

СЛЕЖЕНИЕ ЗА ОБЪЕКТОМ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА СОПОСТАВЛЕНИЯ С ЭТАЛОНОМ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ НАБЛЮДЕНИИ В ВИДИМОМ И ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНАХ

Бабаян П.В., к.т.н., начальник лаборатории Рязанского государственного радиотехнического университета, e-mail: aitu@rsreu.ru

Смирнов С.А., аспирант Рязанского государственного радиотехнического университета, e-mail: aitu@rsreu.ru

Ключевые слова: слежение, оценка работоспособности, мультиспектральное наблюдение, комплексирование.

Введение

Технологии автоматического слежения за объектами в реальном времени широко используются для решения таких задач, как контроль транспортных потоков, поиск и спасение в чрезвычайных ситуациях, контроль общественного порядка, охрана важнейших объектов, навигация роботов. В настоящее время для автоматического слежения за объектами всё чаще используются мультиспектральные датчики, фиксирующие изображения наблюдаемой сцены в нескольких спектральных поддиапазонах инфракрасного, видимого или ультрафиолетового участков спектра.

По отношению к односпектральному наблюдению одновременное использование нескольких спектральных каналов, очевидно, позволяет повысить надежность слежения за объектами. Это объясняется, в частности, тем, что неблагоприятные условия наблюдения редко проявляются сразу во всех спектральных каналах. Например, недостаточный уровень естественного освещения сцены сказывается лишь на работе канала видимого диапазона, а слабый тепловой контраст объекта является проблемой лишь при наблюдении в инфракрасном диапазоне.

Очевидно, что разработка методов совместной обработки мультиспектральных изображений, позволяющих компенсировать недостатки одного спектрального канала за счет другого, открывает возможности для создания надёжных систем слежения, способных работать на больших дальностях, в любое время суток и в условиях слабой видимости. В настоящей статье предложен и исследован один из таких методов.

Постановка задачи

Пусть видеонаблюдение производится в двух спектральных диапазонах, и датчик формирует пары геометрически совмещенных изображений сцены, имеющих одинаковый размер. В поле зрения датчика изображений перемещается один объект. Примерами характерных объектов являются автомобили, самолеты, вертолеты, суда, люди. Фон, на котором наблюдается объект, может представлять собой облачное или ясное небо, пересеченную местность, городской ландшафт, водную поверхность. В процессе наблюдения могут происходить изменения условий наблюдения, связан-

Рассмотрена задача слежения за объектом в видеопоследовательности при одновременном наблюдении в видимом и инфракрасном диапазонах. Предложен алгоритм слежения, основанный на независимой обработке изображений в спектральных каналах. Выбор спектрального канала, обеспечивающего наилучшее качество слежения, производится на основе анализа признаков работоспособности. Представлены результаты экспериментальных исследований разработанного алгоритма.

ные с перемещением объекта на фон другого типа, изменениями освещенности, кратковременными частичными или полными заслонениями объекта фоном. В момент начала слежения поступает целеуказание, которое представляет собой параметры прямоугольника, описанного вокруг объекта. Целеуказание может быть сформировано оператором или получено техническими средствами.

Задача слежения состоит в том, чтобы на каждом кадре видеопоследовательности получить оценку текущих координат объекта.

В качестве базового подхода, на основе которого в настоящей работе строится алгоритм слежения, выбран подход на основе сопоставления с эталоном [1,2]. Известно, что при работе в одном спектральном диапазоне в описанных условиях наблюдения данный подход характеризуется высокой эффективностью и быстродействием. Таким образом, вопросы выбора базового подхода в дальнейшем не рассматриваются.

Опишем кратко основные особенности алгоритма сопоставления с эталоном, применяемого в настоящей работе. Алгоритм основан на поиске минимума разностной критериальной функции вида:

$$F(\alpha, \beta, n) = \sum_{(i, j) \in H} |l(i + \alpha, j + \beta, n) - h(i, j, n)|, \quad (1)$$

где n – номер кадра, $l(i, j, n)$ – наблюдаемое изображение, $h(i, j, n)$ – эталонное изображение объекта, H – множество точек изображения объекта. В результате минимизации (1) по (α, β) определяются измерения координат объекта $(\alpha^*(n), \beta^*(n))$, после чего эталонное изображение обновляется в соответствии с выражением:

$$h(i, j, n+1) = kh(i, j, n) + (1-k)l(i + \alpha^*(n), j + \beta^*(n), n), \quad (i, j) \in H, \quad (2)$$

где k – коэффициент ($0 < k < 1$).

