

ОБОБЩЕННАЯ КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО ТРАКТА

А. И. ПОПОВ

*Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова,
163002, Архангельск, Россия
E-mail: aleneus@gmail.com*

Рассматриваются электрофизиологические методы анализа сократительной активности желудочно-кишечного тракта — электрогастрография и электрогастроэнтерография. Представлен анализ актуальных исследований по строению данных электрогастрографии и электрогастроэнтерографии и на основе обобщения его результатов получена модель данных „сигнал — измерение — обследование“. Рассмотрены некоторые способы реализации модели.

Ключевые слова: концептуальная модель данных, формат данных, стандарт, биосигнал, электрогастрография, электрогастроэнтерография

Введение. Важным компонентом современной медицинской диагностики являются электрофизиологические обследования [1], при которых количественные параметры изучаемых процессов вычисляются в результате математической обработки электрических сигналов. Для исследования сократительной активности органов желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) применяются такие электрофизиологические методы, как электрогастрография (ЭГГ) [2] и электрогастроэнтерография (ЭГЭГ) [3]. При ЭГГ исследуется только желудок, при ЭГЭГ — желудок и различные отделы кишечника.

Для ЭГГ- и ЭГЭГ-сигналов характерны наиболее низкочастотные спектры. ЭГГ-сигнал является информативным в полосе частот 0,03—0,07 Гц, ЭГЭГ-сигнал — в полосе 0,03—0,22 Гц. При этом ЭГЭГ-сигнал разбивается на частотные полосы, соответствующие различным отделам ЖКТ. Задача первичного компьютерного анализа цифровых ЭГГ/ЭГЭГ-сигналов заключается в получении набора количественных показателей, отражающих силу, частоту и ритмичность сокращений органов. Визуальный анализ записей, как основной способ их обработки, применяется редко [4].

Наибольшее количество работ по автоматизации процесса диагностики при помощи ЭГГ и ЭГЭГ приходится на 1990-е и начало 2000-х гг. В этом направлении можно выделить два основных типа задач: 1) выявление наличия нарушений в функционировании ЖКТ [5]; 2) уточнение диагноза при наличии заболевания [6]. В последние годы преобладают исследования, целью которых является проверка статистических гипотез. В то же время осуществляется поиск новых областей применения ЭГГ и ЭГЭГ [7—10].

Общей проблемой диагностики является недостаточная репрезентативность анализируемых данных. В среднем для исследований привлекаются примерно 50 пациентов. Совместное накопление данных, способствующее решению этой проблемы, затрудняется отсутствием стандартов, регламентирующих формат данных ЭГГ и ЭГЭГ, причем не столько самих цифровых сигналов, сколько ассоциированных с ними метаданных. ЭГГ и ЭГЭГ находятся вне современной дискуссии мировых организаций по стандартизации о перспективах развития форматов для представления данных электрофизиологии [11].

Цель настоящей статьи — построение концептуальной модели данных ЭГГ/ЭГЭГ-обследования, удовлетворяющей задачам проводимых исследований, в которых используется

статистическая обработка измерительных данных. Разработка такой общей модели является необходимым шагом при организации открытых хранилищ экспериментальных данных ЭГГ и ЭГЭГ.

Структура данных ЭГГ и ЭГЭГ. Область контакта биообъекта с электродом, контактное вещество, электрод и отводящие провода вместе называются отведением [1]. В результате применения той или иной схемы отведения в рамках сеанса измерений оказываются задействованы один или несколько измерительных каналов. В каждом канале формируется цифровой сигнал. Как правило, при ЭГГ и ЭГЭГ применяются низкие частоты дискретизации (1, 2, 5 Гц) вследствие низкочастотности анализируемого сигнала. Например, в работе [12] описывается способ устранения алиасинга [13], при котором сначала производится оцифровка сигнала с частотой 250 Гц, а затем — низкочастотная цифровая фильтрация и ресемплинг с частотой 5 Гц.

