

УДК 623.618

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБУЕМОГО ЗНАЧЕНИЯ КРИТЕРИЯ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРИ НАЛИЧИИ ИСКАЖЕНИЙ

канд. техн. наук, доц. А.В. ХИЖНЯК, А.Ю. ЛИПЛЯНИН
(Военная академия Республики Беларусь, Минск)

Представлена методика определения требуемого значения критерия качества изображения для систем обнаружения, функционирующих в условиях искажений. Приведен пример расчета требуемого значения критерия качества изображения для корреляционного обнаружителя и разработанного способа восстановления в условиях линейных искажений типа «смаз» и «дефокусировка».

Ключевые слова: восстановление изображений, критерий качества изображений, согласование этапов обработки изображений.

Введение. Системы технического зрения повсеместно внедряются в жизнь человечества, начиная с сельского хозяйства и производства и заканчивая сложнейшими медицинскими приборами и системами военного назначения. Одной из наиболее актуальных проблем в сфере обработки изображений является идентификация объектов. В связи с большой востребованностью в мире научным сообществом разработано большое количество различных технических решений, реализующих задачу обнаружения. Однако, ввиду большого разнообразия дестабилизирующих факторов, воздействующих на системы обнаружения в реальных условиях эксплуатации, все еще существуют такие условия функционирования систем, при которых реализованные алгоритмы обнаружения объектов недостаточно качественно справляются со своими задачами. Одним из ярких примеров могут служить искажения изображения (кадра) ввиду дефокусированности оптической системы, а также движения как оптико-электронного средства, так и наблюдаемого объекта. Далее искаженное изображение подвергается плановой обработке, но, ввиду плохого его качества, результаты процесса обнаружения становятся неудовлетворительными, что снижает эффективность работы системы в целом.

Очевидно, что для того, чтобы нивелировать влияние искажений на подсистему обнаружения, необходимо использовать восстановление изображений [1]. В результате проведенных исследований авторами был разработан способ восстановления искаженных изображений [3], который показал хорошие результаты в заданных условиях. Следует отметить, что для эффективного функционирования разработанного способа восстановления необходимо знать требуемое значение критерия качества. Обоснование и методика вычисления его значения являются предметом данной статьи.

Основная часть. Для поиска рационального значения критерия качества с точки зрения оптимальной работы обнаружителя был разработан инструментарий, представляющий собой программный комплекс, блок-схема которого отражена на рисунке 1.

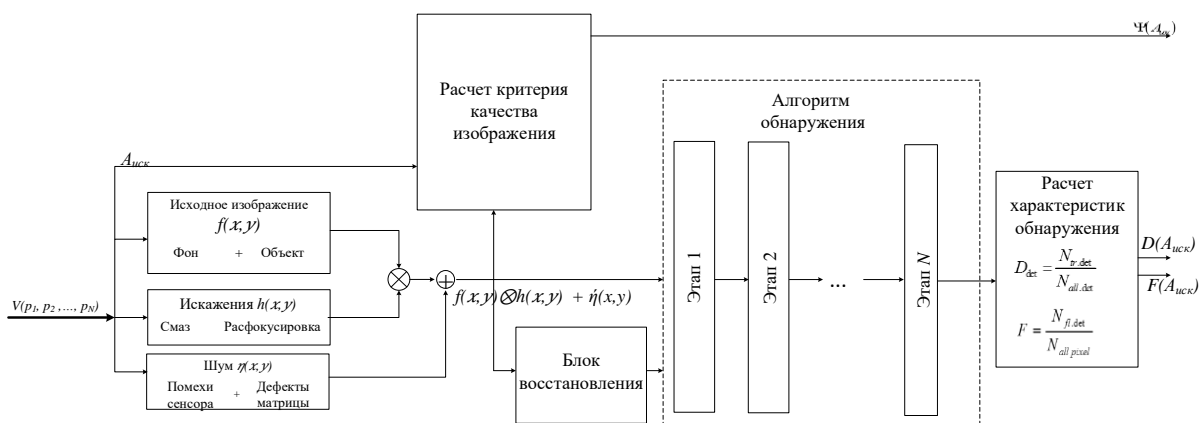


Рисунок 1. – Блок-схема инструментария для исследования эффективности работы алгоритмов обнаружения