Обновление эталонного изображения направлено на адаптацию к изменениям изображения объекта, происходящим в процессе наблюдения. Путем временной фильтрации измерений $(\alpha^*(n), \beta^*(n))$ могут быть получены оценки координат объекта в последовательности изображений.

Описанный алгоритм слежения ориентирован на работу в одном спектральном канале. В настоящей работе на его основе будет построен алгоритм, эффективный при использовании двух спектральных каналов наблюдения.

Общий подход к решению задачи

В литературе описаны несколько концепций совместного использования спектральных каналов наблюдения для слежения за объектами. Некоторые авторы предлагают решить задачу слежения отдельно в каждом канале, а затем объединить полученные результаты [3]. Вариацией этого подхода является объединение результатов слежения с использованием аппарата нечеткой логики [4]. В других публикациях описываются методы на основе отбора спектральных каналов, обеспечивающих наиболее успешное решение задачи слежения. В частности, в [5] предлагается использовать один канал в качестве основного источника информации для слежения за объектами, в то время как другие участвуют в процедуре адаптации параметров алгоритма. Наконец, в [6] представлен подход на основе совместной обработки изображений, соответствующих спектральным каналам. Отметим, что данные подходы относятся к категории методов комплексирования информации.

В данной работе выбрана концепция на основе раздельного слежения в каждом спектральном канале, при этом по окончании обработки очередной пары изображений выполняется оценка работоспособности алгоритма слежения для каждого канала. В качестве текущего измерения координат объекта берется измерение, полученное из канала, обладающего более высоким показателем работоспособности. Полученное измерение используется также для коррекции процесса слежения в канале, имеющем меньший показатель работоспособности.

Структура системы слежения, реализующей описанный подход, представлена на рисунке 1. Преимущество выбранной методики перед методиками, основанными на совместной обработке изображений, связано с относительной простотой построения мультиспектральной системы слежения на базе двух односпектральных. В то же время, для организации совместной обработки мультиспектральных изображений требуется достаточно много затрат в части разработки нового программного и аппаратного обеспечения. В отличие от известных подходов, в данной работе для оценки работоспособности используется признак, связанный с особенностями алгоритма слежения, а не с характеристиками изображения.

Оценивание ожидаемой работоспособности алгоритмов слежения за объектами.

Основной проблемой при реализации выбранного подхода является проблема оценки работоспособности алгоритма слежения, основанного на сопоставлении с эталоном. Для этого целесообразно использовать признак работоспособности (ПР), исследованный в работе [7] применительно к задаче выбора алгоритма измерения координат объекта. ПР вычисляется в соответствии с выражением

$$K(n) = \frac{\min_{(\alpha, \beta) \in \Gamma} F(\alpha, \beta, n-1)}{\min_{(\alpha, \beta)} F(\alpha, \beta, n)}, \quad (3)$$

где Γ – множество граничных точек зоны поиска.

Целесообразность применения данного признака вытекает из следующих рассуждений. Изображение объекта в последовательности кадров изменяется. Степень временной изменчивости объекта можно оценить минимальным значением критериальной функции. Если степень временной изменчивости объекта примерно соответствует степени отличия объекта и окружающего его фона, то измерение координат вряд ли возможно. В то же время, если объект не схож с фоном, и степень отличия объекта от фона будет больше, чем степень временной изменчивости объекта, то, скорее всего, измерение координат будет успешным.

