

А. В. Кузьмин

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ В МЕДИЦИНЕ

Аннотация. Данная статья подготовлена по материалам доклада «Трехмерное моделирование и визуализация в медицине», представленного на пленарном заседании XXVI научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и образования» студентов и профессорско-преподавательского состава университета.

Ключевые слова: трехмерное моделирование, компьютерная графика, визуализация, математическое моделирование.

Введение

Проникновение информационных технологий в различные области науки и образования во многом определяет прогресс и направления развития в этих областях. И медицина здесь не является исключением. В данной статье рассматривается область трехмерного моделирования в медицине на примере четырех проектов, в разработке которых автор принимает непосредственное участие как сотрудник кафедры информационно-вычислительных систем и резидент студенческого научно-производственного бизнес-инкубатора Пензенского государственного университета.

Моделирование электрической активности сердца

Современные информационные технологии находят свое применение при решении самых различных задач: от ведения баз данных пациентов до сложных диагностических систем и аппаратно-программных комплексов роботической хирургии. Одной из актуальных задач применения информационных технологий является моделирование сердца человека.

Актуальность этой темы вызвана двумя основными факторами. Первый из них – это чрезвычайная важность проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. По статистике они уверенно держат первое место среди причин смерти и потери трудоспособности населения. Диагностика сердечно-сосудистых заболеваний является важнейшей проблемой. Второй фактор – это повсеместное внедрение информационных технологий, когда моделирование и анализ функционирования отдельных систем на сегодняшний день стали нормой.

Область моделирования сердца человека на стыке медицинских и технических дисциплин. А как показывает история науки, по крайней мере с середины прошлого века, очень часто прорывы происходят именно при работе на стыке различных отраслей. Вспомнить хотя бы совместную работу известнейшего ученого-кибернетика Норберта Винера и физиолога Артуро Розенблюта.

Многие ученые и целые разделы наук успешно разрабатывали тематику сердца, отдельных аспектов его активности, но зачастую достаточно изолированно друг от друга. Нынешний уровень развития информационных технологий, моделирования и визуализации позволяет использовать эти наработки для исследовательских целей, обучения и диагностики.

Вот, например, как формулирует цели дальнейшей работы Нильс Вессел: «Еще одна цель, следовательно, состоит в том, чтобы пойти на качественно новый шаг: сочетание анализа данных и моделирования». Или академик РАН М. П. Рощевский убежден, что

диагностика сердечно-сосудистой системы будущего будет основываться на моделировании электрических процессов в сердце по электрокардиографическим данным, полученным на поверхности тела. По сути, они формулируют одну и ту же цель – анализ модели сердца с использованием исходных данных реального человека.

Если исходить из того, что адекватная модель работы сердца имеется, то анализ данных здесь – это получение параметров такой модели, отражающей особенности конкретного человека, а моделирование – это как раз исследование функционирования сердца на такой модели с учетом индивидуальных параметров.

Это можно назвать даже сменой парадигмы диагностики и переходом к диагностике, основанной на моделировании (или симуляционной диагностике), когда продиагностированное состояние пациента моделируется с учетом его физиологических особенностей.

Такой подход вполне согласовывается со всеми мировыми тенденциями по индивидуализации медицины, внедрению личного медицинского профиля, долгосрочной истории хранения диагностических данных и результатов диагностики.

Основой моделирования сердца может быть модель электрической активности сердца. Целый класс таких моделей, несмотря на существенные различия, сводится к одному – рассмотрению сердца в качестве некоего электрического генератора, такого, что при его помещении на место сердца мы могли бы регистрировать на поверхности тела ЭКГ с удовлетворительной погрешностью.

Таких моделей сейчас создано множество: это и точечный заряд, диполь, квадруполь, мультиполь или многодипольный генератор и др. Особенно стоит подчеркнуть вклад в разработку таких моделей именно российских ученых: В. С. Мархасина, Л. И. Титомира, М. П. Рощевского, О. В. Баума, А. Н. Волобуева и М. Н. Крамма.

