

УДК 681.396.96

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СОПРОВОЖДЕНИЯ ОПТИЧЕСКИ НАБЛЮДАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ КОМПЛЕКСИРОВАНИИ ПЕРВИЧНОЙ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ В КОРРЕЛЯЦИОННЫХ АЛГОРИТМАХ СОПРОВОЖДЕНИЯ

Д.С. ШАРАК, А.В. ХИЖНЯК, А.В. ШЕВЯКОВ, Е.И. МИХНЕНОК

*Военная академия Республики Беларусь,
Минск, 220057, Беларусь*

Поступила в редакцию 13 мая 2016

Описаны особенности алгоритмов сопровождения оптически наблюдаемых объектов, приведены причины их низкой эффективности в условиях изменяющейся фоновой-целевой обстановки. Описан корреляционный алгоритм сопровождения объектов с комплексированием первичной видеоинформации. Предложена и обоснована методика оценки эффективности корреляционных алгоритмов сопровождения. Приведены результаты экспериментов, подтверждающих эффективность предлагаемого решения.

Ключевые слова: оптико-электронные системы, алгоритмы сопровождения, срыв сопровождения, комплексирование видеоинформации.

Введение

Интеллектуальные системы обработки и анализа видеоинформации интенсивно применяются в различных областях человеческой деятельности. Широкое распространение они получили при решении таких задач как навигация, космический мониторинг Земли, контроль качества и количества производимой продукции, обеспечение безопасности различных объектов, передача и хранение видеоинформации, в медицинских и специальных приложениях.

Одним из направлений при создании систем обработки и анализа видеоинформации является разработка бортовых систем обнаружения и сопровождения объектов, предназначенных для установки на автономных носителях, таких как самолеты, вертолеты, автомобили. Примерами объектов, которые требуется обнаруживать и сопровождать, могут служить летящие самолеты, вертолеты, движущиеся по шоссе автомашины, суда, люди. В качестве фонового изображения могут выступать изображения леса, домов, дорог, облаков и т.п. При этом информация о характеристиках объектов, которые требуется обнаруживать и сопровождать, обычно очень скудна и, в лучшем случае, включает в себя лишь приблизительные размеры объектов [1].

Наблюдаемые изображения формируются при этом как при помощи обычных телекамер видимого диапазона, так и при помощи линеек или матриц фотоприемников, рассчитанных на работу в инфракрасной части спектра излучений.

Анализ причин низкой эффективности оптико-электронных систем сопровождения оптически наблюдаемых объектов в условиях изменяющейся фоновой-целевой обстановки

Одной из задач, которые обычно интересуют потребителей оптико-электронных систем, является задача сопровождения движущихся объектов.

Отслеживание траектории может производиться двумя основными методами. В первом случае происходит оценивание координат объекта в каждом кадре наблюдаемой видеопоследовательности, и не ставится задача управления перемещением датчика изображений. Последовательность координат при этом формирует траекторию движения

объекта. Во втором случае, наряду с определением координат объекта в каждом кадре, предполагается решение задачи управления перемещением датчика изображений. Цель такого управления, чаще всего, состоит в удержании объекта в центре поля зрения видеокамеры или в исключении потери визуального контакта с объектом вследствие движения датчика изображений и объекта в пространстве.

Необходимо отметить, что задачи должны решаться в телевизионном масштабе времени, что неизбежно накладывает ограничения на сложность используемых алгоритмов. В то же время наличие на естественных изображениях сложного, неоднородного фона, часто полное отсутствие априорных сведений об объекте (из-за огромного разнообразия всевозможных объектов), слабые контрасты и малые отношения сигнал-шум не позволяют ограничиваться простыми решениями [2].

Необходимость разработки методов сопровождения объектов, ориентированных на системы реального времени, объясняется двумя причинами. Во-первых, исторически наибольшее развитие получили методы обработки отдельно взятых изображений, в то время как решение задач оценки параметров и сопровождения движущихся объектов, очевидно, требует анализа последовательности кадров. Во-вторых, задача измерения координат и скоростей движения объектов является традиционной для активной радио- и оптической локации, где объекты чаще всего являются точечными или малоразмерными и наблюдаются на относительно ровном фоне. Используемые в современных системах телевизионные датчики с высокой разрешающей способностью формируют изображения, на которых контролируемые объекты часто выглядят протяженными, перемещающимися на сложном неоднородном фоне. Большинство известных методов обработки изображений (корреляционно-экстремальные методы, разностные методы, методы сегментации) либо получены для простейших моделей, либо имеют эвристическое происхождение и не обеспечивают надежного решения задач при наличии неоднородного фона и изменяющихся с течением времени параметров, характеризующих наблюдаемые объекты.

