

ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

УДК 535.317.6

ОДНОВРЕМЕННОЕ ИЗМЕРЕНИЕ КООРДИНАТ НЕСКОЛЬКИХ ОБЪЕКТОВ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМОЙ НА БАЗЕ СТЕРЕОТЕЛЕВИЗИОННОГО ДАЛЬНОМЕРА

© 2005 г. В. А. Арсеньев*, А. Л. Дубовиков**, С. Н. Нагаровский***, канд. техн. наук

* ООО “НИИЭФА-ЭНЕРГО”, Санкт-Петербург

** НИИ электрофизической аппаратуры им Д.В. Ефремова”, Санкт-Петербург

*** ОАО “ЛОМО”, Санкт-Петербург

E-mail: andrewd@rambler.ru

Исследованы варианты использования стереоскопической системы для одновременного измерения координат нескольких целей.

Коды OCIS: 120.0120.

Поступила в редакцию 20.04.2005.

Появление лазерных и ультразвуковых дальномеров позволило быстро и с достаточно высокой точностью определять расстояния от 0,3 до 1200 м (с погрешностью $\pm 0,003$ м) с помощью лазерных дальномеров [1, 2] и от 0,6 до 20 м (с погрешностью $\pm 1\%$) с помощью ультразвуковых дальномеров [3]. Однако, поскольку для определения расстояния требуется непосредственная наводка дальномера на цель, использование этих систем для оценки координат нескольких объектов одновременно невозможно. Наиболее простое решение этой задачи – построение оптической системы на базе стереоскопического дальномера. Такая схема повторяет строение зрительной системы человека и довольно ши-

роко применяется при решении топографических задач, в робототехнике, военном деле и т. д.

Рассмотрим оптическую схему стереотелевизионного дальномера (рис. 1), построенную на базе двух телекамер (ТК), чувствительными элементами которых являются линейные приборы с зарядовой связью (ПЗС). Оптические оси объективов телекамер и светочувствительные зоны линейных ПЗС расположены в одной плоскости – плоскости измерений. Для данной схемы объекты измерения могут быть протяженными, кроме случая параллельности плоскости измерения. Расчет положения объектов в данном случае является простой задачей и достаточно широко рассмотрен в литературе

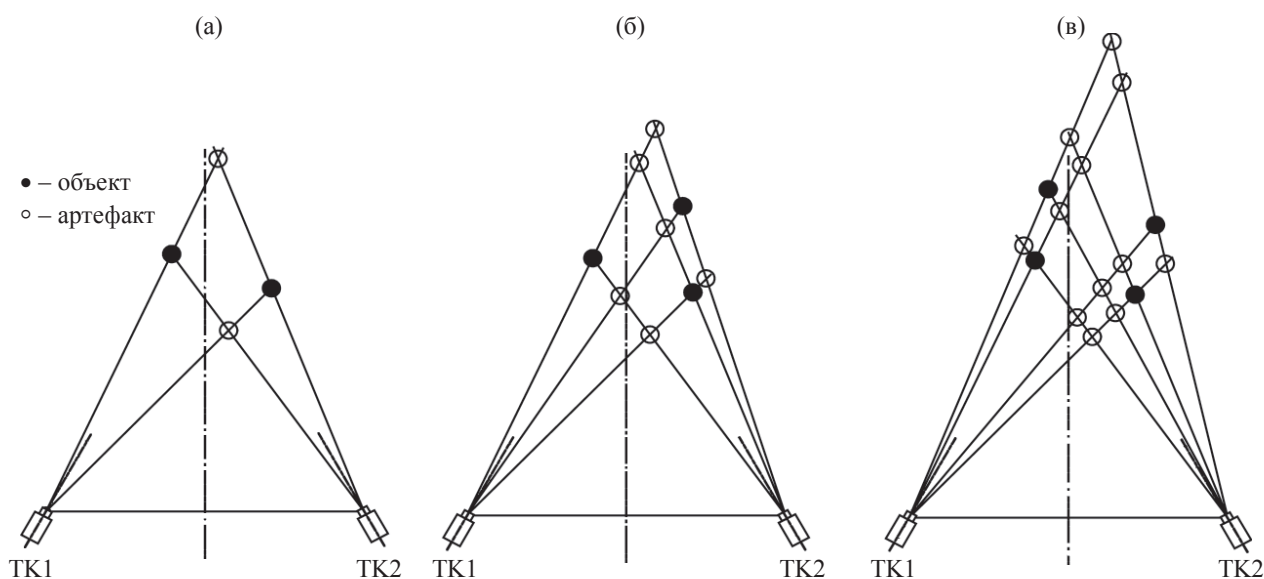


Рис. 1. Появление артефактов при визировании стереотелевизионной системой двух (а), трех (б) и четырех (в) объектов.

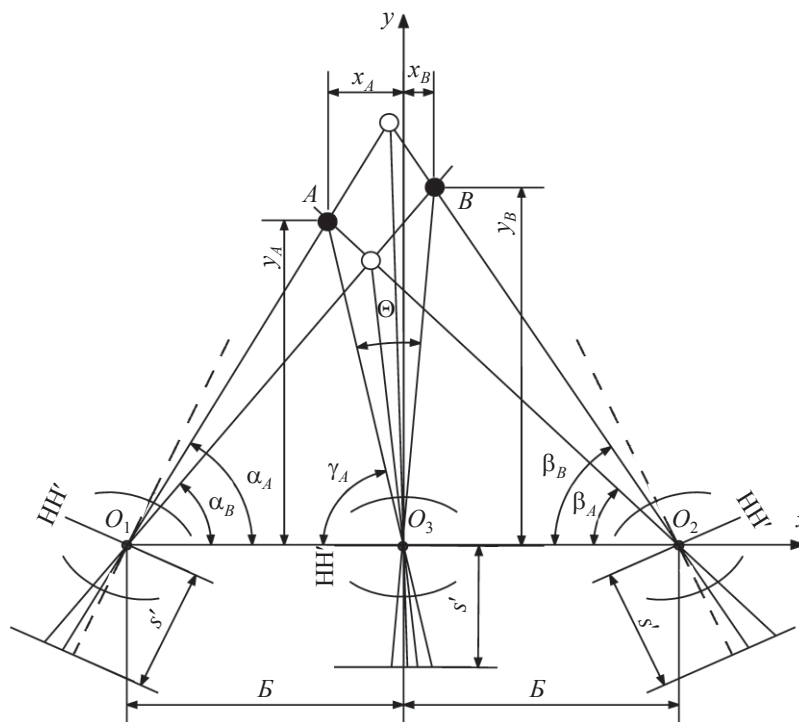


Рис. 2. Модификация стереоскопической системы

(см., например, [4]). Отметим только, что перед началом использования прибора, построенного по такой схеме, его необходимо откалибровать по объектам с точно измеренными координатами. После калибровки для каждой камеры будут известны таблицы соответствия между отсчетами и угловыми положениями объектов. Теперь отметим особенности работы схемы, представленной на рис. 1, для случая, когда в поле зрения обеих телекамер одновременно попадает несколько объектов.

Как видно из рисунка, количество отсчетов, которое дает каждое пересечение линий направлений на объекты, больше, чем истинное количество объектов. Несложно определить, что количество ложных отсчетов $S = t^2 - t$, где t – количество наблюдаемых целей. Как видно из формулы, S значительно возрастает при увеличении t . Этот эффект не наблюдается у глазной системы благодаря стереоскопическому параллаксу [5]. То есть система зрения “сканирует” пространство для отсева артефактов. Кроме того, данная схема не регистрирует объекты, когда для одной из камер один объект экранирует другой. Такая ситуация актуальна и для глазной системы – происходит нарушение стереоскопичности.

Существуют два подхода к решению задачи отсева артефактов. В первом подходе предлагается, используя изображения, полученные с двух телекамер, а также учитывая особенности наблюдаемой сцены, производить поиск сопряженных отсчетов [6] уже на этапе обработки изображения. Во втором – предлагается изменить саму схему регистра-

ции путем ввода дополнительных элементов. Для первого подхода при обработке изображения характерно использование корреляционных и контурных методов либо методов идентификации объектов [6]. В то же время довольно часто в современных измерительных системах на обработку кадра выделяется не более 10 мс, так что обчислить вычислительным блоком кадры со всех телекамер в выделенное время оказывается невозможным. Так, простая медианная фильтрация одного кадра с 2048 ячейками на специализированном процессоре с рабочей частотой 40 МГц занимает 2 мс, а алгоритмы дальнейшей обработки требуют не менее 20 мс. Поэтому такой подход применим лишь тогда, когда изменение положений объектов происходит не слишком быстро.

Примером реализации второго подхода может быть схема, представленная на рис. 2. Как видно из рисунка, в стереоскопическую систему была добавлена третья камера, основное предназначение которой – отсев артефактов.

Рассмотрим подробнее эту схему. Все три телекамеры одинаковы и для регистрации изображения используют фотоприемные линейки на основе ПЗС. В качестве оптической системы может выступать фотообъектив с фокусным расстоянием, подобранным таким образом, чтобы рабочей поверхности фотоприемной линейки хватало для охвата всей рабочей зоны системы.

Приведем формулы, связывающие координаты объектов и углы визирования камер:

$$y_A \operatorname{ctg} \alpha_A + y_B \operatorname{ctg} \beta_A = 2B, \quad (1)$$

откуда

$$y_A = 2B / (\operatorname{ctg} \alpha_A + \operatorname{ctg} \beta_A). \quad (2)$$

Аналогично, заменяя в формуле (2) углы визирования α_A и β_A на α_B и β_B , находим координату y для точки B . Координату x можно найти, используя угол визирования либо одной камеры, либо двух:

$$x_A = B - y_A \operatorname{ctg} \alpha_A, \quad (3)$$

$$x_A = B \frac{\operatorname{ctg} \beta_A - \operatorname{ctg} \alpha_A}{\operatorname{ctg} \beta_A + \operatorname{ctg} \alpha_A}. \quad (4)$$

Как упоминалось выше, наблюдение двух объектов дает еще два артефакта. Роль третьей камеры как раз и заключается в отсеивании артефактов. Математически такой отбор может быть проведен по формуле:

$$\frac{\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{ctg} \beta}{2} + \operatorname{ctg} \gamma = \Delta, \quad (5)$$

где Δ – мера неопределенности.

Подставляя в формулу (5) всевозможные комбинации углов, полученных с трех камер, выбирают истинные и уже по ним проводят расчет координат объекта по формулам (1)–(4).

Теоретически мера неопределенности Δ должна быть равна нулю. Однако на практике этот коэффициент подбирается эмпирически. Это объясняется тем, что алгоритмы нахождения точки на фотоприемнике, соответствующей центру объекта, не могут учитывать всевозможных вариантов освещения и фоновых составляющих.

Отметим также, что польза от третьей камеры будет лишь тогда, когда угол Θ больше угла разрешающей способности телекамеры:

$$\Theta \geq \frac{k \Delta t}{s'}, \quad k \geq 2,$$

где k – коэффициент, зависящий от разрешающей способности и глубины резкости объектива телекамеры, Δt – расстояние между центрами соседних ячеек линейки ПЗС, s' – задний отрезок объектива.

В заключение отметим, что схема, представленная на рис. 2, проста в реализации и настройке. В то же время она не решает поставленной задачи для общего случая. Польза от введения третьей камеры будет лишь в случаях, когда заранее известны условия наблюдения либо когда используются алгоритмы распознавания и предсказания движений целей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конопляников Ю.К., Прилепский Б.В. Лазерно-оптические системы ближней дальнометрии // Инф. бюл. Лазерной ассоциации. 2003. № 9–10. С. 264–265.
2. Прайс-лист фирмы DISTO и Bushnell.
3. Прайс-лист фирмы BOSCH.
4. Кулагин С.В., Дикарев В.Н., Мосягин Г.М. и др. Оптико-механические приборы. М.: Машиностроение, 1975. 400 с.
5. Грейм И.А. Оптические отсчетные системы в приборостроении и машиностроении. М.: Машгиз, 1963. 241 с.
6. Грузман И.С., Киричук В.С., Косых В.П., Перетягин Г.И., Спектор А.А. Цифровая обработка изображений в информационных системах. Учебное пособие. Новосибирск: НГТУ, 2000. 168 с.