

## КОНСОЛИДАЦИЯ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ АССИСТИРУЮЩЕЙ РОБОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ: ТРАНСФОРМАЦИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

*Сагадиев С., Ильина Е.А., Логунова О.С., Кухта Ю.Б., Николаев А.А.*

**Аннотация:** В статье приведены результаты начального исследования по разработки программного обеспечения для обработки информации в ассистирующей робототехнической системе. Целью исследования является синтез комплекса алгоритмов, позволяющих выполнять трансформацию цифрового куба, соответствующих его сжатию и растяжению под любым углом к поверхности с заданным усилием, и визуализацию результатов преобразования в объемной форме и любом плоском сечении. В работе представлено решение задач: формирование 3D изображения в виде цифрового куба с возможностью его расслоения по дискретной сетке; консолидация информации при трансформации и визуализации виртуального объекта, формирование схемы соответствия действий специалиста эксперта и робототехнической системы. Работы проводились в 2019-2020 году. В результате исследования спроектированы и разработаны: общая концепция ассистирующей робототехнической системы, программный модуль трансформации и визуализации квазикуба виртуального объекта. Определены направления развития системы.

**Ключевые слова:** ассистирующая робототехническая система, 3D изображение, трансформация изображения, цифровой куб для изображения, сжатие цифрового куба, композиция преобразований для послойной визуализации.

### Введение

Развитие современных цифровых технологий открывают новые возможности в создании интеллектуальных систем, использующих методы и средства трансформации и визуализации многомерных изображений. Одной из востребованных областей, обеспечивающих условия жизни человека в обществе, является медицина. В этой области бурно развиваются технологии диагностирования, построенные на основе визуализации изображения структурных частей организма человека. Широкое внедрение этих технологий требует проектирования и разработки ассистирующих робототехнических систем (АРС) для обучения персонала и дистанционного проведения обследования.

Одной из составных частей АРС является модули трансформации и визуализации получаемой информации с диагностических аппаратов. В настоящее время широко используются 3D изображения, представленные в виде цифрового куба. Поиск опубликованных материалов на платформе Российского индекса научного цитирования позволил найти более 70 тысяч источников по трансформации 3D изображений и более 100 тысяч по способам и методам визуализации. При этом анализ теоретических и практических разработок показал, что широко освещены исследования в области визуализации и трансформации виртуального объекта аналогичного реальному. При визуализации виртуального объекта наибольшее внимание уделяется:

- визуализации видимой поверхности объекта при отсутствии [1-4] или наличии [5-8] информации о его внутренней структуре;
- получению информации в статическом или динамическом режиме при формировании исходных данных об объекте [9-13];
- визуализации объекта с учетом уровня детализации его структуры [14-16];
- визуализации объекта с учетом его физико-химических свойств [17-19].

Трансформация виртуального объекта использует методы моделирования и включает:

- методы деформации виртуального объекта с учетом видимости или невидимости его структуры [20-24];
- методы масштабирования виртуального объекта с учетом видимости или невидимости его структуры [25-30];
- методы реконструкции виртуального объекта [31-35].

Схема консолидации методов визуализации и трансформации 3D для виртуального объекта приведена на рис. 1.

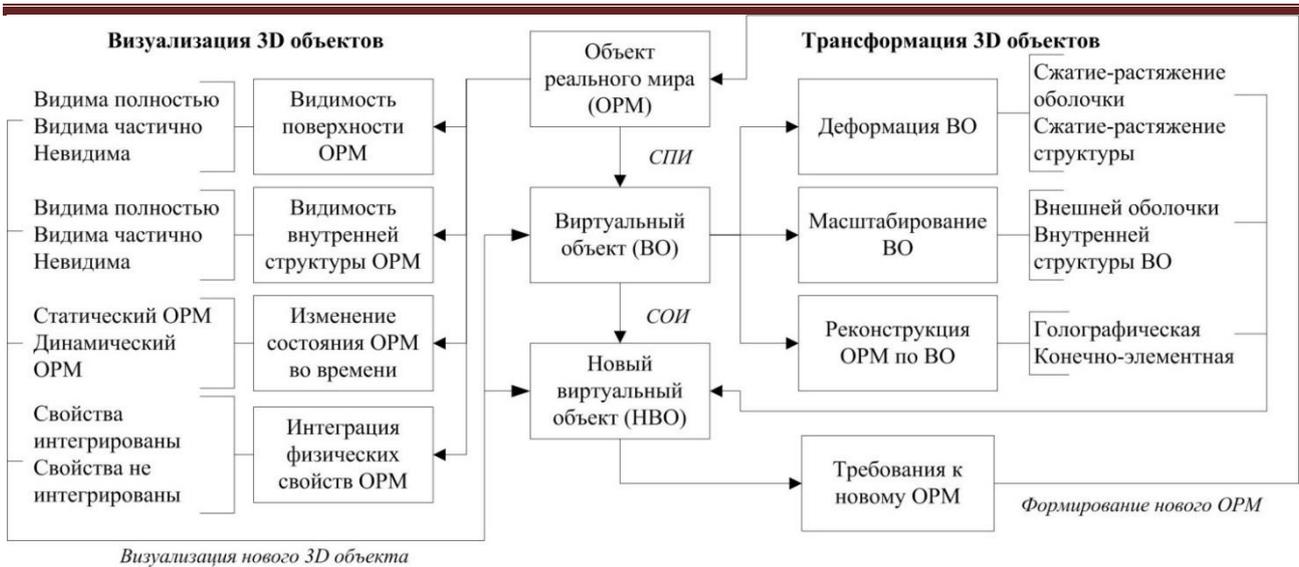


Рис. 1. Схема консолидации методов визуализации и трансформации для виртуального объекта: СПИ – средства получения изображения; СОИ – средства обработки изображения

