

УДК 004.896

DOI: 10.22213/2413-1172-2023-4-13-22

Разработка антропоморфного стоматологического симулятора на базе робота Robo-C

А. А. Южаков, доктор технических наук, профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

С. Д. Арутюнов, доктор медицинских наук, профессор, Московский государственный медико-стоматологический университет имени А. И. Евдокимова, Москва, Россия

Н. Б. Асташина, доктор медицинских наук, профессор, Пермский государственный медицинский университет имени академика Е. А. Вагнера, Пермь, Россия

А. А. Байдаров, кандидат технических наук, доцент, Пермский государственный медицинский университет имени академика Е. А. Вагнера, Пермь, Россия

И. И. Безукладников, кандидат технических наук, доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

С. А. Сторожев, кандидат технических наук, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

Приведен анализ применения роботов (симуляторов) в образовании. Выделены перспективные направления их развития, такие как реалистичность, интерактивность, адаптация и персонализация. Рассмотрены особенности применения симуляторов в стоматологии. Определены главные недостатки имеющихся симуляторов в стоматологии, а именно отсутствие коммуникативной составляющей и имитации поведения пациента. За основу антропоморфного стоматологического симулятора взят робот Robo-C, который представляет собой уникальное сочетание передовых технологий и человеческой мимики, что позволяет ему общаться с людьми, воспроизводить движения разными частями тела и выражать эмоции. В качестве стоматологической компоненты созданы и внедрены в систему управления Robo-C: Smart-челюсть, включающая камеры и датчик температуры, и Smart-зуб, включающий датчик давления. Модернизирована система управления Robo-C с учетом Smart-челюсти и Smart-зуба, что позволило связать процесс лечения зубов с сервоприводами робота через его лингвистическую базу. Описан процесс анализа данных, полученных с камер Smart-челюсти, с помощью нейросети. Предложена двухступенчатая схема классификации дефектов зубов и доказана ее эффективность. Лингвистическая база содержит набор правил, с помощью которых устройства (микрофон, динамики, сервоприводы, Smart-челюсть, Smart-зуб) взаимодействуют друг с другом. Приведен пример составления правила лингвобазы. Лингвистическая база, Smart-челюсть и Smart-зуб настраиваются под один из четырех кейсов: лечение кариеса, препарирование зуба под коронку, удаление зуба, эндодонтическое лечение. Контроль качества лечения осуществляется с помощью комплексной оценки коммуникационного взаимодействия с роботом и анализа данных Smart-челюсти и Smart-зуба. Приведен пример работы в одном из кейсов. Антропоморфный стоматологический симулятор, представленный в статье, позволяет применять новые технологии в обучении стоматологов, а также проводить симуляцию различных стоматологических манипуляций, что значительно улучшит практическую подготовку студентов к работе с пациентами.

Ключевые слова: симулятор, Robo-C, Smart-челюсть, Smart-зуб, кейс, лингвистическая база.

Введение

Симуляторы в образовании являются мощным инструментом, который активно развивается и применяется в современных учебных программах. Они представляют собой компьютерные программы или виртуальные среды, которые позволяют студентам имитировать реальные ситуации и получать практические навыки в безопасной и контролируемой обстановке [1–3].

Развитие симуляторов в образовании происходит в нескольких направлениях. Во-первых,

симуляторы становятся все более реалистичными и интерактивными. Благодаря передовым технологиям виртуальной реальности и дополненной реальности, студенты могут погружаться в виртуальные среды, которые воссоздают реальные ситуации и объекты [4]. Это позволяет им получать более глубокое понимание и опыт в различных областях, таких как медицина, авиация, инженерия и др.

Во-вторых, симуляторы становятся более персонализированными и адаптивными. С помощью алгоритмов машинного обучения и ис-

кусственного интеллекта [5] симуляторы могут анализировать действия студентов и предлагать индивидуальные рекомендации и подсказки. Это помогает студентам сосредоточиться на проработке своих слабых мест в подготовке и эффективнее использовать свое время и усилия.

Наконец, симуляторы в образовании становятся все более широко применяемыми в различных областях. Они используются для обучения медицинским процедурам, пилотированию самолетов, управлению бизнесом, программированию и др. Симуляторы позволяют студентам получать практический опыт, который раньше был доступен только в реальных условиях, что помогает им лучше подготовиться к жизненным ситуациям и повысить свою профессиональную компетентность.

В целом развитие симуляторов в образовании открывает новые возможности для студентов и преподавателей. Они помогают улучшить качество образования, повысить мотивацию студентов и развить практические навыки, необходимые для успешной карьеры. Симуляторы становятся неотъемлемой частью современного образования и продолжают эволюционировать, чтобы соответствовать потребностям и требованиям современного общества.

В настоящее время симуляторы в стоматологии представляют собой специальные обучающие системы, которые имитируют реальные стоматологические процедуры и позволяют студентам получать доклинический опыт мануальной работы [6]. Они имеют ряд особенностей, которые делают их эффективными инструментами обучения в данной области.

Реалистичность. Симуляторы в стоматологии стремятся максимально приблизиться к реальным условиям работы врача-стоматолога. Они воссоздают анатомические структуры полости рта, зубы, десны и другие ткани с высокой степенью детализации. Это позволяет студентам тренироваться на реалистичных моделях и развивать необходимые профессиональные навыки.