На вход инструментария подается вектор параметров $(V_{p1}, V_{p2}, \dots, V_{pn})$, который включает в себя:

- ширину и высоту формируемого изображения;
- среднее значение яркости фона;

- размеры генерируемого объекта;
- начальные координаты;
- количество объектов;
- составляющие скорости движения объекта;
- контраст объекта;
- средние значения областей, которые характеризуют фон, тип искажений (смаз или дефокусировка);
- параметры искажений (угол и амплитуда для смаза и амплитуда для расфокусировки);
- среднеквадратическое отклонения яркости шума;
- отношение «сигнал/шум»;
- частоту появления импульсного шума.

На основе входного вектора генерируется искаженное изображение, согласно выражению (1).

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

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

Далее искаженное изображение поступает на блок расчета критерия качества, который является одним из выходных параметров. Ввиду большого разнообразия существующих критериев качества изображений реализованы наиболее часто используемые: PSNR, MSE, PSNR HVS, VIFP [2]. Важно понимать, что выбор критерия качества зависит от используемых принципов выделения информации (фракталы, вейвлет-преобразования, коэффициент корреляции, спектральные характеристики, морфологический анализ и др.). Например, PSNR, MSE, SSIM подходят для систем, оптимизированных по критериям минимума среднеквадратичной ошибки, как и нормы разности в пространственной и частотной областях; PSNR HVS, VIFP ориентированы на оценку изображения человеком и т.д. Для систем обнаружения, основанных на поиске похожих структур, распределений яркости, систем с эталонными объектами, может быть успешно использован критерий описанный в [4], который отражает степень соответствия гистограммы распределения яркости градиента искаженного изображения теоретическому распределению яркости градиента исходного (неискаженного) изображения.

Одновременно с тем как изображение попадает на блок расчета критерия качества, оно поступает и на блоки «Алгоритм обнаружения» и «Блок восстановления». Первый блок представляет собой набор типовых преобразований для подготовки изображения к выделению требуемой информации, второй (разработанный в [3]) – набор алгоритмов восстановления, рассмотренных в [1]. При рассмотрении различных алгоритмов обнаружения, используемых в технике, можно отметить, что зачастую используются дополнительные преобразования изображений, кроме основной функции отклика для объекта поиска. Например, весьма распространено сглаживание, которое используется для снижения уровня шумовой составляющей (в алгоритмах обнаружения, основанных на анализе плотности распределения случайной величины), что вполне соответствует размытию изображения, подобному дефокусировке. Следует отметить, что различные преобразования оказывают положительный эффект только в строго определенном диапазоне амплитуд. В таком случае необходимо выявить тот уровень нечувствительности для используемого способа обнаружения, который обеспечивает заданный уровень качества обнаружителя. Для этого разработанный инструментарий содержит набор наиболее употребительных преобразований в системах обнаружения. Например, фильтрация входного изображения, нормализация сцены (преобразование контраста), представление изображения в виде, удобном для дальнейшего анализа, пороговая обработка и др.

На выходе блока «Алгоритм обнаружения» формируется бинарное изображение, где отмечены объекты поиска. Далее бинарное изображение поступает на блок расчета характеристик обнаружения, в котором по выражениям (2), (3) рассчитываются вероятности ложной тревоги и правильного обнаружения, что и является выходной информацией рассматриваемого инструментария.

$$D = \frac{N_{\text{прав. обн}}}{N_{\text{всего. обн}}}, \quad (2)$$

где $N_{\text{прав. обн}}$ – количество правильно обнаруженных целей;
 $N_{\text{всего. обн}}$ – всего обнаруженных целей.

$$F = \frac{N_{\text{ложн. обн.}}}{N}, \quad (3)$$

где $N_{\text{ложн. обн.}}$ – количество ложно обнаруженных целей;
 N – всего пикселей на изображении.

На основе проведенных исследований с использованием представленного инструментария предложена методика выбора требуемого ($\Psi_{\text{тр}}$) и допустимого ($\Psi_{\text{доп}}$) значений критерия качества входного изображения на основе характеристик обнаружения, а также приведен пример типового корреляционного алгоритма обнаружения и предложен способ восстановления изображения.

