

О ГЕНЕРАЛИЗАЦИИ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ МЕТОДОМ СВЕРТКИ

Процесс генерализации рельефа заключается в отборе наиболее существенных признаков, характеризующих поверхность того или иного участка местности. Главная цель генерализации рельефа — правильное и наглядное отображение на топографической карте таких характеристик как тип рельефа, морфометрические особенности, степень расчлененности, и ее ограничение на картах мелкого масштаба, формы, относительная крутизна склонов, а также отражение характерных линий и точек.

Конечно, решение перечисленных задач аналитическим методом по цифровой модели — задача сложная, но тем не менее выполнимая.

В данной статье покажем возможность ограничения степени расчлененности рельефа при построении цифровой модели. Данную задачу решаем путем цифровой фильтрации с применением перекурсивных фильтров, в которых связь между входной последовательностью и откликом выражается формулой

$$y(n) = f[x(n), x(n-1), \dots], \quad (1)$$

где $x(n)$ — входная последовательность, $y(n)$ — выходная последовательность, $n=0, 1, 2, \dots$

Цифровые фильтры, как известно [1, 2], представляют собой линейные системы, в которых выход-отклик при любом входе определяется его сверткой с импульсной функцией отклика. Поэтому цифровую фильтрацию осуществляют также с помощью свертки. Интегральный оператор суперпозиции, связывающий случайные временные функции на входе и выходе линейной системы, имеет вид

$$y(t_1, t_2) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\alpha, \beta) h(t_1 - \alpha, t_2 - \beta) d\alpha d\beta, \quad (2)$$

где y — двумерная случайная функция на выходе; x — двумерная функция на входе; h — импульсный отклик линейной системы.

При дискретной обработке входная и выходная функции описываются в виде последовательностей и выражение (2) можно привести к виду

$$y(m_1 p_1, m_2 p_2) \sum_{n_1}^{N_1} \sum_{n_2}^{N_2} x(n_1 q_1, n_2 q_2) h(m_1 p_1, m_2 p_2; n_1 q_1, n_2 q_2), \quad (3)$$

где p_1, p_2 — интервалы дискретизации выходной последовательности; q_1, q_2 — интервалы дискретизации входной последовательности; m_1, m_2 — аргументы выходной последовательности; n_1, n_2 — аргументы входной последовательности.

Данная задача представляется как ограничение полосы частот спектра дискретных сигналов средствами оптимальной фильтрации.

Линейное преобразование (3) более эффективно выполняется с использованием двумерного преобразования Фурье. При

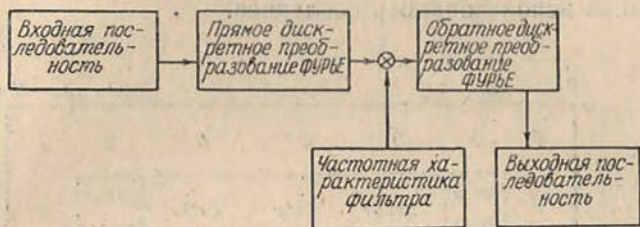


Рис. 1. Структурная схема метода фильтрации посредством свертки.

этом структура алгоритма решения данной задачи имеет вид, показанный на рис. 1. Такой алгоритм осуществим благодаря использованию теоремы о свертке. Уравнение, составляющее сущность теоремы о свертке, имеет вид

$$Y(\omega, \omega') = H(\omega, \omega') X(\omega, \omega'), \quad (4)$$

где Y, H, X — преобразования Фурье от y, h, x соответственно; ω и ω' — частоты вдоль двух координатных осей.

Порядок выполнения фильтрации методом свертки выглядит следующим образом. Из общей двумерной входной временной последовательности $x(n_1, n_2)$ отсчитываем $N_1 \times N_2$ значений так, чтобы длина взятой последовательности удовлетворяла требованиям теоремы Котельникова [3]. Вычисляем спектр $X(k_1, k_2)$. Умножаем его на частотный отклик $H(k_1, k_2)$ и, выполнив обратное преобразование Фурье от полученного произведения, получаем выходную отфильтрованную последовательность $y(m_1, m_2)$, соответствующую считанной части входной последовательности.

Затем считываем следующую часть входной последовательности и повторяем все действия до тех пор, пока не отфильтруем весь входной массив.

Приведенный здесь метод фильтрации основан на использовании обычного двумерного дискретного преобразования Фурье. При использовании быстрого преобразования Фурье методика фильтрации частично изменяется, что связано с добавлением нулей во временной области и получением $2N$ значений результата, половина из которых является зеркальным отражением [2].