Интерактивность. Симуляторы в стоматологии обеспечивают интерактивное взаимодействие между студентом и системой. Они могут имитировать различные стоматологические инструменты, такие как сверла, зонды, аспираторы и другие, и позволяют студентам выполнять различные процедуры, такие как удаление зуба, пломбирование, чистка зубов и др. Студенты могут получать обратную связь о своих действиях и улучшать свои навыки.

Безопасность. Симуляторы в стоматологии предоставляют безопасную среду для обучения. Студенты могут тренироваться на моделях без риска нанесения вреда пациентам. Это особенно важно на ранних стадиях обучения, когда студенты только начинают осваивать стоматологические навыки.

Повторяемость. Симуляторы в стоматологии позволяют студентам повторять процедуры столько раз, сколько необходимо для достижения оптимальных результатов. Студенты могут исправлять ошибки, анализировать свои действия и улучшать свои навыки. Это помогает развивать уверенность и компетентность в своей работе.

Обратная связь. Симуляторы в стоматологии предоставляют обратную связь о действиях студента. Они могут анализировать правильность выполнения процедур, оценивать качество работы и предлагать рекомендации для улучшения. Это помогает студентам понимать свои ошибки и развивать навыки более эффективно.

Симуляторы в стоматологии играют важную роль в обучении студентов и помогают им приобретать необходимые навыки и опыт перед работой с реальными пациентами. Они позволяют студентам тренироваться в безопасной и контролируемой среде, повышая качество стоматологического образования и практико-ориентированную подготовку будущих специалистов к профессиональной деятельности.

Недостатками существующих симуляторов в стоматологии являются: отсутствие коммуникативной составляющей (обратной связи), отсутствие имитации поведения пациента. Стоматологический антропоморфный робот-симулятор Robo-C, представленный в статье, создавался с целью устранения вышеупомянутых недостатков.

Стоматологический антропоморфный робот-симулятор Robo-C

В наше время, когда технологии продолжают удивлять нас своими возможностями, появление человекоподобных роботов становится все более удивительным и захватывающим. Один из таких роботов, Robo-C (рис. 1), представляет собой уникальное сочетание передовых технологий и человеческой мимики, способен общаться с людьми и выражать эмоции [7, 8].

Одной из впечатляющих особенностей Robo-C является его способность иметь внешность любого человека на Земле независимо от пола, возраста и национальности. Более того, робот воспроизводит более 600 вариантов микроми-

мики человека за счет движения глаз, бровей, губ, шеи и мышц лица. Robo-C также оснащен подвижными руками, которые имитируют человеческую жестикуляцию. Он может коммуницировать с людьми, отвечая на часто задаваемые вопросы [9].



Рис. 1. Внешний вид Robo-C

Fig. 1. Appearance of Robo-C

Robo-C также обладает удивительной способностью запоминать людей и узнавать их при повторной встрече. Он способен вести свобод-

ные беседы на различные темы, а также общаться на темы, которые были заранее запрограммированы [10, 11].

Стоматологический симулятор, основанный на технологии Robo-C, представляет собой уникальную возможность для пациентов и врачей-стоматологов. Он позволяет симулировать различные стоматологические процедуры, обучать студентов и помогать пациентам лучше понять направленность их лечения. Благодаря передовым возможностям Robo-C, стоматологический симулятор становится незаменимым инструментом в области стоматологического образования.

В данной статье представлены возможности стоматологического симулятора на основе Robo-C и его преимущества для пациентов и врачей-стоматологов [12–15].

Система управления

Исходная система управления Robo-C имеет микрофон, динамики, сервоприводы, которые взаимодействуют между собой с помощью лингвистических баз данных (лингвобаза). Распознаватель речи преобразует звуковую информацию, поступающую на микрофон, в текст. Далее лингвобаза анализирует текст и формирует ответ в виде воспроизведения звука в динамиках и движения с помощью сервоприводов [16–18].

На рисунке 2 приведена модернизированная система управления антропоморфного стоматологического симулятора на базе робота Robo-C.

