

И. В. Гальчук, А. Г. Костевич, М. И. Курячий

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ РАНГОВЫЕ АЛГОРИТМЫ ВЫДЕЛЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ НА СЛОЖНОМ ФОНЕ

Рассматриваются ранговые алгоритмы выделения малоразмерных объектов на последовательности телевизионных изображений. Также рассматривается проблема выделения близкорасположенных малоразмерных объектов на сложном фоне.

*Ключевые слова:* ранговый алгоритм, малоразмерный объект, цифровая обработка изображений.

Широкое применение телевизионных средств при сопровождении аэрокосмических, транспортных и других подвижных объектов подразумевает решение задачи выделения изображений объектов, перемещающихся в условиях естественных и искусственных помех. Подобная задача возникает также при анализе изображений различного происхождения (телевизионных, радиолокационных, рентгеновских, тепловизионных и т.п.) в целях выделения малоразмерных объектов (МО) на сложном фоне. Задача усложняется тем, что реальные фоновые образования характеризуются перепадами яркости и плохо описываются нормальным законом распределения яркостей. В этом случае линейные процедуры выделения сигналов объектов (например, двойное дифференцирование, различные аппроксимации лапласианов, оптимальные линейные фильтры) малопригодны и вызывают значительный паразитный сигнал.

В настоящей статье рассматриваются сравнительно новые нелинейные методы выделения объектов, основанные на использовании порядковых статистик отсчетов сигнала, а также первых и вторых разностей сигналов и их модулей в некоторой локальной окрестности объектов [1, 2]. Данные методы можно назвать ранговыми методами выделения объектов.

Ранговой обработкой данных называют преобразование совокупности отсчетов сигнала в вариационный ряд (ВР), в котором отсчеты сигнала ранжированы по значимости — значению амплитуды. Первый (минимальный) ранг в ВР имеет отсчет сигнала с минимальной амплитудой, последний (максимальный) ранг — отсчет сигнала с максимальной амплитудой. Наиболее часто при фильтрации сигналов с импульсными помехами используются медианные фильтры, в которых реализуется процедура построения вариационного ряда и нахождения его срединного значения. Для решения задачи выделения объектов, перемещающихся на сложном фоне (с перепадами яркости), наиболее целесообразно использование экстремальной фильтрации на основе порядковых статистик с минимальным и максимальным рангом. При экстремальной фильтрации текущий отсчет заменяется отсчетом сигнала из его окрестности с максимальной или минимальной амплитудой. Процедуры сортировки, поиска максимума и минимума, используемые в ранговых фильтрах, достаточно просты при реализации в цифровом виде.

Динамическое изображение, получаемое при наблюдении за подвижным объектом, можно представить последовательностью статических изображений. В такой последовательности можно выделить характерные фрагменты, представляющие различные варианты взаимного расположения выделяемого объекта и фоновых образований (ФО): светлый объект на темном фоне (объект с положительным контрастом), темный объект на светлом фоне (объект с отрицательным контрастом), объект на границе фонового образования и объект вблизи его границы. При исследовании ранговой обработки можно реализовать характерные ситуации взаимного расположения объекта и фона в одном изображении, например, как показано на рис. 1, где представлены исходные изображения с резкими и плавными перепадами яркости фона.

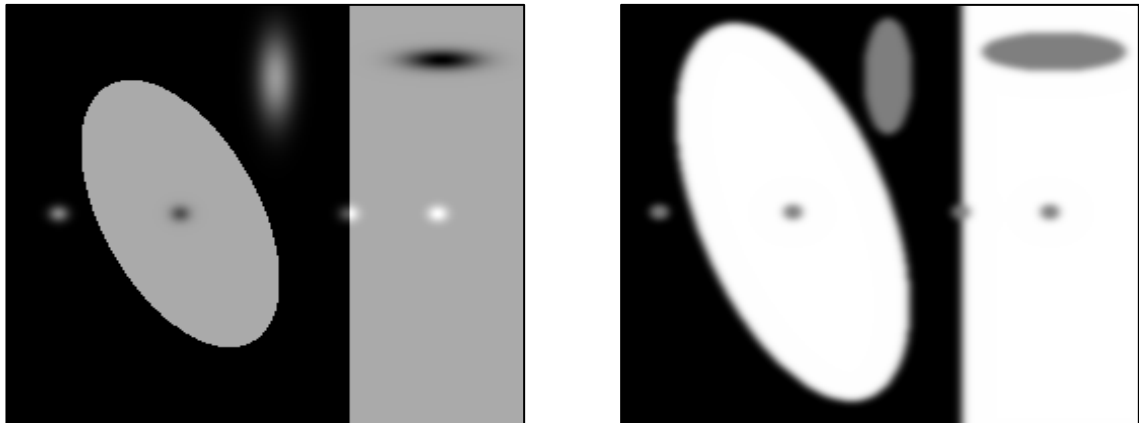


Рис. 1

При генерировании фонообъектовой обстановки использовались две модели: аддитивная модель с наложением объектов на фон и модель с затенением фона объектами круглой формы (аппликативная модель). В последнем случае для получения фонообъектовой обстановки с плавными перепадами яркости дополнительно проводилась операция расфокусировки изображения.

