

УДК 004.932

АЛГОРИТМ ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ ПРОТЯЖЁННОГО ОБЪЕКТА, ОСНОВАННЫЙ НА ОЦЕНКЕ ЕГО КОНТУРА

Бабаян П.В., к.т.н., начальник научной лаборатории кафедры Автоматики и информационных технологий в управлении (АИТУ) Рязанского государственного радиотехнического университета (РГРТУ),
e-mail: aitu@rsreu.ru;

Шубин Н.Ю., м.н.с. кафедры АИТУ РГРТУ, e-mail: aitu@rsreu.ru.

Ключевые слова: измерение координат, контур объекта, обнаружение прямых, оценка размеров объекта, оценка формы объекта.

Введение

Одним из направлений при создании систем анализа и обработки видеоинформации является разработка бортовых систем видеослежения, которые предназначены для установки на мобильных носителях, таких как: самолёты, вертолёты, корабли, автомобили. Большинство описанных в литературе подходов к решению задач измерения координат объектов на изображениях, получаемых с видеодатчиков подобных систем, эффективно применяются для работы с объектами малого и среднего размеров. В то же время проблема измерения параметров протяжённых объектов, имеющих размеры, сопоставимые с размерами самого изображения, в литературе практически не освещена, а применение алгоритмов и методов, успешно используемых для измерения координат объектов малого и среднего размеров, оказывается малоэффективным, если объект является протяжённым. Например, вычислительная сложность методов сопоставления с эталоном, таких как корреляционные или разностные [1], существенно возрастает с ростом размеров объекта интереса в кадре. Методы статистической сегментации [2] и пространственной фильтрации [3] не способны работать на сюжетах с протяжёнными объектами из-за высокой сложности текстуры как фона, так и объекта. Сильные ракурсные искажения изображений фона и объекта в условиях подвижного носителя видеодатчика делают неприменимыми большинство алгоритмов на основе пространственно-временной фильтрации [4].

В настоящей работе для преодоления недостатков перечисленных выше подходов предлагается использовать подход на основе анализа структурных элементов изображения, опирающийся на представление контура объекта в виде набора прямых линий. Как правило, именно эти структурные элементы составляют контур протяжённых объектов искусственного происхождения, таких как строения, дороги, взлётно-посадочные полосы.

Цель работы – разработка алгоритма измерения координат протяжённых объектов, контуры которых можно описать последовательностью прямых линий. Предполагается, что наблюдение объектов осуществляется с борта подвижного носителя, что приводит к значительному изменению как форм, так и размеров их изображений с течением времени.

Рассмотрена задача измерения координат протяжённого объекта искусственного происхождения. Предложен способ измерения координат объекта, основанный на оценке его контура, состоящего из прямолинейных отрезков, в условиях значительных проективных искажений изображения объекта, параметры которых меняются с течением времени. Представлены результаты экспериментальных исследований разработанного алгоритма.

Алгоритм измерения координат объекта

Предлагаемый алгоритм, основанный на оценке контура объекта, рассматривает контур объекта, как замкнутую ломаную кривую. Начальным целеуказанием для алгоритма является последовательность координат угловых точек объекта интереса на изображении, из которых составляется замкнутый контур [5]. Оценка контура объекта на очередном кадре осуществляется в три этапа (рис. 1):

1. Разбиение контура (рис. 1, а), полученного на предыдущем шаге или путём целеуказания, на отрезки (рис. 1, б);
2. Слежение за каждым из отрезков на изображении в отдельности (рис. 1, в);
3. Объединение отрезков в контур (рис. 1, г).

