

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора

АО «Системы управления» по науке

А.С. Шмаков

« 17 » апреля 2017 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Гиацинтова Александра Михайловича
«Методы и алгоритмы визуализации разнородных данных в тренажерно-обучающих системах промышленного применения», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации
(промышленность)

Диссертационная работа Гиацинтова А.М. посвящена разработке методов и алгоритмов визуализации, трансформации и анализа информации в режиме реального времени в тренажерно-обучающих системах промышленного применения. С использованием методов математического и имитационного моделирования, визуализации, трансформации, кластерного, регрессионного анализа данных, методов системного анализа в работе произведена разработка архитектуры автоматизированной системы обучения (АОС), а также методов воспроизведения видеоматериалов в виртуальной трехмерной сцене, в том числе потоковых, в реальном масштабе времени, метода хромакеинга, метода оптимизированного ввода правил в АОС. Реализация методов и алгоритмов продемонстрирована на примере созданного курса теоретической подготовки промышленно-производственного персонала по обследованию и диагностике щеточно-контактных аппаратов (ЩКА) турбогенераторов (ТГ) ТВВ-160 государственных районных электростанций (ГРЭС).

В ряде отраслей промышленности в настоящее время ощущается нехватка квалифицированных специалистов, способных профессионально управлять сложными техническими системами. Причем потребности в

квалифицированных специалистах по некоторым отраслям, в ближайшие годы будут только расти. Тренировки операторов на реальных промышленных установках и в реальных условиях слишком опасны и дороги, а часто и не реализуемы. Альтернативой являются компьютерные тренажерно-обучающие системы (ТОС), которые в максимально возможной степени моделируют реальные комплексы и позволяют тренирующимся приобрести правильные и устойчивые навыки. Обучение операторов включает как теоретическую часть (изучение соответствующих математических моделей, критериев надежности и т.д.), так и практическую, без которой невозможно получение устойчивых навыков управления. Подготовка с применением ТОС позволяет отрабатывать навыки в условиях, которые в реальной эксплуатации могут привести к нештатным ситуациям.

Одним из важнейших компонентов ТОС является система визуализации, обеспечивающая отображение результатов моделирования внешней среды и объекта управления с помощью устройств отображения информации. Применительно к теоретическому этапу подготовки, система визуализации должна отображать следующие виды учебных материалов: динамические графики развития процессов; диаграммы, гистограммы для анализа массивов данных; графические материалы изучаемых объектов; трехмерные модели объектов, их частей; функциональные схемы взаимодействия отдельных подсистем, обобщенные схемы работы изучаемой системы в целом; результаты работы моделирующих комплексов, с сохранением управляемости приложения; видеоматериалы реальных объектов.

Следовательно, возникает необходимость создания ТОС, позволяющих объединять разнородную учебную мультимедийную информацию в едином информационном пространстве.

Результаты проведенного анализа показывают, что вопросы разработки технологий и методов отображения разнородных мультимедийных учебных материалов в системах подготовки персонала раскрыты не достаточно полно. Следовательно, учитывая все вышеизложенное, задача создания тренажерно-обучающих систем, отвечающих современным требованиям, является **актуальной**.

Диссертационная работа Гиацинтова А.М. состоит из введения, 5 глав, заключения, библиографического списка из 117 наименований, содержит 20 рисунков и 3 таблицы.

Во введении к диссертации обосновывается актуальность работы, ее научная новизна, формулируются цели и задачи диссертационного исследования, приводится краткое содержание глав диссертации и положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена анализу современных технологий визуализации трехмерного окружения в режиме реального времени (визуализация с частотой смены кадров не менее 25 в секунду), методов рир-проекции, возможностей применения рассмотренных технологий и методов в тренажерно-обучающих системах.

Определены основные факторы, влияющие на освещение виртуальной трехмерной сцены. Приведены формулы расчета освещенности для различных видов источников света и различных поверхностей.

Проведено сравнение функциональных возможностей широко используемых систем визуализации, таких как Unreal Engine, CryEngine, Source (п. 1.1). На основе анализа автором был сделан вывод, что описанные системы неприменимы в качестве основы подсистемы визуализации для ТОС. Было принято решение использовать в составе ТОС инструменты с открытым исходным кодом.

