

6. Юдин Д.А., Магергут В.З. Применение текстурного анализа для сегментации видеоизображений процесса обжига // Математические методы в технике и технологиях (ММТТ-25): сб. тр. XXV Междунар. науч. конф. 2012. С. 59–63.
7. Huang G.-B., Wang D.H. and Lan Y., *Extreme Learning Machines: A Survey*, Intern. Journ. MLC, 2011, Vol. 2, no. 2, pp. 107–122.
8. Юдин Д.А., Магергут В.З. Распознавание изображений процесса обжига с использованием нейросетевых методов // Проблемы фундаментальных и прикладных естественных и технических наук в современном информационном обществе: тр. 55-й научн. конф. МФТИ. М.: МФТИ, 2012. Т. 1. С. 107–108.
9. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. М.: Вильямс, 2006. 1104 с.
10. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. М.: Физматлит, 2004. 560 с.
11. Чанг Ч., Лин Ч. LIBSVM Библиотека, реализующая метод опорных векторов. URL: <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm> (дата обращения: 02.04.2013).
12. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. MATLAB 6. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. 496 с.

References

1. Klassen V.K., Nuss M.V., *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo* [News of higher educational institutions. Construction], 2008, no. 1, pp. 34–40.
2. *Sistema promyshlennogo televideniya dlya obzhigovykh pechey* [Industrial TV system for burning kilns], Available at:

- <http://telesen.ru/content/view/121/213/> (accessed 02 Apr. 2013).
3. Boecher R., *Tsement i ego primeneniye* [Cement and its Applications], 2008, no. 3, pp. 64–65.
 4. Li W., Wang D., Chaia T., *Neurocomputing*, Vol. 102, 2013, pp. 144–153.
 5. Szatvanyi G., *Improving quality and combustion control in pyrometallurgical processes using multivariate image analysis of flames: Master's thesis*, Laval Univ., Quebec, 2006.
 6. Yudin D.A., Magergut V.Z., *Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyakh (MMTT-25): sb. tr. XXV Mezhdunar. nauch. konf.* [Proc. 25th Int. Sc. Conf. «MMTT-25»], 2012, pp. 59–63.
 7. Huang G.-B., Wang D.H., Lan Y., *IJMLC*, Vol. 2, no. 2, 2011, pp. 107–122.
 8. Yudin D.A., Magergut V.Z., *Trudy 55 nauch. konf. MFTI «Problemy fundamentalnykh i prikladnykh estestvennykh i tekhnicheskikh nauk v sovremennom informatsionnom obshchestve»* [Problems of fundamental and applied natural and technical sciences in modern informational society: Proc. 55th MIPT Sc. Conf.], Vol. 1, Moscow, MFTI, 2012, pp. 107–108.
 9. Khaykin S., *Neyronnye seti: polny kurs* [Neural network: complete course], 2nd ed., Moscow, Vilyams, 2006, 1104 p.
 10. Gantmakher F.R., *Teoriya matrits* [Matrix theory], 5th edition, Moscow, Fizmatlit, 2004, 560 p.
 11. Chang Ch.-Ch., Lin Ch.-J., *LIBSVM – A Library for Support Vector Machines*, Available at: <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm> (accessed 02 Apr. 2013).
 12. Medvedev V.S., Potemkin V.G., *Neyronnye seti. MATLAB 6* [Neural network. MATLAB 6], Moscow, DIALOG-MIFI, 2002, 496 p.

УДК 007.51

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕНАЖЕРА ЭНДОВАСКУЛЯРНОЙ ХИРУРГИИ

(Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках ФЦП

«Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России»
на 2007–2013 гг., шифр № 2011-2.7-527-062)

А.В. Колсанов, д.м.н., профессор, зав. кафедрой; Б.И. Яремин, к.м.н., доцент;
А.С. Воронин, ассистент (Самарский государственный медицинский университет,
ул. Чапаевская, 89, г. Самара, 443099, Россия,
avkolsanov@mail.ru, vtm@samsmu.net, alek.voronin86@yandex.ru);
А.С. Черепанов, вед. разработчик; А.В. Иващенко, д.т.н., доцент, зам. директора по науке;
Н.В. Сапцин, руководитель проектов
(Научно-производственная компания «Маджента Девелопмент»,
cherepanov@magenta-technology.ru, anton.ivashenko@gmail.com, saptsin@magenta-technology.ru)

