

А. Л. АНДРЕЕВ, В. В. КОРОТАЕВ, Д. М. ПАШКОВСКИЙ

СЕЛЕКЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ НА НЕОДНОРОДНОМ ФОНЕ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ

Рассматриваются вопросы, связанные с использованием в автоматизированных системах видеонаблюдения алгоритма, позволяющего решать задачи обнаружения и селекции сигналов мало контрастных и малоразмерных объектов при наличии в зоне наблюдения контрастных маскирующих деталей фона.

Ключевые слова: селекция изображений, автоматизированные системы видеонаблюдения, малоразмерные объекты, неоднородный фон.

Одной из распространенных задач, решаемых на этапе предварительной обработки изображений, является выделение слабых оптических сигналов от малоразмерных (в предельном случае — точечных) целей, наблюдаемых в присутствии существенно более контрастных мешающих деталей фона. Применительно к автоматизированным системам видеонаблюдения последние являются оптическими помехами, это могут быть всевозможные блики, яркие излучающие или отражающие излучение объекты, находящиеся в поле зрения системы.

На рис. 1 приведено изображение, содержащее малоразмерные объекты O_1, \dots, O_{10} , а также более крупные и более контрастные мешающие детали фона. Соответствующая этому примеру осциллограмма видеосигнала выделенной строки представлена на рис. 2, а. В приведенном примере сигналы от малоразмерных целей могут обладать как положительным, так и отрицательным (O_4, O_7) по отношению к элементам окружающего фона контрастом. Очевидно, что для успешного обнаружения и селекции необходимо, чтобы величина сигнала наблюдаемых объектов (U_c) превышала уровень шумовой составляющей ($\sigma_{ш}$), оцениваемой в окрестностях соответствующих прилегающих локальных областей. После квантования видеоимпульсов в узле аналого-цифрового преобразователя (АЦП) элементы изображения можно представить в виде матрицы целых чисел $[E_{ij}]$, где i и j — соответственно номера столбцов и строк.

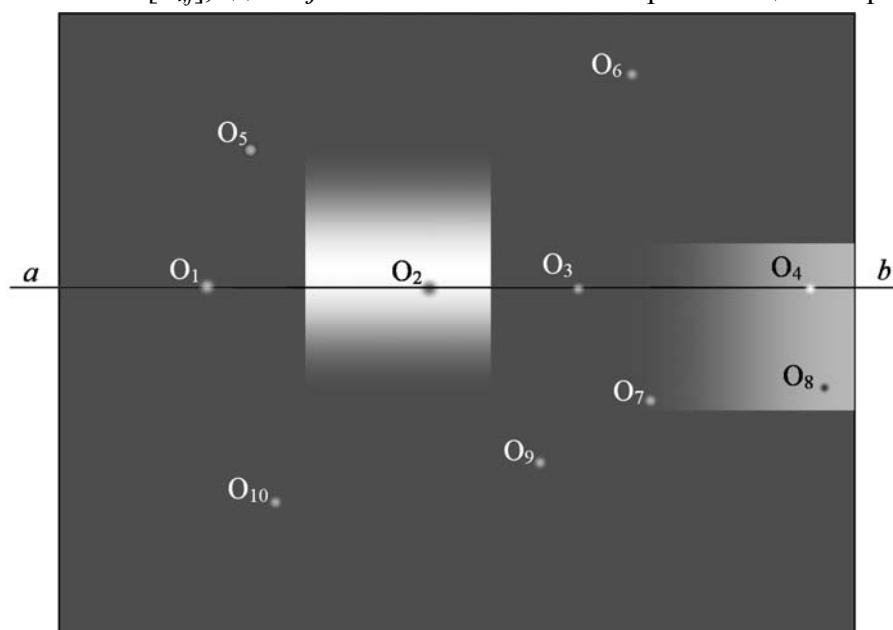


Рис. 1

Обобщенно операция выявления объектов в искаженном шумами и помехами изображении может быть определена как процедура сравнения двух чисел, первое должно быть по-

лучено в результате преобразования анализируемого изображения, представленного в виде матрицы-массива целых чисел $E_{i,j}$:

$$L[E_{i,j}] \geq \Pi[E_{i,j}]. \quad (1)$$

($L[*]$ — оператор преобразования исходного изображения; $\Pi[*]$ — оператор формирования порогового значения). Второе число является пороговым, определяемым заданным критерием оптимальности.