Рассмотрены применяемые в настоящее время технологии рир-проекции, используемые для создания детализированных виртуальных трёхмерных сред (п. 1.2.). Основной идеей технологии кеинга является выделение объекта с однородного фона при помощи маски, содержащей информацию о прозрачности фрагментов изображения. Проанализированы существующие методы рир-проекции и выявлены особенности каждого метода. На основе анализа автор делает заключение о ряде преимуществ 3D кеинга перед другими методами рир-проекции.

Во второй главе приводится разработанная автором архитектура автоматизированной системы обучения (АСО). Описываются общие требования к архитектуре информационных систем, а также разработанные компоненты архитектуры.

Предложенная архитектура системы АСО состоит из: ядра системы, содержащего базовые компоненты, необходимые для работы системы; подсистем, отвечающих за определенные функции (рендеринг, воспроизведение мультимедиа материалов, анимацию и т.д.); интерфейса взаимодействия, обеспечивающего связь различных компонентов ядра и подсистем между собой; графического интерфейса пользователя, управляющего функциональностью системы через интерфейс взаимодействия. Основные компоненты архитектуры приведены на Рис. 1. Для расширения базовой функциональности АСО используются подсистемы. На данный момент существуют подсистемы импорта ресурсов, визуализации, мультимедиа и анимации.

Отличительной особенностью разработанной архитектуры является наличие функциональных элементов обеспечивающих одновременное воспроизведение нескольких разнородных видеоматериалов высокой четкости, в том числе потоковых, а также реализацию рир-проекции. Автор утверждает, что преимуществами разработанной архитектуры является модульность, низкая связность между элементами системами и разделение ответственности подсистем. Подчеркивается, что следствием подобной организации архитектуры является ее масштабируемость и меньшее число ошибок при внесении изменений в существующую функциональность.

Третья глава посвящена разработанной архитектуре подсистемы визуализации. Автором приводятся требования к подсистеме визуализации, разработаны методы анимации виртуальной камеры, а также формат хранения анимационных данных камеры. Кроме того автор описывает

процесс отображения изображений с частичной прозрачностью в виртуальном трехмерном окружении.

Архитектура подсистемы визуализации состоит из графического модуля, являющегося ядром подсистемы, и расширений, отвечающих за работу с анимацией камеры и полупрозрачными изображениями, разработанных автором.

Для решения задачи анимации виртуальной камеры в трехмерной сцене автором был создан алгоритм, позволяющий воспроизводить анимацию, созданную в приложениях создания контента, а также разработан формат хранения анимационных данных (п. 3.3.). Отмечается, что в отличие от большинства алгоритмов программируемой анимации камеры, разработанный алгоритм способен обрабатывать анимацию камеры не только в случае, когда последовательность воспроизводимых кадров возрастающая (например, воспроизведение анимации камеры с 0-го кадра по 60-й), но и в случае, когда последовательность является убывающей (с 60-го по 0-й). Данная функциональность позволяет избежать необходимости создания дополнительных кадров анимации камеры в приложениях трёхмерного моделирования.

Также автором был реализован алгоритм отображения полупрозрачных объектов в виртуальной трехмерной сцене (п. 3.4). Результатом работы алгоритма является измененный цвет каждого пикселя изображения. Кроме использования информации о прозрачности из альфа канала текстуры, значение прозрачности объекта может быть задано в материале трехмерного объекта в отрезке $[0..1]$.

В четвертой главе автором приводятся методы и алгоритмы, позволяющие одновременно отображать несколько видеоматериалов высокой четкости на гранях объектов виртуальной трехмерной сцены. Воспроизведение может производиться как из файлов, так и потоковых источников, таких как видеокамеры или моделирующие комплексы (п. 4.1, 4.2).

Приводится разработанный автором алгоритм воспроизведения видеоматериалов. Описано несколько подходов к решению проблемы производительности, так как при использовании стандартных методов загрузки видеок кадров в память видеок кадров задержка составляла 15-20 миллисекунд, при рекомендованной частоте кадров подсистемы визуализации 16.6 мс. Приведено сравнение различных методов загрузки данных в память видеокарты. Разработанный автором алгоритм одновременного воспроизведения видеоматериалов позволяет одновременно отображать несколько видеоматериалов высокой четкости в режиме реального времени.

