

Видеозахват и анимация движений людей и роботов

Андреев В.А., Гуленко И.Е., Тимофеев А.В.

(Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН

vasiliy-a@narod.ru, gig@yandex.ru, tav@iias.spb.su)

Исследование закономерностей и анимация движений людей и роботов является актуальной задачей. Решение этой проблемы в форме инновационных информационных технологий может существенно повлиять на такие сферы человеческой деятельности, как медицина, робототехника, компьютерная графика и системы виртуальной реальности.

Основная задача системы захвата движений — получение, перенос в компьютер (оцифровка) и обработка цифровых данных о движении анализируемого и анимируемого объекта. Система функционирует следующим образом: объект (например, человек или гуманоидный робот) наблюдается в динамике несколькими видеокамерами, затем данные от видеокамер поступают в обрабатывающий комплекс, где происходит их системный анализ, после чего полученные содержательные данные о движении передаются в систему навигации и управления движением и имитируются.

Условно системы захвата движений можно разделить на три типа: механические, магнитные и видео. Существующие технологии захвата и анимации движений еще далеки от совершенства. Механические технологии и системы громоздки и неудобны. В них человек облачается в своеобразный экзоскелет, который существенно снижает свободу действий. Магнитные системы неточны. Видео системы чрезвычайно дороги, из-за того, что в них используется дорогостоящее уникальное оборудование и программное обеспечение.

Аналитический обзор технологий и средств видеозахвата движений

В настоящее время существует много теоретических и практических предложений по проектированию и реализации систем захвата движений. Рассмотрим их классификацию и некоторые особенности.

По использованию датчиков (сенсоров) системы видеозахвата движений можно разделить на активные и пассивные.

Активные системы используют датчики, которые передают информацию о своем динамическом состоянии для анализа движений наблюдаемого объекта. Например, на корабль, можно установить радио-датчики для исследования параметров его

остойчивости. Для анализа движения человека можно использовать механический костюм (экзоскелет). При этом получаем систему с активными датчиками, так как информация о движении формируется непосредственно в узлах костюма при помощи отслеживания изменения углов между звеньями. Такие системы отличаются простотой и точностью обработки полученной информации. Однако далеко не всегда системы такого рода удобны. Одним из преимуществ активных датчиков является сравнительная простота алгоритмов обработки получаемых данных, вследствие чего система может работать при значительно меньшей частоте поступления дискретной информации об объекте, чем системы с пассивными датчиками.

Датчики системы называются пассивными, если они не формируют данных о движении исследуемого объекта, а просто получают какую-либо физическую информацию об объекте, например, его изображение. Дальнейшая обработка производится программными средствами. Например, мимику при распознавании речи по губам было бы сложно анализировать при помощи множества механических датчиков на лице человека. В этом случае пользуются изображением, поступающим с видео- или инфракрасных камер. Системы этого вида зачастую проще с точки зрения аппаратной реализации, но математическая обработка данных значительно усложняется, особенно, в тех случаях, когда необходима высокая точность анализа и моделирования движений.

По возможностям распознавания ключевых областей, системы захвата движения подразделяются на системы с однозначной идентификацией и с распознаванием на базе методов и средств искусственного интеллекта.

Набором ключевых областей назовем совокупность деталей изображения объекта, по которым возможно достаточно корректно восстановить полную картину движения. Важную роль играют условия обеспечивающие возможность однозначной идентификации ключевых областей.

По использованию разного типа ключевых областей системы захвата и анимации движений можно разделить на три группы:

1. Системы с однозначной идентификацией маркеров. В таких системах ключевые области объекта помечаются маркерами. При этом сами маркеры представляют собой области, которые можно однозначно распознать по цвету или форме.

2. Системы с использованием однотипных маркеров. Ключевые области так же, как и в предыдущей группе реализаций захвата движения, помечаются маркерами.

Особенность заключается в том, что маркеры уже не отличаются друг от друга внешним видом.

3. Распознающие системы видеозахвата движений, не использующие маркеры. Распознавание ключевых областей производится при помощи исследования характеристик корреляции на последовательностях кадров. При распознавании с использованием корреляции анализируется взаимное расположение неоднородных частей изображения объекта.

