

*РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ, ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ,
СИГНАЛОВ И РЕЧИ*

УДК 621.391.268

В.М. Артемьев, А.О. Наумов, Л.Л. Кохан**СИНТЕЗ ФИЛЬТРОВ ПОДАВЛЕНИЯ ФОНА НА ЦИФРОВЫХ
ИЗОБРАЖЕНИЯХ В ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ**

Для обзорных оптико-электронных систем решается задача оптимальной фильтрации изображений объектов на облачном фоне. Используется условие подавления постоянной и линейной составляющих фона в пределах апертуры фильтра с минимизацией дисперсии шумовой составляющей. Синтез осуществляется для выделения изображений объектов, представленных точечными и многоточечными сигналами. Для решения задачи применяется метод оптимизации Лагранжа.

Введение

Первым этапом обработки изображений в оптико-электронных системах (ОЭС) наблюдения воздушного пространства является выделение полезных сигналов объектов на фоне помех, к которым относятся изображения фона и шумов. Фоновая составляющая обусловлена наличием сигналов от облаков, местных предметов, Солнца и некоторых других. Поскольку пространственное положение местных предметов остается неизменным, а положение Солнца изменяется достаточно медленно и по известному закону, в процессе настройки системы угловые положения этих объектов на изображении бланкируются и исключаются из дальнейшей обработки. В работе рассматриваются лишь изображения облачного фона, существенно влияющего на качество работы системы.

Помимо фона на изображении присутствуют шумы, обусловленные рядом причин: светимостью неба, свойствами среды прохождения излучения, тепловыми шумами фотоприемного устройства, шумами квантования и др. По своим характеристикам они могут аппроксимироваться дискретными белыми шумами.

Изображения объектов занимают лишь малую область в поле кадра. При больших дальностях они представлены на изображении одним элементом и им соответствуют одноточечные сигналы, а при малых их размеры существенно возрастают, образуя многоточечный сигнал.

Подавления фона можно добиться двумя основными способами: вычитанием и фильтрацией. Сущность первого способа заключается в предварительной оценке изображения фона в кадре и его вычитании из исходного изображения. Его недостатком является большая вычислительная сложность. Способ фильтрации более прост и нагляден в реализации. Для фильтрации изображений в ОЭС могут использоваться линейные и нелинейные пространственные фильтры. Среди линейных наиболее широкое применение получили лапласианные фильтры [1, 2] и фильтры градиентного типа [3], среди нелинейных – разностно-медианные [4, 5]. Преимущество линейных фильтров заключается в том, что их выходные данные имеют законы распределения, близкие к гауссовым, что упрощает методику анализа. Нелинейная фильтрация менее чувствительна к учету законов распределения входных данных, однако приводит к негауссовым распределениям на выходе, что затрудняет методику исследования. В данной работе рассматриваются лишь линейные пространственные фильтры с учетом особенностей подавления облачных фонов при наличии шумов и сигналов объектов.

В настоящее время для снижения влияния облачного фона используются типовые фильтры, указанные выше. Они позволяют подавлять постоянную составляющую изображения в пределах апертуры фильтра за счет его дифференцирующих свойств, однако при этом разру-

шают изображения многоточечных полезных сигналов. Для их выделения используются вейвлет-фильтры [6], каждый из которых «настроен» на изображение объекта определенной размерности. Это приводит к необходимости применения многоканальных фильтров с соответствующими усложнениями.

В работе предлагается методика синтеза фильтров, подавляющих не только постоянную, но и линейную составляющую поля изображений и при этом позволяющих выделять точечные и многоточечные изображения объектов при условии минимизации дисперсии шумов на выходе.

1. Исходные соотношения

В метеорологии приводится подробная классификация облаков с различной структурой [7]. Однако с точки зрения обработки изображений их целесообразно классифицировать по двум признакам: сильно- и слабоструктурированные (рис. 1).

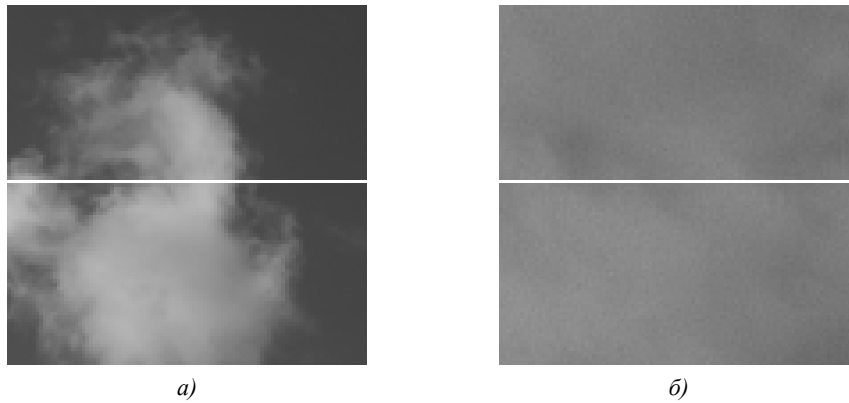


Рис. 1. Примеры изображений облачного фона: а) сильноструктурированного; б) слабоструктурированного

На рис. 2 показаны сечения изображений облачного фона вдоль горизонтальных линий, отмеченных на рис. 1.

