

# Преимущества применения методов анализа изображений с использованием интеллектуальных агентов в системах принятия решений

И. А. Писарев, Е. Е. Котова, А. С. Писарев

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

pisarevivan@yandex.ru, eekotova@gmail.com, a\_pisarev@mail.ru

**Аннотация.** Обзор и анализ методов исследования 3D-изображений проводится с целью решения задачи диагностической визуализации, в частности в медицинской практике исследования кровеносной системы для поддержки принятия решений специалистами. Преимущества применения интеллектуальных агентов в программном обеспечении заключаются в повышении уровня диагностической информативности результатов исследований. Магнитно-резонансная ангиография с контрастным веществом (CE-MRA) остается предпочтительным методом визуализации сосудов, вместе с тем высококачественная магнитно-резонансная томография без усиления контрастным веществом, может являться преимущественным методом благодаря усовершенствованию аппаратного обеспечения МРТ и прямой мультипланарной визуализации трехмерных последовательностей изображений. Плоскость визуализации варьируется в зависимости от клинических проблем, например, для захвата венозной фазы (магнитно-резонансной венографии). Процесс принятия решений специалистами-медиками является сложной задачей, требующей больших временных затрат. Интеллектуальные агенты могут оказывать интеллектуальную поддержку в решении задачи постановки медицинских диагнозов.

**Ключевые слова:** магнитно-резонансная томография, компьютерная томография, DICOM, принятие решений, мультиномиальный выбор, перцептивно-когнитивные агенты

## I. ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с Указом Президента РФ от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» Правительству РФ поставлена цель разработки и реализация программ борьбы с сердечно-сосудистыми заболеваниями [1].

Достижение поставленной цели осуществляется, в том числе, путем обеспечения «внедрения в практическое здравоохранение, включая систему ранней диагностики заболеваний и дистанционный мониторинг состояния здоровья пациентов, развитие трансляционной медицины», как отмечается в Приказе министерства

здравоохранения [2].

Автоматизация исследований кровеносной системы человека и экспресс-диагностика возможных патологий для поддержки принятия решений специалистами на основе 3D моделей является одной из важнейших задач. Моделирование кровеносной системы на основе изображений стало разрабатываться в конце 1990-х, начале 2000-х годов, и с тех пор является мощным инструментом в основе научных и клинических исследований. В большинстве приложений для моделирования на основе изображений трехмерные ангиографические данные, полученные с компьютерной томография (КТ) или магнитно-резонансной визуализации (МРТ), используется для построения геометрической модели сосудистой области [3].

Значительный прогресс был достигнут в диагностике и лечении сердечно-сосудистых заболеваний после внедрения современной медицинской технологии визуализации [4].

Главной целью виртуального 3D-моделирования системы кровообращения человека является автоматизированный, быстрый и неинвазивный поиск признаков имеющихся патологий конкретного пациента для последующего доуточнения и постановки диагноза медицинским специалистом.

Последние результаты исследований в этой области с помощью методов искусственного интеллекта и глубокого обучения (DL) демонстрируют снижение времени обработки изображений и анализа патологий, что потенциально может значительно повлиять на диагностику и лечение сердечно-сосудистых заболеваний [5–7].

## II. ПРИМЕР МЕТАДААННЫХ

В качестве исходных данных для диагностики используются снимки магнитно-резонансной и компьютерной томографии МРТ, КТ (MRI/CT), представленные в стандартном формате DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) в виде серии изображений, метаданных о пациенте и параметрах исследования [8, 9]. Этот формат позволяет обмениваться медицинскими изображениями, и совместим практически со всем оборудованием для МРТ/КТ сердечно-сосудистой системы [10]. Врач при постановке диагноза пользуется возможностями

---

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям, проект «Кардиосканер», № 23ГКод-ЦТ-С17-Д5/81632.

визуализации 2D слоев изображений, измерения геометрических параметров сосудов. Для повышения качества визуализации сосудов применяется магнитно-резонансная ангиография с контрастным веществом.

В качестве примера далее приведены метаданные и изображение, извлеченные из файла DICOM, содержащегося в наборе данных HealthyPulmonary SimTK (<https://simtk.org>).

В метаданных указывается идентификатор пациента со всеми необходимыми данными, тип исследования (МРТ/КТ), размеры изображения и др. (приведен фрагмент):

```
Имя пациента...: OSMSC0005;  
Идентификационный номер пациента.....: 0005;  
Модальность.....: КТ;  
Размер изображения.....: 512 x 512;  
Расстояние между пикселями.....: [0.585938, 0.585938];  
Местоположение среза....: - 123.500.
```

С помощью программного агента на языке Python из формата DICOM извлечены метаданные в виде описания в текстовом формате и изображения срезов в графическом PNG-формате.

