

**В.А. Рогачёв, А.А. Закутаев, В.В. Ширококов, В.М. Петрушенко**  
**ОГРАНИЧЕНИЯ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ**  
**МЕТОДОВ В СИСТЕМАХ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ**

*Рассмотрено влияние изменений размеров объекта на характеристики систем компьютерного зрения при решении задачи обнаружения объекта на подстилающем фоне в присутствии шумов. Проанализированы основные ограничения алгоритмов, обеспечивающие обработку изображений с учетом указанных особенностей. Предложены пути преодоления выявленных недостатков, позволяющие повысить отношение сигнал – шум, а также повысить точность оценки координат.*

**Ключевые слова:** системы компьютерного зрения, корреляционно-экстремальные методы, точность оценки координат.

**V.A. Rogachev, A.A. Zakutaev, V.V. Shirobokov, V.M. Petruschenko**  
**LIMITATIONS OF CORRELATION-EXTREME METHODS**  
**IN COMPUTER VISION SYSTEMS**

*The influence of changes in the size of an object on the characteristics of computer vision systems when solving the task of detecting an object on a background in the presence of noise is considered. The basic limitations of algorithms providing image processing taking into account the specified features are analyzed. The ways to overcome the identified shortcomings, which make it possible to increase the signal-to-noise ratio, as well as to improve the accuracy of the coordinate estimation are proposed.*

**Keywords:** computer vision systems, correlation-extreme methods, methods for estimating coordinates.

Развитие технологий за последнее десятилетие позволило значительно повысить тактико-технические характеристики (ТТХ) информационных систем компьютерного зрения (СКЗ). Известный опыт применения СКЗ для наблюдения и целеуказания говорит о необходимости улучшения систем управления, на которые ложатся основные задачи, связанные с обнаружением, распознаванием и интерпретацией данных.

Исследование измерительных возможностей СКЗ показало, что большинство существующих СКЗ при решении задач наведения имеют ряд трудностей, связанных с несовершенством применяемых ранее алгоритмов.

Используемые в СКЗ алгоритмы были разработаны с учетом следующих особенностей процесса наведения:

- рабочий спектральный диапазон – инфракрасный (ИК);
- априорное знание габаритных размеров цели.

Основные подходы и алгоритмы, обеспечивающие обработку с учетом указанных особенностей, подробно рассмотрены в [1; 2; 3; 4; 5; 6].

В общем случае при решении задачи обнаружения объекта на подстилающем фоне в присутствии шумов применяется «окно обработки» постоянных размеров, вычисляющее «контраст» между сигнальной и фоновой областями.

В данной статье рассматривается влияние изменений размеров объекта на характеристики СКЗ.

При проектировании системы обработки вначале на основе априорных данных формируется сигнальная область окна обработки. Размеры сигнальной области соответствуют размерам проекции объекта наблюдения. Вокруг сигнальной области создается фоновая область «окна обработки».

На основе отсчетов сигнальной и фоновой областей формируется решающая статистика (функция), оптимальным образом оценивающая «контраст» областей. Данная статистика зависит от режима работы, в котором находится СКЗ [5; 6]. «Окно обработки» сканирует все поле изображения. При достаточном отношении сигнал-шум происходит превышение порога и обнаружение объекта.

Например, в режиме ограничения внутренним шумом при нормальной модели распределения шумов, решающая статистика представляет собой отношение разности средних значений элементов по сигнальной и фоновой областям к оценке среднеквадратичного отклонения в фоновой области. Таким образом вычисляется статистика Стьюдента, выражаемая следующим образом [5; 6; 7]:

$$t = (\bar{y} - \bar{x}) / \sqrt{\left( \sum_{i=1}^M (x_i - \bar{x})^2 / (M - 1) \right)}, \quad (1)$$

где  $\bar{y} - \bar{x}$  – разность средних сигнальной и фоновых областей,  $\sum_{i=1}^M (x_i - \bar{x})^2 / (M - 1)$  – оценка дисперсии фоновой области.

Значение, принятое статистикой  $t$ , сравнивается с пороговым уровнем, определяемым распределением статистики Стьюдента, числом элементов «окна обработки» и заданным уровнем ложной тревоги

$$\lambda = S_{M+N-2}^{-1} \{1 - \alpha\},$$

где  $\lambda$  – пороговый уровень,  $S_{M+N-2}^{-1} \{1 - \alpha\}$  – квантиль распределения Стьюдента уровня (вероятности ложной тревоги)  $\alpha$  и с  $M + N - 2$  степенями свободы.