В результате анализа теоретических и практических разработок выявлено противоречие: при наличии множества пакетов прикладных программ и библиотек программных модулей, реализующих алгоритмы визуализации 3D объекта с возможностью представления информации об изменении его свойств и формы, остаются трудно решаемые задачи визуализации и трансформации изображений 3D объектов для проблемно-ориентированных областей, связанные с восстановлением изображения по потоку фотографий и видеоряда, полученных с диагностических аппаратов ультразвукового исследования человека.

До настоящего времени остаются нерешенными задачи, необходимые для построения интерактивного тренажера для обучения ультразвуковой диагностики:

- 1) восстановление формы объектов на основе фоторяда монохромных снимков;
- 2) построение объемного изображения на основе анализа выделенных кадров полученного видео потока информации в формате цифрового куба с возможностью выполнения деформации объекта под воздействием приложенного усилия;
- 3) выбор сечения цифрового куба по заданному направлению и при заданном усилии нажатия на цифровой куб.

Учитывая выявленные противоречия и проблемы, авторами определена цель исследования: синтез комплекса алгоритмов, позволяющих выполнять трансформацию цифрового куба, соответствующих его сжатию и растяжению под любым углом к поверхности с заданным усилием, и визуализацию результатов преобразования в объемной форме и любом плоском сечении.

### Способы формирования 3D изображения с возможностью расслоения по дискретной сетке

Построение АРС ультразвуковой диагностики использует практически все методы визуализации и трансформации виртуального объекта, приведенные на рис. 1. Особенностью указанной системы являются: формирование динамических массивов исходных данных как по структуре внутри 3D куба, так и по его положению внутри основного объекта; различие физических свойств структурных элементов куба, которые подвергаются трансформации.

Исходное изображение, которое необходимо для построения АРС представляет собой набор плоских изображений, упорядоченных по времени их получения за один проход датчиков аппарата УЗИ. Получение массива исходных данных для формирования 3D изображения возможно, как минимум двумя способами: получение изображения с действующих аппаратов ультразвуковой диагностики; синтез плоских изображений с последующей сборкой квазикуба.

При использовании первого способа в АРС должна поступить информация с аппарата УЗИ. Эта информация сформирована в виде трех файлов с расширениями:

- dcm (DigitalImagingandCommunicationsinMedicine) – это растровый однокадровый или многокадровый файл для хранения медицинских снимков;
- index – растровый файл предварительно просмотра;
- vol – ультразвуковой файл с цифровой обработанной зашифрованной информацией о всех кадрах, полученных в ходе ультразвукового исследования.

Извлечение графической информации из файла с расширением *dcm* не вызывает сложностей при использовании специальных программных библиотек. Выполнить расшифровку файла с расширением *vol* без согласия производителя аппаратной части является нарушением закона об авторских правах.

Для использования второго способа в АРС достаточно сформировать библиотеку открытой информации и сгенерировать цифровой куб.

Пример консолидации плоских изображений реального объекта с возможностью раскрытия внутренней структуры в квазикуб приведен на рис. 2. Для избегания конфликта интересов использования персональной информации для примера выбран объект – яблоко. Описание технологии получения виртуального объекта планируется в последующих работах.



Рис. 2. Схема генерации квазикуба для использования в АРС

Для построения комплекса алгоритмов плотного программного обеспечения авторы работы использовали второй способ получения квазикуба.

### Основа конструирования программного обеспечения АРС

Изучение основных движений специалиста по ультразвуковой диагностике при получении изображения сформирована структура программного обеспечения для АРС. Блочная схема соответствия действий специалиста, программного обеспечения АРС и алгоритмов приведена на рис. 3. Таким образом, комплекс алгоритмов трансформации и визуализации цифрового квазикуба включает три компонента:

- 1) комплекс алгоритмов *получения изображения* реального или виртуального объекта (2.1);
- 2) комплекс алгоритмов *трансформации изображения* виртуального объекта (2.2);
- 3) комплекс алгоритмов *визуализации* нового виртуального объекта (2.3).

Расширения функционала проекта как пилотного, так и введенного в эксплуатацию приведет к уточнению и расширению перечня процедур и алгоритмов в реальном времени. Так как пока не рассматривается функционал позиционирования джойстика на теле пациента и автоматический анализ получаемого изображения в блочной схеме на рис. 3 они не приведены.

