

## АЛГОРИТМ СОГЛАСОВАННОЙ СО СВОЙСТВАМИ ВХОДНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИИ ВЕРХНИХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЧАСТОТ

© 2016 г. М.А. ПАНТЮХИН

Военный учебно-научный центр ВВС «Военно-воздушная академия  
им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж

### Введение

При решении задач по обнаружению и распознаванию объектов в информационных подсистемах бортового радиоэлектронного оборудования авиационных комплексов используются алгоритмы, основу которых составляет корреляционно-экстремальное сопоставление эталонов с наблюдаемыми входных изображений (ВИ) и видеопоследовательностями [1, 2]. В качестве априорных данных выступают набор эталонных изображений объектов интереса. Преимуществами подобных алгоритмов является простота реализации и высокая скорость обработки данных, однако основными недостатками выступают чувствительность к флуктуациям поля яркости ВИ и изменению условий наблюдения (углы наблюдения, искажения формы и др.).

В работах [3, 4] рассмотрен метод согласованной обработки изображений, который также предполагает наличие эталона искомого объекта, но допускает упрощенное его представление в виде схематического описания его формы [4].

Целью данной работы является алгоритмизация вычислительных процедур предлагаемого в [4] подхода, и исследование возможностей его применения посредством обработки тестовой коллекции изображений.

### 1. Алгоритм фильтрации верхних пространственных частот, согласованной со свойствами входного изображения

Входное изображение (ВИ) рассматривается как матрица  $\mathbf{F}$  пикселей, содержащая  $(2M + 1)$  строк и  $(2N + 1)$  столбцов:

$$\mathbf{F} = [f_{i,j}], f_{i,j} \in \{0, \dots, 2^K - 1\}, -M \leq i \leq M, -N \leq j \leq N, \quad (1)$$

где  $i, j$  – номер строки и столбца соответственно (для удобства оперирования используется нумерация столбцов и строк отрицательными значениями с выраженным центральным элементом изображения),  $K$  – степень квантования яркости.

Отсчеты  $f_{i,j}$  изображения  $\mathbf{F}$  схематически представлены на рис. 1.

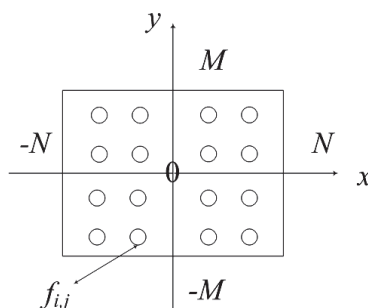


Рис. 1. Представление входного изображения  $\mathbf{F}$ .

Эталонное изображение, схематично описывающее форму, ориентацию и размер некоторого объекта, задается бинарной матрицей  $\mathbf{X}$  из  $(2m + 1)$  строк и  $(2n + 1)$

столбцов ( $m \square M, n \square N$ ):

$$\mathbf{X} = [x_{i,j}], x_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{если пиксель принадлежит объекту} \\ 0, & \text{если пиксель принадлежит фону} \end{cases}, -m \leq i \leq m, -n \leq j \leq n. \quad (2)$$

**Шаг 1.** Расчет энергетических характеристик  $s_{l,p}$  ВИ  $\mathbf{F}$  и  $s_{l,p}^0$  эталона  $\mathbf{X}$ :

$$s_{l,p} = \frac{1}{E_{\text{вх}}} \sum_{i=-M}^M \sum_{j=-N}^N f_{i,j} f_{i+l,j+p}, s_{l,p}^0 = \frac{1}{E_{\text{вх}}} \sum_{i=-m}^m \sum_{j=-n}^n x_{i,j} x_{i+l,j+p}, \quad (3)$$

где  $i, i+l \in [-m, m], j, j+p \in [-n, n], E_{\text{вх}} = \sum_{i=-M}^M \sum_{j=-N}^N f_{i,j}^2$ .

