

УДК 623.618

К ВОПРОСУ ОБ ОБОСНОВАНИИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ СЛОЖНОГО ФОНА

Д. С. Шарак, А. В. Хижняк, А. С. Мамченко

Военная академия Республики Беларусь, 220057, Минск, Независимости, 220

Статья поступила в редакцию 28 апреля 2019 г.

Аннотация. В статье обоснована возможность применения комплексирования изображений для повышения эффективности работы корреляционно-экстремальной системы сопровождения объекта интереса в условиях сложного фона и наличия помех, когда уровень его контраста в инфракрасном и видимом диапазонах незначителен. Представлены результаты моделирования, которые свидетельствуют о повышении результирующего контраста и качества работы корреляционного алгоритма автоматического сопровождения с учетом комплексирования.

Ключевые слова: корреляционная функция, комплексирование изображений, фоно-целевая обстановка корреляционно-экстремальная система сопровождения, контраст.

Abstract. Modern technologies allow you to create a new generation of optical-electronic systems that, under normal conditions, allow you to solve problems of detection, tracking and recognition in automatic mode with high efficiency. However, in bad weather conditions, in the presence of deliberate interference, the quality of solving these problems drops sharply. This is due to the decrease in the quality of the resulting images and a decrease in the contrast of the object of interest. One of the ways to increase the information content of the obtained images, as well as increase the contrast is their integration, which involves the sharing of channels of the infrared and visible bands. The integration algorithms allow combining the images of the visible and infrared ranges into one resultant one, which has a positive effect on the

increase in the contrast of the object against the background. The paper substantiates the possibility of using image aggregation to increase the efficiency of the correlation tracking system of an object of interest with a low level of contrast in the visible and infrared spectral ranges in a complex background and the presence of interference.

The simulation results are presented, which indicate an increase in the resultant contrast and quality of the correlation algorithm of automatic tracking, taking into account the integration.

Keywords: correlation function, image aggregation, phono-target environment, extremal correlation tracking system, contrast.

Введение

Современные технологии позволяют создавать оптико-электронные системы нового поколения, которые в обычных условиях позволяют решать задачи обнаружения, сопровождения и распознавания в автоматическом режиме с высокой эффективностью. В то же время, для сложной фоно-целевой обстановки, в плохих метеоусловиях, при наличии преднамеренных помех и др., когда контраст объекта интереса и фона становится незначительным, качество решения этих задач резко падает.

Одним из способов увеличения информативности получаемых изображений, а также повышения контраста, является их комплексирование, которое подразумевает совместное использование каналов инфракрасного и видимого диапазонов. Оно основано на аппаратном (мультисенсорные системы) или программном (улучшение качества, наложение изображений, совмещение) принципах. Алгоритмы комплексирования позволяют осуществить перенос информационных составляющих разноспектральных изображений в одно результирующее.

Несмотря на явные преимущества комплексирования изображений в многоканальных системах, их специфика накладывает существенные ограничения на применение каждого в отдельности и зачастую требует разработки новых методов.

В общем случае на неравномерном фоне наиболее хорошо себя зарекомендовал корреляционный метод, который имеет высокую эффективность при сопровождении замаскированных и малоконтрастных объектов в силу косвенного использования не только яркостных характеристик объектов, но и их формы и положения. Поэтому в статье будут показаны возможности комплексирования малоконтрастных изображений для повышения эффективности работы корреляционного алгоритма сопровождения.

Принцип работы типовой корреляционно-экстремальной системы сопровождения

Принцип работы цифровой корреляционно-экстремальной системы сопровождения (КЭСС) оптически наблюдаемых объектов основан на сравнении фрагментов изображения наблюдаемого пространства с эталонным изображением (ЭИ) объекта, полученным заранее.

На рисунке 1 представлена обобщенная структурная схема корреляционной системы сопровождения [3].

