

**К ВОПРОСУ ДЕКОРРЕЛЯЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ
ИЗОБРАЖЕНИЯ, ПОВЫШАЮЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ПРОСМОТРА**

Л. М. АНАНЬЕВ, В. Я. КРИВЧИК

(Представлена научным семинаром кафедры промэлектроники)

Для улучшения качества просмотра изображения и увеличения вероятности обнаружения отдельных его элементов зашумленные слабоконтрастные изображения могут быть подвергнуты различным видам обработки. Достаточно хорошо известно влияние контрастирования изображения на улучшение зрительного восприятия. Вводим в рассмотрение понятие „фактора контрастности“ ξ [8] как показателя качества изображения при его просмотре:

$$\xi = \frac{\Delta B}{\Delta x}, \quad (1)$$

где ΔB — перепад яркости в изображении на отрезке Δx (рис. 1, а).

Можно показать, что контрастность изображения можно увеличить соответственно уменьшением Δx (рис. 1, б) или увеличением ΔB , которое осуществляется подчеркиванием перехода яркости способом получения контурного рисунка с последующим наложением его на исходное изображение (рис. 1, в, г, д, е) [4, 5, 6].

Операция получения контурного сигнала, соответствующего элементу контурного изображения, из сигнала, соответствующего исходному переходу яркости в изображении, может быть представлена выражением

$$F(x,y) = A(x,y) f(x,y), \quad (2)$$

где $F(x,y)$ — элемент контурного изображения,

$f(x,y)$ — исходное изображение,

$A(x,y)$ — оператор, соответствующий операции получения контурного элемента из исходного изображения,

x,y — координаты.

Применяем способ анализа неподвижного изображения методом его последовательного поэлементного разложения. Выражение (2) перепишется в виде:

$$F(t) = A(t) f(t), \quad (3)$$

где

$$f(t) = \iint f(x,y) D_r(xy;t) dx dy, \quad (3a)$$

при этом $D_r(x,y;t)$ — описывает закон перемещения идеального зон-

дирующего элемента разложения в пространстве x, y в зависимости от текущего времени t , $F(t)$ в общем случае представляет собой сигнал продолжительностью $\tau_k = (3-5)\tau_0$, τ_0 — длительность элемента разложения,

где $\tau_k \ll t_c$, (3б)

t_c — длительность видеосигнала, соответствующего анализируемой детали изображения.

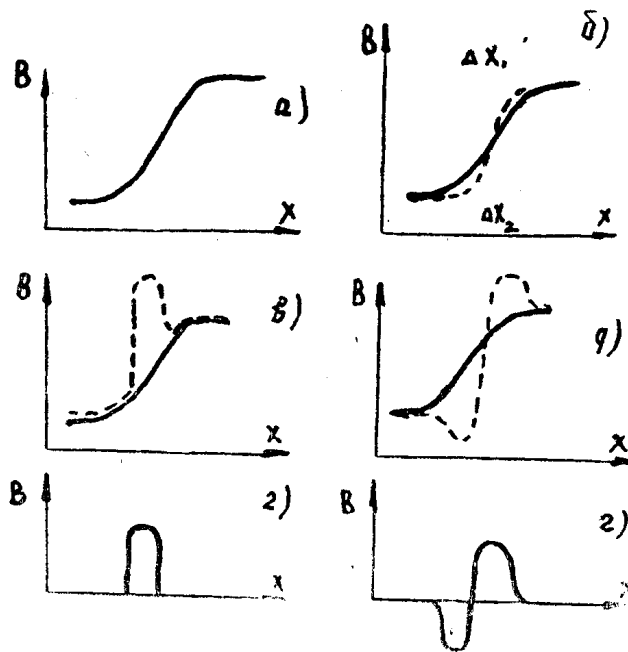


Рис. 1. Граница перехода яркости в изображении: а — исходное изображение, б — изображение, подчеркнутое уменьшением продолжительности границы, в — изображение, подчеркнутое наложением однополярного контурного изображения, г — изображение, подчеркнутое наложением двухполярного контурного изображения, д — двухполярное контурное изображение, е — однополярное контурное изображение.

