

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

В. Р. МАРТИРОСЯН

ВИНЕРОВСКАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ
 С УПРАВЛЯЕМОЙ РЕЗКОСТЬЮ

Процесс формирования изображения в некогерентной линейной изопланотической системе может быть описан уравнением свертки

$$f(x) = \int s(\xi) \cdot h(x - \xi) d\xi + n(x), \quad (1)$$

где f , s , n — интенсивности наблюдаемого изображения, объекта и шума соответственно, а h — функция рассеяния точки системы формирования. Задача оптимальной линейной фильтрации для уравнения (1) формулируется следующим образом [1]. Наблюдаемое изображение считается реализацией случайной функции f , полученной в результате применения некоторого оператора L к случайному входному сигналу s , причем корреляционные функции соответствующих процессов известны. Требуется найти такую весовую функцию h , линейного фильтра,

которая, воздействуя на f , формирует на выходе фильтра функцию $\tilde{g}$, имеющую наименьшее среднеквадратическое отклонение от некоторой желаемой функции g . Последняя считается образом сигнала s , получаемым из s с помощью воздействия идеального оператора L_0 (рис. 1).

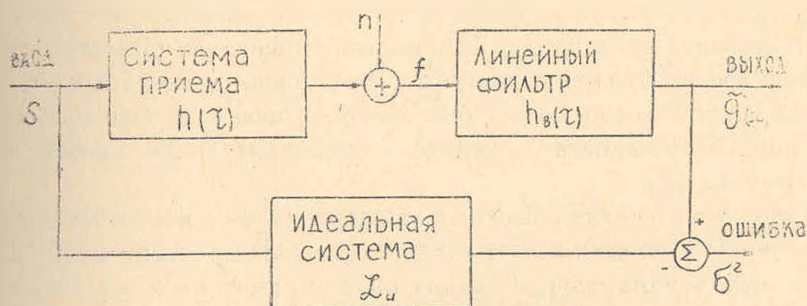


Рис. 1. Общая схема линейной фильтрации.

Минимизация функционала среднего квадрата ошибки в точке x

$$\sigma_g^2 = E[\tilde{g}(x) - g(x)]^2, \quad (2)$$

где E — знак усреднения по ансамблю реализаций приводит к следующему выражению для передаточной функции оптимального фильтра:

$$H_b(\omega) = R_{gf}(\omega)/R_f(\omega). \quad (3)$$

Здесь H , R_{gf} , R_f — фурье-образы h , r_{gf} , r_f соответственно, где

$$r_f(\tau) = E[f(x + \tau) \cdot f(x)] \quad (4)$$

— автокорреляционная функция f , а

$$r_{gf}(\tau) = E[g(x + \tau) \cdot f(x)] \quad (5)$$

— взаимная корреляционная функция процессов g и f .

В классическом случае восстановления сигналов в качестве желаемой функции g берется точное значение входного сигнала (L_n — повторитель или δ — функция) и на выходе должна быть получена оценка самого сигнала s , т. е. $g = s$, $\tilde{g} = \tilde{s}$.

В этом случае

$$R_f(\omega) = R_s(\omega) |H(\omega)|^2 + R_n(\omega), \quad (6)$$

$$R_{gf}(\omega) = R_{sf}(\omega) = R_s(\omega) \cdot H^*(\omega), \quad (7)$$

где R_s и R_n — спектральные плотности мощности сигнала и шума, являющиеся преобразованиями Фурье автокорреляционных функций сигнала и шума соответственно. Подставляя (6) и (7) в (3), получаем передаточную функцию фильтра Винера—Хелстрема:

$$H_{v.}(\omega) = \frac{H^*(\omega)}{|H(\omega)|^2 + R_n(\omega)/R_s(\omega)}. \quad (8)$$

Фильтр (8) обеспечивает восстановление сигнала с минимальной среднеквадратической ошибкой и является оптимальным, однако критерий среднего квадрата является далеко не наилучшим с точки зрения визуального восприятия. При малых отношениях сигнал—шум восстановленное изображение выглядит чрезмерно сглаженным: «... человеческий глаз «охотно пошел бы» на некоторое усиление визуального шума ради возможности разглядеть дополнительные мелкие детали изображения» [2].

Ввиду вышесказанного был предпринят ряд попыток модификации критерия с целью снижения «засилья» низких частот в получаемой оценке: метод наименьших квадратов с ограничением [2], частотное взвешивание ошибки [3] и комбинированный критерий «среднеквадратическая ошибка—резкость» [4].

В последнем случае минимизируется выражение

$$\sigma_1^2 = E[s(x) - \tilde{s}(x)]^2 + \lambda \cdot E[\tilde{s}'(x)]^2, \quad (9)$$

где второй член является мерой общего содержания контурных градиентов в оценке $\tilde{s}$. Передаточная функция фильтра имеет вид [4]:

$$H_{b_1}(\omega) = H_{b_0}(\omega) \cdot \frac{1}{1 + \lambda \omega^2}. \quad (10)$$

Таким образом, фильтр распадается на два последовательных: фильтры Винера—Хелстрема и управления резкостью. При $\lambda > 0$ высокие частоты ослабляются и оценка сглаживается, а при $\lambda < 0$ эти частоты усиливаются. Эксперименты, проведенные с различными λ , показали, что полезные результаты получаются в режиме сглаживания при $\lambda > 0$ [4]. Это представляется вполне естественным, если рассмотреть график функции $1/(1 + \lambda \omega^2)$ (рис. 2). При $\lambda < 0$ фильтр совершенно „необоснованно“ выделяет частоты, близкие к $\omega_0 = 1/\sqrt{|\lambda|}$, что приводит к чрезмерным шумам на этих частотах, если последние попадут в полосу обработки.