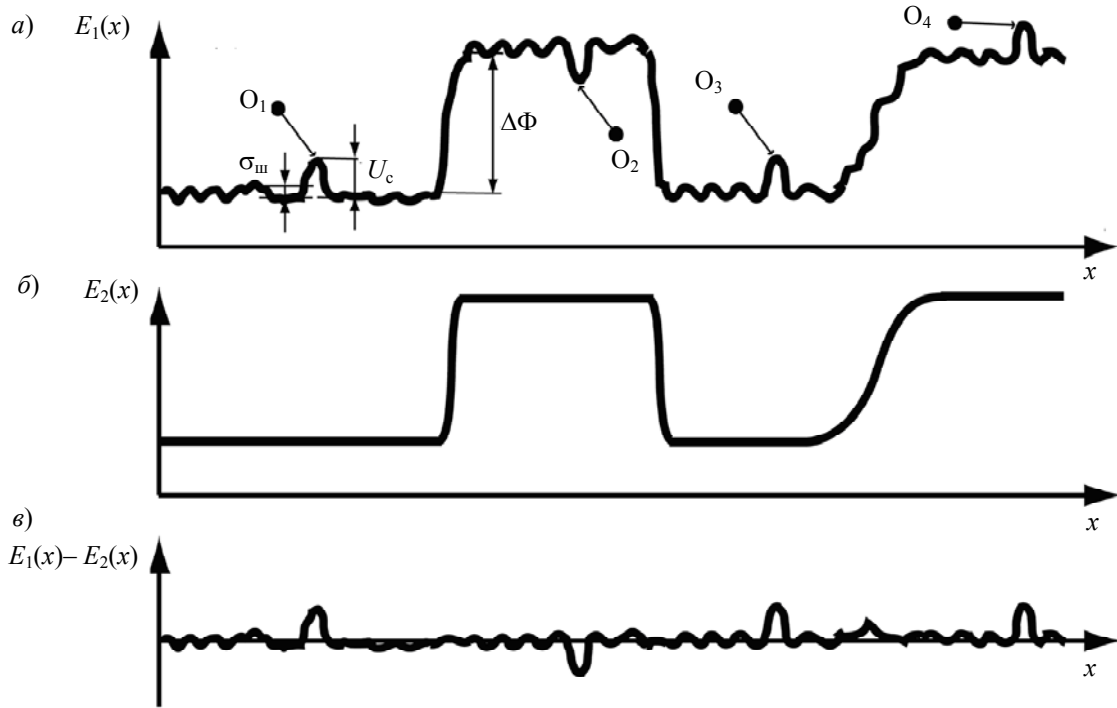


Рис. 2

В случае выполнения условия (1) принимается решение о наличии объекта, в противном случае — о его отсутствии. Качество обнаружения обычно характеризуется двумя параметрами: вероятностью правильного обнаружения, т.е. выполняется условие (1), при наличии объекта в анализируемом изображении; вероятностью ложной тревоги, условие (1) выполняется, в анализируемом изображении объект отсутствует.

Конкретный вид операторов $L[*]$, $\Pi[*]$, а также качество обнаружения зависят от наличия исходных сведений об ожидаемых объектах, шумах, помехах и искажениях. В таком случае оператор $\Pi[*]$ должен представлять собой пространственную функцию, отслеживающую изменение фоновой составляющей в различных участках изображения — адаптивный порог. Выделить слабые оптические сигналы малоразмерных объектов (целей), наблюдаемых в присутствии мешающих деталей фона, в автоматизированной системе видеонаблюдения можно, выполнив шаги следующего алгоритма [1].