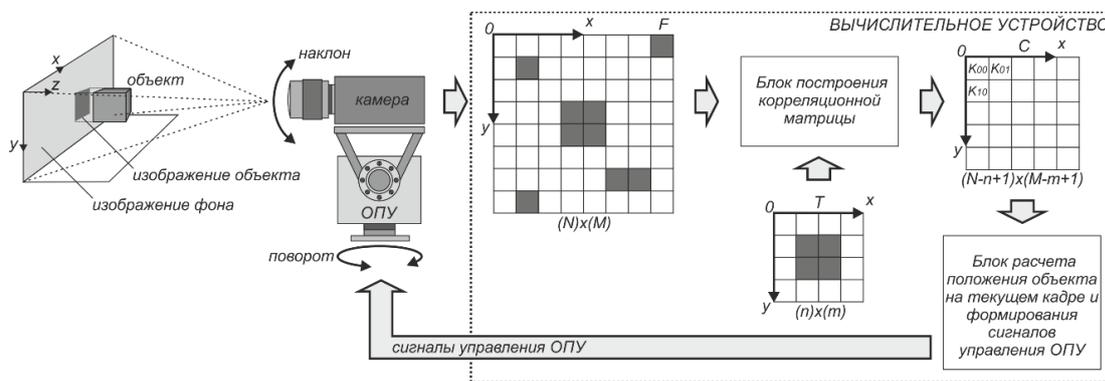


Рисунок 1. – Структура типовой корреляционной системы сопровождения

При сравнении отдельного фрагмента с ЭИ вычисляется значение некоторой корреляционной функции, которое показывает степень их сходства. Положение фрагментов изображения наблюдаемого пространства соответствует возможным положениям сопровождаемого объекта. Как правило,

вводится некоторый строб поиска, в котором рассматриваются все возможные фрагменты одинакового размера. После перебора всех фрагментов изображения наблюдаемого пространства осуществляется выбор фрагмента с наибольшим значением корреляционной функции. Рассогласование положения данного фрагмента и положения управляемого объекта позволяет сформировать команду для удержания объекта управления на заданной траектории [3]. Изображение наблюдаемого пространства, формируемое сенсором, называют текущим изображением (ТИ). Текущие изображения формируются сенсором в процессе функционирования системы, тогда как ЭИ формируется заранее (в момент захвата объекта на сопровождения). В качестве объекта управления может выступать любой движущийся объект (судно, автомобиль, летательный аппарат, поворотная платформа и т. п.).

ТИ и ЭИ формируются в процессе наблюдения естественных и искусственных оптических полей. Вычисляемая корреляционная функция при сравнении фрагмента ТИ и ЭИ принимает экстремальное значение, если положение фрагмента ТИ соответствует положению сопровождаемого объекта на ТИ. Это обусловлено тем, что данный фрагмент ТИ содержит изображение объекта и соответственно значение корреляционной функции с ЭИ будет максимальным. Рассмотрим принципы вычисления корреляционной функции в КЭСС.

Вычисление корреляционной функции двух изображений

Для определения степени соответствия ЭИ и фрагмента ТИ используются корреляционные функции. Данные функции основаны на вычислении взаимной функции статической связи случайных процессов. Корреляционные функции могут быть описаны как в сигнальной (пространственной) области, так и в частотной. Сама по себе корреляционная функция имеет следующие виды в пространственной области [4]:

1. Взаимная корреляционная функция:

$$K_1(Y^*, S, x) = M\{[Y^*(x) - M[Y^*(x)]] * [S(x) - M[S(x)]]\} \quad , \quad (1)$$

где $S(x)$, $Y^*(x)$ – ЭИ и фрагмент ТИ соответственно;

M – символ математического ожидания;

$K_1(Y^*, S, x)$ представляет собой смешанную центральную моментную функцию второго порядка;

x – вектор координат точки в плоскости изображения.

2. Нормированная взаимная корреляционная функция:

$$K_2(Y^*, S, x) = \frac{K_1}{\sigma[S(x)] * \sigma[Y^*(x)]}, \quad (2)$$

где σ – оператор среднеквадратического отклонения.

Функции $K_1(Y^*, S, x)$ и $K_2(Y^*, S, x)$ связаны следующим соотношением:

$$K_2(Y^*, S, x) = \sigma[S(x)] * \sigma[Y^*(x)] * K_1(Y^*, S, x). \quad (3)$$

3. Смешанная начальная моментная функция 2-го порядка:

$$K_3(Y^*, S, x) = M\{S(x) * Y^*(x)\}. \quad (4)$$

Соотношение между $K_1(Y^*, S, x)$ и $K_3(Y^*, S, x)$ определяет следующее выражение:

$$K_1(Y^*, S, x) = K_3(Y^*, S, x) - M[S(x)] * M[Y^*(x)]. \quad (5)$$

4. Взвешенная моментная функция 2-го порядка:

$$K_4(Y^*, S, x) = K_3(Y^*, S, x) - a * M[S(x)] * M[Y^*(x)], \quad (6)$$

где $0 \leq a \leq 1$

Каждый из видов корреляционной функции нашел свое применение в той или иной области. Однако, при наличии на изображении области с большой интенсивностью (высокие значения пикселей изображения) будет иметь место высокое значение корреляционной функции этой области и ЭИ. При использовании функций $K_3(Y^*, S, x)$, $K_4(Y^*, S, x)$ система становится чувствительной к различиям в общей яркости ТИ, формируемого камерой в разные моменты времени. Более предпочтительной является взаимная