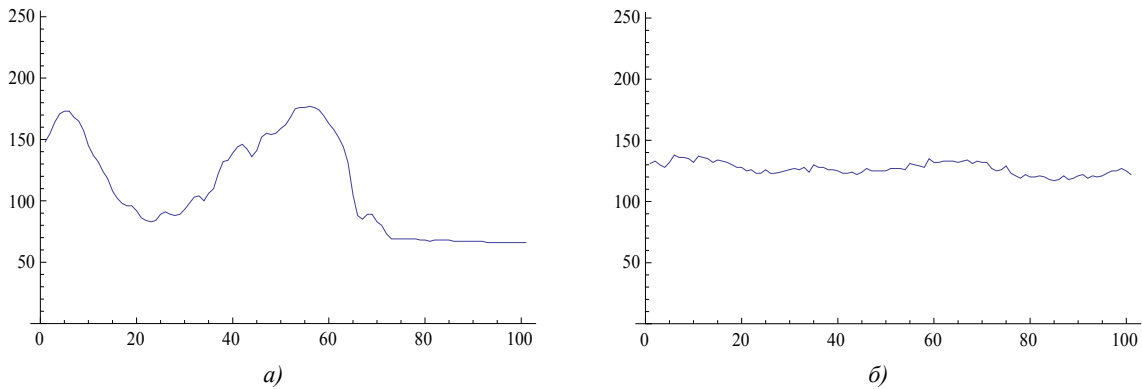


Рис. 2. Сечения изображений облачного фона: а) сильноструктурированного; б) слабоструктурированного

В дальнейшем будем рассматривать области с размерами в несколько элементов изображения, поэтому облачный фон в этих диапазонах можно аппроксимировать конечным числом членов двумерного ряда Тейлора в окрестности средней точки области с координатами (i, j) :

$$v_{i+l, j+r} = v_{i,j}^{(0)} + \alpha_{1i,j}^{(1)}l + \alpha_{2i,j}^{(1)}r + \alpha_{1i,j}^{(2)}l^2 + \alpha_{2i,j}^{(2)}r^2 + \alpha_{12i,j}^{(2)}lr + \dots, \quad (1)$$

где $\alpha_{ki,j}^{(i)}$ – коэффициенты разложения; $v_{i,j}^{(0)}$ – среднее значение фона в области. Слагаемые

$$\alpha_{1i,j}^{(1)}l + \alpha_{2i,j}^{(1)}r = v_{i,j}^{(1)} \quad (2)$$

в дальнейшем называются линейной составляющей фона, а слагаемые

$$\alpha_{1i,j}^{(2)}J^2 + \alpha_{2i,j}^{(2)}r^2 + \alpha_{12i,j}^{(2)}lr = v_{i,j}^{(2)} \quad (3)$$

являются квадратичной составляющей. Сумма среднего значения $v_{i,j}^{(0)}$ и линейной составляющей $v_{i,j}^{(1)}$ будет в дальнейшем называться плоской составляющей.

Приведем известные уравнения линейных фильтров во временной области, необходимые для дальнейшего анализа. Пусть яркость изображения $x_{i,j}$ на входе в точке с координатами (i, j) задается уравнением

$$x_{i,j} = u_{i,j} \oplus v_{i,j} + w_{i,j},$$

где $u_{i,j}$ – сигнал объекта; $v_{i,j}$ – сигнал фона; $w_{i,j}$ – шумовая составляющая; \oplus – обозначение операции дизъюнктивной комбинации сигналов объекта и фона. Для дальнейшего анализа удобно ввести в рассмотрение величину $q_{i,j}(v_{i,j})$ для разности полезного сигнала и фона:

$$q_{i,j}(v_{i,j}) = q_{i,j} = u_{i,j} - v_{i,j}. \quad (4)$$

Она определяет знак и уровень контраста полезного сигнала относительно фона в точке с координатами (i, j) . В результате смесь полезного сигнала, фона и помех приводится к аддитивной форме записи:

$$x_{i,j} = q_{i,j} + v_{i,j} + w_{i,j}, \quad (5)$$

где $q_{i,j}$ зависит от уровня фона $v_{i,j}$ и поэтому уравнение остается нелинейным.

