
УДК 004.2:004.93:654.915:681.3

Л.И. Тимченко¹, д-р техн. наук, **Ю.Ф. Кутаев**², канд. техн. наук,
С.В. Чепорнюк³, **Н.И. Кокряцкая**¹, канд. техн. наук, **А.А. Яровой**⁴, д-р техн. наук

¹ Государственный экономико-технологический университет транспорта
(Украина, 03049, Киев, ул. Лукашевича, 19, тел.: +380673550976,
+380432531123, e-mail: timchen@list.ru, kokriatskaia@rambler.ru),

² Конструкторское бюро «JSC KIA Systems»
(Россия, 111024, Москва, ул. 2-я энтузиастов, 5/34,
тел. +79295875703, e-mail: skb-skb@mail.ru),

³ ООО «КСК-Автоматизация»
(Украина, 02095, Киев, ул. Срибнокильская, 24а/25,
тел. +380676580797, e-mail: tipo16v@mail.ru),

⁴ Винницкий национальный технический университет
(Украина, Винница, ул. Хмельницкое шоссе, 95,
тел. +380432598243, e-mail: axa@vinnitsa.com)

Способ обнаружения сигналов в шумах на основе метода S-препарирования для автоматических измерителей координат корреляционного типа

Разработан метод S-препарирования, отличающийся высокой помехоустойчивостью и адаптивностью к неопределенности и изменчивости помехо-сигнальной обстановки с учетом предварительного конвейерного формирования сумм сверток коррелируемых изображений. Приведена классификация корреляционных алгоритмов. Метод позволяет определять координаты истинного смещения фона изображения с точностью до одного дискрета. Разработано и реализовано устройство корреляционного анализа для электронного моделирования.

Розроблено метод S-препарування, який має високу завадостійкість і адаптивність до невизначеності та мінливості завадо-сигнальної обстановки з урахуванням попереднього конвейерного формування сум згортання зображень, що корелюються. Наведено класифікацію кореляційних алгоритмів. Метод дозволяє визначити координати істинного зсуву фону зображення з точністю до одного дискрету. Розроблено і реалізовано на практиці структурну схему пристрою кореляційного аналізу для електронного моделювання.

К л ю ч е в ы е с л о в а: корреляция, метод S-препарирования, контурное препарирование, изображения, градиент.

В настоящее время актуальным является создание автоматических измерителей координат корреляционного типа для вычисления функционала связи текущего изображения (ТИ) и изображения эталона, а также для

© Л.И. Тимченко, Ю.Ф. Кутаев, С.В. Чепорнюк, Н.И. Кокряцкая, А.А. Яровой, 2015

определения координат экстремума данного функционала [1—5]. К преимуществам корреляционно-экстремальных измерителей координат (КЭИК) относятся: возможность работы в условиях большой неопределенности помехо-сигнальной обстановки, большой размер кадра текущего изображения, устойчивость к влиянию декоррелирующих факторов (неравномерность чувствительности, шум, геометрические искажения видеодатчика, погрешности АЦ-преобразования и др.).

Предлагаемый метод S -препарирования и устройство, его реализующее, позволяют вычислять контурные препараты на основании отсчетов исходных изображений и взаимно корреляционные функции этих препаратов [2, 6]. Для современных радиотехнических систем различного назначения характерна работа в сложной помехо-сигнальной обстановке. При проектировании систем связи, радиолокации и других часто приходится решать задачу обнаружения сигналов в шумах, когда их характеристики заранее неизвестны либо подвержены изменениям. Сигналы в таких системах являются функциями двух пространственных координат и времени и называются изображениями. При этом физический смысл корреляционной обработки состоит в совмещении изображений.

В таблице приведена классификация корреляционных алгоритмов, указаны их преимущества и недостатки [3, 4, 7—18]. Классический алгоритм корреляционной обработки изображений представляет собой вычисление функции взаимной корреляции или интеграла типа свертки с последующим поиском максимума этой функции. К недостаткам классического алгоритма следует отнести большой объем вычислений, так как вычисление функции взаимной корреляции выполняется при всех возможных относительных сдвигах обрабатываемых изображений. При этом если размеры изображений равны $M \times M$ $N \times N$, то число точек, для которых вычисляется функция корреляции, равно $(N - M + 1)^2$. Обычно это число значительно.

Разностные корреляционные алгоритмы основаны на поэлементном вычислении разностей интенсивности изображения. Относительно вычислительных затрат разностные алгоритмы имеют преимущество перед классическим алгоритмом, так как в них отсутствует операция умножения.

Постановка задачи. В 2000-е годы получили развитие быстрые корреляционные алгоритмы, в частности на основе метода контурного препарирования и метода S -препарирования, отличающиеся высокой помехоустойчивостью и адаптивностью к неопределенности и изменчивости помехо-сигнальной обстановки [16]. Тема корреляционного анализа изображений с применением различных методов обработки получила развитие в работах [5, 19].