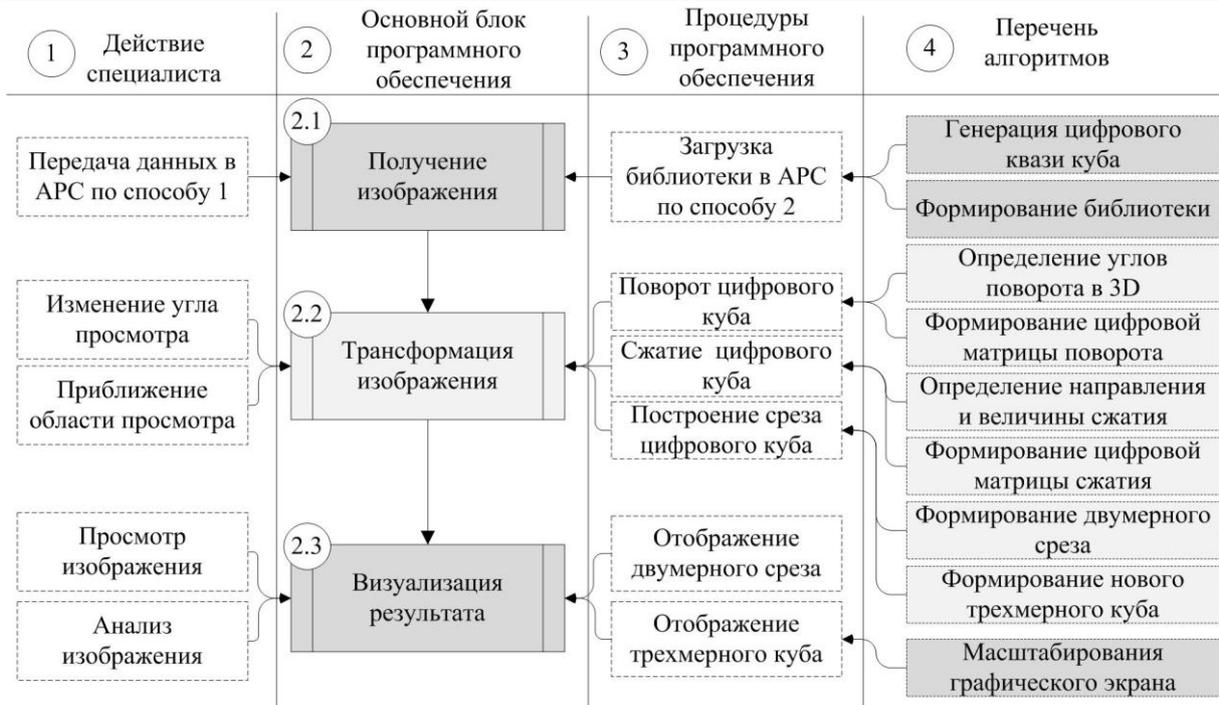


Рис. 3. Блочная схема соответствия действий специалиста, программного обеспечения АРС и алгоритмов

### Результаты визуализации

Для реализации задачи трансформации и визуализации информации для виртуального объекта, получаемых с аппаратов ультразвуковой диагностики, выбран формат представления ОРМ в виде цифрового куба. Суть такого подхода заключается в детальной визуализации трехмерного тела в виде многослойной полигональной сетки, узлы которой связаны между собой. В ходе исполнения действий над виртуальным объектом выполняется трансформация структуры полигональной сетки. Примеры трансформации структуры приведены на рис. 9.

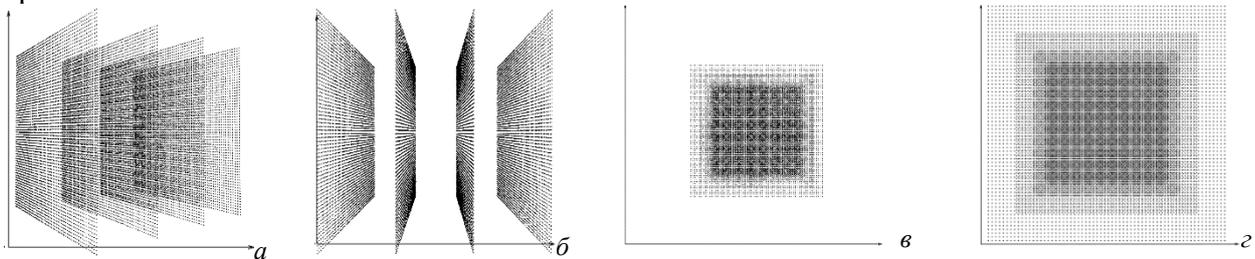


Рис. 4. Основные схемы трансформации 3D куба при использовании АРС ультразвуковой диагностики: а, б – поворот куба; в, г – сжатие/растяжение куба

Реализация программного модуля для трансформации и визуализации 3D куба выполнена с использованием:

- языка программирования C++, используемого для реализации основного функционала модулей;
- функций и процедур библиотеки OpenGL, не зависящий от платформы программный интерфейс для написания приложений, использующих двумерную и трёхмерную компьютерную графику;
- кроссплатформенной библиотеки Qt для создания графических пользовательских интерфейсов (GUI) от фирмы TrollTech. Эта библиотека полностью объектно-ориентированная, что обеспечивает легкое расширение возможностей и создание новых компонентов;
- библиотеки GLM (OpenGLMathematics), позволяющие использовать данные для OpenGL.

