

**ВИДЕОРЕГИСТРАЦИЯ ПОДВИЖНЫХ ИНФРАКРАСНЫХ МАРКЕРОВ****Введение**

Переживаемое в последнее десятилетие бурное развитие компьютерной и цифровой техники, появление совершенных и мощных программных средств компьютерной графики привело к возникновению нового направления в компьютерных технологиях – технологии виртуальной реальности (VR). Эта технология в последнее время получает все большее распространение и вызывает всеобщий интерес. Не обошла она стороной и производство телевизионных программ. За рубежом существует уже достаточно много фирм-разработчиков, направляющих свои усилия на создание различных студий виртуальной реальности. Крупнейшие телевизионные компании уже установили такие студии и активно их используют.

Студия виртуальной реальности – это студия без декораций. Специальное оборудование, составляющее основу этой студии, позволяет поместить находящихся в ней людей и настоящие предметы в реально несуществующий интерьер.

Этот интерьер, так называемая виртуальная среда, создается с помощью компьютеров методами трехмерной графики. В определенном смысле съемка в виртуальной студии является разновидностью давно и хорошо известного метода комбинированной съемки, когда реальный артист совмещается с виртуальной средой, но реализован этот метод на базе современных компьютерных технологий. Естественно, что использование технологии виртуальной реальности предоставляет создателям телепрограмм новые, ранее недоступные возможности.

Кроме расширения творческих возможностей к преимуществам виртуальных студий можно отнести и то, что их использование позволяет избежать значительных расходов, связанных с изготовлением и монтажом декораций, необходимостью частого переоборудования съемочных павильонов. Экономия студийных площадей и возможность создания в маленькой студии сложных проектов также очень важны, особенно для небольших телекомпаний.

Стоимость систем виртуальной реальности пока еще очень высока, и они еще долго будут доступны лишь очень ограниченному числу крупных компаний. В то же время многие эффекты из арсенала дорогостоящих студий виртуальной реальности можно реализовать гораздо более простыми и недорогими средствами.

Один из параметров, который влияет на стоимость систем, – это точность и качество позиционирования виртуальных декораций относительно людей, находящихся в студии, этот параметр тесно связан с методом оценки пространственного положения видеокамеры. Существует ряд различных методов оценки координат видеокамер. Наиболее приемлемым и потому получившим наибольшее распространение методом контроля перемещений камеры является использование информации с датчиков, установленных на видеокамере. В этих системах используются конструктивы, оснащенные электромеханическими или электронно-оптическими датчиками обратной связи. Самой удобной системой признана система с электронно-оптическими датчиками. Система определения положения этих датчиков для последующей оценки в пространстве представляет собой систему трекинга.

Информация, полученная с системы трекинга, называемой также системой слежения за положением и ориентацией объектов в пространстве или просто трекером, в дальнейшем используется виртуальной студией для расчета перспективно-правильной проекции в зависимости от положения пользователя, а также для расчета распределения звука по каналам аудио системы.

**Постановка задачи**

Для указания положения объекта в виртуальном окружении достаточно декартовых координат  $x$ ,  $y$  и  $z$ . Многие приложения виртуального окружения оперируют целыми объек-

тами, а это в свою очередь требует указания эйлеровых углов наклона, вращения и рыскания. Таким образом, полное описание положения объекта в трехмерном пространстве включает шесть степеней свободы.

Следующие основные параметры являются показателем качества работы систем трекинга и критерием их сравнения – это точность, разрешающая способность и скорость реакции системы [1]. Точность – это диапазон, в пределах которого показания системы могут считаться правильными. Может выражаться как среднеквадратичное отклонение в градусах для ориентации и в единицах длины для оценки положения в трехмерном пространстве. Разрешающая способность – показывает реакцию системы на изменение положения объекта в пространстве, а именно – наименьшее смещение, которое может быть зарегистрировано системой. Скорость реакции системы связана с передачей данных о положении объектов с определенной частотой, называемой частотой обновления. Между реальным движением объекта и движением, зарегистрированным и переданным приложению ВР, всегда есть некое запаздывание. Это запаздывание показывает скорость реакции системы и измеряется в миллисекундах. К появлению запаздывания приводят следующие причины:

- задержка регистрации сигнала от источника приемником системы трекинга;
- задержка при обработке данных от трекера и реконструкции позиции и ориентации камеры;
- задержка при графической визуализации;
- задержка при передаче данных управляющей программе.

Важной является и информация об объеме, в котором система трекинга способна точно реконструировать положение и ориентацию подвижного объекта, или о максимальном расстоянии и других ограничениях, которые могут наложить энергетика сигнала и имеющиеся механические соединения. Обычно точность системы составляет от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. Что касается запаздывания, то оно должно быть меньше 500 мс, иначе это уже будет не система реального времени. Некоторые исследователи утверждают, что для нормальной работы запаздывание не должно превышать 60 – 70 мс [2, 3]. Обычно производители в качестве запаздывания называют цифру  $1/f$  где  $f$  – частота обновления. Пиковая скорость для изменения ориентации составляет 600 °/с для отклонения и 300 °/с – для углов падения и рыскания. Спектральный анализ движения видеокамеры дает огибающую спектра, выражаемую зависимостью  $1/f^2$  и показывает, что большая часть энергии находится в области частот ниже 8 Гц, а выше 15 Гц практически ничего не обнаруживается [3]. Следовательно, согласно теореме Котельникова, частота обновления, описывающая непрерывный процесс движения камеры, должна быть не менее 30 Гц. Существуют разные реализации систем трекинга: электромагнитные, механические, акустические, инерционные и оптические [3, 4]. Как правило, это устройства, которые можно расположить на объекте.