Метод корреляционной обработки	Обработка изображений	Преимущества	Недостатки
Оптимальная пространственная фильтрация [7]	Фильтрация изображений для оптимизации совмещения; конструирование оптимальных фильтров с использованием типичных изображений	Увеличенное отношение основного пика корреляционной функции к боковым; гомогенность боковых лепестков; возможность аналитического описания	Необходимо знание серого уровня изображения; при конструировании фильтра требуется оценка статистики шума
Фоновая корреляция [8, 9]	Площадная корреляция с использованием обратного преобразования Фурье взаимного энергетического спектра фазы	Острые корреляционные пики; эффективность реализации; нечувствительность к узкополосному шуму	Требуется прогноз серого уровня изображений и их широкополосного сюжета
Бинарная корреляция [10]	Предварительный перевод изображений в бинарную форму	Эффективная цифровая реализация; снижение чувствительности к ошибкам в прогнозе серого уровня	Требуется прогноз серого уровня изображений; снижение информативности изображений в результате перехода к бинарным изображениям
Корреляция коэффициентов преобразования [11]	Обработка с помощью алгоритма минимальной абсолютной разности коэффициентов Адамара эталонного и текущего изображений	Увеличение остроты пика; снижение чувствительности к шумам; наличие предварительного процессора геометрических изображений	Требуется прогноз серого уровня изображений; увеличение объема вычислений
Оптический согласованный фильтр [12]	Аналоговый согласованный фильтр с использованием когерентной обработки света	Практически мгновенная коррекция; исключительно большой объем памяти; параллельная обработка нескольких эталонных изображений	Необходим прогноз серого уровня; гибкость обработки ограничена аппаратурной реализацией
Трехмерная корреляция [4, 13]	Совмещение трехмерной модели цели и данных активного даль- номера	Прогнозирование серого уровня не требуется; возможность учета различных азимутов подхода; нечувствительность к преднамеренным изменениям признаков цели	Требуется датчик дальности; значительный объем вычислений
Совмещение относительных информационных векторов [5]	Совмещение на основе максимизации числа соответствующих относительных информационных векторов	Прогнозирование серого уровня не требуется; включает трехмерные объекты; нечувствителен к инвертированию контраста; максимальные требования к памяти	Выделение признаков; чувствительность к шуму; затруднено аналитическое описание характеристик

Продолжение табл.

Метод корреляционной обработки	Обработка изображений	Преимущества	Недостатки
Совмещение структурных моделей [14]	Совмещение структурных моделей признаков (линий, сегментов, вершин, пятен)	Прогнозирование серого уровня не требуется; нечувствительность к инвертированию контраста; минимальные требования к памяти	Выделение признаков; чувствительность к шуму; затруднено аналитическое описание характеристик
Контурное препарирование [15]	Трехуровневая бинаризация с адаптивным пороговым ограничением	Простота реализации; нечувствительность к шумовым сигналам	Снижена информативность изображений вследствие перехода к бинарным изображениям

Рассмотрим новый подход к исследованию влияния шумов и определению смещения фона, содержащегося в текущем обрабатываемом изображении, на основе метода *S*-препарирования для автоматических измерителей координат корреляционного типа.

Метод *S*-препарирования представляет собой модифицированный метод контурного препарирования [15, 20], в котором контурные препараты образуются из нормированных сверток исходных изображений. При этом окно суммирования, по которому вычисляются средние значения сумм, т.е. свертки, сдвигаются в пределах своего начального положения. Суть метода состоит в определении фрагмента изображения, включающего наиболее информативный (в соответствии с варьируемым критерием) участок фона, и корреляционно-экстремальном измерении межкадрового смещения данного фрагмента с последующим препарированием измеренного смещения соответственно искомому смещению фона. При этом размеры фрагмента являются промежуточными между размером динамического объекта и протяженного фона. Метод сравнения контурных препаратов со сдвигом окна суммирования (метод *S*-препарирования) предлагается использовать в КЭИК для определения величины перемещения фона, содержащегося в текущем обрабатываемом изображении.

Алгоритм локализации протяженного объекта с предварительным сверхточным суммированием изображения сводится к выполнению следующих шагов:

1. Разбивают поле кадра двумерного изображения размером $n \times n$ отсчетов на $(n/m)^2$ фрагментов размером $m \times m$ отсчетов и накапливают свертки по фрагментам (среднего значения сумм отсчетов по фрагментам):

$$\tilde{f}(k, l) = \frac{\sum_{j=l\frac{n}{m}}^{(l+1)\frac{n}{m}-1} \sum_{i=k\frac{n}{m}}^{(k+1)\frac{n}{m}-1} \tilde{f}(i, j)}{mm},$$

где $\tilde{f}(i, j)$ — цифровой отсчет изображения с координатами i, j ; (k, l) — номер фрагмента изображения, $k = 0, \frac{n}{m} - 1, l = 0, \frac{n}{m} - 1$.

2. Запоминают накопленные свертки $\tilde{f}(k, l)$ ТИ и используют их в качестве свертков $\bar{f}_g(k, l)$ задержанного изображения (ЗИ) в следующем кадре.

3. Выбирают фрагмент (k_m, l_m) , для которого модуль разности свертков ТИ и ЗИ минимален:

$$(k_m, l_m) = \min \left\{ |\bar{f}(k, l) - \bar{g}(k, l)|; k = 0, \frac{n}{m} - 1; l = 0, \frac{n}{m} - 1 \right\}.$$

4. Вычисляют локальный разностный порог δ_f , необходимый при контурном препарировании отсчетов выбранного фрагмента, посредством конвейерного накопления суммы $\tilde{f}^>$ отсчетов больших свертков и суммы $\tilde{f}^<$ меньших свертков $\bar{f}(k, l)$ по фрагменту (k_m, l_m) : $\delta_f = \frac{1}{2}(\bar{f}^> - \bar{f}^<)$.

5. Формируют массив контурных препаратов посредством конвейерного накопления сумм $S_f(i, j)$ по окрестности каждого отсчета $\bar{f}(i, j)$:

$$\left\{ q_f(i, j), i = k\frac{n}{m}, (k+1)\frac{n}{m} - 1; j = l\frac{n}{m}, (l+1)\frac{n}{m} - 1 \right\},$$

$$S_f(i, j) = \frac{1}{2}[(\tilde{f}(i, j-1) + \tilde{f}(i-1, j)) - (\tilde{f}(i+1, j) + \tilde{f}(i, j+1))],$$

$$q_f(i, j) \in \left\{ q_f^+(i, j), q_f^0(i, j), q_f^-(i, j) \right\},$$

в результате чего формируются положительный $q_f^+(i, j)$, нулевой $q_f^0(i, j)$ и отрицательный $q_f^-(i, j)$ препараты отсчета $S_f(i, j)$,

$$S_f(i, j) = \begin{cases} + \\ q_f^+(i, j) = 1, S_f(i, j) > \delta_f, \\ 0 \\ q_f^0(i, j) = 0, |S_f(i, j)| \leq \delta_f, \\ - \\ q_f^-(i, j) = -1, S_f(i, j) < -\delta_f. \end{cases}$$

6. Обеспечивают хранение контурных препаратов $\left\{ q_f^+(i, j), q_f^0(i, j), q_f^-(i, j) \right\}$, используемых как контурные препараты ЗИ в следующем кадре.