Рассмотрим для примера контурный элемент, представляющий прямоугольный импульс длительностью τ с амплитудой q . Спектр $s(\omega)$ такого импульса определяется выражением

$$s(\omega) = q/j\omega [1 - e^{-j\omega\tau}]. \quad (4)$$

Выражение (4) в спектральном представлении является частным случаем общего выражения (3), где соответственно

$q/j\omega$ — исходное изображение (перепад Хависайда с амплитудой q),

$[1 - e^{-j\omega\tau}]$ — оператор, соответствующий операции получения контурного элемента из исходного изображения.

Нетрудно видеть, что полученный оператор

$$A(\omega) = [1 - e^{-j\omega\tau}] \quad (5)$$

позволит формировать контурный элемент из любого другого видеоимпульса $f(\omega)$, удовлетворяющего условию (3б) и имеющего фронт, отличный от прямоугольного.

Таким образом, спектральная функция сигнала $S_{кэ}(\omega)$, соответствующего контурному элементу, будет

$$S_{кэ}(\omega) = f(\omega) [1 - e^{-j\omega\tau}], \quad (6)$$

а (5) можно рассматривать [1,3] как оптимальную операцию получения контурного элемента по отношению к таким операциям, как дифференцирование видеосигнала, криппенинг и т. д. [4, 5, 6].

Линейное устройство для получения контурного элемента с передаточной функцией, соответствующей (5), может быть представлено блок-схемой, изображенной на рис. 2, а.

Считаем, что на входе этого устройства дополнительно к сигналу действует только „белый“ гауссов шум со спектральной интенсивностью

$$F_{ш}(\omega) = A_0.$$

Выражение, связывающее спектральную плотность сигнала с его полной энергией W [10]

$$W = \frac{1}{2\pi} \int_{-\omega}^{\omega} S_1(\omega) S_1^*(\omega) d\omega, \quad (7)$$

где

$$S_1(\omega) = g(\omega) S_{кэ}(\omega), \quad (8)$$

$S_1^*(\omega)$ — функция, комплексно сопряженная спектральной плотности контурного сигнала $S_1(\omega)$,

ω — граничная частота полосы частот, в которой содержится основная часть энергии сигнала,

$g(\omega)$ — передаточная функция фильтра, обеспечивающая для данного класса исследуемого изображения максимальную W в минимальной полосе частот.

Тогда можно найти оптимальную $g(\omega)$ для достижения максимальной помехоустойчивости при получении контурного элемента вышеуказанным способом. При этом операция получения контурного элемента может быть представлена выражением

$$A_1(\omega) = g(\omega) A(\omega) = g(\omega) [1 - e^{-j\omega\tau}], \quad (9)$$

а линейное устройство, реализующее данную операцию, — блок-схемой на рис. 2, б.

Определяя операцию получения контурного элемента, описанную выражениями (5) и (9), как операцию получения первой конечной разности или „однополярной ретуши“ (следует отметить, что для достижения изотропности обработки изображения эту операцию повторяют дважды — получение второй конечной разности или „двухполярной ретуши“ [6]), полезно дать некоторую оценку эффективности применения вышеуказанного и последующих методов обработки. При преобразовании изображения в соответствующий видеосигнал эффективность преобразования и последующей обработки видеосигналов определяются в зависимости от результирующей величины отношения сигнал/шум изображения и датчика видеосигнала.

Распределение шумов в датчиках типа передающая телевизионная трубка в некотором приближении подчиняется нормальному закону [11]. Этому же закону подчиняется и распределение шумов в разностном сигнале [9]

$$P(y, \tau) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}\sigma_0} \sqrt{1 - R(\tau)} e^{-\frac{y^2}{4\sigma_0^2[1 - R(\tau)]}}, \quad (10)$$

где τ — продолжительность контурного элемента (время задержки),
 σ_0 — среднеквадратичное значение шума в видеосигнале,
 $R(\tau)$ — коэффициент корреляции, величина которого в случае „белого шума“ для $\tau \geq \tau_0$ значительно меньше единицы (для $\tau = n\tau_0$, $R(\tau) = 0$).