На выходе фильтра имеет место сигнал, который в точке (i, j) определяется выражением [8]

$$y_{i,j} = \sum_{l=-n}^n \sum_{r=-m}^m x_{i+l,j+r} h_{i+l,j+r}, \quad (6)$$

где $x_{i+l,j+r}$ – значения входных сигналов; $h_{i+l,j+r}$ – весовые коэффициенты фильтра; $(2n+1) \times (2m+1) = S_\Phi$ – размерность фильтра. Исходя из структуры входного сигнала (5), выходной будет состоять из трех составляющих $y_{qi,j}$, $y_{vi,j}$ и $y_{wi,j}$, соответствующих полезному сигналу, фону и шуму. Фоновая составляющая выходного сигнала может быть представлена в виде ряда в соответствии с формулой (1):

$$y_{vi,j} = \sum_{l=-n}^n \sum_{r=-m}^m \left(v_{i+r,j+l}^{(0)} + v_{i+r,j+l}^{(1)} + v_{i+r,j+l}^{(2)} + \dots \right) h_{i+l,j+r}. \quad (7)$$

Шумовой сигнал выходного изображения $y_{wi,j}$ в дальнейшем определяется с учетом предположения о том, что шум на входе может быть аппроксимирован белым шумом с нулевым математическим ожиданием и дисперсией $\sigma_{i,j}^2$. Тогда математическое ожидание шума на выходе останется равным нулю, а его дисперсия

$$\sigma_{yi,j}^2 = \sum_{l=-n}^n \sum_{r=-m}^m \sigma_{i,j}^2 h_{i+l,j+r}^2. \quad (8)$$

При статистически однородном входном белом шуме с дисперсией $\sigma_{i,j}^2 = \sigma^2$ выходная дисперсия $\sigma_y^2 = \sigma^2 a$, где a есть коэффициент преобразования шума:

$$a = \sum_{l=-n}^n \sum_{r=-m}^m h_{i+l,j+r}^2. \quad (9)$$

При отсутствии помех амплитуды полезного сигнала должны точно выделяться в каждом элементе изображения. Это приводит к необходимости выбора значения центрального коэффициента фильтра ($r = 0, l = 0$), равного единице, т. е.

$$h_{i,j} = 1. \quad (10)$$

Тип фильтра определяется структурой матрицы его коэффициентов и синтезируется с учетом особенностей решаемой задачи с целью наилучшего выделения полезного сигнала, подавления фона и шумов.

2. Синтез фильтра точечных сигналов

На максимальных дальностях изображения объектов имеют минимальные размеры, в пределе равные одному элементу, и сигналы от них будут точечными. Этот случай представляет особый интерес для ОЭС наблюдения за воздушным пространством. Рассмотрим задачу синтеза фильтра точечных сигналов при наличии облачного фона и шумов. Будем определять требуемые значения его коэффициентов при следующих условиях: сохранение амплитуды точечного сигнала, полное подавление плоской составляющей фона и минимизация дисперсии однородных шумов на его выходе. По методическим соображениям первоначально рассмотрим вариант задачи с подавлением лишь постоянной составляющей фона, а в последующем распространим результаты на случай плоской составляющей. Сформулированные условия синтеза могут быть представлены следующими соотношениями:

$$\begin{cases} \sum_{l=-n}^n \sum_{r=-m}^m h_{i+l,j+r}^2 \rightarrow \min; \\ \sum_{l=-n}^n \sum_{r=-m}^m h_{i+l,j+r} = 0; \\ h_{i,j} = 1. \end{cases} \quad (11)$$

Первое условие соответствует минимизации дисперсии шумов на выходе фильтра, второе – подавлению постоянной составляющей фона, третье – сохранению амплитуды точечного сигнала.

Задачу определения оптимальных параметров фильтра можно решить с помощью метода Лагранжа [9]. Для этого используется лагранжиан в виде

$$L(h_{i+l,j+r}; \lambda_1; \lambda_2) = \sum_{l=-n}^n \sum_{r=-m}^m h_{i+l,j+r}^2 + \lambda_1 \sum_{l=-n}^n \sum_{r=-m}^m h_{i+l,j+r} + \lambda_2 (h_{i,j} - 1).$$

Его минимизация по искомым параметрам и неопределенным множителям λ приводит к следующим выражениям:

$$\begin{cases} h_{i,j} = 1; \\ h_{i+l,j+r} = -\frac{1}{(2n+1)(2m+1)-1} = -\frac{1}{S_{\Phi}-1} = h; \end{cases} \quad (12)$$

$$a = \frac{(2n+1)(2m+1)}{(2n+1)(2m+1)-1} = \frac{S_\Phi}{S_\Phi - 1}. \quad (13)$$

Оказалось, что для введенных условий синтеза коэффициенты оптимального фильтра $h_{i+l,j+r}$ (за исключением центрального $h_{i,j}$) должны быть одинаковыми отрицательными величинами, зависящими от размерности фильтра $S_\Phi = (2n+1)(2m+1)$.