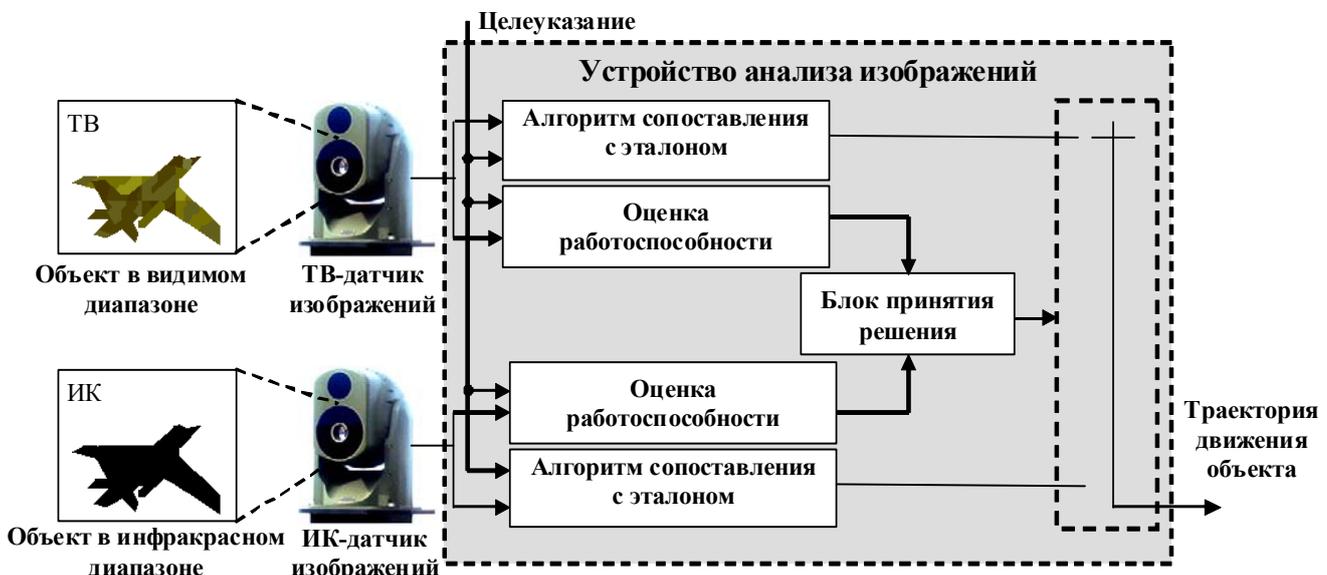


Рисунок 1 – Структурная схема системы слежения за объектами при наблюдении в ТВ и ИК диапазонах

Степень отличия изображения объекта от окружающего фона можно характеризовать величиной

$$\min_{(\alpha, \beta) \in \Gamma} F(\alpha, \beta, n-1).$$

Степень временной изменчивости изображения объекта описывается величиной

$$\min_{(\alpha, \beta)} F(\alpha, \beta, n).$$

Отношение этих величин можно использовать как признак, оценивающий работоспособность алгоритма слежения в n -м кадре.

Важным достоинством ПР вида (3) является возможность его использования для принятия решения о возможном срыве слежения. Для этого ПР сравнивается с порогом работоспособности T [7].

Для вычисления ПР не требуются эталонные данные о координатах объекта, однако ПР дает лишь оценочную, не всегда адекватную характеристику работоспособности. Несмотря на это, экспериментальные исследования, выполненные на большом количестве сюжетов, показали значительную корреляцию между данным ПР и качеством слежения за объектом.

Коррекция процесса слежения в канале, имеющем меньший показатель работоспособности

Представляется целесообразным рассмотреть два варианта такой коррекции:

- перезапуск слежения, при котором для целеуказания используются координаты, полученные в наиболее работоспособном канале;
- замена текущих координат объекта слежения на координаты, полученные в наиболее работоспособном канале.

Недостатком первого способа коррекции является потеря информации об изображении объекта при его кратковременном заслонении. Недостаток второго способа проявляется в условиях длительного пропадания

или заслонения объекта. В этом случае эталонное изображение объекта может быть искажено в результате сглаживания по формуле (2).

Экспериментальные исследования

Для проведения экспериментальных исследований использовалась тестовая база данных, включающая 32 пары видеосюжетов длиной от 90 до 120 кадров. Каждая пара состоит из сюжетов, снятых в ТВ и ИК диапазонах и сопровождается эталонными данными о траектории и линейных размерах объекта. Эталонные данные сформированы человеком-экспертом.