1. Для каждого элемента $E_{i,j}$ исходного массива формируется новое значение $E_{i,j}^*$ на основе анализа сигналов от смежных элементов в пределах апертуры сглаживающего фильтра:

$$E_{i,j}^* = F \begin{bmatrix} E_{(i-l),(j-k)} & \dots & E_{i,(j-k)} & \dots & E_{(i+l),(j-k)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ E_{(i-l),j} & \dots & E_{i,j} & \dots & E_{(i+l),j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ E_{(i-l),(j+k)} & \dots & E_{i,(j+k)} & \dots & E_{(i+l),(j+k)} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где $F[*]$ — оператор сглаживающего фильтра; $l = (m-1)/2$; $k = (n-1)/2$; $m \times n$ — апертура фильтра.

Полученный массив $[E_{i,j}^*]$ в дальнейшем используется для компенсации фоновой составляющей. Заметим, что в качестве сглаживающего фильтра могут применяться различные линейные или нелинейные анизотропные операторы. Однако, как показал анализ, при наличии резких перепадов уровня фоновой составляющей в поле зрения системы наилучший эффект дает процедура нелинейной фильтрации на основе двумерного медианного фильтра. Специфическими свойствами медианного фильтра (в отличие от анизотропного линейного) являются эффективное подавление немонотонных (в пределах апертуры) составляющих последовательности чисел и неискаженная передача монотонных составляющих. Использование линейных процедур фильтрации, как будет показано ниже, не позволяет осуществлять надежную селекцию малоразмерных целей при больших отношениях $\Delta\Phi/U_c$ (рис. 2, б).

2. Для каждого элемента изображения вычисляется разностный сигнал путем сравнения значений отсчетов сглаженного и исходного массивов:

$$ZE_{i,j} = E_{i,j} - E_{i,j}^* \quad (3)$$

Описанные выше процедуры проиллюстрированы на рис. 2, б, в (б — фоновая составляющая, полученная после фильтрации видеосигнала выделенной строки; в — разностный сигнал, полученный после вычитания фоновой составляющей).

3. Обнаружение объектов и устранение „пустых“ элементов массива $[ZE_{i,j}]$, не содержащих сигнальной составляющей:

$$ZE_{i,j}^* = \begin{cases} ZE_{i,j}, & |ZE_{i,j}| \geq \Pi_0, \\ 0, & |ZE_{i,j}| < \Pi_0, \end{cases} \quad (4)$$

при условии априорной неопределенности наличия интересующих объектов в зоне наблюдения.

Величина решающего порога Π_0 определяется по заданному критерию оптимальности с учетом допустимых значений вероятности возникновения ошибок первого или второго рода.

Если известно точное число присутствующих в зоне наблюдения объектов, то после шага 2 осуществляется переход к 4.

4. В полученном массиве $ZE_{i,j}$ (или $ZE_{i,j}^*$) осуществляется поиск локальных максимумов. При обнаружении каждого из них в отведенной области памяти фиксируется небольшой сегмент, взятый из исходного массива в окрестностях элемента, соответствующего локальному максимуму. Указанная процедура выполняется для всех локальных максимумов, соответствующих обнаруженным объектам (или для всех локальных максимумов, соответствующих известному числу объектов, находящихся в зоне наблюдения).

Таким образом, решающее правило представляет собой последовательность достаточно простых линейных и нелинейных процедур.

Для реализации описанного алгоритма необходимо уточнение отдельных параметров решающего правила и обоснование требований к отдельным звеньям аппаратной структуры автоматизированной системы видеонаблюдения (тип и апертура сглаживающего фильтра, достаточная разрядность АЦП; габаритно-энергетические параметры оптической системы, предопределяющие реализуемое отношение сигнал/шум). Очевидно, что оптимизация параметров решающего правила и требований к отдельным звеньям аппаратной структуры должна проводиться с учетом множества взаимосвязанных факторов, включая условия функционирования системы. Эффективным способом решения подобной задачи является компьютерное моделирование [2, 3].

С помощью компьютерной модели методом статистических испытаний (метод Монте-Карло) можно получать необходимые зависимости, позволяющие прогнозировать поведение системы при различных значениях параметров еще на ранних стадиях проектирования.

