

# ТЕХНОЛОГИЯ MATCH MOVING С ДИНАМИЧЕСКИМ ПОИСКОМ МЕТОК

Г. В. Лесневский, С. В. Петруша

## ВВЕДЕНИЕ

В современном мире всё большую популярность набирает концепция дополненной реальности, в которой элементы окружения реального мира дополняются сгенерированными компьютером элементами. Одной из технологий, реализующих эту концепцию, является технология Match Moving, позволяющая добавлять элементы компьютерной графики (виртуальные объекты) в видеопоток, в том числе, в режиме реального времени так, как если бы они присутствовали на самом деле – с корректной позицией, ориентацией и пр. Существующее программное обеспечение обладает рядом недостатков: большинство предназначено для пост-обработки видеоданных (Blender, Maya MatchMover, Voujou и др.); либо разработано под конкретные приложения (как добавление графики в спортивных трансляциях); либо просто дорого (Take4D) – что значительно затрудняет работу пользователя.

В данной статье предложен метод, позволяющий добавлять изображения виртуальных объектов в режиме реального времени, а также реализующий динамический поиск новых меток.

Под меткой будем понимать некоторый характерный (особым способом выделенный в пространстве) объект, координаты некоторых точек которого известны (например, координаты центра).

Процесс добавления изображений виртуальных объектов можно разбить на два практически независимых друг от друга этапа:

1. Поиск новых меток и вычисление их реального положения; поиск меток в следующем кадре и их идентификация.
2. Вычисление проекционной матрицы (калибровка камеры) и добавление в кадр изображений виртуальных объектов.

## КАЛИБРОВКА КАМЕРЫ. ДОБАВЛЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Воспользуемся допущением о применимости линейной модели камеры (данное допущение в рамках геометрической оптики полностью справедливо для камер-обскур и любых других камер с достаточно малыми размерами объектива). Процесс формирования изображения в рамках линейной модели описывается законами центральной (перспективной) проекции. Если ввести однородные координаты положения точ-

ки в пространстве  $\mathbf{P} = (x \ y \ z \ 1)^T$  и однородные координаты проекции точки на фоточувствительную матрицу  $\mathbf{p} = (x \ y \ 1)^T$ , то можно показать [1], что:

$$\mathbf{p} = \frac{1}{z} \mathbf{M} \mathbf{P}, \quad (1)$$

где  $\mathbf{M} = \mathbf{K}(\mathbf{R} \ \mathbf{t})$  – проекционная матрица,  $\mathbf{K}$  – матрица внутренних параметров,  $\mathbf{R}$  – матрица вращения,  $\mathbf{t}$  – вектор трансляции.

Если обозначить  $\mathbf{m}_i$  соответствующие строки матрицы  $\mathbf{M}$ , то выражение (1) можно записать в виде, удобном для использования:

$$\begin{cases} u = \frac{\mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{P}}{\mathbf{m}_3 \cdot \mathbf{P}} \\ v = \frac{\mathbf{m}_2 \cdot \mathbf{P}}{\mathbf{m}_3 \cdot \mathbf{P}} \end{cases}, \quad (2)$$

Под задачей калибровки камеры понимают нахождение её внутренних (связанных с камерой: фокусное расстояние, угол наклона пикселей и др.) и внешних (положение в пространстве: координаты оптического центра, углы поворота) параметров, т.е. фактически нахождение проекционной матрицы  $\mathbf{M}$ . Пусть известны однородные координаты положений  $\mathbf{P}_i$  и проекций точек  $(u_i; v_i)$ . Перепишем выражение (2) для всех точек в виде:

$$\begin{pmatrix} \mathbf{P}_i^T & \mathbf{0}^T & -u_i \mathbf{P}_i^T \\ \mathbf{0}^T & \mathbf{P}_i^T & -v_i \mathbf{P}_i^T \\ \vdots & \vdots & \vdots \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{m}_1^T \\ \mathbf{m}_2^T \\ \mathbf{m}_3^T \end{pmatrix} = 0, \quad (3)$$

или:

$$\mathbf{U} \mathbf{m} = \mathbf{0}, \quad (4)$$

Если число наблюдаемых точек больше или равно шести, то при любом выборе точек (если ранг матрицы  $\mathbf{U}$  максимален [1]) будет существовать единственное решение – тривиальное. Для поиска нетривиального приближенного решения воспользуемся методом наименьших квадратов – будем искать такой вектор  $\mathbf{m}$ , чтобы квадрат модуля вектора невязки был минимальным. Можно показать, что для случая точечных меток будут выполнены все условия теоремы Гаусса-Маркова, следовательно, данная оценка матрицы  $\mathbf{M}$  будет наиболее эффективной в классе линейных несмещенных оценок.

