



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2022-20-3-69-75>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 621.397.6

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБУЕМОГО ЗНАЧЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ИСКАЖЕНИЙ

А.Ю. ЛИПЛЯНИН, А.В. ХИЖНЯК

Военная академия Республики Беларусь (г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 18 апреля 2022

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

Аннотация. В статье представлена усовершенствованная методика определения требуемого значения показателя качества изображения для систем обнаружения, функционирующих в условиях искажений. Вычисленный уровень показателя качества следует использовать для определения факта искажения изображения. На основе предложенной методики разработан способ корреляционного обнаружения в условиях искажений типа «смаз» и «расфокусировка». Разработанный способ корреляционного обнаружения отличается введением трех этапов: идентификации искажений на текущем изображении; формирования ядра свертки на основе типа и параметров искажений; расчета количества итераций, исходя из требуемого и текущего значения показателя качества изображения. Это позволило обеспечить работу корреляционного способа обнаружения в условиях искажений.

Ключевые слова: восстановление изображений, критерий качества изображений, согласование этапов обработки изображений, корреляционный способ обнаружения, искажение изображений.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Липлянин А.Ю., Хижняк А.В. Методика определения требуемого значения показателя качества изображения для алгоритмов обнаружения в условиях искажений. Доклады БГУИР. 2022; 20(3): 69-75.

METHODOLOGY FOR DETERMINING THE REQUIRED VALUE OF THE IMAGE QUALITY INDEX FOR DETECTION ALGORITHMS UNDER DISTORTION CONDITIONS

ANTON Yu. LIPLIANIN, ALEXANDER V. KHIZNIAK

Military academy Republic of Belarus (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 18 April 2022

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

Abstract. The article presents an improved technique for determining the required value of the image quality criterion for detection systems operating under distortion conditions. The calculated level of the quality indicator should be used to determine the fact of image distortion. On the basis of the proposed technique, a method of correlation detection in conditions of "smudge" and "defocusing" type distortions has been developed. The developed method of correlation detection is distinguished by the introduction of three stages: identification of distortions in the current image; formation of the convolution core based on the type and parameters of distortion; calculation of the number of iterations based on the required and current value of the image quality criterion. This made it possible to ensure the operation of the correlation detection method in conditions of distortion.

Keywords: image restoration, image quality criterion, coordination of image processing stages, correlation detection method, image distortion.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

For citation. Liplianin A.Yu., Khizniak A.V. Methodology for Determining the Required Value of the Image Quality Index for Detection Algorithms under Distortion Conditions. Doklady BGUIR. 2022; 20(3): 69-75.

Введение

Интеллектуальные технические системы повсеместно внедрены в повседневную жизнь человека. Одним из самых распространенных интеллектуальных систем являются оптико-электронные системы (ОЭС), одной из ключевых задач которых является обнаружение объектов. Современные ОЭС функционируют в сложных условиях, подразумевающих воздействие внешних (тряска, движение платформ на высоких скоростях, вибрация, погодные условия и др.) и внутренних факторов (помехи сенсора, искажений оптической системы, помехи при передаче данных и др.). Безусловно, все вышеуказанные факторы негативно влияют на качество решения задачи обнаружения. Для исследования различных типов воздействий авторами был разработан универсальный инструментарий [1], который позволяет исследовать не только отдельно взятые алгоритмы, но и их сочетания. Целью настоящей статьи является усовершенствование разработанной ранее методики определения требуемого значения показателя качества изображения для алгоритмов обнаружения, в основе которых положены принципы выделения информации, основанные на пространственных характеристиках и образах, при наличии искажений.

Основная часть

Блок-схема разработанного авторами инструментария представлена на рис. 1. Инструментарий состоит из трех независимых частей. Каждую часть можно представить, как отдельный этап, при этом в рамках второго и первого этапов есть возможность выстраивать конвейер обработки входных кадров, т.е. устанавливать очередность обработки из нескольких алгоритмов.

Определим составные части, алгоритмы и математические выражения для проводимых исследований, которые будем использовать в инструментарии для усовершенствования методики. Первый блок инструментария формирует изображение, описываемое выражением:

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

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

Составляющая $f(x, y)$ может представлять собой как смоделированные, так и реальные видеопоследовательности. Функция искажения, $h(x, y)$ в представленной статье характеризует

искажения типа «смаз» и «расфокусировка». Шумовая составляющая $\eta(x, y)$ моделирует совокупность шумов в ОЭС.