Оценим величину ошибки подавления линейной составляющей фона $v_{i,j}^{(1)}$ при условии того, что $h_{i,j} = 1$ и $h_{i+l,j+r} = h$. Ошибка определяется из выражения

$$y_{v,i,j}^{(1)} = \sum_{l=-n}^n \sum_{r=-m}^m v_{i+r,j+l}^{(1)} h_{i+l,j+r} = -\alpha_{1,i,j}^{(1)} h(2m+1) \sum_{l=-n}^n l - \alpha_{1,i,j}^{(2)} h(2n+1) \sum_{r=-m}^m r. \quad (14)$$

Поскольку суммы $\sum_{l=-n}^n l = \sum_{r=-m}^m r = 0$, то и ошибка будет равна нулю. Таким образом, синтезированный фильтр подавляет не только постоянную, но и линейную составляющие фона, т. е. его плоскую часть. Это говорит о том, что фильтр обладает свойством пространственного дифференцирования второго порядка и относится к классу лапласианных. Однако его структура отличается от подобных фильтров выделения краев, например ЛОГ-фильтров [10], поскольку рассматриваемый фильтр синтезирован для условий подавления плоских составляющих фона.

Если фон в пределах апертуры фильтра отличается от плоского, его неполное подавление можно оценить величиной ошибки за счет наличия квадратичной составляющей:

$$\begin{aligned} y_{v,i,j}^{(2)} &= \sum_{l=-n}^n \sum_{r=-m}^m v_{i+r,j+l}^{(2)} h_{i+l,j+r} = \\ &= -\alpha_{1,i,j}^{(2)} h(2m+1) \sum_{l=-n}^n l^2 - \alpha_{1,i,j}^{(2)} h(2n+1) \sum_{r=-m}^m r^2 + \alpha_{12,i,j}^{(2)} h \sum_{l=-n}^n \sum_{r=-m}^m lr = \\ &= -\frac{S_\Phi}{6(S_\Phi - 1)} \left[\alpha_{1,i,j}^{(2)} n(n+1) + \alpha_{2,i,j}^{(2)} m(m+1) \right]. \end{aligned} \quad (15)$$

В табл. 1 приведены относительные величины этих ошибок для фильтров различной размерности при одинаковых значениях $\alpha_{1,i,j}^{(2)} = \alpha_{2,i,j}^{(2)} = \alpha^{(2)}$.

Таблица 1
Относительные величины ошибок подавления фона за счет квадратичных составляющих

Размерность фильтра S_Φ	Относительные ошибки подавления фона $y_{v,i,j}^{(2)}/\alpha^{(2)}$
3×3	-0,75
5×5	-2,08
7×7	-4,08
9×9	-6,75

Видно, что с ростом размерности фильтра увеличивается и ошибка за счет квадратичной составляющей.

Из формулы (13) для коэффициента преобразования шума a следует, что с ростом размерности фильтра дисперсия шумов на выходе уменьшается, однако остается большей ($a > 1$) по сравнению с дисперсией на входе (табл. 2). Это происходит за счет дифференцирующих свойств фильтра.

Таблица 2
Значения коэффициентов преобразования шума
для фильтров точечных сигналов

Размерность фильтра S_Φ	Коэффициенты преобразования шума a
3×3	1,125
5×5	1,041
7×7	1,02
9×9	1,01

Из сопоставления данных табл. 1 и 2 следует, что выбор размерности фильтра S_Φ должен учитывать противоречивые свойства изменения ошибок подавления фона и дисперсии шумов.

3. Синтез фильтра многоточечных сигналов

Более сложной является ситуация, когда имеются несколько точечных сигналов, которые принадлежат протяженному в пространстве объекту, находящемуся на малой дальности. В таком случае задача фильтрации может быть сформулирована при следующих условиях: обеспечение подавления плоских участков фона, минимизация дисперсии шумовой составляющей на выходе, выделение всех элементов многоточечного сигнала.

Для решения данной задачи можно предложить фильтр размерности $S_\Phi = (2n+1) \times (2m+1)$, состоящий из двух частей. Основная часть, расположенная вокруг центральной точки, должна иметь размерность $S_{\Phi_0} = (2k+1) \times (2t+1)$ с центральным коэффициентом $h_{i,j} = 1$ и остальными коэффициентами, равными нулю. Помимо основной фильтр должен иметь периферийную часть с $S_\Phi - S_{\Phi_0}$ элементами, отличными от нуля. Эти коэффициенты выбираются исходя из условия подавления плоской составляющей фона и минимизации дисперсии шумов. Выбор подобной структуры можно обосновать следующим образом. При отсутствии сигналов фона и шумов для выделения многоточечных сигналов объекта следует выбирать фильтр с нулевыми значениями коэффициентов, кроме центрального, равного единице. В противном случае на периферийной части фильтра следует использовать коэффициенты, отличные от нуля, исходя из условий подавления изображения плоского участка фона и минимизации дисперсии шумов. Однако при этом сократятся размеры полного выделения многоточечного изображения объекта, которые будут определяться неравенством $S_0 \leq (k+1) \times (t+1)$, что следует из рассмотрения уравнения фильтра (6).