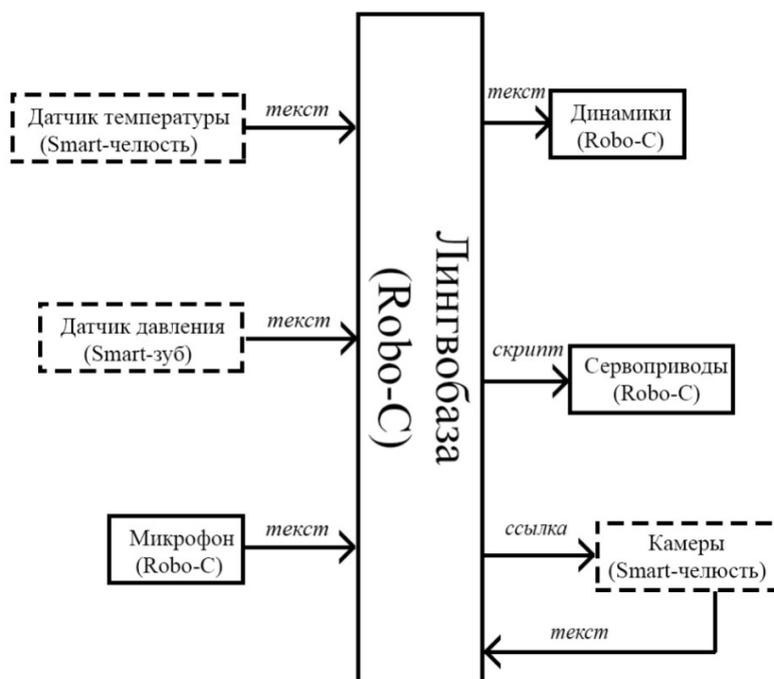


Рис. 2. Модернизированная система управления Robo-C

Fig. 2. Robo-C upgraded robot control system

Отличием модернизированной системы управления (рис. 2) от исходной является наличие Smart-челюсти, включающей в себя камеры и датчик температуры, и Smart-зуба, включающего в себя датчик давления (Разработка комплекса «Антропоморфный стоматологический робот» с элементами искусственного интеллекта для имитации врачебных манипуляций и коммуникации «врач – пациент» / Н. Б. Асташина А. А. Байдаров, С. Д. Арутюнов [и др.] // Пермский медицинский журнал. 2022. Т. 39, № 6. С. 62–70. DOI: 10.17816/pmj39662-70).

Информация с датчика давления и датчика температуры преобразуется в текст и поступает в лингвобазу при превышении предельных значений для имитации боли пациента.

Анализ данных с камер в Smart-челюсти

Камеры в Smart-челюсти включаются по команде, которая формируется в лингвобазе, при начале лечения того или иного зуба, а также анализируют информацию и посылают команды в лингвобазу в случае обнаружения ошибок в лечении.

За съемку отвечает программа, написанная на языке C++ с использованием библиотеки для получения полноразмерных фотографий с камер и сохранения серии фотографий, иллюстрирующих разные стадии обработки зуба в базу данных. Выбор в пользу собственной библиотеки вместо библиотеки Open CV объясняется тем, что популярная библиотека Open CV не работает со специфическими размерами и форматами фотокамер, в частности, невозможно получить изображение в 5 мегапикселей с используемых компактных камер, а изображение HD не устраивает с точки зрения качества распознавания. Кроме получения фотографий с камер программа отбраковывает фотографии, имеющие смазанные детали и проблемы с фокусом; это достигается благодаря вычислению Лапласиана (см. Kokoulin A.N., Kokoulin R.A. The Hierarchical Approach for Image Processing in Objects Recognition System).

Помимо запуска программы получения фотографий с камер необходимо запустить и инициализировать программу детекции, использующую свою нейронную сеть для каждого кейса. Специфика каждого кейса заключается в особенностях визуального анализа качественных и количественных показателей, получаемых при сравнении исходного изображения зуба и конечного результата лечения. В частности, при лечении «кариеса» необходимо анализировать не только глубину и прочие линейные размеры препариро-

вания, но и форму. Нейронная сеть позволяет оценить форму по большому набору фотографий результатов правильного лечения и лечения, выполненного с ошибками, например, неровные края, непостоянная глубина, низкое качество выполнения углов и поверхностей. В случае лечения «под коронку» необходимо оценить результат препарирования не только сверху, но и сбоку, чтобы определить качество поверхности и объем снятого материала. При этом работают две нейронные сети, обученные на фотографиях результатов лечения в ракурсах сверху и в профиль. При удалении и лечении канала опираются не только на результаты распознавания соответствующих нейронных сетей, но и на показания разнообразных датчиков, встроенных в Smart-зубы и челюсть. В данной статье применяется архитектура нейронной сети YOLO (см. Kokoulin A.N., Kokoulin R.A. The Hierarchical Approach for Image Processing in Objects Recognition System).

Для анализа полученных изображений используется двухступенчатая схема распознавания, в которой на первом этапе обнаруживается пролеченный зуб, а на втором этапе анализируется только поверхность зуба с обрезкой фона. Данный подход помогает достичь требуемой точности обнаружения и классификации дефекта зуба.

Был поставлен эксперимент по проверке эффективности двухступенчатой схемы (рис. 3, б). Сравнивались традиционный одноуровневый подход и двухступенчатый на 8 тестовых снимках. Результаты приведены в таблице 1.

Анализ результатов, представленных в таблице 1, подтверждает повышение качества обнаружения дефектов при использовании двухступенчатой схемы, что доказывает эффективность применения данного подхода при обработке изображений с камер Smart-челюсти.

Контроль качества лечения

В упомянутой ранее модернизированной системе управления Robo-C присутствует 4 кейса (лечение кариеса, препарирование зуба под коронку, удаление зуба, эндодонтическое лечение), каждый из которых моделирует то или иное заболевание (Стоматологический симулятор на базе робототехнического комплекса с интегрированной смарт-челюстью / С. Д. Арутюнов, А. А. Южаков, Я. Н. Харях [и др.] // Российский стоматологический журнал. 2023. Т. 27, № 1. С. 63–70. DOI: 10.17816/dent115139).

В каждом кейсе предусматриваются определенные Smart-челюсть, Smart-зуб, лингвобазы, движения и настройки их взаимодействия (пре-

дельные значения датчиков, необходимые камеры и др.).

Контроль качества лечения осуществляется с помощью комплексной оценки коммуникаци-

онного взаимодействия и анализа данных, полученных с камер и датчиков. Далее приведены примеры коммуникационного взаимодействия и контроля качества лечения зуба.

