

ИТЕРАЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ИЗОБРАЖЕНИЙ ТОЧЕЧНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

© 2009 г. Д. В. Жуков; И. А. Коныхин, доктор техн. наук; А. А. Усик

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург

E-mail: oeps@grv.ifmo.ru

Предлагается итерационный алгоритм определения координат изображения точечного излучателя, основанный на последовательном уточнении области локализации изображения. Проводится исследование алгоритма на математической модели. Выявляется адаптивность алгоритма к размеру изображения, а также независимость от первоначальной оценки области локализации изображения.

Коды OCIS: 110.2960, 100.2000.

Поступила в редакцию 02.06.2008.

Введение

Для реализации обширного круга измерительных задач в области научной и промышленной техники все чаще используются оптико-электронные системы (ОЭС), основанные на матричных приемниках оптического излучения (ПОИ). Системы определения пространственных координат объектов, их перемещения и деформации могут быть крайне эффективны при реализации в них наиболее оптимальных алгоритмов обработки изображения, снимаемого с фоточувствительных элементов матрицы. Одним из важным факторов повышения точности таких систем при регистрации как визирных целей – излучающих диодов, так и, например, естественных источников излучения – звезд, является получение значений координат изображений источников с субпиксельной точностью.

Практика показывает сильную зависимость точности определения координат центра изображения точечного излучателя по алгоритмам взвешенного суммирования (ВС) от первоначального определения геометрических параметров области локализации изображения (окна): координат центра и полуширины. Определение координат центра окна может давать существенную ошибку в условиях засветки или при отклонении распределения облученности в плоскости изображения от гауссовой формы.

Нами была поставлена задача поиска алгоритма, в котором устранялись бы вышеупомянутые зависимости. Также были предъявлены жесткие требования по ресурсоемкости (времени исполнения) для возможности использования в широком классе ОЭС.

Описание алгоритма

Для решения поставленной выше задачи обратимся к алгоритмам ВС, но при этом попытаемся как можно точнее оценить параметры окна.

Положим, что изображение, формируемое на приемнике, имеет распределение в форме функции Гаусса

$$Q(x, y) = A \exp\{-(x-a)^2 + (y-b)^2 / 2\sigma^2\}.$$

Тогда суммарную облученность можно найти как интеграл

$$M = \iint_{x, y \in (-\infty; \infty)} Q(x, y) dx dy = 2\pi\sigma^2 A.$$

Отсюда можно выразить параметр σ , характеризующий ширину изображения

$$\sigma = \sqrt{M/2\pi A}.$$

Основная “масса” изображения содержится в круге с центром в (a, b) и радиусом $R = 3\sigma$. Этот факт позволяет точнее определить размер окна в алгоритме ВС и тем самым уменьшить ошибку, вносимую фоновым шумом.

Зададимся некоторым окном, которое, предположительно, должно содержать изображение

$$W_k = \{(i, j) \in F | \tilde{a}_k - \tilde{R}_k \leq x_i \leq \tilde{a}_k + \tilde{R}_k, \\ \tilde{b}_k - \tilde{R}_k \leq y_j \leq \tilde{b}_k + \tilde{R}_k\},$$

где F – множество пикселей кадра, (x_i, y_j) – координаты пиксела (i, j) на матричном приемнике, $(\tilde{a}_k, \tilde{b}_k)$ – координаты центра окна, \tilde{R}_k – полуширина окна.

В данном окне можно провести оценки параметров изображения σ , a и b

$$\tilde{\sigma}_{k+1} = \sqrt{\tilde{M}_{k+1}/2\pi\tilde{A}_{k+1}},$$

где

$$\tilde{A}_{k+1} = \max_{(i,j) \in W_k} Q_{ij} \text{ и } \tilde{M}_{k+1} = \sum_{(i,j) \in W_k} Q_{ij},$$

$$\tilde{a}_{k+1} = \sum_{(i,j) \in W_k} Q_{ij}^2 x_i / \sum_{(i,j) \in W_k} Q_{ij}^2,$$

$$\tilde{b}_{k+1} = \sum_{(i,j) \in W_k} Q_{ij}^2 y_i / \sum_{(i,j) \in W_k} Q_{ij}^2.$$

Из полученных значений можно сформировать новое окно W_{k+1} с параметрами \tilde{a}_{k+1} , \tilde{b}_{k+1} и $\tilde{R}_{k+1} = 3\tilde{\sigma}_{k+1}$.