7. Вычисляют локальный разностный порог δ_g ЗИ: $\delta_g = \frac{1}{2} \left(\bar{g}^> - \bar{g}^< \right)$, а также контурные препараты $q_g(i, j) \in \left\{ q_g^+(i, j), q_g^0(i, j), q_g^-(i, j) \right\}$.

8. Вычисляют ранговую взаимно корреляционную функцию (РВКФ) $R(k_m, l_m)$ фрагмента (k_m, l_m) .

9. Определяют координаты $X_{f_{\max}}, Y_{f_{\max}}$ максимальной РВКФ $\max R(k_m, l_m)$.

10. Определяют смещение фона ТИ относительно фона ЗИ: $\Delta X = X_{f_{\max}} - X_{\hat{\delta}_{\max}}, \Delta Y = Y_{f_{\max}} - Y_{\hat{\delta}_{\max}}$.

Смещение окна суммирования, соответствующее максимальному отсчету массива отсчетов РВКФ, является истинным смещением фона в ТИ относительно ЗИ. Целесообразны два варианта формирования контурного препарата: унарное и знаковое.

Унарное формирование ТИ:

$$q_f(i, j) \in \left\{ q_f^+(i, j), q_f^0(i, j), q_f^-(i, j) \right\},$$

$$q_f^+(i, j) = \begin{cases} 1 & S_f(i, j) > \delta_f, \\ 0 & S_f(i, j) \leq \delta_f, \end{cases}$$

$$q_f^0(i, j) = \begin{cases} 1 & |S_f(i, j)| \leq \delta_f, \\ 0 & |S_f(i, j)| > \delta_f, \end{cases}$$

$$q_f^-(i, j) = \begin{cases} 1 & S_f(i, j) < -\delta_f, \\ 0 & S_f(i, j) \geq -\delta_f. \end{cases}$$

Таким образом, при унарном формировании массив $\{S_f(i, j)\}$ преобразуется в три массива:

$$\left\{ q_f^+(i, j) \right\}, \left\{ q_f^0(i, j) \right\}, \left\{ q_f^-(i, j) \right\}.$$

Аналогично осуществляется унарное формирование ЗИ относительно порога δ_g , в результате чего образуется три массива:

$$q_g(i, j) \in \left\{ q_g^+(i, j), q_g^0(i, j), q_g^-(i, j) \right\}.$$

Унарное формирование позволяет предельно упростить вычисление РВКФ посредством замены операции арифметического умножения операцией логического умножения (конъюнкции):

$$R_{fg}(\bar{\tau}) = \sum_{\{(i,j)\}}^{+} q_f(i-\tau_x, i-\tau_y) \wedge q_g(i,j) + \sum_{\{(i,j)\}}^0 q_f(i-\tau_x, i-\tau_y) \wedge q_g(i,j) + \sum_{\{(i,j)\}}^{-} q_f(i-\tau_x, i-\tau_y) \wedge q_g(i,j),$$

где \wedge — знак конъюнкции; $\bar{\tau}$ — вектор сдвига (смещения). Такая замена позволяет достичь максимального быстродействия при вычислении РВКФ с использованием параллельного оптико-электронного сумматора. Кроме того, при унарном формировании максимально возможное значение РВКФ равно максимальному значению ранговой автокорреляционной функции (РАКФ), которое равно числу отсчетов N_r каждого из сравниваемых ранговых контурных препаратов ТИ и ЗИ, т.е. $N_{f_{0r}} = N_{g_{0r}} = N_{r_0}$. Из этого следует, что деление значений отсчетов РВКФ на известное число N_r приводит к их нормировке и, соответственно, преобразованию поля отсчетов РВКФ в поле отсчетов коэффициента корреляции ранговых контурных препаратов ТИ и ЗИ. Поскольку число отсчетов N_r известно априори, деления значений отсчетов поля РВКФ на N_r не требуется.

Таким образом, вычисление классического коэффициента корреляции ранговых контурных препаратов ТИ и ЗИ, требующее вычисления их РВКФ, нахождения отсчета с максимальным значением РВКФ, вычисления максимального значения РАКФ ЗИ и деления квадратного корня из максимального значения РВКФ на максимальное значение РАКФ с последующим нахождением максимального значения коэффициента корреляции, заменяется вычислением РВКФ, нахождением отсчета с максимальным значением РВКФ и сравнением его с числом $N_r(1-\delta_k)$, где $1-\delta_k$ — заданный порог обнаружения, $0 < \delta_k < 1$. Например, при $1-\delta_k = 0,9$ максимальное число совпадающих значений сравниваемых ранговых контурных препаратов ТИ и ЗИ для каждого вектора сдвига ТИ относительно ЗИ должно быть не менее $0,9N_r$.