Получение параметров модели электрической активности сердца связано с решением обратной задачи электродинамики. В связи с этим не стоит забывать, что обратные задачи не всегда корректные, а их решение может быть достаточно сложным.

В своей работе мы используем многодипольную модель электрической активности сердца, разработанную Л. И. Титомиром [1]. Важнейшим элементом такой модели является геометрическая модель сердца, или квазиэпикард. В качестве геометрической модели используется как поверхностная полигональная модель, построенная на основе опорных точек, так и объемная воксельная модель, построенная на основе рекурсивного разделения пространства (рис. 1).

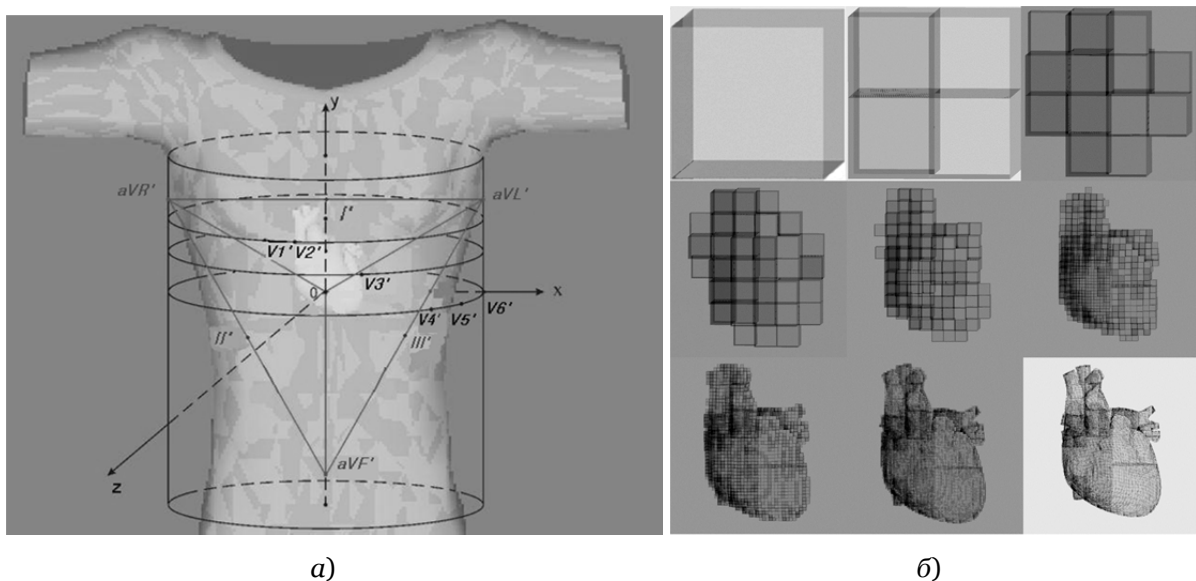


Рис. 1. Трехмерная модель сердца:
а – поверхностная модель внутри модели грудной клетки; б – объемная модель

Предложенные модели используются для получения распределения электрических характеристик по поверхности модели сердца [2].

Сейчас в рамках данного проекта разрабатывается методика динамического изменения геометрических параметров модели. Работа выполняется в рамках базовой части государственного задания в сфере научной деятельности по Заданию № 2014/151 за 2014 г. по теме «Моделирование электрической активности сердца» (№ госрегистрации 114110640068).

Говоря об этой тематике, нельзя не упомянуть о коллегах, с которыми получены научные результаты. Это научный коллектив (или даже научная школа) неинвазивной диагностики и анализа кардиографической информации, включающий ученых и специалистов Пензенского государственного университета (а именно кафедр «Информационно-вычислительные системы», «Информационно-измерительная техника», «Теоретическая и прикладная механика и графика», а также Медицинского института). Научный руководитель этого направления – профессор О. Н. Бодин.