Архитектура мульти-камерной системы видеозахвата движений человека

Предлагается система видеозахвата движений относящаяся к классу оптических систем. Это означает, что в качестве датчиков (сенсоров) движения используются цифровые видеокамеры. Для пометки ключевых областей фигуры человека используются цветные маркеры. При движении человека по сцене его движение фиксируют несколько видеокамер. Синхронные снимки с камер с заданной частотой (25–30 кадров в секунду) передаются на обрабатывающую станцию, где происходит их анализ — выделяются маркеры и вычисляются их трехмерные координаты. Затем маркеры ставятся в соответствие слотам модели (относительным координатам на виртуальной модели, где могут располагаться маркеры), то есть распознается положение каждого маркера на фигуре человека и вычисляется положение скелета в пространстве. Результат заносится в отчет.

В основе инновационного подхода лежит формирование активной модели скелета исследуемого объекта с необходимым числом степеней свобод для фрагментов скелета. На трансформацию модели накладываются ограничения. Такими ограничениями могут быть скоростные ограничения, ограничения на изменения углов в суставах, требование непересечения друг друга составными частями и др.

В качестве маркеров используются порядка 50-ти светодиодов семи различных цветов [5]. Каждый цвет соответствует отдельной части тела (рука, нога, голова, грудь). Разделение маркеров на цветовые группы существенно ускоряет работу алгоритмов сопоставления найденных маркеров со слотами модели. На каждую значимую в захвате движения кость скелета приходится группа маркеров (от 3-х до 5-ти). Взаимные расстояния внутри таких групп практически не изменяются.

Таким образом, сопоставление маркеров слотам модели и системный анализ движений происходит путем нахождения в цветовой подгруппе группы маркеров с заданными взаимными расстояниями и определением их пространственной ориентации. Отсюда вытекает необходимое условие на расположение маркеров на

человеке: маркеры разных групп, находящиеся в одной цветовой подгруппе, должны иметь максимально отличные друг от друга пространственные конфигурации. Это требование обеспечивает быстрое распознавание маркеров.

После того, как маркеры закреплены на человеке и занесена вся необходимая инициализационная информация, начинается основная работа системы, которую можно представить в виде следующей схемы, изображенной на рис. 1.