На рис. 5 приведен вид нескольких рабочих окон модуля программного продукта, реализованных для решения задачи.

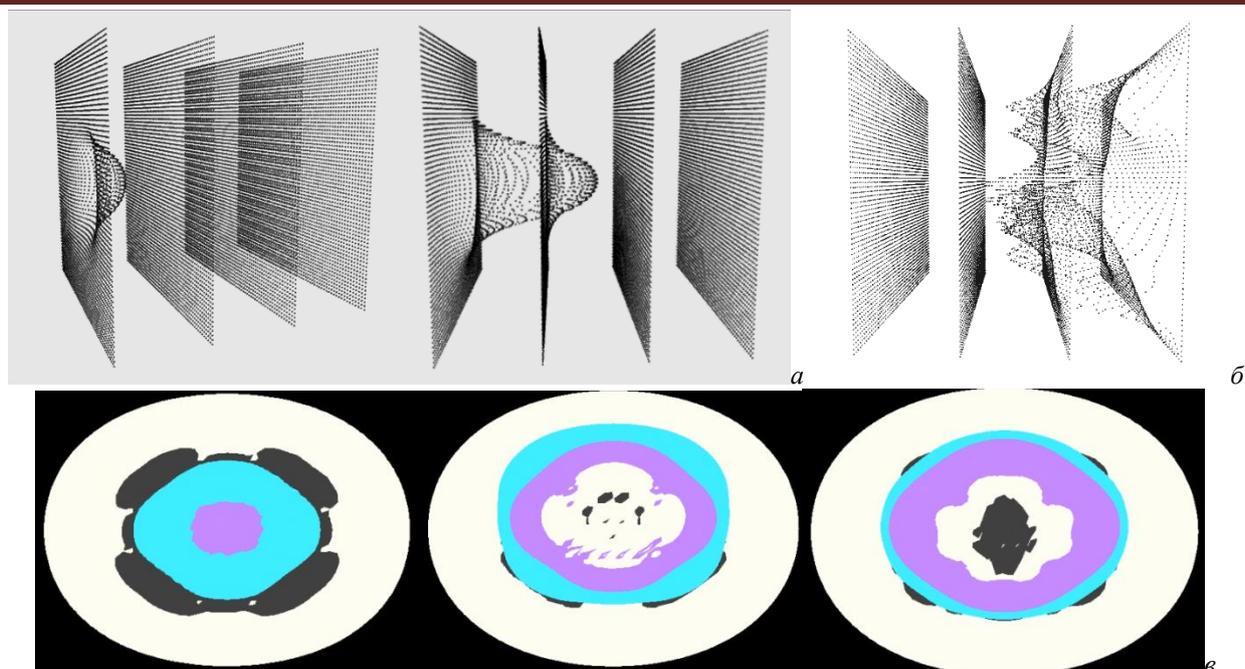


Рис. 5. Результаты трансформации и визуализации: а – визуализация процесса деформации; б – деформация тела по выбранным узлам; в – деформация наполненной полигональной сетки

### Перспективы развития

В настоящей статье представлены результаты начального этапа разработки программного обеспечения для модуля трансформации и визуализации информации, которая представлена в виде 3D куба, наполненного структурными элементами объекта реального мира. Перспективными направлениями развития проекта являются:

- позиционирования джойстика на поверхности объекта реального мира;
- автоматический анализ получаемого изображения, в ходе которого выявляются внутренние структурные элементы с определением площади плоских элементов и объема 3D элементов;
- построение дерева классификации объектов;
- построение дерева принятия решений по классификации объектов с точки зрения медицинской диагностики.

### Заключение

1. Анализ источников показал отсутствие аналогов и прототипов программного и аппаратного обеспечения АРС, способного в обучающем и удаленном режимах выполнять элементы УЗИ диагностики для объектов как реального, так и виртуального мира.

2. Анализ функций специалиста по УЗИ диагностики позволил выполнить сопоставление действий специалиста и модулей программного обеспечения.

3. Наибольшую сложность при разработке программного обеспечения для АРС составляет формирование библиотеки исходных данных, близких по форме и структуре к изображениям, получаемых реальных аппаратов.

4. Начальный этап исследования показал достижимость результатов при выбранной концепции реализации.

### Список использованных источников

1. Хан, М.Д. Основанные на изображениях способ представления и визуализации трехмерного объекта и способ представления и визуализации анимированного объекта. / М.Д. Хан, А.В. Игнатенко Патент на изобретение RU 2216781 С2, 20.11.2003. Заявка № 2001118221/09 от 29.06.2001.
2. Григоров, И.Г. Способ формирования изображения поверхности объекта. Патент на изобретение RU 2707980 С1, 03.12.2019. Заявка № 2019114912 от 16.05.2019.
3. Веселов В.И., Филин Ю.Н.2, Картавцев Н.С. Архитектурное построение формографики инфо-гиперкубов // Инновации: перспективы, проблемы, достижения. 2015. С. 273-280.
4. Супель А.1, Хвостов П.М.1, Игнатъев К.Е. Оценка эффективности проектирования трехмерных полигональных моделей как способа визуализации иллюстративной информации // Современные информационные технологии: сб. тр. по . 5-я Всер. науч.-техн. конф, М.: ООО «Научный консультант», 2019. С. 115-120.

