

Информатика

УДК 621.396.96

Способ обработки искаженных линейным смазом или расфокусировкой изображений для автоматической системы корреляционного обнаружения

А.Ю. Липлянин, А.В. Хижняк, А.С. Мамченко

Представлен способ обработки изображений, искаженных линейным смазом или расфокусировкой, для автоматической системы корреляционного обнаружения в условиях сложного фона. Способ обработки изображений представляет собой итерационную процедуру восстановления, включающую в себя: автоматическое определение типа и параметров искажений, расчет количества необходимых итераций для достижения требуемого значения критерия качества. Обосновано требуемое значение критерия качества изображения для обеспечения работы корреляционного алгоритма обнаружения малоразмерных малоcontrastных объектов на сложном фоне.

Ключевые слова: восстановление изображения, расфокусировка, функция рассеяния точки, корреляционный алгоритм обнаружения.

A method for processing images distorted by linear blur or defocusing is presented for an automatic correlation detection system under complex background conditions. The image processing method is an iterative recovery procedure, which includes: automatic determination of the type and parameters of distortion, the calculation of the number of necessary iterations to achieve the required value of the quality criterion. The required value of the image quality criterion for the operation of the correlation algorithm for the detection of small-sized low-contrast objects on a complex background is substantiated.

Keywords: image restoration, blur, defocusing, correlation detection algorithm.

Введение. Проблема обнаружения объектов на изображениях является предметом исследования ученых во многих странах мира. Разработано достаточно большое количество эффективных технических решений. В то же время некоторые из них представлены только в виде демонстрационных роликов и, зачастую, носят либо рекламный характер, либо никак не описаны в современной научной литературе. Нетрудно найти описание оптимальных алгоритмов с формализованным представлением объекта и фона различными законами распределения (бимодальными, гауссоподобными, пуассоновскими и др. [2], [3]). Однако, оптимальные алгоритмы подтверждают свою работоспособность лишь в относительно простых условиях. Если использовать такие алгоритмы в условиях сложного фона, то можно найти приемлемые частные решения, хотя их применимость весьма условна. Если же добавить к сложному фону еще и подвижность оптико-электронной системы, то это сделает их практически непригодными.

В таком случае обычно применяют способы обнаружения, основанные на использовании эталонных изображений [4], [5]. При этом остается актуальным вопрос о компенсации искажений, вызванных движением летательного аппарата (искажения типа смаз) и расфокусировки (в частности, некорректная работа автофокуса).

Проиллюстрируем взаимосвязь вышеперечисленных искажений с корреляционной поверхностью, которая является ключевой характеристикой в системах корреляционного обнаружения и сопровождения оптически наблюдаемых объектов.

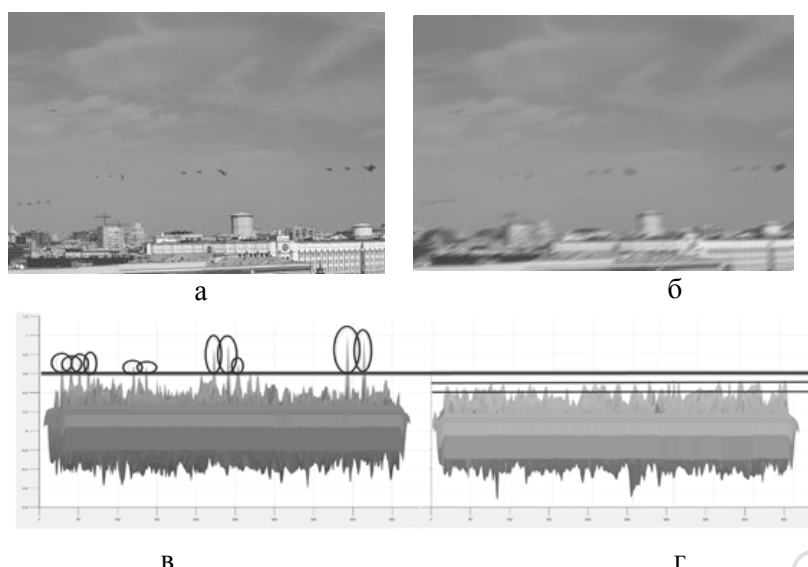


Рисунок 1 – а) исходное изображение, б) смазанное изображение, в) сечение корреляционной поверхности исходного изображения, г) сечение корреляционной поверхности смазанного изображения

Как можно видеть из рисунка 1, при отсутствии искажений мы наблюдаем ярко выраженные корреляционные пики, соответствующие пролетаемым вертолетам. На второй картинке линейный смаз приводит к тому, что корреляционные пики, во-первых, опустились ниже порога, во-вторых, их значения не превышают уровень фона. Как следствие, на искаженном изображении невозможно обнаружить искомым объект (вертолет).

Следовательно, способ обнаружения, требует доработки в части компенсации искажений. Для этого применяют различные способы: фильтр Винера, регуляризация Тихонова, слепая деконволюция [6]. Авторами разработан итерационный способ восстановления изображений на основе метода максимального правдоподобия, включающий в себя способ определения типа и параметров искажающей функции и расчет необходимого количества итераций на основе требуемого значения критерия качества. Для применения этого способа в качестве этапа обработки входного изображения в корреляционном обнаружителе необходимо: во-первых, определить условие его применения (автоматическая идентификация наличия смаза или дефокусировки), во-вторых, найти необходимый и достаточный уровень критерия качества изображения.