корреляционная функция $K_1(Y^*, S, x)$ [4]. Нормализованная взаимная корреляционная функция обладает рядом преимуществ с точки зрения применения. Основное свойство – это нечувствительность к различиям в общей яркости фрагментов ТИ. Также удобным с точки зрения применения является то, что функция $K_2(Y^*, S, x)$ принимает значения от -1 до 1. Значение -1 означает то, что ЭИ и фрагмент текущего изображения находятся в противофазе. Эти особенности определили широкое использование в качестве корреляционной функции именно нормированную взаимную корреляционную функцию (2).

Выявление условий возникновения срывов при сопровождении объектов типовым корреляционным алгоритмом

Применение типового корреляционного алгоритма показало неплохие результаты по сопровождению объектов, в том числе для таких сложных условий, как сопровождение целей с подвижной платформы при невысоком её контрасте относительно сложного фона ($K=0,2\dots0,3$) [5]. В то же время, при уменьшении контраста наблюдались срывы сопровождения.

Для выявления условий возникновения срывов при сопровождении объектов типовым корреляционным алгоритмом были смоделированы следующие условия его работы (рисунок 2).

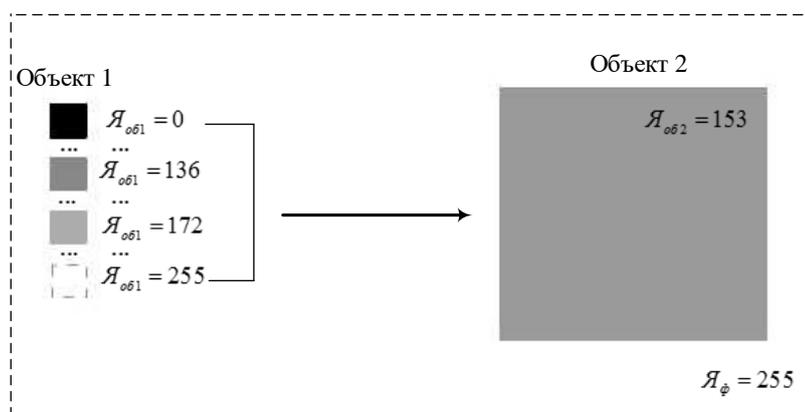


Рисунок 2 – Определение условий возникновения срывов сопровождения при работе типового корреляционного алгоритма

Объект интереса (объект 1 на рисунке 2) движется на равномерном фоне с яркостью пикселей $Y_{\phi}=255$ слева направо. В определенный момент времени объект попадает в область 2 (объект 2 на рисунке 2) с яркостью пикселей $Y_{об2}=153$. Диапазон значений изменения яркости пикселей изображений изменяется в интервале $0...255$. С момента начала движения объект интереса захватывается на сопровождение типовым корреляционным алгоритмом. Значение яркости объекта в начальный момент времени $Y_{об1}=0$ и увеличивается с каждым экспериментом на 1. На каждом эксперименте фиксируется наличие срыва сопровождения.

Проведенное моделирование работы корреляционного алгоритма показало, что срывы сопровождения наблюдаются в случаях разности в яркостях пикселей объекта и фона менее 11%, что соответствует $Y_{об1}=136...172$ и $Y_{об2}=153$ в рассмотренном эксперименте.

Необходимо также отметить, что при $253 < Y_{об1} < 255$ типовой корреляционный алгоритм не обеспечивал постановку объекта на сопровождение в виду схожести значений яркости объекта и фона. Разность в значении яркостей пикселей объекта и фона составила 1%.

Расчет контраста объекта сопровождения на фоне производился по формуле Майкельсона:

$$K = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{Y_{\max} + Y_{\min}}, \quad (7)$$

где Y_{\max} – максимальная яркость рассматриваемого изображения;

Y_{\min} – минимальная яркость рассматриваемого изображения.

