

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Кулик Сергей Дмитриевич

*Д.т.н., профессор, Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ»
sedmik@mail.ru*

Штанько Александр Николаевич

*Аспирант, Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ»
shtanko-mephi@yandex.ru*

Кондаков Алексей Алексеевич

*Разработчик программного обеспечения, Ozon
alex.letbox@gmail.com*

APPLICATION OF SYSTEM ANALYSIS TO EVALUATE THE EFFICIENCY OF MEDICAL INFORMATION SYSTEM

**S. Kulik
A. Shtanko
A. Kondakov**

Summary. This article deals with the problem of evaluating the effectiveness of a medical information system with a recognition unit based on convolutional neural networks. It provides the necessary information about the proposed structure of the medical information system and specific indicators for evaluating effectiveness. Information is briefly given about the software developed for telemedicine, registered by the Federal Service for Intellectual Property (Rospatent). The obtained practical and theoretical results can be used for the analysis, design and development of medical information systems.

Keywords: system analysis, structure of system, convolutional neural networks, software tools, medical information system.

Аннотация. Статья посвящена проблеме оценки эффективности медицинской информационной системы с блоком распознавания на основе сверточных нейронных сетей. В ней представлены необходимые сведения о предлагаемой структуре медицинской информационной системы и частных показателях для оценки эффективности. Кратко приведены сведения о разработанном для телемедицины программном средстве, зарегистрированном Федеральной службой по интеллектуальной собственности (Роспатент). Полученные практические и теоретические результаты могут быть использованы для анализа, проектирования и разработки медицинских информационных систем.

Ключевые слова: системный анализ, структура системы, сверточные нейронные сети, программное средство, медицинская информационная система.

Введение

На практике решение актуальных задач в области медицины, связанных с обработкой информации (медицинских изображений), как правило, требует эффективного применения современных информационных технологий и в частности, нейронных сетей. Элементы системного анализа [1, 2, 3] могут быть успешно использованы, например, для оценки [4, 5] эффективности медицинской информационной системы (ИС).

В табл. 1 приведены краткие необходимые сведения о частных показателях для оценки эффективности медицинской информационной системы с блоком распознавания на основе сверточных нейронных сетей. Приведенные затраты ИС с блоком распознавания на основе сверточных нейронных сетей (СНС), например, за один год, в течение которого обрабатывается A_0 запросов к ней, определяются следующим известным образом [4]:

$$Z_i = S_i + E_{i,K_i}$$

Таблица 1. Частные показатели эффективности

Группа показателей	Частный показатель	№
1-я группа [5]	Количество объектов тестовой выборки	1
	Количество положительных объектов	2
	Количество отрицательных объектов	3
	Количество положительных ответов СНС	4
	Количество отрицательных ответов СНС	5
2-я группа [5]	TP (истинно-положительный)	6
	FP (ложноположительный)	7
	TN (истинно-отрицательный)	8
	FN (ложноотрицательный)	9
	Accuracy (точность)	10
	Precision (точность)	11
	Recall (полнота)	12
	F1 (F ₁ -мера)	13
3-я группа [4]	T_i — затраты времени на обработку A_0 запросов i -го варианта ИС	14
	Z_1 (затраты <i>базового</i> варианта ИС на обработку A_0 запросов)	15
	Z_0 (затраты <i>нового</i> варианта ИС на обработку A_0 запросов)	16
	A_0 (количество обрабатываемых запросов)	17
	S_1 (усредненные затраты на эксплуатацию <i>базового</i> варианта ИС)	18
	S_0 (усредненные затраты на эксплуатацию <i>нового</i> варианта ИС)	19
	K_1 (затраты на разработку, изготовление и внедрение ИС <i>базового</i> варианта)	20
	K_0 (затраты на разработку, изготовление и внедрение ИС <i>нового</i> варианта)	21
	E_n (нормативный коэффициент эффективности (окупаемости) затрат)	22
	Δ (разность затрат)	23

где используемые частные экономические показатели означают:

- ◆ при $i=1$ $Z_i=Z_1$ — это затраты *базового* варианта ИС на обработку A_0 запросов;
- ◆ при $i=0$ $Z_i=Z_0$ — это затраты *нового* варианта ИС на обработку A_0 запросов;
- ◆ S_i — усредненные затраты на эксплуатацию ИС i -го варианта;
- ◆ K_i — затраты на разработку, изготовление и внедрение ИС i -го варианта;
- ◆ E_n — нормативный коэффициент эффективности (окупаемости) затрат.