На вход первого блока поступает вектор $\vec{V}(v_1, v_2, \dots, v_k)$, представляющий собой набор параметров характеризующих: оригинальное изображение (размеры изображения, тип математической модели формирования изображения, размеры объекта на изображении, количество объектов и др.); параметры искажений (тип, угол и амплитуду искажения); параметры шума (например, медианное значение шума и среднее квадратическое отклонение и др.). Выходом первого блока является $g(x, y)$.

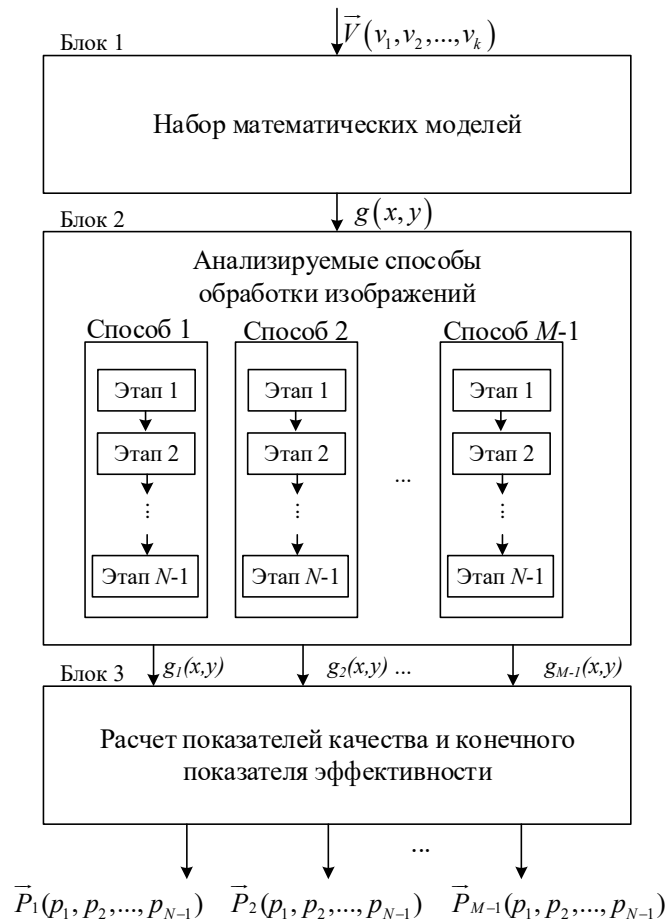


Рис. 1. Блок-схема инструментария для исследования эффективности работы алгоритмов обнаружения
Fig. 1. Flowchart of tools for investigating the effectiveness of detection algorithms

Содержание блока номер два: «Анализируемые способы обработки изображений», – может изменяться в зависимости от совокупности исследуемых алгоритмов обработки изображений, в том числе, алгоритмов восстановления, обнаружения и т.д. Исследованию подлежали: нейросетевой способ обнаружения (нейросеть YOLO v4); корреляционный способ обнаружения; SVM-классификатор совместно с HOG дескрипторами; алгоритм обнаружения, основанный на вейвлет-преобразованиях [3, 6, 7, 8].

Третий блок, предназначенный для снятия текущих показаний и результатов преобразований исходных видеопоследовательностей, отражает количественные характеристики изображения после обработки каждым этапом во втором блоке. Способы обработки изображений можно условно разделить на три группы: первая группа включает в себя различные способы фильтрации и восстановления; вторая группа способы выделения информационных признаков на изображении; третья группа характеризует принятие решения о наличии искомых объектов на изображении. Исходя из целевого назначения групп обработки изображений, их результативность оценивается различным набором параметров. Для алгоритмов третьей группы будем применять показатели, которые наиболее адекватно

отражают работу рассматриваемых алгоритмов обнаружения: точность (precision, выражение 2) и полнота (recall, выражение 3).

$$P = \frac{tp}{tp + fp}, \quad (2)$$

где tp – количество истинно-положительных объектов (true positives); fp – количество ложноположительных объектов (false positives).

$$R = \frac{tp}{tp + fn}, \quad (3)$$

где fn – количество ложноотрицательных объектов (false negatives).

Что касается первой и второй групп, то подробный анализ показателей, по которым возможно определить качество изображения и, соответственно, результаты его преобразований, рассмотрены в статье [2]. На выходе третьего блока формируются векторы показателей, включающие в себя показатели качества обработки изображения на каждом этапе способа $(\vec{P}_1(p_1, p_2, \dots, p_{N-1}), \vec{P}_2(p_1, p_2, \dots, p_{N-1}), \dots, \vec{P}_{M-1}(p_1, p_2, \dots, p_{N-1}))$.