Каждая система обладает своими преимуществами и недостатками и разрабатывалась для определенного вида приложений. Так, например, механические системы имеют минимальное запаздывание и не требуют линии видимости, однако неудобны в использовании из-за жесткой связи и подвержены механическому износу. Магнитные системы, работающие в небольшом объеме, обычно недорогие и довольно точные, однако они чувствительны к электромагнитным помехам, что затрудняет работу такой системы в телестудии. Зачастую, в магнитных системах механические связи тоже присутствуют.

Оптические системы могут работать быстро и в большом объеме. Они не чувствительны к электромагнитным помехам, но требуют, чтобы источник света был в прямой видимости приемника.

Организационные требования к системам трекинга виртуальных студий следующие:

- зритель должен чувствовать присутствие ведущего в системе виртуального окружения; этот эффект присутствия можно оценить количественно методом экспертных оценок, с помощью вопросников и их статистической обработки;

- неподвижные виртуальные объекты сцены должны оставаться неподвижными во время движения ведущего (стабильность восприятия);
- не должны проявляться негативные эффекты, связанные с имитированием различных эффектов (например, сглаживания);
- система трекинга не должна влиять на производительность выполняемой задачи;
- побочные негативные эффекты работы системы трекинга должны быть хорошо скрыты от пользователя.

К техническим требованиям можно отнести:

- малые габаритные размеры;
- упрощенный монтаж;
- максимально возможное количество степеней свободы;
- погрешность реконструкции положения должна быть не более 1 см и не более 3 градусов при определении ориентации;
- работа с высокой частотой обновления и с малой задержкой;
- устойчивость к световым, звуковым и тепловым помехам, магнитным полям и радиоволнам;
- возможность отслеживания объекта независимо от скорости и сложности его передвижения.

Задачей автора является разработка и исследование системы трекинга реального времени, удовлетворяющую вышеперечисленным требованиям и способной отслеживать перемещения видеокамеры в малобюджетной телевизионной студии. В качестве базовой технологии была выбрана оптическая. Разрабатываемая оптическая система трекинга состоит из недорогих компонентов и в то же время является точной и эффективной. В качестве источников используются световые маркеры в виде инфракрасных излучающих диодов, а в качестве приемника – видеокамеры, чувствительные в инфракрасном диапазоне. Инфракрасный канал позволяет системе работать одинаково хорошо при разных условиях освещенности и не зависеть от освещения в студии.

Разработка системы трекинга состоит из нескольких этапов. Первый этап – подготовка модели камеры и математического аппарата, на котором впоследствии должно базироваться ядро программного обеспечения – реконструкция и компенсация искажений. Второй этап – выбор и конфигурирование согласованно работающего аппаратного обеспечения. Третий этап – разработка собственно программного обеспечения. Следующие этапы – калибровка камер, создание интерфейса к среде разработки приложений виртуальной реальности и измерение параметров созданной системы для сравнения с другими системами.

### Основная часть

В дальнейшем рассматривается подготовка модели видеокамеры и математический аппарат для оценки параметров ее перемещения в пространстве была использована точечная модель камеры с искажениями. Проективное преобразование в гомогенных координатах записывается следующим образом [5]

$$m = PM, \quad (1)$$

где  $M$  – координаты точки в мировой системе координат,  $m$  – координаты образа точки в плоскости изображения камеры;  $P$  – матрица проективного преобразования.

В модели камеры без искажений

$$P = \begin{bmatrix} \alpha_u & -\alpha_u \cot \theta & u_0 \\ 0 & \alpha_v / \sin \theta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} [Rt] = = \begin{bmatrix} q_1^T & q_{14} \\ q_2^T & q_{24} \\ q_3^T & q_{34} \end{bmatrix} = [Qq] \quad (2)$$

где первая матрица в записи (2) отвечает за внутренние параметры камеры, здесь  $\alpha_u$  и  $\alpha_v$  – числа в виде произведения масштабирующих коэффициентов, умноженных на фокусное расстояние камеры,  $u_0$  и  $v_0$  – координаты оптического центра камеры,  $\theta$  – угол между сторонами ячеек камеры; во второй матрице  $t$  – вектор смещения камеры относительно центра координат и  $R$ - матрица вращения камеры.

