УДК621.397

ВЫЧИСЛЕНИЕ КООРДИНАТ ИНФРАКРАСНЫХ ВСПЫШЕК НА ОБЪЕКТЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЕГО МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ

ИЛЬИН М.А.

Рассматриваются метод идентификации инфракрасных (ИК) маркеров, располагаемых на объекте, и процедура вычисления координат маркеров по видеоизображениям их вспышек в трехкамерной телевизионной системе. Метод оперирует идентификационными областями маркеров, что позволяет отличить один маркер от других с учетом их возможного перекрытия, а также предсказать будущее положение каждого маркера. Метод может найти применение для управления виртуальными декорациями при студийных видеосъемках, построения скелетной анимации и слежения за подвижными объектами.

Введение

Оптический трекинг, или определение координат объекта и прослеживание его движения оптоэлектронными средствами с применением световых маркеров на объекте, является весьма эффективным. Использование цифровых телевизионных средств, формирующих изображения большого числа маркеров на цифровом видеорастре, еще более повышает эффективность оптического трекинга – появляется возможность оценки всех шести степеней свободы подвижного объекта – его 3D координат и трех углов ориентации. При этом возникают задачи идентификации каждого маркера системы трекинга и измерения 2D координат центров их видеоизображений, получаемых с разных ракурсов. В существующих системах используются самые разнообразные системы идентификации. Одни применяют метод, определяющий порог яркости, другие системы основаны на изменении спектра каждого маркера, однако все они имеют общий недостаток – существует ограничение на количество маркеров в системе. Поэтому возникает также задача разработки метода идентификации, который позволит снять и это ограничение. С решением сформулированных задач были связаны исследования, отдельные результаты которых приведены ниже.

1.Оценка параметров видеоизображения маркера

Для нахождения координат программа действует по следующему алгоритму:

– определяется порог чувствительности для поиска ярких пятен в зависимости от фона;

– производится поиск областей, имеющих точки, которые превышают этот порог;

– производится яркостный анализ пятна, определяются его границы и рассчитывается интегральная яркость [1].

Основой для обнаружения засветок маркеров на изображении является сегментация. Она представляет собой процесс разбиения изображения на множество областей (наборов пикселей), соответствующих структурным единицам в сцене или определенным объектам. Цель состоит в том, чтобы найти такие объекты, какие представляют интерес по геометрии изображения, и отказаться от избыточной информации, т.е. от

областей в изображении, не представляющих такого интереса. Часто это делается в качестве первого шага, прежде чем применяются аналитические алгоритмы, которые позволяют извлекать более абстрактную информацию из данных изображения. Это один из наиболее важных шагов в извлечении информации из изображения. Сегментация изображения является низкоуровневой процедурой, работающей на уровне отдельных пикселей. Существует несколько методов для определения принадлежности пикселя к интересующей зоне. Один из наиболее простых методов для выделения принадлежности пикселя к выбранному сегменту в изображении – это сегментация порога. Она определяет диапазон значений яркости для исходного изображения, тогда пиксели в пределах этого диапазона выбираются, как принадлежащие к области, представляющей интерес, все другие пиксели отклоняются, как принадлежащие к фону. При использовании инфракрасного света в оптической системе слежения маркеры могут быть легко разделены по порогам. Маркеры излучают либо отражают инфракрасный свет, излучения с другими длинами волн будут отфильтрованы, поскольку инфракрасный фильтр установлен в передней части объектива. Таким образом, области в изображении, представляющие маркер, имеют намного более высокие значения яркости по сравнению с фоном, как показано на рис. 1.

