

## АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ ОПТИМИЗАЦИИ ВЫЧИСЛЕНИЯ БПФ НА МНОГОЯДЕРНОМ ПРОЦЕССОРЕ

Черемнов А.Г., Аврамчук В.С.

Научный руководитель: Аврамчук В.С., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

Email: [8xandr@gmail.ru](mailto:8xandr@gmail.ru)

Спектральный анализ сигналов находит широкое применение в различных отраслях науки и техники: экономике, геологии, биологии, акустике, физике и многих других. При необходимости обработки больших массивов данных или работе в режиме, близком к режиму реального времени, как правило, используются алгоритмы быстрого преобразования Фурье (БПФ)[1].

В настоящее время существует множество вариантов реализации алгоритмов БПФ. Среди них можно выделить алгоритм Кули-Тьюки, который является наиболее простым в реализации способом вычисления БПФ [2]. В этом алгоритме минимизация вычислительных операций достигается с помощью разбиения исходной анализируемой последовательности на две более коротких (рис. 1), что сокращает количество операций в два раза [3]. Разбиение необходимо продолжать до тех пор, пока количество отчётов не станет равным 2.

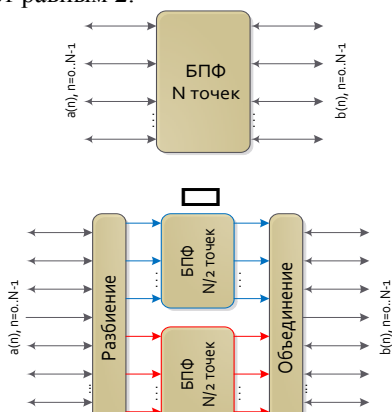


Рис. 1. Замена N-точного БПФ двумя N/2-точными БПФ

Первоначального повышения эффективности при использовании алгоритма с прореживанием по времени и бит-реверсивным порядком входной последовательности можно добиться оптимизацией операции «Бабочка» в операциях разбиения и объединения последовательностей как показано на рисунке 2[4]. В настоящей работе представлены результаты вычислений БПФ с использованием алгоритмических оптимизаций.

В качестве среды разработки программного обеспечения использована Microsoft Visual Studio 2012 Professional и кроссплатформенная библиотека Intel TBB.

Для реализации параллельного вычисления БПФ использован метод обхода рекурсии в

ширину. Основное преимущество такого подхода перед предыдущими реализациями БПФ [5,6] очевидно и заключается в отсутствии необходимости проводить предварительный тест с целью определения оптимальных значений степеней детализации (grainsize) для различных выборок перед массивными математическими вычислениями. Вычисление БПФ представлено в шаблоне библиотеки Intel TBB как логическая задача класса `tbb::task`, которая в свою очередь порождает другие вычислительные логические задачи в момент разбиения исходной анализируемой последовательности. После объединения последовательностей, соответственно созданные задачи уничтожаются.

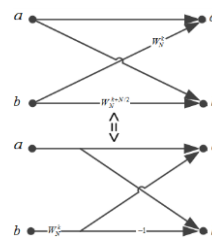


Рис. 2. Оптимизация вычисления операции «Бабочка»

Экспериментальные исследования проведены на модельных примерах с размером выборки 8–131072 отсчётов. Массив входных данных состоял преимущественно из комплексных чисел. Экспериментальные исследования проведены на трех процессорах фирмы Intel: Core 2 Quad 6700, Xeon® 5160, Core i5-750 и на двух процессорах фирмы AMD: A10-4600M и FX-9590.

В таблице 1, в качестве примера, приведены временные результаты вычисления БПФ на ЦП Core i5-750.

Сравнение реализаций БПФ с адаптивным вычислением grainsize и обходом рекурсии в ширину на указанных выше процессорах проведено по следующим параметрам [7]  $S_p = \frac{T_p}{T_1}$ ,

$$E_p = \frac{S_p}{p} \cdot 100\%, \text{ где } S_p - \text{ ускорение, } E_p -$$

эффективность,  $T_p$  и  $T_1$  – время выполнения параллельного и последовательных кодов,  $p$  – количество вычислительных ядер.

Зависимости ускорений от размера выборки для двух алгоритмов приведены на рисунках 3 и 4.

БПФ1 – вычисление БПФ с адаптивным подсчётом степени детализации; БПФ2 – вычисление БПФ с использованием рекурсивного

алгоритма.

Таблица 1. Результаты вычисления частотно-временной корреляционной функции (1000 преобразований Фурье).