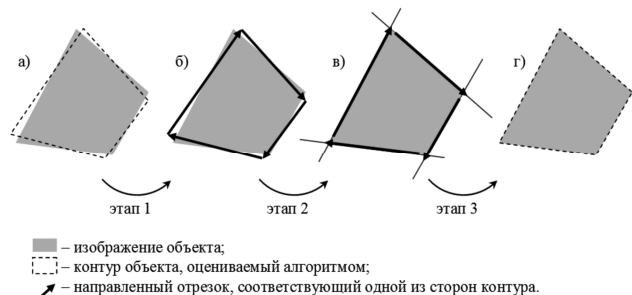


Рис. 1. Этапы работы алгоритма измерения координат протяжённых объектов искусственного происхождения:

- а) – текущее изображение объекта и его контур на предыдущем кадре; б) – контур разбит на направленные отрезки; в) – обновлённое положение отрезков на текущем кадре; г) – контур, состоящий из отрезков

Первый этап необходим для генерации списков координат начал и концов направленных отрезков, за каждым из которых производится слежение. На этом этапе контур объекта, полученный на предыдущем кадре, разбивается на независимые направленные отрезки. На втором этапе оценивается новое положение каждого отрезка на текущем изображении. Для восстановления контура объекта по координатам отрезков используется алгоритм объединения отрезков в замкнутый контур,

выполняемый на третьем этапе.

Рассмотрим более подробно данный алгоритм на всех этапах его работы. Для разбиения контура, хранящегося в виде списка вершин многоугольника, составляется список всех пар соседних вершин, рассматриваемых обособленно друг от друга. Эти пары рассматриваются далее, как направленные отрезки.

Допущение о том, что за время, равное периоду дискретизации видеоизображений, граница объекта сместится незначительно, позволяет сузить область поиска этой границы в очередном кадре до окрестности её предыдущего положения. Также можно предположить, что ориентация границы объекта за то же время не изменится на большой угол, вследствие чего наиболее резкие перепады яркостей на исходном изображении следует ожидать вдоль прямых, ориентированных перпендикулярно границе объекта, оцененной на предыдущем кадре. На основании этих допущений для каждого отрезка выполняется извлечение фрагмента исходного изображения $l(i, j)$ прямоугольной формы и ориентации, соответствующей направлению отрезков (рис. 2, а). Алгоритм осуществляет это с помощью двумерной интерполяции исходного изображения в точках, координаты которых генерируются исходя из оценки положения отрезка на предыдущем кадре. При этом полученное изображение $l'(i', j')$ (рис. 2, б) может быть масштабировано относительно исходного для экономии вычислительных ресурсов. Далее вдоль каждого из столбцов полученного изображения проводится поиск границы разделения объекта и фона путем максимизации следующего критерия

$$F_{i'}(k') = \left| \frac{\sum_{q=1}^{k'} l'(i', q)}{k'} - \frac{\sum_{q=k'+1}^{j'_{\max}} l'(i', q)}{j'_{\max} - k' + 1} \right|, \quad (1)$$

$$k' = \overline{1, j'_{\max} - 1}.$$

где k' – граница разделения текущего столбца, i' – номер текущего столбца изображения $l'(i', j')$; $j'_{\max}$ – высота изображения $l'(i', j')$.

Критерий (1) соответствует модулю разности средних яркостей двух областей, получившихся в результате деления i' -го столбца изображения $l'(i', j')$ в точке k' . В результате максимизации (1), выполняемой для каждого столбца изображения $l'(i', j')$, получается предварительная оценка границы между фоном и объектом (рис. 2, в)

$$k(i') = \arg \max_{k'=1, j'_{\max}-1} F_{i'}(k'), \quad i' = \overline{1, i'_{\max} - 1}, \quad (2)$$

где $i'_{\max}$ – ширина изображения $l'(i', j')$.

Следующим шагом алгоритма является взвешенная линейная аппроксимация функции $k(i')$ (рис. 2, г) [6]. В качестве весового коэффициента каждой точки $(i', k(i'))$ выступает значение критерия (1) в этой точке. Это позволяет снизить влияние на регрессию тех точек, значе-

ние перепада в которых не так ярко выражено. Координаты двух крайних точек полученной прямой принимаются за концы отрезка в новом кадре и переводятся обратно из локальной системы координат (i', j') в глобальную (i, j) (рис. 2, д). Использование методов аппроксимации в общем случае позволяет рассматривать функцию $k(i')$ не только как линейную (рис. 2, в), но и как полином любого порядка, либо как дугу эллипса.