**Шаг 2.** Расчет импульсной характеристики (ИХ)  $\mathbf{H}$  двумерного дискретного фильтра (ДФ) путем решения системы линейных уравнений:

$$\sum_{v=-a}^b \sum_{w=-c}^d s_{l-v, p-w} h_{v,w} = s_{l,p}^0, \quad (4)$$

где  $a, b, c, d$  – неотрицательные числа, характеризующие апертуру ДФ  $(a+b+1) \times (c+d+1)$ ,  $0 < a+b \leq 2m, 0 < c+d \leq 2n$  и определяющиеся статистически на основе типовых ВИ и эталона [4].

Полученные отсчеты  $h_{i,j}$  записываются в соответствии со спиральной разверткой рис. 2.

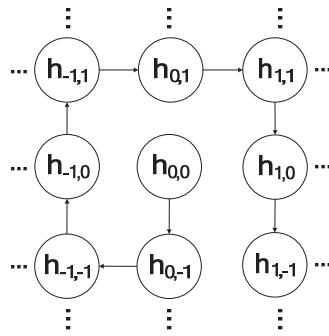


Рис. 2. Спиральная развертка отсчетов ИХ

**Шаг 3.** Коррекция первого отсчета  $h_{0,0}$ :  $h_{0,0}^{\text{кор}} = h_{0,0} - H_{\Sigma}$ , где  $H_{\Sigma} = \sum_{v=-a}^b \sum_{w=-c}^d h_{v,w}$ .

**Шаг 4.** Пространственная обработка ВИ  $\mathbf{F}$  синтезированной ИХ  $\mathbf{H}$  с учетом «краевого эффекта» совместно с нелинейным преобразованием, результат которой представляет собой выходное изображение  $\mathbf{F}^{\text{ввых}}$ :

$$\mathbf{F}^{\text{ввых}} = [f_{i,j}^{\text{ввых}}], f_{i,j}^{\text{ввых}} = \left| \sum_{v=-a}^b \sum_{w=-c}^d f_{i+v,j+w} h_{v,w} \right|, -M+a \leq i \leq M-a, -N+b \leq j \leq N-b. \quad (5)$$

**Шаг 5.** Сегментация  $\mathbf{F}^{\text{ввых}}$  с порогом  $V_{\text{пор}} = 0.75 \div 0.9$ , т.е. формирование бинарного изображения  $\mathbf{B} = \{b_{i,j}\}, i = \overline{1, 2M+1}, j = \overline{1, 2N+1}$ :

$$b_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{при } f_{i,j}^{\text{ввых}} \geq V_{\text{пор}}, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (6)$$

**Шаг 6.** Локализация областей интереса путем обработки изображения  $\mathbf{B}$  окном, размеры которого определяются размерами эталона, т.е.  $(2m+1) \times (2n+1)$ . При этом возможно определение местоположения окна, содержащего максимальное количество элементов  $\mathbf{B}$  (если необходимо установить наиболее вероятную локацию), либо нахождение местоположения окон, содержащих элементы, превышающих некоторое пороговое значение  $E_{\text{пор}}$ .

## 2. Пример обработки реального изображения

На рис. 3 представлено реальное ВИ аэродрома (рис 3,а). В качестве эталон искомого объекта (самолета) использовано изображение на рис. 3, б, которое схематично отражает форму и масштаб реальных самолетов. Эталон ориентирован на  $180^\circ$  от горизонтали, в то время как визуально наиболее похожие на него два самолета ориентированы на  $135^\circ$ . Также ориентирован нижний самолет, однако он визуально менее схож с эталоном. На рис. 3, в приведено выходное изображение, полученное при согласованной фильтрации ВИ, а на рис. 3, г результат его пороговой обработки с  $V_{\text{пор}}=0.75$ . Окончательный результат локализации областей, в которых сосредоточены более  $E_{\text{пор}}=10$  сегментированных элементов изображения, представлен на рис. 3, д.