Знаковое формирование ТИ:

$$q_f(i,j) \in \left\{ q_f^{+}(i,j), q_f^0(i,j), q_f^{-}(i,j) \right\},$$

$$q_f(i, j) = \begin{cases} + \\ q_f(i, j) = 1, S_f(i, j) > \delta_f, \\ 0 \\ q_f(i, j) = 0, |S_f(i, j)| \leq \delta_f, \\ - \\ q_f(i, j) = -1, S_f(i, j) < -\delta_f. \end{cases}$$

При знаковом препарировании требуется два бита для представления препарированного отсчета ТИ. Аналогично осуществляется знаковое формирование препарированного отсчета ЗИ относительно порога δ_g . При знаковом препарировании необходимо проведение всех вычислений для нахождения классического коэффициента корреляции ранговых контурных препаратов ТИ и ЗИ. Упрощение вычислений и повышение быстродействия достигается с помощью двухразрядных операндов при выполнении операции арифметического умножения для вычисления РВКФ и РАКФ и, соответственно, уменьшения диапазона их максимальных значений.

Предлагаемый модифицированный метод S -препарирования с коррекцией заключается в формировании сверток отсчетов изображения при различных смещениях окна суммирования, формировании на основе этих сверток контурных препаратов с использованием оптимального локального разностного порога и сравнении полученных препаратов текущего изображения с препаратами задержанного изображения при нулевом смещении окна суммирования. Этот метод позволяет определять координаты истинного смещения фона изображения с точностью до одного дискрета при превышении истинного пика РВКФ максимальным ложным пиком для большинства типов фона изображения. Исключения составляют некоторые случаи фона регулярной (например, синусоидальной) структуры.

Моделировалось влияние шумовых отсчетов на отсчеты одномерных сигналов объекта и фона. Были рассмотрены два основных вида шума: с равномерным и нормальным (гауссовским) распределениями плотности вероятности. Отношение сигнал/шум определялось как отношение истинного и ложного (И/Л) пиков массива отсчетов РВКФ. Величина истинного пика $R(x_{И})$ РВКФ определена по априорно заданному истинному смещению фона $x_{И}$.

Величина максимального ложного пика определяется так: из массива отсчетов РВКФ исключаются отсчеты, для которых при $i = 0, x_{\max} - x_{И}$

$$R(x_{И} + 1 + i) = \begin{cases} 0, \text{ если } R(x_{И} - i) - R(x_{И} - 1 - i) > 0, \\ R(x_{И} + 1 + i) \text{ в противном случае,} \end{cases}$$

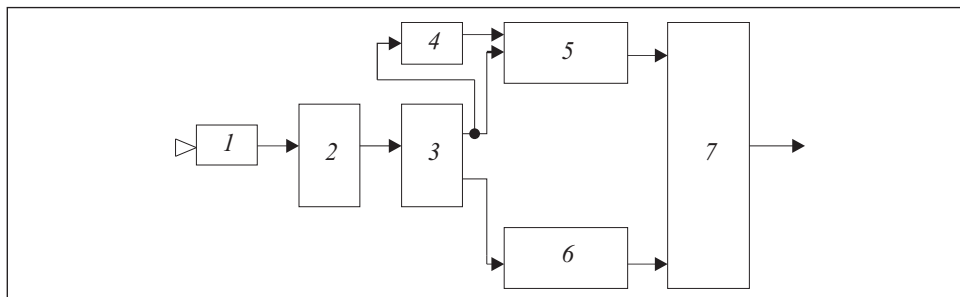


Рис. 1. Структурная схема двухканального КЭИК: 1 — видеодатчик; 2 — блок аналого-цифрового преобразования (АЦП); 3 — блок предварительной обработки; 4 — схема задержки кадра; 5 и 6 — «грубый» и «точный» каналы; 7 — системный контроллер

при $i = \overline{0, x_{И} - 1}$

$$R(x_{И} - 1 - i) = \begin{cases} 0, & \text{если } R(x_{И} - i) - R(x_{И} - 1 - i) > 0, \\ R(x_{И} - 1 - i) & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Среди оставшихся отсчетов отыскиваем отсчет с максимальной амплитудой $R(x_{Д})$, который является максимальным ложным пиком. Таким образом, метод S -препарирования позволяет определить для ЗИ и ТИ величину смещения фона.

В КЭИК, работающих с массивами отсчетов изображений большой размерности (512×512), предлагается использовать двухступенчатую процедуру определения величины смещения фона: разбиение исходных массивов отсчетов изображения на фрагменты и выбор фрагмента по критерию минимального искажения фона; обработка выбранных фрагментов ТИ и ЗИ собственно методом S -препарирования. Метод S -препарирования предлагается использовать в так называемом грубом канале двухканального КЭИК (рис. 1).

В рассматриваемом КЭИК входное изображение с помощью видеодатчика 1 и блока АЦП 2 преобразуется в цифровую форму и через блоки 3 и 4 поступает на канал 5, в котором реализован метод S -преобразования, позволяющий при больших размерах кадра ($\approx 512 \times 512$) определять координаты смещения фона, содержащегося в изображении. Грубый канал 5 обрабатывает цифровые отсчеты текущего и задержанного кадров изображений. Координаты смещения фона с выхода канала 5 поступают в системный контроллер 7, который формирует команду на сдвиг кадра ТИ в блоке 3 на величину, обратную вычисленному смещению в канале 5. Далее, в блоке 3 выполняется вычитание кадров ЗИ и смещенного ТИ, в результате которого формируется кадр изображения, содержащий объект