В роли критерия оценки эффективности того или иного алгоритма слежения использовалось количество сюжетов, на которых наблюдался срыв слежения, при этом срыв слежения фиксируется, если измеренные координаты объекта выходят за границы прямоугольной области, заданной эталонными данными о расположении и размерах объекта.

В таблице 1 приведены результаты экспериментальных исследований, полученные в односпектральном и двухспектральном вариантах слежения. Анализ результатов показывает, что предлагаемый подход позволяет улучшить качество слежения за счет использования двух спектральных каналов вместо одного, при этом наилучшим способом коррекции процесса слежения является замена текущих координат объекта слежения на координаты, полученные в наиболее работоспособном канале.

На рисунке 2 для одной из пар видеосюжетов представлены графики изменения ПР в каждом спектральном канале. До 40 кадра и начиная с 57 кадра слежение производится в ИК-канале. С 40 по 56 кадр происходят переключения между каналами. Начиная с 59 кадра ПР для ТВ канала опускается ниже порога работоспособности T .

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований

Алгоритм	Количество сюжетов, на которых происходит срыв слежения	
	ТВ-канал	ИК-канал
Один спектральный канал	8	3
Алгоритм с перезапуском слежения	2	
Алгоритм с заменой координат объекта	1	

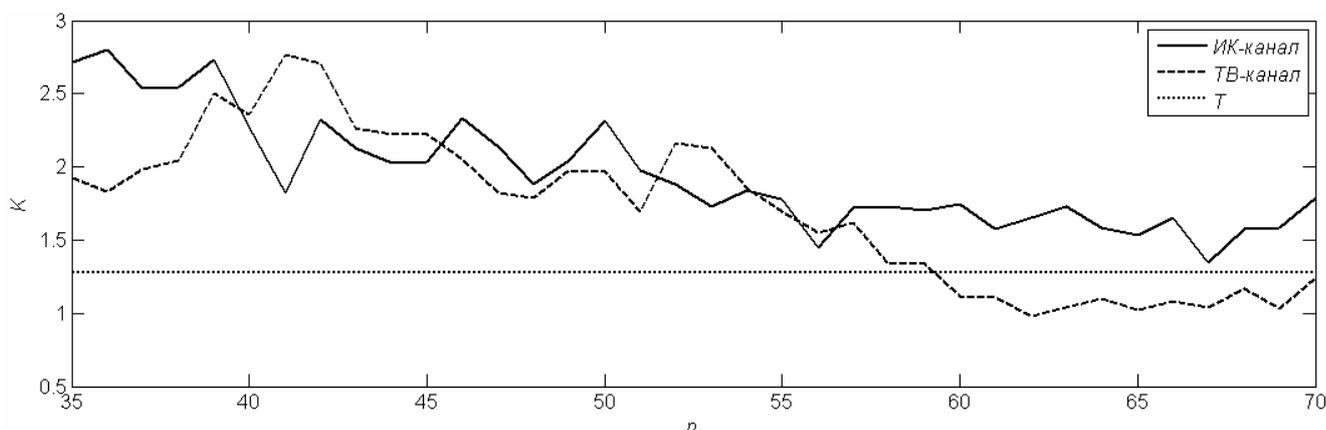


Рисунок 2. Признаки работоспособности для ИК-канала и ТВ-канала

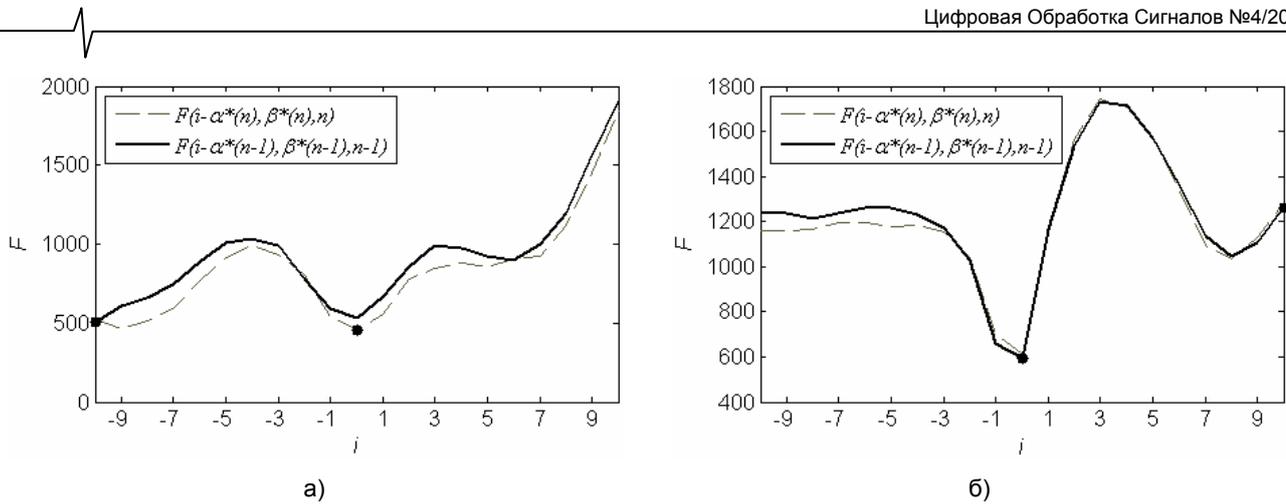


Рисунок 3. Поведение критериальных функций на кадрах N и $N-1$, соответствующих а) малому значению ПР ($K(n) \approx 1$); б) большому значению ПР ($K(n) \approx 2$)

На рисунке 3 показан характер изменения значений критериальных функций при различном значении ПР. Показаны соответствующие срезы значений критериальных функций. Рисунок 3,а соответствует ситуации, когда в зоне поиска присутствует фрагмент, похожий на объект, поэтому на кадре N минимальное значение критериальной функции приблизительно равно граничному минимуму критериальной функции из кадра $N-1$. Рисунок 3,б соответствует ситуации, когда похожие фрагменты отсутствуют, и как следствие, граничный минимум критериальной функции на кадре $N-1$ приблизительно в два раза больше минимума на кадре N . Точками отмечены значения критериальной функции, участвующие в вычислении ПР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Результаты экспериментальных исследований