Размер выборки	Время выполнения последовательного алгоритма $t_1$ , мс	Время выполнения параллельного алгоритма $t_2$ , мс	$t_1/t_2$
8	0,455±0,006	0,453±0,015	1,00
16	1,307±0,018	1,109±0,034	1,18
32	3,365±0,035	2,980±0,135	1,13
64	8,224±0,006	7,580±0,194	1,08
128	18,803±0,174	17,111±0,254	1,10
256	42,233±0,413	40,813±0,245	1,03
512	93,623±0,699	90,671±0,729	1,03
1024	207,559±1,198	131,602±0,429	1,58
2048	450,336±1,409	192,143±1,697	2,34
4096	976,521±1,117	430,608±2,947	2,27
8192	2123,618±1,360	934,029±8,210	2,27
16384	4604,632±2,459	1881,861±11,159	2,45
32768	9909,280±3,261	4070,209±17,380	2,43
65536	21211,475±0,597	8586,603±224,858	2,47
131072	45517,848±1,110	17588,818±404,469	2,59

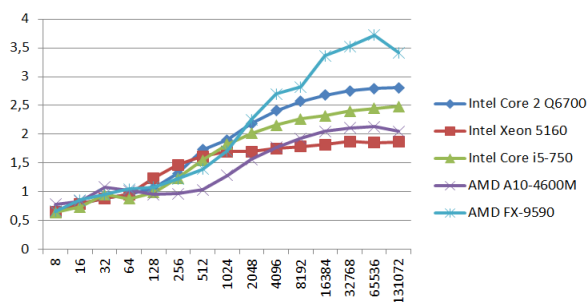


Рис. 3. Ускорение БПФ1

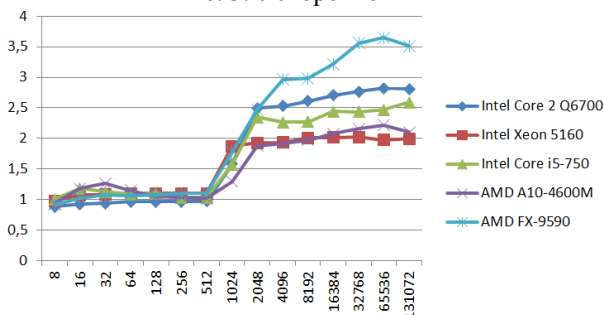


Рис. 4. Ускорение БПФ2

Из рисунков 3 и 4 видно, что в целом второй алгоритм обладает большим ускорением.

Зависимости эффективности использования процессора в процентах от размера выборки для БПФ1 и БПФ2 приведены на рисунках 5 и 6.

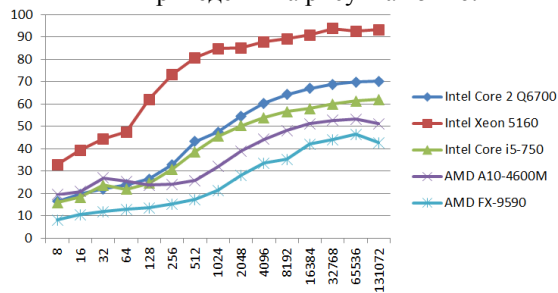


Рис. 5. Эффективность БПФ1

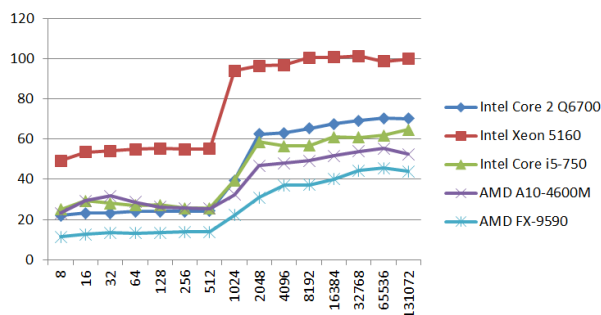


Рис. 6. Эффективность БПФ2

Исходя из полученных результатов (рис. 3-5) рекурсивная реализация в целом обладает более хорошими параметрами качества (ускорение и эффективность). Также отметим, что для этого алгоритма не нужно проводить предварительного теста для определения оптимальных параметров степени детализации. Алгоритм может работать сразу без предварительной подстройки под используемую архитектуру.

### Список литературы

1. Айфичер Э.С., Джервис Б.У. Цифровая обработка сигналов: практический подход. 2-е изд. – М.: Вильямс, 2008. – 992 с.
2. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов. — М.: Мир, 1989. — 448 с.
3. Теория и практика цифровой обработки сигналов. URL: <http://www.dsplib.ru/index.html> (Дата обращения: 12.02.2014).
4. Лайонс Р. Цифровая обработка сигнала. 2-е изд. – М.: Бинум-Пресс, 2011. – 656 с.
5. Черемнов А.Г. Вычисление БПФ на параллельной архитектуре с распараллеливанием операции «Бабочка» с использованием адаптивного расчёта степени детализации // «Молодёжь и современные информационные технологии»: Труды XI Междунар. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных. – Томск, 2013. – С. 52-53.
6. Аврамчук В.С., Лунева Е.Е., Черемнов А.Г. Способы повышения эффективности вычисления быстрого преобразования Фурье//Интернет-журнал «Науковедение». 2013 №3 [Электронный ресурс].-М. 2013. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/16tvn313.pdf>, свободный – Загл. с экрана.
7. Герпель В.П. Высокопроизводительные вычисления для многоядерных многопроцессорных систем. Учебное пособие. – М.: Издательство ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2010. – 421 с.