Сложившаяся ситуация в значительной степени объясняется отсутствием математических моделей последовательностей изображений, способных адекватно описывать процесс наблюдения за движущимися объектами на неоднородном фоне, оставаясь при этом достаточно простыми, чтобы алгоритмы, синтезируемые на их основе, допускали возможность реализации в реальном масштабе времени. В последние десятилетия активно развивается комплексный подход к обработке данных мониторинга земной поверхности, предполагающий использование различных инструментов дистанционного зондирования – приборов и датчиков: оптических, инфракрасных и микроволновых. Каждый из датчиков позволяет получить цифровые изображения наблюдаемой сцены в различных диапазонах электромагнитного излучения. Информация о характеристиках объекта содержится в пространственном распределении уровней яркости пикселей по площади изображения.

Комплексирование является одним из особых видов цифровой обработки изображений, связанной с улучшением характеристик результирующего изображения, сокращением объема оперируемых данных, а также уменьшением избыточности информации. Цель комплексирования изображений состоит в представлении на результирующем изображении объектов, присутствующих по-отдельности на изображениях различных каналов, для более адекватной оценки характеристик исследуемых объектов [3]. Для выбора эффективного набора каналов могут использоваться методы оптимизации эксперимента, которые предполагают количественную оценку информативности изображений различных каналов. В реальных условиях из-за сложного характера спектральных распределений и корреляции между отдельными спектральными каналами, нет необходимости говорить об информативности отдельных каналов, а можно говорить только об информативности их комбинаций.

Анализ боевого применения оптико-электронных систем сопровождения оптически наблюдаемых объектов [4] показал, что, несмотря на огромное преимущество ввиду «пассивности», такие системы обладают и рядом недостатков. В условиях изменяемой фоновой обстановки при плохих погодных условиях оптико-электронные системы требуют дополнительной «подсветки», а значит, пассивность (необнаруживаемость) не сохраняется. На изображениях, полученных с различных камер, зачастую присутствуют шумы, блики и другие помехи, вызванные окружающим фоном. Это ухудшает качество изображений и,

следовательно, снижает информативность, а также может воспрепятствовать дальнейшей программной обработке. В то же время в автоматах сопровождения образцов вооружения и военной техники («АДУНОК», оптико-локационная система «Альтернатива», телевизионная система обнаружения и сопровождения цели ЗРК «ПЕЧОРА 2-М», круглосуточный телевизионный прицел ГЕО-ПЗРЗ для ЗРК «Тор-М1» и др.) переключение режимов работы осуществляется, как правило, вручную, по команде оператора. Ввиду скоротечности общевойскового боя время, затрачиваемое на переключение режимов работы оптико-электронных систем, а также неправильный выбор диапазона работы могут привести к невыполнению боевой задачи.

Поэтому разработка эффективных алгоритмов обработки видеопоследовательностей, ориентированных на использование в многоканальных оптико-электронных системах сопровождения объектов, является актуальной научно-исследовательской задачей.

Корреляционный алгоритм сопровождения объектов с комплексированием первичной видеоинформации

В рамках данных исследований было разработано специализированное программное обеспечение, позволяющее осуществлять оценку эффективности работы корреляционных алгоритмов сопровождения оптически наблюдаемых объектов.

Данное программное обеспечение включает в себя:

- модель типового корреляционного алгоритма сопровождения оптически наблюдаемых объектов [5];

- имитационные модели алгоритмов комплексирования цифровых видеопоследовательностей различного спектрального диапазона (алгоритмы 1–3):

- 1) на основе критериального суммирования для каждого пикселя цифровой видеопоследовательности [6];

- 2) на основе попеременной записи строк ТВ- и ИК-изображений [7];

- 3) на основе объединения 50 % яркости пикселей каждого изображения.

Одновременно с этим разработана имитационная модель корреляционного алгоритма сопровождения оптически наблюдаемых объектов с комплексированием первичной видеоинформации. Данный алгоритм отличается построением дополнительных корреляционных поверхностей для комплексированных изображений ИК- и ТВ-диапазонов. Яркость каждого пикселя первого изображения рассчитывается по формуле:

$$L_{ij} = \sqrt{(I_{ij}^{TB})^2 + (I_{ij}^{ИК})^2}, \quad (1)$$

где I_{ij}^{TB} – яркость соответствующего пикселя исходного ТВ-изображения; $I_{ij}^{ИК}$ – яркость соответствующего пикселя исходного ИК-изображения.