В модели в качестве варьируемых исходных параметров, предопределяющих условия эксперимента, используются:

- координаты объекта (цели) относительно положения области существенного изменения фоновой составляющей в анализируемом изображении;
- параметр, характеризующий градиент пространственного изменения фоновой составляющей (имитирующий плавный или резкий перепад яркости фона в области наблюдения);
- отношение перепада уровня фоновой составляющей к величине сигнальной составляющей от объекта наблюдения ($\Delta\Phi/U_c$, см. рис. 2);
- отношение сигнал/шум ($\mu = U_c/\sigma_{ш}$), оцениваемое как отношение пикового значения сигнала объекта, наблюдаемого на соответствующем локальном участке фона, к среднеквадратическому значению флуктуации шумовой составляющей;
- тип используемого фильтра: анизотропный линейный или медианный;
- размерность апертуры фильтра ($W = m \times m$, где m — нечетные числа от 3 до 15);
- число разрядов АЦП ($N = 1—16$).

Ниже приводятся примеры моделирования, полученные методом статистических испытаний при обработке 1000 реализаций цифрового изображения (256×256 элементов) для каждого варианта задания исходных параметров. Указанные зависимости получены для случая исходной определенности наличия малоразмерного объекта в зоне наблюдения на участке изображения с низким уровнем фона.

На рис. 3 приведены зависимости условной вероятности P правильного выделения сегмента, содержащего изображение объекта, от μ при различных значениях разрядности АЦП и отношениях $\Delta\Phi/U_c$. Как видно из рис. 3, а, при $\Delta\Phi/U_c \leq 5$ увеличение разрядности АЦП ($N \geq 8$) практически не влияет на качество обнаружения. Уже при $\mu \geq 5$ обеспечивается высокая вероятность правильной селекции малоразмерной цели. Однако при больших значениях $\Delta\Phi/U_c$ с увеличением разрядности (при $N > 8$) наблюдается существенное увеличение вероятности правильной селекции объектов при малых отношениях сигнал/шум (рис. 3, б). Это объясняется тем, что при $\Delta\Phi/U_c \gg 5$ величина сигнальной составляющей от объекта при малой разрядности АЦП может оказаться меньше шага квантования видеосигнала, в то время как распределение уровней квантования должно осуществляться по всему диапазону изменения видеосигнала.

