ОТЗЫВ

официального оппонента на кандидатскую диссертацию Стародубцева Ильи Сергеевича «Модели, алгоритмы и программный комплекс для построения естественного человеко-компьютерного взаимодействия на основе жестов», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Диссертационная работа И.С. Стародубцева посвящена разработке математических моделей и программных средств, обеспечивающих естественное человеко-компьютерное взаимодействие на основе жестов. Такой способ взаимодействия является естественным с точки зрения человека (оператора) и позволяет взаимодействовать ему с виртуальным окружением напрямую, без необходимости использования специальной техники или специфических знаний. Такие интерфейсы широко востребованы как в области массовых интерфейсов (например, виртуальные примерочные комнаты, расширенная реальность для навигационных систем, антивандальные информационные панели), так и в области специализированных интерфейсов (например, компьютерные игры, управление оборудованием в условиях стерильности, робототехника). При захвате движения в работе предлагается использовать два метода, основанных на визуальном анализе видеопоследовательности, содержащей информацию о распределении глубины сцены. Предложенные методы представлены в виде математических моделей, на базе которых построены алгоритмы, положенные в основу программного комплекса. Большой интерес представляют результаты, связанные с математическими моделями, методами и алгоритмами захвата движения и распознавания позы оператора, которые могут применяться при решении задач компьютерной графики, технического зрения и визуального анализа последовательностей изображений.

Диссертация состоит из списка основных обозначений и соглашений, введения, трех глав, заключения и списка литературы. Общий объем работы – 129 страниц. Библиография содержит 119 наименований.

Во введении приводится подробный обзор текущего состояния дел в области жестовых интерфейсов, дается краткий исторический обзор развития интерфейсов. Рассматриваются реальные прикладные задачи, требующие привлечения жестовых интерфейсов. Раскрываются цели и задачи работы, обосновывается ее актуальность, описываются основные результаты диссертации.

Первая глава «Алгоритмическая реализация» посвящена описанию математических моделей и алгоритмов захвата движения, основанных на

обработке карт глубин, получаемых с устройств трехмерного сканирования. Глава разбита на два раздела в соответствии с предлагаемыми подходами решения основной проблемы. В первом разделе описывается подход, реализующий модель взаимодействия, основанную на анализе одной или нескольких точек интереса (например, связанных с движением ладони оператора) без использования какой-либо контекстной информации. Вводятся определения и ряд понятий, в частности, точка интереса, абсолютный, позитивный и негативный разностные накопительные буферы. Описываются процедуры инициализации точки интереса и поиска ее нового положения на основе определения максимума количества движения в сцене. Благодаря использованию накопительных разностных буферов анализ количества движения можно свести анализу первых моментов (математического ожидания) накопленных буферов или их части (в случае поиска нового положения). Предложенные алгоритмы имеют линейную скорость работы O(N) в зависимости от размера кадра N и используют целочисленную арифметику при работе с накопительными буферами. Поэтому они эффективно реализуются, в том числе на микропроцессорной технике, и могут быть использованы в разнообразных системах реального времени.

Второй раздел первой главы посвящен описанию подхода, основанного анализе положения всего тела оператора. Развивается идея выделения пространственного непрерывного скелета видимого силуэта оператора, а так же использования второго искусственного эталонного гибкого силуэта. Для выделения силуэта на фоне используются методы кристаллизации. Скелет представляет собой иерархическую структуру из отрезков-костей частей тела оператора. Эталонный силуэт определяется подогнанными вдоль костей цилиндрами. Поза оператора оценивается при помощи поиска такой деформации эталонного силуэта, при которой минимизируется разница между наблюдаемым и искусственным силуэтами. Предложен подход на основе обхода дерева скелета, при котором вычисляется только частичная функция невязки. Благодаря этому процедура минимизации может быть разбита на последовательность простых задач. Похожим образом устроена идея скелетной анимации в компьютерной графике. Также выделяются и описываются задачи сегментации, скелетизации и слежения. По каждой задаче рассматривается подходы к их алгоритмизации и приводится подробное описание методов решения. При этом автор решает нетривиальные задачи, в частности, по правильной обработке самопересечений силуэта (например, когда при сканировании рука загораживает часть туловища), для чего силуэт представляется многолистной поверхностью. Предложенные алгоритмы имеют скорость O(N log N), что также приемлемо в режиме реального времени. Однако второй подход позволяет решить такие проблемы, как, например, различие левой и правой ладоней.