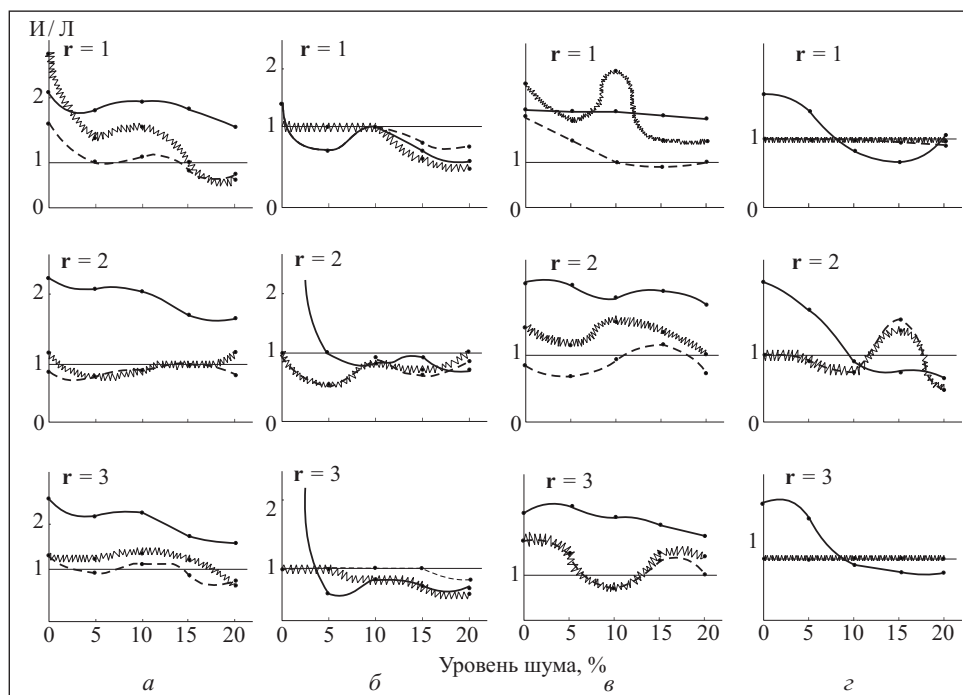


Рис. 2. Графики отношения И/Л пиков в зависимости от степени зашумления равномерным (а, б) и гауссовским (в, г) шумами массивов синусоидальных (б, г) и случайных (а, в) отсчетов при различных методах препарирования и различной длине рангового вектора r : — метод контурного препарирования; - - - метод S -препарирования; $\omega\omega$ метод S -препарирования с коррекцией нулевого препарата

на нулевом фоне. Фрагмент данного кадра, содержащий объект, поступает на точный канал б, где определяются истинные координаты смещения объекта.

Для характеристики метода, реализованного в грубом канале 5 введен термин S -препарирование, так как в его основу положен метод контурного препарирования. Однако операция препарирования выполняется не над отсчетами исходных изображений, а над так называемыми свертками, т.е. суммами отсчетов в пределах окна суммирования при разбиении массива отсчетов исходных изображений на окна суммирования — фрагменты. Указанные свертки вычисляются при различных сдвигах окна суммирования и согласно методу контурного препарирования определяются отсчеты РВКФ, соответствующие сдвигам окна суммирования, степени которых затем определяются экстремумами.

Результаты экспериментальных исследований, программного и электронного моделирования. На рис. 2 представлены результаты срав-

нения метода контурного препарирования и предлагаемого метода S-препарирования по критерию отношения И/Л пиков для массивов случайных и синусоидальных отсчетов фона при различной степени зашумления массивов равномерным и гауссовским шумом и различной длине рангового вектора.

В качестве истинного пика из массива отсчетов РВКФ взят отсчет, соответствующий априорно заданному истинному смещению фона, а в качестве ложного — максимальный из оставшихся отсчетов РВКФ. При сдвиге изображения фона в ТИ и его зашумлении изменяются значения сверток фрагментов, число и взаимное положение положительных, нулевых и отрицательных препаратов. В результате координаты максимального пика РВКФ могут не соответствовать истинному (априорно заданному) смещению фона. Если значение этого ложного пика меньше значения отсчета РВКФ, соответствующего истинному смещению фона, то отношение И/Л пиков будет меньше единицы. Например,

- 1) неискаженный препарат фона: $[+++000---]0+$;
- 2) искаженный шумом препарат фона: $[+0000----]0+$;
- 3) смещенный неискаженный препарат фона ($\tau = 1$): $[+++000---]0+$;
- 4) смещенный искаженный фрагмент фона ($\tau_{И} = 1$): $[+00+--+--]0-$;
- 5) смещенный искаженный фрагмент фона ($\tau_{И} = 2$): $[--00-+-00]--$.

Таким образом, значение отсчета РВКФ препаратов фона 2 и 4: $\tau = 1R(1) = 6$; значение отсчета РВКФ препаратов фона 2 и 5: $\tau = 2R(2) = 4 < R(1) = 6$.

Достоинствами метода определения смещения фона на основе сравнения контурных препаратов нормированных сверток со сдвигом окна суммирования можно считать следующее:

- 1) при вычислении нормированных сверток происходит усреднение шума;
- 2) при выборе фрагмента фона используется мера Чебышева (см. шаг 3 алгоритма локализации);
- 3) при унарном формировании контурных препаратов вектор сдвига фрагмента фона определяется посредством вычисления коэффициента корреляции (см. шаги 8—10 алгоритма локализации).

Указанные достоинства обеспечивают повышение помехоустойчивости и точности данного метода при одновременном практически предельном упрощении вычислений. Приведенные на рис. 2 зависимости отношения И/Л пиков массивов случайных отсчетов от длины рангового вектора, размера свертки, от степени зашумления гауссовским и равномерным шумом и результаты программного моделирования предложенных методов препарирования при обработке одномерных массивов свидетельствуют о высокой помехоустойчивости метода при зашумленности гауссовым шумом до 20 % фонового объекта.