После превышения порога производится оконтуривание полученной отметки и определение ее «центра тяжести», координаты которого принимаются за координаты цели. На основе этих координат производится расчет управляющего воздействия для СКЗ.

Рассмотрим применение данного подхода к изображению объекта наблюдения (рис. 1).



Рис. 1. Изображение корабля:  
слева – ИК диапазон; справа – обработанное изображение

Изображение справа после порогового устройства поступает на блок оценки координат и далее – на устройство управления.

Размеры сигнального окна обработки (рис. 2) согласованы с размерами проекции объекта.

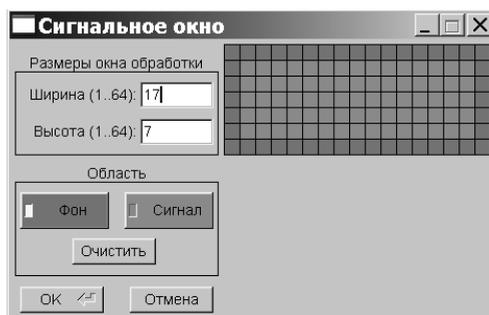


Рис. 2. Установка параметров окна обработки

Повышение ТТХ СКЗ привело к тому, что в процессе наведения стало возможным получение большего количества кадров в последовательности, а также увеличение самого периода наблюдения. Следствием этого стало получение изображений объекта с большим диапазоном изменения размеров.

Использование вышеприведенного алгоритма с учетом повышенных ТТХ СКЗ позволило выявить существенное ограничение диапазона его применения. Вследствие изменения расстояния между СКЗ и объектом возникает изменение размеров ее проекции на плоскости фотоприемного устройства (ФПУ), что, в свою очередь, вызывает рассогласование сигнальной области «окна обработки» [8]. Данное рассогласование приводит к уменьшению отношения «сигнал/шум», а следовательно, к снижению вероятности правильного обнаружения, а также «размыванию» формы обработанного сигнала, что, в свою очередь, влечет уменьшение точности оценки координат цели.

Для представления возможных вариантов рассогласования и оценки проводилось моделированное изображение размерами 256 на 256 пикселей и 8-ю битами на пиксель с параметрами (рис. 3):

- уровень равномерного фона – 100;
- среднеквадратическое отклонение шума – 10;
- сигнал (19 на 9 пикселей).

Моделированное тестовое изображение представляет собой изображение с тремя сигналами: левый – отношение сигнал-шум равно 1, в центре – отношение сигнал-шум равно 3, справа – отношение сигнал-шум равно 5. Изображение с выделенной строкой иллюстрирует выделенную строку с номером 124, проходящую через центры сигналов с отношением сигнал-шум 1, 3, 5.

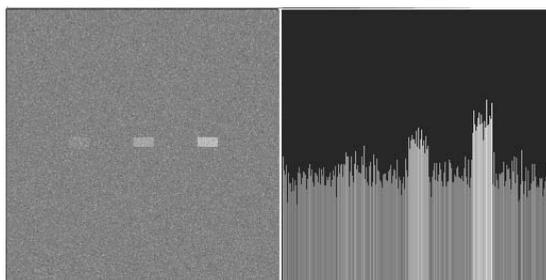


Рис. 3. Моделированное тестовое изображение:  
слева – исходное тестовое изображение, справа – изображение с выделенной строкой

Результаты обработки исходного изображения «окном обработки» с сигнальной областью, согласованной с размерами сигнала, представлены на рис. 4.



Рис. 4. Результаты обработки исходного изображения «окном обработки» с сигнальной областью, согласованной с размерами сигнала:  
слева – изображение после обработки; справа – выделенная линия по центру сигналов

В случае рассогласования сигнальной области и сигнала при размерах сигнала меньше «окна обработки» получаем следующие результаты (рис. 5).

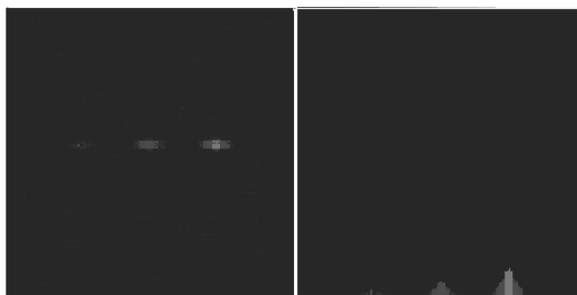


Рис. 5. Результаты обработки исходного изображения «окном обработки» при размерах сигнала меньше «окна обработки»:  
слева – изображение после обработки; справа – выделенная линия по центру сигналов

В данном случае, вследствие того, что размеры сигнала меньше сигнальной области, а усреднение производится по всей сигнальной области, отношение сигнал-шум снижается. При этом вершина пирамиды, получающейся после обработки, становится плоской, что приводит к уменьшению точности оценки координат.