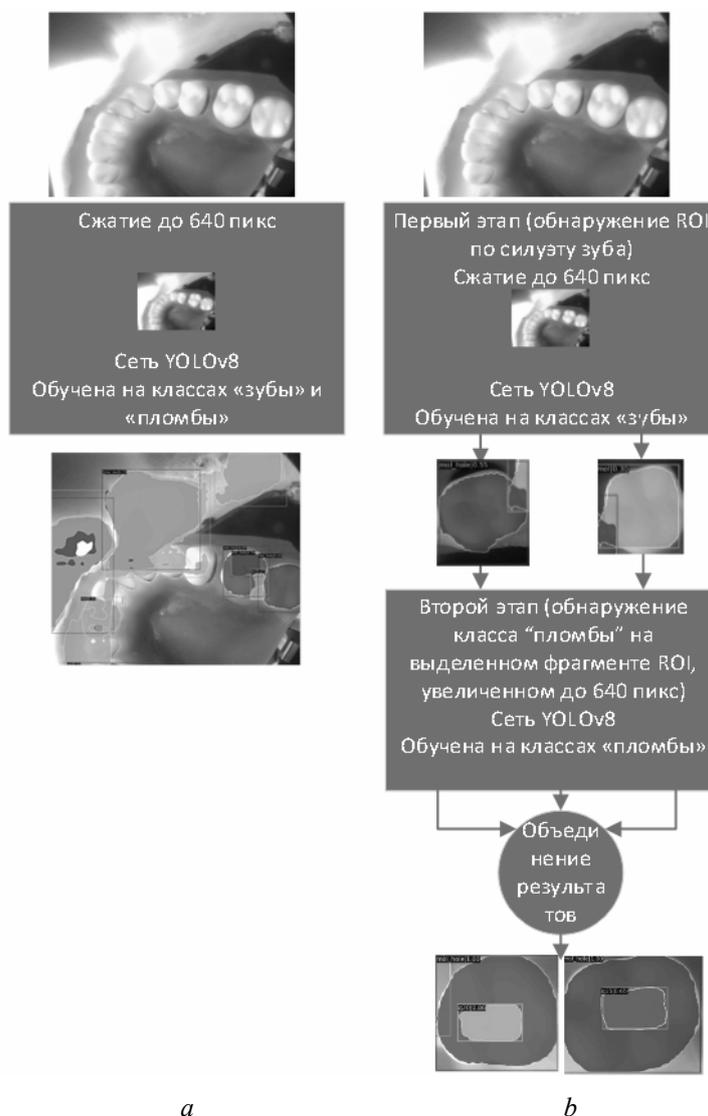


Рис. 3. Одноступенчатая (a) и двухступенчатая (b) схема классификации и анализа данных с камер

Fig. 3. Single-stage (a) and two-stage (b) scheme for classification and analysis of data from cameras

Таблица 1. Результаты распознавания дефектов зубов

Table 1. Results of recognition of dental defects

№ снимка	Количество дефектов на снимке	Распознано нейросетью с использованием одноступенчатой схемы (верно/с ошибкой)	Распознано нейросетью с использованием двухступенчатой схемы (верно/с ошибкой)
1	9	9/0	7/5
2	7	6/0	3/2
3	10	10/0	8/3
4	6	6/0	2/2
5	9	8/0	7/2
6	8	8/0	5/1
7	3	3/0	3/2
8	5	4/0	3/4

Пример коммуникационного взаимодействия внутри кейса

На рисунке 4 приведен пример правила лингвобазы [20]. В верхней части рисунка приведен пример текста на входе в лингвобазу, который получен от микрофона, камер в Smart-челюсти или от датчиков температуры и давления (сенсоров). В нижней части слева: указан текст

ответа, который воспроизводится на динамиках, в центре: указано имя скрипта (сценария), для выполнения движений робота, справа: указывается ссылка для включения тех или иных камер в зависимости от расположения зуба.

Пример работы системы управления в одном из кейсов приведен в таблице 2.

