

Костров В.В.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: vvk\_2004@rambler.ru*

### **Оценочно-компенсационный алгоритм поиска объектов на фоне нестационарного фона**

При организации автоматического поиска объектов на изображениях, получаемых от оптико-электронных систем (ОЭС) инфракрасного диапазона, одной из основных проблем является наличие нестационарного фона [1]. В случае наблюдения воздушного пространства таким фоном становится излучающая атмосфера, содержащая различные облачные и другие метеообразования. Матричные фотоприемные устройства позволяют получить развертку изображения, аналогичную телевизионному, причем растр, как правило, имеет прямоугольную конфигурацию, а сигнал представляется в виде набора строк. Такой сигнал обрабатывается в специальном видеопроцессоре, причем организация процедур обработки может ограничиваться в простейшем случае пределами одной строки, в более сложных случаях – охватывать несколько строк и, наконец, наиболее полную информацию можно получить обработкой нескольких кадров. В рамках данной работы для компенсации фона используется информация в пределах одного кадра.

Цель доклада – рассмотреть с общих позиций оценочно-компенсационного приема принципы и алгоритмы компенсации фона в нестационарных условиях.

Наблюдаемый процесс на входе устройства обработки сигналов ОЭС может быть представлен в традиционном виде [2, 3]

$$U_{ij}^{(k)} = \theta S_{ij} + V_{ij} + \xi_{ij},$$

где  $\theta$  – индикатор наличия или отсутствия сигнала,  $\theta = 0$  в случае отсутствия сигнала или  $\theta = 1$  при его наличии;  $S_{ij}$  – полезный сигнал;  $V_{ij}$  – коррелированная помеха, аппроксимирующая атмосферный фон (АФ);  $\xi_{ij}$  – широкополосный шум, аппроксимирующий некоррелированную составляющую наблюдаемого сигнала (шум усилителей сигналов и матричного приемника изображений);  $i$  – индекс времени по строке,  $i = 0, 1, 2, \dots, W$ ;  $j$  – номер строки,  $j = 0, 1, 2, \dots, H$ ;  $W \times H$  – размер изображения по ширине и высоте;  $k$  – номер кадра.

Информация об образе объекта ограничена и имеет существенную априорную неопределенность, начиная от пространственного положения объекта и заканчивая конфигурацией его отметки. Яркость объекта (уровень принимаемого сигнала) носит случайный характер. К известным характеристикам объекта можно отнести меньший размер по сравнению с размерами излучающих атмосферных неоднородностей, более интенсивное излучение по сравнению с АФ, поскольку искомый аэродинамический объект всегда имеет более высокую температуру, обусловленную горением топлива. Кроме того, можно отметить, что изображение точки является в общем случае размытым и вокруг точки наблюдается некоторое довольно быстрое снижение яркости. Если сравнивать системы видимого диапазона и ИК диапазона, то можно отметить, что резкость изображения с увеличением длины волны падает, и изображение точки растекается по соседним пикселям.

Такая постановка задачи наиболее полно отвечает использованию широкоугольных ОЭС. На больших расстояниях и широких углах обзора по азимутальной и угломестной координате при размерах объектов до 5...10 м относительное изображение объекта на изображении вырождается в точку. Атмосферный фон в таких условиях представляет собой нестационарный процесс, который может иметь большие перепады яркости, например при переходе линии горизонта. Вместе с тем, АФ имеет достаточно сильную корреляцию, зависящую от структуры облачных образований, что может быть использовано для фильтрации и компенсации АФ.

Перед устройствами обработки изображений (УОИ) стоят задачи обработки случайных сигналов в условиях априорной неопределенности и атмосферного фона, среди которых на первом плане стоит задача обнаружения сигналов. Данная задача является бинарной, в процессе решения которой УОИ должно произвести выбор между двумя гипотезами: 1) присутствует только аддитивная смесь шума электронных устройств ОЭС и атмосферного фона, 2) присутствует аддитивная смесь сигнала объекта, шума электронных устройств ОЭС и АФ.

Обобщенная структура ОЭС с компенсатором помех представлена на рис. 1. В типовой схеме (показана пунктиром) после оцифровки видеосигнал поступает на блок цифровой обработки видеопроцессора, где осуществляется повышение контраста, определение границ, сглаживание шума, коррекция битых пикселей и др. обработка для улучшения визуальных свойств изображений.