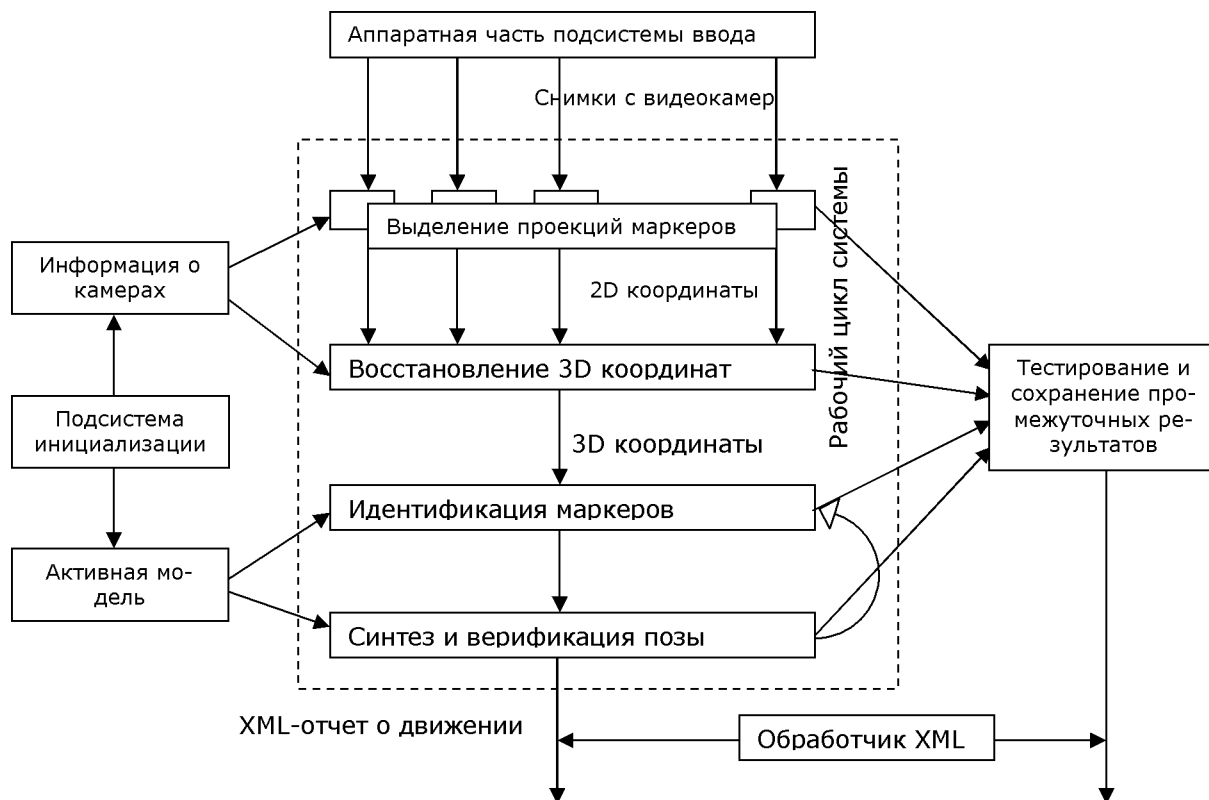


Рис. 1. Схема работы мульти-камерной системы видеозахвата движений с цветными маркерами

Изображение сцены получается распределенной группой видеокамер. Камеры следует располагать так, чтобы каждый маркер был виден на снимках хотя бы с двух видеокамер. Снимки с видеокамер передаются в подсистему выделения маркеров и вычисления их положения в пространстве.

Данная система работает в несколько этапов. На каждом этапе используется свой отдельный алгоритм определения трехмерных координат. Результатом работы каждого алгоритма является массив неидентифицированных цветных маркеров. Он заносится в единый (интегрированный) массив, который передается в следующую подсистему.

Подсистема сопоставления маркеров слотам модели с помощью нескольких оптимизационных алгоритмов выделяет из поступившего массива неидентифицированных маркеров наиболее подходящие. Алгоритм выбора маркеров основан на проверке соответствия маркеров различным условиям. Сюда включаются

условия и ограничения на цвета, взаимные расстояния внутри групп маркеров и взаимные расстояния между группами маркеров. При этом учитываются предыдущие положения маркеров, скорости, ускорения и некоторые другие данные.

Для оптимизации каждому маркеру присваивается свой вес, и среди них отбираются наилучшие по весу. Результатом работы подсистемы является расстановка наиболее подходящих маркеров по слотам модели. Благодаря этому подсистема распознает, какой маркер, какому месту на теле человека соответствует.

В подсистеме синтеза позы происходит системный анализ данных и вычисление позы человека по пространственному положению маркеров. После того как поза синтезирована, происходит ее проверка на соответствие кинематическим ограничениям подвижности суставов скелета и физическим (динамическим) возможностям человека к подвижности. Если поза объекта по каким-то причинам отклоняется (например, из-за нарушения ограничений), то система возвращается на предыдущий этап и пытается подобрать другой вариант. Если корректная поза так и не была найдена, то текущая поза синтезируется аппроксимацией предыдущих данных.

Информация о движении человека заносится в XML отчет, который и является результатом работы всей системы [1, 5].

Наглядно описанная работа системы представлена на рис. 2.