При ЭГГ в настоящее время применяются многоканальные схемы отведений. Количество каналов может быть равно 2 [14], 4 [12, 15], 5 [8], 6 [9, 16] и др. При ЭГЭГ канал обычно один [14], при этом схемы отведений могут отличаться по способу расположения датчиков и их типу. Однако единственный сигнал ЭГЭГ-измерения содержит несколько информационных компонентов. На общем фоне выделяется схема отведений с 16 измерительными каналами при расположении датчиков в зоне проекции ЖКТ [10].

В рамках измерительного сеанса могут формироваться не только ЭГГ/ЭГЭГ-сигналы. Так, один из подходов к решению проблемы артефактов движения и дыхания заключается в регистрации этих артефактов с помощью дополнительных датчиков [16]. Возникают дополнительные сигналы с информацией об артефактах, которые при последующем анализе сопоставляются с ЭГГ-сигналом.

При известных значениях цифрового сигнала рассчитываются различные его параметры — базовые диагностические показатели, например: средняя мощность, доминантная частота, коэффициент ритмичности, отношение мощности сигнала двенадцатиперстной кишки к мощности сигнала желудка [14, 17] и др.

При продолжительных измерениях проводится анализ динамики параметров сигнала в рамках измерительного сеанса. Для вычисления соответствующих диагностических показателей используются оконное преобразование Фурье и статистические методы анализа отклонений. Пример получаемого таким образом показателя — коэффициент нестабильности доминантной частоты — DFIC (Dominant Frequency Instability Coefficient) [17].

При многоканальной записи анализ данных на уровне измерительного сеанса может включать определение времени смещения сигналов между соседними каналами (скорости распространения волн), поиск артефактов по дополнительному сигналу и др.

Один или несколько измерительных сеансов составляют основу такой структуры, как обследование. Как правило, при ЭГГ и ЭГЭГ изучается реакция моторики на некоторое воздействие (например, принятие пищи [9, 14, 15, 18], введение медицинского препарата [16], звук [19], стресс [10], лечение [20] и др). В рамках обследования проводятся несколько сеансов измерений, а соотношения параметров сигналов, регистрируемых в ходе разных сеансов, рассматриваются как диагностические показатели [17].

Количество сеансов и различные действия в отношении пациента определяются протоколом обследования [14, 21]. Как правило, проводятся два сеанса: один до воздействия, другой — после. Продолжительность сеансов в разных протоколах варьируется и может составлять: 10 и 15 мин [18], 30 и 60 мин [17], 40 и 40 мин [14]. Продолжительность измерительного сеанса, как правило, фиксирована. К исключениям относится, например, обследование [22], где первый сеанс занимает 30...40 мин, второй — 90...120 мин. При решении более „тонких“ задач диагностирования при обработке сигналов используются обследования, состоящие из единственного измерительного сеанса, либо во внимание принимается только

один сеанс [4, 12, 22]. С другой стороны, встречаются протоколы, предполагающие проведение более двух измерительных сеансов. Это характерно для продолжительных обследований, например при отслеживании хода выздоровления пациента после хирургической операции [23].

Таким образом, обрабатываемой единицей данных при ЭГГ и ЭГЭГ является не отдельный сигнал, а обследование.

При проведении обследований учитываются некоторые дополнительные данные [18], например: пол, возраст, рост, масса пациента, диагноз, результаты анализа крови [9, 16], результаты эндоскопии [21], режим питания, принимаемые медикаменты [8], вид хирургической операции [15] и др. Для формирования статистических выборок (групп обследований) формулируются критерии включения и исключения данных из исследования [3, 18].

Модель SME. Сформулируем изложенное выше в общем виде, описываемую при этом иерархическую структуру назовем моделью „сигнал — измерение — обследование“ или SME-моделью (Signal — Measurement — Examination).