На рис. 1 изображен пример 2D среза изображения КТ сосудов легких пациента в формате DICOM из набора данных simvascular, содержащих 198 срезов (слоев).

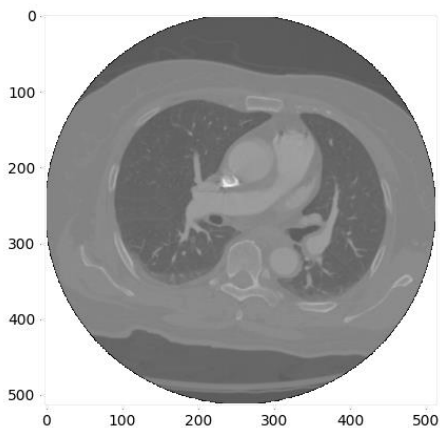


Рис. 1. Срез изображения КТ пациента

Усовершенствованные методы анализа и диагностики основаны на визуализации 3D моделей. Они требуют работы квалифицированного оператора в области обработки изображений, включая настройку параметров предварительной обработки (фильтрации шумов), сегментации изображений и построения 3D модели [11]. Трудозатраты на осуществление аналитики по различным оценкам составляют от 30 минут до нескольких часов на один кейс.

### III. СЕТЕВАЯ АРХИТЕКТУРА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

При внедрении методов искусственного интеллекта и глубокого обучения для обработки данных МРТ и КТ наряду с вопросами предварительной обработки, сегментации, 3D моделирования, визуализации и диагностики, возникает ряд дополнительных задач.

В процедурах машинного обучения применяются большие наборы данных в формате DICOM. Наличие в метаданных DICOM информации о пациентах требует решения задачи по анонимизации персональных данных для использования изображений в наборах данных.

Другая особенность реализации задач машинного обучения связана с необходимостью приведения 3D моделей к сопоставимым размерам исследуемых областей в наборе данных, например, с использованием методов регистрации 2D слоев изображений.

Реализация методов машинного обучения предполагает использование вычислительных систем повышенной производительности, которые могут вызывать затруднения у врачей медицинских клиник, не владеющих этими методами. Поэтому возникает необходимость в создании распределенной сетевой архитектуры информационной системы [12–13].

В настоящее время существует подход к созданию нового поколения медицинских информационных систем (МИС) медицинских организаций (МО) на основе принципов сервисно-ориентированной архитектуры (СОА) [14].

В данной работе мы хотели бы обратить внимание на некоторое ограничение СОА, связанное с развивающимся комплексным применением функциональных модулей с элементами искусственного интеллекта и машинного обучения. Традиционная схема обработки данных о здоровье пациента состоит в передаче их специализированному сервису, получение врачом результатов обработки и принятие решений. В условиях дальнейшего совершенствования моделей «цифровых двойников» возможно возникновение ситуаций, при которых могут быть получены новые данные, вызывающие необходимость уточнения уже сформированных ранее рекомендаций. В этом случае оперативное взаимодействие с профильными врачами делегируется интеллектуальным программным агентам.

Для реализации сетевой архитектуры мы предлагаем использовать комбинированную архитектуру МИС, в которой СОА расширяется программными агентами, способными взаимодействовать между собой и человеком при выполнении поставленных задач, что является новым подходом при построении таких систем.

Концептуальная схема интеграции в существующие МИС новых функций и последовательность взаимодействия агентов изображена в виде UML-диаграммы взаимодействия на рис. 2.

Агент построения 3D модели получает задание от врача, загружает результаты МРТ/КТ, сохранённые в формате DICOM и выполняет процедуры автоматического формирования 3D модели сердечно-сосудистой системы.

Врач с помощью агента визуализации имеет возможность просмотреть 3D модель и принять решение о направлении модели на предварительную диагностику наличия патологий. При этом исходные изображения DICOM с персональной информацией пациентов не передаются, а диагностика возможных патологий осуществляется на основе производной анонимизированной 3D модели.

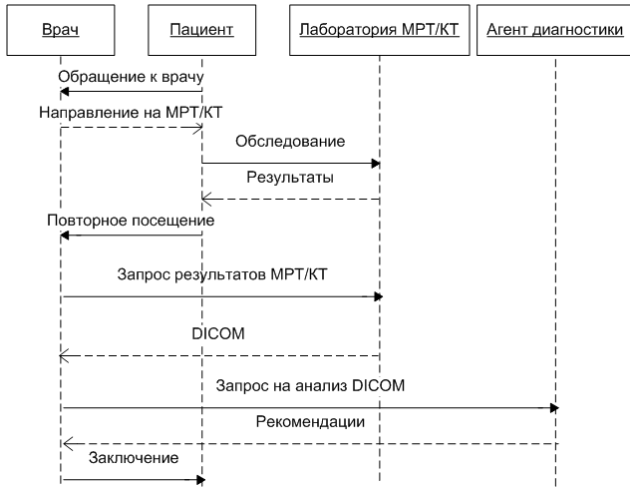


Рис. 2. Диаграмма взаимодействий агентов

Агент диагностики осуществляет процедуру поиска возможных патологий на основе полученной 3D модели пациента и моделей машинного обучения. Формируется диагноз, который может содержать перечень обнаруженных патологий сердечно-сосудистой системы. При этом используется метод решения задач множественного выбора в условиях неопределенности [15], применение которого рассматривается в следующем разделе доклада.