Как и ранее, первоначально рассмотрим случай подавления лишь постоянной составляющей фона. В такой постановке коэффициенты фильтра должны выбираться с учетом соотношений

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{l=-n}^n \sum_{r=-m}^m h_{i+l, j+r}^2 \rightarrow \min; \\ \sum_{l=-n}^n \sum_{r=-m}^{-t-1} h_{i+l, j+r} + \sum_{l=-n}^n \sum_{r=t+1}^m h_{i+l, j+r} + \sum_{l=-n}^{-k-1} \sum_{r=-t}^t h_{i+l, j+r} + \sum_{l=k+1}^n \sum_{r=-t}^t h_{i+l, j+r} = 0; \\ h_{i,j} = 1; \\ h_{i+l, j+r} = 0; \quad l = -k, -k+1, \dots, k; \quad l \neq 0; \quad r = -t, -t+1, \dots, t; \quad r \neq 0. \end{array} \right. \quad (16)$$

Первое условие определяет минимизацию дисперсии шума на выходе, второе – подавление постоянной составляющей фона за счет элементов периферийной части фильтра, третье и четвертое – выделение элементов многоточечного сигнала за счет нулевых коэффициентов центральной части фильтра. Решая задачу методом Лагранжа [9], приходим к следующим результатам:

$$\begin{cases} h_{i,j} = 1; \\ h_{i+l,j+r} = 0; \quad l = -k, -k+1, \dots, k; \quad l \neq 0; \quad r = -t, -t+1, \dots, t; \quad r \neq 0; \\ h_{i+l,j+r} = -\frac{1}{(2n+1)(2m+1) - (2k+1)(2t+1)} = -\frac{1}{S_\Phi - S_{\Phi_0}} = h; \end{cases} \quad (17)$$

$$a = \frac{(2n+1)(2m+1)}{(2n+1)(2m+1) - (2k+1)(2t+1)} = \frac{S_\Phi}{S_\Phi - S_{\Phi_0}}. \quad (18)$$

Как и в предыдущем случае, коэффициенты периферийной части фильтра оказываются одинаковыми, что обеспечивает подавление как постоянной, так и линейной составляющих фона в пределах апертуры фильтра. Величина S_0 задает максимальный размер полного выделения изображения объекта. Размерность S_Φ оказывается наименьшей при выборе периферийной части в виде одного слоя, окружающего центральную часть с размерностью S_{Φ_0} . При этом размерность фильтра $S_\Phi = (2k+3) \times (2t+3)$.

Величина ошибки подавления фона за счет наличия квадратичной составляющей для фильтра с однослойной периферией находится из выражения

$$\begin{aligned} y_{v,i,j}^{(2)} &= \sum_{l=-n}^n \sum_{r=-m}^m v_{i+r,j+l}^{(2)} h_{i+l,j+r} = \\ &= -\frac{2}{3(S_\Phi - S_{\Phi_0})} \left[\alpha_{1,i,j}^{(2)} n(n+1)(2n+1) + \alpha_{2,i,j}^{(2)} m(m+1)(2m+1) \right]. \end{aligned} \quad (19)$$

В табл. 3 приводятся величины относительных ошибок подавления фона за счет квадратичной составляющей при одинаковых значениях $\alpha_{1,i,j}^{(2)} = \alpha_{2,i,j}^{(2)} = \alpha^{(2)}$ для фильтров с однослойной периферией различных размерностей.

Таблица 3
Относительные величины ошибок подавления фона за счет квадратичной составляющей

Размерность фильтра S_Φ	Относительные ошибки подавления фона $y_{v,i,j}^{(2)} / \alpha^{(2)}$
5×5	-2,5
7×7	-4,7
9×9	-7,5

При увеличении размерности фильтра возрастает влияние неоднородностей в пределах его апертуры, что и показывают приведенные результаты. Сравнение данных этой таблицы с результатами табл. 1 говорит о том, что выделение многоточечных сигналов приводит к увеличению ошибок подавления фона по сравнению с одноточечным случаем. Это является своеобразной «платой» за расширение возможностей фильтра.

Коэффициент преобразования шума a определяется формулой (18). В табл. 4 приведены его значения для фильтров с однослойной периферией.

Таблица 4
Значения коэффициентов преобразования шума для фильтров многоточечных сигналов с однослойной периферией

Размерность фильтра S_Φ	Коэффициенты преобразования шума a
5×5	1,56
7×7	2,04
9×9	1,53

Сравнение результатов табл. 2 и 4 для фильтров точечных и многоточечных сигналов позволяет сделать выводы о том, что у последних дисперсии шумовых помех выше, чем у первых. Однако фильтры многоточечных сигналов позволяют полностью выделять элементы изображений объектов конечной размерности посредством соответствующего выбора размерности центральной части фильтра.