Сигнал представляет собой массив отсчетов. Измерение (измерительный сеанс) содержит один или несколько сигналов, например исходный и отредактированный, сигналы отдельных каналов при многоканальной записи, ЭГГ/ЭГЭГ-сигналы, сигналы с информацией об артефактах и др. В обследование, состоящее из нескольких измерительных сеансов, могут быть включены и некоторые другие данные, например данные о воздействии на пациента, которое имело место между измерительными сеансами.

С каждым уровнем модели связаны некоторые описания и параметры. К описанию относятся хранимые данные, параметры вычисляются. Примеры описаний и параметров для разных уровней модели приведены в таблице (в рамках отдельных исследований некоторые параметры имеют постоянные значения).

Уровень	Описание	Параметры
Обследование	Вид обследования, пол, возраст, масса пациента, номер протокола обследования, диагноз и др.	Диагностические показатели обследований: соотношения параметров сигналов, регистрируемых до и после еды, и др.
Измерение	Название измерительного оборудования, номер используемой схемы отведений, положение пациента, время начала сеанса и др.	Значение показателя качества записи, время смещения сигналов в двух каналах и др.
Сигнал	Шаг дискретизации, единицы измерения, разрядность аналого-цифрового преобразователя, имя канала и др.	Коэффициент нестабильности доминантной частоты, коэффициент ритмичности, средняя мощность и др.

Концептуальная модель допускает различные реализации. В листинге показан пример ЭГЭГ-обследования 60-летней пациентки группы „норма“ в формате JSON [24]. Данное обследование состоит из двух измерительных сеансов, проведенных в один день, начальное время сеансов отличается примерно на 1 ч. Шаг дискретизации составляет 0,5 с. Значения отсчетов представлены в текстовом виде в файлах signal-11.txt и signal-21.txt.

Листинг. Пример SME-конструкции в формате JSON

```
{
  "name": "xxxxx",
  "diagnosis": "ЗДОРОВ",
  "age": 60,
  "gender": "жен.",
  "measurements": [
    {
      "time": "08/12/2009 9:22:13",
      "signals": [
```

```
        {"dt": 0.5, "file": "signal-11.txt"}
    ]
},
{
    "time": "08/12/2009 10:22:59",
    "signals": [
        {"dt": 0.5, "file": "signal-21.txt"}
    ]
}
]
```

Заключение. При наблюдаемом расширении области применения ЭГГ и ЭГЭГ общей проблемой проводимых исследований является недостаток анализируемых данных. Стандарты, регламентирующие формат данных ЭГГ и ЭГЭГ, отсутствуют. Не существует открытых исследовательских хранилищ данных ЭГГ/ЭГЭГ-обследований. Необходимым шагом на пути решения указанных проблем является построение общей модели данных ЭГГ/ЭГЭГ-обследования.

В общем случае обрабатываемой единицей данных при ЭГГ и ЭГЭГ является не отдельный сигнал, а обследование. Для представления данных обследования предложена концептуальная иерархическая модель „сигнал — измерение — обследование“ (SME), допускающая различные реализации. Приведен пример реализации SME-модели. Для хранения сигналов можно использовать и специализированные форматы, такие как GDF (General Data Format) [11] и EDF (European Data Format) [11, 25]. Перспективными являются задачи реализации SME-модели в формате DICOM Waveform [11] с похожей иерархической информационной моделью и формате EDF+ [25], в котором предусмотрена возможность представления сигналов, записанных с перерывами во времени.

