

ОБ ОЦЕНКЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ЦИФРОВОЙ ФИЛЬТРАЦИИ С ПОМОЩЬЮ КИХ-ФИЛЬТРОВ ПРИ АНТЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Нерекурсивные цифровые фильтры с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтры) могут применяться при расчете характеристик антенных систем по результатам измерения амплитудно-фазового распределения (АФР) поля в ближней зоне, например, для цифровой фильтрации входных данных [1].

Задание длин M, N импульсной характеристики $H(m, n)$ КИХ-фильтров в основном определяет ошибку аппроксимации частотной характеристики синтезируемого фильтра. Для заданных значений M и N , вида симметрии импульсной и частотной характеристик КИХ-фильтров, длины входного массива I, K , характеристик используемой ЭВМ общего назначения существенен выбор способа цифровой фильтрации, обеспечивающего наибольшее быстродействие при минимальном использовании емкости оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) ЭВМ. Недостаток работ [2—4], посвященных разработке способов цифровой фильтрации, в сложности приводимых оценок быстродействия этих способов.

В настоящей работе приводятся простые оценки быстродействия различных способов цифровой фильтрации с помощью КИХ-фильтров, позволяющие избрать способ цифровой фильтрации при антенных измерениях с учетом как характеристик ЭВМ и ВЗУ, так и длины обрабатываемых массивов.

В качестве способов цифровой фильтрации рассмотрим линейную, круговую и секционированные свертки. Для обеспечения минимальной задержки выходной информации при малой величине вносимых амплитудно-фазовых искажений реализация цифровых фильтров при антенных измерениях предпочтительнее с помощью линейной и секционированной свертки. При этом фильтрация может осуществляться непосредственно при вводе обрабатываемых результатов измерения АФР поля в ЭВМ. Представляется важным определение границ использования этих способов.

Пусть X, Y — массивы до и после фильтрации; используется ЭВМ со временем сложения и умножения 4-байтовых слов T_+, T_* , емкостью ОЗУ в V 4-байтовых слов и ВЗУ с прямым доступом со временем поиска записи T_n и скоростью передачи информации W байт/с. БПФ с применением ВЗУ осуществляется по методике, предложенной в [5] с использованием алгоритма с основанием 2. В зависимости от длин массивов X, Y рассмотрим три случая.

1. Массивы X, Y, H находятся в ОЗУ. При действительном массиве H и комплексных массивах X, Y значение V должно удовлетворять условию $V > 2 \cdot L \cdot J + M \cdot N + 2 \cdot I \cdot K$. Оценки времени осуществления линейной $T_{л1}$ и круговой $T_{к1}$ свертки:

$$T_{л1} = M \cdot N \cdot I \cdot K \cdot T_1, \quad (1)$$

$$T_{к1} = 16 \cdot T_2 \cdot (L + r_1) \cdot (J + r_2) \cdot \log_2 [(L + r_1) \cdot (J + r_2)] + 2 \cdot T_1 \cdot (L + r_1) \cdot (J + r_2), \quad (2)$$

где $T_2 = T_+ + T_*$; $T_1 = 2 \cdot T_* + T_+$; r_1, r_2 — числа нулевых отсчетов, добавляемых к значениям L и J для получения длины массива Y , кратной степени 2. Для секционированной свертки при длине секции $I_1 \cdot K_1$ и целом числе секций без учета времени расчета частотной характеристики фильтра имеем

$$T_{с1} = 2 \cdot I_1 \cdot K_1 \cdot \frac{(L + r_1) \cdot (J + r_2)}{(I_1 - M + 1) \cdot (K_1 - N + 1)} \cdot [8 \cdot T_2 \cdot \log_2 (I_1 \cdot K_1) + 2 \cdot T_2]. \quad (3)$$

При выполнении упрощающих условий

$$M = N, L + r_1 = J + r_2 = 2^q, \quad (4)$$

$$I_1 = K_1 = 2^{Q_1}, \quad I_2 = 0,5 \cdot T_1,$$

пренебрежении временем перемножения спектров для круговой и секционированной сверток и длине секции, значительно превышающей длину фильтра, линейная свертка быстрее секционированной при

$$M \leq \frac{2^{Q+2}}{I} \sqrt{Q} \quad (5)$$

и быстрее круговой при

$$M \leq \frac{2^{Q+2}}{I} \sqrt{Q_1}. \quad (6)$$

Однако применение секционированной свертки нецелесообразно, ибо, как следует из соотношений (2)–(4), секционированная свертка оптимальнее круговой лишь при малых значениях M .

2. Массив Y находится в ВЗУ. Предполагается, что $V > 2 \cdot I \cdot K + M \cdot N$, $T_{л1} = T_{л2}$, а $T_{с2} = T_{с1}$. Оценка времени круговой свертки увеличится на время перемножения спектров, равное при запоминании одной строки из $2 \cdot (L + r_1)$ слов на одной записи в ВЗУ величине $T_* = 2 \cdot (L + r_1)^2 \cdot T_1 + 3(L + r_1) \cdot (T_n + 8(L + r_1)/W)$, и на время транспонирования матрицы промежуточных результатов, равное при считывании из ВЗУ в ОЗУ по

2^p строк одновременно величине

$$T_{тр} = \text{о. к.} \left[\frac{\log_2(L + r_1)}{p} \right] \cdot 6 \cdot \left[T_n + 8 \times \frac{(L + r_1)}{W} \right] \cdot (L + r_1),$$

где о. к. — округление к большему ближайшему целому числу. Следовательно, с учетом (4) имеем

$$T_{к2} = T_2 \cdot 2^{2Q+2} \cdot (8Q + 1) + 3 \cdot \left(T_n + \frac{2^{Q+3}}{W} \right) \cdot 2^Q \cdot \left[1 + \text{о. к.} \left(\frac{Q}{p} \right) \cdot 2 \right]. \quad (7)$$

Теперь требование $T_{с2} > T_{к2}$ невыполнимо, и в расчет принимается оценка (6).