5. Остапов Д.С., Усатииков С.В. Программа для построения базы данных с обучающей выборкой для распознавания плоских изображений объектов природного происхождения, с качественной и количественной оценкой состояния поверхности единичных объектов и их массового количества. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2016618408, 28.07.2016. Заявка № 2016615486 от 30.05.2016.
6. Алексанян Г.К., Щербаков И.Д., Кучер А.И. Программа визуализации внутренних структур исследуемого объекта методом электроимпеданной томографии (Визуализация 3D-EIT1). Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2018666295, 13.12.2018. Заявка № 2018662721 от 13.11.2018.
7. Ксенофонтов С. Ю. Способ трехмерной визуализации внутренней структуры исследуемого объекта в реальном времени. Патент на изобретение RU 2681348 С1, 06.03.2019. Заявка № 2018114616 от 19.04.2018
8. Блохинов Ю.Б., Веркеенко М.С. Алгоритмы построения цифровых трехмерных моделей уникальных объектов. Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2011. № 4. С. 118-131.
9. Галкин В.И., Анохин А.О., Галкин Е.В., Преображенский Е.В., Палтиевиц А.Р. Способ получения 3-мерной модели поверхности объекта. Патент на изобретение RU 2427796 С1, 27.08.2011. Заявка № 2009148280/28 от 25.12.2009.
10. Городничев М.Г., Гематудинов Р.А., Кухаренко А.М. О некоторых методах визуализации динамических 3D моделей // Экономика и качество систем связи. 2018. №1(7). С 18-29.
11. Жилияков Е.Г., Лихошерстный А.Ю. Архитектура нейросети в задаче прецедентного распознавания объектов на изображениях с использованием частотных признаков // Вопросы радиоэлектроники. 2013. Т. 4. № 1. С. 35-45.
12. Лиманова Н.И., Труханов А.С. Визуализация объектов компьютерной томографии //Наука без границ. 2018. № 5 (22). С. 52-54.
13. Багутдинов Р.А. Идея многоакурсной системы технического зрения для формирования 3D-моделей поверхности объекта в задачах разработки мобильных роботов //Программные системы и вычислительные методы. 2017. № 4. С. 1-6.
14. Автоматизация научных исследований нарушения сплошности плоской поверхности: конструкционное решение программно-аппаратного комплекса / О.С. Логунова [и др.] // Электротехнические системы и комплексы. 2020. № 1 (46). С. 54-59.
15. Литвинова Ю.С., Максименко-Шейко К.В. // Аналитическая идентификация трехмерных геометрических объектов по информации о форме их сечений. Проблемы машиностроения. 2017. Т. 20. № 1. С. 45-51.
16. Глаз А.Б., Тимухин А.А. Восстановление 3d поверхности лиц на базе исходных 2D изображений // Математические методы распознавания образов. 2005. Т. 12. № 1. С. 69-72.
17. Проективнографическое формообразование инфо-гиперкубов: теоретические и методические аспекты / Ю.Н. Филин [и др.] // Строительство: наука и образование. – 2015. – № 1. – С. 5.
18. Математическое моделирование разрушения элементов строительных конструкций под действием динамической нагрузки / Г.М. Журавлев [и др.] // Чебышевский сборник. – 2019. – Т. 20. – № 4 (72). – С. 372-386.
19. Бубис, Е.Л. Визуализация периода трансформации состояния поляризации в кристалле исландского шпата (аналог опыта умава) // Успехи современного естествознания.– 2008. – № 3. – С. 54.
20. Гниненко И.А. Разработка 3D моделей для лаборатории 3D визуализации и компьютерной графики //Сб. тр. межвуз. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых специалистов им. Е.В. Арменского, М.: Изд-во НИУ ВШЭ. 21. Осинцев А.В., Очков К.Ю. Визуализация перемещений и деформаций методом цифровой корреляции изображений // 2016 . Т. 8. № 2. С. 15-23. 22. Бугакова Т.Ю. Трехмерное моделирование деформации инженерного объекта методом сплайн-интерполяции // Вестник СГУГИТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). Новосибирск. 2019. С. 96-105. 23. Кравченко А.М., Семеренко И.П., Икама Д.Л. Моделирование и визуализация напряженно- деформированного состояния механических систем в условиях современной образовательной среды //Научный резерв. 2019. № 4 (8). С. 92-98. 24. Бугакова Т.Ю., Шляхова М.М. 3D-моделирование и визуализация деформации поверхности на примере купола новосибирского планетария // ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ. Новосибирск. 2015. Т.5. С. 63-67. 25. Орлов С.Г., Шабров Н.Н. Вершинный шейдер для визуализации деформируемой пластины // Научная визуализация. 2016 . Т. 8. № 2. С. 1-14.
26. Гора С.Ю., Довгаль В.М. Метод и инструментальные средства решения задачи сжатия изображений с использованием механизмов хаотической динамики // Ученые записки. Электронный научный журнал курского государственного университета. 2012. № 4-2 (24). С. 25-28.
27. Дерюгина Е.О., Борсук Н.А., Васина Е.В. Подход к реализации 3D-моделей эксклюзивных экспонатов музея по их фотографиям // Электромагнитные волны и электронные системы. М.: «Радиотехника». Т. 24. № 7. С. 48-55. 28. Кознов Д.В., Ларчик Е.В.1, Терехов А.Н. Трансформация динамических представлений в предметно-ориентированном визуальном моделировании // Программирование. 2015 . № 4. С. 3-12. 29. Картавец И.С., Веселов В.И. Архикуб-изоконструктор трансформации формографики // Кономически эффективные и экологически чистые инновационные технологии: сб. тр. междун. науч.-практ. конф., М.: Изд-во Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова. С. 156-160. 30. Бугакова Т.Ю., Борисов Д.А. Разработка методики определения пространственно-временного состояния техногенных объектов //Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2015. № S5. С. 246-250.
31. Клячин А., Клячин В., Григорьева Е. Визуализация расчета формы поверхностей минимальной площади //Научная визуализация. 2014. Т. 6. № 2. С. 34-42.