Рис. 1. Вид засветок ИК маркеров

Для определения положения маркера на изображении вычисляется взвешенный вклад пикселей, принадлежащих к маркеру. Для сферических маркеров это обычно соответствует центру маркера. Рис. 2 показывает крупным планом вид одного пятна. Видно, что яркость пикселей возрастает по направлению к центру пятна. Если $F(j,k)$ является яркостью пикселя в позиции j,k, то координаты центра засветки по горизонтали и вертикали (u, v) в пикселях рассчитываются следующим образом [2]:

$$\bar{u} = \frac{\frac{1}{K}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} jF(j,k)}{\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} F(j,k)} \qquad \bar{v} = \frac{\frac{1}{J}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} kF(j,k)}{\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} F(j,k)},$$

где J,K – общее количество пикселей по горизонтали и вертикали соответственно.

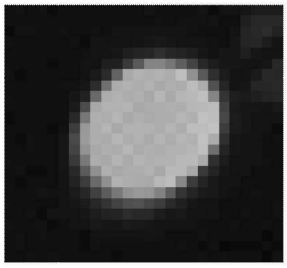

Рис. 2. Крупный план светового пятна засветки маркера

Сегментация и обнаружение засветки могут быть выполнены за один проход, что сводится к снижению требований к памяти и уменьшению количества инструкций для процессора, что улучшает вычислительную производительность.

2. Идентификация маркеров и определение их координат

Идентификация маркеров осуществляется по первому их последовательному включению и дальше контролируется по их идентификационным областям (рис. 3).

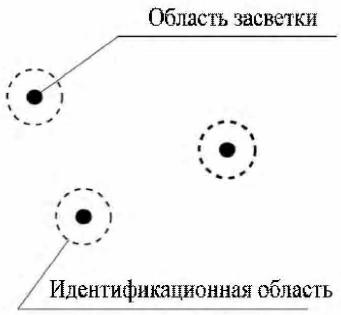

Рис. 3. Идентификационные области маркеров

Размеры идентификационных областей маркеров выбираются в блоке синхронизации системы в зависимости от скорости движения объекта, чтобы координаты новых положений маркеров не выходили за пределы своих областей. При возможном перекрытии двух областей идентификация маркеров осуществляется согласно векторам их движения. Если в какой-то момент времени невозможно идентифицировать маркеры, что маловероятно, то их координаты не принимают участие в расчетах 3D координат объекта [3].

После включения, в каждом следующем кадре, устройство обработки информации определяет новые координаты центров засветки маркеров и идентифицирует засветки маркеров по их нахождению в соответствующих идентификационных областях предыдущего кадра. Затем осуществляется перемещение этих идентификационных областей для расположения их центров в точках растра с новыми координатами центров засветок соответствующих маркеров в целях проведения дальнейших оценок координат маркеров. В результате определяются текущие координаты центров засветок всех маркеров и осуществляется их идентификация. Алгоритм идентификации приведен на рис. 4.

Был разработан алгоритм, основанный на предсказании положения засветок, что позволяет ускорить поиск, начав его в месте наиболее вероятного появления засветки, при разных ограничениях, выявленных экспериментальным путем.

Далее находятся координаты маркеров по засветкам на светочувствительных матрицах измерительных видеокамер телевизионной системы. Для этого определяются матрицы вращения и переноса, а также учитываются внутренние параметры камеры, такие как фокусное расстояние и центр координат.

В гомогенных координатах проективное преобразование записывается как

$$m = PM,$$

где $m = (u, v, s)^T$, $M = (X, Y, Z, S)^T$.

В общем виде матрица калибровки внутренних параметров измерительных камер следующая [4]:

$$K_i = \begin{bmatrix} k_u & k_c & u_0 \\ 0 & k_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

здесь k_u и k_v выражают горизонтальное и вертикальное фокусное расстояние с точки зрения размеров пикселя; k_c – параметр, учитывающий отклонение плоскости матрицы от плоскости линз; u_0, v_0 – координаты фокальной точки.