Виртуальный хирург

Другим актуальным и чрезвычайно интересным проектом, как нельзя лучше воплощающим технологии трехмерного моделирования и визуализации в области медицинского обучения, является «Виртуальный хирург». Это разработка Самарского медицинского университета, первый в России компьютерный симуляционный тренажер для обучения навыкам эндоскопической, эндоваскулярной и открытой хирургии, а также высокореалистичный трехмерный атлас анатомии человека. Часть технических решений, используемых в этом тренажере, разработана при участии нашего университета: это модуль базовых навыков лапароскопии, методики моделирования и визуализации объектов операционного поля, инструментов, физических взаимодействий, сечения полигональных и объемных моделей, а также архитектура средств разработки программного обеспечения для построения хирургических тренажеров [3].

Технические решения разработаны с использованием современных средств, таких как графическая библиотека OGRE3D, физические библиотеки PhysX от NVidia и Bullet, интегрированная среда разработки Visual Studio от Microsoft.

На рис. 2 показаны примеры визуализации, взятые из различных кейсов.

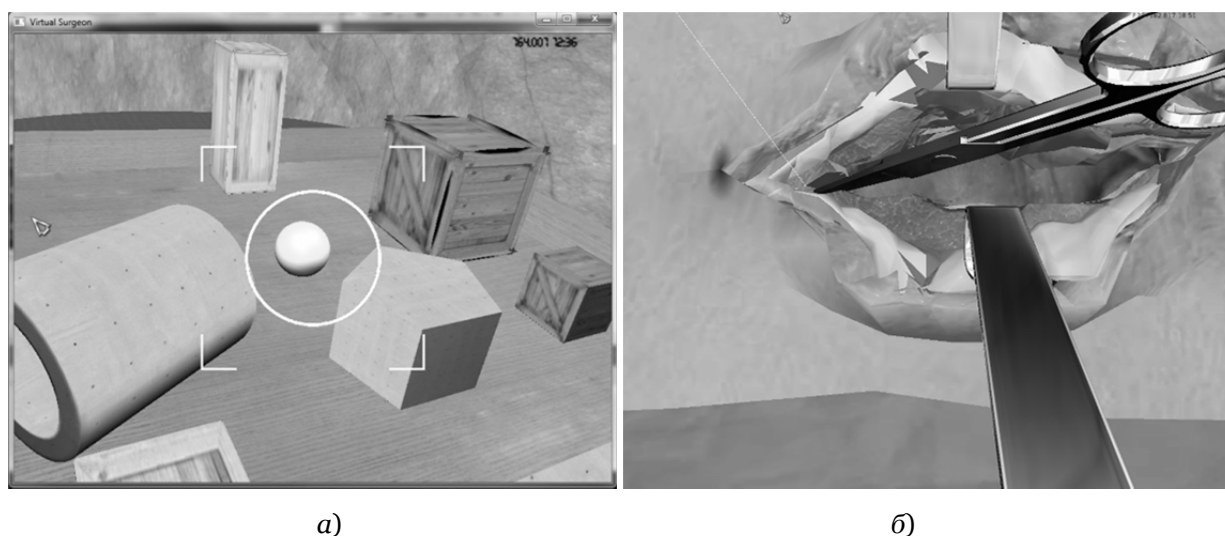


Рис. 2. Визуализация операционного поля:

а – модуль базовых навыков работы с эндоскопической камерой; б – открытая хирургия, разрез

Также стоит отметить, что мехатронный манипулятор для открытой хирургии проходил тестирование в лаборатории бизнес-инкубатора.

Моделирование воздействий на верхнечелюстную пазуху

Другая разработка связана напрямую с применением трехмерного моделирования для планирования операций на верхнечелюстной пазухе. Проект осуществляется совместно с сотрудниками Медицинского института, руководитель – доктор медицинских наук, профессор С. В. Сергеев.

