

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОМ НАБЛЮДЕНИИ

Алпатов Б.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой 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: геометрические преобразования, мультиспектральное наблюдение.

Введение и постановка задачи.

Оценка параметров геометрических преобразований изображений является одной из важных задач, решаемых в системах видеослежения. Получаемые результаты используются при выделении движущихся объектов, оценке их координат, а также для электронной стабилизации изображений [1-3]. В современной литературе предложено достаточное количество алгоритмов решения данной задачи, в том числе ориентированных на работу в реальном масштабе времени [1,4].

Переход к мультиспектральному наблюдению изображений позволяет повысить надёжность функционирования систем видеослежения и расширить сферу их применения. При этом необходимо учитывать тот факт, что даже при неизменных во времени характеристиках светочувствительных матриц (линеек) и каналов передачи данных уровень шума для любого датчика может кардинально меняться во времени из-за изменения параметров наблюдаемой обстановки и работы системы АРУ. Следовательно, при поступлении изображений каждого кадра необходимо принимать решение, насколько целесообразно использование того или иного спектрального канала.

В данной работе предполагается, что все используемые датчики изображений съюстированы и формируемые изображения можно описать моделью:

$$I_{\gamma}(x, y, n) = g_{\gamma}(T(x, y, n)) + \xi_{\gamma}(x, y, n), \quad (1)$$

где $I_{\gamma}(x, y, n)$ – непрерывное изображение, наблюдаемое на кадре n в спектральном диапазоне γ ($\gamma = \overline{1, \Gamma}$), приведённое в процессе юстировки к системе координат изображения, наблюдаемого в первом из рассматриваемых спектральных диапазонов; $g_{\gamma}(x, y, n)$ – непрерывное изображение наблюдаемой обстановки; $\xi_{\gamma}(x, y, n)$ – аддитивный гауссовский белый шум.

Преобразование T описывает трансформацию, возникающую в процессе наблюдения сцены из удалённой точки. На первом кадре примем изображение g_{γ} нетрансформированным и ограничимся рассмотрением преобразования сдвига, однако заметим, что все приведённые рассуждения могут быть повторены применительно к преобразованиям других видов, например евклидовым, аффинным или проективным.

В работе рассмотрен многоэталонный алгоритм оценки параметров геометрических преобразований изображений, ориентированный на работу с мультиспектральными видеопоследовательностями. Предложен подход к выбору опорных участков изображений, позволяющий минимизировать ошибки, вызванные наличием аддитивных шумов на наблюдаемых изображениях. Представлены результаты экспериментальных исследований.

Алгоритм оценки параметров геометрических преобразований изображений при мультиспектральном наблюдении

При разработке алгоритма оценки параметров преобразования T будем опираться на известный из работы [5] алгоритм, работающий с одним спектральным каналом.

Принцип работы данного алгоритма состоит в следующем:

1. На исходном изображении выбираются опорные участки размером не более 32×32 пикселей;

2. При поступлении изображения очередного кадра на нём определяются положения всех опорных участков с субпиксельной точностью путём нахождения экстремума выбранной критериальной функции;

3. Из псевдорешения системы линейных уравнений, описывающей связь координат опорных участков в текущем и предыдущем кадрах, находятся предварительные оценки параметров межкадрового преобразования;

4. Так как на наблюдаемом изображении может находиться небольшое количество движущихся от кадра к кадру участков (например, содержащих изображения движущихся транспортных средств), которые могут быть выбраны в качестве опорных, возможно возникновение ошибок определения параметров преобразований. Для исключения таких ситуаций вычисляется вектор невязки упомянутой выше системы уравнений. На основе анализа элементов данного вектора из рассмотрения исключаются некоторые опорные участки и определяются уточнённые оценки параметров межкадрового преобразования;

5. На основе найденных, на предыдущем этапе оценок определяются параметры преобразования T ;

6. Производится замена опорных участков расположенных близко к границам изображения или имеющих большую невязку, после чего ожидается поступление изображения следующего кадра.

При переходе к мультиспектральному наблюдению возникают две задачи. Во-первых, необходимо решить, сколько опорных участков из общего их количе-

ства, определяемого аппаратными ресурсами системы, будет выбрано на изображении в каждом спектральном диапазоне в текущий момент времени и где конкретно они будут размещены. Во-вторых, необходимо корректно объединить результаты оценки параметров, полученные в различных спектральных диапазонах.