Построение вариационного ряда можно осуществить в соответствии с набором отсчетов, полученных с помощью маски. В частном случае маска и соответствующая ей апертура  $A$  могут быть представлены в виде двумерной матрицы, один из возможных вариантов построения которой показан на рис. 2. В этом варианте апертура  $A$  имеет симметричную относительно центра маски форму в виде кольца с четным числом элементов. С помощью данной маски выбираются отсчеты входного сигнала путем управления коммутатором, на вход которого подается сигнал от исходного изображения [3, 4].

			$A_3$			
	$A_2$				$A_4$	
$A_1$			$A_0$			$A_5$
	$A_8$				$A_6$	
			$A_7$			

Рис. 2

При выделении малоразмерных объектов лучшие результаты получаются, если для построения ВР используются не сами отсчеты сигнала, а их первые или вторые разности.

Авторами исследованы, аппаратно и программно реализованы около десяти различных ранговых алгоритмов [5—8]. Приведем аналитические записи некоторых из них, считая, что обрабатываемый сигнал представлен набором чисел на квадратной решетке  $\{x(i, j)\}$ , где  $(i, j)$  изменяются на некотором подмножестве  $Z^2$ :

$$y_1(i, j) = f \left[ R_{(1, n)} \left\{ d_k(i, j) : k \in \overline{1, n} \right\} \right], (i, j) \in Z^2;$$

$$y_2(i, j) = R_{(1, n)} \left\{ |d_k(i, j)| : k \in \overline{1, n} \right\}, (i, j) \in Z^2;$$

$$\begin{aligned}
 y_3(i, j) &= \text{med} \left\{ d_k(i, j) : k \in \overline{1, n} \right\}, (i, j) \in Z^2; \\
 y_4(i, j) &= f \left[ R_{(1, n/2)} \left\{ g_k(i, j) : k \in \overline{1, n/2} \right\} \right], (i, j) \in Z^2; \\
 y_5(i, j) &= R_{(1, n/2)} \left\{ |g_k(i, j)| : k \in \overline{1, n/2} \right\}, (i, j) \in Z^2; \\
 y_6(i, j) &= \text{med} \left\{ g_k(i, j) : k \in \overline{1, n/2} \right\}, (i, j) \in Z^2; \\
 y_7(i, j) &= f \left[ R_{(1, n)} \left\{ d_k(i, j) \right\} \right] + f \left[ R_{(1, n)} \left\{ -d_k(i, j) \right\} : k \in \overline{1, n} \right], (i, j) \in Z^2,
 \end{aligned}$$

где  $R_{(s,t)} \{ \cdot \}$  — оператор нахождения  $s$ -й порядковой статистики из  $t$  значений;  $y(i, j)$  — отсчет выходного сигнала;  $f[\cdot]$  — функция ограничения отрицательных значений; здесь выражения для первой и второй разностей между текущим отсчетом сигнала и  $k$ -м отсчетом в его окрестности имеют соответственно следующий вид:

$$\begin{aligned}
 d_k(i, j) &= x(i, j) - x(i+l_k, j+m_k), (l_k, m_k) \in A, k \in \overline{1, n}; \\
 g_k(i, j) &= x(i, j) - 0,5 \left[ x(i+l_k, j+m_k) + x(i-l_k, j-m_k) \right], (l_k, m_k) \in A, k \in \overline{1, n/2},
 \end{aligned}$$

где  $A$  — скользящая апертура, с помощью которой формируется ВР, при этом должно выполняться условие  $(l_k, m_k) \in A \Rightarrow (-l_k, -m_k) \in A, (0, 0) \notin A$ ;  $(l_k, m_k)$  — координаты  $k$ -го элемента в апертуре,  $(l_{k+0,5n}, m_{k+0,5n}) = (-l_k, -m_k)$ ;  $n$  — число элементов в апертуре, используемых при обработке.

На рис. 3 представлены результаты обработки исходного изображения с резкими перепадами яркости с использованием различных алгоритмов:  $a$  — минимума первых разностей или МПР ( $y_1, y_4$ );  $b$  — модифицированного минимума первых разностей или ММПР ( $y_2, y_5$ );  $в$  — усовершенствованного минимума первых разностей или УМПР ( $y_7$ ); результат обработки изображения с плавными перепадами яркости методом ММПР приведен на рис. 3,  $г$ .