Существенный недостаток применения данного метода фильтрации — появление ложных частот как в результате прямого преобразования Фурье, так и в результате обратного преобразования. Данное явление связано с тем свойством, что спектр конечного сигнала является бесконечным и, наоборот, спектр бесконечного сигнала — конечный. Для устранения данного противоречия входную временную последовательность представляем, как квазипериодическую, добавляя во временной области плавно сходящиеся к нулю окончания или сглаживая окончания входной функции. В выполненных экспериментальных исследованиях использовалось последнее.

	0	ω_1	ω_2		ω_3	ω_4	$N-1$
0	0	0	0	0	0	0	0
ω'_1	0	$\cos \omega'_1$	$\cos \omega'_1$	$\cos \omega'_1$	$\cos \omega'_1$	$\cos \omega'_1$	0
ω'_2	0	$\cos \omega$	1	1	1	$\cos \omega$	0
ω'_3	0	$\cos \omega$	1	1	1	$\cos \omega$	0
ω'_4	0	$\cos \omega$	1	1	1	$\cos \omega$	0
$N-1$	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 2. Вид частотного отклика.

Перед выполнением преобразования Фурье из входной двумерной случайной функции необходимо убрать постоянный тренд, т. е. общий наклон вдоль обеих координатных осей. Методика выполнения данной процедуры может быть такая же, как при наклонах стереоскопической модели в фотограмметрии, поэтому более подробно на ней останавливаться не будем.

Фильтр низких частот в идеальном случае имеет прямоугольную частотную характеристику

$$H(\omega) = \begin{cases} 1, & \omega \leq \omega_0, \\ 0 & \omega > \omega_0, \end{cases} \quad (5)$$

где ω_0 — предельная круговая частота.

