

ИЗМЕРИТЕЛЬ РАССТОЯНИЙ И РАЗМЕРОВ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ ФОТОКАМЕРЫ

А. С. Васильчук

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время цифровая фотосъемка почти полностью вытеснила традиционную пленочную, а ее возможности недостаточно используются для решения научных и технических задач в различных областях человеческой деятельности. Пассивные измерители расстояний по анализу цифровых изображений в сравнении с лазерными дальномерами обеспечивают преимущества, заключающиеся в скрытности измерений; меньшем энергопотреблении и низкой себестоимости за счет отсутствия мощного дорогостоящего лазера; возможности измерять расстояния и размеры всех объектов, попадающих в поле зрения, размеры объектов и расстояния между объектами; возможности измерять расстояния до тех объектов, до которых сложно проводить измерения с помощью лазерных дальномеров, например, тонкие провода, антенны, объекты с низким коэффициентом отражения, зеркальные поверхности, птицы, животные, люди. Приведенные данные свидетельствуют о более широких функциональных возможностях измерителя расстояний на цифровой фотокамере по сравнению с обычными лазерными дальномерами. В Российской Федерации выпускается ряд фотограмметрических комплексов, позволяющих измерять расстояния и размеры объектов по анализу цифровых изображений. Основной недостаток этих систем заключается в том, что для проведения измерений в них необходимо использование мерных объектов, располагаемых в измеряемой зоне, что неудобно в режиме эксплуатации. Кроме того, они обладают невысокой точностью измерения, которая составляет 1–3 % от расстояния. Из вышесказанного следует, что разработка методики и соответствующих аппаратных средств для измерения расстояний и размеров объектов по анализу цифровых фотографических изображений, не использующих мерный объект и обладающих более высокой точностью измерений, является актуальной задачей.

ПРИНЦИП РАБОТЫ

Предлагаемая методика измерения расстояний и размеров объектов основана на принципах фотограмметрии и корреляционной обработке цифровых изображений стереопары [1, 2]. Если расстояние между камерой и наблюдаемой сценой значительно превышает фокусное расстоя-

ние оптической системы, можно считать, что изображение строится в ее фокальной плоскости на расстоянии фокуса f [1]. Проекцией измеряемой точки трехмерного пространства M с координатами (X, Y, Z) , где Z – расстояние, на фотоприемную матрицу является точка m с координатами (x, y) , причем выполняются следующие соотношения:

$$x = \frac{fX}{wZ} + x_0, \quad y = \frac{fY}{hZ} + y_0, \quad (1)$$

где x_0, y_0 – координаты главной точки относительно начала координат фотоприемника; w и h – расстояния между ячейками матричного фотоприемника вдоль строк и столбцов.

Трехмерный вектор $t.m$ внутренних координат камеры будет иметь вид $\mathbf{V} = (x, y, 1)$, а трехмерный вектор, соответствующий координатам точки M в пространстве, равен $\mathbf{M} = (X, Y, Z)$. Связь координат в пространстве с координатами в плоскости изображения [2] можно выразить соотношением (2) через постоянную матрицу \mathbf{K} , которая определяется соотношением (3) и называется *калибровочной* или *матрицей внутренних параметров камеры*

$$\mathbf{ZV} = \mathbf{KM}, \quad (2)$$

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} f/w & 0 & x_0 \\ 0 & f/h & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

Для определения координаты объекта достаточно знать его внутренние координаты на фотоприемной матрице \mathbf{V} , расстояние до объекта Z и калибровочную матрицу \mathbf{K} . Для определения расстояния Z используется стереоскопическая система. Способ измерения заключается в получении двух цифровых фотографических изображений измеряемого объекта из двух точек пространства разнесенных по горизонтали на известное расстояние. При этом дальность до объекта Z из геометрии изображений определяется из соотношения

$$Z = \frac{fL}{x' - x''}, \quad (4)$$

где разность $(x' - x'')$ – смещение объекта в плоскости изображения на первом и втором снимках, L – величина базы, f – фокус оптической системы. Зная дальности и координаты измеряемых объектов можно оценить расстояния между ними. Аналогичным образом можно определять линейные размеры объектов.