На практике, разность затрат $\Delta=Z_1-Z_0$ следует вычислять для двух вариантов медицинских систем, поставленных в сопоставимые условия для их сравнения. Эти условия либо заданы в техническом задании (ТЗ), либо выбираются разработчиком медицинской системы по согласованию с заказчиком с помощью следующего критерия эффективности:

Если $\Delta>0$, то предлагаемый вариант ИС эффективнее по сравнению с базовым вариантом ИС.

Если $\Delta<0$, то предлагаемый вариант ИС является не эффективным по сравнению с базовым вариантом ИС.

Если $\Delta=0$, то предлагаемый вариант ИС такой же по эффективности, как и базовый вариант ИС.

Современные развитые медицинские средства, как правило, имеют филиалы в регионах с единым центром, удаленным от этих филиалов. Центр поддерживает связь с филиалами с помощью специального программного обеспечения и сети Интернет. За основу проектирования структуры медицинской информационной системы с блоком распознавания на основе сверточных нейронных сетей была выбрана структура [6] учебной фактографической информационной системы для формирования компетенций студентов в области системного анализа и основные сведения [7] об интеллектуальной информационной системе для телемедицины. Опираясь на системный анализ [1, 2, 3], был определен состав ключевых элементов медицинской ИС с блоком распознавания на основе [8, 9] СНС. Перечислим блоки этой ИС:

- ◆ блок формирования фото,
- ◆ блок распознавания (СНС) в подсистеме филиала,
- ◆ блок принятия решений в подсистеме филиала,
- ◆ блок формирования запроса,
- ◆ блок обработки запроса,
- ◆ блок распознавания (СНС) в подсистеме центра,