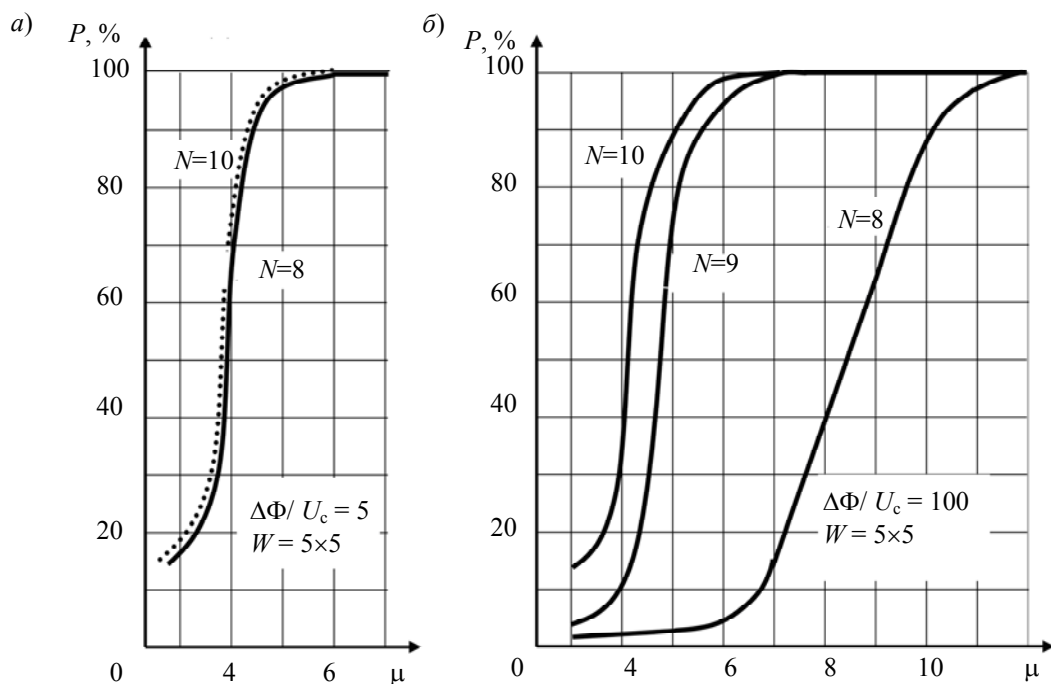


Рис. 3

На рис. 4 в более наглядной форме представлены зависимости вероятности правильного выделения сегмента от отношения $\Delta\Phi/U_c$ при различных значениях N для случая использования в составе решающего правила линейного анизотропного (а) и нелинейного медианного фильтра (б). Из приведенных примеров видно, что в случае использования анизотропного фильтра принципиально не удается (даже при максимальном значении $N = 12$) решать задачу выделения малококонтрастных объектов в изображениях, содержащих резкие перепады фоновой составляющей, по контрастности соизмеримые с наблюдаемыми объектами. Это объясняется существенным перекрытием в пространственно-частотной области спектров сигнальной и фоновой составляющих, в то время как в основе работы анизотропного линейного фильтра лежит именно коррекция пространственно-частотных характеристик входных воздействий. Однако при использовании медианного (нелинейного) фильтра с адекватной (согласованной с размерами изображения выделяемого объекта) апертурой удается успешно решать задачу селекции малоразмерных и малококонтрастных объектов вплоть до значений $\Delta\Phi/U_c \approx 150$ при условии достаточной разрядности АЦП в узле предварительной (допроцессорной) обработки сигнала.