Как видно из (2) проекционная матрица определяется с точностью до постоянного множителя, потому ограничимся решениями, для которых справедливо  $|\mathbf{m}|=1$ . Можно показать [1], что тогда решением будет являться собственный вектор матрицы  $\mathbf{U}^T\mathbf{U}$ , соответствующий минимальному собственному значению.

Для поиска собственных векторов удобно воспользоваться разложением матрицы  $\mathbf{U}$  по сингулярным значениям (SVD) [2]. Несмотря на большую вычислительную сложность по сравнению с методами, использующими нормальные уравнения, данный метод не требует вычисления матрицы  $\mathbf{U}^T\mathbf{U}$ , а также обладает большей устойчивостью.

После вычисления проекционной матрицы становится возможным отображение виртуальных объектов в кадре: по формуле (2) можно вычислить координаты проекций точек виртуальных объектов.

### **ВЫДЕЛЕНИЕ МЕТОК И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ КООРДИНАТ**

Для проведения калибровки камеры требуется наличие в кадре группы точек с известными координатами. Определить координаты произвольной точки можно с помощью методики стереозрения, обладая информацией о положении проекций точки на фоточувствительную матрицу на нескольких (хотя бы на двух) кадрах.

Таким образом, прежде чем точка может быть использована для калибровки камеры, потребуется несколько кадров с известными проекционными матрицами, по которым координаты данной точки будут определены.

Для работы методики стереозрения, как и для последующего использования данной точки, требуется достоверно определять положение проекции точки на кадре при условии наличия нелинейных искажений участка изображения. Поэтому изначально в качестве меток следует выбирать точки, хорошо выделяемые на фоне окружения.

Проанализировать точку изображения на пригодность в качестве метки можно по следующим двум характеристикам [3]:

Принадлежность точки участку контура изображения. Точки контура соответствуют резким изменениям в характере изображения, и могут быть легко распознаны на другом изображении.

Небольшая окрестность точки должна обладать хорошим амплитудным спектром. При отсутствии высокочастотной составляющей в двумерном спектре, изображение не будет хорошо коррелировать само с собой при малых сдвигах, что обеспечит хорошую точность определения координаты точки.

После выбора на двух кадрах групп подходящих точек, требуется определить соответствие между ними. Это может быть сделано с помощью кросс-корреляции, которая служит мерой подобия участков изображения. Циклическая кросс-корреляция может быть вычислена через преобразование Фурье согласно теореме о свертке [4]:

$$F(f_1(x, y) \otimes f_2(x, y)) = F(f_1(x, y)) \cdot F^*(f_2(x, y)), \quad (5)$$

где  $F$  – преобразование Фурье,  $*$  – комплексное сопряжение.

Для оценки подобия участков изображения, кросс-корреляцию следует нормировать относительно корня из произведения максимумов автокорреляционных функций участков.

Обладая сопоставленными координатами точки на нескольких кадрах, не сложно определить координаты ее положения в пространстве  $\mathbf{P}$ , используя известные проекционные матрицы кадров  $\mathbf{M}_i$  [1]:

$$\begin{cases} \mathbf{p}_1 \times \mathbf{M}_1 \mathbf{P} = 0 \\ \dots \\ \mathbf{p}_n \times \mathbf{M}_n \mathbf{P} = 0 \end{cases}, \quad (6)$$

Данная система очевидно является избыточной при любом количестве кадров, большим одного. Поэтому, в общем случае из-за неточности определения координат проекций  $\mathbf{p}_i$ , она не будет иметь решения. Поэтому на практике используют приближенное решение данной системы, которое можно найти, например [1], с помощью схемы наименьших квадратов для отклонений координат проекции искомой точки на фоточувствительную матрицу от координат, полученных из анализа кадров.

### Литература

1. Forsyth D., Ponce J. Computer Vision: a modern approach, Pearson Education, 2003.
2. Press W. H., Teukolsky S. A., Vetterling W. T., Flannery B. P. Numerical recipes in C: the art of scientific computing. Cambridge University Press, 1992.
3. Сойфер В. А. Методы компьютерной обработки изображений. М., 2003.
4. Shapiro L., Stockman G. Computer vision. Prentice Hall, 2001.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ RFID-МЕТОК ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

Ю. Ю. Литвинович, П. П. Мягков

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все большее распространение получают беспроводные сети. Их используют для широкого круга задач, таких как созда-