32. Симонов Е.Н., Прохоров А.В., Акинцева А.В. Математическое моделирование реконструкции объемных изображений в рентгеновской компьютерной томографии с применением голографических методов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. 2019. Т.12. № 3. С. 102-114.
33. Вяткин С.И., Городилов М.А., Долговесов Б.С. Геометрическое моделирование и визуализация функционально заданных объектов на базе функций ВОЗМУЩЕНИЯ С использованием графических акселераторов // Научная визуализация. 2010. Т. 2. № 3. С. 22-49.
34. Парфентьев К.В., Гаврилов А.И. Построение моделей подстилающей поверхности на основе реконструкции данных мультиспектрального мониторинга // Интернет-журнал Науковедение. 2017. Т. 9. № 6. С. 141.
36. Бастов Г.А. Технологии графической трансформации объектов в условиях использования компьютерной графики // Дизайн и технологии. 2016. № 51 (93). С. 6-12.
36. Черников И.С., Крыловецкий А.А. Реконструкция и распознавание объектов в системах компьютерного зрения. Телематика 2009: сб. тр. XVI Всерос. науч.-метод. конф. Санкт-Петербург. Изд-во: Санкт-Петербургский гос. ун-т информац. технологий, механики и оптики, 2009. С. 314-315.

Материал поступил в редакцию: 02.12.2020

Материал принят к публикации: 05.12.2020

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

**CONSOLIDATION OF INFORMATION FOR ASSISTING ROBOTECNICAL SYSTEM:  
TRANSFORMATION AND VISUALIZATION**

*Sagadiev S., Ilina E.A., Logunova O.S., Kuhta YU.B., Nikolaev A.A.*

**Abstract.** The article presents the results of an initial research on the development of software for information processing in an assisting robotic system. The aim of the study is to synthesize a set of algorithms that allow transforming a digital cube, corresponding to its compression and stretching at any angle to the surface with a given force, and visualizing the results of the transformation in a volumetric form and in any plane section. The work presents the solution of problems: the formation of a 3D image in the form of a digital cube with the possibility of its stratification along a discrete grid; consolidation of information during transformation and visualization of a virtual object, formation of a scheme of correspondence between the actions of a specialist, an expert and a robotic system. The work was carried out in 2019-2020. As a result of the research, the following were designed and developed: a general concept of an assisting robotic system, a software module for transformation and visualization of a quasi-cube of a virtual object. The directions of the system development are determined.

**Keywords:** assisting robotic system, 3D image, image transformation, digital cube for an image, compression of a digital cube, composition of transformations for layer-by-layer visualization.