На основе проведенных исследований с использованием представленного инструментария предложена методика выбора требуемого значения показателя качества ($\psi_{тр}$) входного изображения на основе характеристик обнаружения с приведенным примером для типового корреляционного алгоритма обнаружения и предлагаемым способом восстановления изображения.

Ниже представлены этапы разработанной методики выбора $\psi_{тр}$ на примере корреляционного алгоритма обнаружения [5].

1. Задать необходимые значения полноты, точности.

Для определения требуемых значений качества алгоритма обнаружения используются результаты, представленные [3], где $P = 0,892$, $R = 0,901$.

2. Построить зависимости показателей качества работы алгоритма обнаружения от показателя качества изображения ($R = f(\psi)$, $P = f(\psi)$).

Для получения искомых зависимостей необходимо сформировать изображение на основе входного вектора \vec{V} . При формировании изображения необходимо амплитуду искажений ($A_{иск}$) увеличивать на 1 пиксель на каждой итерации с целью получения изображения с различными значениями показателя качества. Полученное изображение подать на блок 2 для дальнейшей обработки анализируемыми способами. При этом в блок номер 3 необходимо подать координаты объектов для расчета показателей качества обнаружения (выражения 2 и 3) и расчета показателя качества изображения согласно выражению 4 [2]:

$$\psi = \frac{1}{n} \frac{\sum_{i=0}^n p_i(\nabla g(x, y))}{p_0(\nabla g(x, y))}, \quad (4)$$

где $\nabla g(x, y)$ – результирующее изображение градиента, которое является суммой изображений после свертки $g(x, y)$ операторами Собеля и Лапласа; $p_i(\nabla g(x, y))$ – гистограмма градиента искаженного изображения; $p_0(\nabla g(x, y))$ – количество пикселей с нулевой интенсивностью; n – величина динамического диапазона изображения.

После обработки входного изображения (выход блока 2), оно подается на блок 3. В блоке 3 рассчитываются показатели качества обнаружения (выражения 2 и 3) на основе данных об истинных объектах, полученных в блоке 1 и обнаруженных в блоке 2. Они соответствуют текущему показателю качества изображения (выражение 4). Полученные зависимости представлены на рис. 2 для полноты и рис. 3. для точности. Прерывистой линией показаны зависимости для размера объекта 15 на 15 пикселей, а сплошной – 6 на 6 пикселей.

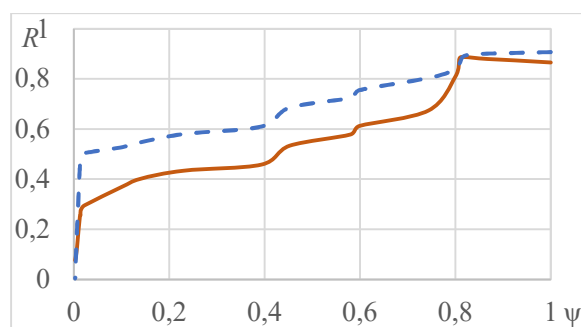


Рис. 2. Зависимость полноты от показателя качества изображения
Fig. 2. The dependence of recall on the image quality value

Из зависимости, представленной на рис. 2, видно, что до значения показателя качества равного 0,82, кривая либо практически не убывает, либо наблюдается ее рост для изображения с объектом размером 6 на 6. Это обусловлено тем, что искажения малой амплитуды типа «смаз» и «расфокусировка» играют роль фильтра, убирая шум и помехи. После значения показателя качества 0,82 зависимости начинают убывать с различной интенсивностью.

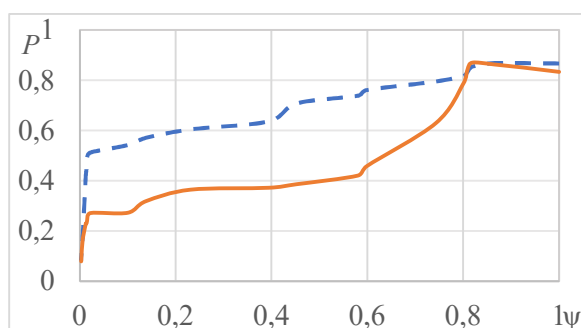


Рис. 3. Зависимость точности от показателя качества изображения
Fig. 3. The dependence of precision on the image quality value

Зависимость, представленная на рис. 3, имеет похожий вид зависимости на рис. 2. Очевидно, что при меньших размерах объекта, чувствительность алгоритма обнаружения повышается, о чем свидетельствует гораздо большая крутизна сплошной кривой.