Для определения разности координат объекта (смещения) в плоскостях первого и второго изображений стереопары, выполняется автома-

тическое сканирование одного изображения относительно другого и осуществляется поиск максимального соответствия, который проходит в два этапа: грубая оценка и уточнение.

На этапе грубой оценки координаты сходства определяется сдвиг между изображениями с разрешением в 1 пиксель. Сдвиг между изображениями $\Delta u = x' - x''$ определяется по положению максимального значения двухмерной нормированной корреляционной функции между выделенными изображениями в соответствии с выражением

$$R(\Delta u, \Delta v) = \frac{\sum_{x,y} I_1(x,y) I_2(x+\Delta u, y+\Delta v) - \frac{\sum_{x,y} I_1(x,y) \sum_{x,y} I_2(x+\Delta u, y+\Delta v)}{\Delta x \cdot \Delta y}}{\sqrt{\left[\sum_{x,y} \left(I_1^2(x,y) - \frac{\left(\sum_{x,y} I_1(x,y) \right)^2}{\Delta x \cdot \Delta y} \right) \right] \left[\sum_{x,y} \left(I_2^2(x+\Delta u, y+\Delta v) - \frac{\left(\sum_{x,y} I_2(x+\Delta u, y+\Delta v) \right)^2}{\Delta x \cdot \Delta y} \right) \right]}}, \quad (7)$$

Применение представленной формулы позволило ускорить вычисления корреляционной функции в 3 раза по сравнению с [2].

На этапе уточнения разрешение поиска можно улучшить до сотых долей пикселя. Для повышения точности измерений применяется субпиксельная обработка на основе билинейной интерполяции [3], согласно которой Интенсивность $I(x+ih, y+jh)$ узла сетки вычисляется из выражения:

$$I(x+ih, y+jh) = (1-ih)(1-jh) \cdot I(x, y) + (1-jh)ih \cdot I(x+1, y) + (1-ih)jh \cdot I(x, y+1) + ijh^2 \cdot I(x+1, y+1), \quad (10)$$

РЕАЛИЗАЦИЯ

В качестве компактного аппаратного решения используется фотоаппарат Fujifilm FinePix Real 3D W3. Для измерений на более дальних дистанциях была разработана специальная установка, позволяющая делать снимки с базой до 1,75 м. Программное приложение написано на языке C++ под платформу Embarcadero RAD Studio 2010. На рис. 1 показан интерфейс программы-измерителя и пример его работы. Интерфейс включает информационную строку; общие инструменты; функциональные инструменты: манипуляция с объектами, задать область измерения, задать связь между объектами, калибровку камеры (вычислить калибровочные параметры по объекту на известном расстоянии); вызов диалога установки параметров анализа; прокрутку и масштабирование области изображения; анализ достоверности результата измерений.



Рис. 1. Интерфейс измерителя расстояний на цифровой фотокамере

Как видно из рисунка, разработанный дальномер позволяет измерять глубину вмятин с точностью до миллиметра, длину следа ботинка и глубину отпечатка подошвы. Разработанный дальномер показал хорошую точность измерений как на малых дистанциях порядка 1–2 м (абсолютная погрешность менее 1 мм), так и на расстояниях около 50 м (погрешность порядка 10 см). Приведенные данные свидетельствуют о возможности использования системы для обеспечения работы правоохранительных органов на местах преступлений при проведении криминалистических исследований.

Литература

1. Грузман И. С. Цифровая обработка изображений в информационных системах / И.С. Грузман и др. Новосибирск: НГТУ, 2000.
2. Козлов В. Л., Васильчук А. С. Обработка цифровых изображений для измерения дальности и размеров объектов // Матер. 4-й Международной НТК «Приборостроение – 2011», Минск.
3. Козлов В. Л., Васильчук А. С. Субпиксельная обработка изображений в дальномере на цифровой фотокамере. // Матер. 4-й Международной НТК «Приборостроение – 2011», Минск.