**References**

- Han, M.D. Osnovannyye na izobrazheniyah sposob predstavleniya i vizualizatsii trekhmernogo ob"ekta i spo-sob predstavleniya i vizualizatsii animirovannogo ob"ekta. / M.D. Han, A.V. Ignatenko Patent na izobretenie RU 2216781 C2, 20.11.2003. Zayavka № 2001118221/09 ot 29.06.2001.
- Grigorov, I.G. Sposob formirovaniya izobrazheniya poverhnosti ob"ekta. Patent na izobretenie RU 2707980 C1, 03.12.2019. Zayavka № 2019114912 ot 16.05.2019.
- Veselov V.I.1, Filin YU.N.2, Kartavcev N.S. Arhitekturnoe postroenie formografiki info-giperkubov // Innovacii: perspektivy, problemy, dostizheniya. 2015. S. 273-280.
- Supel' A.I, Hvosstov P.M.1, Ignat'ev K.E. Ocenka effektivnosti proektirovaniya trekhmernih poligonal'-nyh modelej kak sposoba vizualizatsii illyustrativnoj informacii // Sovremennyye informacionnyye tekhnologii: sb. tr. po . 5-ya Vser. nauch.-tekhn. konf, M.: OOO «Nauchnyj konsul'tant», 2019. S. 115-120.
- Ostapov D.S., Usatikov S.V. Programma dlya postroeniya bazy dannyh s obuchayushchej vyborkoj dlya raspoznavaniya ploskih izobrazhenij ob"ektov prirodnogo proiskhozhdeniya, s kachestvennoj i kolichestvennoj ocenкой sostoyaniya poverhnosti edinichnyh ob"ektov i ih massovogo kolichestva. Svidetel'stvo o registracii pro-grammy dlya EVM RU 2016618408, 28.07.2016. Zayavka № 2016615486 ot 30.05.2016.
- Aleksanyan G.K., SHCHerbakov I.D., Kucher A.I. Programma vizualizatsii vnutrennih struktur issleduemogo ob"ekta metodom elektroimpedansnoj tomografii (Vizualizatsiya 3D-EIT1). Svidetel'stvo o registracii pro-grammy dlya EVM RU 2018666295, 13.12.2018. Zayavka № 2018662721 ot 13.11.2018.
- Ksenofontov S. YU. Sposob trekhmernoj vizualizatsii vnutrennej struktury issleduemogo ob"ekta v real'-nom vremeni. Patent na izobretenie RU 2681348 C1, 06.03.2019. Zayavka № 2018114616 ot 19.04.2018
- Blohinov YU.B., Verkeenko M.S. Algoritmy postroeniya cifrovyyh trekhmernih modelej unikal'nyh ob"ek-tov. Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya. 2011. № 4. S. 118-131.
- Galkin V.I., Anohin A.O., Galkin E.V., Preobrazhenskij E.V., Paltievich A.R. Sposob polucheniya 3-mernoj modeli poverhnosti ob"ekta. Patent na izobretenie RU 2427796 C1, 27.08.2011. Zayav-ka № 2009148280/28 ot 25.12.2009.
- Gorodnichev M.G., Gematudinov R.A., Kuharenko A.M. O nekotoryh metodah vizualizatsii dinamicheskikh 3D modelej // Ekonomika i kachestvo sistem svyazi. 2018. №1(7). S 18-29.
- ZHilyakov E.G., Lihosherstnyj A.YU. Arhitektura nejroseti v zadache precedentnogo raspoznavaniya ob"ek-tov na izobrazheniyah s ispol'zovaniem chastotnyh priznakov // Voprosy radioelektroniki. 2013. Т. 4. № 1. S. 35-45.
- Limanova N.I., Truhanov A.S. Vizualizatsiya ob"ektov komp'yuternoj tomografii // Nauka bez granic. 2018. № 5 (22). S. 52-54.
- Bagutdinov R.A. Ideya mnogorakursnoj sistemy tekhnicheskogo zreniya dlya formirovaniya 3D-modelej po-verhnosti ob"ekta v zadachah razrabotki mobil'nyh robotov // Programmnye sistemy i vychislitel'nye meto-dy. 2017. № 4. S. 1-6.