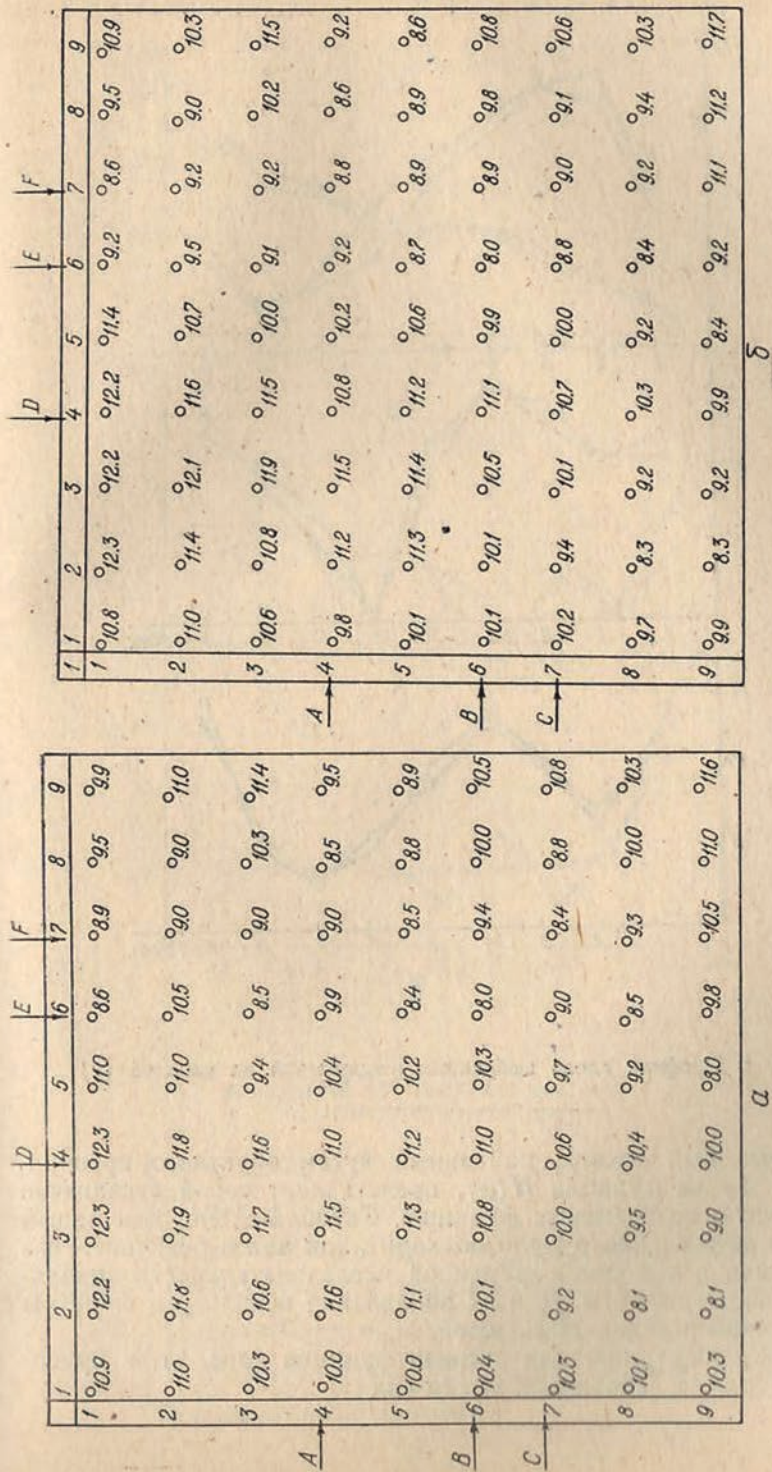


Рис. 3. Входная последовательность (а) и выходная отфильтрованная последовательность (б).

а

б

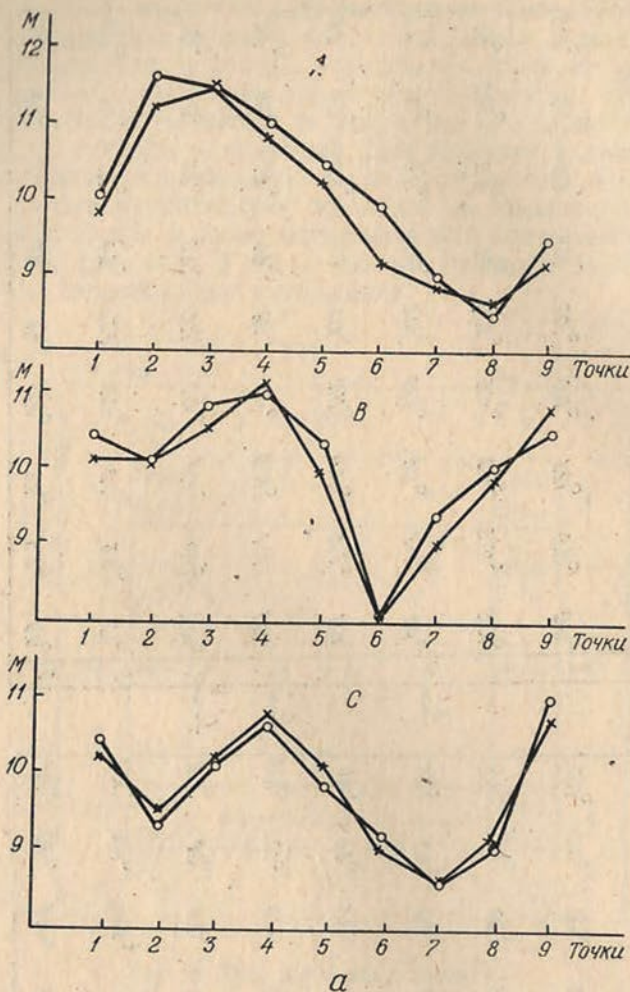
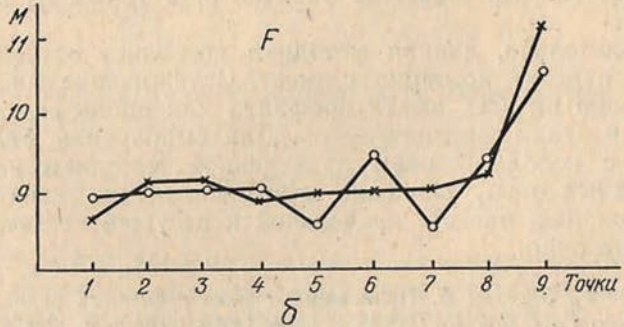
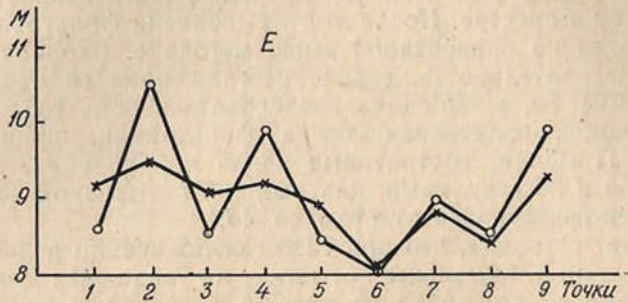
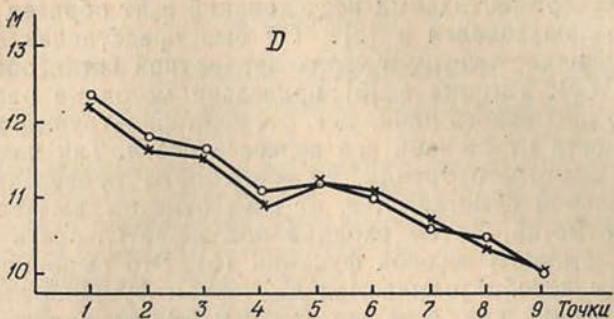