Яркость каждого пикселя второго изображения рассчитывается по формуле:

$$\varphi_{ij} = \arctg\left(\frac{I_{ij}^{TB}}{I_{ij}^{ИК}}\right). \quad (2)$$

На основании имеющихся коэффициентов корреляции для ТВ-, ИК- и комплексированных изображений строится обобщенная корреляционная поверхность $S_{об}$, каждый элемент матрицы которой вычисляется по формуле:

$$K_{ij}^{S_{об}} = K_{ij}^{S_{ТВ}} \times K_{ij}^{S_{ИК}} \times K_{ij}^{S_L} \times K_{ij}^{S_{\varphi}}. \quad (3)$$

На основании обобщенной корреляционной поверхности осуществляется поиск положения максимального элемента $K_{ij}^{S_{об}}$ который соответствует положению сопровождаемого объекта.

Сравнительный анализ корреляционных алгоритмов сопровождения оптически наблюдаемых объектов

Для сравнения качества работы на вход алгоритмов сопровождения оптически наблюдаемых объектов подавались синтезированные и экспериментальные видеопоследовательности ТВ- и ИК-диапазонов. Показателем качества работы алгоритмов было определено количество срывов сопровождения на 1000 кадров видеопоследовательности. Срывом сопровождения считалось отсутствие перемещения строка сопровождения в направлении движения объекта интереса в течении более 2 с. Характеристики видеопоследовательностей представлены в табл. 1–4.

Таблица 1. Синтезированная видеопоследовательность № 1

Диапазон	Длительность, с	Частота кадров, Гц	Количество срывов	Количество срывов/ 1000 кадров
ИК	42	25	3	2,86
ТВ	42	25	4	3,81
Компл1	42	25	3	2,86
Компл2	42	25	5	4,76
Компл3	42	25	4	3,81
Компл4	42	25	2	1,9

Таблица 2. Синтезированная видеопоследовательность № 2

Диапазон	Длительность, с	Частота кадров, Гц	Количество срывов	Количество срывов/ 1000 кадров
ИК	66	25	2	1,21
ТВ	66	25	6	3,63
Компл1	66	25	3	1,81
Компл2	66	25	5	3,03
Компл3	66	25	4	2,42
Компл4	66	25	1	0,61

Таблица 3. Экспериментальная видеопоследовательность № 1

Диапазон	Длительность, с	Частота кадров, Гц	Количество срывов	Количество срывов/ 1000 кадров
ИК	635	25	59	3,71
ТВ	635	25	123	7,75
Компл1	635	25	73	4,59
Компл2	635	25	117	7,37
Компл3	635	25	138	8,69
Компл4	635	25	88	5,54

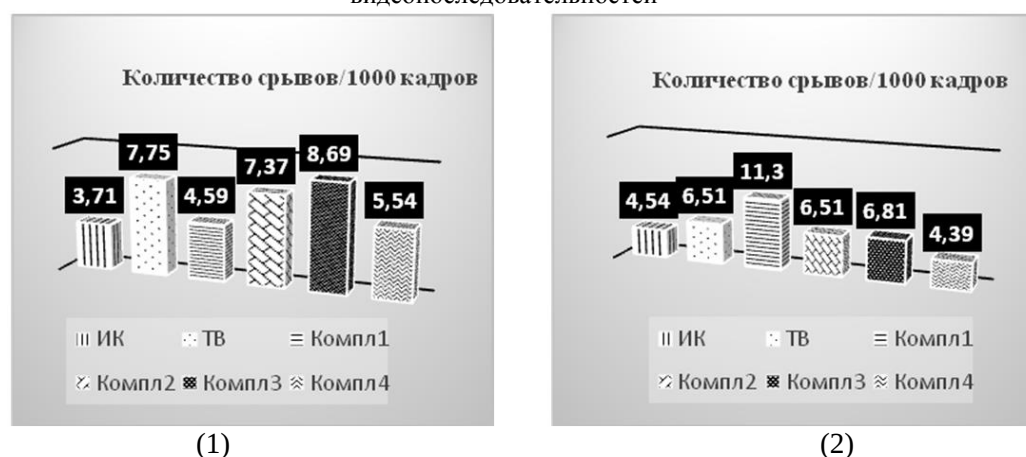
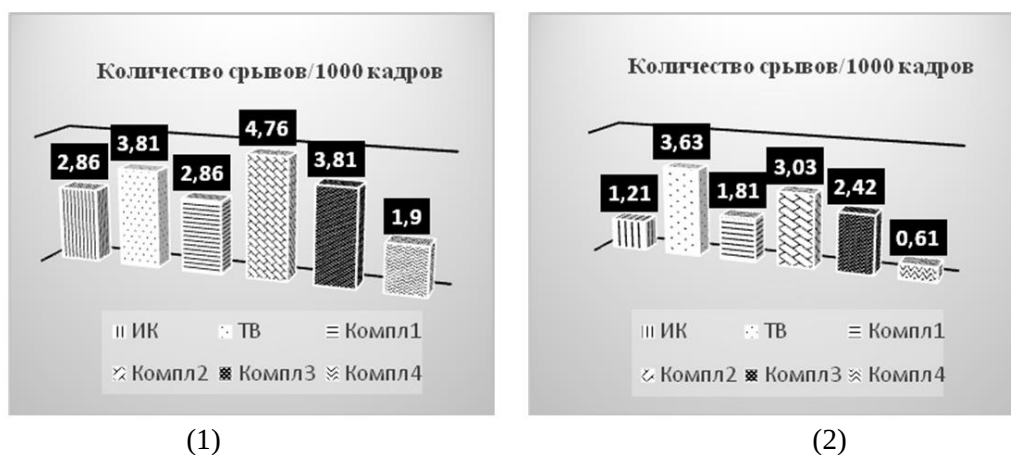
Таблица 4. Экспериментальная видеопоследовательность № 2