Поскольку требуемое соотношение сторон ячеек ПЗС матриц измерительных видеокамер 1:1, то матрица калибровки

$$K_i = \begin{bmatrix} f & 0 & u_0 \\ 0 & f & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Для каждой камеры телевизионной системы проективная матрица P^i представляется произведением следующих матриц:

$$P^i = \begin{bmatrix} 0 & -1 & v_i \\ 1 & 0 & -u_i \\ -v_i & u_i & 0 \end{bmatrix} \cdot K_i \cdot [R_i \cdot T_i],$$

где R_i, T_i – матрицы вращения и переноса, первая матрица учитывает ошибку перепроецирования; K_i - матрица калибровки.

Матрица R_i (3×3) содержит координаты объекта в евклидовой системе координат XYZ и углы вращения α, β, γ вокруг, соответственно, осей X, Y, Z по часовой стрелке:

$$R_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \sin\alpha \\ 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\gamma & -\sin\gamma & 0 \\ -\sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} \cos\beta\cos\gamma & \cos\beta\sin\gamma & -\sin\beta \\ \sin\alpha\sin\beta\cos\gamma - \cos\alpha\sin\gamma & \sin\alpha\sin\beta\sin\gamma + \cos\alpha\sin\gamma & \sin\alpha\cos\beta \\ \sin\alpha\sin\beta\cos\gamma + \cos\alpha\sin\gamma & \cos\alpha\sin\beta\sin\gamma - \sin\alpha\sin\gamma & \cos\gamma\cos\beta \end{bmatrix}.$$