4. Примеры фильтрации

Рассмотрим пример фильтрации одноточечных сигналов. На рис. 3, а показана структура фильтра точечных сигналов минимальной размерности 3×3 , а на рис. 3, б дан вариант изображения с облачным фоном и тремя искусственными точечными объектами без шумовой составляющей.

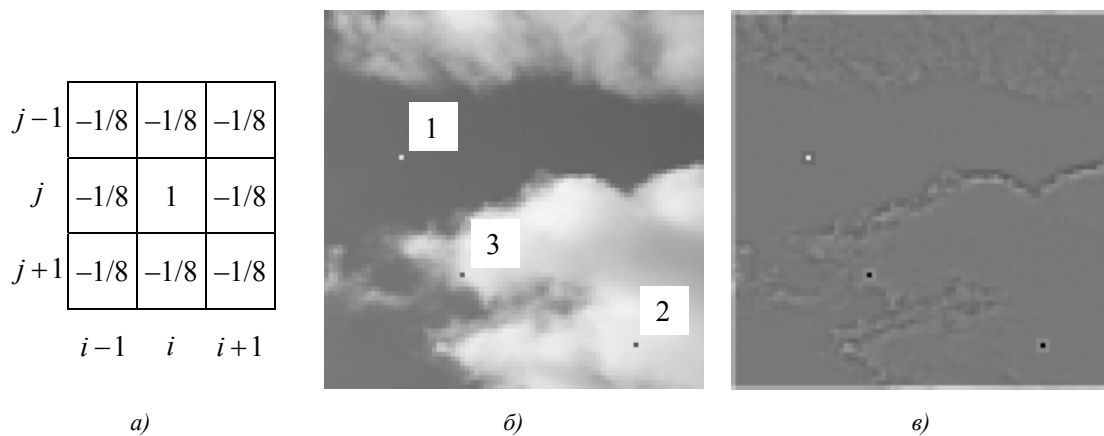


Рис. 3. Изображения искусственных точечных объектов на облачном фоне:
а) фильтр точечных сигналов; б) исходное изображение; в) изображение на выходе фильтра

Объект 1 расположен на приблизительно постоянном фоне со средним уровнем $v^{(0)} = 110,4$ и положительным значением сигнала контраста $q = 108,6$. Объект 2 также расположен на постоянном фоне $v^{(0)} = 227,9$ и имеет отрицательное значение сигнала контраста $q = -137,9$. Для объекта 3 выбрано положение с неоднородным фоном, средним уровнем $v^{(0)} = 205,3$ в точке положения сигнала и отрицательным контрастом $q = -105,3$.

На рис. 3, в показаны результаты фильтрации, где наряду с сигналами объектов видны остатки некомпенсированных элементов фона, которые расположены в окрестностях границ облаков. Это происходит по причине того, что облачный фон на границе неоднороден и отличается от плоского в пределах апертуры фильтра.

Результаты фильтрации можно оценить двумя параметрами: величиной выходного сигнала контраста q_y и величиной уровня фона v_y в точке положения сигнала (табл. 5).

Таблица 5
Результаты фильтрации изображения на рис. 3, б

Номер объекта	Исходное изображение	Выходное изображение
1	$q = 108,6$ $v^{(0)} = 110,4$	$q_y/q = 0,9982$ $v_y/v^{(0)} = -0,0018$
2	$q = -137,9$ $v^{(0)} = 227,9$	$q_y/q = 1,0021$ $v_y/v^{(0)} = 0,0009$
3	$q = -105,3$ $v^{(0)} = 205,3$	$q_y/q = 1,0969$ $v_y/v^{(0)} = 0,0175$

Применительно к объектам 1 и 2, расположенным приблизительно на постоянном фоне, фильтрация приводит к существенной компенсации уровня фона. При этом амплитуды точечных сигналов в центре фильтра остаются практически неизменными. Сложнее ситуация с объектом 3, расположенным на неоднородном фоне, где степень компенсации фона значительно хуже, чем в предыдущем случае, в том числе за счет наличия квадратичной составляющей.

Кроме того, отметим, что при фильтрации изменяется и структура изображения точечного объекта. На рис. 4 в увеличенном масштабе показано выходное изображение точечного объекта 2.



Рис. 4. Изображение точечного объекта на выходе фильтра с размерностью 3×3

Вместо одноточечного на выходе появляется более сложное изображение, повторяющее структуру фильтра, т. е. выходное изображение расширяется, что приводит к ухудшению разрешающей способности. Однако следует отметить, что уровень боковых составляющих пропорционален значениям коэффициентов фильтра h и уменьшается с увеличением размерности фильтра. В итоге выбор размерности производится из компромиссных соображений с учетом условий подавления фона, минимизации дисперсии шумов и допустимой разрешающей способности.