позволяют сделать выводы об эффективности предложенного подхода. Его существенным преимуществом также является возможность построения двухспектральной системы слежения без существенной переработки созданного ранее программного и аппаратного обеспечения. Отметим, что подход может быть распространен на случай большего числа спектральных диапазонов и большего числа базовых алгоритмов слежения.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (госконтракт № 14.740.11.0284).

Литература

1. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление / Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Балашов О.Е., Степашкин А.И. – М.: Радиотехника, 2008. – 176 с.
2. 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.
3. D. Borghys, P. Verlinde, C. Pemeel, and M. Achery, Long range

target detection in a cluttered environment using multi-sensor image sequences // Proceedings on Signal Processing, Sensor Fusion and Target Recognition IV - SPIE, 20-25 April 1997.

4. Jun Shen, Motion detection in color image sequence and shadow elimination // Proc. of SPIE. Vol. 5308, Visual Communications and Image Processing 2004, January 2004, pp. 731-740.
5. Vidya Manian, Luis O. Jimenez, Land cover and benthic habitat classification using texture features from hyperspectral and multispectral images // Journal of Electronic Imaging 16(2), 023011 (Apr–Jun 2007), pp. 1-12.
6. Алпатов Б.А., Бабаян П.В. Выделение движущихся объектов в последовательности мультиспектральных изображений при наличии геометрических искажений // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. — Рязань, 2008. — №23. — С. 37-43.
7. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Смирнов С.А. Автоматическое слежение за объектами при отсутствии априорных сведений о фоновой обстановке // Цифровая обработка сигналов. – 2009. – №3. – С. 52-56.

OBJECT TRACING BY TEMPLATE MATCHING ALGORITHM AT SIMULTANEOUS OBSERVATION WITH VISIBLE AND INFRARED SENSORS

P.V. Babayan, S.A. Smirnov

In this paper the problem of object tracing in video sequence at simultaneous observation with visible and infrared sensors is described. The algorithm of tracing based on independent image processing in spectral channels is offered. The choice of spectral channel providing the best quality of tracking, is produced on the basis of the analysis of the performance indicator. The results of experimental research of the proposed algorithm are presented.