Рис. 4. Профили вдоль выбранных направлений на входной (а)

—○—○—○— $x(n)$:

Импульсный отклик, найденный путем обратного преобразования Фурье функции $H(\omega)$, представляет собой бесконечно затухающую со временем функцию. Следовательно, для нашей задачи данный фильтр мало подходит, так как в результате его применения в выходной временной последовательности появляются ложные выбросы. Для их подавления используем фильтры с косинусной переходной полосой.

Частотный отклик, или весовая функция (рис. 2), в приводимых здесь исследованиях имела вид



и выходной (б) последовательностях.

—x—x—y(n).

$$H(\omega, \omega') = \begin{cases} 1, & \omega_2 < \omega \leq \omega_3, \\ 1, & \omega'_2 < \omega' \leq \omega'_3, \\ (1 + \cos((\omega - \omega_1)/(\omega_2 - \omega_1)))/2, & \omega_1 < \omega \leq \omega_2, \\ (1 + \cos((\omega' - \omega'_1)/(\omega'_2 - \omega'_1)))/2, & \omega'_1 < \omega' \leq \omega'_2, \\ (1 + \cos((\omega - \omega_3)/(\omega_4 - \omega_3)))/2, & \omega_4 \leq \omega < \omega_3, \\ (1 + \cos((\omega' - \omega'_3)/(\omega'_4 - \omega'_3)))/2, & \omega'_4 \leq \omega' < \omega'_3, \\ 0 & \text{в остальных случаях.} \end{cases} \quad (6)$$

Для экспериментальных исследований взят образец рельефа, который использовался в [3]. Он был представлен цифровой моделью в виде отметок в узлах квадратной сетки общим размером 21×21 . Там же в [3] приведена методика расчета допустимого временного окна, т. е. размера фильтруемого участка в зависимости от степени его пересеченности. Так как участок не имеет заметного тренда, то все высоты приведены только к минимальной отметке, т. е. от всех отметок вычтена минимальная отметка. Затем входная последовательность преобразована с помощью весовой функции (6). Это выполнялось для того, чтобы преобразовываемая двумерная функция имела квазипериодический вид, а также чтобы избежать появления ложных частот в спектре. После этого выполнена фильтрация методом свертки по приведенной выше методике. Входная двумерная последовательность, вернее несглаженная ее часть, показана на рис. 3а, а выходная последовательность, соответствующая входной, полученная после фильтрации, приведена на рис. 3б. Профили, построенные вдоль направлений, показаны на рис. 3а и 3б стрелками, для входной и выходной последовательностей представлены на рис. 4а, 4б.

Следует отметить, что при таком сглаживании рельефа максимальные и минимальные отметки на заданном участке не сглаживаются. Это видно из рис. 3а, б, а также из профилей на рис. 4.

Следовательно, данная методика позволяет оставить неизменными отметки командных высот. Сглаживание микрорельефа показано на всех шести профилях как вдоль вертикальной оси, так и вдоль горизонтальной. Для выполнения фильтрации рельефа с использованием приведенной методики необходим определенный опыт, особенно при выполнении спектральных преобразований, расчете предельной и несущей частот, расчете временного окна.

1. Отнес Р., Эноксон Л. Прикладной анализ временных рядов. М., 1982.
2. Рабинер Л. Р., Гоулд В. Теория и применение цифровой обработки сигналов. М., 1978.
3. Рудый Р. М. О классификации рельефа // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. 1985. Вып. 41. С. 104—108.

Статья поступила в редколлегию 07.12.87