Автором настоящей статьи разработана программная библиотека EGEGrouper, предназначенная для организации хранилищ данных ЭГГ/ЭГЭГ-обследований в соответствии с SME-моделью, а также составления плана обследований с целью формирования статистических выборок [26].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зайченко К. В., Жаринов О. О., Кулин А. Н.* Съём и обработка биоэлектрических сигналов. СПб: ГУАП, 2001. 140 с.
2. *Yin J., Chen J. D. Z.* Electrogastrography: Methodology, validation and applications // *J. of Neurogastroenterology and Motility*. 2013. Vol. 19, N 1. P. 5—17. DOI: 10.5056/jnm.2013.19.1.5.
3. *Kosenko P. M., Vavrinchuk S. A.* Electrogastroenterography in Patients with Complicated Peptic Ulcer. Yelm, USA: Science Book Publishing House, 2013. 164 p.
4. *Волошин К. В.* Сравнительный анализ моторно-эвакуаторной и кислотообразующей функций желудка у детей с различными клиническими вариантами функциональной диспепсии // *Актуальні проблеми сучасної медицини: вісник Української медичної стоматологічної академії*. 2015. Т. 52, № 4. С. 50—52.
5. *Liang H.* Application of support vector machine to the detection of delayed gastric emptying from electrogastrograms // *Support Vector Machines: Theory and Applications*. 2005. P. 399—412. DOI: 10.1007/10984697_19.
6. *Kara S., Dirgenali F., Okkesim Ş.* Detection of gastric dysrhythmia using WT and ANN in diabetic gastroparesis patients // *Computers in Biology and Medicine*. 2006. Vol. 36, N 3. P. 276—290. DOI: 10.1016/j.combiomed.2005.01.002.
7. *Arbizu R. A., Rodriguez L.* Electrogastrography, breath tests, ultrasonography, transit tests, and smartPill // *Pediatric Neurogastroenterology*. 2017. P. 169—179. DOI: 10.1007/978-3-319-43268-7_15.
8. *Brun A. C., Olafsdottir E. J., Bentsen B. S., Stordal K., Johannesdottir G. B., Medhus A. W.* Electrogastrography in children with cerebral palsy: Abnormal postprandial response to both fast-and slow-emptying meals // *e-SPEN Journal*. 2014. Vol. 9, N 6. P. 215—219. DOI: 10.1016/j.clnme.2014.09.003.

