

ВЫЧИСЛЕНИЕ БПФ НА МНОГОЯДЕРНЫХ ПРОЦЕССОРАХ С АРХИТЕКТУРАМИ INTEL И DSP-МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ С АРХИТЕКТУРОЙ ARM НА ВЫБОРКАХ ДО 4096 ЭЛЕМЕНТОВ

А.Г. Черемнов, В.С. Аврамчук
Томский политехнический университет
Научный руководитель: В.С. Аврамчук
8xandr@gmail.com

В наши дни в связи с непрерывным развитием вычислительной техники предъявляются повышенные требования к обработке больших массивов данных. Для эффективной обработки больших массивов данных используются многоядерные процессоры и высокопроизводительные микроконтроллеры.

В ЭВМ повышение производительности возможно за счёт увеличения тактовой частоты работы центрального процессора. В свою очередь дальнейшее увеличение тактовой частоты затруднено фундаментальными физическими ограничениями при изготовлении сверхбольших интегральных схем. На данный момент за счёт повышения количества вычислительных ядер достигается дальнейший рост производительности ЭВМ. Таким образом, одновременное использование несколько слабых процессоров позволяет получить мощность превышающую мощность одного мощного процессора. В этом случае сумма предельных производительностей вычислительных ядер будет определять предельную производительность всего центрального процессора [1]. Однако, подобный подход подразумевает и большие затраты на разработку программного обеспечения, эффективно использующего все вычислительные ядра.

Отметим, что возможности DSP, входящего в состав Cortex M4, позволяют параллельно выполнять четыре операции сложения/вычитания для 8-ми разрядных чисел или две операции сложения/вычитания с 16-ти разрядными операндами. Также реализовано умножение за один цикл, при этом для 16-ти разрядных чисел возможно параллельное исполнение двух операций [2].

Одной из наиболее распространённых задач цифровой обработки сигнала (ЦОС) является расчёт спектрального состава сигнала.

Задача заключается в вычислении дискретного преобразования Фурье (ДПФ).

В общем случае ДПФ можно выразить следующей формулой [3]:

$$b_k = \sum_{i=0}^{N-1} \left(a_i \cdot e^{-j \cdot \frac{2\pi}{N} \cdot i \cdot k} \right), \quad k = 0, \dots, N-1,$$

где

N – размер выборки сигнала, a_i – мгновенные значения сигнала, b_k – значения коэффициентов ряда Фурье.

Подобный расчёт ДПФ может быть сведён к расчёту быстрого преобразования Фурье (БПФ) [4].

В настоящее время существует огромное множество различных алгоритмов расчёта БПФ. Алгоритм Кули-Тьюки, который назван по имени его создателей Кули и Тьюки, является наиболее простым в понимании и реализации методом вычисления БПФ [5].

В этом способе дополнительная минимизация вычислительных операций достигается за счёт разбиения исходной анализируемой последовательности на две равные части. Разбиение необходимо продолжать до тех пор, пока количество исходных анализируемых отсчётов не станет равным 2 [4] (рис. 1).

Для $n=8$ подобное разбиение представлено на рисунке 2.

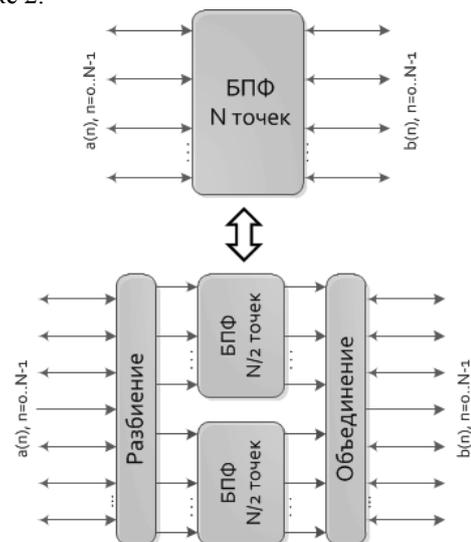


Рис. 1. Замена N-точечного БПФ двумя N/2-точечными БПФ

По алгоритму, описанному выше, были разработаны несколько программных реализаций, предназначенных для использования в контроллерах ARM Cortex M3 и M4 [6] и многоядерных центральных процессорах, имеющих архитектуры IA32-IA64.

В качестве среды разработки программного обеспечения для многоядерных процессоров с архитектурами IA32-64 использована Microsoft Visual Studio 2012 Professional и кроссплатформенная библиотека Intel TBB. Для реализации параллельного вычисления БПФ использован метод обхода рекурсии в ширину. Основное преимуще-

ство этого подхода перед предыдущими реализациями БПФ [7] заключается в отсутствии необходимости выполнения предварительного теста для определения оптимальных параметров «grainsize», показателя степени детализации задачи.