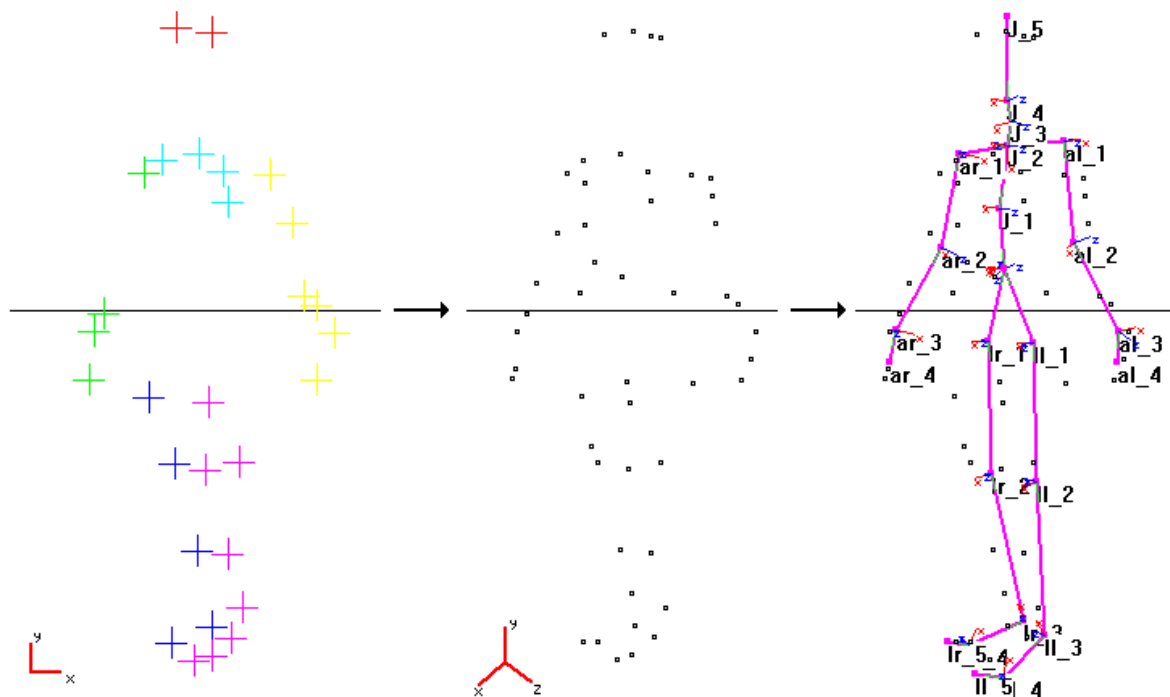


Рис. 2. Визуализация промежуточных этапов работы системы видеозахвата движений

Примеры и области применения мульти-камерной системы видеозахвата движений

Мульти-камерные системы видеозахвата движений и связанные с ними инновационные информационные технологии имеют широкий спектр областей применения [2–6].

В настоящее время ведутся теоретические и практические разработки по применению технологий захвата движения в следующих областях медицины: ортопедия, реабилитационная медицина, физиотерапия, педиатрия, неврология, психология. В большинстве областей медицины захват движения применяется в качестве инструмента для биомеханического анализа (исследование нагрузок на части тела — мышцы, кости; движений, которые их вызывают и их отношения к травмам и достижениям в спорте и обычной жизни) и, в частности, анализа походки.

Общение людей с ограничениями по слуху или воспроизведению речи строится совершенно иным образом, чем у здоровых людей без этих ограничений. Для таких людей необходимо разработать серию специализированных интерфейсов, которые бы могли встраиваться в телекоммуникационные системы и технологии.

Такие интерфейсы включают в себя средства ввода – вывода информации.

Вывод информации предлагается осуществлять при помощи анимированной упрощенной трехмерной модели человека. Такой персонаж может генерировать жесты человека для соответствующих выражений на естественном языке, опираясь на заложенные в базу данных последовательности жестов. Такая база данных должна создаваться с использованием системы захвата движений.

Ввод информации может работать следующим способом — генерировать выражения на естественном языке в соответствии с анализом воспроизводимых человеком жестов, которые захватываются системой видеозахвата движений.

Развитие технологий видеозахвата движения является очень важным этапом в развитии такой области медицины, как телемедицина [2, 4].

Системный анализ и имитационное моделирование (анимация) человека посредством систем видеозахвата движения дает большие преимущества в спорте. Так с использованием захвата движений спортсмена можно без применения неудобных и порой затрудняющих движения устройств получать следующие данные: углы в суставах, ускорения, моменты, силы, эластичность, деформации, позу, балансировку тела и др. параметры.