В качестве второго примера рассмотрим фильтрацию многоточечных сигналов искусственных объектов квадратной формы с одинаковой яркостью элементов и размерностями $S_0 = 2 \times 2$ и $S_0 = 7 \times 7$ на облачном фоне, показанном на рис. 3, б. С этой целью использован фильтр, периферийная часть которого состоит из одного слоя коэффициентов, отличных от нуля (рис. 5, а).

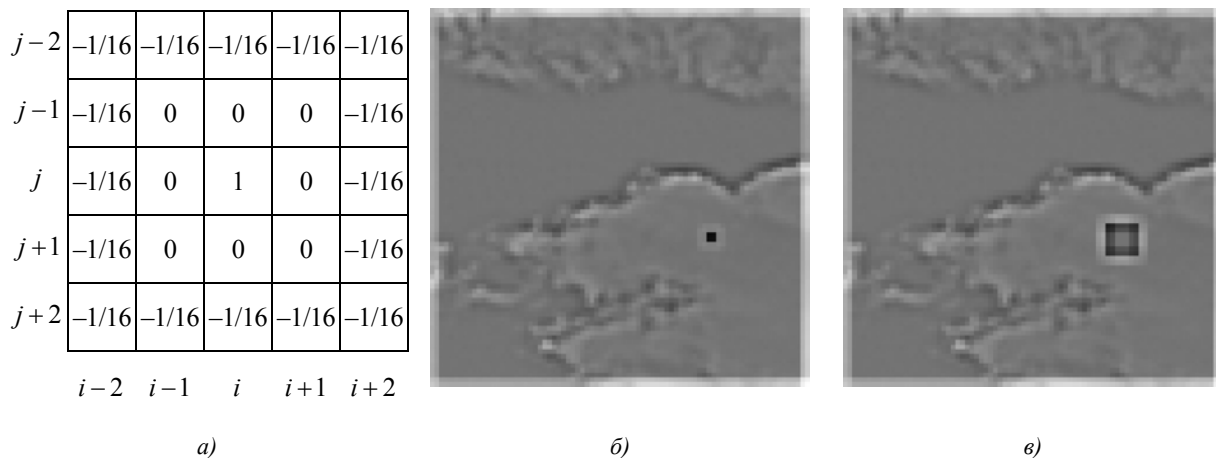


Рис. 5. Изображение искусственных многоточечных объектов на выходе фильтра размерности 5×5 : а) структура фильтра; б) выходное изображение объекта размерности 2×2 ; в) выходное изображение объекта размерности 7×7

На рис. 5, б и в приведены результаты фильтрации изображений объектов с одинаковыми сигналами контраста $q = -137,9$, расположенными на постоянном фоне с $v^{(0)} = 227,9$. Поскольку фильтр «настроен» на размерность объекта 2×2 , на его выходе структура изображения такого объекта сохраняется полностью. В то же время изображение с размерностью 7×7 восстанавливается неполностью и содержит границы шириной в два элемента изображения.

Приведем пример фильтрации реальных изображений. На рис. 6, а дается изображение объекта на облачном фоне в инфракрасном диапазоне (8–12 мкм). Изображение объекта имеет размерность 10×10 элементов. Для обработки использовались фильтры с размерностями 3×3 и 21×21 . В соответствии со сказанным выше второй вариант фильтра позволяет полностью выделить изображение объекта. На рис. 6, б и в показаны результаты обработки рассмотренными фильтрами.

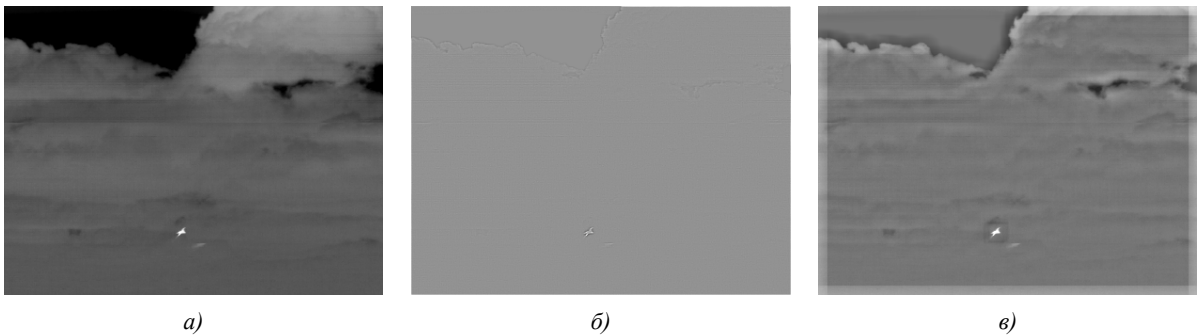


Рис. 6. Изображение объекта на облачном фоне: а) исходное; б) обработка фильтром размерности 3×3 ; в) обработка фильтром многоточечных сигналов размерности 21×21

Из рис. 5 и 6 видно, что фильтр размерности 3×3 существенно лучше подавляет изображение облачного фона. На рис. 7 изображены объекты в увеличенном масштабе.