В статье описываются особенности реализации ПО аппаратно-программного комплекса «Виртуальный хирург» для обучения врачей-хирургов навыкам эндоваскулярной хирургии на этапах преддипломной практики и дипломного проектирования. Основное внимание уделяется реализации трехмерной модели органов человека и алгоритмов ее визуализации, позволяющих воспроизводить в ходе моделирования оперативного вмешательства реалистичные рентгеновские изображения, алгоритмам симуляции физики и авторским методикам моделирования и обучения эндоваскулярной диагностики и оперативному вмешательству. Описываются результаты, впервые полученные в ходе работы над тренажером и позволяющие обеспечить более реалистичную визуализацию и обратную связь по сравнению с иностранными аналогами.

Ключевые слова: аппаратно-программный комплекс, моделирование, симуляционное обучение, хирургия.

ENDOVASCULAR SURGERY SIMULATION TRAINING SOFTWARE

Kolsanov A.V., Ph.D., professor, head of chair; Yaremin B.I., Ph.D., associate professor; Voronin A.S., assistant

(Samara State Medical University, Chapayevskaya St., 89, Samara, 443099, Russia,
avkolsanov@mail.ru, vtm@samsmu.net, alek.voronin86@yandex.ru);

Cherepanov A.S., leading of developer;

Ivashchenko A.V., Ph.D., associate professor, deputy director on scientific work; **Saptsin N.V.**, head of the projects
(SEC «Magenta Technology», Samarskaya St., 146, Samara, 443011, Russia,
cherepanov@magenta-technology.ru, anton.ivashchenko@gmail.com, saptsin@magenta-technology.ru)

Abstract. The paper describes basic features of software implementation for «Virtual Surgeon» simulation training system for surgeon's study an endovascular surgery skills at stages of pre-graduation training and graduation work. Main attention is given to an implementation of 3D model of human body and its visualization technology that allows reconstruction of realistic X-ray images in an operative intervention process; algorithms of physical interaction simulation and innovative methodology for modeling and training of endovascular diagnostics and operative surgery. New project results are described. They provide more realistic visualization and feedback comparing to foreign analogs.

Keywords: hardware and software, simulation, training, surgery.

Разработка новых технологий симуляционного обучения [1] позволяет повысить уровень подготовки врачей-хирургов, развить возможности отработки методик с учетом индивидуальных особенностей пациента, обеспечивая тем самым развитие отечественной медицины. В свою очередь повышение уровня оказываемых медицинских услуг обуславливает общее повышение качества жизни населения.

Эндоваскулярная хирургия предполагает проведение операций на кровеносных сосудах чрезкожным доступом под ангиографическим (рентгеновским) контролем с использованием специальных инструментов: катетеров, проводников и т.д. Поскольку традиционные методы обучения хирургов слабо применимы при обучении эндоваскулярной хирургии, актуальной задачей является разработка специализированных тренажеров, позволяющих обучать методикам проведения операции, не подвергая риску реальных пациентов. В частности, наиболее перспективным направлением [2] стало использование тренажеров виртуальной реальности с применением аппаратно-программных средств, имитирующих процесс ввода реальных инструментов в сосудистую систему пациента и реалистичную рентгеновскую картину в процессе тренировки.

Одной из актуальных проблем при разработке таких тренажеров является повышение реалистичности трехмерных моделей и изображений, воспроизводящих рентгеновские фотографии и видеоматериалы, с которыми работает хирург в ходе операции. Высокая реалистичность таких изображений позволяет приблизить условия обучения к реальным и повысить эффективность применения симуляционных технологий в учебном процессе.

Задача разработки тренажера эндоваскулярной хирургии высокой достоверности включает два различных класса задач физической симуляции: симуляция движения системы эндоваскулярных инструментов внутри кровеносных сосудов человека и симуляция распространения рентгеноконтрастной жидкости внутри носителя (крови) и ее движения вместе с носителем по кровеносным сосудам. В данной статье предлагаются программные решения этих задач.