Использование систем захвата движения позволяет сформировать банк данных поз и шаблонов движений при выполнении определенных упражнений. По этим данным система захвата движения, совместно с экспертной системой системного анализа и анимации, может вырабатывать рекомендации по коррекции исполнения техник, а также оценивать точность выполнения упражнений спортсменом. С использованием такой системы и технологии возможно решение задачи объективного первоначального обследования кинематических ограничений движений каждого конкретного спортсмена. Система облегчает системный анализ механизмов возникновения травм и их предупреждение [4].

Важной инновационной областью применения мульти-камерных систем видеозахвата движений является робототехника и аэрокосмическое приборостроение. Рассмотрим возможные типовые ситуации, в которых может применяться предлагаемая система для управления робототехническими системами в экстремальных условиях окружающей среды малой доступности или повышенной опасности.

Прежде всего, следует разделить возможные варианты конфигурации окружающей среды на два типа [3]:

1. Окружение с априорно известной конфигурацией.
2. Окружение динамического типа. В этом случае конфигурация может изменяться в каждом конкретном случае.

В первом случае система видеозахвата движения может использоваться очень широко и эффективно. Она может решать задачи наблюдения и управления объектом. Возможно даже построение автоматической системы управления роботом с организацией дополнительного мульти-модального интерфейса для оператора-человека.

Второй случай представляет собой более сложный вариант экстремальных условий. При проектировании системы управления необходимо включить в нее средства визуального наблюдения. Захват движения может применяться для повышения надежности системы. Для обеспечения автоматического управления необходим весь спектр априорных знаний о характере типичной окружающей среды и возможных препятствий.

Применение систем захвата движений, открывает новые возможности для индустрии компьютерной графики (анимационные фильмы, компьютерные игры) и технологий виртуальной реальности [6]. Движения человека и гуманоидных роботов описывается очень сложными моделями кинематики и динамики. Поэтому анимация

виртуальных персонажей вручную — очень трудоемкая задача. Для ее решения целесообразно использовать мульти-камерные системы видеозахвата движений с цветовыми маркерами, которые эффективно автоматизируют динамическую 3D-анимацию.

Заключение

Разработка и внедрение мульти-камерных систем видеозахвата движений обеспечивает множество преимуществ и вносит инновационный вклад в развитие информационных технологий в различных областях науки и техники.

Работа выполнялась при поддержке грантов Президиума РАН по программам «Фундаментальные науки – медицине» и «Поддержка инноваций», гранта РФФИ №06-08-01612а и гранта фонда содействия развитию малых предприятий в научно-технической сфере (договор №2955р/5323).

1. Гуленко И. Е. Система видеозахвата и анализа движения – распознавание трансформаций и движения объекта. – Труды конференции «Новые информационные технологии» Судак, Крым, 15–25 мая 2004 г., с. 141–142.

2. Timofeev A. V., Andreev V.A., Gulenko I. E., Derin O. A., Litvinov M. V., Design and implementation of multi-agent man-machine interface on the base of virtual reality models. – Proceedings of 9th international conference Speech and Computer, September, 20-22,2004. St. Petersburg, Russia. pp. 670–675.

3. Гуленко И. Е., Андреев В. А. Методы видеозахвата и управления движением роботов в условиях окружающей среды повышенной опасности. – Труды конференции «Экстремальная робототехника».

4. Гуленко И. Е., Шугина В. С. Применение технологий видеозахвата движения в медицине и спорте. – Труды конференции «Новые информационные технологии», Судак, Крым, 22–29 мая 2005 г., с. 318–320.

5. Андреев В. А. Разработка первой отечественной системы видеозахвата движения человека. – Труды конференции «Новые информационные технологии», Судак, Крым, 22–29 мая 2005 г., с. 317–318.

6. Андреев М. А., Гуленко И. Е. Программные средства повышения интерактивности моделирования. – Труды конференции «Новые информационные технологии», Судак, Крым, 22–29 мая 2005 г., с. 79–80.