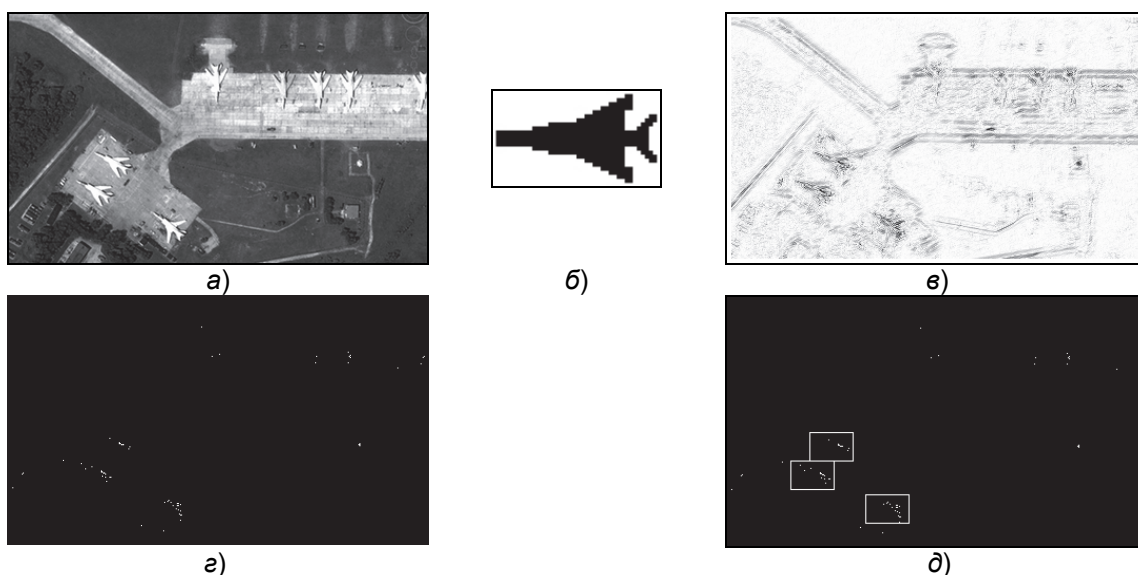


Рис. 3. Обработка входного изображения аэродрома.

По рис. 3, д видно, что предлагаемый алгоритм позволил правильно локализовать три области, содержащие объекты, которые в различной степени визуально напоминают эталон.

## 3. Численное исследование

Численное исследование устойчивости рассматриваемого алгоритма к изменению условий наблюдения искомого объекта интереса проведено на серии изображений из коллекции NORB Нью-Йоркского университета [5]. В ней представлены 291600 пар изображения с вариациями углов наблюдения, коэффициента масштаба, освещения, угла вращения. Тестовую серию составили 2000 изображений, некоторые из которых вместе с используемыми эталонами представлены на рис. 4.

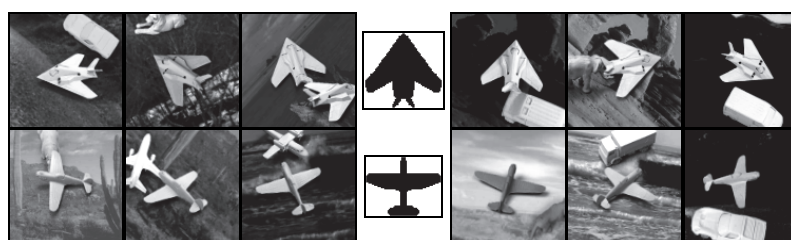


Рис. 4. Примеры тестовых изображений.

В качестве показателей эффективности рассматривались статистическая оценка вероятности правильного обнаружения  $p_{\text{по}}$  местоположения искомого объекта и время обработки ВИ  $t$  (рис. 5). На рис. 5 цифрой «1» обозначена статистическая оценка  $p_{\text{по}}$  для рассматриваемого алгоритма, «2» - оценка  $p_{\text{по}}$  для корреляционного алгоритма.