Архитектура ПО тренажера эндоваскулярной хирургии

Эндоваскулярная хирургия – это малоинвазивный метод исследования и лечения патологий кровеносных сосудов и внутренних органов путем введения инструментов по кровеносным сосудам. В большинстве случаев проводится без общего наркоза, под местной анестезией. Эндоваскулярное вмешательство осуществляется при наблюдении под рентгеновскими лучами. Для проведения манипуляций и поиска патологий в процессе эндоваскулярной операции в кровь вводится рентгеноконтрастное вещество (жидкость), которое, смешиваясь с кровью, движется по кровеносным сосудам и хорошо различимо на рентгеновском изображении.

Перечень доступных для использования виртуальных тренажеров для симуляционного обучения эндоваскулярной хирургии крайне ограничен. При этом существующие тренажеры отличаются очень высокой стоимостью, минимальным набором доступных операций и закрытой архитектурой, не допускающей возможности расширения функциональности.

Для устранения этих недостатков в рамках аппаратно-программного комплекса «Виртуальный хирург» [3] был разработан оригинальный тренажер эндоваскулярной хирургии, обеспечивающий реалистичную симуляцию проведения операций. ПО тренажера позволяет получать и обрабатывать управляющие воздействия от обучаемого через манипуляторы и другие элементы интерфейса, формировать визуальную и силовую реакции на воздействия пользователя. ПО тренажера включает подсистемы физического моделирования операций, построения рентгеновских изображений, взаимодействия с манипуляторами, управления операциями.

Модуль физического моделирования эндоваскулярных операций обеспечивает полную реализацию модели физического взаимодействия в рамках операционного поля, включая

- взаимодействие инструментов между собой;
- обнаружение и обработку контактов инструмента с моделью сосудистой системы пациента;

- определение изменений в положении (перемещение) и в геометрии (деформация) эндоваскулярных инструментов;
- обработку дискретных событий, изменяющих состояние физической модели операционного поля;
- расчет положений и сил при взаимодействии инструментов с объектами операционного поля.

С помощью модуля построения изображений выполняется полная реалистичная симуляция (см. рис. 1): изображение операционного поля и визуализация ввода в артерии инструментов и рентгеноконтрастного вещества. При построении рентгеновского изображения используются трехмерные модели операционного поля, визуальные модели инструментов и алгоритмы, позволяющие добиться необходимых визуальных эффектов, моделирующих рентгенографию/рентгеноскопию и течение жидкости. Модуль физического моделирования предоставляет модулю построения рентгеновских изображений информацию об изменении положения инструментов, топологии и состава объектов операционного поля.

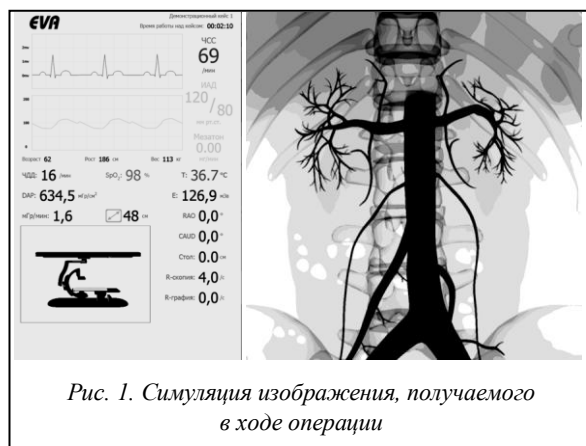


Рис. 1. Симуляция изображения, получаемого в ходе операции

Модуль взаимодействия с манипуляторами обеспечивает обмен информацией с датчиками и сервомашинами, что позволяет определять текущее положение эндоваскулярных инструментов, задавать настройки симуляции оборудования, используемого при операции, и настройки построения рентгеновского изображения.

Модуль управления операцией осуществляет высокоуровневое управление всеми остальными модулями в соответствии с логикой операции, включая

- отслеживание и регистрацию событий, существенных для хода операции;
- отслеживание и регистрацию качественных и количественных показателей, используемых для оценки операции;
- запуск на основе первичных событий вторичных высокоуровневых событий, изменяющих физическую модель операционного поля;

- отслеживание критериев аварийного завершения операции;
- моделирование действий хирурга, реализованных за пределами манипуляторов (например смена инструмента);
- реализацию интерфейса управления операцией (см. рис. 2): параметры рентгеновской съемки, старт/прекращение симуляции, смена инструмента, вывод информации о состоянии пациента, подведение итогов.