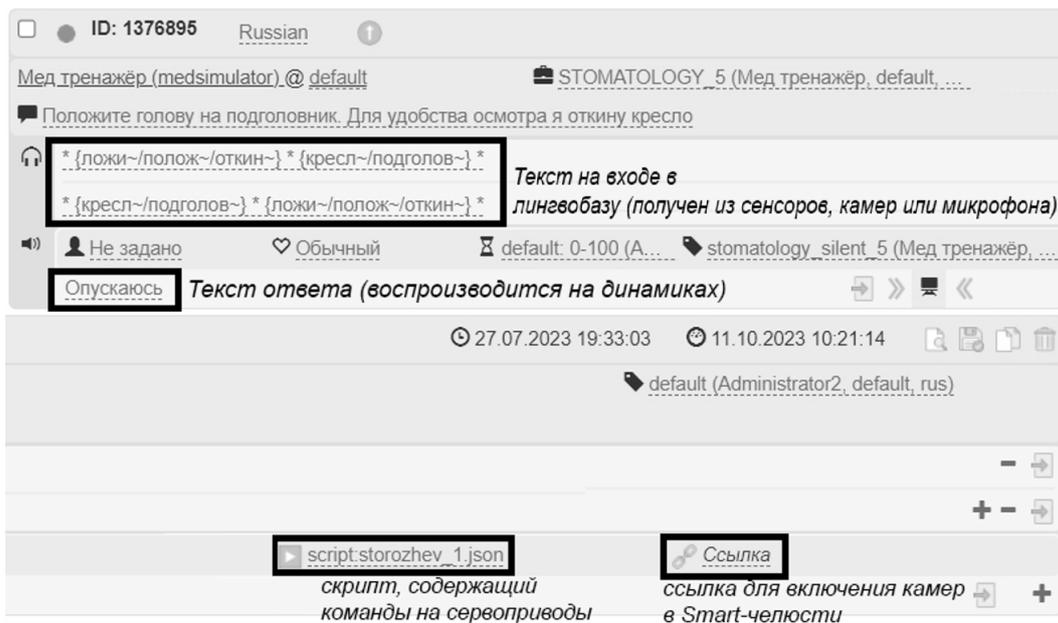


Рис. 4. Пример правила лингвобазы

Fig. 4. Example of language data base rules

Таблица 2. Описание работы системы управления в кейсе

Table 2. Description of the operation of the control system in the case

Текстовая информация на входе в лингвобазу	Текст, воспроизводимый на динамиках	Имя скрипта	Команды на камеры
Здравствуйте (микрофон)	Приветствую, доктор	–	–
Положите голову на подголовник (микрофон)	Опускаюсь	naklon.json	–
Лечение необходимо по поводу зуба 1.6 (микрофон)	Хорошо	–	Включение камер справа
Давление выше предела (сенсоры)	Мне больно	bolno.json	–
Задели десну (камеры)	Мне неприятно	desna.json	–
Работы завершены (микрофон)	Поднимаюсь	cancel.json	Выключение камер

По полученным результатам, которые приведены в таблице, проверяющий оценивает правильность действий врача с точки зрения диалоговой составляющей.

Пример контроля качества лечения зуба внутри кейса

На рисунке 5 приведен пример контроля качества лечения зуба с помощью камер и датчиков.

С помощью камер в полости рта врач-стоматолог получает высококачественные фотографии зубов, десен и других структур полости рта. Эти изображения обрабатываются нейросетью, тем самым позволяя выявить «больные» зубы и оценить качество их лечения (см. Kokoulin A.N., Kokoulin R.A. The Hierarchical Approach for Image Processing in Objects Recogni-

tion System). Врач-стоматолог может использовать камеру для мониторинга этапов лечения и убедиться, что процедура выполняется правильно.

Использование камер и датчиков для контроля качества лечения зуба позволяет врачам-стоматологам получать более точные диагнозы и обеспечивать более эффективное лечение.