Разработанная методика выбора $\Psi_{\text{тр}}$ и $\Psi_{\text{доп}}$ представляет собой последовательность выполнения следующих основных операций.

1. Построение зависимости изменения критерия качества входного изображения от амплитуды искажения. Чтобы найти зависимость $\Psi(A_{\text{иск}})$, искаженное изображение подается на блок расчета критерия качества изображения совместно со значением амплитуды искажения. При каждом изменении амплитуды искажений с шагом в один пиксель вычисляется значение выбранного критерия качества, соответствующее данному уровню искажений. Искомая зависимость представлена на рисунке 2. Очевидно, что она имеет нелинейный характер. При значениях амплитуды от 1 до 3 пикселей наблюдается довольно интенсивное снижение критерия, до 5 пикселей – график характеризуется плавным снижением $\Psi(A_{\text{иск}})$. Далее значения критерия снижаются с различной скоростью: так, уже при амплитуде искажений в 14 пикселей $\Psi(A_{\text{иск}})$ имеет значения, близкие к нулю.

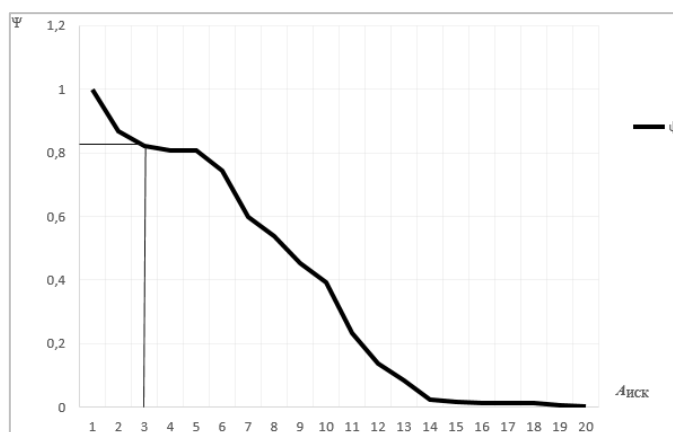


Рисунок 2. – Зависимость критерия Ψ от амплитуды искажений

2. Построение зависимости изменения вероятностей правильного обнаружения и ложной тревоги от амплитуды искажений. После всех преобразований на выходе обнаружителя формируется бинарное изображение, где каждый пиксель представляет собой решение о наличии объекта. Сформированное бинарное изображение поступает на блок оценки характеристик обнаружения, где рассчитываются вероятности правильного обнаружения и ложной тревоги. Исходя из того, что координаты всех искомых объектов известны в исходном изображении, легко вычислить количество правильно и ложно обнаруженных объектов.

Рассматривая изображение как набор принятых независимых решений и исходя из формул частоты события и полной вероятности, вычисляются вероятности правильного обнаружения и ложной тревоги по формулам (2), (3).

Затем, зная значения амплитуды искажений и вероятности правильного обнаружения и ложной тревоги, строятся зависимости $D(A_{\text{иск}})$ и $F(A_{\text{иск}})$.

При построении графиков характеристик обнаружения для корреляционного алгоритма, который имеет ряд ЭИ различного размера, строится совокупность зависимостей $D(A_{\text{иск}})$ при различных размерах ЭИ. Полученные зависимости приведены на рисунках 2 и 3.

На рисунке 3 представлены зависимости вероятности правильного обнаружения от амплитуды искажений при различном размере опорного изображения. Важно отметить, что размеры опорного изображения влияют на качество работы корреляционного алгоритма обнаружения в условиях искажений. Так, при размере эталонного (опорного) изображения 5×5 , качество обнаружения снижается уже при амплитуде искажения в 4 пикселя. При рассмотрении самого большого опорного изображения (20×20) снижение D наблюдается при амплитуде, равной 9 пикселям. Эффективность обнаружения сводится к 0 уже при 6 пикселях для объектов размером 5×5 и к 11 для размера 20×20 . Обнаружение малоразмерного малококонтрастного объекта при помощи корреляционного алгоритма обнаружения в условиях искажения приводит к снижению эффективности

обнаружения уже при незначительном уровне искажений, дальнейшее увеличение амплитуды приводит к резкому снижению вероятности правильного обнаружения. Чем больше величина эталонного изображения, тем более пологой становится зависимость $D = f(A_{иск})$, а уровень допустимых искажений увеличивается.