3. Сопоставляя зависимости, полученные в пункте 2 ($R = f(\psi), P = f(\psi)$), определяется $\psi_{тр}$, которое соответствует минимальному значению среди зависимостей, определенных в пункте 2, соответствующих заданным уровням показателей качества обнаружения (пункт 1).

Требуемое значение показателя качества для корреляционного алгоритма обнаружения составляет $\psi_{тр} = 0,82$. Оно соответствует максимально допустимому уровню искажений в 3 пикселя, когда восстановление не требуется для объекта интереса не менее 6×6 пикселей. Ниже приведено содержание этапов и блок-схема алгоритма корреляционного обнаружения в условиях искажений типа «смаз» и «расфокусировка» (рис. 4).

Этап 1. Получение видеопоследовательности от оптико-электронного сенсора и запись текущего изображения (ТИ) в запоминающее устройство.

Этап 2. Расчет показателя ψ (выражение 4).

Этап 3. Установка наличия факта искажения по вычисленному показателю ψ . Если он меньше требуемого, то переходим к этапу 5, иначе проверяем уровень искажений, не выше ли он чем допустимое значение. Если значение показателя качества текущего изображения больше чем допустимое, то пропускаем кадр, иначе выполняем восстановление текущего изображения (этап 4).

Этап 4. Реализация процедуры восстановления изображения [4].

Этап 5. Фильтрация шумов, обусловленных помехами оптико-электронного сенсора.

Этап 6. Нормализация изображения.

Этап 7. Расчет корреляционной поверхности.

Этап 8. Пороговая обработка.

Этап 9. Выдача координат обнаруженных объектов.

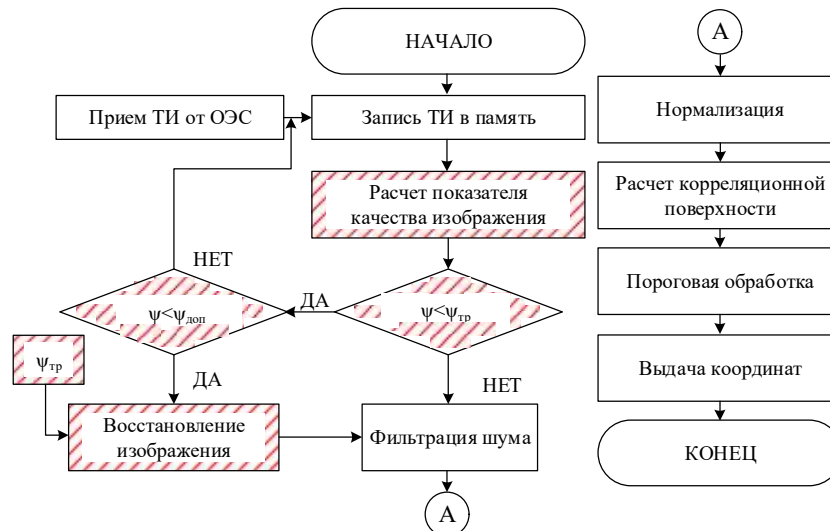


Рис. 4. Блок-схема корреляционного алгоритма обнаружения в условиях искажений типа «смаз» и «расфокусировка»

Fig. 4. Block diagram of the correlation detection algorithm in the conditions of "smudging" and "defocusing"

Таким образом, в алгоритм типового корреляционного обнаружителя были введены этапы: расчета значения показателя качества входного изображения; определение факта искажения; восстановление изображения. Авторские блоки разработанного алгоритма выделены штриховкой.

Заклучение

Разработана методика определения допустимого значения показателя качества изображения. Методика позволяет принять решение о необходимости применения восстановления в зависимости от используемого алгоритма обнаружения и параметров искажений. Отличительной особенностью разработанной методики является вычисление требуемого и достаточного значений показателя качества изображения. Показатель определяет условия, когда для работы алгоритма обнаружения требуется восстановление изображения. Использование предложенной методики позволило разработать корреляционный способ обнаружения малоразмерных объектов в условиях искажений типа «смаз» и «расфокусировка», отличающийся введением трех этапов: идентификации искажений на текущем изображении; формирования ядра свертки на основе типа и параметров искажений; расчета количества итераций, исходя из требуемого и текущего значений показателя качества изображения. Введенные этапы обеспечивают работу алгоритма обнаружения с показателями точности не менее 0,8 и полноты не менее 0,9.