В описанном эксперименте срывы сопровождения наблюдались при $K \leq 0,06$.

С другой стороны, отличия в яркости пикселей объекта и фона менее 11% (что соответствует $K \leq 0,06$) можно рассматривать как ситуации постановки различного рода помех (применение дымовых аэрозолей, засветки, средств РЭБ

и др.) и сложной фоно-целевой обстановки (сложные погодные условия, неравномерный нестационарный фон и др.). Подобные ситуации снижают эффективность работы корреляционного алгоритма и часто имеют место в реальной обстановке.

Возможным путем повышения контраста объекта на сложном фоне может являться использование комплексированных изображений по данным двух источников МОЭСС.

Для этого путем применения алгоритмов комплексирования необходимо добиться превышения разности в яркостях пикселей объекта и фона более 11%.

С этой целью был проведен несложный модельный эксперимент. Были смоделированы два изображения с характеристиками, представленными на рисунке 3. Левое изображение соответствует данным проведенного выше эксперимента ($Y_{об1} = 136$, $Y_{об2} = 153$), а правое задано случайным образом, но с условием, что разность в яркостях пикселей составляет 11% ($Y_{об1} = 106$, $Y_{об2} = 119$).

Область 2	Область 1	Область 2	Область 2	Область 1	Область 2
$Y = 153$	$Y = 136$	$Y = 153$	$Y = 119$	$Y = 106$	$Y = 119$

Рисунок 3. – Смоделированные изображения для проверки возможности применения комплексирования в задачах сопровождения объектов

Были получены комплексированные изображения на основе исходных (рисунок 3) по шести алгоритмам [6]:

1 алгоритм – Сложение яркости пикселей двух изображений. Яркость пикселей комплексированного изображения рассчитывалось согласно выражению:

$$K_{ij} = F1_{ij} + F2_{ij} \quad , \quad (8)$$

где K_{ij} – яркость пикселя комплексированного изображения;

$F1_{ij}$ – яркость пикселя первого изображения;

$F2_{ij}$ – яркость пикселя второго изображения;

i, j – текущее положение пикселя на изображении.

2 алгоритм – Метод усреднения. Метод усреднения состоит из среднего арифметического от исходных изображений $F1_{ij}$ и $F2_{ij}$. Комплексирование методом усреднения осуществлялось согласно выражению:

$$K_{ij} = \frac{1}{2} F1_{ij} + \frac{1}{2} F2_{ij}. \quad (9)$$

3 алгоритм – Метод максимума. Метод максимума реализуется с помощью замещения значения изображения $F1_{ij}$ значениям изображения $F2_{ij}$ когда значения второго изображения будут больше. В полученном комплексированном изображении находятся информационные признаки изображения $F1$ и ярко выраженные признаки изображения $F2$. Метод максимума осуществлялся согласно выражению:

$$K_{ij} = \max\{F1_{ij}, F2_{ij}\}. \quad (10)$$

4 алгоритм – Комплексирование по квадратному корню. Комплексирование согласно данного алгоритма осуществлялось согласно выражению:

$$K_{ij} = \sqrt{F1_{ij}^2 + F2_{ij}^2}. \quad (11)$$

5 алгоритм – Критериальное суммирование. Комплексирование согласно данного алгоритма осуществлялось на основании значения яркости наиболее информативного изображения, которое рассчитывалось согласно выражению:

$$K_{ij} = \frac{\sum_{i=1, j=1}^{i, j} F2_{ij}}{i \cdot j}. \quad (12)$$

6 алгоритм – Попеременная запись строк. Данный метод реализуется благодаря алгоритму на основе построчного чередования одного изображения относительно другого. Комплексирование согласно данного алгоритма осуществлялось согласно выражению:

$$K_{ij} = \left\{ \begin{array}{l} F1_{ij}, j \in 1, 3, 5, \dots, j \\ F2_{ij}, j \in 2, 4, 6, \dots, j-1 \end{array} \right\}. \quad (13)$$

Результаты комплексирования изображений сведены в таблицу 1. Анализируя данные таблицы 1, можно предположить, что в некоторых случаях алгоритмы комплексирования №3, 4, 6 могут повысить эффективность работы корреляционного алгоритма сопровождения, ввиду превышения 11% в разности яркостей пикселей объекта и фона.

На следующем этапе в эксперименте были использованы результаты комплексирования при работе корреляционного алгоритма по схеме на рисунке 2. Анализ работы корреляционного алгоритма с вновь полученными комплексированными изображениями показал, что срывов сопровождения не наблюдалось.