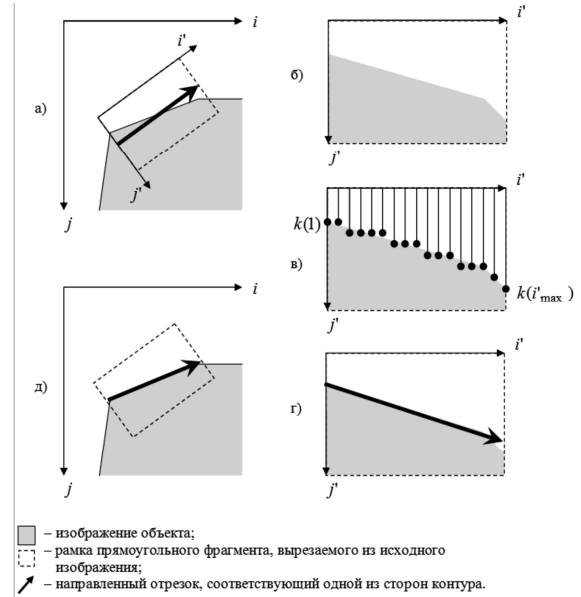


Рис. 2. Работа алгоритма слежения за прямолинейными границами объектов: а) – исходное изображение объекта; б) – фрагмент исходного изображения; в) – обнаружение граничных точек по критерию (1); г) – новая оценка границы объекта в локальной системе координат; д) – новая оценка границы объекта в глобальной системе координат

На третьем этапе производится объединение отрезков в замкнутый контур. Для этого каждая пара соединяемых направленных отрезков продолжается до прямых, точка пересечения которых принимается за одну из вершин оцениваемого контура. Наглядно этот процесс представлен на рис. 3.

Вычисление координат $(\tilde{i}, \tilde{j})$ точки пересечения выполняется по выражению

$$\begin{pmatrix} \tilde{i} \\ \tilde{j} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} j_2 - j_1 & i_1 - i_2 \\ j_3 - j_4 & i_4 - i_3 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} i_1 \cdot j_2 - i_2 \cdot j_1 \\ i_4 \cdot j_3 - i_3 \cdot j_4 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

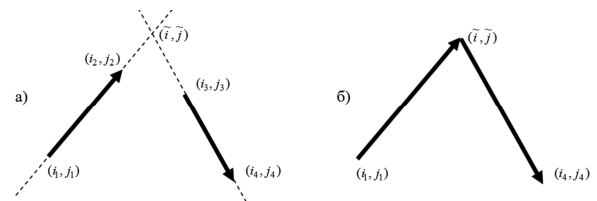


Рис. 3. Пример соединения двух направленных отрезков: а) – продолжение направленных отрезков до прямых; б) – переопределение концов и начал направленных отрезков до точек пересечения прямых

После объединения отрезков координаты каждой вершины полученного замкнутого контура фильтруются во времени в соответствии с формулой

$$(d_i, d_j) = (\tilde{i}, \tilde{j}) - (\hat{i}_p, \hat{j}_p)$$

$$(\hat{i}, \hat{j}) = \begin{cases} (\tilde{i}, \tilde{j}), & \text{если } |(d_i, d_j)| \leq d_{\max} \\ (\hat{i}_p, \hat{j}_p) + (d_i, d_j) \cdot \frac{d_{\max}}{|(d_i, d_j)|}, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (4)$$

где (d_i, d_j) – сдвиг координат текущей вершины за последний кадр, $(\tilde{i}, \tilde{j})$ и $(\hat{i}, \hat{j})$ – измеренные и оценённые координаты текущей вершины в последнем кадре соответственно, $(\hat{i}_p, \hat{j}_p)$ – оцененные координаты текущей вершины в предыдущем кадре, $d_{\max}$ – максимально допустимое расстояние перемещения вершины за один кадр.