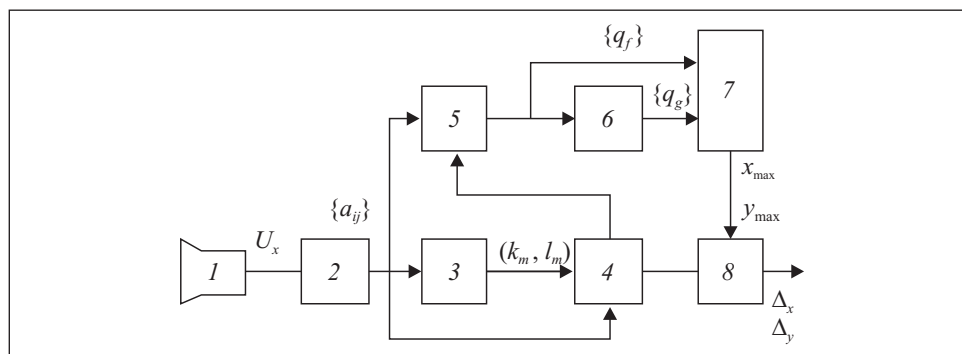


Рис. 3. Структурная блок-схема устройства для анализа локализации протяженного объекта: 1 — видеодатчик; 2 — АЦП; 3 — выбор фрагмента; 4 — вычисление локального разностного порога; 5 — кодер; 6 — выбор эталона; 7 — коррелятор; 8 — вычисление результата

Как видно из рис. 2, а, при зашумлении массивов случайных отсчетов равномерным шумом использование метода S -препарирования в среднем дает меньшее отношение И/Л пиков по сравнению с методом контурного препарирования. Из рис. 2, б, следует, что при зашумлении массива синусоидальных отсчетов равномерным шумом метод S -препарирования с коррекцией дает большее отношение И/Л пиков по сравнению с методом контурного препарирования при длине рангового вектора $\mathbf{r} = 1$ и небольшом зашумлении в диапазоне 1—10 %. При зашумлении массива случайных отсчетов гауссовым шумом метод S -препарирования с коррекцией дает большее отношение И/Л пика по сравнению с методом контурного препарирования при длине рангового вектора $\mathbf{r} = 1$ и зашумлении в диапазоне 0—12 % (рис. 2, в), а при зашумлении массива случайных отсчетов гауссовым шумом метод S -препарирования с коррекцией дает большее отношение И/Л пиков по сравнению с методом контурного препарирования при зашумлении в диапазоне от 10 до 20 % (рис. 2, г). Результаты выполненного моделирования позволяют выбирать метод препарирования в зависимости от характеристик фона и шума и степени зашумленности.

Для электронного моделирования синтезированного метода разработано и реализовано на практике устройство, структурная схема которого приведена на рис. 3. Устройство представляет собой 16-канальную параллельную структуру, включающую системный контроллер, блок выбора фрагмента, блок определения оптимального локального разностного порога и 16-канальный модуль свертки и препарирования. В результате испытаний получены следующие основные технические параметры уст-

ройства модели: размерность изображения — 512×512 отсчетов; разрядность цифрового отсчета видеосигнала — 6 разрядов; частота кадров изображения — 50 Гц; размерность выбранного фрагмента — 128×128 отсчетов; диапазон измерения смещения фона ± 15 отсчетов; погрешность измерения смещения фона ± 1 отсчет; темп измерения смещения фона — 20 мс. В процессе программного моделирования для некоторых типов фонов (например, периодических — синусоидальных, пилообразных) наблюдалось формирование значительного числа нулевых контурных препаратов, которые являются основным вкладом в формирование отсчета РВКФ. В результате этого уменьшалось отношение И/Л пиков РВКФ.

Кроме того, исследован модифицированный метод S-препарирования с коррекцией нулевых препаратов, в котором каждый фрагмент изображения, соответствующий нулевому препарату, корректируется, а именно: выбранный фрагмент изображения разбивается на дополнительные фрагменты меньшего размера и в каждом дополнительном фрагменте вычисляется дополнительная свертка — усредненная сумма отсчетов, входящих в дополнительный фрагмент, соответственно числу отсчетов. Для каждого дополнительного фрагмента определяется разность между величинами дополнительной и основной свертки. Определяется усредненная сумма положительных разностей между величинами дополнительной и основной свертки по числу таких положительных разностей. Определяется дополнительный локальный разностный порог, равный величине основного локального разностного порога, деленного на четыре (делитель определен эмпирически в процессе моделирования для различных типов фонов). В качестве ранговых операндов принимаются усредненные суммы положительных свертки соответствующих разнесенных на ранговый вектор фрагментов изображения, а в качестве локального разностного порога — дополнительный локальный разностный порог. Согласно методу контурного препарирования, формируются новые значения контурного препарата, соответствующего данному фрагменту изображения: +, -, 0. Таким образом, после корректирования нулевых препаратов для ТИ и ЗИ образуются новые массивы контурных препаратов +, -, 0, +, -, которые затем обрабатываются согласно методу контурного препарирования [19].

Выводы

Разработанный метод S-препарирования позволяет определять координаты истинного смещения фона изображения с точностью до одного дискрета при превышении истинного пика РВКФ максимального ложного пика для большинства типов фонов изображения. Исключения составляют некоторые