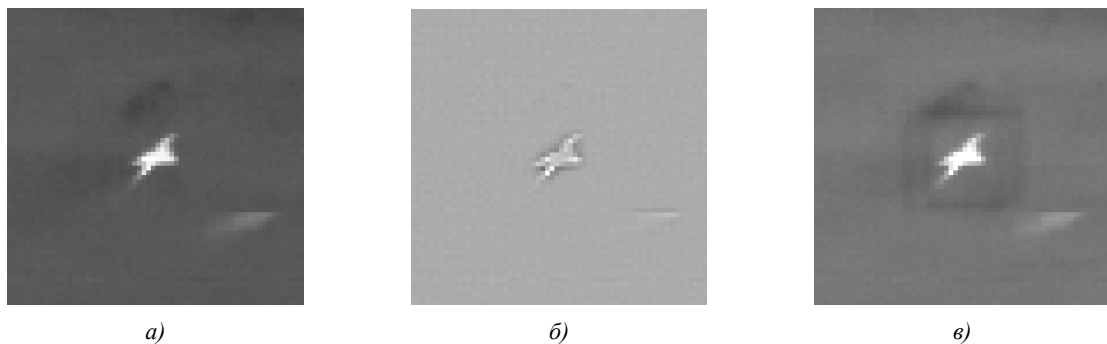


Рис. 7. Изображение объекта в увеличенном масштабе: а) исходное; б) обработка фильтром размерности 3×3 ; в) обработка фильтром многоточечных сигналов размерности 21×21

Результаты показывают, что увеличение размерности фильтра улучшает качество изображения объекта, однако ухудшает степень подавления облачного фона. При выборе размерности фильтра следует исходить из компромиссных условий, учитывающих особенности конкретной системы.

Заключение

В работе решена задача синтеза фильтров, обеспечивающих подавление постоянной и линейной составляющих облачного фона в пределах его апертуры при условии минимизации дисперсии шумов на выходе и полного выделения элементов изображений сигналов объектов. На основе метода оптимизации Лагранжа получены формулы для нахождения параметров таких

фильтров. Эффективность фильтрации показана на примерах выделения изображений объектов различной размерности на облачном фоне.

Список литературы

1. Robinson, D.Z. Methods of background description and their utility / D.Z. Robinson // Proc. IRE. – 1959. – Vol. 47, № 9. – P. 1554–1561.
2. Hwang, S. Spatial filter performance on point-target detection in various clutter conditions: M. E. thesis / S. Hwang. – Massachusetts Institute of Technology, USA, 2007. – 88 p.
3. Reiss, D. Spatial signal processing for infrared detection / D. Reiss // SPIE. – 1994. – Vol. 2235. – P. 38–51.
4. Barnett, J.T. Statistical analysis of median subtraction filtering with application to point-target detection in infrared backgrounds / J.T. Barnett // Proc. Infrared Systems and Components. – 1989. – Vol. 1050. – P. 10–18.
5. Цифровая обработка сигналов. Лекции и практикум на ПК [Электронный ресурс]. – Минск, 2009. – Режим доступа : <http://www.prodav.narod.ru/dsp/dsp16.htm>. – Дата доступа : 30.10.2009.
6. Штарк, Г.-Г. Применение вейвлетов для цифровой обработки сигналов / Г.-Г. Штарк. – М. : Техносфера, 2007. – 183 с.
7. Атмосфера : справочник / Ю.С. Седунов [и др.] ; под ред. Ю.С. Седунова. – Л. : Гидрометеиздат, 1991. – 510 с.
8. Методы компьютерной обработки изображений / М.В. Гашников [и др.] ; под общ. ред. В.А. Сойфера. – М. : Физматлит, 2003. – 784 с.
9. Банди, Б. Методы оптимизации. Вводный курс / Б. Банди ; пер. с англ. О.В. Шихеевой ; под ред. В.А. Волынского. – М. : Радио и связь, 1988. – 128 с.
10. Шапиро, Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Д. Стокман. – М. : Бином, 2006. – 752 с.

Поступила 24.05.12

*Институт прикладной физики
НАН Беларуси,
Минск, Академическая, 16
e-mail: naumov@iapf.bas-net.by*

V.M. Artemiev, A.O. Naumov, L.L. Kokhan

SYNTHESIS OF FILTERS FOR SUPPRESSION OF BACKGROUND ON DIGITAL IMAGES IN OPTRONIC SYSTEMS

For survey optronic systems, the problem of an optimal filtration of objects images on cloud background is studied. A condition for suppression of constant and linear components of the background within the aperture of the filter together with the minimization of the noise component variance is used. The synthesis is implemented for a selection of objects images presented by pixel-size and finite-size signals. The problem is solved by the Lagrange multipliers method.