Во второй главе, названной «Программно-аппаратная реализация», описывается функциональное наполнение реализованного программно-аппаратного комплекса поддержки жестовых интерфейсов. Важной частью этого раздела является описание ядра комплекса, обеспечивающего анализ

данных о глубине сцены, анализ модификаторов и непосредственно анализ жестов. Также описывается система модификаторов, позволяющая создавать новые языки жестов.

В третьей главе «Программная реализация» дается описание структуры разработанного программного комплекса и реализации отдельных модулей системы, а также описывается структура входных и выходных данных каждого модуля. Программные реализации обоих методов зарегистрированы в государственном Реестре программ для ЭВМ.

В заключении подводятся итоги исследований и разработок и отмечаются основные научные результаты диссертации, среди которых следует, прежде всего, отметить создание и реализацию алгоритмов захвата движения и слежения за объектами в пространстве на основе обработки карт глубин сцены с использованием техники точек интереса и распознавания позы оператора. Для практических приложений представляет интерес созданный программно-аппаратный комплекс разработки интерфейсов человеко-компьютерного взаимодействия при помощи жестов. Важно, что его модульная архитектура обеспечивает возможность использования различных алгоритмов без изменения ядра программного комплекса, а также позволяет подключение различных устройств, собирающих данные о глубине сцены. Разработан подход к созданию жестовых языков, основанного на системе модификаторов, что позволяет реализовывать различные жестовые языки.

Имеется ряд замечаний, связанных с нечеткостью изложением материала, в частности:

1. В начале раздела 1.2.2 говорится, что алгоритм Ли проще в реализации и надежнее по сравнению с другими (стр. 58). Однако в конце раздела сообщается, что используется модификация алгоритма Форчуна (стр. 65).

2. На стр. 65 упоминается модификация алгоритма Форчуна, однако подробного описания этой модификации не приведено.

3. На стр. 69 упоминается процедура отчистки найденного скелета от паразитных отростков и поиск изоморфизма пары скелетов, однако описания самой процедуры нет.

Хотелось бы получить ответы на эти замечания.

Кроме того, текст диссертации содержит опечатки, не влияющие на полученные результаты.

Эти замечания не уменьшают общую значимость полученных научных и практических результатов, полученных в диссертации. Примеры использования жестовых интерфейсов, разработанных на базе программно-аппаратного комплекса VirtualHand, показывают реальность результатов.

Диссертация является законченным научным исследованием, отражающим достижения автора в областях распознавания изображений и разработки средств человеко-компьютерных жестовых интерфейсов.

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации, а ее основные результаты являются новыми и с надлежащей полнотой опубликованными в ведущих рецензируемых журналах из списка ВАК и при-

равненных к ним. Указаны свидетельства автора о государственной регистрации программ для ЭВМ, что важно для данной специальности. Содержание диссертации соответствует специальности, по которой она рекомендуется к защите.

Диссертация Стародубцева Ильи Сергеевича соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», удовлетворяет требованиям ВАК к диссертациям, представленным на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Автор диссертации Стародубцев Илья Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент, доктор физико-математических наук по специальности 01.01.01 – «Вещественный, комплексный и функциональный анализ», профессор кафедры прикладной математики и информатики Института прикладной математики и компьютерных наук ФБГОУ ВПО «Тульский государственный университет», 300012, г. Тула, пр. Ленина, д. 92

Горбачев Дмитрий Викторович

«04» 09 2015 г.

E-mail: dvgmail@mail.ru

Подпись Д.В. Горбачева заверяю,