электронное научно-техническое издание

НАУКА и ОБРАЗОВАНИЕ

Эл № ФС 77 - 30569. Государственная регистрация №0421100025. ISSN 1994-0408

Система определения геометрических параметров трехмерных объектов.

77-30569/280112

12, декабрь 2011

Коротаев А. И., Кузовлев В. И.

УДК 004.93

МГТУ им. Н.Э. Баумана

chernen@bmstu.ru

При проведении ряда работ требуется знание точных параметров трёхмерных объектов. Такими работами являются: создание автоматизированных систем управления динамическими объектами, тренажёров, электронных музеев, содержащих трёхмерные произведения искусства, игровых программ и т. д.

Подобные системы требуют разработки алгоритмов по автоматизированному определению координат точек, определяющих поверхности объектов. Точность определения координат зависит от характера задач, которые будут решаться с использованием подобных объектов. Так, например, при проведении измерительных работ со скульптурами для создания электронного музея, потребуется значительное количество точек для того, чтобы произведение стало узнаваемым. Этим работа не заканчивается, необходимо на массив точек “натянуть” поверхность и задать материал.

В данной работе задача решается использованием фотографических проекций. Этот способ имеет своим преимуществом практически неограниченную разрешающую способность и простоту получения и ввода фотоизображений в компьютер. Кроме этого в литературе имеется информация об оцифровке голографических изображений, использовании лазерных дальномеров и т.д.

Как известно, на фотографиях изображение формируется в центральной проекции. Центральная проекция получается путём мысленного соединения отрезком прямой точки пространства с глазом наблюдателя. На картинной плоскости, расположенной между точкой и глазом формируется след от пересечения отрезка и картинной плоскости.

Задача заключается в том, чтобы используя одну или несколько фотографических проекций, сделанных под разными углами или с разных расстояний до объекта, определить пространственные координаты точек объекта.

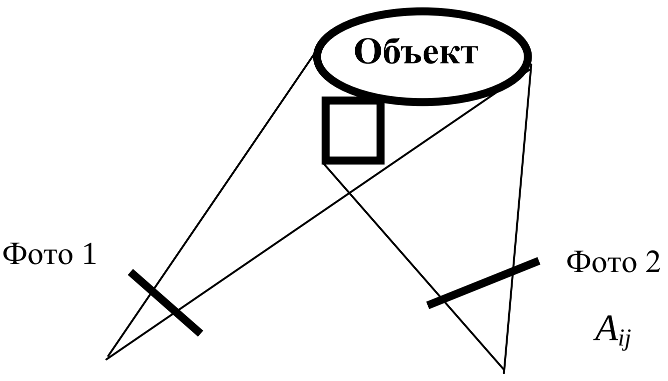

Рис 1. Определение параметров трёхмерного изображения по проекциям.

Решение этой задачи представляется следующим образом.

1 шаг. Произвести фотосъёмку объекта, ввести изображения в компьютер (назовём их фотографиями 1 и 2).

2 шаг. Ввести систему координат на фотографии 1 и 2. Сделать это можно, зафиксировав какую - либо особую точку на фотографиях (лучше на или около объекта до фотографирования).

3 шаг. Задать пиксель на фотографии 1, которую для удобства можно покрыть прямоугольной сеткой.

4 шаг. Распознавание. Определить координаты пикселя на фотографии 2, который является образом пикселя из шага 3. При этом могут использоваться такие признаки, как оттенок, яркость, некоторые структурные свойства (характеристики соседей).

5 шаг. Провести расчёт для определения координат трёхмерных точек, используя разницу координат, полученный в различных проекциях.

Среднеквадратическое приближение (точного решения может не существовать) может быть получено на основе решения уравнения:

$$X = [A^T A]^{-1} A^T B,$$

где

$$[x, y, z, 1]\ A' = [X, Y, Z, H],$$

.