В случае рассогласования сигнальной области и сигнала при размерах сигнала больше «окна обработки» получим результаты, представленные на рис. 6.

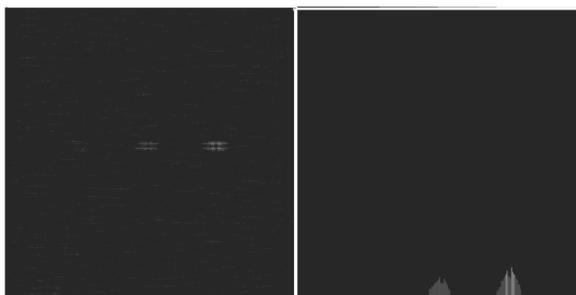


Рис. 6. Результаты обработки исходного изображения «окном обработки» при размерах сигнала больше «окна обработки»:  
слева – изображение после обработки; справа – выделенная линия по центру сигналов

В данном случае, вследствие того, что размеры сигнала больше сигнальной области, часть сигнала попадает в фоновую область, происходит уменьшение сигнала из-за вычитания увеличенного фона, и отношение сигнал-шум снижается. В этих условиях при совпадении центров сигнала и сигнальной области сигнал полностью подавляется, а пирамида, получающаяся после обработки, распадается на четыре, что приводит к снижению отношения сигнал-шум, а также приводит к уменьшению точности оценки координат [9; 10].

При частичном перекрытии размеров сигнала и «окна обработки» уменьшение сигнала происходит по двум причинам: усреднение по области, большей, чем сигнал, и вычитание увеличенной сигналом оценки фона. Эти эффекты приводят к снижению отношения сигнал-шум.

В этих условиях пирамида, получающаяся после обработки, также распадается на четыре, что приводит к снижению отношения сигнал-шум и к уменьшению точности оценки координат.

Одним из решений данной проблемы является введение в «окно обработки» дополнительной области, лежащей между сигнальной и фоновой областями. Данная область, «область неопределенности», которая не учитывается при вычислении статистики, позволяет учитывать изменение размеров сигнала (при этом сигнал не попадает в фоновую область). Другим решением является вычисление оценок, устойчивых к наличию помех (наличие части сигнала в фоновой области).

### **Заключение**

Вследствие изменения условий наблюдения в СКЗ возможно рассогласование размеров наблюдаемого объекта и сигнальной области «окна обработки». Это, в свою очередь, приводит к снижению отношения сигнал-шум. Дополнительным эффектом является «размывание» формы обработанного сигнала, что приводит к уменьшению точности оценки координат. Определение критериев и порогов, при которых необходимо производить изменение составляющих «окна обработки», а также вычисление устойчивых оценок требует проведения дальнейших исследований.

### **Литература**

1. *Хадсон Р.* Инфракрасные системы. – М. : Мир, 1972. – 536 с.
2. *Обработка изображений и цифровая фильтрация / под ред. Т. Хуанга.* – М. : Мир, 1979. – 320 с.
3. *Гонсалес Р.* Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М. : Техносфера, 2005. – 1072 с.
4. *Мошкин В.И.* Техническое зрение роботов / В.И. Мошкин, А.А. Петров, В.С. Титов, Ю.Г. Якушенков; под общ. ред. Ю.Г. Якушенкова. – М. : Машиностроение, 1990. – 272 с.
5. *Колбанёв М.О.* Оптимизация выделения полезного сигнала в многорежимных информационных системах / М.О. Колбанёв, В.А. Рогачёв // Вопросы радиоэлектроники. Сер. РЛТ. – 2010. – Вып. 1. – С. 92–101.
6. *Рогачёв В.А.* Особенности обработки сигнала в прецизионных телевизионных системах // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. – 2011. – № 21. – С. 81–86.
7. *Рогачёв В.А.* Влияние неравномерности чувствительности фотоприемника на выделение сигналов в ТВ системах при внутренних и фоновых шумах // Техника средств связи. Сер. Техника телевидения. – 1990. – № 5. – С. 31–40.
8. *Ишанин Г.Г.* Источники и приемники излучения / Г.Г. Ишанин, Э.Д. Панков, А.Л. Андреев, Г.В. Польщикова. – СПб. : Политехника, 1991. – 240 с.
9. *Васильченко Н.В.* Измерение параметров приемников оптического излучения / Н.В. Васильченко, В.А. Борисов, Л.С. Кременчугский, Г.Э. Левин. – М. : Радио и связь, 1983. – 320 с.