Фильтрация координат по выражению (4) ограничивает значительные деформации контура за один кадр в случае неправильной оценки одного из отрезков контура.

Экспериментальные исследования

Разработанный алгоритм сравнивался с алгоритмом оценки координат объектов на основе байесовской сегментации [2], т.к. это один из немногих алгоритмов, способных адаптироваться к изменениям размера объекта с течением времени. При условии неизменности набора признаков и априорной вероятности наличия элемента фона в окне одним из наиболее значимых параметров для этого алгоритма является разрядность гистограммы признаков. Для более объективного сравнения каждый видеосюжет обрабатывался как тестируемым алгоритмом измерения координат объекта на основе оценки его контура, так и алгоритмом, основанным на байесовской сегментации, использовавшим два признака (яркости и модуля градиента яркости изображения). Причём, последний обрабатывал видеопоследовательность несколько раз при различных разрядностях гистограмм. Каждый раз разрядность гистограммы по каждому из признаков выбиралась из множества {1; 2; 4; 8; 16; 32; 64; 128; 256} таким образом, чтобы перебрать все возможные сочетания. Разрядность гистограммы 1 означает, что признак не используется. Таким образом, каждый

сюжет обрабатывался алгоритмом на основе байесовской сегментации с различными параметрами в общей сложности 80 раз (исключался случай, когда разрядность гистограммы по обоим признакам равнялась 1). Для оценки эффективности того или иного алгоритма измерения координат объектов используются так называемые количественные характеристики работоспособности (КХР). В данной работе использовалась КХР, подробно описанная в [7]. Её значение варьируется в пределах от нуля до единицы и зависит от степени совпадения двух описанных вокруг объекта прямоугольников, один из которых рассчитывается при помощи тестируемого алгоритма, второй берётся из эталонных данных. КХР достигает максимального значения при полном совпадении прямоугольников, а минимального в случае нулевой площади пересечения двух прямоугольников.

Результаты моделирования наглядно показаны на рис. 4 и 5. На рис. 4 по оси абсцисс отложены номера кадров, а значениям оси ординат соответствуют значения КХР в каждом кадре. Тонкая линия обозначает изменения КХР алгоритма измерения координат объекта на основе оценки его контура. Толстый прерывистый график соответствует алгоритму, основанному на байесовской сегментации, показавшему наилучший результат для данного сюжета.

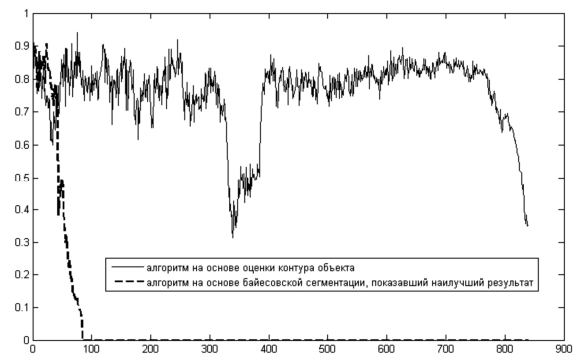


Рис. 4. Изменение КХР в процессе работы алгоритмов для одного из видеосюжетов

На рис. 5 изображена динамика изменения видимых размеров и формы объекта на примере одного из тестируемых сюжетов.



Рис. 5. Пример работы алгоритма на основе оценки контура для одного из сюжетов

Усреднённое значение КХР по всем сюжетам для алгоритма на основе оценки контура составляет 0,6014, а для алгоритма на основе байесовской сегментации – 0,2049. Таким образом, на данном типе видеосюжетов предлагаемый алгоритм почти в 3 раза эффективнее алгоритма на основе байесовской сегментации.

Заключение

Алгоритм измерения координат объекта на основе оценки его контура способен адаптироваться к изменениям формы и размеров объекта, сохраняет работоспособность в условиях слабых статистических отличий между фоном и объектом, что выгодно отличает его от методов на основе байесовской сегментации.