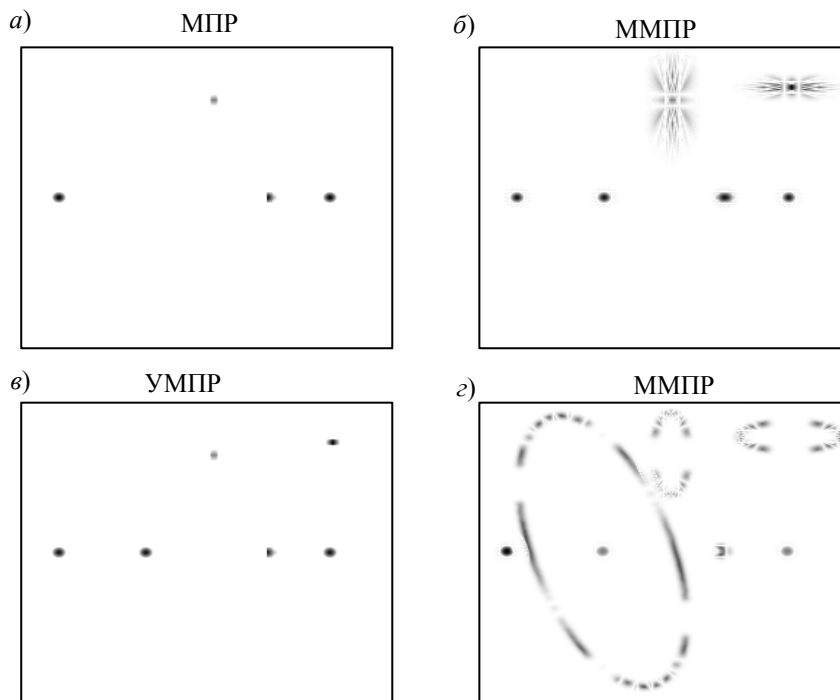


Рис. 3

Анализ рис. 3,  $a$  —  $в$  показывает, что фоновые образования с резкими перепадами яркости полностью устраняются при использовании всех трех алгоритмов. При обработке изображения с плавными перепадами яркости появляются так называемые „ложные“ объекты (см. рис. 3,  $г$ ):

в этом проявляется недостаток алгоритма ММПР, что объясняется наличием операции вычисления модуля первой разности. Алгоритм УМПР свободен от такого недостатка, но имеет другой недостаток, общий с МПР, — эффект „затемнения“ выделяемого малоразмерного объекта соседними объектами или фоновыми образованиями.

При использовании алгоритма скользящей медианы первых и вторых разностей (алгоритмы  $y_3$  и  $y_6$ ) выделяются сигналы от объектов, имеющих как положительный, так и отрицательный контраст без изменения его полярности. Иными словами, достоинством использования подобного алгоритма является неискаженное выделение сигналов. Однако при этом остаются некомпенсированными угловые участки фонового изображения, что проявляется в виде выбросов выходного сигнала.

Сигналы, поступающие от малоразмерных объектов, отличаются от сигналов других объектов изображений тем, что представляют собой изолированную область взаимосвязанных отсчетов. С учетом признака компактности двумерных областей размер апертуры должен превышать размер этих областей. В результате проведенных исследований было выяснено, что при выделении объекта без искажений его размер должен быть в два и более раза меньше размера апертуры. В противном случае наблюдается полное или частичное подавление МО. Следует отметить, что при этом происходит также выделение фоновых образований, размеры которых удовлетворяют указанному выше условию (два верхних ФО на рис. 1). Однако даже при выполнении этого условия возможна ситуация, когда центр апертуры совпадет с каким-либо элементом выделяемого объекта, и/или один из ее периферийных элементов совпадет с каким-либо элементом соседнего объекта или ФО. В этом случае, если значение амплитуды сигнала соседнего объекта больше значения амплитуды сигнала выделяемого объекта или равно ему, может произойти подавление обрабатываемого элемента выделяемого объекта. Полное подавление объекта или его части и есть так называемый эффект „затемнения“.

В ходе эксперимента было исследовано также использование ранговых алгоритмов в условиях некоррелированных гауссовых шумов при оценке координат объектов на постоянном фоне методом „центра масс“. На рис. 4 приведен график зависимостей среднеквадратической погрешности ( $\sigma$ ) измерения координат гауссового объекта от его размера ( $R$ ) при отношении сигнал/шум равном десяти. Размеры апертуры выбраны таким образом, что объекты с радиусом  $R$ , составляющим от 0 до 2,5 элементов, на уровне 0,606 выделяются без искажений.