В качестве основы для построения трехмерной модели использовались томограммы. Кроме того, проведена работа по изучению и анализу возрастных изменений геометрических и механических параметров пазухи.

С использованием построенной модели выполнялись вычислительные эксперименты по исследованию возникающих деформаций под воздействием хирургического инструмента с помощью метода конечных элементов [4]. Сравнивалась травматичность при использовании различных точек доступа, определялись особенности возникающих деформаций (рис. 3).

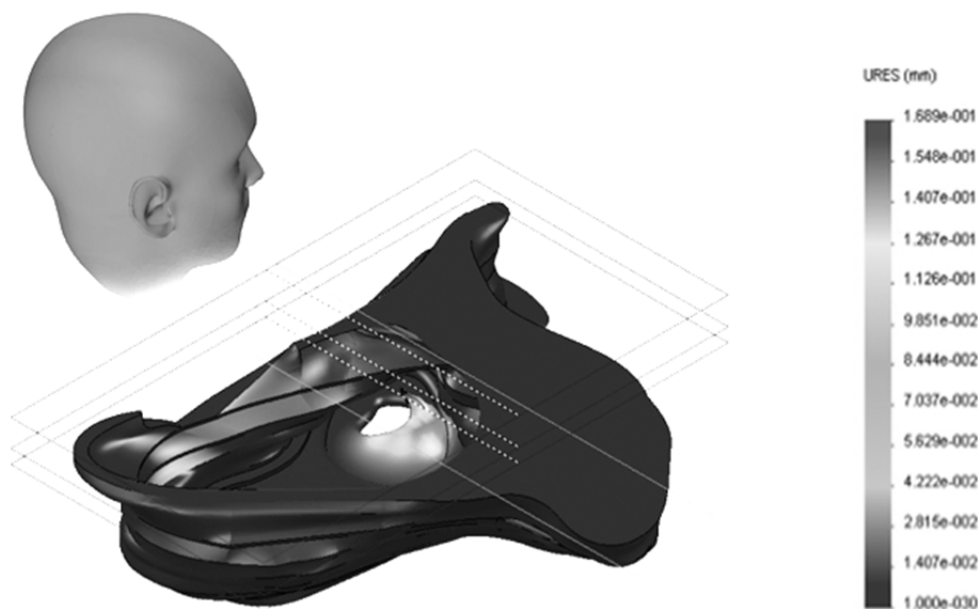


Рис. 3. Визуализация параметров напряженно-деформированного состояния верхнечелюстной пазухи

Результаты работы легли в основу кандидатской диссертации.

Система для интерактивного изучения анатомии человека

Данный проект демонстрирует, как студенческая инициатива, «инициатива снизу» может вылиться в интересную и востребованную научно-техническую работу. Замысел принадлежит студенту Медицинского института, который на практике столкнулся со всеми сложностями освоения теоретической части курса анатомии человека с помощью печатного анатомического атласа. В бизнес-инкубатор он пришел с идеей создания интерактивной системы, которая позволяла бы работать с трехмерными моделями наиболее сложных костей и соответствующими описаниями, чтобы их можно было изучать в более наглядном интерактивном режиме на компьютере.

Данный проект уже получил признание на научно-технических мероприятиях различного уровня. С технической точки зрения уже реализован прототип интерактивной системы со своей оболочкой, загружаемыми моделями и информационным содержанием (рис. 4).