14. Logunova O.S., Andreev S.M., Garbar E.A., Markevich A.V., Nikolaev A.A. Avtomatizatsiya nauchnyh issledovaniy narusheniya sploshnosti ploskoj poverhnosti: konstrukcionnoe reshenie programmno-apparatnogo kompleksa // Elektrotehnicheskie sistemy i komplekсы. 2020. № 1 (46). S. 54-59.
15. Litvinova YU.S., Maksimenko-SHejko K.V. // Analiticheskaya identifikatsiya trekhmernyh geometricheskikh ob"ektov po informatsii o forme ih sechenij. Problemy mashinostroeniya. 2017. T. 20. № 1. S. 45-51.
16. Glaz A.B., Timuhin A.A. Vosstanovlenie 3d poverhnosti lic na baze iskhodnyh 2D izobrazhenij // Matematika-ticheskie metody raspoznavaniya obrazov. 2005. T. 12. № 1. S. 69-72.
17. Filin YU.N., Kofanov A.V. i dr. Proektivograficheskoe formoobrazovanie info-giperkubov: teoreticheskie i metodicheskie aspekty // Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie. 2015. № 1. S. 5.
18. ZHuravlev G.M., Telichko V.G., Kurien N.S. i dr. Matematicheskoe modelirovanie razrusheniya elementov stroitel'nyh konstrukcij pod dejstviem dinamicheskoy nagruzki // CHEbyshevskij sbornik. 2019. T. 20. № 4 (72). S. 372-386.
19. Bubis E.L. Vizualizatsiya perioda transformatsii sostoyaniya polyarizatsii v kristalle islandskogo shpata (analog opyta umova) // Uspekhi sovremennoego estestvoznaniya. 2008. № 3. S. 54.
20. Gninenko I.A. Razrabotka 3D modelej dlya laboratorii 3D vizualizatsii i komp'yuternoj grafiki // Sb. tr. mezhvuz. nauch.-tekh. konf. studentov, aspirantov i molodyh specialistov im. E.V. Armenskogo, M.: Izd-vo NIU VSHE.
21. Osincev A.V., Ochkov K.YU. Vizualizatsiya peremeshchenij i deformatsij metodom cifrovoj korrelyatsii izobrazhenij // 2016. T. 8. № 2. S. 15-23.
22. Bugakova T.YU. Trekhmernoe modelirovanie deformatsii inzhenernogo ob"ekta metodom splajn-interpolyatsii // Vestnik SGUGIT (Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologij). Novo-sibirsk. 2019. S. 96-105.
23. Kravchenko A.M., Semerenko I.P., Ikama D.L. Modelirovanie i vizualizatsiya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya mekhanicheskikh sistem v usloviyah sovremennoj obrazovatel'noj sredy // Nauchnyj rezerv. 2019. № 4 (8). S. 92-98.
24. Bugakova T.YU., Shlyahova M.M. 3D-modelirovanie i vizualizatsiya deformatsii poverhnosti na primere kupola novosibirskogo planetariya // INTEREKSP0 GEO-SIBIR'. Novosibirsk. 2015. T.5. S. 63-67.
25. Orlov S.G., SHabrov N.N. Vershinnyj shejder dlya vizualizatsii deformiruemoj plastiny // Nauchnaya vizualizatsiya. 2016. T. 8. № 2. S. 1-14.
26. Gora S.YU., Dovgal' V.M. Metod i instrumental'nye sredstva resheniya zadachi szhatiya izobrazhenij s ispol'zovaniem mekhanizmov haoticheskoy dinamiki // Uchenye zapiski. Elektronnyj nauchnyj zhurnal kurskogo gosudarstvennogo universiteta. 2012. № 4-2 (24). S. 25-28.
27. Deryugina E.O., Borsuk N.A., Vasina E.V. Podhod k realizatsii 3D-modelej ekskluzivnyh eksponatov muzeya po ih fotografiyam // Elektromagnitnye volny i elektronnye sistemy. M.: «Radiotekhnika». T. 24. № 7. S. 48-55.
28. Koznov D.V., Larchik E.V.1, Terekhov A.N. Transformatsiya dinamicheskikh predstavlenij v predmetno-orientirovannom vizual'nom modelirovanii // Programirovanie. 2015. № 4. S. 3-12.
29. Kartavcev I.S., Veselov V.I. Arhitekturno-konstruktor transformatsii formografiki // Konomicheski efektivnye i ekologicheski chistye innovatsionnye tekhnologii: sb. tr. mezhdun. nauch.-prakt. konf., M.: Izd-vo Rossijskij ekonomicheskij universitet imeni G.V. Plekhanova. S. 156-160.
30. Bugakova T.YU., Borisov D.A. Razrabotka metodiki opredeleniya prostranstvenno-vremennogo sostoyaniya tekhnogennyh ob"ektov // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Geodeziya i aerofotos'emka. 2015. № 55. S. 246-250.
31. Klyachin A., Klyachin V., Grigor'eva E. Vizualizatsiya rascheta formy poverhnostej minimal'noj ploshchadi // Nauchnaya vizualizatsiya. 2014. T. 6. № 2. S. 34-42.
32. Simonov E.N., Prohorov A.V., Akinceva A.V. Matematicheskoe modelirovanie rekonstrukcii ob"emnyh izobrazhenij v rentgenovskoj komp'yuternoj tomografii s primeneniem golograficheskikh metodov // Vestnik YUzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Matematicheskoe modelirovanie i programirovanie. 2019. T.12. № 3. S. 102-114.
33. Vyatkin S.I., Gorodilov M.A., Dolgovesov B.S. Geometricheskoe modelirovanie i vizualizatsiya funktsional'no zadannyh ob"ektov na baze funktsij VOZMUSHCHENIYA S ispol'zovaniem graficheskikh akseleratorov // Nauchnaya vizualizatsiya. 2010. T. 2. № 3. S. 22-49.
34. Parfent'ev K.V., Gavrilov A.I. Postroenie modelej podstilayushchej poverhnosti na osnove rekonstrukcii dannyh mul'tispektral'nogo monitoringa // Internet-zhurnal Naukovedenie. 2017. T. 9. № 6. S. 141.
35. Bastov G.A. Tekhnologii graficheskoy transformatsii ob"ektov v usloviyah ispol'zovaniya komp'yuternoj grafiki // Dizajn i tekhnologii. 2016. № 51 (93). S. 6-12.
36. Chernikov I.S., Kryloveckij A.A. Rekonstruktsiya i raspoznavanie ob"ektov v sistemah komp'yuternogo zreniya. Telematika 2009: sb. tr. XVI Vseros. nauch.-metod. konf. Sankt-Peterburg. Izd-vo: Sankt-Peterburgskij gos. un-t informac. tekhnologij, mekhaniki i optiki, 2009. S. 314-315.

### ОБ АВТОРАХ:

Сагадиев С., Ильина Е.А., Логунова О.С., Кухта Ю.Б., **Гарбар Евгений Александрович** – аспирант кафедры вычислительной техники и программирования ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: evgenyjam@yandex.ru. **Николаев Антон Андреевич** – студент кафедры вычислительной техники и программирования ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: aanton2001@gmail.com

### ОБРАЗЕЦ ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Сагадиев С., Ильина Е.А., Логунова О.С., Кухта Ю.Б., Николаев А.А. Консолидация информации для ассистирующей роботехнической системы: трансформация и визуализация // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2020. – Т.8. – № 1. – С. 31-38.

DOI: 10.18503/2306-2053-2020-8-1-31-38.

*Sagadiyev S., Ilyina E.A., Logunova O.S., Kuhta YU.B. and Nikolaev A.A. (2020) Consolidation of information for assisting robotechanical system: transformation and visualization. Software of systems in the industrial and social fields. 8 (1): 31-38. DOI: 10.18503/2306-2053-2020-8-1-31-38*