Описываются разработанные методы отображения видеоматериалов из потоковых источников (п. 4.2.). Была разработана архитектура декодера потоковых видеоматериалов. Каждая независимая часть декодера работает в собственном потоке. Разработанные автором методы и алгоритмы позволяют

воспроизводить потоковые видеоматериалы практически любого формата в подсистеме визуализации тренажерно-обучающей системы.

Приведен разработанный метод хромакеинга, обеспечивающий обработку поступающих изображений с использованием вычислительных ресурсов графической карты (п. 4.3). Обработка выполняется для каждого пикселя изображения. Пиксели изображения представляются в цветовой модели RGB, в то время как компонент альфа используется для определения прозрачности пикселя. Для повышения точности расчетов применяется формула определения дистанции (ф. 4.3.). Генерируемая маска прозрачности позволяет задавать частичную прозрачность пикселя изображения.

Учитывая разработанные методы и алгоритмы, автор делает вывод: с учетом того, что обработка мультимедийных материалов происходит в режиме реального времени, реализован режим подготовки персонала промышленного предприятия территориально-распределённой структуры с обеспечением коммуникации инструктора и обучаемого персонала.

В пятой главе приведены разработанные автором методы взаимодействия пользователя с виртуальным окружением с помощью программируемых сценариев. Описаны существующие технологии программируемых сценариев и применяемых динамических языков программирования. Представлена разработанная модель языковой структуры программируемых сценариев, описаны виды хранения информации в модели, обрабатываемые команды и варианты взаимодействия пользователя с моделью языковой структуры. Создана модель языковой структуры, являющаяся основой для функциональности программируемых сценариев.

Автор делает вывод, что применение программируемых сценариев позволяет сократить время на подготовку курса за счет оперативного изменения виртуальной трехмерной сцены при внесении коррекций в сценарий, а также методов оптимизации ввода правил в систему.

Апробация разработанной архитектуры, методов и алгоритмов была продемонстрирована на примере курса теоретической подготовки промышленно-производственного персонала по обследованию и диагностике щеточно-контактных аппаратов (ЩКА) турбогенераторов (ТГ) ТВВ-160 государственных районных электростанций (ГРЭС). Во время разработки курса теоретической подготовки использовались разнородные материалы: трехмерные модели с высокой детализацией, чертежи, фотографии и видеоматериалы для изучения конструктивного и технологического состава ЩКА ТГ. В состав материалов курса были включены термограммы, гистограммы, схемы охлаждения для демонстрации методов обследования ЩКА.

В заключении работы обобщаются основные научные результаты, полученные лично автором в ходе решения важной научно-технической задачи, которой посвящена диссертационная работа.

Представленные материалы (диссертация, автореферат) позволяют достаточно полно оценить объем и сложность проведенного исследования.

Предложены и обоснованы новые научные результаты, имеющие весомое научное и прикладное значение для развития методов и алгоритмов визуализации, трансформации и анализа информации в режиме реального времени в тренажерно-обучающих системах промышленного применения:

- 1) определена связь между производительностью подсистемы визуализации при воспроизведении видео и порядком поступления данных в память графического адаптера;
- 2) представлен метод воспроизведения видео, который позволил одновременно воспроизводить несколько видео в разрешении 4K (3840*2160) в виртуальной трехмерной сцене с сохранением управляемости системы обучения;
- 3) создан алгоритм хромакеинга, реализация которого выполняется на видеокартах, и не требует применения специализированных аппаратных средств.

Практическая значимость диссертационного исследования подтверждается следующими результатами:

- 1) разработаны методы воспроизведения мультимедийных материалов в виртуальных трехмерных сценах, что позволяет отображать различную проблемно-ориентированную информацию в едином окружении;
- 2) созданный метод хромакеинга обеспечивает внедрения графического образа инструктора в единое окружение без использования специализированных аппаратных средств
- 3) созданы курс подготовки специалистов по проектированию подсистем космических аппаратов, а также по обследованию и диагностике щеточно-контактных аппаратов турбогенераторов ГРЭС.