Список литературы

1. Липлянин А.Ю., Хижняк А.В., Сергеенко А.В. Универсальный инструментарий для исследования работы алгоритмов обнаружения в оптическом диапазоне. *Вестник Полоцкого государственного университета*. 2020;12(116):103-108.
2. Липлянин А.Ю. Хижняк А.В., Сергеенко А.В., Царенков Н.В. Обоснование критерия оценки качества восстановления искаженных изображений для итерационного алгоритма в системах корреляционного обнаружения. *Докл. БГУИР*. 2019;4(122):64-71.
3. Липлянин А.Ю., Хижняк А.В., Сергеенко А.В. Исследование работы алгоритмов обнаружения оптически наблюдаемых объектов с учетом воздействия внешних возмущающих факторов. *Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины*. 2021;6(129):77-83.
4. Липлянин А.Ю., Хижняк А.В. Способ восстановления изображений на основе автоматического расчета типа, параметров функции искажения и требуемого количества итераций. *Проблемы инфокоммуникаций*. 2019;1(9):83-90.
5. Bishop C.M. *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer. 2006.
6. Redmon J., Farhadi A. YOLOv3: An Incremental Improvement. Washington: University of Washington; 2018.
7. Diaz-Ramirez V.H. Picos K., Kober V. Target tracking in nonuniform illumination conditions using locally adaptive correlation filters. *Optics Communications*. 2014;323;32-43.

8. Wong S. Advanced Correlation Tracking of Objects in Cluttered Imagery // *The Proceedings of SPIE: Acquisition, Tracking and Pointing*. 2005;19.

References

1. Liplyanin A.Yu., Khizhnyak A.V., Sergeyenko A.V. Analysis of algorithms for detecting targets in the optical range. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2020;12(116):103-108.
2. Liplyanin A.Yu., Khizhnyak A.V., Sergeyenko A.V., Tsarenkov N.V. Substantiation of the criterion for assessing the quality of reconstructing distorted images for an iterative algorithm in correlation detection systems. *Dokl. BGUIR*. 2019;4(122):64-71.
3. Liplyanin A.Yu., Khizhnyak A.V., Sergeyenko A.V. Investigation of the operation of algorithms for detecting optically observed objects, taking into account the impact of external disturbing factors. *Proceedings of the Gomel State University named after F. Skorina*. 2021;6(129);77-83.
4. Liplyanin A.Yu., Khizhnyak A.V. A method for restoring images based on automatic calculation of the type, parameters of the distortion function and the required number of iterations. *Infocommunication Problems*. 2019;1(9);83-90.
5. Bishop C.M. *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer. 2006.
6. Redmon J., Farhadi A. YOLOv3: An Incremental Improvement. Washington: University of Washington; 2018.
7. Diaz-Ramirez V.H. Picos K., Kober V. Target tracking in nonuniform illumination conditions using locally adaptive correlation filters. *Optics Communications*. 2014;323;32-43.
8. Wong S. Advanced Correlation Tracking of Objects in Cluttered Imagery. // *The Proceedings of SPIE: Acquisition, Tracking and Pointing*. 2005;(19).

Вклад авторов

Хижняк А.В. осуществил постановку задачи для проведения исследования.

Липлянин А.Ю. разработал методику определения допустимого значения показателя качества изображения и корреляционный способ обнаружения объектов в условиях искажений типа «смаз» и «расфокусировка».

Authors' contribution

Khizniak Alexander V. carried out the formulation of the task for the research.

Liplianin Anton Yu. developed a methodology for determining the acceptable value of the image quality criterion and a correlation method for detecting objects in conditions of distortion such as "smudge" and "defocusing".

Сведения об авторах

Липлянин А.Ю., преподаватель кафедры автоматизированных систем управления учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь».

Хижняк А.В., к. т. н., доцент, ведущий научный сотрудник 2 группы научно-исследовательской лаборатории факультета Связи и автоматизированных систем управления учреждения образования Военная академия Республики Беларусь.

Information about the authors

Liplianin A.Y., Lectural at the Department of Automated Control Systems of the Military Academy of the Republic of Belarus.

Khizniak A.V., Cand of Sci, Associate Professor, Leading Researcher of the 2nd Group at the Research Laboratory of the Department of Communications and Automated Control Systems of the Military Academy of the Republic of Belarus.

Адрес для корреспонденции

220057, Республика Беларусь,
Минск, пр. Независимости, 220,
Военная академия Республики Беларусь
тел: +375-29-504-68-59;
e-mail: Liplianin.anton@yandex.ru
Липлянин Антон Юрьевич

Address for correspondence

220057, Republic of Belarus,
Minsk, Niezalieznasci Ave., 220,
Military Academy of the Republic of Belarus
tel. +375-29-504-68-59;
e-mail: Liplianin.anton@yandex.ru
Liplianin Anton Yur'evich