В том случае, когда первая задача решена, для решения второй задачи можно применять те же соотношения, что и в случае односпектрального наблюдения. Это возможно из-за того, что координаты всех опорных участков оказываются приведёнными к единой системе координат. Следовательно, необходимо рассмотреть задачу размещения опорных участков на изображениях $l_\gamma(x, y, n)$.

Выбор опорных участков при мультиспектральном наблюдении.

Выберем на изображении $l_\gamma(x, y, n_0)$ некоторый опорный участок. Его эталонное (незашумлённое) изображение обозначим $s(x, y, \gamma)$. Перечислим причины, которые могут приводить к ошибкам измерения его координат на текущем изображении $l_\gamma(x, y, n)$.

1. В области поиска опорного участка могут находиться объекты, изображения которых похожи на изображение опорного участка, вследствие чего искомые координаты будут определяться со значительной ошибкой.

2. Текущее изображение опорного участка искажено шумом, следовательно, положение экстремума критериальной функции определяется с некоторой погрешностью.

Ошибки, вызванные наличием похожих объектов, возникают достаточно редко. В рассмотренном выше алгоритме они могут быть обнаружены и парированы на этапе определения параметров межкадрового преобразования на основе анализ вектора невязки.

Напротив, ошибки, обусловленные наличием на изображении шума наблюдения, имеют меньшую величину (до нескольких пикселей), зависят от параметров эталонного изображения участка и возникают при каждом измерении координат. Следовательно, наилучшим опорным участком для использования в алгоритме оценки параметров геометрических преобразований будет участок, при оценке координат которого аддитивный шум будет вызывать наименьшую ошибку.

Необходимо отметить, что в реальных системах присутствуют ошибки, вызванные дискретной природой изображений, однако их величина мала (она составляет доли пикселя) и не зависит от параметров выбранного опорного участка.

Для того чтобы исключить ошибки, вызванные наличием похожих объектов при синтезе критерия выбора опорных участков, примем яркость всех точек изображения g_γ не принадлежащих участку $s(x, y, \gamma)$ равными нулю. Фактически, это означает переход от рассмотрения задачи определения положения опорного участка $s(x, y, \gamma)$ на изображении $l_\gamma(x, y, n)$ к рассмотрению задачи определения положения того же участка на изображении $z_s(x, y)$, определяемом выражением:

$$z_s(x, y) = s(x - \alpha_0, y - \beta_0, \gamma) + \xi_\gamma(x, y), \tag{2}$$

где (α_0, β_0) – координаты верхнего левого угла участка

$S, \xi_\gamma(x, y)$ – аддитивный шум в спектральном диапазоне γ . Нулевое значение полезного сигнала в точках, не принадлежащих участку S на изображении $z_s(x, y)$, позволяет оценивать координаты участка по положению максимума корреляционного интеграла [6]:

$$q(\alpha, \beta) = \int_0^W \int_0^H z_s(x, y) s(x - \alpha, y - \beta) dx dy = q_s(\alpha, \beta) + q_\xi(\alpha, \beta), \tag{3}$$

где из выражения (2)

$$q_s(\alpha, \beta) = \int_0^W \int_0^H s(x - \alpha_0, y - \beta_0) s(x - \alpha, y - \beta) dx dy,$$

$$q_\xi(\alpha, \beta) = \int_0^W \int_0^H \xi_\gamma(x, y) s(x - \alpha, y - \beta) dx dy, \tag{4}$$

а W, H – размеры изображений $l_\gamma(x, y, n)$ и $z_s(x, y)$. Разность измерения $(\tilde{\alpha}, \tilde{\beta})$ и истинного значения координат (α_0, β_0) представим в виде вектора

$$\Delta_{\alpha, \beta} = [\Delta\alpha, \Delta\beta]^T = [\alpha_0 - \tilde{\alpha}, \beta_0 - \tilde{\beta}]^T.$$