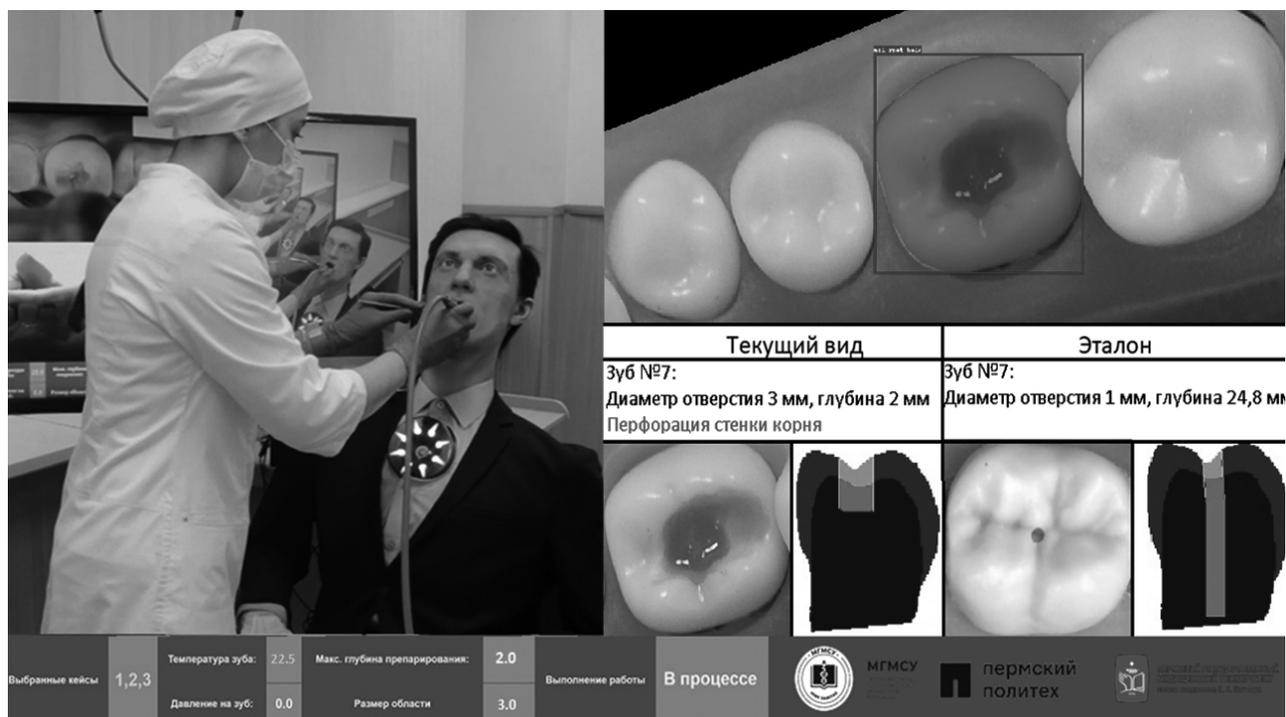


Рис. 5. Контроль качества препарирования зуба

Fig. 5. Treatment quality control

Выводы

Разработана система управления антропоморфного стоматологического симулятора на базе робота Robo-C. Она включает в себя распознавание речи, воспроизведение фраз и движений, а также Smart-челюсть, Smart-зуб и камеры внутри полости рта, что является модернизацией исходной системы управления Robo-C. Процесс анализа данных, полученных с камер Smart-челюсти, осуществляется с помощью нейросети, которая имеет структуру YOLO. Использована двухступенчатая схема классификации дефектов зубов по принципу обнаружения конкретного зуба и анализа его поверхности. Доказана эффективность предложенного подхода. Приведен пример работы в одном из кейсов. Особое внимание уделяется развитию коммуникационных навыков с различными типами пациентов (злой, нервный и др.). Во время лечения осуществляется автоматизированный контроль качества, учитывающий качество лечения зуба с помощью анализа изображений с камер и показаний датчиков. Предлагаемое решение позволяет применить новые технологии при обучении врачей-стоматологов, симулировать

различные стоматологические манипуляции, что позволяет улучшить процесс практико-ориентированного обучения студентов и лучше подготовить к работе в клинике со стоматологическими пациентами.

Библиографические ссылки

1. Жигалова О. П. Учебные симуляторы в системе профессионального образования: педагогический аспект // Азимут научных исследований: педагогика и психология. 2021. Т. 10, № 1(34). С. 109–112. DOI: 10.26140/anipr-2021-1001-0026. EDN AGLSYQ.
2. Дудырев Ф. Ф., Максименкова О. В. Симуляторы и тренажеры в профессиональном образовании: педагогические и технологические аспекты // Вопросы образования. 2020. № 3. С. 255–276. DOI: 10.17323/1814-9545-2020-3-255-276. EDN HYRSLG.
3. Галиакберова А. А., Галямова Э. Х., Матвеев С. Н. Методические основы проектирования цифрового симулятора педагогической деятельности // Вестник Мининского университета. 2020. Т. 8, № 3(32). С. 2. DOI: 10.26795/2307-1281-2020-8-3-2. EDN EUCXLZ.
4. Мальцева А. П., Касаткина Н. М., Солтис В. В. Проблемы разработки и использования VR-симуляторов в системе подготовки учителей // Поволжский педагогический поиск. 2022. № 2(40). С. 78–86. DOI: 10.33065/2307-1052-2022-2-40-78-86. EDN CNVRCK.

5. Гушанский С. М., Горбунов А. В., Переверзев В. А. Применимость квантовых нейронных сетей для задач распознавания и обнаружения образов // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2019. № 3(246). С. 59–68. EDN WTKSGO.

6. Ксембаев С. С., Мусин И. Н., Салахов А. К. Зубочелюстной тренажер “Dentafit” – инновация для улучшения стоматологического здоровья // Уральский медицинский журнал. 2018. № 6(161). С. 59–61. DOI: 10.25694/URMJ.2018.04.097. EDN YMSKRF.

7. Дьяченко Е. В. Симулированный пациент, или Пациент-робот в обучении врачей профессиональному общению – единство противоположностей // Виртуальные технологии в медицине. 2021. № 3(29). С. 137–138. EDN NCZLYH.

8. Анализ информационного и математического обеспечения для распознавания аффективных состояний человека / А. А. Двойникова, М. В. Маркидантов, Е. В. Рюмина [и др.] // Информатика и автоматизация. 2022. Т. 21, № 6. С. 1097–1144. DOI: 10.15622/ia.21.6.2. EDN TALRUF.

9. Вронский А. С., Аверков О. С., Байдаров А. А. Роботы диагносты – новый взгляд на профилактику и профилактические осмотры // Виртуальные технологии в медицине. 2020. № 4(26). С. 27–29. EDN АНWTZC.

10. Гасумова С. Е., Портер Л. Роботизация социальной сферы // Социология науки и технологий. 2019. Т. 10, № 1. С. 79–94. DOI: 10.24411/2079-0910-2019-10006. EDN EWWFHX.

11. Мосина А. А., Соболева О. В. О возможности использования текстов-примитивов для организации диалога «человек – робот» // Перевод, реклама и PR в современной коммуникации. 2020. Т. 1. С. 51–57. EDN VKEEZI.

12. Стоматологический симулятор на базе робототехнического комплекса с интегрированной смарт-челюстью / С. Д. Арутюнов, А. А. Южаков, Я. Н. Харах [и др.] // Российский стоматологический журнал. 2023. Т. 27, № 1. С. 63–70. DOI: 10.17816/dent115139. EDN LMGDRW.

13. Разработка комплекса «Антропоморфный стоматологический робот» с элементами искусственного интеллекта для имитации врачебных манипуляций и коммуникации «врач – пациент» / Н. Б. Асташина, А. А. Байдаров, С. Д. Арутюнов [и др.] // Пермский медицинский журнал. 2022. Т. 39, № 6. С. 62–70. DOI: 10.17816/pmj39662-70. EDN CNJATY.