Достоверность результатов и выводов диссертационной работы Гиацинтова А.М. базируется на корректной постановке цели и задач исследования, использовании научно-обоснованных методов математического и имитационного моделирования, системного анализа. Обоснованность результатов работы подтверждена созданием курсов подготовки специалистов по различным специальностям, в том числе в ООО «ЭФ-КОНТЭЛ» при проведении обучения персонала предприятий электроэнергетики по обследованию и диагностике щеточно-контактных аппаратов турбогенераторов ТВВ-160 ГРЭС.

Диссертация хорошо структурирована. Автореферат полно отражает содержание диссертации.

По диссертационной работе Гиацинтова А.М. можно сделать следующие замечания:

- 1) В первой главе производится анализ наиболее известных коммерческих систем визуализации, в то время как нет анализа известных систем визуализации с открытым исходным кодом, таких как OpenSceneGraph.

- 2) В третьей главе описание выбранного графического модуля можно было бы сократить, в частности, убрать пункты 3.2.10-3.2.12, 3.2.14, 3.2.17.
- 3) В пункте 3.3 третьей главы, описывающем разработанный метод анимации виртуальной камеры, приводится только линейный метод интерполяции между двумя ключевыми кадрами анимации, и не рассмотрены другие популярные методы, такие как эрмитовы кривые, кривые Безье.
- 4) В пункте 4.1 четвертой главы не была рассмотрена возможность повторного сжатия декодированного видеокadra в формат, поддерживаемый видеокартами, такой как DXT1, для уменьшения размера передаваемых данных и, соответственно, снижения времени загрузки новых видеокadров.
- 5) В пятой главе указывается система предтренажерной подготовки, в то время как в остальной части диссертационной работы система называется автоматизированной системой обучения.
- 6) В пункте 5.2 пятой главы отсутствуют примеры созданных команд управления автоматизированной системой обучения.

Перечисленные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации.

Предложенные в диссертационной работе методы и алгоритмы могут быть рекомендованы для использования в Федеральном государственном унитарном предприятии "Научно-производственный центр "Вигстар", в научно-исследовательских и проектных организациях, имеющих отдел по подготовке персонала, а также в учебном процессе ВУЗов.

По теме диссертационной работы опубликовано 11 научных работ, из них 7 в журналах, входящих в перечень ВАК. Результаты работы обсуждались на 9 международных конференциях и 1 всероссийской научной конференции.

Соответствие полученных соискателем научных и практических результатов паспорту специальности 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации (промышленность), подтверждается следующим:

- предложена архитектура автоматизированной системы обучения (Глава 2).
- предложен метод визуализации видеоматериалов в виртуальной трехмерной сцене (Глава 4).
- предложен метод хромакеинга, обеспечивающий трансформацию входящих данных для выделения объекта переднего плана (Глава 4).

В диссертации проводились исследования в следующих областях, в соответствии с Паспортом специальности:

- (П.12) Разработаны методы анализа, преобразования, и отображения больших объемов данных в виртуальных трехмерных сценах в реальном масштабе времени.

Цель и задачи диссертации обусловлены актуальными проблемами науки и промышленности. Поставленная цель исследования достигнута, соответствующие задачи решены на достаточно высоком уровне.

На основе анализа содержания диссертации, автореферата, опубликованных автором работ можно сделать следующие заключение: диссертационная работа Гиацинтова А.М. на тему «Методы и алгоритмы визуализации разнородных данных в тренажерно-обучающих системах промышленного применения» является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 N 842), предъявляемым Высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. В диссертации изложены выполненные автором научно обоснованные технические разработки, связанные с совершенствованием методов визуализации, трансформации и анализа информации: создан метод одновременного отображения мультимедийных материалов в реальном масштабе времени в виртуальных сценах, разработан метод захвата, декодирования и отображения потоковых данных из разнородных источников, представлен алгоритм выделения объектов переднего плана из однородного фона, работающий в режиме реального времени.

Автор работы, А.М. Гиацинтов, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (промышленность)».

Диссертация и отзыв ведущей организации обсуждены и одобрены на заседании секции НТС АО «Системы управления», протокол №2 от «15» апреля 2017 г.

Руководитель управления координации

научно-технического развития АО «Системы управления»

д.т.н., профессор



В.М. Лазарев

117393, г. Москва, профсоюзная ул., д. 78

Тел.+7 495 995 09 88, +7 967 024 77 09

E-mail: Lazarev@oaosu.ru