Для оценки точности вектор $\Delta_{\alpha, \beta}$ можно выразить через функции q_s, q_ξ и их частные производные при достаточно большом отношении сигнал/шум. Для этого предположим, что все частные производные изображения опорного участка до второго порядка включительно непрерывны, в том числе и на границе участка. Пользуясь данным предположением, выполним разложение в ряд Тейлора частных производных корреляционного интеграла $q(\alpha, \beta)$ в окрестности (α_0, β_0) , ограничившись рассмотрением первых двух членов. Упростим данное разложение, заметив, что в точке максимума функций $q(\alpha, \beta)$ и $q_s(\alpha, \beta)$ должно выполняться условие равенства нулю их первых частных производных. При большом отношении сигнал/шум значения вторых частных производных функции $q_\xi(\alpha, \beta)$ можно считать много меньшими значений остальных производных функций q_s и q_ξ , входящих в состав рассматриваемого разложения. Полученное в результате упрощения выражение может быть записано в виде:

$$H_{q_s}(\alpha_0, \beta_0) \cdot \Delta_{\alpha, \beta} = \nabla q_\xi(\alpha_0, \beta_0), \tag{5}$$

$$\text{где } H_{q_s}(\alpha_0, \beta_0) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 q_s(\alpha, \beta)}{\partial \alpha^2} \Big|_{\substack{\alpha=\alpha_0, \\ \beta=\beta_0}} & \frac{\partial^2 q_s(\alpha, \beta)}{\partial \alpha \partial \beta} \Big|_{\substack{\alpha=\alpha_0, \\ \beta=\beta_0}} \\ \frac{\partial^2 q_s(\alpha, \beta)}{\partial \alpha \partial \beta} \Big|_{\substack{\alpha=\alpha_0, \\ \beta=\beta_0}} & \frac{\partial^2 q_s(\alpha, \beta)}{\partial \beta^2} \Big|_{\substack{\alpha=\alpha_0, \\ \beta=\beta_0}} \end{bmatrix},$$

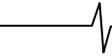
$$\nabla q_\xi(\alpha_0, \beta_0) = \left[\frac{\partial q_\xi(\alpha, \beta)}{\partial \alpha} \Big|_{\substack{\alpha=\alpha_0, \\ \beta=\beta_0}}, \frac{\partial q_\xi(\alpha, \beta)}{\partial \beta} \Big|_{\substack{\alpha=\alpha_0, \\ \beta=\beta_0}} \right]^T.$$

Для оценки точности воспользуемся критерием среднего квадрата ошибки. Исходя из него, наилучшим будем считать тот опорный участок, для которого:

$$M \{ \Delta\alpha^2 + \Delta\beta^2 \} \Big|_{\alpha_0, \beta_0} \rightarrow \min. \tag{6}$$

Перепишем левую часть выражения (6), выразив вектор $\Delta_{\alpha, \beta}$ из выражения (5):

$$M \{ \Delta\alpha^2 + \Delta\beta^2 \} = M \{ \Delta_{\alpha, \beta}^T \cdot \Delta_{\alpha, \beta} \} = M \left\{ \nabla^T q_\xi(\alpha_0, \beta_0) \cdot (H_{q_s}^{-1}(\alpha_0, \beta_0))^T \cdot H_{q_s}^{-1}(\alpha_0, \beta_0) \cdot \nabla q_\xi(\alpha_0, \beta_0) \right\} \tag{7}$$



Рассмотрим подробнее элементы сомножителей в правой части выражения (7) под знаком математического ожидания. Для второй производной по α от информационной функции можно записать:

$$\begin{aligned} \left. \frac{\partial^2 q_s(\alpha, \beta)}{\partial \alpha^2} \right|_{\substack{\alpha=\alpha_0, \\ \beta=\beta_0}} &= \frac{\partial^2}{\partial \alpha^2} \left(\int_0^W \int_0^H s(x-\alpha_0, y-\beta_0) s(x-\alpha, y-\beta) dx dy \right) \Big|_{\substack{\alpha=\alpha_0, \\ \beta=\beta_0}} = \\ &= \int_0^H \int_0^W s(x-\alpha_0, y-\beta_0) \left(\frac{\partial^2 s(x-\alpha, y-\beta)}{\partial \alpha^2} \Big|_{\substack{\alpha=\alpha_0, \\ \beta=\beta_0}} \right) dx dy \\ \text{Принимая во внимание, что} \\ \frac{\partial s(x-\alpha, y-\beta)}{\partial \alpha} &= -\frac{\partial s(x-\alpha, y-\beta)}{\partial x}, \\ \frac{\partial^2 s(x-\alpha, y-\beta)}{\partial \alpha^2} &= \frac{\partial^2 s(x-\alpha, y-\beta)}{\partial x^2}, \end{aligned} \quad (8)$$