Основная часть. Для определения требований к качеству изображения найдем такое значение ψ , при котором система обнаружения не снижает свою эффективность работы. Наиболее часто используемыми показателями качества систем обнаружения, характеризующими их эффективность, являются вероятности правильного обнаружения (D) и ложной тревоги (F). В нашем случае зависимости D и F от амплитуды искажений назовем характеристиками обнаружения. Чтобы построить эти характеристики типового корреляционного обнаружителя, произведем моделирование его работы в условиях искажений. Сформируем искаженное изображение, общий вид которого можно представить выражением [9]:

$$g(x, y) = h(x, y) \otimes f(x, y) + \eta(x, y), \quad (1)$$

где $g(x, y)$ – искаженное изображение, $h(x, y)$ – функция искажения, $\eta(x, y)$ – шум, $f(x, y)$ – оригинальное изображение.

Для каждого сформированного изображения вычисляется критерий качества ψ , выбранный как наиболее подходящий для работы в условиях сложного фона и искажений:

$$\psi = \frac{p(\nabla g(x, y))}{\max(p(\nabla g(x, y)))} \quad (2)$$

где $p(\nabla g(x, y))$ – гистограмма интенсивностей градиента искаженного изображения; $\nabla g(x, y)$ – результирующее изображение градиента, является суммой изображений после свертки $g(x, y)$ операторами Собеля и Лапласа.

Далее сформированное изображение подадим на вход типового корреляционного обнаружителя и определим апостериорные вероятности D , F . В результате получим зависимость $D = f(A_{иск})$ при фиксированном значении $F = 0,015$. Для обеспечения точности полученных данных с доверительной вероятностью 0,9 и доверительным интервалом 5 % была обработана выборка состоящая из 2200 синтезированных изображений для каждого уровня амплитуды искажений. Результатом моделирования является зависимость правильного обнаружения от амплитуды искажений (рисунок 2).

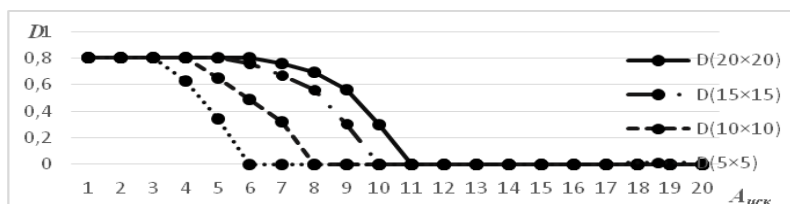


Рисунок 2 – Вероятность правильного обнаружения при фиксированном уровне ложной тревоги ($F = 0,015$) для различных масштабов опорного изображения

На рисунке 2 представлены зависимости вероятности правильного обнаружения от амплитуды искажений при различном размере опорного изображения. Важно отметить, размеры опорного изображения напрямую влияют на качество работы корреляционного алгоритма обнаружения в условиях искажений. Эффективность обнаружения сводится к 0 уже при 6 пикселях для объектов размером 5×5 и 11 для размера 20×20 .

Для того, чтобы задать уровень допустимых искажений выраженным значением критерия качества изображения, найдем зависимость между ним и амплитудой искажений (рисунок 3).

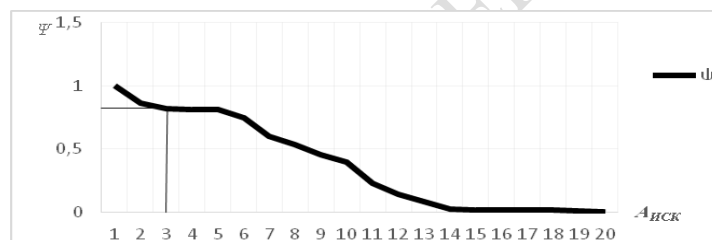


Рисунок 3 – Зависимость критерия Ψ от амплитуды искажений

Сопоставляя зависимости, отраженные на рисунках 2 и 3, можно сказать, что при снижении критерия Ψ до уровня 0,82, который соответствует амплитуде искажений в 3 пикселя, эффективность работы системы обнаружения не меняется. Следовательно, изображение необходимо восстанавливать при значении меньшем, чем $\Psi = \Psi_{дон} = 0,82$. Таким образом, исходя из зависимостей на рисунке 2 и 3, можно сделать вывод о том, что условием применения алгоритма восстановления изображений является снижение критерия качества менее значения 0,82. Это же значение является и требуемым для этапа восстановления, то есть $\Psi = \Psi_{дон} = \Psi_{тр} = 0,82$. Учитывая вышесказанное, опишем способ корреляционного обнаружения с применением этапа восстановления.

