

## ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ФУНКЦИИ КОГЕРЕНТНОСТИ

Фаерман В.А., Черемнов А.Г.  
Томский Политехнический Университет  
[fcsevladfaerman@gmail.com](mailto:fcsevladfaerman@gmail.com)

Непрерывное увеличение объёмов обрабатываемой информации и разработка новых методов обработки сигналов, отличающихся повышенными требованиями к вычислительным ресурсам компьютеров, приводят к развитию технологий вычислений и способствуют появлению подходов к эффективному использованию аппаратных ресурсов компьютера.

Основным вычислительным ресурсом современных персональных компьютеров являются центральные процессоры, производительность которых в первую очередь определяется их тактовой частотой [1]. В связи с этим, до недавнего времени, в качестве основного пути повышения быстродействия достигалось именно за счёт увеличения тактовой частоты. В тоже время, повышение частоты приводило к повышению энергопотребления и тепловыделения в вычислительном устройстве. Последнее, в свою очередь, устранялось путём уменьшения технологического процесса микросхем. Однако, в настоящее время в связи с принципиальными ограничениями дальнейшая миниатюризация не представляется возможной, поэтому всё большее значение приобретает увеличение быстродействия за счёт увеличения количества вычислительных ядер [2].

Вычисление функций когерентности сопровождается обработкой больших массивов данных, порядка 4 миллионов отсчётов, что накладывает дополнительные требования к вычислительной части при её использовании в режиме, близком к режиму реального времени. Предъявляются повышенные требования к времени выполнения программного обеспечения.

В цифровой обработке сигналов функция когерентности (аналог взаимокорреляционной функции в частотной области) традиционно используется для выделения частотной полосы стационарного сигнала путём отображения степени линейной взаимосвязи между сигналами на различных частотах [2].

Функция когерентности определяется как частное взаимного спектра сигналов и корень из произведения их энергетических спектров:

$$\gamma(f_k) = \frac{|E(P_{AB}(f_k))|}{\sqrt{E(P_{AA}(f_k)) \cdot E(P_{BB}(f_k))}},$$

где  $E(\cdot)$  - оператор усреднения,  $P_{AA}(k)$  и  $P_{BB}(k)$  - энергетические спектры сигналов  $s_A$  и  $s_B$ ,  $P_{AB}(k)$ . Энергетические спектры сигналов могут быть вычислены по следующим формулам:

$$P_{AA}(f_k) = F_D^*(s_A(i)) \cdot F_D(s_A(i)) = |F_D(s_A(i))|^2,$$

$$P_{BB}(f_k) = F_D^*(s_B(i)) \cdot F_D(s_B(i)) = |F_D(s_B(i))|^2$$

$$P_{AB}(f_k) = \sqrt{P_{AA}(k) \cdot P_{BB}(k)},$$

где  $F_D$  - прямое дискретное преобразование Фурье (ДПФ),  $F_D^*$  - комплексно-сопряжённое представление результатов прямого ДПФ.

В литературе [3] встречаются различные подходы к вычислению функции когерентности, отличающиеся способом усреднения значения в знаменателе. Наиболее распространённым в настоящее время является метод усреднения по Бартлетту [4], который можно привести к виду

$$\gamma^2(f_k) = \frac{\left| \sum_{q=0}^{Q-1} P_{AB_q}(f_k) \right|^2}{\sum_{q=0}^{Q-1} P_{AA_q}(f_k) \cdot \sum_{q=0}^{Q-1} P_{BB_q}(f_k)}.$$

С программной точки зрения алгоритм представим в виде основного цикла, который запускается с заданным количеством исполнений (по количеству окон, рассчитанному ранее). На каждой итерации цикла происходит отбор данных для образования окна нужной ширины. С окном производятся специальные манипуляции, такие как расчёт спектров в зависимости от рассчитываемых когерентных функций. Далее данные окна умножаются на соответствующие значения оконной функции. Путём накопления производится расчёт нужных усреднённых спектров, с целью оптимизации работы с памятью.

Использование функций когерентности требует выполнения значительного количества операций вычисления ДПФ. С целью повышения производительности вычислений в качестве алгоритма вычисления ДПФ выбран алгоритм вычисления быстрого преобразования Фурье (БПФ) Кули-Тьюки [4] с прореживанием по частоте с фиксированным основанием 2. Выбор этого алгоритма объясняется простотой его реализации, наглядностью и высокой степенью внутреннего параллелизма [5,6].

В качестве примера в таблице 1 приведены результаты оценки быстродействия вычислений на Intel Core i7-4720 HQ.