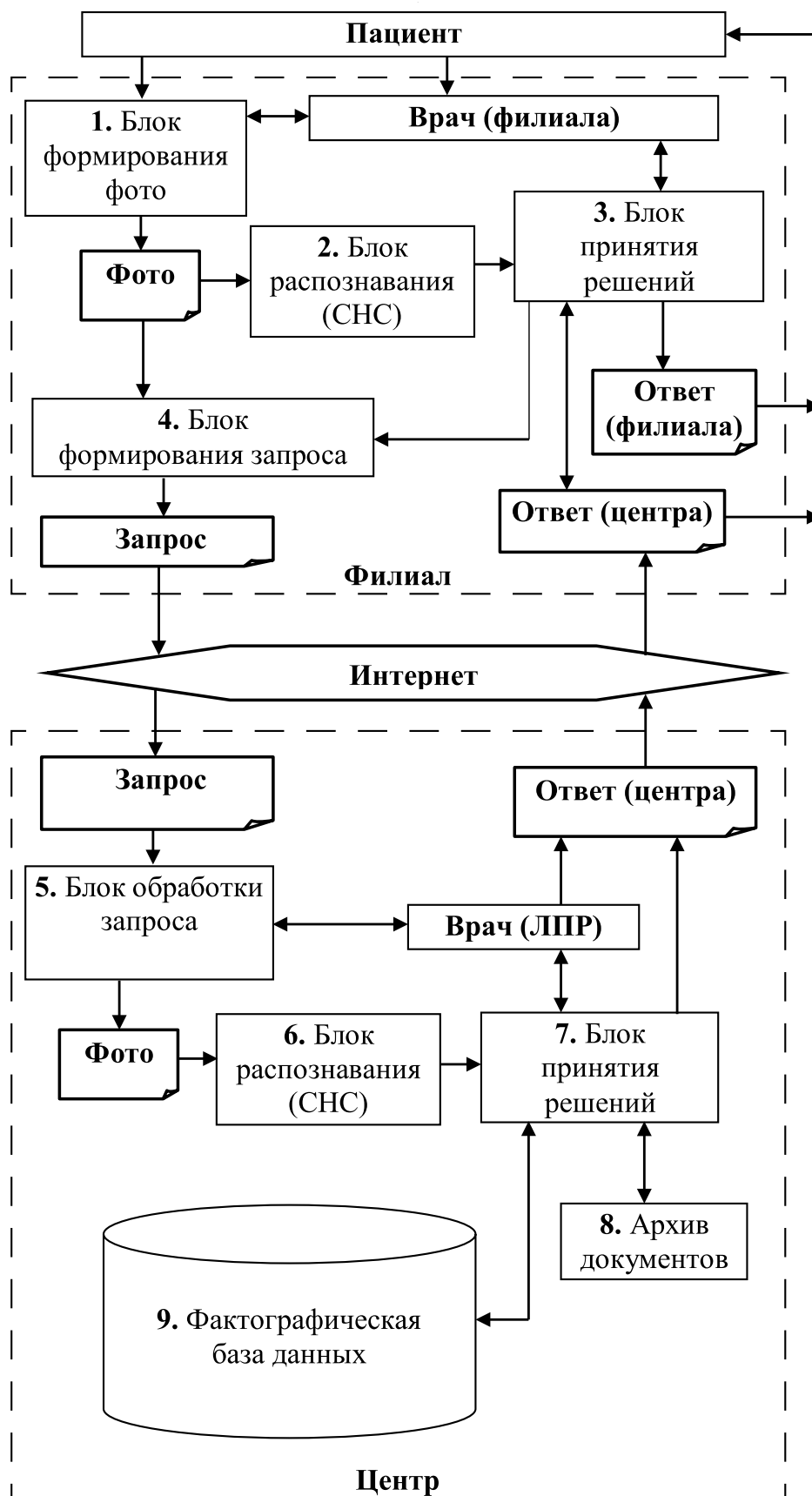


Рис. 1. Структура медицинской информационной системы

- ◆ блок принятия решений в подсистеме центра,
- ◆ архив документов,
- ◆ фактографическая база данных (наборы медицинских сведений и служебной фактографической информации).

Разработанный вариант структуры медицинской ИС показан на рис. 1.

Кратко рассмотрим работу предлагаемой медицинской ИС на примере больных псориазом. Пользователь ИС (например, пациент) приходит к врачу филиала, где его осматривают. Блок распознавания (СНС) в подсистеме филиала позволяет отделить пациентов больных псориазом от пациентов с другими похожими заболеваниями.

При этом если возникает ошибка в работе этого блока, то возможно, что пациенту откажут и посоветуют обратиться в другую клинику. В случае если в филиале (по конкретному пациенту с псориазом) принять решение не удастся, то фотографии проблемных мест пациента вместе с запросом передаются в медицинский центр для получения ответа (консультации) от более опытного своего коллеги. Поступивший запрос от пользователя обрабатывается и в итоге формируется ответ центра на запрос врача филиала. При этом блок распознавания (СНС) в подсистеме центра позволяет, например, выделить пациентов, для которых необходима именно ПУВА-терапия. Окончательное решение принимает врач центра (лицо, принимающее решение (ЛПР)).

Блок распознавания

В данном случае блок распознавания основан на сверточных нейронных сетях. На вход блока подается фотография кожи пациента, при этом возможны два результата работы нейронной сети: псориаз или нет. Если требуется, то можно выделить в отдельную категорию псориаз, подходящий для лечения ПУВА-терапией, также возможно выделение нормы и других болезней в отдельные классы. Также вместе с решением следует выводить степень уверенности нейронной сети для перепроверки оператором результатов с низкой степенью уверенности.

В качестве предварительной обработки могут применяться различные методы обработки изображений, например, выравнивание гистограммы. Также размер изображения необходимо привести к требуемому сверточной нейронной сетью размеру.

Структура сверточной нейронной сети может отличаться в зависимости от доступных вычислительных ресурсов, размеров обучающей выборки и других пара-

метров. Обычно используются широко известные архитектуры нейронных сетей.