случаи фонов регулярной (например, синусоидальной) структуры. С использованием нового метода S -препарирования изображений возможно быстрое преобразование сигналов с адаптацией порога для сложной помехо-сигнальной обстановки. Практической реализацией полученных результатов является устройство КЭИК изображений, позволяющее в течение одного кадра (20 мс) выполнить обработку по двум ранговым векторам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ima J., Jensen J.R., Tullis J.A.* Object-based change detection using correlation image analysis and image segmentation// Intern. Journal of Remote Sensing. — 2008. — Vol. 29, N 2.— P. 399—423.
2. *Kozhemyako V.P., Kutaev Y.F., Timchenko L.I. et al.* The Q -Transformation Method Applying to the Facial Images Normalization// Proc. International ICSC IFAC Symposium on NEURAL COMPUTATION. —Vienna, 23—25 September, 1998. — P. 287—291.
3. *Perveen S., James L.A.* Changes in Correlation Coefficients with Spatial Scale and Implications for Water Resources and Vulnerability Data// The Professional Geographer. — 2012. — Vol. 64 (X). — P. 1—12.
4. *Spüler M., Rosenstiel W., Bogdan M.* One Class SVM and Canonical Correlation Analysis increase performance in a c-VEP based Brain-Computer Interface (BCI)// Proc. of 20th European Symposium on Artificial Neural Networks.— Bruges, Belgium, April. — 2012. — P. 103—108.
5. *Yarovyy A., Timchenko L., Kokriatskaia N.* Theoretical Aspects of Parallel-Hierarchical Multi-Level Transformation of Digital Signals//Proc. of the 11th International Conference on Development and Application Systems.— Suceava, Romania (Suceava, Universitatea Stefan cel Mare Suceava), May 2012. — P. 1—9.
6. *Sharin A., Khan M.R., Imtiaz H. et al.* An efficient face recognition algorithm based on frequency domain cross-correlation function//Electrical and Computer Engineering (ICECE). Intern. Conf., Dhaka, Bangladesh, December, 2010. — P. 183 — 186.
7. *Zhao Q., Rutkowski T.M., Zhang L., Cichocki A.* Generalized optimal spatial filtering using a kernel approach with application to EEG classification// Cognitive Neurodynamic. — 2010. — Vol. 4, N 4. — P. 355—358.
8. *Pannekoucke O., Berre L., Desroziers G.* Background error correlation length-scale estimates and their sampling statistics// Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. — 2008. — Vol. 134. — P. 497—511.
9. *Donev A., Torquato S., Stillinger F.H.* Pair correlation function characteristics of nearly jammed disordered and ordered hard-sphere packings// Physical Review E. — 2005.— 71, 011105.—P. 1—14.
10. *Zhou Z., Tang X.* New Families of Binary Low Correlation Zone Sequences Based on Interleaved Quadratic Form Sequences// IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communication and Computer Sciences. — 2008, E91-A, (11). — P. 3406—3409.
11. *Zou K.H., Hall W.J.* On estimating a transformation correlation coefficient// Journal of Applied Statistics. — 2002. — Vol. 29 (5). — P. 745—760.
12. *Awwal A.A.S., Rice K.L., Taha T.M.* Fast implementation of matched-filter-based automatic alignment image processing // Optics & Laser Technology. — 2009. — Vol. 41, N 2. — P. 193—197.
13. *Cherkasov A., Sproul D.G., Chen R.* Three-Dimensional Correlation Analysis. A Novel Approach to the Quantification of Substituent Effects// The Journal of Physical Chemistry. — A. 2003. — Vol. 107, N 45. — P. 9695—9704.

14. Peña-Ortega C., Vélez-Reyes M. Evaluation of different structural models for target detection in hyperspectral imagery// Proc. SPIE Orlando, Florida, 2010, 7695. — P. 76952H—76952H-11.
15. Shawakfeh O.Q., Gertsy A.A., Timchenko L.I., et al. Method of recursive-contour preparing for image normalization// Proc. of the IEEE-EURASIP Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing. Antalya, Turkey, 1999. — P. 414—418.
16. Thirumalai V., Frossard P. Distributed Representation of Geometrically Correlated Images With Compressed Linear Measurements// IEEE Transactions on Image Processing. — 2012. — Vol. 21, N 7. — P. 3206—3219.
17. Kou G., Lu Y., Yi Peng, Shi Y. Evaluation of classification algorithms using MCDM and rank correlation//Intern. Journal of Information Technology & Decision Making (IJITDM). — 2012. — Vol. 11, N 01. — P. 197—225.
18. Zhao J., Zhang J., Yin J. A Parallel Differential Correlation Acquisition Algorithm in Time Domain // Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2009. WiCom'09. 5th Intern. Conf., Shanghai, China, September, 2009. — P. 1—4.
19. Kozhemyako V., Timchenko L., Yarovyv A. Methodological Principles of Pyramidal and Parallel-Hierarchical Image Processing on the Base of Neural-Like Network Systems// Advances in Electrical and Computer Engineering. — 2008, Vol. 8, N 2. — P. 54—60.
20. Timchenko L.I., Kutaev Y.F., Chepornyuk S.V. et al. A Brain — Like Approach to Multistage Hierarchical Image// Proc. Image Analysis and Processing, Springer-Verlag — Italy, 1997. — P. 246—253.

L.I. Timchenko, Y.F. Kutayev, S.V. Cheporniuk, N.I. Kokriatskaya, A.A. Yarovyv

AN APPROACH TO DETECTION OF NOISE-DISTORTED SIGNALS
BASED ON THE METHOD OF S-PREPARATION FOR AUTOMATIC
COORDINATE METERS OF CORRELATION TYPE

A method of S-preparation has been developed, which, allowing for the preliminary conveyer formation of correlated image convolution sums, is characterized by high noise immunity and adaptivity to uncertainty and variability of the signal clutter situation. This method allows one to determine coordinates of the true shift of the image background with the accuracy of up to one resolution step. Correlation algorithms have been classified. Based on the mentioned processing methods, a schematic diagram of the correlation analysis unit has been developed and realized.

Key words: correlation, method of S-preparation, loop preparation, images, gradient.

REFERENCES

1. Ima, J., Jensen, J.R., and Tullis, J.A. (2008), “Object-based change detection using correlation image analysis and image segmentation”, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 29, no. 2, pp. 399-423.
2. Kozhemyako, V.P., Kutaev, Y.F., Timchenko, L.I., Chepornyuk, S.V., Hamdi, R.R., Gertsy, A.A. and Ivasyuk I.D. (1998), “The Q-transformation method applying to the facial images Normalization”, *Proceedings of International ICSC IFAC Symposium on NEURAL COMPUTATION, NC'98*, Vienna, September 23-25, 1998, pp. 287-291.
3. Perveen, S. and James, L.A. (2012), “Changes in correlation coefficients with spatial scale and implications for water resources and vulnerability data”, *The Professional Geographer*, Vol. 64, (X), pp. 1-12.