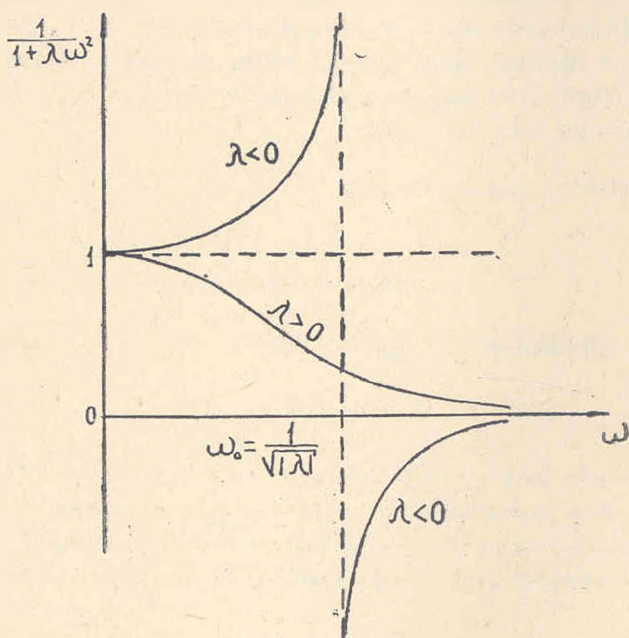


Рис. 2. Передаточная функция фильтра управления резкостью.

Предлагаемый подход основан на экспериментальном факте, что глаз лучше воспринимает слегка оконтуренное изображение [3]:

$$s_0(x) = s(x) - \gamma Ls(x), \quad (11)$$

где L — оператор Лапласа, или в одномерном случае — вторая производная; γ — небольшое положительное число. Будем искать наилучшую в среднеквадратическом смысле оценку оконтуренного изображения s_0 , т. е. положим, что $g(x) = s_0(x)$, $\tilde{g}(x) = \tilde{s}_0(x)$.

Тогда, в соответствии с формулой (3) необходимо найти $R_{sof}(\omega)$. Подставляя в выражение для взаимной корреляционной функции

$$r_{sof}(\tau) = E\{[s(x+\tau) - \gamma s''(x+\tau)] \cdot f(x)\} \quad (12)$$

значение $f(x)$ из формулы (1), производя усреднения под знаком интеграла и применяя преобразование Фурье для обеих частей, будем иметь

$$R_{sof}(\omega) = H^*(\omega) \cdot R_s(\omega) (1 + \gamma \omega^2). \quad (13)$$

Подставляя (6) и (13) в (3), получаем передаточную функцию фильтра

$$H_{b_1}(\omega) = H_{b_0}(\omega) (1 + \gamma \omega^2), \quad (14)$$

управление резкостью которого осуществляется параметром γ , причем с ростом γ происходит подъем высоких частот, т. е. подчеркивание контурной информации в оценке входного изображения в соответствии с психофизическими свойствами зрения. Заметим, что добавка, вносимая фильтром (14), отличается от аналогичной, вносимой фильтром (10) при $\lambda = -\gamma < 0$ лишь на величину второго порядка малости по отношению к $\lambda \omega^2$; при этом передаточная функция фильтра (10) сохраняет непрерывность на всех частотах.

Ер. фил. ВНИИОФИ Госстандарта СССР

10. VII. 1984

Վ. Բ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ

ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ ՀՍՏԱԿՈՒԹՅԱՆ ՂԵԿԱՎԱՐՈՒՄԸ ՎԵՆԵՐՅԱՆ ԶՏՄԱՆ ԴԵՊԳՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ու մ

«Աղմուկների» առկայության դեպքում աղավաղված պատկերների վերականգնման համար առաջարկվում է վիճերյան զտիչի սլարդ տարբերակ, որը թույլ է տալիս ստանալ բարձր հաճախականություններով ավելի հարուստ տեսողության հոգեֆիզիկական հատկություններին համապատասխանող զնաճատակականներ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Василенко Г. И. Теория восстановления сигналов.— М.: Сов. радио, 1979.— 269 с.
2. Andrews H. C., Hunt B. R. Digital image restoration.— New Jersey, Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1 nc., 1977.— 232p.
3. Стокхем Т. Г. Обработка изображений в контексте модели зрения.— ТИИЭР, тем. вып., 1973, с 3—29.
4. Фриден Б. Улучшение и реставрация изображений.— В кн.: Обработка изображений и цифровая фильтрация /под ред. Хуанга.— М.: Мир, 1979, с. 193—270.