

УДК 004.932

АЛГОРИТМ СЛЕЖЕНИЯ ЗА ДВИЖУЩИМИСЯ ОБЪЕКТАМИ В БОРТОВЫХ ВИДЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Корепанов С.Е., научный сотрудник кафедры автоматики и информационных технологий в управлении (АИТУ) Рязанского государственного радиотехнического университета (РГРТУ), e-mail: aitu@rsreu.ru.

Стротов В.В., к.т.н., доцент кафедры АИТУ РГРТУ, e-mail: aitu@rsreu.ru

Ключевые слова: обработка видеопоследовательностей, движущийся объект, слежение, геометрические преобразования.

Введение

Слежение за выбранным объектом является одной из наиболее важных задач, решаемых бортовыми видеоинформационными системами. Известно достаточно большое количество методов решения задачи слежения за объектами при подвижном фоне [1, 2], однако они весьма требовательны к вычислительным ресурсам системы. Актуальной является задача создания вычислительно эффективных методов слежения для работы в условиях подвижного поля зрения.

Если рассмотреть иерархию задач, решаемых бортовыми видеосистемами, представленную в [1], то можно видеть, что для решения задачи слежения необходимо предварительно решить целый ряд задач более низкого уровня. При этом для решения задач выделения объектов нередко выполняют оценку параметров геометрических преобразований изображений [3, 4]. Использование данной информации может помочь в адаптации известных алгоритмов для случая подвижных датчиков изображений.

В данной работе предложен алгоритм слежения за движущимися объектами в последовательности изображений с неоднородным сдвигающимся фоном с использованием оценки сдвига фонового изображения.

Постановка задачи

В качестве основной системы координат выберем неподвижную относительно земли систему, начало координат которой совпадает с левым нижним углом первого кадра наблюдаемой видеопоследовательности, а оси параллельны его сторонам. Предположим, что поле зрения видеодатчика изменяется таким образом, что наблюдаемое изображения сдвигается. Как отмечено выше, характер сдвига может быть различным, поэтому, обозначив положение центра в кадре n фонового изображения в основной системе координат вектором $\Lambda_n^g = [\lambda_{x,n}^g, \lambda_{y,n}^g]^T$, положим:

$$\Lambda_n^g = \Lambda_{n-1}^g + [\Delta\lambda_{x,n}^g, \Delta\lambda_{y,n}^g]^T, \tag{1}$$

$$|\Delta\lambda_{x,n}^g| \leq C_g, |\Delta\lambda_{y,n}^g| \leq C_g$$

где C_g – максимально допустимый сдвиг фона за время формирования очередного кадра.

Движение объекта представим в той же системе координат, что и движение фона. Считая движения по координатам x и y независимыми, изменение положения объекта относительно первого кадра наблюдаемой видеопоследовательности опишем следующей моделью:

$$\Lambda_{n+1}^h = F \cdot \Lambda_n^h + \omega_n^h, n = 1, N - 1,$$

Рассмотрен алгоритм слежения за движущимися объектами при подвижном поле зрения видеодатчика. В алгоритме используются результаты оценки параметров геометрических преобразований изображений для повышения точности оценки координат объектов. Представлены результаты экспериментальных исследований разработанного алгоритма.

$$\Lambda_n^h = \begin{bmatrix} \lambda_{x,n}^h \\ \dot{\lambda}_{x,n}^h \\ \lambda_{y,n}^h \\ \dot{\lambda}_{y,n}^h \end{bmatrix}, \omega_n^h = \begin{bmatrix} \omega_{x,n} \\ 0 \\ \omega_{y,n} \\ 0 \end{bmatrix}, F = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \Delta t \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2}$$

где $\lambda_{x,n}^h, \lambda_{y,n}^h$ – координаты центра объекта на n -м кадре наблюдаемой видеопоследовательности; $\dot{\lambda}_{x,n}^h, \dot{\lambda}_{y,n}^h$ – мгновенная скорость объекта; ω_n^h – вектор возмущений, которые описываются моделью белого шума с нулевым средним и диагональной ковариационной матрицей Q^h ; Δt – период следования кадров видеопоследовательности; N – число кадров видеопоследовательности.

Модель движения объекта на наблюдаемом изображении при этом будет иметь вид:

$$\Lambda_n^+ = A \Lambda_n^h - \Lambda_n^g, A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \tag{3}$$

Ошибки при измерении координат объекта $\delta \Lambda_n^+ = [\delta\lambda_{x,n}^+, \delta\lambda_{y,n}^+]^T$ и фона $\delta \Lambda_n^g = [\delta\lambda_{x,n}^g, \delta\lambda_{y,n}^g]^T$ будем считать гауссовыми некоррелированными величинами с нулевыми средними и диагональными ковариационными матрицами $K_{\delta}^+, K_{\delta}^g$ на кадре n .