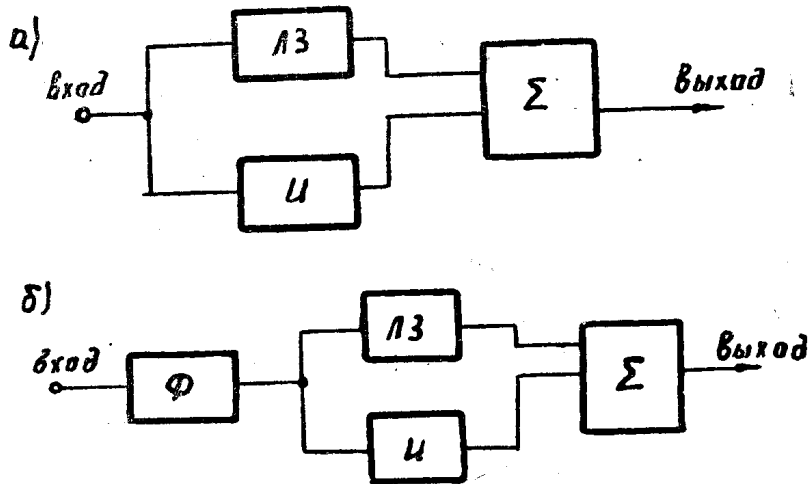


Рис. 2. Блок-схема устройств формирования контурного элемента: И — инверсный каскад, ЛЗ — линия задержки, Σ — суммирующее устройство, Φ — фильтрующее устройство

Следовательно, среднеквадратичное значение шума в сигнале первой разности

$$\sigma_{1 \text{ разн. ш}} = \sqrt{2} \sigma_0. \quad (11)$$

Подобным образом среднеквадратичное значение шума в сигнале второй разности

$$\sigma_{2 \text{ разн. ш}} = 2\sigma_0, \quad (12)$$

или в общем случае, дисперсия шума определяется как

$$P_{\text{ш}}(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_{\text{разн. ш}}} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_{\text{разн. ш}}^2}}. \quad (13)$$

Увеличение σ в области малых значений отношения сигнал/шум при однократном отсчете значительно повышает вероятность ошибки $P_{\text{ош}}$ обнаружения элемента изображения и его контурного сигнала. Определяя отношение сигнал/шум выражением

$$\rho = \frac{a^2}{\sigma^2}, \quad (14)$$

a — значение величины сигнала, и используя для вычислений выражение

$$P_{\text{ош}} = \frac{1}{2} [1 - \Phi(z)], \quad (15)$$

где $\Phi(z)$ — функция Крампа и $z = \sqrt{\frac{1}{8} \rho}$ [1], можно посчитать $P_{\text{ош}}$.

Если $\rho_{\text{видеосигнал}} = 16$ и соответственно $\rho_{\text{разн}_1} = 8$, $\rho_{\text{разн}_2} = 4$, то при этом $P_{\text{ош}_0} = 2,23\%$, $P_{\text{ош. разн}_1} = 7,87\%$, $P_{\text{ош. разн}_2} = 15,77\%$.

Ввиду анизотропности в направлении строчного разложения, а следовательно, ввиду появления связанной с этим ложной информации при обработке метод „однополярная ретушь“ применяется очень редко. Обычно применяется метод „двухполярная ретушь“, который свободен от этого недостатка, но который предполагает соответственно увеличение $\sigma_{\text{ш}}$ до уровня $2\sigma_0$, при этом оставаясь оптимальной операцией для получения изотропного в направлении строчного разложения контурного элемента. В соответствии со сказанным основные выводы и выражения (4÷9), приведенные ранее, остаются справедливыми и для метода „двухполярная ретушь“.

