

P. K. Хаметов

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЙ С ПОМОЩЬЮ ОДНОГО ПАССИВНОГО ДАТЧИКА

Работа представлена кафедрой информатики.

Научный руководитель – доктор технических наук., профессор И. Л. Ерош

Для решения различных технических задач нередко приходится строить модель поверхности физического объекта по результатам его наблюдения. Так, например, для функционирования мобильных роботов (моботов) в экстремальных условиях сенсорная система должна обеспечивать формирование рельефа сцены, эта информация используется для коррекции траектории движения робота либо для ее вычисления. По построенной модели окружающей обстановки робот может осуществлять классификацию находящихся в его поле зрения объектов и определять бесконтактным методом пространственное положение и ориентацию обнаруженных объектов для организации самонаведения схвата манипулятора на выбранный предмет.

Трагические события 11 сентября 2001 года создали невероятный спрос на все возможные биометрические системы. Ученые, занимающиеся проблемами искусственного зрения, бросили все силы на раз-

работку систем безопасности. Оказалось, что системы двумерного распознавания лиц фактически неработоспособны, а другие «биометрические» системы либо слишком неточны (геометрия руки), либо слишком сложны в применении (сетчатка глаза), либо легко подделываются (отпечатки пальцев). А вот системы трехмерного распознавания лиц действительно работают. В этих системах первоочередной задачей является задача построения трехмерной модели лица¹.

При создании рельефных карт местности, в медицине, в космической навигации, в военном деле также возникает необходимость формирования карты глубин.

Из теории известно, что получение информации о рельефе поверхности решается в основном тремя способами: использованием посланных и отраженных сценой лучей; выделением характерных точек поверхностей (вершин, краев и т. д.) или специальной подсветкой². Данные методы не позволяют определять неболь-

шие расстояния с высокой точностью и не могут быть использованы для медицинских целей.

Таким образом, требование повышения точности измерения небольших расстояний обуславливает необходимость разработки и исследования новых методов определения информации о рельефе сцены.

В работе³ для измерения расстояния до отдельных фрагментов поверхности предлагалось использовать одну телекамеру, смещающую вдоль оптической оси. Данный метод обладает рядом преимуществ⁴:

- 1) возможность исследования объектов, находящихся в трудных для детального обозрения местах;
- 2) экономичность (в плане затрат энергии);
- 3) скрытность получения информации, недостижимая активными методами (например, для военных или иных специальных целей);
- 4) малый объем требуемой входной информации;

5) простота конструкции измерительной установки;

6) простота управления измерительной установкой;

7) высокая точность;

8) возможность измерения небольших расстояний.

Рассматривается система совмещения двух изображений отличающихся друг от друга неизвестным масштабом. Предполагается, что эти изображения получены следующим образом. Имеется ближнее изображение исследуемого объекта, представляющее совокупность точек, координаты которых являются независимыми случайными числами с равномерным распределением. Известна плотность точек ρ_1 . Второе изображение получается смещением датчика (TV-камеры) вдоль оптической оси на расстояние m (рис. 1).

Для решения поставленной задачи вернемся к общей задаче определения параметров положения некоторой точки в заданной системе координат по двум смещенным TV-изображениям (рис. 2).

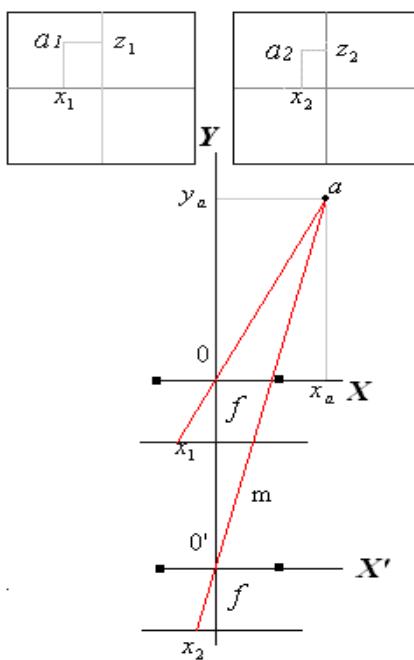


Рис. 1. Получение изображения смещением датчика вдоль оптической оси

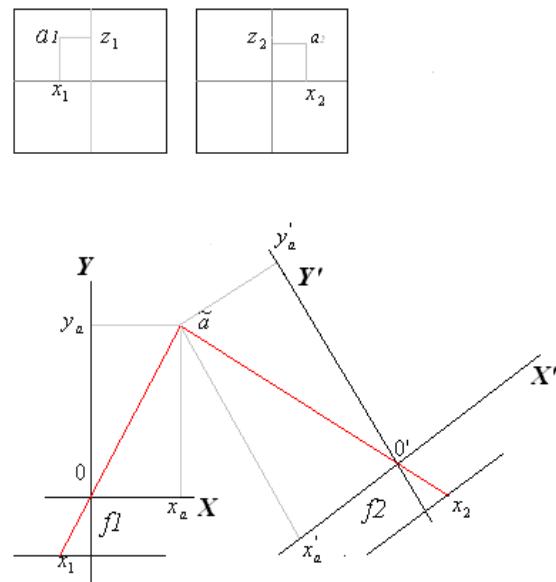


Рис. 2. Определение параметров положения некоторой точки в заданной системе координат

Координаты точки a в системе координат XYZ равны (x_a, y_a, z_a) , f – фокусное расстояние съемочной камеры. Пусть система координат XYZ сдвинута на расстояние l вдоль оси абсцисс, на m вдоль оси ординат и повернута вокруг оси Z на угол θ против часовой стрелки. Тогда (x_1, z_1) – координаты точки a на левом изображении, (x_2, z_2) – координаты точки a на правом снимке.