Диапазон	Длительность, с	Частота кадров, Гц	Количество срывов	Количество срывов/ 1000 кадров
ИК	264	25	30	4,54
ТВ	264	25	43	6,51
Компл1	264	25	75	11,3
Компл2	264	25	43	6,51
Компл3	264	25	45	6,81
Компл4	264	25	29	4,39

В табл. 1–4: ИК – работа типового корреляционного алгоритма по ИК-видеопоследовательности; ТВ – работа типового корреляционного алгоритма по ТВ-видеопоследовательности; Компл1 – работа типового корреляционного алгоритма по комплексированной видеопоследовательности согласно алгоритму (1); Компл2 – работа

типового корреляционного алгоритма по комплексированной видеопоследовательности согласно алгоритму (2); Компл3 – работа типового корреляционного алгоритма по комплексированной видеопоследовательности согласно алгоритму (3); Компл4 – работа корреляционного алгоритма с комплексированием первичной видеоинформации.

Результаты сравнительного анализа работы алгоритмов сопровождения оптически наблюдаемых объектов представлены на рис. 1–2.



Заключение

Рассмотрен корреляционный алгоритм сопровождения оптически наблюдаемых объектов с комплексированием первичной видеоинформации. Проведен сравнительный анализ корреляционных алгоритмов сопровождения объектов. Анализ табл. 1–4, а также рис. 1, 2 показывает существенное улучшение работы корреляционного алгоритма с комплексированием первичной видеоинформации по сравнению с типовым алгоритмом (от 33 до 83 %). Однако, существуют ситуации, когда разработанный алгоритм не оказывает влияния на эффективность сопровождения оптически наблюдаемых объектов (экспериментальная видеопоследовательность № 1). Дальнейшие исследования в данной области будут направлены на разработку рекомендаций по применению вариантов использования корреляционных алгоритмов с комплексированием первичной видеоинформации.

OPTICALLY OBSERVABLE OBJECTS TRACKING IMPROVEMENT IN THE CORRELATION TRACKING ALGORITHMS WITH PRIMARY VIDEO INFORMATION INTEGRATION

D.S. SHARAK, A.V. KHIZHNIK, A.V. SHEVYAKOV, E.I. MIKHNIIONOK

Abstract

The features of the correlation tracking algorithms of optically observable objects and the reasons of its low efficiency in the condition of changing background target circumstances are described in the article. The correlation tracking algorithm with primary video information integration is described. The technique of an estimation of correlation tracking algorithms efficiency is offered and justified. Results of the experiments confirming efficiency of the offered decision are given.

Keywords: optical-electronic systems, tracking algorithms, tracking failure, video information integration.

Список литературы

1. Баклицкий, В.К. Корреляционно-экстремальные методы навигации и наведения. Тверь, 2009.
2. Алтатов Б.А., Бабаян П.В., Балашов О.Е. и др. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление. М., 2008.
3. Захарова Л.Н., Захарова А.И. / Радиотехника и электроника. 2011. Т. 56, № 1. С. 5–19.
4. Красильщиков М.Н. Управление и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий / Под ред. М.Н. Красильщикова и Г.Г. Серебрякова. М., 2003.
5. Заплатников С.С., Хижняк А.В., Шевяков А.В. // Электроника-инфо. 2012. № 5. С 44–47.
6. Москвитин А.Э. Технология и алгоритм повышения качества изображений земной поверхности на основе комплексирования спектральной видеоинформации: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Рязань, 2003.
7. Ерош И.Л., Сергеев М.Б., Соловьев Н.В., Филатов Г.П., Козлов А.А., Литвинов М.Ю. Способ совмещения изображений, полученных с помощью различных датчиков, и устройство для его реализации/ Патент РФ № 2435221.