3. Определение амплитуды искажений, соответствующей заданному значению уровня ложной тревоги. На зависимости вероятности ложной тревоги от амплитуды искажения необходимо найти амплитуду искажений, которая соответствует минимально допустимому уровню вероятности ложной тревоги. В случае отсутствия минимального уровня для допустимого уровня ложной тревоги необходимо выбрать такое значение, при котором вероятность F начинает нарастать.

На рисунке 4 представлена зависимость вероятности ложного обнаружения от амплитуды искажения. Она возрастает при амплитуде выше 3 пикселей в шесть раз, дальше зависимость возрастает почти линейно. Таким образом, амплитуда искажений более трех пикселей является критичной для типового корреляционного алгоритма обнаружения (при опорном размере 5×5).

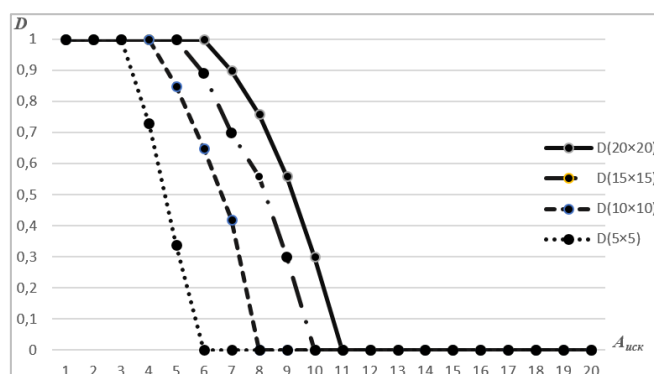


Рисунок 3. – Вероятность правильного обнаружения при фиксированном уровне ложной тревоги ($F = 0,0015$) для различных масштабов опорного изображения

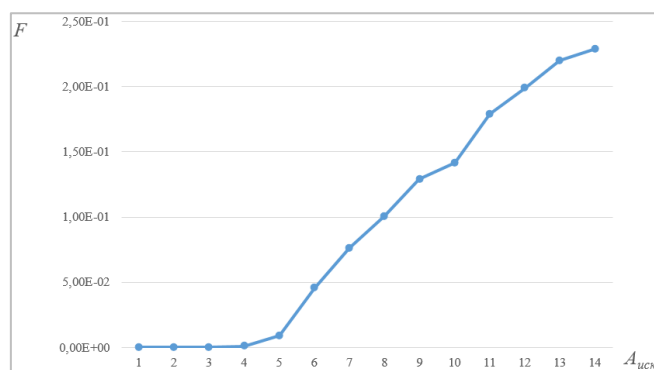


Рисунок 4. – Зависимость вероятности ложной тревоги при фиксированном уровне правильного обнаружения ($D = 0,8$) для опорного изображения 5×5 пикселей от амплитуды искажений

4. Определение амплитуды искажений, соответствующей заданному значению вероятности правильного обнаружения. На зависимости вероятности правильного обнаружения от амплитуды искажения необходимо найти амплитуду искажений, которая соответствует минимально допустимому уровню вероятности правильного обнаружения. В случае отсутствия минимального уровня для допустимого уровня правильного обнаружения необходимо выбрать такое значение, при котором вероятность начинает падать.

Допустимое качество изображения на входе алгоритма должно соответствовать требованию для обнаружения самого маленького размера шаблона в наборе опорных изображений. Для представленного типового алгоритма допустимое качество изображения должно быть не ниже значения качества при величине искажения в 3 пикселя.

5. Определение допустимого значения критерия качества изображения. Исходя из зависимости изменения критерия качества входного изображения от амплитуды искажения, следует выбрать такое значение критерия качества, которое соответствует амплитуде искажений, определенной в пункте 3. Оно и будет соответствовать $\psi_{доп}$.

При рассмотрении зависимостей, отраженных на 1 и 3 видно, что крайнее значение амплитуды искажений, не влияющее на качество изображений, соответствует 3 пикселям. Далее, при амплитуде

в 4 пикселя, вероятность ложной тревоги возрастает в шесть раз, последующие значения вероятностей резко возрастают. В таком случае значение критерия качества изображения $\psi_{\text{доп}} = \psi(3) = 0,82$, о чем свидетельствует рисунок 1.