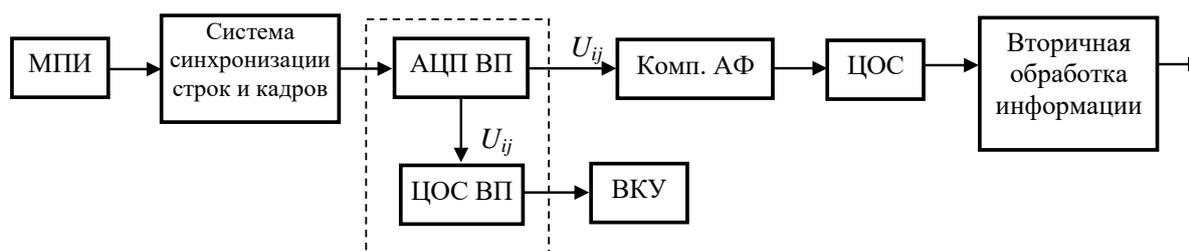


Рис. 1 – Обобщенная структура ОЭС с компенсатором помех

МПИ – матричный приемник изображений; АЦП ВП – аналого-цифровой преобразователь видеопроцессора; ЦОС – цифровая обработка сигналов; ЦОС ВП – цифровая обработка сигналов видеопроцессора; Комп. АФ – компенсатор атмосферного фона; ВКУ – видеоконтрольное устройство

В ЦОС после компенсации АФ проводится анализ изображения и принимается решение об обнаружении объектов, т.е. по существу производится переход к бинаризованным изображениям, содержащим только полезную информацию. На основании полученных изображений оцениваются координаты и размеры объекта, которые после вторичной обработки информации передаются дальше к исполнительным устройствам.

В автоматизированной системе обработки сигналов ОЭС центральное место занимает компенсатор атмосферного фона, структура которого приведена на рис. 2. Основой синтеза квазиоптимальных алгоритмов является устройство оценивания АФ. Способ получения оценки

$\hat{V}_{0(ij)-1}$  зависит от формы области  $G_{i,j}^{k-1}$ , которая используется для ее построения.

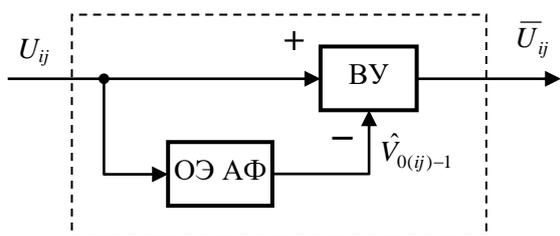


Рис. 2 – Структура компенсатора АФ:  
ОЭ АФ – оптимальный (квазиоптимальный) экстраполятор атмосферного фона

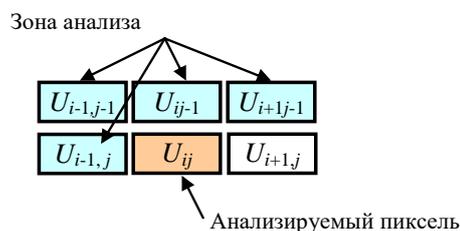


Рис. 3 – Возможная зона анализа и оценивания нестационарного фона

Одним из самых простых методов подавления коррелированных помех является череспериодная компенсация. В качестве оценки помехи используется ее предшествующее значение, что соответствует полной априорной неопределенности. Этот метод широко используется в радиолокационных системах селекции движущихся целей. Для компенсации пассивной помех из текущего значения наблюдаемого процесса вычитается его предыдущее. Результат компенсации при построчном методе будет записан следующим образом:

$\bar{U}_{ij} = U_{ij} - U_{i-1,j}$ , поэтому применительно к ОЭС данный подход целесообразно называть череспиксельной компенсацией.