Наблюдаемое изображение $l_n(i, j)$ для кадра n видеопоследовательности можно описать известной моделью заслона [1]. Предполагается, что все введенные возмущения, начальные значения вектора состояния объекта, шумы и ошибки измерения взаимно некоррелированы.

Поставим задачу слежения за объектами следующим образом. Пусть известно эталонное изображение объекта $h_i^2(i, j)$, которое задается целеуказанием оператора на первом кадре видеопоследовательности. Требуется на основе наблюдаемых изображений $l_n(i, j)$, $n = \overline{1, N}$ вычислять оценки координат объекта $\hat{\theta}_{x,n}, \hat{\theta}_{y,n}$ на каждом n кадре.

Оценка параметров объектов при подвижном фоне

Вопросы синтеза алгоритмов оптимального измерения координат при неоднородном подвижном фоновом изображении и экспериментальное подтверждение эффективности данного подхода для некоторых видов фонов приведены в работах [1, 2, 5]. Недостатки аналитического алгоритма связаны с его вычислительной неэффективностью. Так, на каждом кадре необходимо получать оценки изображений объекта h_n , фона g_n и маски объекта r_n , а затем оптимизировать многопараметрический критерий для совместного определения сдвига объекта и фона.

В связи с указанными недостатками на практике предлагается использовать эвристический алгоритм. Он построен на основе подхода, использующего для уточнения координат объекта априорные гауссовы плотности вероятности распределения координат объекта, заданные соответствующими средним значением $\bar{\Lambda}_n^h$ и ковариационной матрицей \mathbf{M}_n^h вектора состояния объекта Λ_n^h . Данные характеристики можно получить, применяя аппарат Калмановской фильтрации.

На первом шаге предлагаемого алгоритма производится оценка параметров геометрических преобразований фонового изображения $\hat{\lambda}_{x,n}^g, \hat{\lambda}_{y,n}^g$ при помощи алгоритма, описанного в работах [3, 4]. На основе значений $\bar{\Lambda}_{x,n}^g$ и $\bar{\Lambda}_n^h$ по формуле (3) вычисляются прогнозируемые координаты объекта на текущем изображении $\bar{\Lambda}_n^+$.

$$\bar{\Lambda}_n^+ = A \bar{\Lambda}_n^h - \bar{\Lambda}_n^g \quad (4)$$

На втором шаге алгоритма определяются измерения $\tilde{\lambda}_{x,n}^+, \tilde{\lambda}_{y,n}^+$ координат искомого объекта на изображении. Для этого в заданной окрестности прогнозируемого положения объекта находится минимум критериальной функции, предложенной в [5]:

$$q(\lambda_{x,n}^+, \lambda_{y,n}^+) = S(\lambda_{x,n}^+, \lambda_{y,n}^+) \sum_{i=1}^{W_x} \sum_{j=1}^{W_y} |h_n(i, j) - h_{n-1}^g(i - \lambda_{x,n}^+, j - \lambda_{y,n}^+)|, \quad (5)$$

где W_x, W_y – размеры объекта, $S(\theta_x, \theta_y)$ – мультипликативная штрафная функция, вычисляемая по формуле:

$$S(\lambda_x, \lambda_y) = \left(\sqrt{(\lambda_x - \bar{\lambda}_x^+)^2 + (\lambda_y - \bar{\lambda}_y^+)^2} + 1 \right)^\alpha, \quad (6)$$

где α – параметр, характеризующий степень доверия к прогнозируемым координатам. Для измерения координат объекта необходимо минимизировать выражение (5). Штрафная функция (6) позволяет учитывать величину отклонения измеренных координат объекта от прогнозируемых для уточнения координат объекта, подавляя ложные экстремумы критериальной функции, вызываемые появлением в непосредственной близости от наблюдаемого объекта похожих объектов.