Рассматриваем устройство рис. 2а, как устройство декорреляции изображения, предназначенное для устранения статистической избыточности между элементами изображения вдоль строки разложения [4].

Для достижения изотропности и эффективности обработки принцип декорреляционной обработки изображения вдоль строки разложения можно расширить на случай его пространственной обработки в плоскости x, y — „пространственная декорреляционная обработка изображения“. Такая обработка, в свою очередь, предполагает анализ изображения сложной апертурой*, состоящей из внешней апертуры, для получения реакции от соседних в плоскости изображения элементов изображения и внутренней апертуры обычного элемента разложения для получения видеосигнала. Построение сложной анализирующей апертуры осуществляется в соответствии с выражением

$$R_{\text{пр}} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} R_{\theta} d\theta \Rightarrow 0, \quad (16)$$

где $R_{\text{пр}}$ — пространственная функция взаимной корреляции между значением элементов изображения, попадающих при анализе соответственно в области внешней и внутренней апертуры сложной анализирующей апертуры;

R_{θ} — функция взаимной корреляции между значениями элементов в области внешней и внутренней апертур в направлении θ ,

θ — угловая координата в плоскости полярной системы координат θR .

Большое разнообразие по характеру и параметрам деталей изображения и самих изображений для достижения оптимальной декорреляции при обработке ($R_{\text{пр}} = 1$) требует при построении анализирующей апертуры учета в каждом конкретном случае основных характерных особенностей класса изображений, подвергающихся обработке. Рассмотрим случай обработки класса изображений с резко выраженной фоновой однородностью, малой детальностью и статистически однородными по форме и размерам деталями изображения. К такому классу можно отнести изображения, получаемые при дефектоскопии изделий просвечиванием, рентгенодиагностике, аэрофотосъемке, астрономических наблюдениях и т. д. Механизм пространственной декорреляционной обработки этих изображений поясняется на примере

*) По аналогии с вышеописанным способом, где реализацию операции 5 можно трактовать как анализ изображения двумя зондирующими элементами, отстоящими на расстояние, эквивалентное t .

построения сложной анализирующей апертуры рис. 3., состоящей из контура декорреляции 1 (внешняя апертура) и элемента разложения 2, для детали дефектоскопического изображения класса „круглый—почти круглый“ 3.

Устройство, реализующее принцип пространственной декорреляции, на входы 1 и 2 которого поступают сигналы от 1 и 2 апертур (рис. 3), представлено блок-схемой, изображенной на рис. 4, а сам

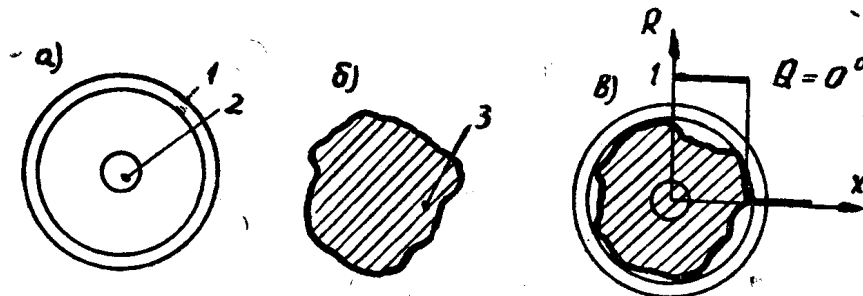


Рис. 3. Совмещение анализирующей апертуры с деталью изображения: а — график величины функции взаимной корреляции между элементами изображения в направлении θ .