- перспективное преобразование;

$$[X, Y, 0, 1] = [x^*, y^*, 0, 1]$$

- результат проецирования на плоскость $z = 0$;

x^*, y^* - координаты в перспективной проекции на плоскость $z = 0$.

$$\mathbf{A}=\begin{bmatrix} A^1_{11}-A^1_{14}x^{*1} & A^1_{21}-A^1_{24}x^{*1} & A^1_{31}-A^1_{34}x^{*1} \\ A^1_{12}-A^1_{14}y^{*1} & A^1_{22}-A^1_{24}y^{*1} & A^1_{32}-A^1_{34}y^{*1} \\ A^2_{11}-A^2_{14}x^{*2} & A^2_{21}-A^2_{24}x^{*2} & A^2_{31}-A^2_{34}x^{*2} \\ A^2_{12}-A^2_{14}x^{*2} & A^2_{22}-A^2_{24}y^{*2} & A^2_{32}-A^2_{34}y^{*2} \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{B}^T=[-A^1_{41}+A^1_{44}x^{*1} \quad -A^1_{42}+A^1_{44}y^{*1} \quad -A^2_{41}+A^2_{44}x^{*2} \quad -A^2_{42}+A^2_{44}y^{*2}];$$

$$\mathbf{X}^T=[x\ y\ z].$$

Верхний индекс определяет принадлежность к первой или второй фотографии. Преобразования A^1, A^2 не должны быть одинаковыми.

Матрица преобразования A^1 определяется достаточно просто. Единственным элементом, требующим задания, является величина z_0, которая задаёт расстояние от картинной плоскости до глаза наблюдателя. Для задания её можно использовать любую величину, которая имеет смысл при проецировании. Точного задания не требуется, т. к. в любом случае задача решается с точностью до масштабного множителя. На различных этапах компьютерного преобразования масштаб меняется сложным образом, отследить которые сложно и не имеет смысла.

Матрица преобразования A^2 может быть задана учётом точного перемещения фотоаппарата, что затруднительно. В данной работе предлагается формальное определение матрицы с использованием наряду с основным предметом калибровочного предмета, размеры которого известны.

Раскрывая уравнение $[x, y, z, 1]\, A' = [X, Y, Z, H]$, получаем:

$$\begin{aligned} A_{11}x + A_{21}y + A_{31}z + A_{41} &= Hx^*, \\ A_{12}x + A_{22}y + A_{32}z + A_{42} &= Hy^*, \\ A_{14}x + A_{24}y + A_{34}z + A_{44} &= H. \end{aligned}$$

После подстановки H из последнего уравнения в первые два (с учётом того, что имеем две проекции):

$$\begin{aligned} &A_{11}x + A_{21}y + A_{31}z + A_{41} - A_{14}xx^* - A_{24}yx^* - A_{34}zx^* - A_{44}x^* = 0 \\ &A_{12}x + A_{22}y + A_{32}z + A_{42} - A_{14}xy^* - A_{24}yy^* - A_{34}zy^* - A_{44}y^* = 0 \end{aligned}$$

Что позволяет определить элементы преобразования A_{ij}

Если предположить, что x^*, y^*, x, y, z известны, то уравнения будут содержать 12 неизвестных элементов преобразования. Можно положить $A_{44}=1$, перенести правый столбец направо за знак равенство и получить систему уравнений, которая решается.

Для определения величин x ,y, z предлагается использовать дополнительный предмет (например, кубик) с заранее известными параметрами, который располагается рядом с основным объектом (x^*, y^* известны из второй фотографической проекции).

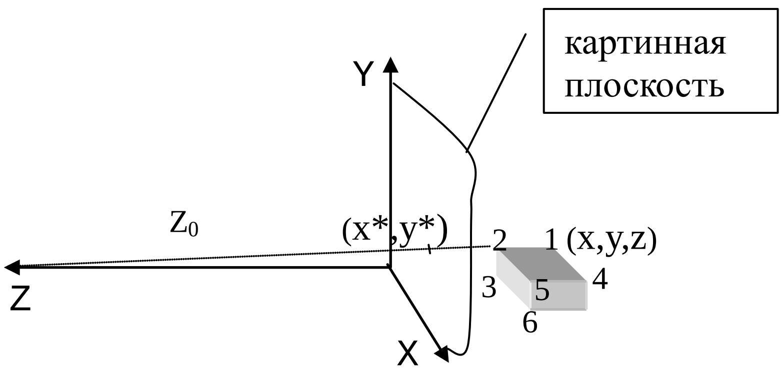

Рис 2. Использование калибровочного объекта
для определения матрицы преобразования.