На третьем шаге алгоритма на основе данных, полученных на первых двух шагах, находятся измерения координат объекта $\tilde{\lambda}_{x,n}^h, \tilde{\lambda}_{y,n}^h$ в системе координат, связанной с первым кадром объекта:

$$\tilde{\lambda}_{x,n}^h = \tilde{\lambda}_{x,n}^+ + \hat{\lambda}_{x,n}^g, \quad \tilde{\lambda}_{y,n}^h = \tilde{\lambda}_{y,n}^+ + \hat{\lambda}_{y,n}^g. \quad (7)$$

Это позволяет производить уточнение оценок и выполнять прогнозирование в неподвижной системе

координат. При этом ошибка измерения складывается из ошибок измерения $\delta \Lambda_n^+$ и $\delta \Lambda_n^g$. Её математическое ожидание будем считать близким к нулю, а ковариационную матрицу определим как:

$$\mathbf{K}_\delta^h = \mathbf{K}_\delta^+ + \mathbf{K}_\delta^g. \quad (8)$$

На следующем шаге алгоритма определяется оценка вектора состояния объекта. При введённых моделях наблюдения изображений и измерения координат, с точки зрения теории оптимальной фильтрации, оценка координат может быть получена из следующих выражений:

$$\bar{\Lambda}_n^h = \bar{\Lambda}_n^h + \mathbf{K}_n^h (A \bar{\Lambda}_n^h - A \bar{\Lambda}_n^h), \quad (9)$$

где $\mathbf{K}_n^h = \mathbf{P}_n^h A^T (\mathbf{K}_\delta^h)^{-1}$ – матрица коэффициентов;

$\mathbf{P}_n^h = \left((\mathbf{M}_n^h)^{-1} + A^T (\mathbf{K}_\delta^h)^{-1} A \right)^{-1}$ – апостериорная ковариационная матрица оценки.

Для получения средних значений $\bar{\Lambda}_{n+1}^h$ и ковариационных матриц \mathbf{M}_{n+1}^h требуется осуществить прогнозирование на следующий $n+1$ кадр по формулам:

$$\bar{\Lambda}_{n+1}^h = F \bar{\Lambda}_n^h, \quad \mathbf{M}_{n+1}^h = F \mathbf{P}_{x,n}^h F^T + Q^h. \quad (10)$$

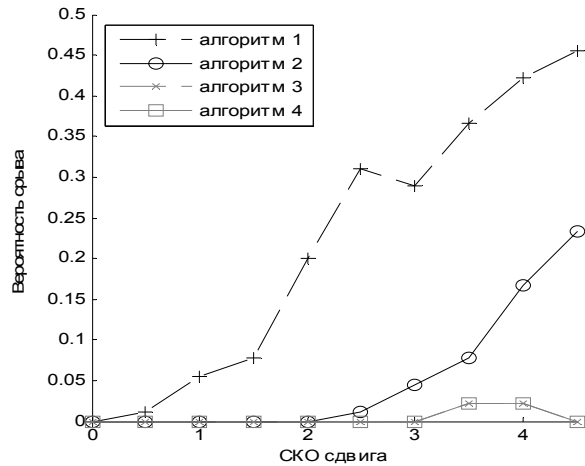
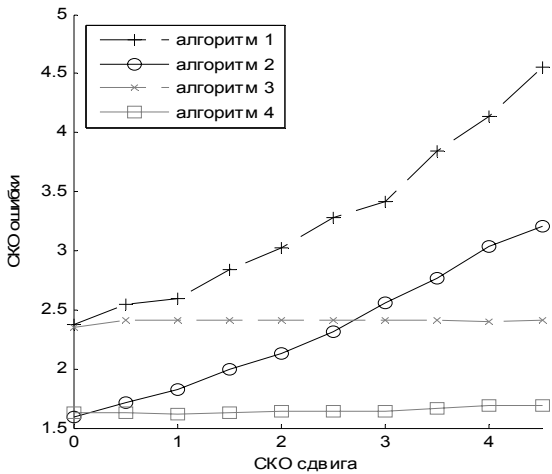
Экспериментальные исследования

Для проведения экспериментальных исследований были использованы натурные видеопоследовательности с неподвижным фоном, содержащие несколько похожих движущихся объектов. Координаты объектов на каждом кадре изображения были заранее определены человеком-экспертом. Дополнительно изображения кадров подвергались преобразованию сдвига. Величины сдвигов по каждой из осей являлись некоррелированными целочисленными случайными гауссовскими величинами с нулевыми математическими ожиданиями и известными дисперсиями $\sigma_{dx}^2 = \sigma_{dy}^2 = \sigma_d^2$. Отношение сигнал/шум на всех рассмотренных видеосюжетах было приблизительно равно 8.

Характер движения объектов на использованных видеопоследовательностях, в целом, соответствует введённым моделям. Время от времени два и более объекта сближаются на расстояние меньше, чем размер зоны поиска объекта. Это может приводить к тому, что координаты объекта, за которым производится слежение, определяются со значительной ошибкой (более 10 пикселей) на протяжении 25 кадров (1 секунды). Такую ситуацию будем называть срывом слежения.