Основными источниками искажений изображения, получаемого камерой, являются радиальные искажения, тангенциальные искажения и искажения тонкой призмы. Наличие искажений приводит к тому, что изображение объекта выглядит неправильно и каждая точка снимаемого камерой объекта более или менее смещена. В нашем случае тангенциальными искажениями и искажениями тонкой призмы можно пренебречь [6, 7]. Поэтому в расчеты было введено только радиальное искажение. Поправка радиального искажения описывается следующим уравнением

$$\delta r^{(r)} = k_1 r^3 + k_2 r^5, \quad (3)$$

где  $r$  – расстояние от точки пересечения с главной оптической осью ПЗС матрицы до точки проекции;  $k$  – коэффициенты радиального искажения.

В декартовых координатах  $(u, v)$ , здесь  $u = r \cos \theta$ ,  $v = r \sin \theta$ :

$$\delta u^{(r)} = u(k_1 r^2 + k_2 r^4), \quad \delta v^{(r)} = v(k_1 r^2 + k_2 r^4). \quad (4)$$

Для реконструкции координаты точки в мировой системе координат, то есть для вычисления  $M$  по известным  $m_i = (u_i, v_i)$  и  $P_i$  как минимум для двух камер, нужно решить систему уравнений

$$\begin{cases} q_{i1}^T M - u_i q_{i3}^T M = u_i q_{i34} - q_{i14} \\ q_{i2}^T M - v_i q_{i3}^T M = v_i q_{i34} - q_{i24} \end{cases}, \quad (5)$$

где  $i \geq 2$  – номер камеры. Это решение выглядит следующим образом

$$M = (A^T A)^{-1} A^T b, \quad (6)$$

где

$$A = \begin{bmatrix} q_{i1}^T - u_i q_{i3}^T \\ q_{i2}^T - v_i q_{i3}^T \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} u_i q_{i34} - q_{i14} \\ v_i q_{i34} - q_{i24} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Это решение верно, если ранг матрицы  $A$  – полный. Для нахождения точек, соответствующих друг другу на разных камерах, вычисляются эпилюлярные линии. Эпилюлярная линия камеры  $C_1$  – это проекция луча, соединяющего точку  $M$  с ее образом на плоскости изображения камеры  $C_1$ , на плоскость изображения камеры  $C_2$ . Образ точки  $M$  на камере  $C_2$  теоретически должен лежать на этой линии, однако фактические погрешности приводят к тому, что она лежит рядом с этой линией (рис.1).

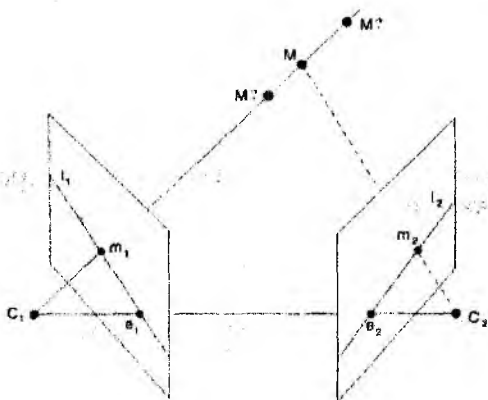


Рис.1

Уравнение этой линии имеет вид

$$e_1 = (q_1 - Q_1 Q_2^{-1} q_2) \times Q_1 Q_2^{-1} m_2, \quad (8)$$

где  $q_1$  и  $Q_1$  – элементы проективной матрицы в записи (2).

После нахождения координат всех точек и решения обратной задачи определяются параметры матрицы вращения  $R$  и вектора  $t$ , которые определяют степень перемещения виртуальной среды.

### Выводы

Построена модель алгоритма работы оптической системы трекинга реального времени для виртуальной телевизионной студии. Результаты анализа модели показывают, что при использовании этого алгоритма появляется возможность создания телевизионной виртуальной студии, которая отвечает современным требованиям к точности позиционирования изображения виртуального фона. Алгоритм дает возможность повысить мобильность телевизионных камер в телестудии, а также снизить стоимость виртуальных студий.

**Список литературы:** 1. *Meyer, H. L. Applewhite and F. A. Biocca.* A Survey of Position Trackers, Presence: Teleoperators Virtual Environments, Vol. 2. *G. L. Beauregard, W. M. Rabinowitz, H. Z. Tan, and N. I. Durlach.* Amplitude (and resolution for motional stimulation // In Proceedings of the Third International Conference on Tactile Aids, Hearing Aids, and Cochlear Implants, May 2-5, Miami, FL, pp. 20, 1994. 3. *E. M. Wenzel.* The role of system latency in multi-sensory virtual displays for space applications // Proc. HCI Intl., New Orleans, LA, August 2001. 1, No. 2, 1992. 4. *C Youngblut, R. E. Johnson, S. H. Nash, R. A. Wienclaw, and A. W. Craig.* Review of Virtual Environment Interface Technology. – Institute for Defense Analysis, 1996. 5. *Форсайт, Д., Понс, Ж.* Компьютерное зрение. Современный подход. – М. : Вильямс. – 423 с. 6. *Фурса, М.В.* Система оптического трекинга реального времени для установок виртуального окружения // Электронный журнал «Исследовано в России». – 2006. – No.198. – С.1859-1867. 7. *Фурса, М.В.* Система инфракрасного трекинга для приложений виртуального окружения: от идей до прототипа // Труды конференции VEonPC2002. ИФТИ, Протвино. – 2002. – С.85-93.

Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 05.11.2011