Пусть z_0 - расстояние до картинной плоскости, (x,y,z) – координаты вершин куба в системе координат (X,Y,Z), (x^1,y^1)- координаты вершин куба в исходной фотографической проекции. (x^*,y^*)- координаты вершин куба в фотографической проекции, полученной в результате эволюции аппарата, x_0 - координата первой вершины куба, которая должна быть известна.

Координаты точек в фотографической проекции определяются по формулам:

$$x_i^1 = \frac{z_0}{z_0 - z_i} x_i, \quad y_i^1 = \frac{z_0}{z_0 - z_i} y_i, \quad i = \overline{1,6}.$$

Зная x_0 определить истинные координаты вершин куба:

$$y_1 = y_1^1 x_{01} / x_1^1, \quad z_1 = (z_0 y_1^1 - z_0 y_1) / y_1^1$$

Остальные пять координат можно определить, решая системы уравнений:

$$\begin{cases} x_i = x_i^1 (z_0 - z_i) / z_0, \\ y_i = y_i^1 (z_0 - z_i) / z_0, \\ (x_{i-1} - x_i)^2 + (y_{i-1} - y_i)^2 + (z_{i-1} - z_i)^2 = R_{i-1,i}, \\ i = \overline{2,6}. \end{cases}$$

Здесь $R_{i-1,i}$ – расстояние между соответствующими вершинами куба.

Распознавание. При работе с изображением объекты ω множества M и распознаваемый объект ω' представляют собой изображения, т.е. числовые квадратные матрицы. Для получения описаний вида $I(\omega')$ и $(I(\omega_1), \ldots, I(\omega_{r_m}))$ необходимо применить к матрицам, представляющим изображения, оператор приведения изображения к виду, удобному для распознавания.

В качестве признаков x_j необходимо использовать такую характеристику, которая отражает двухмерный характер распознаваемого объекта. Такой характеристикой, очевидно, может являться некоторая числовая величина, отражающая свойства локального участка изображения (распределение значений пикселей на этом участке, наличие или отсутствие некоторого геометрического объекта на этом участке, тип формы объекта, выделяемого на участке и т.д.). В простейшем варианте в качестве оператора приведения можно использовать наложение на исходное изображение некоторой сетки дискретизации с ячейками произвольной правильной формы, каждая из которых покрывает некоторую совокупность пикселей (смежных) исходного изображения. В результате изображение размера $m \times n$ представляется последовательностью длины $(n-k+1)\times(n-k+1)$, где k - длина стороны ячейки сетки дискретизации в пикселях. При выборе, например, квадратной ячейки с k= 2 значения a_{x_j}. признака x_{x_j} из которого строится искомое описание $I(\omega)$, определяются как: $a_{z,j} \;\; = R_f(P_{z,j}, P_{z,j+1}, P_{z+1,j}, P_{z+1,j+1})$; где $P_{z,j}$— значение уровня тона (яркости) пикселя исходного изображения с координатами (z, j).

Конкретный способ подсчета значений $a_{z,j}$ определяется видом оператора R_f задаваемого набором структурных параметров, в число которых, помимо упомянутого параметра k входят:

1. a - форма локальной окрестности (квадрат, шестиугольник и т.д.);
2. b - мощность локальной окрестности (число входящих в нее пикселей);
3. c - способ подсчета значения признака (усреднение, правило большинства, тоже с учетом весов отдельных пикселей, тоже с учетом весов пикселей по вертикали, горизонтали, диагонали и т.д.);
4. d - ориентация локальной окрестности;
5. $e_{z,j}$ - веса пикселей, включенных в локальную окрестность;
6. h - пороги дискретизации.

Таким образом, оператор приведения изображения к виду, удобному для распознавания, задается параметрической моделью $\langle a, \;\; b, \;\; c, \;\; d, \;\; e_{z,j}, \;\; h\rangle$, а конкретный вид оператора задается фиксацией некоторого набора значений этих структурных параметров. Подобное задание оператора приведения R_f^n позволяет перерабатывать с помощью распознающего оператора как описания $I(\omega)$, представляющие "формально" выбранные (перебираемые) участки изображения (локальные окрестности), так и описания $I(\omega)$, представляющие объекты или группы объектов, выделяемые на изображении, например, описания контуров областей, если в соответствующем операторе R_f^n реализована процедура сегментации.

