

Г. П. ЛИЧКО
(Минск)

О БЫСТРОДЕЙСТВИИ АЛГОРИТМОВ БПФ БОЛЬШИХ МАССИВОВ

При расчете диаграмм направленности антенн и дефектоскопии антенных систем по измерениям в ближней зоне широко используется двумерное дискретное преобразование Фурье (ДПФ) вида

$$F(i, k) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m, n) \exp \left[-j2\pi \left(\frac{im}{M} + \frac{kn}{N} \right) \right], \quad (1)$$

эффективно реализуемое с помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ).

Одной из причин, приводящих к нежелательному ограничению обрабатываемых массивов результатов измерений амплитудно-фазового распределения поля при антенных измерениях, является резкое увеличение времени обработки БПФ вследствие превышения емкости оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) ЭВМ и использования внешних запоминающих устройств (ВЗУ). Хранение матрицы $f(m, n)$ в ВЗУ приводит к необходимости выбора матрицы промежуточных результатов при осуществлении преобразования (1) по столбцам, что вызывает затруднение из-за отсутствия ВЗУ с произвольным доступом.

В настоящее время существует несколько алгоритмов быстрого транспонирования матриц, хранимых в ВЗУ, основанных на минимизации числа считываний исходной матрицы с ВЗУ. Отсутствие экспериментальных данных по оценке быстродействия этих алгоритмов для ЭВМ системы ЕС затрудняет их эксплуатацию и не позволяет выбрать наиболее оптимальные из них, а применение ЭВМ с различными быстродействиями, емкостью ОЗУ и ВЗУ накладывает ограничения на использование алгоритмов транспонирования и в некоторых случаях существенно влияет на их оценку.

Цель данного сообщения состоит в освещении экспериментальных оценок быстродействия основных алгоритмов БПФ больших массивов, полученных для ЭВМ ЕС-1020, ЕС-1022.

Экспериментальные результаты приводятся для алгоритмов транспонирования матриц размерами $2^n * 2^n$ с использованием ВЗУ с прямым доступом как наиболее удовлетворяющих с точки зрения быстродействия задаче вычисления (1). Алгоритмами транспонирования служат алгоритмы Ханта [1], Эклунда [2], Экстрема [3].

Существующий алгоритм Оноэ [4] БПФ больших массивов без транспонирования матрицы промежуточных результатов в работе не рассматривается из-за применимости данного алгоритма только к массивам размерностью $N=V^Q$, где Q — количество циклов считывания и записи обрабатываемой матрицы в ВЗУ, V — емкость ОЗУ в строках.

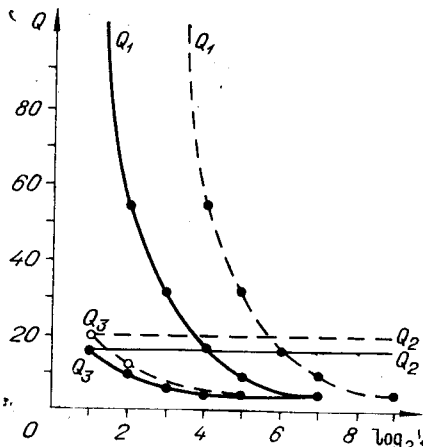
При запоминании в ОЗУ V строк количество считываний и записей обрабатываемой матрицы в ВЗУ для алгоритмов Ханта, Эклунда, Экстрема будет равно соответственно

$$Q_1 = 2^n/V + 2, \quad Q_2 = 2n, \quad Q_3 = 2[n/J], \quad (2)$$

где $2^J \leq V$, $[\]$ обозначает округление до ближайшего целого числа.

На рисунке представлены зависимости Q_i , $i = 1, 2, 3$, от $\log_2 V$, полученные для $n = 8$ и $n = 10$, позволяющие теоретически выбрать алгоритм БПФ матрицы исходя из емкости ОЗУ. В случае равенства Q_i в расчет принимается время работы процессора, необходимое для транспонирования в ОЗУ. При этом по эффективности алгоритмы располагаются следующим образом: алгоритмы Ханта, Экстрема, Эклунда.

С целью экспериментальной оценки быстродействия алгоритмов [1—3] были написаны программы на языке Фортран IV для ЭВМ ЕС-1020, ЕС-1022 с емкостью ОЗУ 128 и 512 Кбайт соответственно, с ВЗУ ЕС-5010, ЕС-5010-01, ЕС-5052, ЕС-5061 и устройствами управления ЕС-5511, ЕС-5517, ЕС-5551, ЕС-5561. Полученные экспериментальные результаты представлены в таблице. При осуществлении БПФ использовалась программа HARM из



Алгоритм	Массив					
	256*256			1024*1024		
	Время расчета	V	Q	Время расчета	V	Q
БПФ с магнитной лентой	12 ч 44'	2 ¹	—	200 ч	2 ¹	—
БПФ с диском без применения быстрых алгоритмов	5 ч 30'	2 ¹	2 ⁹	21 ч 10'	2'	2 ²¹
Ханта [1]	38'	2 ⁵	2 ³ +2	4 ч 25'	2 ⁵	2 ⁵ +2
Экльунда [2]	43'	2 ¹	2 ⁴	3 ч 7'	2 ¹	2 ⁴ +4
Экстрема [3]	31'	2 ⁴	2 ²	2 ч	2 ⁵	2 ²
Тип ЭВМ	ЕС-1020			ЕС-1022		

библиотеки стандартных программ ЭВМ ЕС. Для иллюстрации эффективности рассмотренных алгоритмов в таблице приведены данные, полученные для ВЗУ с прямым и последовательным доступами без применения быстрых алгоритмов транспонирования.

На основании исследований сделаны следующие выводы:
использование для БПФЗУ с последовательным доступом целесообразно; наиболее эффективным в случае ограниченной памяти ОЗУ является алгоритм Экстрема;

при равных Q_i необходимо отдать предпочтение алгоритму Ханта, осуществляющему транспонирование матрицы в ОЗУ по частям;

дальнейшее увеличение быстродействия алгоритма Экстрема возможно посредством увеличения быстродействия БПФ, занимающего более 60% общего времени работы ЭВМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хант Б. Р. Структура данных и организация вычислений при цифровом улучшении качества изображений.— ТИИЭР, 1972, т. 60, № 7.
2. Eklundh J. O. A Fast Computer Method for Matrix Transposing.— IEEE Trans. Computers, 1972, vol. C-21, N 7.
3. Twogood R. E., Ekstrom M. P. An Extension of Eklund's Matrix Transposition Algorithm and its Application in Digital Image Processing.— IEEE Trans. Computers, 1976, vol. C-25, N 9.
4. Оноэ М. Метод двумерного преобразования без транспонирования большой матрицы данных.— ТИИЭР, 1975, т. 63, № 1.

Поступило в редакцию 28 августа 1978 г.

УДК 621.314

М. Г. РОХМАН
(Харьков)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ БУФЕРНЫХ ДЕЛИТЕЛЕЙ НА НЕРАВНОМЕРНЫЕ ДВОИЧНЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Во многих устройствах преобразования (например, управляемые делители частоты (УДЧ)) выходная частота f_B представлена суперпозицией двоичных субгармонических составляющих входной (опорной) частоты f_0 , т. е.

$$f_B = f_0 \sum_{k=p}^i b_k 2^{-k}, \quad (1)$$