10. *Умбиталиев А.А.* Управление режимом накопления в твердотельных фотоприемниках / А.А. Умбиталиев, А.К. Цыцулин, А.А. Манцветов, В.В. Козлов, А.Е. Рычажников, П.С. Баранов, А.В. Иванова // *Оптический журнал.* – 2011. – № 11. – С. 84–92.

11. *Широбокос В.В., Нечай А.А.* Алгоритм планирования энергосберегающей параллельной обработки информации с учетом информационной важности и времени поступления задач // *Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление».* – 2017. – № 1. – С. 88–93.

12. *Нечай А.А.* Моделирование системы управления робототехническим комплексом ликвидации чрезвычайных ситуаций на основе многомерных копула-функций // *Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники : сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции,* 2016. – С. 287–292.

## References

1. *Khadson, R.* *Infrakrasnye sistemy.* – М. : Mir, 1972. – 536 s.
2. *Obrabotka izobrazheniy i tsifrovaya fil'tratsiya / pod red. T. Khuanga.* – М. : Mir, 1979. – 320 s.
3. *Gonsales, R.* *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy / R. Gonsales, R. Vuds.* – М. : Tekhnosfera, 2005. – 1072 s.
4. *Moshkin, V.I.* *Tekhnicheskoe zrenie robotov / V.I. Moshkin, A.A. Petrov, V.S. Titov, Yu.G. Yakushenkov; pod obshch. red. Yu.G. Yakushenkova.* – М. : Mashinostroenie, 1990. – 272 s.
5. *Kolbanyov, M.O.* *Optimizatsiya vydeleniya poleznogo signala v mnogorezhimnykh informatsionnykh sistemakh / M.O. Kolbanyov, V.A. Rogachyov // Voprosy radioelektroniki. Ser. RLT.* – 2010. – Вып. 1. – С. 92–101.
6. *Rogachyov, V.A.* *Osobennosti obrabotki signala v pretsizionnykh televizionnykh sistemakh // Voprosy radioelektroniki. Seriya: Tekhnika televideniya.* – 2011. – № 21. – С. 81–86.
7. *Rogachyov, V.A.* *Vliyanie neravnomernosti chuvstvitel'nosti fotopriemnika na vydelenie signalov v TV sistemakh pri vnutrennikh i fonovykh shumakh // Tekhnika sredstv svyazi. Ser. Tekhnika televideniya.* – 1990. – № 5. – С. 31–40.
8. *Ishanin, G.G.* *Istochniki i priemniki izlucheniya / G.G. Ishanin, E.D. Pankov, A.L. Andreev, G.V. Pol'shchikov.* – SPb. : Politekhnik, 1991. – 240 s.
9. *Vasil'chenko, N.V.* *Izmerenie parametrov priemnikov opticheskogo izlucheniya / N.V. Vasil'chenko, V.A. Borisov, L.S. Kremenchugskiy, G.E. Levin.* – М. : Radio i svyaz', 1983. – 320 s.
10. *Umbitaliev, A.A.* *Upravlenie rezhimom nakopleniya v tverdotel'nykh fotopriemnikakh / A.A. Umbitaliev, A.K. Tsytsulin, A.A. Mantsvetov, V.V. Kozlov, A.E. Rychazhnikov, P.S. Baranov, A.V. Ivanova // Opticheskiy zhurnal.* – 2011. – № 11. – С. 84–92.
11. *Shirobokov, V.V., Nechay, A.A.* *Algoritm planirovaniya energosberegayushchey parallel'noy obrabotki informatsii s uchedom informatsionnoy vazhnosti i vremeni postupleniya zadach // Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie".* – 2017. – № 1. – С. 88–93.
12. *Nechay, A.A.* *Modelirovanie sistemy upravleniya robototekhnicheskim kompleksom likvidatsii chrezvychaynykh situatsiy na osnove mnogomernykh kopula-funktsiy // Sovremennye problemy sozdaniya i ekspluatatsii vooruzheniya, voennoy i spetsial'noy tekhniki : sbornik statey III Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii,* 2016. – С. 287–292.