Получаем

$$\left. \frac{\partial^2 q_s(\alpha, \beta)}{\partial \alpha^2} \right|_{\substack{\alpha=\alpha_0, \\ \beta=\beta_0}} = - \int_0^W \int_0^H \left(\frac{\partial s(x-\alpha, y-\beta)}{\partial x} \Big|_{\substack{\alpha=\alpha_0, \\ \beta=\beta_0}} \right)^2 dx dy. \quad (9)$$

Аналогично можно показать, что

$$\left. \frac{\partial^2 q_s(\alpha, \beta)}{\partial \alpha \partial \beta} \right|_{\substack{\alpha=\alpha_0, \\ \beta=\beta_0}} = 0; \quad (10)$$

$$\left. \frac{\partial^2 q_s(\alpha, \beta)}{\partial \beta^2} \right|_{\substack{\alpha=\alpha_0, \\ \beta=\beta_0}} = - \int_0^W \int_0^H \left(\frac{\partial s(x-\alpha, y-\beta)}{\partial y} \Big|_{\substack{\alpha=\alpha_0, \\ \beta=\beta_0}} \right)^2 dx dy. \quad (11)$$

Рассмотрим выражение для математического ожидания квадрата первого элемента вектора $\nabla q_{\xi}(\alpha_0, \beta_0)$:

$$\begin{aligned} M \left\{ \frac{\partial q_{\xi}(\alpha, \beta)}{\partial \alpha} \Big|_{\substack{\alpha=\alpha_0, \\ \beta=\beta_0}} \cdot \frac{\partial q_{\xi}(\alpha, \beta)}{\partial \alpha} \Big|_{\substack{\alpha=\alpha_0, \\ \beta=\beta_0}} \right\} = \\ \int_0^W \int_0^H \int_0^W \int_0^H M \{ \xi_{\gamma}(x_1, y_1) \xi_{\gamma}(x_2, y_2) \} \frac{\partial s(x_1 - \alpha, y_1 - \beta)}{\partial \alpha} \Big|_{\substack{\alpha=\alpha_0, \\ \beta=\beta_0}} \times \\ \times \frac{\partial s(x_2 - \alpha, y_2 - \beta)}{\partial \alpha} \Big|_{\substack{\alpha=\alpha_0, \\ \beta=\beta_0}} dx_1 dy_1 dx_2 dy_2. \end{aligned}$$

Учитывая, что для белого гауссовского шума

$$M \{ \xi_{\gamma}(x_1, y_1) \xi_{\gamma}(x_2, y_2) \} = \frac{\sigma_{\xi_{\gamma}}^2}{2} \delta(x_1 - x_2, y_1 - y_2),$$

где $\sigma_{\xi_{\gamma}}^2$ – дисперсия шума $\xi_{\gamma}(x, y)$, $\delta(x, y)$ – двумерная δ -функция, а также выражение (8), получаем

$$M \left\{ \left(\frac{\partial q_{\xi}(\alpha, \beta)}{\partial \alpha} \Big|_{\substack{\alpha=\alpha_0, \\ \beta=\beta_0}} \right)^2 \right\} = \frac{\sigma_{\xi_{\gamma}}^2}{2} \int_0^W \int_0^H \left(\frac{\partial s(x-\alpha, y-\beta)}{\partial x} \Big|_{\substack{\alpha=\alpha_0, \\ \beta=\beta_0}} \right)^2 dx dy. \quad (12)$$

Аналогично можно показать, что

$$M \left\{ \left(\frac{\partial q_{\xi}(\alpha, \beta)}{\partial \beta} \Big|_{\substack{\alpha=\alpha_0, \\ \beta=\beta_0}} \right)^2 \right\} = \frac{\sigma_{\xi_{\gamma}}^2}{2} \int_0^W \int_0^H \left(\frac{\partial s(x-\alpha, y-\beta)}{\partial y} \Big|_{\substack{\alpha=\alpha_0, \\ \beta=\beta_0}} \right)^2 dx dy. \quad (13)$$

Исходя из выражений (7)–(13) и учитывая, что элементы матрицы $H_{q_s}(\alpha_0, \beta_0)$ являются неслучайными, перепишем соотношение (6) в виде:

$$\begin{aligned} & \frac{\sigma_{\xi_{\gamma}}^2}{2 \int_0^W \int_0^H \left(\frac{\partial s(x-\alpha, y-\beta)}{\partial x} \Big|_{\substack{\alpha=\alpha_0, \\ \beta=\beta_0}} \right)^2 dx dy} + \\ & + \frac{\sigma_{\xi_{\gamma}}^2}{2 \int_0^W \int_0^H \left(\frac{\partial s(x-\alpha, y-\beta)}{\partial y} \Big|_{\substack{\alpha=\alpha_0, \\ \beta=\beta_0}} \right)^2 dx dy} \rightarrow \min. \end{aligned} \quad (14)$$

Полученное выражение показывает влияние параметров эталонного изображения участка $s(x, y)$ на величину ошибки.