Одним из наиболее распространенных методов идентификации является корреляционный. При незначительных отличиях в ракурсах съемки и на достаточно гладких объектах (поверхностях) от него можно ожидать хороших результатов.

Сложность применения корреляционного метода заключается в том, чтобы подобрать такие размеры сопоставляемых фрагментов (простой формы, усложнение формы, как показали опыты, к существенному улучшению результатов не приводит), при которых отличия в соответствующих фрагментах еще невелики (для этого нужно уменьшать размеры), а оценка коэффициента корреляции остается достоверной (для этого размеры надо увеличить). Серьезным недостатком корреляционной меры сходства является ее чувствительность к геометрическим искажениям видимых размеров сопряженных фрагментов при изменении ракурса съемки.

Корреляционный метод показывает хорошие результаты при съемке гладких изображений под малыми углами. Однако, в связи с тем, что данный метод подразумевает большое количество вычислений, он достаточно ресурсоемкий

Метод "квадрат разности точек" показал положительные результаты в задаче сопряжения точек на рельефном изображении. Данный метод так же позволяет производить поиск точек на изображениях, снятых под достаточно большими углами .

Автором предложена и исследована модификация метода "квадрат разности матриц" (использование вместе с дискретным косинусным преобразованием (DCT))

DCT получил распространение в алгоритмах сжатия с потерями, таких как JPEG и MPEG-4. В этих алгоритмах используются отличия интенсивностей от частот - медленные изменения более заметны, чем быстрые, так что данные низкой частоты оказываются более важны, чем данные высокой частоты для восстановления изображения.

В задаче поиска точек DCT использовалось для получения частотных характеристик матрицы окружения, которая сравнивалась с соответствующей матрицей окружения на втором изображении.

Использование DCT в задачах поиска точек улучшило качество сопряжения точек. Но использование данного метода увеличило время сопряжения точек на порядок.

Таким образом, метод "квадрат разности матриц", анализирующий изображения в разрезе трех цветов (R, G, B) (с или без использования DCT), оказался довольно эффективным.

Выводы. Предложенная процедура использования калибровочного куба (в совокупности с процедурами поточечного распознавания и восстановления) для формирования матрицы преобразования, в принципе, решает задачу восстановления трёхмерного изображения по фотографическим проекциям.

Литература

1. Журавлев Ю.И. Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания и классификации. Проблемы кибернетики: [Сб. ст.] /Под ред. С. В. Яблонского. Вып.33. М.: Наука, 1978. С. 5 - 78.

2. Горелик А.Л., Гуревич И.Б., Скрипкин В.А. Современное состояние проблемы распознавания. М.: Радио и связь, 1985. 160 с. (Сер. Кибернетика).

3. Роджерс Д. Алгоритмические основы машинной графики. Пер. с англ. М.: Мир,1989.

4. Фоли Дж., вэн Дэм А. Основы интерактивной машинной графики: В 2-х книгах. Пер. с англ. М.: Мир, 1985.

electronic scientific and technical periodical
SCIENCE and EDUCATION
EL № FS 77 - 30569. №0421100025. ISSN 1994-0408

System of determining geometric parameters of 3D objects.

77-30569/280112

 # 12, December 2011

Korotaev A.I., Kuzovlev V.I.

Bauman Moscow State Technical University
chernen@bmstu.ru

The authors consider 3D objects characterization by their two projections (photos). Mathematical aspects and algorithms are described. A description of corresponding software is also given.

Publications with keywords: software, geometrical parameters, 3D objects
Publications with words: software, geometrical parameters, 3D objects
See also:

Reference

1. Zhuravlev Iu.I., in: S. V. Iablonskii (Ed.), in: Collection of articles “Problems of cybernetics”, Moscow, Nauka, Is. 33, 1978, pp. 5-78.
2. Gorelik A.L., Gurevich I.B., Skripkin V.A., Modern condition of a problem of recognition, Moscow, Radio i sviaz', 1985, 160 p.
3. Rodzhers D., Algorithmic foundations of computer graphics, Moscow, Mir, 1989.
4. Foli Dzh., ven Dem A., The basics of interactive computer graphics, 2 books, Moscow, Mir, 1985.