В качестве области  $G_{i,j}^{k-1}$  оценивания нестационарного фона могут быть использованы более сложные конструкции, которые учитывают корреляционные связи между строками (по столбцам матричного представления пикселей). Пример такой области приведен на рис. 3. Для этой зоны область, по которой оценивается помеха, состоит из отсчетов  $U_{i-1,j-1}, U_{i,j-1}, U_{i+1,j-1}, U_{i-1,j}$ . Здесь 2 отсчета  $U_{i,j-1}, U_{i-1,j}$  учитывают корреляционные связи анализируемого пикселя по столбцу и строке и 2 отсчета  $U_{i-1,j-1}, U_{i+1,j-1}$  – диагональные корреляционные связи. Заметим, что эти отсчеты получены до приема текущего пикселя  $U_{ij}$ , поэтому они могут использоваться (также как при череспиксельной компенсации) для обработки в реальном времени. Оценка прогноза яркости АФ для компенсации в этом случае имеет вид

$$\hat{V}_{0(ij)-1} = \frac{1}{4} \left( U_{i-1,j} + \sum_{k=1}^{k-1} U_{i+k,j-1} \right).$$

На рис. 4 приведены результаты моделирования фоно-целевой обстановки и работы схемы череспиксельной компенсации. На рис. 4а представлены идеализированные цели, к которым подмешивался шум и нестационарный фон (рис. 4б). Рис. 4в соответствует сигналам после череспиксельной компенсации. Данное изображение показывает, что нестационарный фон скомпенсирован, присутствуют остаточные шумы устройства. Детальный анализ строк с объектами свидетельствует о том, что сигналы от объектов являются дифференцированными, двухполярными, средний уровень этих двухполярных сигналов и определяет общий серый фон. Кроме того, переходной процесс такого фильтра визуально приводит к появлению «тени». Тем не менее, автоматическое обнаружение с использованием адаптивного порога [4] дает устойчивое обнаружение объекта (рис. 4г). По форме полученные отметки легко ассоциируются с исходными изображениями рис. 4а. Дополнительная декорреляция сигналов по столбцам ухудшает визуальное восприятие объектов на изображении (рис. 4д), при этом начинает проявляться корреляционная связь по диагональным направлениям в виде характерной текстуры. Однако эта текстура не нарушает работу автоматического обнаружителя, результаты работы которого в виде бинарного изображения приведены на рис. 4е. Следует заметить, что объекты наблюдения превратились в компактные многоточечные цели, анализ и идентификацию которых необходимо производить на этапе вторичной обработки информации.