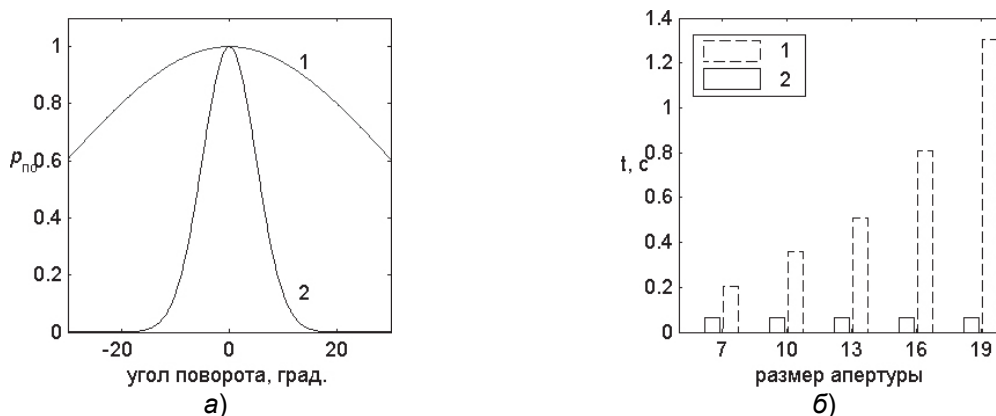


Рис. 5. Показатели эффективности: а – зависимость  $\rho_{по}$  от угла поворота, б – точечные значения  $t$  при различных значениях размера апертуры синтезированного ДФ.

Анализ рис. 5, а позволяет сделать вывод, что алгоритм согласованной фильтрации показывает устойчивые результаты локализации объектов интереса при вариациях угла вращения объектов в пределах  $[-15^\circ \dots 15^\circ]$ , при этом  $\rho_{по} > 0.88$ . Однако время обработки, представленное столбчатой диаграммой на рис. 5, б, существенно зависит от синтезируемой апертуры. Даже на минимальных апертурах оно более чем в 4 раза превышает временные затраты на обработку корреляционным алгоритмом. Поэтому для алгоритма согласованной фильтрации актуален вопрос вычислительной оптимизации.

### Заключение

Предлагаемый алгоритм отличается от известных алгоритмов локализации объектов интереса использованием бинарного шаблона, схематично описывающего форму примерную ориентацию и масштаб объекта, механизмом коррекции отсчетов ИХ и использованием нелинейной обработки выходного изображения. Устойчивость алгоритма подтверждена статистическим исследованием вероятности правильного обнаружения объектов на тестовой серии изображений из коллекции NORB. С учетом возможностей вычислительной оптимизации алгоритм может быть реализован в реальном масштабе времени, благодаря использован в программно-аппаратных информационных системах обработки видовой информации авиационной техники.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Совмещение изображений в корреляционно-экстремальных навигационных системах. Монография / Под ред. Л.Н. Костяшкина, М.Б. Никифорова. М.: Радиотехника. 2015. 208 с.
2. Можейко В.И., Обухова Н.А., Тимофеев Б.С., Фисенко В.Т. Телевизионные методы сопровождения объектов в сложных условиях наблюдения // Изв. ВУЗов. Приборостроение. 2009. Т. 52. № 8. С. 20-29.
3. Обработка многомерных сигналов. В 2-х книгах. Кн.1. Линейная многомерная дискретная обработка сигналов. Методы анализа и синтеза / под ред. А.В. Богословского. М.: Радиотехника. 2013. 168 с.
4. Богословский А.В., Пантюхин М.А., Жигулина И.В. Выбор апертуры фильтра при согласованной со свойствами входного изображения фильтрации верхних пространственных частот // Радиотехника. 2016. №10. (в печати).
5. LeCun Y., Huang F.-J., Bottou L. Learning methods for generic objects recognition with invariance to pose and lighting // IEEE Computer Society. 2004. Vol. 2. P. 97-104.