14. Интерактивная цифровая платформа и киберфизические системы медицинского образования / С. Д. Арутюнов, А. А. Южаков, Я. Н. Харах [и др.] // Пародонтология. 2022. Т. 27, № 4. С. 318–326. DOI: 10.33925/1683-3759-2022-27-4-318-326. EDN VTOFWY.

15. Стоматологический антропоморфный робот. Новая эра в имитации врачебных манипуляций и клинического приема / О. О. Янушевич, А. А. Ташкинов, Н. В. Минаева [и др.] // Cathedra – Кафедра. Стоматологическое образование. 2021. № 78. С. 64–67. EDN USYKQC.

16. Zhang X.L., Luo Z.G., Li M.J. (2014) Journal Of Computer Science and Technology, Springer, November 2014, vol. 29, iss. 6, pp 1072-1082. DOI: 10.1007/s11390-014-1491-0

17. Григоренко А. А., Каратун С. М. Распознавание речи с использованием нейронных сетей // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 34. С. 553–559. EDN SSOBMH.

18. Воробьева С. А. Методы распознавания речи // Молодой ученый. 2016. № 26(130). С. 136–141. EDN XCHXSXV.

19. Kokoulin A.N., Kokoulin R.A. (2022) The Hierarchical Approach for Image Processing in Objects Recognition System: Proc. of the 2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2022, St. Petersburg, January 25-28, 2022. St. Petersburg, 2022, pp. 340-344. DOI: 10.1109/ElConRus54750.2022.9755654. EDN MVCVOR.

20. Карташев В. А., Карташев В. В. Диалог человека и робота по заданному сценарию // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. 2022. № 101. С. 1–14. DOI: 10.20948/prepr-2022-101. EDNSRDPLV.

References

1. Zhigalova O.P. (2021) [Training simulations in the vocational education system: pedagogical aspect]. *Azimuth nauchnykh issledovaniy: pedagogika i psihologiya*, 2021, vol. 10, no. 1(34), pp. 109-112 (in Russ.). DOI: 10.26140/anip-2021-1001-0026

2. Dudyrev F.F., Maksimenkova O.V. (2020) [Simulators and trainers in vocational education: pedagogical and technological aspects]. *Voprosy obrazovaniya*, 2020, no. 3, pp. 255-276 (in Russ.). DOI: 10.17323/1814-9545-2020-3-255-276

3. Galiakberova A.A., Galyamova E.H., Matveev S.N. (2020) [Methodological basis for designing a digital simulator of teaching activities]. *Vestnik Mininskogo universiteta*, 2020, vol. 8, no. 3(32), pp. 2 (in Russ.). DOI: 10.26795/2307-1281-2020-8-3-2

4. Malceva A.P., Kasatkina N.M., Soltis V.V. (2022) [Problems of developing and using VR simulators in the teacher training system]. *Povolzhskij pedagogicheskij poisk*, 2022, no. 2(40), pp. 78-86 (in Russ.). DOI: 10.33065/2307-1052-2022-2-40-78-86

5. Gushanskij S.M., Gorbunov A.V., Pereverzev V.A. (2019) [Applicability of quantum neural networks for pattern recognition and detection problems]. *Vestnik Aдыgejskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 4: Estestvenno-matematicheskie i tekhnicheskie nauki*, 2019, no. 3(246), pp. 59-68 (in Russ.).

6. Ksembaev S.S., Musin I.N., Salahov A.K. (2018) [Dental simulator “Dentafit” - an innovation to improve dental health]. *Uralskij medicinskij zhurnal*, 2018, no. 6(161), pp. 59-61 (in Russ.). DOI: 10.25694/URMJ.2018.04.097

7. Dyachenko E.V. (2021) [Simulated patient or robot patient in training doctors in professional communication - the unity of opposites]. *Virtualnye tekhnologii v medicine*, 2021, no. 3(29), pp. 137-138 (in Russ.).