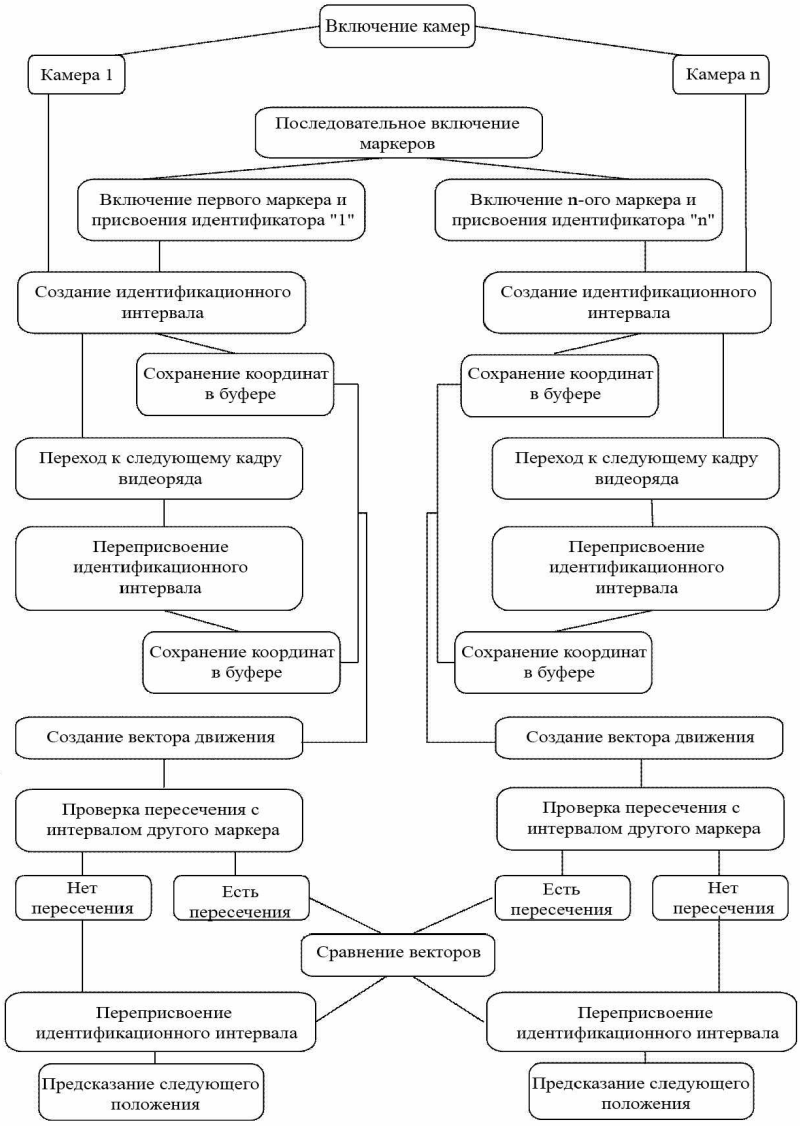

Рис. 4. Алгоритм идентификации маркеров

С учетом матрицы переноса T_i выражение можно представить в виде $P^i = \left[A^i \middle| b^i\right]$, где для трехкамерной телевизионной системы

$$A^i = [A_1 \quad A_2 \quad A_3]^T,$$

здесь

$$A_1 = \begin{bmatrix} R^i_{31}(v - u_0) - fR^i_{21} \\ fR_{11} + R_{31}(v_0 - u) \\ fR_{11} + R_{31}(v_0 - u) \end{bmatrix},$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} R^i_{32}(v - u_0) - fR^i_{22} \\ fR_{12} + R_{32}(v_0 - u) \\ u(fR_{22} + u_0 R_{32}) - v(fR_{12} + v_0 R_{32}) \end{bmatrix},$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} fR^i_{23} + R_{33}(v - u_0) \\ R_{33}(v_0 - u) - fR_{13} \\ u(fR_{23} + u_0 R_{33}) - v(v_0 R_{33} - fR_{13}) \end{bmatrix},$$

и

$$b^i = \begin{bmatrix} T_{31}(v - u_0) - fT_{21} \\ T_{31}(v_0 - u) - fT_{11} \\ u(fT_{21} + u_0 T_{31}) - v(fT_{11} + v_0 T_{31}) \end{bmatrix}.$$

Реконструкция 3D точки M осуществляется методом наименьших квадратов [5]: $M = (A^T A)^{-1} A^T b$.

После определения всех засветок на изображении одной камеры для каждой из них вычисляются эпиполярные линии, относящиеся к другим камерам, и оптимизируется с их помощью поиск точек соответствия вблизи этих линий. Если у нас есть две соответствующие засветки на изображениях с двух камер, засветку на изображении с третьей надо искать вблизи точки пересечения двух эпиполярных линий.

Выводы

Разработанный метод идентификации маркеров позволяет надежно соотнести рассчитанные координаты центров засветок с определенным маркером, что расширяет возможности трекинга, так как появляется возможность использования большого числа маркеров. Ожидается также сокращение времени расчета координат маркеров за счет предварительного определения возможного перекрытия маркеров и предсказания их будущих положений.

Литература: 1. *Rohlf J.* A High Perfomance Multiprocessing Toolkit for Real Time 3D Graphic / J. Rohlf, J. Helman / [In A. Glassner, editor]. Proceedings of SIGGRAF, IRIS '94, 1994. **2.** *Automatic* color blob segmentation and fast arbitrary shape tracking/ Bizhong W. etc.// Visual information engeneering, 2008. P. 408-413. **3.** *Faugeras D.* Three dimensional computer vision / D. Faugeras. The MIT Press, 1992. **4**. *Faugeras D.* The geometry of multiple images / D. Faugeras, Q.-T. Luong, The MIT Press, 2001. **5.** *Foursa M.* Real-time infrared tracking system for Virtual Environments / M. Foursa // ACM SIGGRAPH VRCAI conference proceedings, 2004. P. 427-430.

Поступила в редколлегию 11.10.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Синотин А.М.

Ильин Максим Анатольевич, мл. науч. сотр. ПНИЛ ЗА кафедры радиоэлектронных систем ХНУРЭ. Научные интересы: радиотехнические и телевизионные системы. Адрес: Украина, 61000, Харьков, ул. Чернышевского 25, тел. 706-19-36, e-mail: kudla_max@mail.ru.