Все рассуждения в данном разделе были проведены для изображений, представленных в непрерывном виде. Переходя к рассмотрению дискретных изображений можно утверждать, что при достаточно малом шаге дискретизации наиболее близким к наилучшему опорному участку будет участок, расположенный на изображении кадра в диапазоне $\hat{\gamma}$ в точке с координатами $\hat{\alpha}_0, \hat{\beta}_0$, определяемой следующим выражением:

$$\begin{aligned} (\hat{\alpha}_0, \hat{\beta}_0, \hat{\gamma}) = \\ = \arg \min_{\alpha_0, \beta_0, \gamma} \left(\frac{\sigma_{\xi_{\gamma}}^2}{\sum_{(i,j) \in S(\alpha_0, \beta_0, \gamma)} (\Delta_i s(i, j, \gamma))^2} + \frac{\sigma_{\xi_{\gamma}}^2}{\sum_{(i,j) \in S(\alpha_0, \beta_0, \gamma)} (\Delta_j s(i, j, \gamma))^2} \right), \end{aligned} \quad (15)$$

где $S(\alpha_0, \beta_0, \gamma)$ – множество точек участка S с координатами верхнего левого угла (α_0, β_0) на изображении $l_{\gamma}(i, j, n_0)$; запись вида $\Delta_i s$ означает операцию численного дифференцирования s по i ; $\sigma_{\xi_{\gamma}}^2$ – дисперсия аддитивного шума на изображении $l_{\gamma}(i, j, n_0)$.

Заметим, что выражение (15) не может быть использовано для выбора опорного участка в реальных системах из-за того, что эталонное изображение участка неизвестно, а для получения его незашумленной оценки необходимо наблюдать изображения данного участка на протяжении нескольких кадров. Поэтому, необходимо преобразовать выражение (15) таким образом, чтобы в нём фигурировало только наблюдаемое изображение опорного участка. При этом предполагается, что параметры шума не меняются во времени. Из модели (1) следует, что на множестве $S(\alpha_0, \beta_0, \gamma)$ верно следующее соотношение:

$$l_{\gamma}(i, j, n_0) = s(i, j, \gamma) + \xi_{\gamma}(i, j, n_0). \quad (16)$$

Выразим s из соотношения (16) и подставим в формулу (15). При этом знаменатель обеих дробей в правой части полученного выражения разделим на константу, равную количеству точек в области S равно $W \cdot H$. Упрощая данное выражение исходя из свойств аддитивного шума, получим окончательное выражение:

$$(\hat{\alpha}_0, \hat{\beta}_0, \hat{\gamma}) = \arg \min_{\alpha_0, \beta_0, \gamma} \left(\frac{\sigma_{\xi_y}^2}{\frac{1}{W \cdot H} \sum_{(i,j) \in S(\alpha_0, \beta_0, \gamma)} (\Delta_\gamma l_\gamma(i, j, n_0))^2 - 4\sigma_{\xi_y}^2} + \frac{\sigma_{\xi_y}^2}{\frac{1}{W \cdot H} \sum_{(i,j) \in S(\alpha_0, \beta_0, \gamma)} (\Delta_\gamma l_\gamma(i, j, n_0))^2 - 4\sigma_{\xi_y}^2} \right) \quad (17)$$

Достаточно точная оценка дисперсии шума может быть получена из сравнения изображений одного и того же участка, взятых из изображений соседних кадров:

$$\hat{\sigma}_{\xi_y}^2 = \frac{1}{2W \cdot H} \sum_{(i,j) \in S(\alpha_1, \beta_1, \gamma)} (l_\gamma(i, j, n_1) - l_\gamma(T_{n_1, n_2}^E(i, j, n_2)))^2, \quad (18)$$

где T_{n_1, n_2}^E – преобразование, связывающее кадры n_1 и n_2 .