Одной из проблем разработки блока распознавания является составление обучающей выборки. Для медицинских изображений зачастую отсутствуют обширные публичные выборки изображений, возможно, по причинам конфиденциальности. Медицинские организации также не всегда хранят изображения по причине, например, ненадобности. Поэтому, скорее всего первая версия нейронной сети в основе блока будет обучена на малом количестве изображений с высоким количеством ошибок. И уже при работе системы в экспериментальном режиме будут получены достаточные количества изображений для обучения нейронной сети с целью повышения точности (эффективности) ее работы. При этом структура нейронной сети тоже может меняться. Таким образом, блок распознавания будет разрабатываться и обучаться в итеративном режиме.

Программное средство для телемедицины

В отличие от большинства других заболеваний, для диагностики дерматологических заболеваний [10] чаще всего требуется только визуальный осмотр и в редких случаях сдача анализов. В связи с этим процедуру осмотра и определения первичного диагноза во многих случаях целесообразно проводить с использованием специальных систем, чтобы уменьшить человеческий фактор и ускорить процесс взаимодействия с пациентом. При этом итоговое заключение должен делать специалист в этой области. В связи с этим была разработана экспериментальная система, которая на основе определенных признаков и алгоритмов распознавания может собирать определенный набор сведений о пациенте по изображению участков кожи. Система разрабатывалась для сети клиник, которые специализируются на лечении псориаза [10], соответственно она направлена на диагностику пациентов именно с этим заболеванием.

Для постановки первичного диагноза используются фотографии пораженных участков кожи пациентов. В системе вводится информационная карта для новых пациентов и сохраняется история лечения с изображениями пораженных участков кожи, применяемым лечением и достигнутыми результатами. Для анализа полученных данных в системе предполагается использовать биометрические средства и специальные алгоритмы распознавания. Для правильной постановки диагноза важны такие параметры как возраст, пол, вес пациента, а также детальная информация (фактографические данные) по пораженным участкам (площадь, цвет и т.п.).

Предполагается, что система будет интеллектуальной и позволит принимать решение на основе нейросетевых алгоритмов, например, в основе которых лежит сверточная нейронная сеть. Для ее обучения используются реальные примеры снимков пораженных участков кожи и заключения врачей.

На данный момент накопилось большое хранилище с изображениями различных случаев псориаза, лечением и историей результатов. Планируется разработка подсистемы, которая будет предлагать (рекомендовать) лечение для новых пациентов, используя предыдущий опыт. Это будет интеллектуальный модуль с нейронной сетью, который анализирует необходимую информацию о методах лечения и их воздействии на пациентов и, используя эти данные, ставит предварительный диагноз и пытается предложить последующее лечение. Очень важно, чтобы окончательный диагноз делал именно квалифицированный врач (лицо, принимающее решение), а система только собирала информацию и предлагала возможные варианты принятия решений. Данная функция должна существенно помочь и сэкономить время врачам клиник. Для повышения эффективности работы врачей в области дерматологии разработано [11] программное средство #MeD-B-S.

Программа Medical Diagnosis Bus System v.1.0 (#MeD-B-S) является специальным средством телемедицины и предназначена для врачей, получающих удаленную консультацию от своих коллег. Области применения: удаленные консультации пользователей и телемедицина (наиболее она эффективна для врачей, специализирующихся в области дерматологии). В ней реализован специальный алгоритм проведения удаленных консультаций врачей филиалов дерматологической клиники с ведущими специалистами центрального звена систе-

мы. По проблемным пациентам врачи филиала посылают свой запрос в центр и затем получают оперативный ответ. #MeD-B-S обеспечивает выполнение функций: формирование электронного письма (запроса) и пересылка его средствами сети Интернет в центр; контроль выполнения запросов и формирование ответов на них; архивирование запросов и ответов; просмотр истории запросов и ответов; вывод на печать плана лечения и получения повторных консультаций. Программный комплекс #MeD-B-S разработан на языке C# с помощью IDE Visual Studio 17, в качестве СУБД для хранения данных используется MySQL версии 5.7.x и язык T-SQL. Необходима поддержка .NET Framework версии не ниже 4.0. Передача пакетов осуществляется путем транслирования между клиентской и серверной частью сообщения в формате json.