После подтверждения врачом диагноза о наличии или отсутствии определенных патологий, соответствующая модель пациента может быть добавлена в набор данных для агента машинного обучения.

Предлагается новый метод моделирования перцептивно-когнитивных агентов, которые могут научиться решать задачи классификации патологий сердечно-сосудистой системы с множественным выбором на основе текстовых и визуальных данных 3D моделей МРТ/КТ.

#### IV. МЕТОД МУЛЬТИНОМИАЛЬНОГО ВЫБОРА

В условиях объединения 3D моделей пациентов с несколькими различными диагностированными патологиями сердечно-сосудистой системы в обобщенном наборе данных для машинного обучения, возможно возникновение задачи множественного выбора в условиях неопределенности.

Результаты работы агента-классификатора могут быть представлены лицу, принимающему решение, в виде упорядоченного словаря с обозначениями классов в порядке убывания их вероятностей. Например, врач по собственному усмотрению, может выбрать более чем один вариант патологий.

Другим способом может служить непосредственное перечисление в модели классификации не только самих классов, но и их коллокаций.

При наличии большой обучающей выборки могут применяться мультиномиальные модели логит-регрессии (multinomial logit model) и мультиномиальные пробит-модели (multinomial probit model) [16].

Вопросы мультиномиального выбора нескольких вариантов ответов в задачах с визуальной неопределенностью и при отсутствии априорных данных, исследованы еще недостаточно.

Ранее авторами статьи разработан метод мультиномиального выбора, который был применен в перцептивно-когнитивных агентах, имитирующих работу человека в сериях задач поиска эталонных фигур в изображениях [15]. В некотором приближении агенты решали задачи, похожие на те, что решает врач при визуальном изучении изображений МРТ или КТ и поиске признаков наличия патологий.

В методе решения задачи мультиномиального выбора, формируется шкала приоритетов вариантов ответов путем последовательного применения методов Я. Коэна [17, 18] и парных сравнений Т. Саати [19].

Производится попарное сравнение показателей и определяется степень их различий по методу Я. Коэна. Результаты оценки по методу Я. Коэна используются в алгоритме парных сравнений по методу Т. Саати для определения приоритетов вариантов ответов (третья шкала).

В качестве индикатора различий применяется параметр Коэна  $d$  [17].:

$$d = \frac{\overline{x_1} - \overline{x_2}}{s}, \quad (1)$$

где  $\overline{x_1}$  и  $\overline{x_2}$  – средние значения показателей подобия изображений;  $S$  – объединенное стандартное отклонение (pooled standard deviation) [17].

В зависимости от рассчитанных значений параметра  $d$  (1), каждой паре показателей присваивается номер одного из шести классов [18].

Номера классов парных различий Я. Коэна преобразуются в номера классов относительной важности Т. Саати [19].

Программные агенты были применены и протестированы для автоматического решения двух визуальных тестов: серии задач теста по модифицированной компьютерной методике «Скрытые фигуры» (Hidden Figures Test, HFT) Л. Терстоуна [20] и серии задач «Сравнение похожих фигур» (Matching Familiar Figures Test MFFT) Дж. Кагана [21]. При использовании разработанного метода мультиномиального выбора были решены все тестовые серии задач с 100 % точностью. Задача классификации на две группы «положительных» и «отрицательных» ответов решалась двумя способами: методом К-средних [22] и с применением значения порога равновероятного выбора.

Программный агент может быть использован при верификации компьютерных версий других визуальных задач в разных предметных областях.

Использование перцептивно-когнитивных агентов для решения задач с множественным выбором в условиях визуальной неопределенности является перспективным направлением исследований в области искусственного интеллекта. Перцептивно-когнитивные агенты – это интеллектуальные агенты, которые могут воспринимать изображения, принимать решения и

действовать в сложных условиях, и они обладают потенциалом для повышения эффективности решения проблем в области диагностики сердечно-сосудистых заболеваний.

## V. РЕАЛИЗАЦИЯ

Программные агенты и библиотека программ формирования 3D моделей на основе файлов в формате DICOM разрабатывается с использованием свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе, с использованием технологий искусственного интеллекта. В качестве языков программирования используются C, Python, Javascript. В качестве операционной системы может использоваться как ОС Windows, так и открытые свободно распространяемые операционные системы.

## VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование интеллектуальных агентов может повысить эффективность решения проблем автоматизированной диагностики заболеваний и своевременного обнаружения патологий в сердечно-сосудистой системе, а также обеспечить персонализированную и адаптивную поддержку медицинских специалистов. В дальнейших исследованиях предполагается изучение как потенциала, так и ограничений перцептивно-когнитивных агентов, а также разработка более совершенных и надежных моделей и алгоритмов интеллектуальной поддержки решения проблем.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Указ Президента РФ от 7 мая 2018 г. N 204 "О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года" (с изменениями и дополнениями).
- [2] Приказ Министерства здравоохранения РФ от 7 апреля 2021 г. N 309 "Об утверждении Положения о формировании сети национальных медицинских исследовательских центров и об организации деятельности национальных медицинских исследовательских центров".
- [3] Updegrave A., Wilson N.M., Merkow J., et al. SimVascular: an open source pipeline for cardiovascular simulation // *Annals of biomedical engineering*. 2017. vol. 45. Pp. 525-541.
- [4] Taylor C.A., Draney M.T., Ku J.P., et al. Predictive medicine: computational techniques in therapeutic decision-making. *Computer Aided Surgery: Official Journal of the International Society for Computer Aided Surgery (ISCAS)*. 1999. Vol. 4. No. 5. Pp. 231-247.
- [5] Oscanoa J.A., Middione M.J., Alkan C., et al. Deep Learning-Based Reconstruction for Cardiac MRI: A Review. *Bioengineering*. 2023. Vol. 10. No. 3. Pp. 1-27.
- [6] Chen Y., Schönlieb C.B., Liò P., et al. AI-based Reconstruction for Fast MRI. // *A Systematic Review and Meta-analysis. Proceedings of the IEEE*. Vol. 110, No. 2. 2022. Pp. 224-244
- [7] Korkmaz Y., Dar S.U., Yurt M., et al. Unsupervised MRI reconstruction via zero-shot learned adversarial transformers. // *IEEE Transactions on Medical Imaging*. 2022. Vol. 41. No. 7. Pp. 1747-1763.
- [8] ГОСТ Р ИСО 12052-2009. Информатизация здоровья. Цифровые изображения и связь в медицине (DICOM), включая управление документооборотом и данными. М.: Стандартинформ. 2010. 16 с.
- [9] Pianykh O.S. Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM). A Practical Introduction and Survival Guide. Springer-Verlag. 2012. 417 p.
- [10] Lombardi M., Bartolozzi C. MRI of the Heart and Vessels. Springer Science & Business Media. 2005. 394 p.
- [11] Носова С.А. Построение модели кровеносных сосудов и их исследование по данным компьютерной томограммы. // *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского*. №. 1(2). 2014. С. 265-269.
- [12] Elmas G., Dar S.U., Korkmaz Y., et al. Federated learning of generative image priors for MRI reconstruction. // *IEEE Transactions on Medical Imaging*. 2022. Pp. 1-10.
- [13] Levac B.R., Arvinte M., Tamir J.I. Federated End-to-End Unrolled Models for Magnetic Resonance Image Reconstruction // *Bioengineering*. 2023. Vol. 10. No. 3. Pp. 1-19.
- [14] Карпов О.Э., Никуличев А.А., Пензин О.В., и др. Архитектура медицинских информационных систем нового поколения // *Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова*. 2019. Т. 14. №3. С. 126-134.
- [15] Pisarev A.S., Kotova E.E. Intelligent Software Agent for Solving Choice Problems under Uncertainty. // *International Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS)*. IEEE, 2022. Pp. 332-335.
- [16] Feng Q., Shanthikumar J.G., Xue M. Consumer choice models and estimation: A review and extension. *Production and Operations Management*. 2021.
- [17] Cohen J. Statistical power analysis for the behavioral sciences New York. NY: Academic. 1988. 4 p.
- [18] Sawilowsky S.S. New effect size rules of thumb // *Journal of modern applied statistical methods*. 2009. Vol. 8. No. 2. Pp. 26.
- [19] Saaty T.L. Decision making with the analytic hierarchy process // *International journal of services sciences*. 2008. Vol. 1.No. 1. Pp. 83-98.
- [20] Thurstone L.L. A factorial study of perception. University of Chicago Press. 1944.
- [21] Kagan J. Reflection-impulsivity: The generality and dynamics of conceptual tempo // *Journal of abnormal psychology*. 1966. Vol. 71. No. 1. Pp. 17-24.
- [22] Forgy E.W. Cluster analysis of multivariate data: efficiency versus interpretability of classifications // *Biometrics*. 1965.Vol. 21. Pp. 768-769.