4. Spüler, M., Rosenstiel, W. and Bogdan, M. (2012), "One class SVM and canonical correlation analysis increase performance in a c-VEP based brain-computer interface (BCI)", *Proceedings of 20th European Symposium on Artificial Neural Networks*, Bruges, Belgium, April, 2012, pp. 103-108.
5. Yarovyuu, A., Timchenko, L., and Kokriatskaia, N. (2012), "Theoretical aspects of parallel-hierarchical multi-level transformation of digital signals", *Proceedings of the 11th International Conference on Development and Application Systems*, Suceava, Universitatea Stefan cel Mare Suceava, Romania, May, 2012, pp. 1-9.
6. Sharin, A., Khan, M.R., Imtiaz, H., Sarwar, M.S.U. and Fattah, S.A. (2010), "An efficient face recognition algorithm based on frequency domain cross-correlation function", *Electrical and Computer Engineering (ICECE), International Conference*, Dhaka, Bangladesh, December, 2010, pp. 183-186.
7. Zhao, Q., Rutkowski, T.M., Zhang, L. and Cichocki, A. (2010), "Generalized optimal spatial filtering using a kernel approach with application to EEG classification", *Cognitive Neurodynamics*, Vol. 4, no. 4, pp. 355-358.
8. Pannekoucke, O., Berre, L. and Desroziers, G. (2008), "Background error correlation length-scale estimates and their sampling statistics", *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. 134, pp. 497-511.
9. Donev, A., Torquato, S., and Stillinger, F.H. (2005), "Pair correlation function characteristics of nearly jammed disordered and ordered hard-sphere packings", *Physical Review*, E 71, 011105, pp. 1-14.
10. Zhou, Z. and Tang, X. (2008), "New families of binary low correlation zone sequences based on interleaved quadratic form sequences", *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, E91-A, (11), pp. 3406-3409.
11. Zou, K.H. and Hall, W.J. (2002), "On estimating a transformation correlation coefficient", *Journal of Applied Statistics*, Vol. 29, no. 5, pp. 745-760.
12. Awwal, A.A.S., Rice, K.L., and Taha, T.M. (2009), "Fast implementation of matched-filter-based automatic alignment image processing", *Optics & Laser Technology*, Vol. 41, no. 2, pp. 193-197.
13. Cherkasov, A., Sprous, D.G. and Chen, R. (2003), "Three-dimensional correlation analysis. A novel approach to the quantification of substituent effects", *The Journal of Physical Chemistry A*, Vol. 107, no. 45, pp. 9695-9704.
14. Peña-Ortega, C. and Vélez-Reyes, M. (2010), "Evaluation of different structural models for target detection in hyperspectral imagery", *Proceedings of SPIE 2010*, Orlando, Florida, pp. 76952H-76952H-11.
15. Shawakfen, O.Q., Gertsy, A.A., Timchenko, L.I., Kutaev, Y.F., Zlepko, S.M. and Shveyki, N. (1999), "Method of recursive-contour preparing for image normalization", *Proceedings of the IEEE-EURASIP Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing*, Antalya, Turkey, pp. 414-418.
16. Thirumalai, V. and Frossard, P. (2012), "Distributed representation of geometrically correlated images with compressed linear measurements", *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 21, no. 7, pp. 3206-3219.
17. Kou, G., Lu, Y., Yi, Peng and Shi, Y. (2012), "Evaluation of classification algorithms using MCDM and rank correlation", *International Journal of Information Technology & Decision Making (IJITDM)*, Vol. 11, no. 01, pp. 197-225.
18. Zhao, J., Zhang, J., and Yin, J. (2009), "A parallel differential correlation acquisition algorithm in time domain", *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. WiCom '09. 5th International Conference*, pp. 1-4.

19. Kozhemyako, V., Timchenko, L. and Yarovyv, A. (2008), "Methodological principles of pyramidal and parallel-hierarchical image processing on the base of neural-like network systems", *Advances in Electrical and Computer Engineering*, Vol. 8, no. 2, pp. 54-60.
20. Timchenko, L.I., Kutaev, Y.F., Chepornyuk, S.V., Grudin, M.A., Harvey, D.M., and Gertsy, A.A. (1997), "A brain-like approach to multistage hierarchial image", *Proceedings Image Analysis and Processing*, Springer-Verlag, Italy, pp. 246-253.

Поступила 23.01.15

ТИМЧЕНКО Леонид Иванович, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой телекоммуникационных технологий и автоматики Государственного экономико-технологического университета транспорта. В 1979 г. окончил Винницкий политехнический ин-т. Область научных исследований — системы искусственного интеллекта.

КУТАЕВ Юрий Федорович, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., гл. конструктор, зам. генерального директора ЗАО «КИА Системы» (Россия, г. Москва). В 1969 г. окончил Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана. Область научных исследований — цифровая обработка изображений, лазерная техника.

ЧЕПОРНЮК Сергей Владимирович, руководитель департамента проектирования систем управления ООО «КСК-Автоматизация» (г. Киев). В 1986 г. окончил Винницкий политехнический ин-т. Область научных исследований — цифровая обработка изображений.

КОКРЯЦКАЯ Наталья Ивановна, канд. техн. наук, доцент кафедры телекоммуникационных технологий и автоматики Государственного экономико-технологического университета транспорта. В 1973 г. окончила Винницкий педагогический ин-т. Область научных исследований — математическое моделирование и параллельная обработка информации.

ЯРОВОЙ Андрей Анатольевич, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры компьютерных наук Винницкого национального технического университета, который окончил в 2001 г. Область научных исследований — параллельные вычисления, обработка изображений, GPGPU-технологии.