Заключение

Предложены 23 частных показателя для оценки эффективности медицинской информационной системы с блоком распознавания на основе сверточных нейронных сетей. Опираясь на системный анализ, получена необходимая структура медицинской информационной системы, содержащая два блока распознавания, в основе которых лежит сверточная нейронная сеть. Для повышения эффективности работы врачей разработано программное средство в области телемедицины для врачей, получающих удаленную консультацию от своих коллег. В будущем предполагается дополнить это программное средство специальным модулем, выполняющим распознавание по фотографиям больных псориазом. Возможно, в будущем для сокращения временных затрат, связанных с нейронными сетями, можно будет использовать мемристоры, исследование [12, 13, 14] которых активно ведется в последнее время.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов В.А. Системный анализ. — М.: Высшая школа, 2004. — 454 с.
2. Кулик С.Д. Элементы системного анализа (эффективность систем). — М.: НИЯУ МИФИ, 2018. — 216 с.
3. Кулик С.Д. Формирование компетенций студентов при изучении различных дисциплин с элементами системного анализа // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки», 2019. — № 8. — С. 73–77.
4. Кулик С.Д. Применение системного анализа для оценки эффективности средств обеспечения информационной безопасности // Безопасность информационных технологий, 2019. — Том 26. — № 1. — С. 25–35.
5. Hossin M., Sulaiman M.N. A review on evaluation metrics for data classification evaluations // International journal of data mining & knowledge management process, 2015. — Vol. 5. — № 2. — p. 1.
6. Кулик С.Д. Структура учебной фактографической информационной системы для формирования компетенций студентов в области системного анализа // Перспективы науки, 2019. — № 7(118). — С. 93–96.
7. Kondakov A., Kulik S. Intelligent Information System for Telemedicine // Procedia Computer Science, 2020. — Vol. 169. — pp. 240–243.
8. Kulik S.D., Shtanko A.N. Experiments with neural net object detection system YOLO on small training datasets for intelligent robotics // Advanced Technologies in Robotics and Intelligent Systems, 2020. — pp. 157–162.
9. Shtanko A., Kulik S. Increasing the effectiveness of intelligent module by enlarging training dataset from real data // Procedia Computer Science, 2021. — Vol. 190. — pp. 712–716.

10. Молочков В.А., Бадокин В.В., Альбанова В.И., Волнухин В.А. Псориаз и псориазный артрит. — М.: Товарищество научных изданий КМК; Авторская академия, 2007. — 300 с.
11. Кондаков А.А., Мошнин М.В., Данилькевич М.А., Кулик С.Д. Свидетельство на программу Российской Федерации № 2018617763 Medical Diagnosis Bus System v.1.0 (#MeD-B-S) /Правообладатель ООО «Медицинский центр «Компания Александр» (Россия). — Заявка № 2018615046; Заяв. 18.05.2018; Зарегистр. 02.07.2018; Бюл. № 7.
12. Danilin S.N., Shchanikov S.A., Zuev A.D., Bordanov I.A., Sakulin A.E. The Research of Fault Tolerance of Memristor-Based Artificial Neural Networks //12th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE), IEEE, 2019. — pp. 539–544.
13. Danilin S., Shchanikov S., Zuev A., Bordanov I., Korolev D., Belov A., Pimashkin A., Mikhaylov A., Kazantsev V. Design of Multilayer Perceptron Network Based on Metal-Oxide Memristive Devices //12th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE), IEEE, 2019. — pp. 533–538.
14. Danilin S.N., Shchanikov S.A., Sakulin A.E. & Bordanov I.A. Determining the Fault Tolerance of MemristorsBased Neural Network Using Simulation and Design of Experiments //Engineering and Telecommunication (EnT-MIPT). IEEE, 2018. — pp. 205–209.

© Кулик Сергей Дмитриевич (sedmik@mail.ru),

Штанько Александр Николаевич (shtanko-mephi@yandex.ru), Кондаков Алексей Алексеевич (alex.letbox@gmail.com).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



МИФИ