Как видно из рисунка, при выделении объектов с радиусом  $0 < R < 2,5$  эл. погрешность определения координат при использовании алгоритма МПР для объектов с положительным контрастом (кривая 1) и алгоритма ММПР для объектов с отрицательным контрастом (кривая 2) меньше, чем при определении координат без предварительного использования этих алгоритмов (кривая 3). Например, при  $R = 1$  эл. погрешность определения координат без обработки равна 1,45, а при использовании алгоритмов МПР и ММПР она составляет 0,35 и 0,45 соответственно. Это обстоятельство свидетельствует о достаточно высокой помехоустойчивости использованных в эксперименте алгоритмов.

Таким образом, достоинством предложенных ранговых алгоритмов является более эффективное по сравнению с линейными алгоритмами подавление сигнала от сложного фона при незначительных искажениях выделенных объектов.

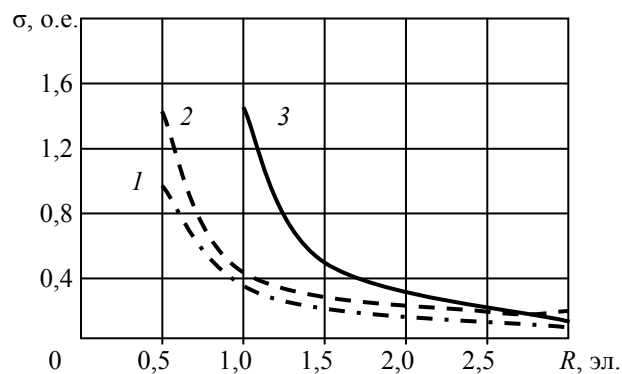


Рис. 4

Использование ранговых алгоритмов обеспечивает устойчивое выделение малоразмерных объектов, перемещающихся на сложном фоне, имеющем значительные перепады яркости (линия горизонта, кромки облаков, искусственные сооружения и т.д.), что позволяет рекомендовать их для применения в телевизионной аппаратуре сопровождения объектов в условиях естественных и искусственных помех.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильин А. Г., Костевич А. Г., Курьянович Е. Я. Ранговые алгоритмы выделения объектов // Тез. докл. Всесоюз. конф. „Методы и микроэлектронные средства цифрового преобразования и обработки сигналов“. Рига: Ин-т электроники и выч. техники АН Латв. ССР, 1986. Т. 2. С. 607—610.
2. А.с. 1702401 СССР. Устройство для обработки изображений объектов / В. Л. Дмитриенко, А. Г. Костевич, М. И. Курячий, В. Н. Ульянов. // Б.И. 1991. № 48.
3. Казанцев Г. Д., Курячий М. И., Пустынский И. Н. Измерительное телевидение. М.: Высш. школа, 1994. 288 с.
4. Литвинчук Л. А., Макаров В. Н. Синтез структуры обработки видеосигнала для систем телевизионной астрономии // Техника средств связи. Сер. Техника телевидения. 1979. Вып. 5. С. 3—11.
5. Ильин А. Г., Костевич А. Г., Курьянович Е. Я., Ульянов В. Н. Сравнительная характеристика алгоритмов выделения малоразмерных объектов на сложном фоне. Томск, 1987. Деп. в ВНИИТР. 24.01.87, № 21.
6. Ильин А. Г., Костевич А. Г., Курячий М. И. Прецизионное измерение координат объектов цифровыми телевизионными следящими системами // Изв. вузов СССР. Приборостроение. 1991. Т. 34, № 4. С. 64—69.
7. Ильин А. Г., Костевич А. Г., Курячий М. И. Алгоритмы выделения малоразмерных объектов и прецизионного измерения их координат в телевизионных следящих системах // Телевизионные измерительные системы и их элементы: Сб. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1993. Вып. 8. С. 138—159.
8. Гальчук И. В., Костевич А. Г. Методы выделения малоразмерных подвижных объектов на сложном фоне // Тр. Юбил. науч.-техн. конф. по радиоэлектронике, посвященной 50-летию РТФ / Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники. Томск, 2000. Т. 5. С. 82—86.

*Сведения об авторах*

- Игорь Владимирович Гальчук** — Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, кафедра телевидения и управления, науч. сотрудник; E-mail: [ingvio@tu.tusur.ru](mailto:ingvio@tu.tusur.ru)
- Анатолий Геннадьевич Костевич** — канд. техн. наук, доцент; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, кафедра телевидения и управления; E-mail: [ak@tu.tusur.ru](mailto:ak@tu.tusur.ru)
- Михаил Иванович Курячий** — канд. техн. наук, доцент; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, кафедра телевидения и управления; E-mail: [kur@tu.tusur.ru](mailto:kur@tu.tusur.ru)

Рекомендована кафедрой  
телевидения и управления

Поступила в редакцию  
14.04.10 г.