С помощью разработанного алгоритма можно измерять координаты объекта и оценивать его контур, что потенциально позволяет решать следующие задачи:

- оценивать размеры и площадь объекта, имея информацию о расстоянии до него;
- на основе наблюдений за изменениями формы изображения объекта (связанными с ракурсными искажениями) оценивать изменение положения камеры в трёхмерном пространстве относительно объекта;
- решать задачи навигации на основании изображений, снятых бортовым видеодатчиком.

Главным недостатком алгоритма являются требования, предъявляемые к априорным данным. Такая операция, как точное указание контура объекта на первом кадре вручную в реальном времени, затруднительна. Однако для объектов невысокой геометрической сложности (с количеством сторон не более четырёх), таких как взлётно-посадочные полосы, автоматическую оценку контура способен выполнить алгоритм, использующий преобразование Радона [8]. Для этого следует найти точки пересечения найденных прямых и принять их в качестве угловых точек контура.

Также следует отметить высокую вероятность срыва в условиях сильной тряски датчика изображения. Для борьбы с этим недостатком следует выполнять предварительную оценку сдвига изображения [9].

Разработанный алгоритм предполагает, что контур состоит из прямолинейных отрезков. Однако применение взвешенной регрессии для оценки параметров отдельных составляющих контура в общем случае позволяет рассматривать контур объекта как набор последовательно соединённых кривых. Это может значительно расширить область применения алгоритма на такие протяжённые объекты, как дороги, реки, озёра и другие объекты искусственного и естественного происхождения, практически не имеющие прямолинейных отрезков в контуре.

Исследования выполнены при поддержке гранта для ведущих научных школ НШ-242.2012.10.

Литература

1. Алпатов Б.А., Селяев А.А., Степашкин А.И. Цифровая обработка изображений в задаче отслеживания движущегося объекта // Изв. вузов. Сер. Приборостроение. – 1985. – № 2. – С. 39-43.
2. Муравьев С.И., Муравьев В.С. Использование вейвлет-признаков в задачах сегментации изображений // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций. Тез. докл. 12-й междунар. науч.-техн. конф. – Рязань, 2004. – С. 73-74.
3. Муравьев В.С. Пространственный алгоритм обнаружения и определения координат воздушных объектов на изображении // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – Рязань, 2009. – №2(28). – С.17-20.
4. Алпатов Б.А., Бабаян П.В. Методы обработки и анализа изображений в бортовых системах обнаружения и сопровождения объектов // Цифровая обработка сигналов. – 2006. – №2. – С. 45-51.
5. Шубин Н.Ю. «Алгоритм отслеживания контура объекта на видеоизображении для оценки его формы» // Новые информационные технологии в научных исследованиях: XVI Всеросс. науч.-техн. конф. студентов, молодых учёных и специалистов. – Рязань, 2011
6. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука. – 1964.
7. Алпатов Б.А., Балашов О.Е., Шубин Н.Ю. Повышение точности измерения параметров подвижных объектов в оптико-механических системах // Тезисы докладов XII международной конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение». – М., 2010. Т.2 – С.120-123.
8. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Шубин Н.Ю. Алгоритм оценки координат объектов на основе преобразования Радона // Цифровая обработка сигналов. – 2011. – №3. – С. 17-20.
9. Корепанов С.Е., Стротов В.В. Алгоритм слежения за движущимися объектами в бортовых видеоинформационных системах // Цифровая обработка сигналов. – 2011 – № 3. – С. 21-23.

OBJECT COORDINATES ESTIMATION ALGORITHM BASED ON RADON TRANSFORM

Babayan P.V., Shubin N.J.

The problem of large size artificial object coordinates estimation is described in this paper. The algorithm based on object outline estimation is suggested. It can be used when image transformation parameters are vastly changed from frame to frame. The results of experimental research of the proposed algorithm are presented.