Рис. 2. Интерфейс подсистемы управления операцией

Исходными для этого модуля являются данные модуля физического моделирования о событиях взаимодействия инструментов с объектами операционного поля, включая время события, текущий инструмент, объект операционного поля (элемент сосудистой системы), геометрию контакта в локальных координатах объекта и тип взаимодействия. Модуль управления операциями предоставляет модулю визуализации информацию о дополнительных процессах, требующих визуализации, о параметрах визуализации и команды на начало/паузу/прекращение визуализации с необходимыми параметрами. Этот модуль также позволяет вводить информацию о смене инструментов и данные о дискретных событиях, изменяющих физическую модель операционного поля.

Программное моделирование взаимного движения эндоваскулярных инструментов

Эндоваскулярные инструменты в большинстве своем представляют собой тонкие (радиус от долей миллиметра до 3–4 мм), упругие, нерастяжимые полые объекты или объекты в виде проволоки. Большинство инструментов имеют хвостовую часть особой формы. Система инструментов – это несколько инструментов, вставленных друг в друга, причем в кровеносном сосуде они могут двигаться как совместно, так и независимо друг от друга, за исключением общей части.

Для симуляции физики инструментов были созданы две реализации: с использованием библиотек физической симуляции PhysX [4] и Bullet. Библиотеки во многом идентичны в возможностях и имеют схожие концепции базовых объектов.

С целью симуляции эндоваскулярного инструмента была предложена модель, в которой инструмент представлял собой набор капсул, последовательно скрепленных друг с другом. Было использовано обобщенное соединение с шестью степенями свободы. Три степени свободы блокировались (линейные перемещения), для остальных (угловых) включался режим пружины. При этом форма и упругость инструмента задавались настройкой положения и упругости данных соединений.

Для представления стенок кровеносных сосудов первоначально использовались объекты физической библиотеки типа «ткань». Однако исследование показало практическую неприменимость ткани для представления стенок кровеносных сосудов по причине неприемлемо низкой стабильности симуляции и низкой производительности. В дальнейшем для стенок кровеносных сосудов была использована модель абсолютно твердого тела, геометрия стенок представлена в виде модели, состоящей из треугольников.

Возникли проблемы и с созданием модели движения инструментов друг в друге. Несколько инструментов (до трех одновременно) должны были иметь общую часть, на которой они изгибались бы друг друга. Свободная часть любого инструмента также должна была оказывать влияние на общую часть. Для этого был специально разработан и опробован подход, при котором инструменты вводились параллельно, но скреплялись друг с другом дополнительными скользящими соединениями. Подход показал приемлемую достоверность симуляции, но на практике оказался слишком медленным.

В результате был использован альтернативный способ, показавший себя лучше в плане достоверности и имеющий достаточно высокую скорость работы. Суть его в использовании одной физической модели из капсул для всех одновременно введенных инструментов. Разделение положения инструментов при этом происходит на логическом уровне. Соединения между капсулами динамически перенастраиваются при взаимном движении инструментов в зависимости от близлежащих узлов всех зависимых инструментов.

Моделирование распространения рентгеноконтрастной жидкости по кровеносным сосудам

Симуляция движения жидкости – одна из наиболее сложных и интересных задач. Решение задачи гидродинамики как прямое численное решение уравнений Навье–Стокса в реальном времени в настоящий момент не представляется возможным. Наиболее популярным методом для приближенного решения задачи гидродинамики стала гидродинамика сглаженных частиц (Smoothed-

particle hydrodynamics) [5, 6]. Метод, к сожалению, оказался неприменим напрямую в данной задаче из-за сложного строения артериального дерева и необходимости иметь слишком большое количество частиц.

Разработанное приближенное решение заключалось в представлении распределения контраста как функции плотности рентгеноконтрастного вещества по оси сосуда и динамики его движения по артериальному дереву. Динамика движения имитировалась сдвигом функции со скоростью, равной $A+B \cdot |\sin(C \cdot t)|$.

Процесс перемешивания рентгеноконтрастного вещества с кровью имитировался сглаживанием функции распределения по оси сосуда (свертка с настраиваемым ядром).