3. Массивы X , Y не вмещаются в ОЗУ. Выполняются следующие условия: $3M \cdot N < V < M \cdot N + 2 \cdot I \cdot K$, $T_{к3} = T_{к2}$, $T_{с3} = T_{с2}$. Время $T_{с3}$ увеличится по сравнению с $T_{с2}$ на время ввода-вывода, зависящее как от способа осуществления секционированной свертки, так и от размеров блоков. Пусть имеется возможность запомнить в ОЗУ ряд блоков. Тогда время ввода-вывода при $L + r_1$, обеспечивающем целое число блоков, будет

$$T_c = \frac{L + r_1}{K_1 - N + 1} \cdot 2 \cdot I_1 \cdot T_n + 16 \cdot (L + r_1) \cdot (J + r_2)/W,$$

а суммарное время

$$T_{с3} = \frac{2^{2Q+2Q_1+2}}{(2^{Q_1} - M + 1)^2} \cdot T_2 \cdot (8Q_1 + 1) + \frac{2^{Q+Q_1+1}}{2^{Q_1} - M + 1} + \frac{2^{2Q+4}}{W}. \quad (8)$$

Из сравнения (8) и (7) при условии $2^{Q_1} \gg M - 1$ следует, что $T_{с3} < T_{к3}$. Таким образом, в случае 3 целесообразно применение секционированной и линейной сверток. Используя подстановки $W \cdot T_2 = 2^1$, $\frac{T_n}{T_2} = 2^{13}$, типичные для ЭВМ системы ЕС, из (8) и (1) получаем при пренебрежении временем передачи данных ОЗУ — ВЗУ и условии $8Q_1 \gg 1$ условие применения линейной свертки в виде

$$M < \frac{2^{Q+2}}{I} \sqrt{Q_1 + 2^{9-Q}}. \quad (9)$$

Итоговые результаты по выбору способа реализации КИХ-фильтров при антенных измерениях представлены в таблице, где символами «л»,

Рекомендации по выбору способа реализации КИХ-фильтров

Массивы	Длина фильтра M	Границы разделения видов сверток	Вид сверток
X, Y в ОЗУ	$\leq$	$\frac{2^{Q+2}}{I} \sqrt{Q}$	л
	$>$		к
Y в ВЗУ	$\leq$	$\frac{2^{Q+2}}{I} \sqrt{Q_1}$	л
	$>$		с
X, Y в ВЗУ	$\leq$	$\frac{2^{Q+2}}{I} \sqrt{Q_1 + 2^{q-Q}}$	л
	$>$		с

«к», «с» обозначены линейная, круговая и секционированная свертки. Отметим, что при симметричности импульсной характеристики фильтра, оценки (5), (6), (9) следует увеличить в пользу линейной свертки пропорционально уменьшению числа операций умножения.

Таким образом, в данной работе получены как полные, так и асимптотические оценки быстродействия трех способов фильтрации с помощью КИХ-фильтров, пригодные для выбора способа цифровой фильтрации в зависимости от емкости ОЗУ ЭВМ, характеристик используемых ВЗУ и процессоров, длины импульсной характеристики КИХ-фильтра и длины обрабатываемого массива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алешкевич Н. Н., Будаев А. Г., Курило В. С. и др.— Вестн. Белорусского ун-та. Сер. I, мат., физ., мех., 1978, № 1, с. 81.
2. Hunt B. R.— IEEE Trans. Computers, 1972, v. C-21, № 11, p. 1219.
3. Twogood R. E., Ekstrom M. P., Mitra S. K.— IEEE Int. Symp. Circuits and Systems, 1977, p. 670.
4. Twogood R. E., Ekstrom M. P., Mitra S. K.— IEEE Trans. Circuits and Systems, 1978, v. CAS-25, № 5, p. 260.
5. Twogood R. E., Ekstrom M. P.— IEEE Trans. Computers, 1976, v. C-25, № 9, p. 950.

Поступила в редакцию
31.03.80

НИИ ПФП

УДК 681.118.1

К. П. КУРЕЙЧИК, В. Л. МАКАРОВ

ТАЙМЕР ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОГО АТОМИЗАТОРА

Применение электротермических атомизаторов в ряде случаев позволяет получить более высокие метрологические показатели атомно-абсорбционных анализаторов по сравнению с пламенными [1—3]. Такие атомизаторы работают в четырех основных режимах: сушка — выпаривание влаги из пробы; термическая обработка — озоление органических соединений; атомизация — испарение пробы (получение атомных паров анализируемого элемента); обжиг — кратковременный нагрев испарителя до температуры, при которой улетучиваются остатки пробы. Длительность каждого режима находится в интервале от 0,2 с до 2 мин при изменении температуры от 60 до 3000 °C [4, 5]. Стабильность задания временных интервалов обработки пробы определяет воспроизводимость результатов измерения, что является весьма важным при массовом контроле [2, 5].

Авторы настоящей работы использовали для управления электротермическим атомизатором устройство, описанное в [6]. Однако, как показала практика, указанный таймер обеспечивал погрешность задания вре-