Таблица 1. – Результаты комплексирования изображений

№ п/п	Алгоритм	Полученные значения яркостей областей (Об ₂ -Об ₁ -Об ₂)	Разница яркостей областей
1.	Сложение яркостей	238-255-238	7%
2.	Метод усреднения	119-128-119	7%
3.	Метод максимума	136-154-136	12%
4.	Корень квадратный	170-194-170	13%
5.	Критериальное суммирование	139-151-139	8%
6.	Попеременная запись строк	119-136-119	14%

Для средних значений фона, смещенных в область либо белого, либо черного цвета, пороговые значения контрастов (разности яркостей) могут незначительно отличаться от приведенных выше. Это подтвердило моделирование работы корреляционного алгоритма (рисунок 2) для различных значений Y_{ϕ} , $Y_{об1}$, $Y_{об2}$. Для уменьшения избыточности представления материала в статье оно не приводится. Однако общий вывод по результатам моделирования заключается в том, что результат комплексирования имеет более высокий контраст по отношению к фону, чем каждое из исходных изображений в отдельности.

Анализ литературы [7, 8, 9] и проведенного эксперимента подтвердили возможность применения комплексирования изображений для повышения эффективности работы корреляционного алгоритма сопровождения в условиях сложной фоно-целевой обстановки и наличия преднамеренных помех при относительно невысоком контрасте объекта интереса.

Заключение

Моделирование различий яркостей объекта интереса и фона в одном канале менее 11% ($K < 0,06$) приводило к срыву автоматического сопровождения. Использование комплексированных изображений позволило повысить результирующий контраст, превышающий минимальный порог 11%, при этом срывов автоматического сопровождения по результатам работы корреляционного алгоритма не наблюдалось.

Таким образом, в условиях сложной фоно-целевой обстановки, когда уровень контраста объекта интереса в инфракрасном и видимом диапазонах незначителен, целесообразно применение алгоритмов комплексирования изображений для повышения устойчивости работы корреляционного алгоритма автоматического сопровождения.

Литература

1. А. П. Богданов, Л. Н. Костяшкин, А. В. Морозов, О. В. Павлов, Ю. Н. Романов, А. В. Рязанов. Способ комплексирования цифровых полутоновых телевизионных и тепловизионных изображений : пат. 2451338 РФ : МПК

G06T5/00 (2010) ; дата опубл. 20.05.2012.

2. А.С. Васильев. Исследование и разработка многоспектральной оптикоэлектронной системы комплексирования информации для обнаружения и мониторинга лесных пожаров: дис. канд. тех. наук. Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 2015.
3. В.К. Баклицкий. Корреляционно-экстремальные методы навигации и наведения. Тверь: ТО «Книжный клуб», 2009. 360 с.
4. Б. А. Алпатов, П. В. Бабаян, О. Е. Балашов, А. И. Степашкин. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление. М.: Радиотехника, 2008. 176 с.
5. Разработка алгоритмов цифровой обработки изображений на вычислительных средствах программируемой логики: отчет о НИР. ИП «ЦиклонБел»; рук. А. В. Хижняк. Минск, 2016. 182 с.
6. Разработка программного обеспечения сопровождения оптически наблюдаемых объектов на основе комплексирования видеоинформации от датчиков инфракрасного и видимого спектральных диапазонов: отчет о СЧ ОКР. ОАО «Пеленг»; рук. А. В. Хижняк. Минск, 2018. 180 с.
7. Ю. П. Иванов, А. Н. Синяков. Комплексирование информационно-измерительных систем летательных аппаратов. Л.: Машиностроение, 1984. 207 с.
8. Л. З. Криксунов, И. Ф. Усольцев. Инфракрасные системы обнаружения, пеленгации и автоматического сопровождения движущихся объектов. М.: Радио и связь, 1988. 160 с.
9. Никитин О.Р., Кисляков А.Н. Морфологическое комплексирование многоспектральных изображений земной поверхности. // Радиотехнические и телекоммуникационные системы, 2012, №2. С.37-39.

Для цитирования:

Д. С. Шарак, А. В. Хижняк, А.С. Мамченко. К вопросу об обосновании применения комплексирования изображений для систем автоматического сопровождения в условиях сложного фона. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2019. № 5. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/may19/2/text.pdf>
DOI 10.30898/1684-1719.2019.5.2