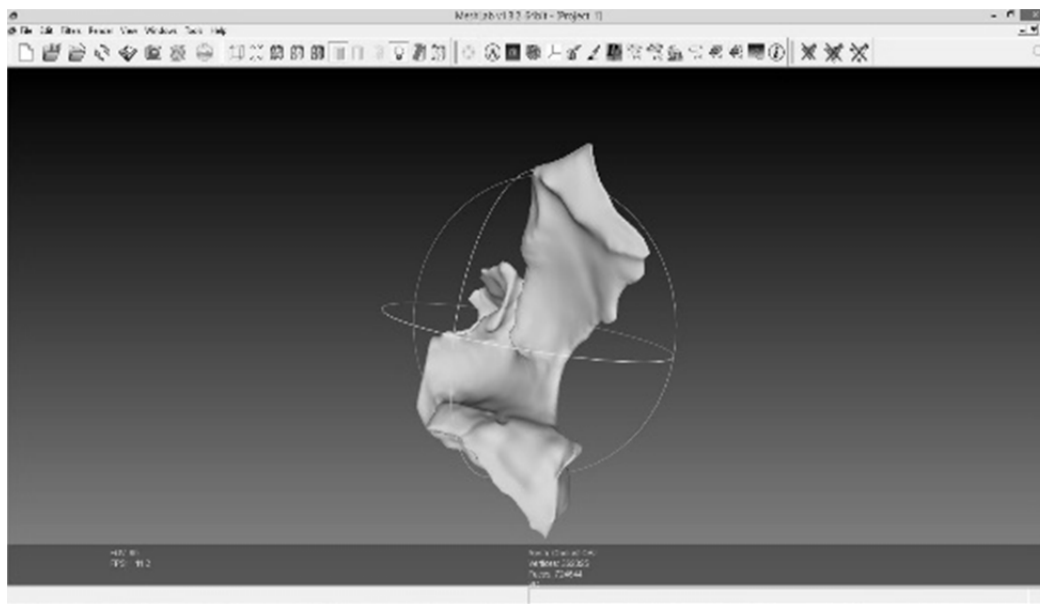


Рис. 4. Подготовка трехмерной модели

Главной изюминкой является то, что на нескольких костях с достаточно сложной пространственной структурой был отработан технологический конвейер создания детализированных моделей на основе томографических данных [5].

Заключение

Приведенными примерами не ограничиваются разработки ПГУ в области трехмерного моделирования и визуализации в области медицины. Данный список может быть продолжен. Однако уже рассмотренного перечня достаточно, чтобы показать, насколько перспективной и плодотворной является область на стыке современных информационных технологий и медицины и что данное направление в университете активно развивается.

Список литературы

1. Титомир, Л. И. Математическое моделирование биоэлектрического генератора сердца / Л. И. Титомир, П. Кнеппо. – М. : Наука, Физматлит, 1999. – 447 с.
2. Митрохина, Н. Ю. Анализ электрической активности сердца с использованием геометрических параметров / Н. Ю. Митрохина, А. В. Кузьмин, Е. В. Петрунина // Медицинская техника. – 2013. – № 6. – С. 38–41.
3. Алгоритмы определения видимости объектов сцены при симуляционном обучении базовым навыкам лапароскопии / А. В. Кузьмин, М. Г. Милюткин, А. С. Черепанов, А. В. Иващенко, А. В. Колсанов, Р. Р. Юнусов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2013. – № 3. – С. 40–51.
4. Григорькина, Е. С. Компьютерное 3D-моделирование травмирующего воздействия на верхнюю челюсть / Е. С. Григорькина, А. В. Кузьмин, С. В. Сергеев // Практическая медицина. – 2015. – № 2 (87). – Т. 2. – С. 76–78.
5. Денисов, О. Е. Информационная система для изучения анатомии человека / О. Е. Денисов, И. А. Левашов, А. В. Кузьмин // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2014. – № 2 (10). – С. 153–157.

Кузьмин Андрей Викторович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра информационно-вычислительных
систем,
Пензенский государственный университет
E-mail: flickerlight@inbox.com

Kuz'min Andrey Viktorovich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of information systems,
Penza State University

УДК 004.9

Кузьмин, А. В.

Трехмерное моделирование и визуализация в медицине / А. В. Кузьмин // Вестник Пензенского государственного университета. – 2015. – № 4 (12). – С. 122–127.