Были проведены исследования четырёх модификаций алгоритма слежения за движущимся объектом:

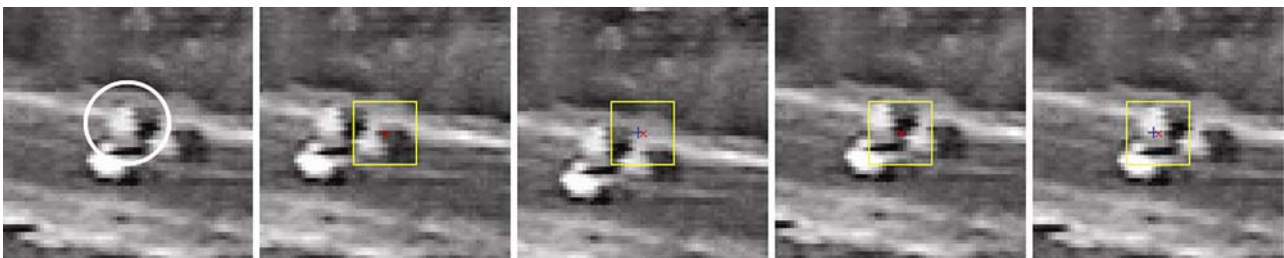
1. Алгоритм, построенный без учёта сдвига фона и без применения мультипликативной штрафной функции (значение параметра $\alpha = 0$).
2. Алгоритм, построенный без учёта сдвига фона, но с применением мультипликативной штрафной функции (значение параметра $\alpha = 0,1$).
3. Алгоритм, построенный с учётом сдвига фона, но без применения мультипликативной штрафной функции (значение параметра $\alpha = 0$).
4. Алгоритм, построенный с учётом сдвига фона и с применением мультипликативной штрафной функции (значение параметра $\alpha = 0,1$).



а)

б)

Рис. 1. Результаты экспериментальных исследований алгоритмов



а) Истинное положение объекта

б) алгоритм 1 (срыв слежения)

в) алгоритм 2 (срыв слежения)

г) алгоритм 3

д) алгоритм 4

Рис. 2. Результаты оценки координат при наличии в окрестности объекта похожих объектов при $\sigma_d = 4$ пикселя

Результаты исследований приведены на рис. 1а и 1б. На рис. 1а представлены графики зависимости СКО ошибки определения координат и вероятности срыва слежения от величины σ_d . Необходимо отметить, что результаты были усреднены по нескольким видеопоследовательностям и нескольким реализациям случайного смещения с одним и тем же значением дисперсии.

На рис. 2 показаны результаты оценки координат для случая, когда СКО сдвига поля зрения видеодатчика велико, а в ближайшей окрестности объекта оказываются несколько похожих объектов. Из рис. 1а и 1б видно, что точность работы алгоритмов 3 и 4, использующих информацию о сдвиге изображения, практически не зависит от величины смещения, вызванного изменением поля зрения датчика, а использование штрафной функции (б) значительно уменьшает вероятность срыва слежения.

Заключение

В данной статье рассмотрены различные подходы к слежению за движущимися объектами в бортовых видеоинформационных системах при изменении ориентации поля видеодатчика. Предложен алгоритм слежения за объектами, использующий информацию о параметрах геометрических преобразований изображения текущего кадра. Экспериментально показана эффективность данного алгоритма в условиях случайных сдвигов поля зрения видеодатчика.

Исследования проводились при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (госконтракт №16.740.11.0223).

Литература

1. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Балашов О.Е., Степаш-

кин А.И. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление. – М.: Радиотехника, 2008. – С. 176.
 2. Алпатов Б.А. Оптимальное оценивание параметров движущегося объекта в последовательности изображений // Автометрия. – 1994. – №2. – С. 32-37.
 3. Стротов В.В. Оценивание параметров смещения изображения в задачах выделения движущихся объектов // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – Рязань, 2008 – №23. – С. 30-37.
 4. Стротов В.В. Выбор опорных участков в многоэтalonном алгоритме определения параметров геометрических преобразований изображений // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – Рязань, 2009. – №2 (28). – С. 93-96.
 5. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Корепанов С.Е. Корреляционный алгоритм слежения за движущимися объектами при наличии близкорасположенных похожих объектов // Вестник РГРТУ. – Рязань, 2010. – №2 (32). – С. 3-8.

TRACKING MOVING OBJECTS ALGORITHM IN AIRBORNE VIDEO INFORMATION SYSTEMS

Korepanov S.E., Strotov V.V.

The article considers a moving objects tracking algorithm for the case of moving video sensor field of view. The algorithm uses the images geometric transformations parameters estimate to improve the accuracy of objects coordinates estimates. Results of algorithm experimental examinations are given.