метод пространственной декорреляции по всем своим показателям, плюс достижение изотропности обработки изображения, сходен с методом „однополярная ретушь“, т. е.

$$\sigma_{\text{ш пр. декорр}} = \sqrt{2} \sigma_0.$$

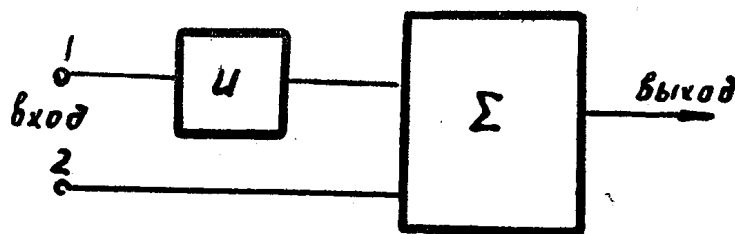


Рис. 4. Блок-схема устройства, реализующего принцип пространственной декорреляции: И — инверсный каскад, Σ — суммирующее устройство

В этом аспекте целесообразно провести сравнение по чувствительности описанного в данной работе способа пространственной декорреляционной обработки, заключающегося в анализе изображения сложной анализирующей апертурой „контур декорреляции—элемент разложения“, с известными [6, 12] способами пространственной декорреляционной обработки, таких как „логетрон“ и двухмерный фильтр, построенный с помощью линий задержки. Если $\rho_{\text{пр. дек.}}$ — отношение сигнал-шум, в контурном сигнале, получаемом при анализе изображения апертурой „контур декорреляции—развертывающий элемент“, а $\rho_{\text{логетрон}}$ — соответственно при анализе изображения способом „логетрона“, то относительное уменьшение чувствительности для случая применения логетрона можно определить из выражения

$$\frac{\rho_{\text{логетрон}}}{\rho_{\text{пр. дек}}} = 1 - \frac{S_1}{S_2}, \quad (17)$$

где S_1 — площадь детали изображения, вписываемой в площадь внешней апертуры,

S_2 — площадь внешней апертуры.

При этом полагается, что $\sigma_{\text{пр.дек}} = \sigma_{\text{логетрон}}$.

Таким образом, в результате анализа возможностей повышения эффективности просмотра слабоконтрастных изображений способом подчеркивания переходов яркостей в изображении показано, что наиболее эффективным является способ получения конечных разностей с последующим наложением их на исходное изображение.

Получено выражение, используемое как правило построения сложной анализирующей апертуры.

Приведен пример построения сложной апертуры для анализа дефектоскопических и др. изображений для класса деталей „круглый — почти круглый“ и показано, что данный способ является более эффективным по сравнению с логетроном.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Харкевич. Борьба с помехами. М. Издательство, «Наука», 1965.
2. Б. Р. Левин. Теория случайных процессов и ее применение в радиотехнике. Советское радио, 1960.
3. Ю. С. Лезин. Оптимальные фильтры и накопители импульсных сигналов. Советское радио, 1963.
4. А. С. Лебедев, И. И. Цуккерман. Телевидение и теория информации. Изд. Энергия. М.—Л., 1965.
5. Kobayashi L., Joseph H. Image processing Proc. IRE, 1955, vol. 43, No 5, p. 560.
6. Н. И. Берлин, И. И. Цуккерман, Т. М. Цуканова, И. Б. Шерстнев. Предысказания телевизионных изображений. Техника кино и телевидения, № 9, 1962.
7. Т. Н. Цикунова. О воздействии флуктуаций датчика видеосигнала при оконтуривании изображений. Вопросы радиоэлектроники. сер. IX. Техника телевидения, 1963, вып. 1.
8. Ю. К. Вифанский. Кандидатская диссертация, Ленинград, ГОИ, 1962.
9. В. И. Бунимович. Флуктуационные процессы в радиоприемных устройствах. Советское радио, 1951.
10. Н. В. Гуревич. Спектры радиотехнических сигналов. Изд. «Энергия», М. 1963.
11. Н. Н. Красильников. Помехоустойчивость телевизионных систем. М.—Л., Госэнергоиздат, 1961.
12. Ю. М. Брауде-Золотарев, Л. М. Митбрет. Полный апертурный корректор. Техника кино и телевидения, 12, 1962.