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ l & m & n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ l\cos\theta - m\sin\theta & l\sin\theta + n & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

После соответствующих вычислений получим следующие выражения для пространственных координат точки a :

$$x_a = \frac{x_1 \cdot y_a}{f}, \quad z_a = \frac{z_1 \cdot y_a}{f}, \quad y_a = \frac{m}{k-1},$$

где $k = \frac{x_1}{x_2}$ – масштабный коэффициент.

Таким образом, по двум фотоснимкам $F_1(x, y)$ и $F_2(x, y)$, полученным смещением ТВ-камеры вдоль оптической оси, можно вычислить среднее расстояние от ближней камеры до поверхности.

Для этого нам необходимо определить масштабный коэффициент k , при котором достигается наибольшее соответствие между ближней фотографией и ее фрагментом в дальней фотографии. Поиск масштаба состоит в последовательном пропорциональном уменьшении размеров ближней фотографии и сравнении ее с подмножеством такого же размера в дальней фотографии. Для более надежной идентификации исследовались локально стабильные элементы обеих фотографий – контуры,

Тогда координаты точки a в новой системе координат могут быть получены из выражения:

$$\begin{bmatrix} x_a & y_a & z_a & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_a & y_a & z_a & 1 \end{bmatrix} [T].$$

где $[T] = [T_{\text{пер}} \ T_{\text{вращ}}]$ – матрица комбинированного преобразования, состоящая из матрицы пространственного переноса и матрицы преобразования для вращения на угол θ вокруг оси Z .

границы разных цветовых фрагментов. Сначала изображения фильтровались по методу выбора среднего из трех или пяти пикселей, затем к фильтрованным изображениям применялся фильтр Лапласа – Гаусса.

Поскольку фотокамера смещается вдоль оптической оси, то с приемлемой точностью можно считать, что изображения поверхности на обеих фотографиях центрально подобны и, следовательно, ближней фотографии соответствует некоторый центральный фрагмент (подмножество пикселей) дальней фотографии.

Алгоритм определения среднего расстояния до участка поверхности был реализован на ЭВМ, на базе процессора AMD Duron CX-1350 601 МГц с 248 Мб ОЗУ. Моделирование производилось в системе MATLAB, поскольку данная система является одной из самых крупных и мощных систем компьютерной математики.

Методом статистических испытаний исследовалась зависимость величины среднеквадратичной ошибки m_{y_a} от:

Таблица

α , град	Ya , мм	m_{ya} , мм
0	30	2
	50	2
	100	2
	150	3
	250	3
5	30	2
	50	3
	100	2
	150	3
	250	3
30	30	3
	50	3
	100	2
	150	3
	250	3
45	30	3
	50	3
	100	3
	150	3
	250	3
60	30	3
	50	3
	100	3
	150	3
	250	3

1) величины среднего расстояния до объекта Ya , мм;

2) угла относительного поворота объекта по отношению к телекамере a , град.

Все результаты расчетов приведены в таблице. Расчеты проводились для гладких поверхностей с простыми рисунками при следующих значениях параметров: $n_1=640\times480$ – разрешение фотографий; $m=40$ мм; $Ya=30, 50, 100, 150$ и 250 мм; $a=0^\circ, 5^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ и 60°

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Увеличение угла взаимного поворота объекта в интервале $0^\circ \leq a \leq 60$ мало влияет на работу системы.

2. Система может с успехом использоваться для определения небольших расстояний (измерения проводились для расстояний более 3 см).

3. Полученные результаты превосходят теоретические оценки среднеквадратичных ошибок измерения дальности до объекта не более чем на 20%⁵.

ПРИМЕЧАНИЯ

¹ Хаметов Р. К. Распознавание лиц на основе трехмерных моделей. Информационные и коммуникационные технологии в образовании: Межвузовский сборник научных трудов. Вып. 3. СПб.: Изд-во БАН, 2006.

² Ерош И. Л. Построение объемных моделей сенсорными системами роботов // Экстремальная робототехника. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2002. Вып. XII.

³ Ерош И. Л., Золотарь А. В., Небылов А. В. Реконструкция реальной поверхности с использованием корреляционного соответствия плоских изображений // Экстремальная робототехника. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2000. Вып. X.

⁴ Хаметов Р. К. Построение объемной модели объекта с помощью одного пассивного датчика. Шестая научная сессия аспирантов ГУАП: Сб. докл.: В 2 ч. Ч. 1. Технические науки/ СПбГУАП. СПб., 2003.

⁵ Хаметов Р. К. Измерение расстояний с помощью одного пассивного датчика. Высокие технологии, фундаментальные и прикладные исследования, образование. Т. 5: Сборник трудов Второй международной научно-практической конференции «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности». Санкт-Петербург, Россия / Под ред. А. П. Кудинова, Г. Г. Матвиенко, В. Ф. Самохина. СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2006.