6. Определение требуемого значения критерия качества изображения. Исходя из зависимости изменения критерия качества входного изображения от амплитуды искажения, следует выбрать значение критерия качества, соответствующее амплитуде искажений, определенной в пункте 4. Это значение будет соответствовать $\psi_{\text{тр}}$;

Сопоставляя зависимости, отраженные на рисунках 1 и 2, можно сказать, что при снижении критерия ψ до уровня 0,82, который соответствует амплитуде искажений в 3 пикселя, эффективность работы системы обнаружения не меняется. Плавное снижение критерия с 0,82 до 0,02 происходит на участке от 3 до 11 пикселей и соответствует падению вероятности D . Следовательно, изображение необходимо восстанавливать при значении критерия, меньшем, чем $\psi = \psi_{\text{доп}} = 0,82$. Таким образом, исходя из зависимостей, представленных на рисунках 2 и 3, можно сделать вывод о том, что условием применения алгоритма восстановления изображений является снижение критерия качества до значения менее 0,82. Это же значение является требуемым для этапа восстановления, т.е. $\psi = \psi_{\text{доп}} = \psi_{\text{тр}} = 0,82$.

7. Сравнение допустимых значений амплитуд искажений и выбор меньшего значения. Для оптимальных и квазиоптимальных обнаружителей значения $\psi_{\text{тр}}$ и $\psi_{\text{доп}}$ должны совпадать. В случае несоответствия можно выбрать меньшее значение критерия качества.

Заключение. Таким образом, в результате проведенного исследования влияния искажений на алгоритмы обнаружения был создан инструментарий исследования эффективности обнаружителей в зависимости от качества входного изображения. Данный инструментарий позволил:

- 1) подтвердить гипотезу о том, что существует пороговое значение критерия качества входного изображения, при превышении которого эффективность обнаружителя падает;
- 2) разработать методику определения порогового значения критерия качества для любого алгоритма обнаружения с выбранным способом восстановления изображения и, тем самым, согласовать совместную работу подсистем восстановления и обнаружения;
- 3) определить значения такого порога для корреляционного алгоритма обнаружения и разработанного ранее способа восстановления изображения ($\psi = \psi_{\text{доп}} = \psi_{\text{тр}} = 0,82$).

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ методов восстановления оптико-электронных изображений, смазанных при движении / А.Ю. Липлянин [и др.] // Докл. БГУИР. – 2018. – № 2 (112). – С. 40–46.
2. Липлянин, А.Ю. Обоснование критерия оценки качества восстановления искаженных изображений для итерационного алгоритма в системах корреляционного обнаружения / А.Ю. Липлянин, А.В. Хижняк // Докл. БГУИР. – 2019. – № 4 (122). – С. 64–71.
3. Липлянин, А.Ю. Способ восстановления изображений на основе автоматического расчета типа, параметров функции искажения и требуемого количества итераций / А.Ю. Липлянин, А.В. Хижняк // Проблемы инфокоммуникации. – 2019. – №1 (9). – С. 83–90.
4. Removing Camera Shake from a single photograph [Электронный ресурс] / R. Fergus [et al.] – Режим доступа: https://cs.nyu.edu/~fergus/papers/deblur_fergus.pdf. – Дата доступа: 08.02.2019.
5. Липлянин, А.Ю. Способ обработки искаженных линейным смазом или расфокусировкой изображений для автоматической системы корреляционного обнаружения / А.Ю. Липлянин, А.В. Хижняк, А.С. Мамченко // Изв. Гом. гос. ун-та. – 2019. – № 3 (114). – С. 108–111.

Поступила 17.09.2019

METHOD OF DETERMINING THE REQUIRED VALUE OF THE IMAGE QUALITY CRITERION FOR DETECTION ALGORITHMS IN DISTORTION CONDITIONS

A. KHIZNIAK, A. LIPLIANIN

The paper presents the developed technique of determining the required image quality for detection systems operating in conditions of distortion, in terms of the coordination of the recovery and detection stage. An example of calculating the required value of the image quality criterion for the correlation detector in terms of linear distortion, namely, blurring and defocusing, and the developed method of recovery is given

Keywords: image restoration, image quality criterion, coordination of image processing stages.