Найденное решение несмотря на сильную приближенность показало хорошие визуальные результаты и, по мнению медицинских экспертов, способно выступить в качестве основы тренажера эндоваскулярной хирургии.

Для симуляции изображения внутренних органов в рентгеновских лучах традиционные алгоритмы отображения трехмерных объектов не подходят, поскольку необходимо отображение внутренних органов в проходящем свете, а не в отраженном. Первоначально были исследованы различные способы послойного рисования органов с вариантами аддитивного, мультипликативного и альфа-смешивания. Все эти способы не учитывают толщину органов, в результате получаемое изображение выглядит плоским. Сымитировать влияние толщины органов можно, используя шейдеры. Данный способ был реализован для отображения ребер, где хорошо показал себя. Однако для крупных, протяженных органов такой метод оказался малоприменимым: при вращении органы выглядели ненатурально.

Для получения попиксельной толщины объектов изначально использовался следующий способ. Значение глубины (z) сцены отрисовывалось сначала для всех нелицевых граней объекта, затем для всех лицевых. Потом, используя вычисленную толщину (разницу между глубиной лицевой и нелицевой граней) и применяя экспоненциальный закон затухания с учетом рентгеноплотности объекта, получено итоговое поглощение рентгеновского луча для данного объекта.

Предложенный способ учета толщины налагает очевидное условие на объемные модели объектов: они должны быть выпуклыми и замкнутыми.

В дальнейшем способ был доработан для обработки невыпуклых объектов. Все грани (лицевые и нелицевые) объекта рисуются в один проход. Значение глубины с аддитивным смешиванием записывается в выходной буфер, однако для нелицевых граней значение глубины обращается (берется с обратным знаком) шейдером. Объекты по-прежнему должны быть замкнутыми.

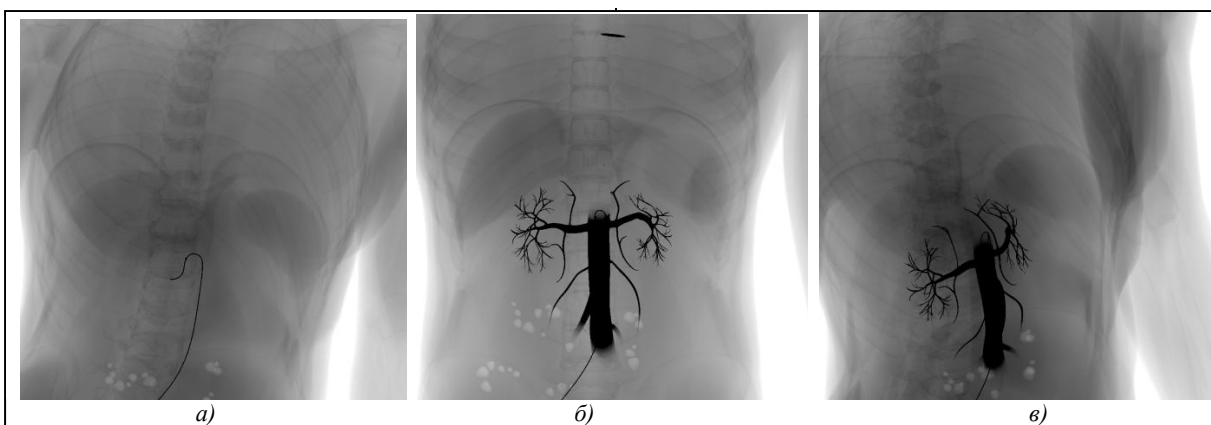


Рис. 3. Итоговые изображения, воспроизводящие рентгеновские изображения при проведении эндоваскулярных операций: а) движение проводника по артерии, б) фронтальное изображение размытия контраста по артериям, в) боковое изображение размытия контраста по артериям

Отдельного внимания потребовала визуализация артерий. Поскольку сами кровеносные сосуды на рентгене практически не видны, задача сводится к визуализации рентгеноконтрастного вещества, движущегося по сосудам.

Данная задача тесно связана с выбранным способом физической симуляции движения жидкости. Первоначально были использованы различные способы визуализации системы частиц как результата работы этапа физической симуляции, однако их реализация оказалась неудовлетворительной либо в визуальном плане, либо в плане производительности в совокупности с производительностью физической симуляции.