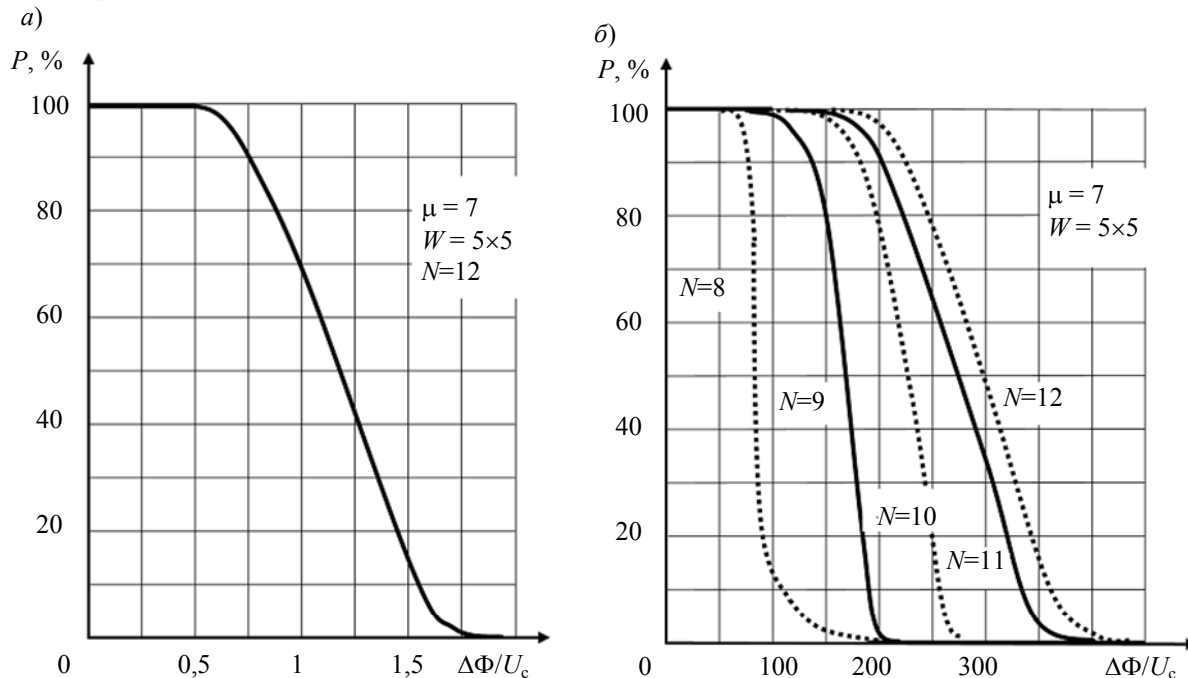


Рис. 4

Выводы. Описанный выше алгоритм при оптимально выбранных параметрах решающего правила и обоснованных требованиях к отдельным звеньям аппаратной структуры автоматизированной системы видеонаблюдения позволяет успешно решать задачу выделения слабых оптических сигналов от малоразмерных (в предельном случае — точечных) целей, наблюдаемых в присутствии существенно более контрастных (в несколько десятков раз) мешающих деталей фона.

Наиболее предпочтительно в составе решающего правила использовать двумерный медианный фильтр с минимально возможной апертурой, при этом достигаются наилучшие условия для селекции малоразмерных целей на фоне резких скачков яркости фона.

При правильно выбранных параметрах системы основное влияние на возможности селекции малококонтрастных точечных объектов на фоне резких контрастных изменений фоновой составляющей оказывает ограничение динамического диапазона используемых приемников оптического излучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений / Под ред. Т. С. Хуанга. М.: Радио и связь, 1984. 224 с.
2. Андреев А. Л., Тоткайло С. В. Комплексная модель оптико-электронной системы наблюдения за точечными объектами // Сб. тр. VII Междунар. конф. „Прикладная оптика-2006“. Т. 1. Оптическое приборостроение. СПб, 2006. С. 48—52.
3. Андреев А. Л., Лбова Т. П. Разработка структуры комплексной модели оптико-электронной системы наблюдения за точечными объектами // Науч.-техн. вестн. СПбГУ ИТМО. 2009. № 5(63). С. 10—15.

Сведения об авторах

- Андрей Леонидович Андреев** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра оптико-электронных приборов и систем; E-mail: and-andr@yandex.ru
- Валерий Викторович Коротаев** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра оптико-электронных приборов и систем; заведующий кафедрой; E-mail: korotaev@grv.ifmo.ru
- Дмитрий Матвеевич Пашковский** — аспирант; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра оптико-электронных приборов и систем; E-mail: natr1x@mail.ru

Рекомендована кафедрой
оптико-электронных приборов и систем

Поступила в редакцию
28.11.11 г.

УДК 621.391.161

Б. И. ШКУРСКИЙ

ОБНАРУЖЕНИЕ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ В ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПЕЛЕНГАТОРАХ

Рассмотрена процедура обнаружения сигнала в оптико-электронных пеленгаторах с тремя типами фотоприемных устройств. Выявлены условия эффективности оптимальных по отношению сигнал/(помеха+шум) линейных фильтров. Представлен эвристический алгоритм обнаружения цифрового сигнала в пеленгаторах с матричными фотоприемными устройствами.

Ключевые слова: оптико-электронный пеленгатор, оптимальный фильтр, отношение сигнал/(помеха+шум), эвристический алгоритм.

Цифровая обработка электрических сигналов в настоящее время широко применяется в оптико-электронных системах, в частности, в оптико-электронных пеленгаторах (ОЭП). Под выделением сигнала понимается выделение его из шумов фотодиэлектриков и помех, обнаружение и оценка его параметров (отношение сигнал/шум, угловые координаты и т.д.). Цифровой обработке сигналов посвящено достаточно много специальной литературы (см., например, [1]), облегчающей конструирование цифровых фильтров любых типов. Однако в ней, как правило, не затрагиваются некоторые вопросы, принципиальные для обработки сигналов в ОЭП:

- какие фильтры могут быть отнесены к оптимальным;
- как наилучшим образом выбрать параметры сигналов, подлежащих обработке;
- какие дополнительные процедуры обработки сигналов требуются.

В современных ОЭП могут применяться фотодетекторы трех типов: