

Московский Государственный Университет
имени М.В. Ломоносова
Российская Академия Наук
Международная Академия Технологических Наук
Российская Академия Естественных Наук

Интеллектуальные Системы.

Теория и приложения

ТОМ 26 ВЫПУСК 1 * 2022

МОСКВА

УДК 519.95; 007:159.955
ББК 32.81

ISSN 2411–4448

Издается с 1996 г.*

Главный редактор: д.ф.-м.н., профессор В. Б. Кудрявцев

Редакционная коллегия:

д.ф.-м.н., проф. А. Е. Андреев (зам. главного редактора)
д.ф.-м.н., проф. Э. Э. Гасанов (зам. главного редактора)
к.ф.-м.н., доц. А. С. Строгалов (зам. главного редактора)
к.ф.-м.н., м.н.с. В. В. Осокин (ответственный секретарь)
д.ф.-м.н., проф. В. В. Александров, д.ф.-м.н., проф. С. В. Алешин, д.ф.-м.н., проф.
Д. Н. Бабин, академик РАН, д.ф.-м.н., проф. Ю. Л. Ершов, академик РАН, д.ф.-м.н.,
проф. Ю. И. Журавлев, д.ф.-м.н., проф. В. Н. Козлов, чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н.,
проф. А. В. Михалев, к.ф.-м.н., проф. В. А. Носов, д.ф.-м.н., проф. А. С. Подколзин,
д.т.н., проф. Д. А. Поспелов, д.ф.-м.н., проф. Ю. П. Пытьев, академик РАН, д.т.н.,
проф. А. С. Сигов, д.ф.-м.н., проф. А. В. Чечкин

Международный научный совет журнала:

С. Н. Васильев (Россия), К. Вашик (Германия), В. В. Величенко (Россия),
Я. Деметрович (Венгрия), Г. Килибарда (Сербия), Ж. Кнап (Словения), П. С.
Краснощеков (Россия), А. Нозаки (Япония), В. Н. Редько (Украина), А. П. Рыжов
(Россия) — ученый секретарь совета, А. Саломая (Финляндия), С. Саксида
(Словения), Б. Тальхайм (Германия), Ш. Ушчумлич (Сербия), Фан Дин Зиеу
(Вьетнам), А. Шайеб (Сирия), Р. Шчепанович (США), Г. Циммерман (Германия)

Секретарь редакции: И. О. Бергер, Е. В. Кузнецова

В журнале «Интеллектуальные системы. Теория и приложения» публикуются научные достижения в области теории и приложений интеллектуальных систем, новых информационных технологий и компьютерных наук.

Издание журнала осуществляется под эгидой МГУ имени М. В. Ломоносова, Научного Совета по комплексной проблеме «Кибернетика» РАН, Отделения «Математическое моделирование технологических процессов» МАТИ, Секции «Информатики и кибернетики» РАЕН.

Учредитель журнала: ООО «Интеллектуальные системы».

Журнал входит в список изданий, включенных ВАК РФ в реестр публикаций материалов по кандидатским и докторским диссертациям по математике и механике.

Спонсором издания является:

ООО «Два Облака»

Разработка корпоративных информационных систем

<http://www.dvaoblaka.ru>

Индекс подписки на журнал: 64559 в каталоге НТИ «Роспечать».

Адрес редакции: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, д. 1, механико-математический факультет, комн. 12-01.

Адрес издателя: 115230, Россия, Москва, Хлебозаводский проезд, д. 7, стр. 9, офис 9. Тел. +7 (495) 939-46-37, e-mail: mail@intsysjournal.org

*) Прежнее название журнала: «Интеллектуальные системы».

© ООО «Интеллектуальные системы», 2022.

Адаптация технологии отслеживания движений человека для создания аватара внутри интерактивной виртуальной среды

В. В. Черданцева¹, Г. С. Бугрий², С. В. Леонов³,
И. С. Поликанова⁴, А. А. Якушина⁵, В. А. Чертополохов⁶

Данное исследование посвящено вопросу формирования движений аватара в виртуальном пространстве, а также разработке предложений по модификации алгоритмов отслеживания движений конечностей человека в целях создания интерактивной виртуальной среды. Представленные предложения позволят успешнее фильтровать данные трекинга и прогнозировать движение точек крепления отслеживающих датчиков, а, соответственно, и аватара в виртуальном пространстве.

Ключевые слова: инерциальное отслеживание тела, оптическое отслеживание тела, виртуальная реальность, VR, алгоритмы отслеживания

¹ *Черданцева Валерия Владимировна* — аспирант ФКИ МГУ, e-mail: cherdantzeva.v@yandex.ru.

Cherdanceva Valeriya Vladimirovna — postgraduate student, Faculty of Space Research, Lomonosov Moscow State University

² *Бугрий Григорий Степанович* — м.н.с. лаборатории МОИДС мех.-мат. ф-та МГУ, e-mail: gregbugr@vrmsu.ru.

Bugriy Grigoriy Stepanovich — junior researcher, MOIDS Laboratory, Faculty of Mechanics and Mathematics, Lomonosov Moscow State University

³ *Леонов Сергей Владимирович* — доцент факультета психологии МГУ, e-mail: svleonov@gmail.com.

Leonov Sergey Vladimirovich — associate professor, Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University

⁴ *Поликанова Ирина Сергеевна* — ст.н.с. факультета психологии МГУ, e-mail: irinapolikanova@mail.ru.

Polikanova Iriva Sergeevna — senior researcher, Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University

⁵ *Якушина Анастасия Александровна* — аспирант факультета психологии МГУ, e-mail: anastasiushka96@yandex.ru.

Yakushina Anastasia Alexandrovna — postgraduate student, Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University

⁶ *Чертополохов Виктор Александрович* — н.с. лаборатории МОИДС мех.-мат. ф-та МГУ, e-mail: psvr@vrmsu.ru.

Chertopolokhov Victor Alexandrovich — researcher, MOIDS Laboratory, Faculty of Mechanics and Mathematics, Lomonosov Moscow State University

1. Введение

Формирование движение аватара в виртуальном пространстве происходит в несколько этапов [1]. Первым этапом является процесс подготовки аватара к анимации, который называется риггингом. Риггинг включает в себя создание и размещение внутри трёхмерной модели рига, виртуального “скелета” — набора “костей” и “суставов” (bones, joints), установления иерархической зависимости между ними и значений возможных трансформаций для каждой из этих “костей” [2]. С помощью входных данных из реального пространства можно определить положение и ориентацию каждой кости. После этого данную информацию требуется применить к трехмерной модели. Посредством риггинга можно добиться сообщения деформаций модели. Модель представляет собой полигональную сетку, которой определяется форма самой модели. У каждой вершины сетки назначен собственный вес, характеризующий влияние положения каждой кости и сустава (рис. 1), рига на ее положение.

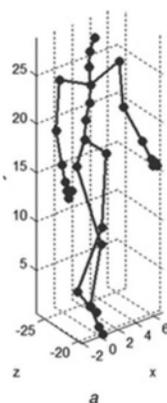


Рис. 1. Пример виртуального скелета

В общем случае положение любого объекта в системах виртуальной реальности определяется тремя координатами в прямоугольной системе координат и кватернионом \mathbf{q} , определяющим ориентацию в пространстве. Положение датчиков, закрепленных на руках и ногах человека, может быть выражено в замкнутой форме по совместным значениям \mathbf{q} с использованием так называемой прямой кинематической модели:

$$X = FKM(\mathbf{q}, \xi), \quad (1)$$

где ξ — набор кинематических параметров (длины костей и пр.). Фактическое выражение этого отношения может изменяться в соответствии с представлением, которое выбрано для точки датчика X .

Таким образом, состояние виртуального аватара в виртуальной среде является суммой векторов положений звеньев. Решение задачи корректного отображения аватара сводится к решению обратной кинематической задачи и определению неизвестных параметров костей. Решение обратной задачи кинематики не является однозначным для многозвенников, что приводит к необходимости увеличения количества применяемых датчиков.

2. Модификация алгоритмов фильтрации для отслеживания движений человека

Корректность восприятия виртуальной реальности критически зависит от синхронизации воспроизводимой имитации и реальных действий человека. Чтобы позволить пользователю корректно воспринимать и взаимодействовать с виртуальными объектами в реальном времени, требуется получать актуальную информацию о положении его головы и конечностей [3].

Однако между реальным движением и его отображением в виртуальном пространстве существует задержка, которая складывается из времени на получение и обработку данных с системы видеонализа, их передачи на графическую станцию, рендеринга и вывода на экране итогового изображения [4]. Чтобы уменьшить эффект задержки, требуется прогнозировать движение конечностей человека. Для прогноза эффективно использовать данные с инерциальных датчиков угловой скорости (гироскопов), частота работы обычно более чем в 5 раз превышает частоту работы оптического трекинга. В качестве метода фильтрации использовался модифицированный фильтр Маджвика [5].

Модификация фильтра заключается в замене магнитный показаний Земли полем постоянного магнита, также предложена модель магнитного диполя, дающая ориентацию объекта в пространстве. Качество фильтрации было оценено по отклонению от моделей реального движения, получаемых по видеофиксации углов наклона кости (по временному ряду) и по оптической системе с инфракрасными датчиками для шарнирной системы, рассчитаны среднеквадратические ошибки измерений.

В ходе экспериментов отслеживание движений производились на шарнирной системе с закрепленным на подвижном основании постоянным магнитом и движущейся платой. Была определена взаимная локализация магнита и платы с помощью оптической системы, а по показаниям магнитометров была найдена ориентация магнитного диполя, что позволило сделать пересчет магнитных измерений. Движения выполнялись в разных режимах (плоскопараллельные, колебательные, враща-

тельные), полученные результаты были сравнены с эталонными движениям, фиксируемыми по инфракрасным датчикам. Анализ результатов приведен в таблице 1. Приводятся средняя абсолютная ошибка (Mean Absolute Error, MAE) и средняя квадратичная ошибка (Root Mean Square Error, RMSE).

Датчики\Ошибки	MAE	RMSE
Гироскопы	12.85°	16.38°
Фильтр Маджвика	12.28°	15.89°
Фильтр модифицированный	2.46°	3.18°

Таблица 1. Оценка ошибок ориентации, полученная при расчете показаний датчиков и применении фильтра без и с модификацией.

3. Заключение

Экспериментальная проверка показала улучшение отслеживания движений при использовании предложенной модификации фильтра по сравнению с применением датчиков угловой скорости без коррекции. В дальнейшем подобный подход позволит улучшить фильтрацию данных трекинга, прогнозировать движение точек крепления датчиков трекинга и, соответственно, виртуального аватара спортсмена.

Исследование проводится при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 19-78-10134.

Список литературы

- [1] Кручинина А. П., Латонов В. В., Чертополохов В. А., “Обзор технологий визуальной имитации в тренажерных системах”, *Пилотируемые полеты в космос*, 2019, № 3(32), 89–107.
- [2] Avril Q., Ghafourzadeh D., Ramachandran S., Fallahdoust S., Ribet S., Dionne O., de Lasa M., Paquette E., “Animation Setup Transfer for 3D Characters”, *Computer Graphics Forum*, **35**:2 (2016), 115–126.
- [3] Зинченко Ю. П., Меньшикова Г. Я., Баяковский Ю. М., Черноризов А. М., Войскунский А. Е., “Технологии виртуальной реальности: методологические аспекты, достижения и перспективы”, *Национальный психологический журнал*, 2010, № 1(3), 54–62.
- [4] Yang Y., Zhang L., Yan S., and Ning L., “Low-cost, high-performance VR delay detection device based on PIN photodiode”, *Optoelectronic Devices and Integration VIII*, SPIE, 2019, 30.
- [5] Madgwick S., “An efficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays”, *Report x-io and University of Bristol (UK)*, **25**, 2010, 113–118.

Adaptation of Motion Capture Technology to Record a Person's Movements to Create an Avatar Inside the Interactive Virtual Environment

Cherdanceva V.V., Bugriy G.S., Leonov S.V., Polikanova I.S., Yakushina A.A., Chertopolokhov V.A.

This study is devoted to the problem of forming the movements of an avatar in a virtual environment and developing proposals for modifying the tracking algorithms to create an interactive virtual environment. The presented proposals will allow filtering the tracking data more successfully and predicting the motion of the attachment points of the tracking sensors and, consequently, of the avatar in the virtual environment.

Keywords: inertial body tracking, optical body tracking, virtual reality, VR, tracking algorithms

References

- [1] Kruchinina A.P., Latonov V.V., Chertopolokhov V.A., "Review of Visual Imitation Technologies in Simulation Systems", *MANNED SPACEFLIGHT*, 2019, №3(32), 89–107 (In Russian).
- [2] Avril Q., Ghafourzadeh D., Ramachandran S., Fallahdoust S., Ribet S., Dionne O., de Lasa M., Paquette E., "Animation Setup Transfer for 3D Characters", *Computer Graphics Forum*, **35:2** (2016), 115–126.
- [3] Zinchenko Yu.P., Menshikova G.Ya., Bayakovskii Yu.M., Chernorizov A.M., Voiskunsky A.E., "Virtual reality technology in the context of world and national psychology: methodological aspects, achievements and prospects", *National Psychological Journal*, 2010, №1(3), 54–62 (In Russian).
- [4] Yang Y., Zhang L., Yan S., and Ning L., "Low-cost, high-performance VR delay detection device based on PIN photodiode", *Optoelectronic Devices and Integration VIII*, SPIE, 2019, 30.
- [5] Madgwick S., "An efficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays", *Report x-io and University of Bristol (UK)*, **25**, 2010, 113–118.