Таблица 1. **Время выполнения программы для IntelCorei5-4120U**

Ширина окна	Размер выборки	$T_{с,}$ Послед.	$T_{р,}$ с. Паралл.
32768	524288	0,80457928	0,28703061
	1048576	1,51614394	0,53027460
	2097152	2,78362333	1,14019359
	4194304	5,12695822	2,24324965
65536	524288	0,75473047	0,29546225
	1048576	1,61795367	0,54134352
	2097152	2,72291506	1,16609220
	4194304	4,36228267	2,31716907
131072	524288	0,85269453	0,31004782
	1048576	1,73769563	0,60892330
	2097152	3,34658725	1,15567652
	4194304	6,54859115	2,37563113

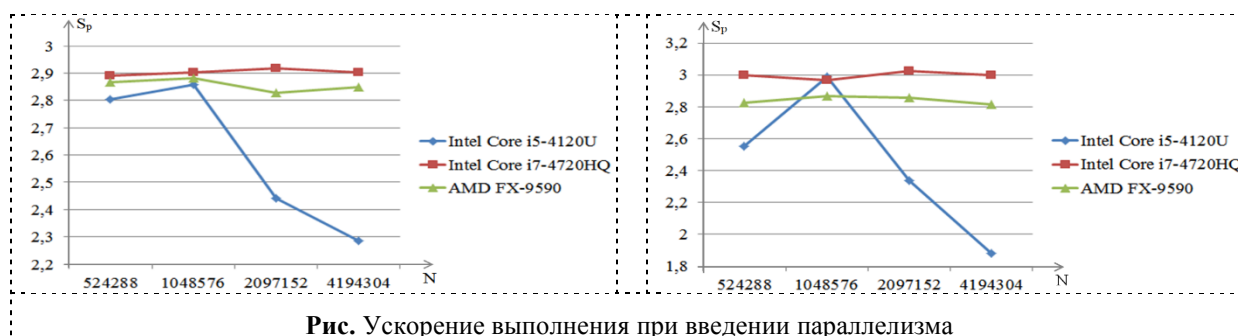


Рис. Ускорение выполнения при введении параллелизма

Зависимости параметра ускорения [7,8] от размера выборки при различных значениях ширины окна показаны на рисунке.

Значение ускорения при изменении размера исходной выборки меняется не значительно, что свидетельствует о хорошей масштабируемости программного решения.

Наиболее приемлемым, с точки зрения возможности реализации без резкого увеличения стоимости вычислительных средств, способом повышения эффективности использования аппаратных ресурсов при вычислении функции когерентности является введение параллелизма. В данном случае в роли вычислительной платформы выступает ПК с современным многоядерным ЦПУ.

Разработанное в ходе выполнения работы программное обеспечение прошло процедуру государственной регистрации в Российской Федерации и будет применено в составе программно-аппаратного комплекса для поиска утечек в трубопроводах корреляционным способом [9].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ проект № 16-37-00049 мол\_а.

#### Литература

1. ЛюфтМ. Диагностика агрегатов: быстроилегко – Blake G, Dreslinski R G and Mudge T 2009 A survey of multicore processors: a review of

their common attributes *IEEE Signal Proc. Mag.* **26(6)** 26-37

2. Herlihy M 2007 The multicore revolution challenges for theory *Lect. Notes Comput. Sc.* **4855** 1-8

3. Shukla S K, Murthy C N S and Chande P K 2015 A survey of approaches used in parallel architectures and multi-core processors, for performance improvement *Advances in Intelligent Systems and Computing.* **1089** 537-545

4. Kim H and Bond R 2009 Multicore software technologies: a survey *IEEE Signal Proc. Mag.* **26(6)** 1-8

5. Carter C G 1987 Coherence and time-delay estimation *Proc. of IEEE* **75(2)** 236-255

6. Ionel R, Ionel S and Ignea A 2010 *Proc. of Int. Joint Conf. on Computational Cybernetics and Technical Informatics (Timisoara)* (IEEE: USA) 5491234

7. Avramchuk V S, Luneva E E and Cheremnov A G 2014 *Proc. of Int. Conf. on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems* (IEEE: USA) 6986858

8. Gupta A and Kumar V 1993 The Scalability of FFT on Parallel Computers *IEEE Parall. Distr.* **4(8)** 922-932

9. Аврамчук В. С. Определение наличия гармонических составляющих и их частот в дискретных сигналах на основе автокорреляционной функции // Известия