Задав параметры первоначального окна W_0 (\tilde{a}_0 , \tilde{b}_0 , \tilde{R}_0) и, применив к нему вышеописанную рекурсивную процедуру, получим искомые оценки координат центра изображения: $\tilde{a} = \tilde{a}_n$, $\tilde{b} = \tilde{b}_n$.

Примечание: Здесь применяется алгоритм взвешенного квадратичного суммирования (ВКС) для определения центра изображения в данном окне, так как в большинстве случаев он дает лучший результат, чем классическое взвешенное суммирование [1, 3].

Структура математической модели

Модель реализована для размеров изображения порядка 6–48 пикселей при отношении сигнал/шум (ОСШ) в пределах 10–500. Под ОСШ понимается отношение квадрата максимального значения сигнала к дисперсии шума. Задача первоначального определения области локализации изображения полагается решенной. Полуширина окна \tilde{R}_0 принималась равной 15 пикселям. В моделировании зависимости ошибки определения центра от ОСШ центр изображения полагался смещенным относительно центра окна на 0,3 пикселя по горизонтали и вертикали (рис. 1). Также предполагалось, что рас-

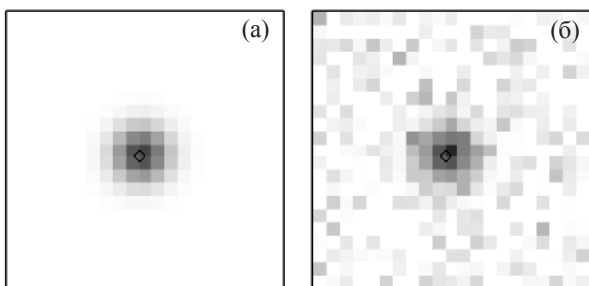


Рис. 1. Изображение точечного излучателя в отсутствие шума – а, в присутствии шума – б.

пределение облученности в изображении имеет форму функции Гаусса с наложенным на него аддитивным нормальным шумом.

Для построения модели использовалось программирование на языке С с применением библиотеки *OpenCV*.

Результаты

Для выяснения эффективности работы алгоритма были проведены две серии экспериментов:

– определение зависимости точности определения координат центра изображения от размера изображения при фиксированном ОСШ, равном 200 отн. ед.;

– определение зависимости точности определения координат центра изображения от ОСШ для изображения с параметром σ , равным 1,5.

Каждый эксперимент повторялся 250 раз при различном количестве проходов алгоритма, после чего вычислялось среднее квадратичное значение отклонения координат. По полученным данным были построены графики (рис. 2 и 3).

Математическое моделирование показало, что предложенный авторами итерационный алгоритм быстро сходится (в большинстве случаев за 3 итерации), что находит свое отражение в построенных графиках. Уже после небольшого количества проходов точность определения координат достигает своего предела. Из рис. 2 видно, что первый проход алгоритма, представляющий собой фактически

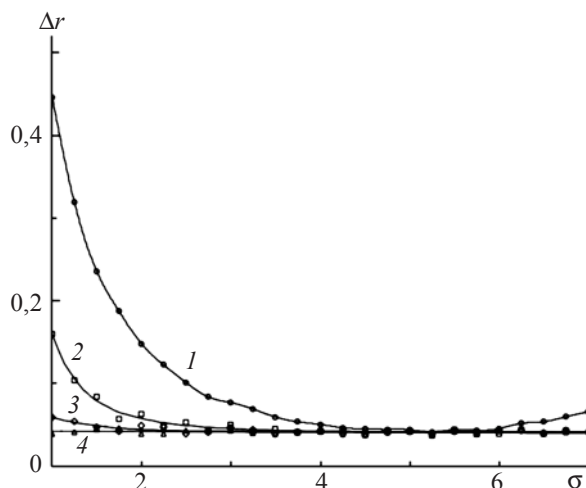


Рис. 2. Эмпирические зависимости точности определения координат центра от размера изображения при ОСШ = 200. 1 – 1 итерация алгоритма, 2 – 2 итерации алгоритма, 3 – 3 итерации алгоритма, 4 – 10 итераций алгоритма.

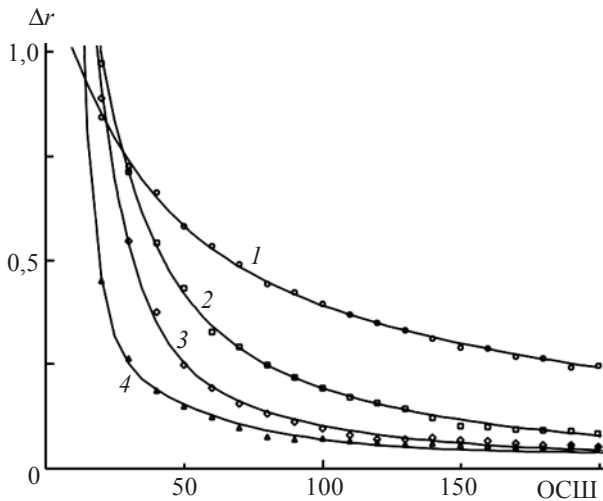


Рис. 3. Эмпирические зависимости точности определения координат центра от уровня шума при $\sigma = 1,5$. 1 – 1 итерация алгоритма, 2 – 2 итерации алгоритма, 3 – 3 итерации алгоритма, 4 – 10 итераций алгоритма.

алгоритм ВКС, имеет сильную зависимость от размеров изображения и достигает максимальной точности только при полуширине окна, равной эффективному радиусу изображения, но уже второй проход алгоритма практически устраняет зависимость точности определения координат от размера изображения. Очень важным результатом стал факт адаптации алгоритма под размер изображения даже при задании начального окна с полушириной меньшей, чем эффективный радиус изображения. Более того, моделирование показало, что нецелесообразно задавать размеры исходного окна заведомо большими, чем размер изображения. Наиболее эффективным будет принять размер окна как среднее всех возможных значений размеров изображений. Зависимость ошибки определения центра от положения первоначального окна имеет тот же характер, что и зависимость от размеров изображения. Трех итераций в данном случае достаточно для практически

полного устранения данной зависимости. Шумовая зависимость (рис. 3) показывает, что дополнительные проходы алгоритма способны существенно уточнить измеряемые координаты на всем диапазоне значений ОСШ. Здесь, как и следовало ожидать, точность практически перестает расти после 3-ей итерации.

Заключение

Из проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

Численные исследования показывают существенную эффективность представленного алгоритма по сравнению с ВКС, при этом, позволяя варьировать его ресурсоемкость и эффективность в зависимости от числа проходов.

Представленный итерационный алгоритм на основе взвешенного квадратичного суммирования практически не зависит от первоначальной оценки области локализации изображения на кадре и способен адаптивно подстраиваться под размер изображения.

Являясь алгоритмом на основе ВС, он гораздо менее ресурсоемок, чем аппроксимация функцией Гаусса по методу наименьших квадратов [2], и может быть легко внедрен в оптико-электронные измерительные системы с минимальной их модификацией.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов Д.В., Пашков В.С. Оценка координат изображений точечных излучателей // Оптико-электронные приборы и системы. Сб. научных статей. Вып. 96 / Под ред. Проф. Панкова Э.Д. СПб.: изд-во СПб. ИТМО (ТУ), 1996. С. 29–33.
2. Fisher R., Naidu D. A comparison of algorithms for subpixel peak detection // Proc. 1991 British Machine Vision Association Conf. Manchester, 1991. P. 217–225.
3. Жуков Д.В., Коняхин И.А., Усик А.А. Аналитический обзор способов определения координат изображений точечных источников // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2007. Т. 43. С. 212.