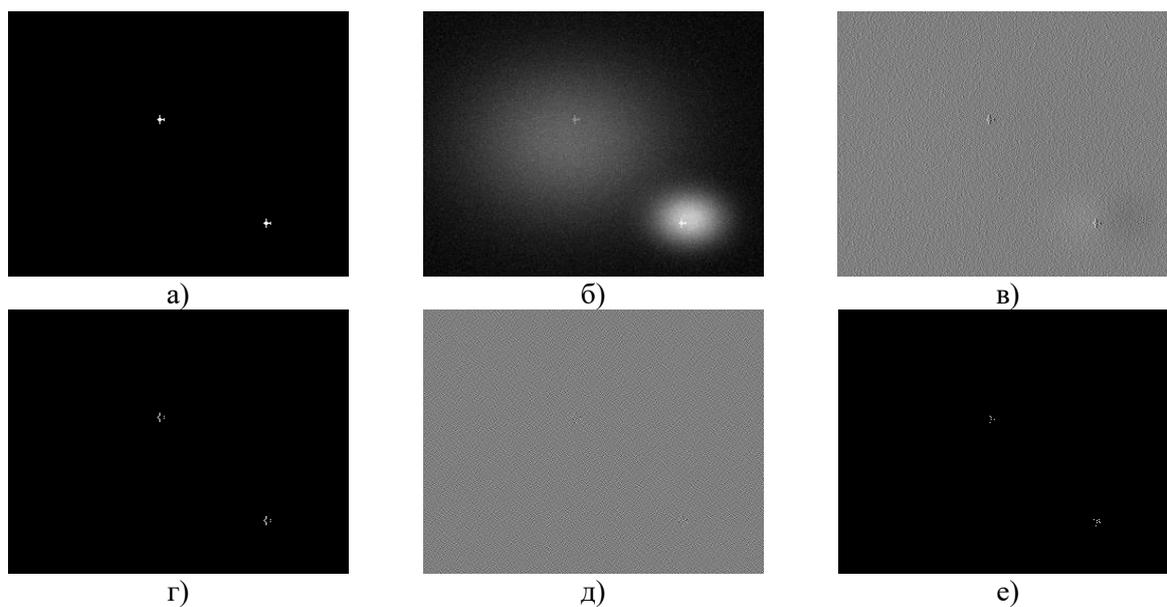


Рис.4 – Череспиксельная компенсация АФ при отношении сигнал-шум 10 дБ

В той же фоно-целевой обстановке производилась обработка с использованием четырехточечного каузального фильтра (рис. 3) оценивания нестационарного фона. На рис. 5а представлено изображение на выходе этого пространственного фильтра. По сравнению с рис. 4в и рис. 4д полученное изображение дает более четкие контуры объектов, которые еще более проявляются, если использовать модуль результата фильтрации (рис. 5б). Бинарное изображение результатов обнаружения (рис. 5в) дает более близкое к оригиналам отображение наблюдаемых объектов по сравнению с рис. 4е.

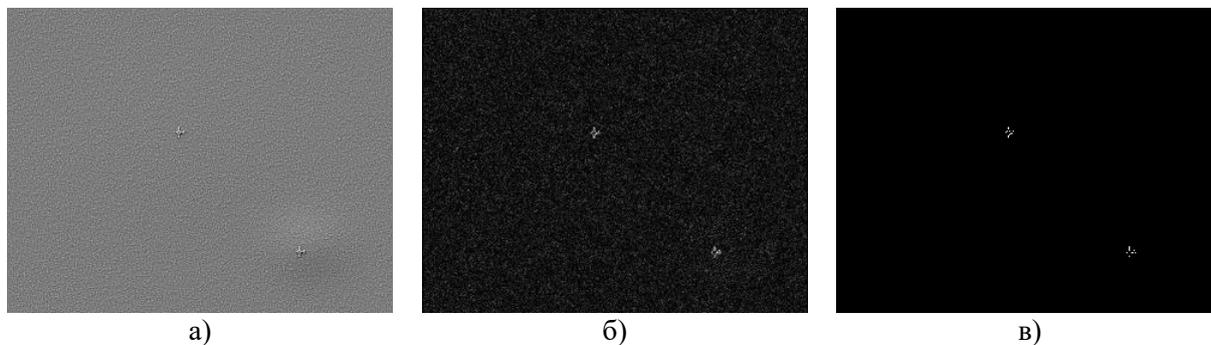


Рис. 5 – Результаты каузальной фильтрации нестационарного фона и обнаружения объектов

Следует отметить и дальнейшее развитие рассмотренного подхода к обнаружению объектов. Расширение видов каузальной фильтрации можно достичь путем изменения глубины анализа пространственного фильтра. Это можно сделать как за счет фильтрации дополнительных строк, так и за счет увеличения числа анализируемых предшествующих столбцов. Увеличение объема выборки дает, с одной стороны, увеличение точности экстраполяционной оценки фона, но, с другой стороны, усиление влияния нестационарности. Поэтому при выборе размерности пространственного фильтра необходим компромисс.

Очевидно, что для повышения качества обработки необходимо учитывать масштаб объекта на изображении, его ориентацию, а также геометрические параметры съемки (ракурс, угол визирования, разрешающую способность и т.п.). Эта стадия нормализации изображений также потребует дополнительных вычислительных затрат, причем результаты оптимизации времени вычислений будут зависеть от применяемого алгоритмического, программного и аппаратного обеспечения.

### Литература

1. Катулев А.Н., Храмичев А.А., Ягольников С.В. Цифровая обработка 2D слабоконтрастных изображений, формируемых оптико-электронным прибором в сложных фоновых условиях. Обнаружение, распознавание, сопровождение динамических объектов. Монография. – М.: Радиотехника, 2018.
2. Сосулин Ю.Г., Костров В.В., Паршин Ю.Н. Оценочно-корреляционная обработка сигналов и компенсация помех. – М.: Радиотехника, 2014.
3. Костров В.В. Компенсация помех в радиотехнических системах: оценочно-корреляционный подход // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2014. Вып.1. С. 21-34.
4. Костров В.В., Ракитин А.В. Корреляционно-экстремальный алгоритм поиска объектов со стабилизацией вероятности ложной тревоги // Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России: XIV Всероссийские научные Зворыкинские чтения / Сборник тезисов докладов всероссийской научной конференции (4 февраля 2022 г., Муром). – Муром, ИПЦ МИ ВлГУ. – С.206-208.