8. Dvojnjkova A.A., Markitantov M.V., Ryumina E.V. (2022) [Analysis of information and mathematical support for recognizing human affective states]. *Informatika i avtomatizaciya*, 2022, vol. 21, no. 6, pp. 1097-1144 (in Russ.). DOI: 10.15622/ia.21.6.2
9. Vronskij A.S., Averkov O.S., Bajdarov A.A. (2020) [Robot diagnosticians – a new look at prevention and preventive examinations]. *Virtualnye tekhnologii v medicine*, 2020, no. 4(26), pp. 27-29 (in Russ.).
10. Gasumova S.E., Porter L. (2019) [Robotization of the social sphere]. *Sociologiya nauki i tekhnologii*, 2019, vol. 10, no. 1, pp. 79-94 (in Russ.). DOI: 10.24411/2079-0910-2019-10006
11. Mosina A.A., Soboleva O.V. (2020) [On the possibility of using primitive texts to organize the dialogue “man - robot”]. *Perevod, reklama i PR v sovremennoj kommunikacii*, 2020, vol. 1, pp. 51-57 (in Russ.).
12. Arutyunov S.D., Yuzhakov A.A., Harah Ya.N. (2023) [Dental simulator based on a robotic complex with an integrated smart jaw]. *Rossijskij stomatologicheskij zhurnal*, 2023, vol. 27, no. 1, pp. 63-70 (in Russ.). DOI: 10.17816/dent115139
13. Astashina N.B., Bajdarov A.A., Arutyunov S.D. (2022) [Development of the “Anthropomorphic dental robot” complex with elements of artificial intelligence to simulate medical manipulations and doctor-patient communication]. *Permskij medicinskij zhurnal*, 2022, vol. 39, no. 6, pp. 62-70 (in Russ.). DOI: 10.17816/pmj39662-70
14. Arutyunov S.D., Yuzhakov A.A., Harah Ya.N. (2022) [Interactive digital platform and cyberphysical systems for medical education]. *Parodontologiya*, 2022, vol. 27, no. 4, pp. 318-326 (in Russ.). DOI: 10.33925/1683-3759-2022-27-4-318-326
15. Yanushevich O.O., Tashkinov A.A., Minaeva N.V. (2021) [Dental anthropomorphic robot. A new era in simulating medical procedures and clinical encounters]. *Cathedra-Kafedra. Stomatologicheskoe obrazovanie*, 2021, no. 78, pp. 64-67 (in Russ.).
16. Zhang X.L., Luo Z.G., Li M.J. (2014) *Journal of Computer Science and Technology*, Springer, November 2014, Vol. 29, Iss. 6, pp 1072-1082. DOI: 10.1007/s11390-014-1491-0
17. Grigorenko A.A., Karatun S.M. (2021) [speech recognition using neural networks]. *Innovacii. Nauka. Obrazovanie*, 2021, no. 34, pp. 553-559 (in Russ.).
18. Vorobeva S.A. (2016) [Speech recognition methods]. *Molodoj uchenyj*, 2016, no. 26(130), pp. 136-141 (in Russ.).
19. Kokoulin A.N., Kokoulin R.A. (2022) The Hierarchical Approach for Image Processing in Objects Recognition System: Proc. of the 2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2022, St. Petersburg, January 25-28, 2022. St. Petersburg, 2022, pp. 340-344. DOI: 10.1109/ElConRus54750.2022.9755654. EDN MVCVOR.
20. Kartashev V.A., Kartashev V.V. (2022) [Dialogue between a person and a robot according to a given scenario]. *Preprinty IPM im. M.V. Keldysha*, 2022, no. 101, pp. 1-14 (in Russ.). DOI: 10.20948/prepr-2022-101

Development of an Anthropomorphic Dental Simulator Based on the Robo-C Robot

A.A. Yuzhakov, DSc in Engineering, Professor, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

S.D. Arutyunov, Doctor of Medicine, Professor, Moscow State Medical and Dental University named after A.I. Evdokimov, Moscow, Russia

N.B. Astashina, Doctor of Medicine, Professor, Perm State Medical University named after Academician

E.A. Wagner, Perm, Russia

A.A. Baidarov, PhD in Engineering, Associate Professor, Perm State Medical University named after Academician

E.A. Wagner, Perm, Russia

I.I. Bezukladnikov, PhD in Engineering, Associate Professor, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

S.A. Storozhev, PhD in Engineering, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

An analysis of robots (simulators) in education is provided. Promising directions for their development are highlighted, such as realism, interactivity, adaptation and personalization. The features of using simulators in dentistry are considered. The main disadvantages of existing simulators in dentistry have been identified, namely the lack of a communicative component and imitation of patient behavior. The anthropomorphic dental simulator is based on the Robo-C robot, which is a unique combination of advanced technologies and human facial expressions, which allows it to communicate with people, reproduce movements of different parts of the body and express emotions. As dental components, the following components were created and implemented into the Robo-C control system: a Smart jaw, including cameras and a temperature sensor, and a Smart tooth, including a pressure sensor. The Robo-C control system has been upgraded taking into account the Smart jaw and Smart tooth, which made it possible to connect the dental treatment process with the robot's servos through its linguistic base. The process of analyzing data obtained from Smart jaw cameras using a neural network is described. A two-stage classification scheme for dental defects has been proposed and its effectiveness has been proven. The linguistic base contains a set of rules with the help of which devices (microphone, speakers, servos, Smart jaw, Smart tooth) interact with each other. An example of compiling a linguistic database rule is given. The linguistic base, Smart-jaw and Smart-tooth are configured for one of four cases: caries treatment, tooth preparation for a crown, tooth extraction, endodontic treatment. Treatment quality control is carried out using a comprehensive assessment of communication interaction with the robot and analysis of Smart-jaw and Smart-tooth data. An example of work in one of the cases is given. The anthropomorphic dental simu-

lator presented in the article allows the use of new technologies in the training of dentists, as well as the simulation of various dental procedures, which will significantly improve the practical preparation of students for working with patients.

Keywords: simulator, Robo-C, Smart-jaw, Smart-tooth, case, linguistic base.

Получено 31.10.2023

Образец цитирования

Разработка антропоморфного стоматологического симулятора на базе робота Robo-C / А. А. Южаков, С. Д. Арутюнов, Н. Б. Асташина, А. А. Байдаров, И. И. Безукладников, С. А. Сторожев // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2023. Т. 26, № 4. С. 13–22. DOI: 10.22213/2413-1172-2023-4-13-22

For Citation

Yuzhakov A.A., Arutyunov S.D., Astashina N.B., Baidarov A.A., Bezukladnikov I.I., Storozhev S.A. (2023) [Development of an Anthropomorphic Dental Simulator Based on the Robo-C Robot]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2023, vol. 26, no. 4, pp. 13-22 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2023-4-13-22