В конечном итоге с учетом выбранного способа физической симуляции был разработан оригинальный метод визуализации, использующий изложенный базовый принцип визуализации объемных объектов. На модель артерий накладывается динамическая текстура, значения которой трактуется как осевая рентгеноплотность артерий. Подобная схема, несмотря на отсутствие радиальных деталей в распределении контраста вдоль ветви артерии, дает хороший визуальный эффект, учитывающий толщину артерий и их ориентацию относительно камеры. Вспомогательные структуры данных содержат информацию об артериальном дереве и путях движения крови (носителя рентгеноконтрастного вещества). Наложенная динамическая текстура покадрово перестраивается, что влечет за собой изменение отображаемых артерий.

Настоящее изображение, полученное с рентгеновского аппарата, в большинстве случаев заметно размыто и содержит шум. Данные эффекты были симитированы полноэкранный постобработкой. Шум получен аддитивным наложением текстуры шума на изображение с покадровым сдвигом текстуры шума в псевдослучайном направлении. Размытие было получено при помощи разделяемого сверточного фильтра с ядром в виде усеченной функции Гаусса.

Результирующие изображения приведены на рисунке 3.

В заключение следует отметить, что разработанное ПО АПК «Виртуальный хирург» предназначено для моделирования эндоваскулярной диагностики и оперативного вмешательства. Оно позволяет реализовать полностью контролируемый процесс симуляции выполнения эндоваскулярных операций, включая оценку результатов. На данный момент тренажер позволяет просматривать и опробовать методики трансфеморальной аортографии, селективной ангиографии почечных артерий, селективной коронарографии и чрескожной баллонной ангиопластики коронарных сосудов для ряда моделей, в том числе с различными патологиями. Таким образом, обеспечивается необходимый инструментарий для обучения врачей-хирургов практическим навыкам на этапах додипломного и последипломного обучения. Разработка была продемонстрирована в Германии на 44-й Международной выставке медицинской индустрии MEDICA-2012 в г. Дюссельдорфе и Международной выставке информационных технологий CeBIT-2013 в г. Ганновере.

Литература

1. Филимонов В.С., Талибов О.Б., Верткин А.Л. Эффективность симуляционной технологии обучения врачей по ведению пациентов в критических ситуациях // Врач скорой помощи. 2010. № 6. С. 9–19.
2. Колсанов А.В., Юнусов Р.Р., Яремич Б.И., Чаплыгин С.С., Воронин А.С., Грачев Б.Д., Дубинин А.А., Назарян А.К. Разработка и внедрение современных медицинских технологий в систему медицинского образования // Врач-аспирант. 2012. № 2.4 (51). С. 584–588.
3. Черепанов А.С., Макаров С.А., Сапцин Н.В., Ивашенко А.В., Яремич Б.И., Колсанов А.В. Тренажер для симуляционного обучения эндоваскулярному оперативному вмешательству // Перспективные информационные технологии в научных исследованиях, проектировании и обучении (ПИТ 2012): тр. науч.-технич. конф. Самара: СНЦ РАН, 2012. С. 273–277.
4. Профессиональные решения NVIDIA для ускорения работы с трехмерной графикой // САПР и графика. 2010. № 2. С. 42–43.

5. Monaghan J.J., An introduction to SPH, Computer Physics Communications, 1988, Vol. 48, pp. 88–96.

6. Kolb A., Cuntz N., Dynamic particle coupling for GPU-based fluid simulation, In Proceedings of the 18th Symposium on Simulation Techniques, 2005, pp. 722–727.

References

1. Filimonov V.S., Talibov O.B., Vertkin A.L., *Vrach skoroy pomoshchi* [An emergency doctor], 2010, no. 6, pp. 9–19.

2. Kolsanov A.V., Yunusov R.R., Yaremin B.I., Chaplygin S.S., Voronin A.S., Grachev B.D., Dubinin A.A., Nazaryan A.K.,

Vrach-aspirant [Postgraduate doctor], 2012, no. 2.4 (51), pp. 584–588.