Этап 1. Получение видеопоследовательности от оптико-электронного сенсора. Этап 2. Расчет показателя Ψ по формуле (2). Этап 3. Установка наличия факта искажения по описанному критерию Ψ . Если он меньше допустимого $\Psi < \Psi_{дон}$ ($\Psi_{дон} = 0,82$), то переходим к этапу 7, иначе выполняем восстановление текущего изображения (этапы 5 и 6). Этап 4. Вычисление ядра свертки (искажающей функции). Этап 5. Процедура восстановления изображения. Этап 6. Фильтрация шумов, обусловленных помехами оптико-электронного сенсора. Этап 7. Нормализация изображения. Этап 8. Вычисление взаимной корреляционной матрицы изображения текущего кадра ОЭС и эталонного изображения искомого объекта. Этап 9. Обнаружение объекта на основе анализа корреляционной поверхности критерием Неймана-Пирсона. Этап 10. Формирование информации для алгоритма сопровождения объекта.

То есть, в алгоритм типового корреляционного обнаружителя были добавлены этапы определения факта искажения, его типа и параметров, а также процедура восстановления.

Оценка эффективности предложенного способа. Для оценки эффективности предложенного способа внесем изменения в модель корреляционного алгоритма с учетом особенностей разработанного способа восстановления. Для этого добавим этапы 4 и 5 в разработанную модель и проведем оценку показателей качества обнаружителя с учетом этапа восстановления. Результаты моделирования представлены на рисунке 4.

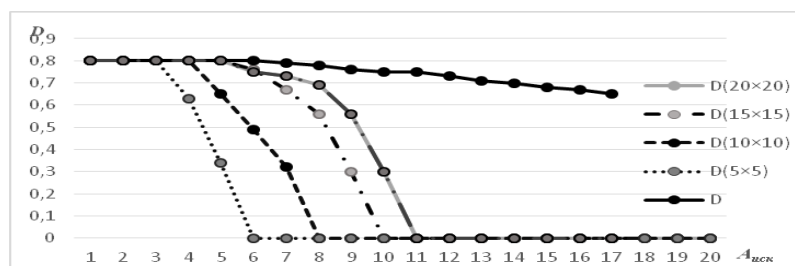


Рисунок 4 – Зависимость вероятности правильного обнаружения от амплитуды искажений для типового алгоритма при различных опорных объектах (штриховые линии) и предложенного в статье при опорном объекте 5×5 (сплошная).

На рисунке 4 в дополнение к зависимостям, приведенным на рисунке 2, сплошной линией показана кривая вероятности правильного обнаружения для разработанного алгоритма с этапом восстановления изображений (опорное изображение 5×5 пикселей). Она свидетельствует, что при амплитуде искажений до 14 пикселей вероятность правильного обнаружения составляет не менее 0,7, в то же время, как без восстановления алгоритм не работает ни при каких размерах опорного изображения. При искажениях более 14 пикселей вероятность правильного обнаружения плавно снижается к $D = 0,6$. Ее снижение обусловлено наличием ошибок в определении параметров искажения, что приводит к неточности восстановленных границ на изображении.

Закключение. Таким образом, разработан итерационный способ обработки изображений применительно к корреляционному способу обнаружения объектов на сложном фоне в условиях искажений изображений. Для способа восстановления обосновано применение критерия: нормированная гистограмма интенсивности градиента искаженного изображения. Определено необходимое и достаточное его значение $\Psi_{дон} = 0,82$. Внедрение разработанного способа обработки изображений позволило достичь уровня вероятности правильного обнаружения для малоразмерных малококонтрастных объектов не меньше 0,7 при воздействии искажений амплитудой до 14 пикселей и не менее 0,6. Следует отметить, что при $A_{иск} > 14$ алгоритм работоспособен, вероятность его правильного обнаружения составляет не менее 0,6.

Литература

1. Сосулин, Ю.Г. Фрактальное обнаружение протяженных малококонтрастных объектов на изображении / Ю.Г. Сосулин, А.Б. Русский. – М. : Радиотехника. – 2009. – № 12. – С. 48–57.
2. Самойлин, Е.А. Оптимальное по критерию объединенных ограничений выделение сигналов изображений на фоне бимодальных гауссовоподобных импульсных помех / Е.А. Самойлин // Оптический журнал. – 2010. – Т. 77, № 4. – С. 26–35.
3. Федосеев, В.И. Оптимизация обработки сигналов матричных приемников с использованием «метода окна» / В.И. Федосеев // Оптический журнал. – 2010. – Т. 77, № 4. – С. 60–69.
4. Фесенко, В.Т. Автоматическое сопровождение объектов в компьютерных системах обработки изображений / В.Т. Фесенко, Т.Ю. Фесенко // Оптический журнал. – 2007. – Т. 74, № 11. – С. 39–45.
5. Шестов, Н.С. Выделение оптических сигналов на фоне случайных помех / Н.С. Шестов. – М. : Сов. радио, 1967. – 347 с.
6. Липлянин, А.Ю. Анализ методов восстановления оптико-электронных изображений, смазанных при движении / А.Ю. Липлянин, А.В. Хижняк, Е.И. Михненко, А.С. Мамченко // Докл. БГУИР. – 2018. – № 2 (112). – С. 40–46.