Экспериментальные исследования

Были проведены сравнительные исследования двух алгоритмов: односпектрального алгоритма определения параметров преобразований, описанного в работе [5], работающего либо в телевизионном (TV), либо инфракрасном (IR) диапазоне и разработанного алгоритма, ориентированного на работу в обоих спектральных диапазонах одновременно (обозначен на рисунке 1 и в таблице 1 как TV+IR).

Исследования выполнены на натуральных мультиспектральных последовательностях изображений. Длительность видеопоследовательностей составляет 2 минуты при частоте поступления кадров равной 25 Гц, яркость точек изображений лежит в интервале от 0 до 1. Датчики, формировавшие изображения в обоих диапазонах были закреплены соосно на управляемой опорно-поворотной платформе, выполнена процедура юстировки изображений.

Общее количество опорных участков для каждого алгоритма равно 15, размер опорных участков равен 32×32 пикселя. Точность работы алгоритмов определяется ошибкой оценки равномерного субпиксельного сдвига (дрейфа), так величина добавленного при проведении исследования целочисленного сдвига определяется без ошибок.

На рисунке 1 приведены результаты исследований, которые показывают, что точность определения сдвига увеличивается при использовании обоих спектральных диапазонов. Это особенно хорошо заметно на графике 1(б). Графики 1(в) и 1(г) показывают, что хотя оцененный уровень шума на изображениях в телевизионном диапазоне (график 1(в), чёрная кривая) в основном выше, чем шум в тепловизионном диапазоне (график 1(в), серая кривая), тем не менее, наличие большего количества мелких деталей позволяет выбирать в телевизионном диапазоне больше опорных участков, нежели в тепловизионном (график 1(г)).

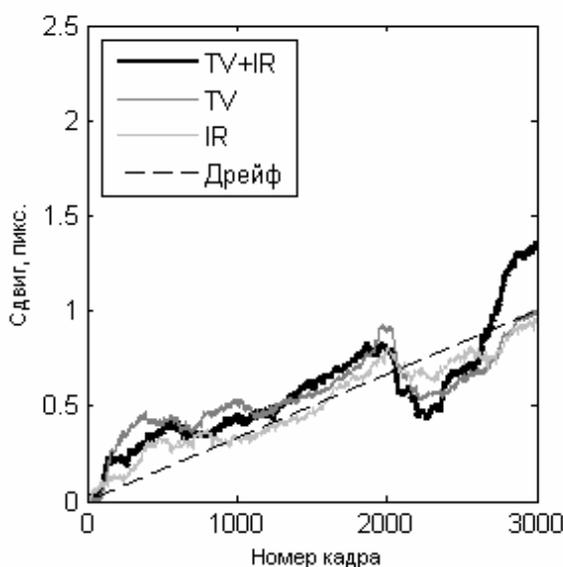
Были проведены исследования перечисленных выше алгоритмов при повышенном уровне шума. Для этого тестовые последовательности были зашумлены аддитивной помехой ζ_{add} различной интенсивности. Точность работы алгоритма оценивалась по усреднённому СКО ошибки определения координат сдвига. Результаты исследований, приведённые в таблице 1, показывают, что алгоритм, использующий оба спектральных диапазона, гораздо более устойчив к воздействию аддитивного шума.

Заключение

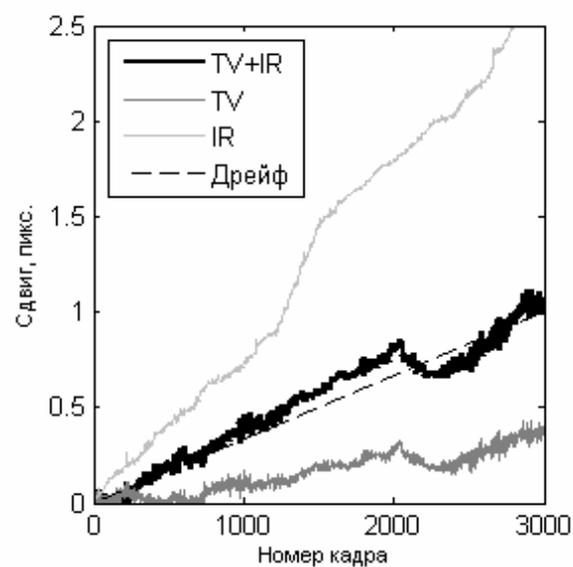
Разработанный многоэталонный алгоритм оценки параметров преобразований изображений используется для случая наблюдения изображений в нескольких спектральных диапазонах. Синтезирован критерий выбора опорных участков, учитывающий уровень шума и особенности изображений наблюдаемой обстановки в каждом из спектральных диапазонов.