9. Bor C., Bordin D., Demirag K., Uyar M. The effect of brain death and coma on gastric myoelectrical activity // Turk. Journal Gastroenterol. 2016. Vol. 27. P. 216—220. DOI: 0.5152/tjg.2016.16019.
10. Homma S. Correlations between anxiety and the stress responses of electrogastrography (EGG) induced by the mirror drawing test (MDT) // J. of Smooth Muscle Research. 2014. Vol. 50. P. 1—7. DOI: 10.1540/jsmr.50.1.
11. Sauer mann S., David V., Schlogl A., Egelkraut R., Frohner M., Pohn B., Urbauer P., Mense A. Biosignals, standards and FHIR — the way to go? // Studies in Health Technology and Informatics. 2017. Vol. 236. P. 356—362.
12. Komorowski D. The first experience with the use of noise-assisted empirical mode decomposition algorithm in the processing of multi-channel electrogastrography signals // Information Technologies in Medicine. 2016. P. 311—324. DOI: 10.1007/978-3-319-39796-2_26.
13. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. СПб: БХВ-Петербург, 2013. 758 с.
14. Электрогастроэнтерография: исследование электрической активности желудка и кишечника. [Электронный ресурс]: <<http://www.gastroscan.ru/physician/egg/>>, 05.06.2017.
15. Murakami H., Matsumoto H., Kubota H., Higashida M., Nakamura M., Hirai T. Evaluation of electrical activity after vagus nerve-preserving distal gastrectomy using multichannel electrogastrography // J. of Smooth Muscle Research. 2013. Vol. 49. P. 1—14. DOI: 10.1540/jsmr.49.1.
16. Kvetina J., Tacheci I., Pavlik M., Kopacova M., Rejchrt S., Douda T., Kunes M., Bures J. Use of electrogastrography in preclinical studies of cholinergic and anticholinergic agents in experimental pigs // Physiological Research. 2015. Vol. 64. P. 647.
17. Riezzo G., Russo F., Indrio F. Electrogastrography in adults and children: the strength, pitfalls, and clinical significance of the cutaneous recording of the gastric electrical activity // BioMed Research International. 2013. P. 1—14. DOI: 10.1155/2013/282757.
18. Sharma P., Makharia G., Yadav R., Dwivedi S. N., Deepak K. K. Gastric myoelectrical activity in patients with inflammatory bowel disease // J. of Smooth Muscle Research. 2015. Vol. 51. P. 50—57. DOI: 10.1540/jsmr.51.50.
19. Сагдулаев Д. Ш., Багненко С. Ф., Дубикайтис П. А., Алимов Р. Р., Ланицкий А. В. Влияние субстратных антигипоксантов на миоэлектрическую активность желудочно-кишечного тракта у пострадавших с тяжелой сочетанной травмой // Морская медицина. 2015. Т. 1, № 2. С. 14—22.
20. Zhang Y., Liu Z., Liu X., Han X., Zhou Y., Cao Y., Zhang X. Prediction of octreotide efficacy by electrogastrography in the treatment of patients with esophageal variceal hemorrhage // Physiological Measurement. 2013. Vol. 34, N 7. P. 799. DOI: 10.1088/0967-3334/34/7/799.
21. Kayar Y., Danaliouglu A., Al Kafee A., Okkesim, S., Senturk H. Gastric myoelectrical activity abnormalities of electrogastrography in patients with functional dyspepsia // Turk. Journal Gastroenterol. 2016. Vol. 27. P. 415—420. DOI: 0.5152/tjg.2016.16281.
22. Komorowski D., Pietraszek S. The use of continuous wavelet transform based on the fast fourier transform in the analysis of multi-channel electrogastrography recordings // J. of Medical Systems. 2016. Vol. 40, N 1. P. 10—25. DOI: 10.1007/s10916-015-0358-4.
23. Kim H. Y., Park S. J., Kim Y. H. Clinical application of electrogastrography in patients with stomach cancer who undergo distal gastrectomy // J. of Gastric Cancer. 2014. Vol. 14, N 1. P. 47—53. DOI: 10.5230/jgc.2014.14.1.47.
24. Introducing JSON. [Электронный ресурс]: <<http://www.json.org/>>, 05.06.2017.
25. Kemp B., Olivan J. European data format 'plus'(EDF+), an EDF alike standard format for the exchange of physiological data // Clinical Neurophysiology. 2003. Vol. 114, N 9. P. 1755—1761. DOI: 10.1016/S1388-2457(03)00123-8
26. EGEGrouper 0.4.0. [Электронный ресурс]: <<https://pypi.python.org/pypi/EGEGrouper>>, 05.06.2017.

Сведения об авторе

Александр Игоревич Попов

— канд. техн. наук, доцент; САФУ им. М. В. Ломоносова, кафедра прикладной информатики; E-mail: aleneus@gmail.com

Поступила в редакцию
11.07.17 г.

Ссылка для цитирования: Попов А. И. Обобщенная концептуальная модель данных электрофизиологических исследований желудочно-кишечного тракта // Изв. вузов. Приборостроение. 2018. Т. 61, № 1. С. 84—89.

GENERALIZED CONCEPTUAL DATA MODEL OF ELECTROPHYSIOLOGICAL STUDIES OF THE GASTROINTESTINAL TRACT

A. I. Popov

*M. V. Lomonosov Northern (Arctic) Federal University
163002, Arkhangelsk, Russia
E-mail: aleneus@gmail.com*

Electrophysiological methods for analyzing the contractile activity of the gastrointestinal tract — electrogastrography and electrogastroenterography — are considered. The analysis of actual studies on the structure of electrogastrography and electrogastroenterography data is presented. The data generalization is used to create a data-signal-measurement-survey model. Some ways of implementing the model are considered.

Keywords: conceptual data model, data format, standard, bio-signal, electrogastrography, electrogastroenterography

Data on author

Aleksander I. Popov

— PhD, Associate Professor; M. V. Lomonosov Northern (Arctic) Federal University, Department of Applied Informatics;
E-mail: aleneus@gmail.com

For citation: Popov A. I. Generalized conceptual data model of electrophysiological studies of the gastrointestinal tract. *Journal of Instrument Engineering*. 2018. Vol. 61, N 1. P. 84—89 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-1-84-89