3. Cherepanov A.S., Makarov S.A., Sapsin N.V., Ivashchenko A.V., Yaremin B.I., Kolsanov A.V., *Tr. nauch.-tekhnich. konf. «PIT 2012»* [Proc. of Sci. and Technol. Conf. «PIT 2012»], Samara, SNTs RAN, 2012, pp. 273–277.

4. *SAPR i grafika* [CAD and graphics], 2010, no. 2, pp. 42–43.

5. Monaghan J.J., *Computer Physics Communications*, 1988, Vol. 48, pp. 88–96.

6. Kolb A., Cuntz N., *Proc. of the 18th Symp. on Simulation Techniques*, 2005, pp. 722–727.

УДК 007.51

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕНАЖЕРА ЛАПАРОСКОПИЧЕСКОЙ ХИРУРГИИ

(Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках ФЦП

«Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России» на 2007–2013 гг., шифр № 2011-2.7-527-062)

А.В. Колсанов, д.м.н., профессор, зав. кафедрой; С.С. Чаплыгин, ассистент
(Самарский государственный медицинский университет,
ул. Чапаевская, 89, г. Самара, 443099, Россия, avkolsanov@mail.ru, chaplyginss@mail.ru);

А.В. Иващенко, д.т.н., доцент, зам. директора по науке;

А.В. Кузьмин, к.т.н., доцент, вед. инженер-программист;

Н.А. Горбаченко, вед. инженер-программист; М.Г. Милюткин, вед. инженер-программист
(Научно-производственная компания «Маджента Девелопмент», anton.ivashenko@gmail.com,
flickerlight@inbox.ru, gorbachenko@magenta-technology.ru, milutkin@magenta-technology.ru)

Описываются особенности реализации ПО аппаратно-программного комплекса «Виртуальный хирург» для обучения врачей-хирургов навыкам лапароскопической (эндоскопической) хирургии на этапах преддипломной практики и дипломного проектирования. ПО тренажера позволяет реалистично симулировать действия различных лапароскопических инструментов и камеры-эндоскопа в трехмерной сцене. Авторами разработаны трехмерные модели органов человека и реализованы сценарии проведения операций, позволяющие освоить базовые навыки и техники проведения оперативного вмешательства. Для обучения базовым навыкам оперативного вмешательства созданы специализированные сцены и обучающие методики.

Ключевые слова: аппаратно-программный комплекс, моделирование, симуляционное обучение, хирургия.

LAPAROSCOPIC SURGERY SIMULATION TRAINING SOFTWARE

Kolsanov A.V., Ph.D., professor, head of chair; Chaplygin S.S., assistant (Samara State Medical University, Chapayevskaya St., 89, Samara, 443099, Russia, avkolsanov@mail.ru, chaplyginss@mail.ru);

Ivashchenko A.V., Ph.D., associate professor, deputy director on scientific work;

Kuzmin A.V., Ph.D., associate professor, leading engineer-programmer;

Gorbachenko N.A., leading engineer-programmer; Milutkin M.G., leading engineer-programmer
(SEC «Magenta Technology», Samarskaya St., 146, Samara, 443011, Russia, anton.ivashenko@gmail.com,
flickerlight@inbox.ru, gorbachenko@magenta-technology.ru, milutkin@magenta-technology.ru)

Abstract. The paper describes basic features of software implementation for «Virtual Surgeon» simulation training system for surgeon's study of laparoscopy (endoscopy) skills at stages of pre-graduation training and graduation work. The developed software allows realistic simulation of different laparoscopic instruments actions and video camera – endoscope in 3D scenes. There are developed 3D models of human body and operative intervention scenarios that help learning basic skills and techniques of surgery treatment. Special scenes and study methods are provided to train surgery basic skills.

Keywords: hardware and software, simulation, training, surgery.

Симуляционное обучение в медицине – это вид учебной деятельности, направленной на освоение обучающимися всех категорий практических навыков, комплексных умений и отработку командных действий при оказании медицинской помощи на основе применения симуляционных моделей: роботов-симуляторов пациента, виртуальных тре-

нажеров, муляжей, фантомов и манекенов. Симуляционные технологии в медицине являются новым для российского здравоохранения форматом обучения с выраженным практическим акцентом, эффективно формирующим в участниках прикладные навыки через погружение в реальность [1]. В связи с этим актуальна задача разработки и