Результаты проведённых исследований показывают, что системы обработки видеoinформации, оснащенные несколькими датчиками, работающими в различных спектральных диапазонах, обеспечивают большую точность при решении задач оценки параметров преобразований изображений, а также более устойчивы к воздействию аддитивного шума.

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



а)



б)

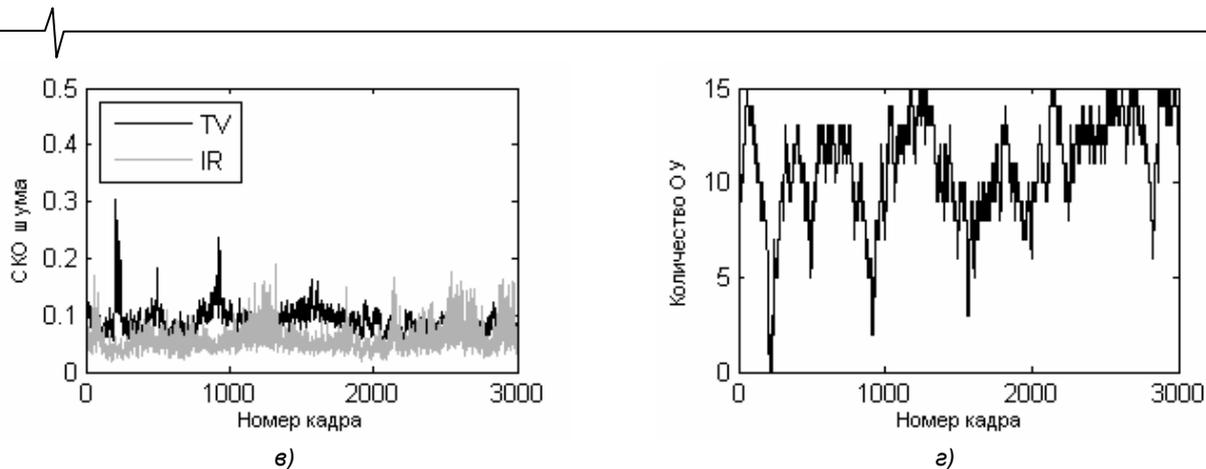


Рис. 1. Результаты исследований: оценки сдвига изображений по координатам X (а) и Y (б), оценки СКО шума на изображениях в различных диапазонах (в), количество участков, расположенных в ТВ диапазоне при работе мультиспектрального алгоритма (д).

Таблица 1

Оценка точности работы алгоритмов при различных уровнях аддитивного шума

$D_{\zeta_{add}}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-3}$
$\sigma_{ош} (TV+IR)$	0,24	0,24	0,26	0,30	0,38	0,50	0,59
$\sigma_{ош} (TV)$	0,44	0,63	1,20	1,32	1,97	2,49	3,20
$\sigma_{ош} (IR)$	2,44	3,15	3,02	3,28	3,67	3,95	4,46

Литература

1. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Балашов О.Е., Степашкин А.И. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление. – М.: Радиотехника, 2008. – 176 с.
2. Путятин Е.П., Аверин С.И. Обработка изображений в робототехнике. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
3. Zitova B., Flusser J. Image registration methods: a survey // Image and Vision Computing 21–2003, p.977–1000
4. Ташлинский А.Г. Оценивание параметров пространственных деформаций последовательностей изображений. – Ульяновск: УлГТУ, 2000. – 131 с.
5. Стротов В.В. Оценивание параметров смещения изображения в задачах выделения движущихся объектов // Вестник РГРТУ. Вып 23. – Рязань, 2008. – С. 30 – 37.
6. Баклицкий В.К., Бочкарёв А.М. Методы фильтрации сигналов в корреляционно-экстремальных системах

навигации. – М.: Радио и связь, 1986. – 216 с.

IMAGE GEOMETRIC TRANSFORMATION PARAMETERS ESTIMATION ALGORITHM FOR MULTISPECTRAL OBSERVATION

Alpatov B.A., Strotov V.V.

In this article an image geometric transformation parameters estimation algorithm which deals with multispectral videosequences is considered. An approach of choosing reference areas that allow to minimize caused by additive noise presence errors is proposed. The results of experimental examination are given.

Keywords: image processing, geometric transformations, multispectral observation