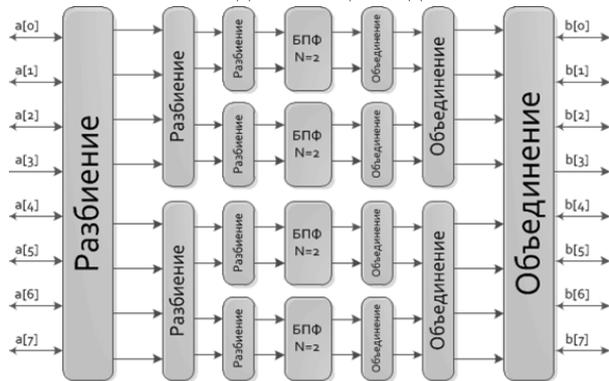


Рис. 2. Разбиение и объединение последовательности при N=8.

Экспериментальные исследования проведены на двух процессорах фирмы AMD: A10-4600M и FX-9590, на трех процессорах фирмы Intel: Core 2 Quad 6700, Xeon® 5160, Core i5-750 и двух DSP микроконтроллерах ARM Cortex M3 и Cortex M4.

Размер выборки N варьировался от 128 до 4096.

В качестве примера временные замеры вычисления частотно-временной корреляционной функции (1000 преобразований БПФ) на процессоре Intel Core i5-750 и ARM Cortex M4 приведены в таблице.

Таблица. Временные замеры

N	Intel Core i5-750, t_1 (мс)	ARM Cortex M4, t_2 (мс)	t_1/t_2
128	28,220±0,00132	0,262±0,00002	107
256	64,741±0,0026	0,594±0,00005	108
512	146,204±0,0039	1,329±0,00016	110
1024	278,712±0,0044	2,937±0,00041	94,8
2048	494,123±0,0046	6,435±0,00075	76,7
4096	934,111±0,0052	13,971±0,0021	66,8

На рисунке 3 приведено ускорение, полученное при использовании ARM Cortex M4, вместо контроллера Cortex M3 и 5-ти многоядерных процессоров.

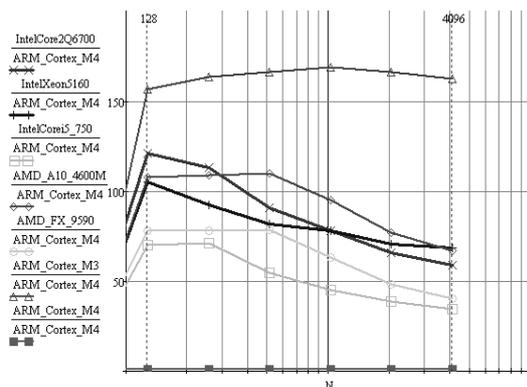


Рис.3. Относительное ускорение при использовании DSP микроконтроллера Cortex M4

Исходя из анализа полученных результатов, можно сделать вывод, что разработанные программы можно применять для анализа цифровых сигналов в режиме, приближенном к режиму реальному времени. Использование микроконтроллера ARM Cortex M4 позволяет добиться большей скорости вычисления БПФ.

Реализованные алгоритмы БПФ могут быть использованы в качестве базовых при расчете частотно-временных корреляционных функций [8-10].

Литература

1. Гергель В.П. Высокопроизводительные вычисления многоядерных процессорных систем. — М.: Издательство ННГУ, 2010. — С. 421
2. Справочное техническое руководство Cortex™-M4. URL: http://infocenter.arm.com/help/topic/com.arm.doc.ddi0439d/DDI0439D_cortex_m4_processor_r0p1_trm.pdf (дата обращения: 12.10.2014).
3. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов. — М.: Мир, 1989. — 448 с.
4. М. А. Павлейно, В. М. Ромаданов Спектральные преобразования в MatLab. — СПб, 2007. — С. 160
5. Айфичер Э.С., Джервис Б.У. Цифровая обработка сигналов: практический подход. 2-е изд. — М.: Вильямс, 2008. — 992 с.
6. Буй Б.З. Реализация БПФ на микроконтроллерах с архитектурой ARM Cortex M4 // «Молодёжь и современные информационные технологии»: Труды XI Междунар. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных. — Томск, 2013. — С. 52-53.
7. Аврамчук В.С., Лунева Е.Е., Черемнов А.Г. Способы повышения эффективности вычисления быстрого преобразования Фурье//Интернет-журнал «Наукovedение». 2013 №3 [Электронный ресурс]. - М. 2013. — Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/16tvn313.pdf>, свободный — Загл. с экрана.
8. Аврамчук В.С., Чан Вьет Тъяу. Частотно-временной корреляционный анализ цифровых сигналов // Известия Томского политехнического университета. — 2009. —Т. 315. — № 5. — С. 112–115.
9. Аврамчук В. С. Определение наличия гармонических составляющих и их частот в дискретных сигналах на основе автокорреляционной функции // Известия Томского политехнического университета. - 2012 - Т. 321 — №. 5 — С. 113–116.
10. Аврамчук В.С., Гончаров В.И., Чан Вьет Тъяу. Частотно-временной корреляционный анализ в задачах определения координат утечек в трубопроводах // Известия Томского политехнического университета. — 2010. — № 2. — С. 70–73.