersburg, Russia, 2009. DOI: [1109/EURCON.2009.5167618](https://doi.org/1109/EURCON.2009.5167618)





# Референсна архітектура систем для аналізу біомедичних даних

Сагумбаєв І. А., ORCID [0000-0001-8552-1611](https://orcid.org/0000-0001-8552-1611)

e-mail [hadhoryth@gmail.com](mailto:hadhoryth@gmail.com)

Попов А. О., к.т.н., доц., ORCID [0000-0002-1194-4424](https://orcid.org/0000-0002-1194-4424)

e-mail [popov.kpi@gmail.com](mailto:popov.kpi@gmail.com)

Національний технічний університет України

«Київський Політехнічний Інститут імені Ігоря Сікорського» [kpi.ua](http://kpi.ua)

**Реферат**—Стаття висвітлює проблеми розробки універсальних та адаптивних систем аналізу даних. На прикладі побудови біомедичних систем моніторингу стану здоров'я людини виділені основні принципи, притаманні системам, які аналізують мультимодальні дані. До основних невирішених проблем створення адаптивних систем можна віднести необхідність переконфігурації системи в залежності від вхідної задачі. Для розв'язання задач переконфігурації була запропонована архітектура адаптивної системи аналізу даних. Особливістю запропонованої системи є дворівнева архітектура: незалежна референсна система та підсистема, яка відповідає за адаптивну роботу.

Бібл. 12, рис. 5

**Ключові слова** — системи аналізу даних; переконфігуровані системи; референсна архітектура; адаптивні системи; машинне навчання.

UDC 004.891.3

## Reference system architecture for biomedical data analysis

I. A. Sahumbaiev, ORCID [0000-0001-8552-1611](https://orcid.org/0000-0001-8552-1611)

e-mail [hadhoryth@gmail.com](mailto:hadhoryth@gmail.com)

A. O. Popov, PhD, Assoc.Prof., ORCID [0000-0002-1194-4424](https://orcid.org/0000-0002-1194-4424)

e-mail [popov.kpi@gmail.com](mailto:popov.kpi@gmail.com)

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" [kpi.ua](http://kpi.ua)

**Abstract**—The development of adaptive system has been researched for a decade, but only recently machine learning problems became solvable. In this paper is presented an overview of current smart systems and the problem of development real adaptive and versatile data analysis system. Such system has to analyze multivariate signals of different nature. That is why the overview part is based on examples of biomedical human health monitoring systems (BHMS). BHMS have complex internal structure, to simplify it can be divided into three big tiers: tier of data acquisition, communication and analytics tiers. In the first tier, all data acquisition steps are made, including placement sensors to the specific location. The communication tier is responsible for gathering data from all available hardware and send it via wireless channel to the third layer. The analytical tier is the final destination of acquired data. This layer includes all algorithms which will be used for processing data and interpretation of the results. Such simple division allow us to specify and select our potential field of study and improvements. Specifically, in this paper the analytics tier will be explored and new system architecture will be proposed.

The crucial step in the adaptive systems development is solving reconfiguration problem. Nowadays, almost all data analysis systems have specific applicable fields. The main advantages of the latter are that they are robust, fast, but the development of such system can take a lot of time and reconfiguration of currently used systems will allow speed up that process. The reconfiguration is process of creation a specific targeting system from general system setup or currently known system. In this paper we have investigated problems, related with reconfiguration and proposing the theoretical basis for creation the reconfigurable adaptive system. The output structure is two-tier system, which allow to analyze any task from different field of study and then process it in a single setup. Each of the tier is considered as independent components, however the combination of the general reference system (tier one) and training agent subsystem (tier two) creates a highly adaptive system with reconfiguration properties. The reference system itself is a big storage of available algorithms which can be applied for certain problem and the algorithms workflow can be tuned for specific problem. Such adjustments can be made because of system training agent, which main purpose is to process input task and defined which algorithms can be applied. Such task classification problem can be solved by using machine learning algorithms.

Since, this paper presents only theoretical basis there is no precise implementation of proposed system. Currently we just gave a small overview of the future development of adaptive and reconfigurable systems.

Ref. 12, fig. 5.

**Keywords:** data mining — reconfigurable systems; reference architecture; intelligent systems; machine learning

