

3. Теория и практика цифровой обработки сигналов. URL: <http://www.dsplib.ru/index.html> (Дата обращения: 17.09.2013)

4. Сайт компании Microsoft. <http://msdn.microsoft.com/ru-ru/> (Дата обращения: 17.09.2013)

5. 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.

6. Аврамчук В.С., Лунева Е.Е., Карабин В.Л. Визуализация частотно-временной корреляционной функции на основе технологии OpenGL // Системы управления и информационные технологии, №1.1(51), 2013. – С. 110–113.

7. Лунева Е.Е., Аврамчук В.С. Анализ путей повышения эффективности расчетов частотно-временной корреляционной функции // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322 – № 5. – С. 33–36.

8. Лунева Е.Е., Аврамчук В.С. Технологии параллельных вычислений на многопроцессорных системах в задачах корреляционного анализа // Системы управления и информационные технологии, №3.1(49), 2012. – С. 156–159.

9. Аврамчук В.С., Лунева Е.Е., Черемнов А.Г. Способы повышения эффективности вычисления быстрого преобразования Фурье//Интернет-журнал «Наукоедение». 2013 №3 [Электронный ресурс].-М. 2013. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/16tvn313.pdf>, свободный – Загл. с экрана.

ВЫЧИСЛЕНИЕ БПФ НА ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРЕ С РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЕМ ОПЕРАЦИИ «БАБОЧКА» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДАПТИВНОГО РАСЧЁТА СТЕПЕНИ ДЕТАЛИЗАЦИИ

Черемнов А.Г.

Научный руководитель: Аврамчук В.С.

Томский политехнический университет

634050, Россия, г. Томск, пр-т Ленина, 30

E-mail: 8xandr@gmail.com

Тактовая частота работы центрального процессора, а также архитектура конвейерной обработки команд являются определяющими факторами быстродействия ЭВМ. В последнее десятилетие из-за фундаментальных физических ограничений при производстве больших интегральных схем (СБИС) рост тактовой частоты замедлился. Отдельно отметим, что тепловыделение и энергопотребление пропорционально зависит от тактовой частоты. Например, при увеличении тактовой частоты в два раза, тепловыделение увеличивается в 16 раз [1]. В настоящее время рост производительности центральных процессоров достигается за счёт количества вычислительных ядер.

При использовании нескольких слабых процессоров возможно получить большую производительность по сравнению с одним мощным [2].

В наши дни цифровая обработка сигналов применяется практически во всех отраслях науки и техники. Разложение в ряд Фурье является одной из распространённых задач. Математический аппарат преобразования Фурье хорошо известен и описан в литературе [3].

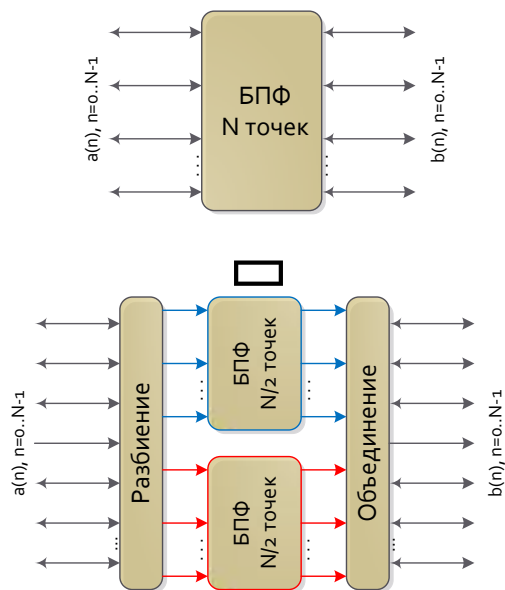


Рис. 1. Замена N-точного БПФ двумя N/2-точными БПФ

Одним из возможных способов вычисления быстрого преобразования Фурье (БПФ) является алгоритм Кули-Тьюки [4]. Этот алгоритм прост в понимании и легко поддается распараллеливанию.

При использовании разбиении исходной анализируемой последовательности на две, более коротких достигается дополнительная минимизация вычислений (рис. 1). При этом количество операций сократится в два раза [3]. Последующее разбиение полученных последовательностей возмож-

но проводить до тех пор, пока число отсчётов в анализируемой выборке кратно 2.

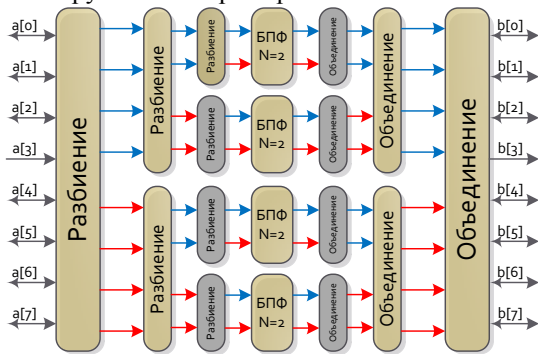


Рис. 2. Разбиение и объединение последовательности при N=8

В данной работе кроссплатформенная библиотека Intel® TVB [5] использовалась в качестве инструмента параллельной разработки. На её основе в среде разработки Visual C++ 2012 создано программное обеспечение расчета частотно-временной корреляционной функции [6, 7].

В данной библиотеке реализованы [5]:

- параллельные алгоритмы: for, reduce, do, scan, while, pipeline, sort;
- потокобезопасные контейнеры: вектор, очередь, хеш-таблица;
- масштабируемые распределители памяти;
- мьютексы;
- атомарные операции;
- глобальная временная метка;
- планировщик задач;
- вычислительный граф.

Для реализации параллельного вычисления БПФ использован шаблон библиотеки Intel TVB `tbv::parallel_for`. В него входит параметр указывающий степень детализации задачи (количество подзадач, на которые разбивается исходная задача) «Grainsize».

Размер выборки варьировался в пределах 4–262144 отсчётов. Экспериментальные исследования проведены на трех процессорах фирмы Intel: Core 2 Quad 6700, Xeon® 5160 и Core i5 750. Параметр «Grainsize» варьировался от 1 до 262144. В качестве примера, в таблице 1, приведены оптимальное значение Grainsize и временные результаты вычисления БПФ на ЦП Xeon-5160.

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

Intel Xeon 5160 – 2 вычислительных ядра, компилятор Visual C++ 2012				
Размер выборки	Время выполнения последовательного алгоритма t1, мс	Grain Size	Время выполнения параллельного алгоритма t2, мс	t1/t2
4	0,233	4	0,483	0,482
8	0,740	8	1,165	0,635
16	2,075	16	2,718	0,763

32	5,414	32	6,048	0,895
64	13,041	64	13,937	0,936
128	30,756	128	32,236	0,954
256	70,931	1	60,218	1,178
512	164,383	1	142,848	1,151
1024	367,752	1	244,770	1,502
2048	823,576	1	510,100	1,614
4096	1810,272	1	1074,612	1,685
8192	3954,571	1	2284,121	1,731
16384	8580,298	1	4879,637	1,758
32768	18526,001	1	10422,106	1,778
65536	39946,972	1	22420,168	1,782
131072	86822,082	1	50127,145	1,732
262144	200067,551	1	122205,849	1,637

Результаты экспериментов для адаптивного подсчёта Grainsize приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты вычисления частотно-временной корреляционной функции (1000 преобразований Фурье) с адаптивным подсчётом параметра Grainsize

Размер выборки	Intel Core 2 Q6700, мс	Intel Xeon 5160, мс	Intel Core i5-750, мс
4	0,48	0,45	0,81
8	1,16	1,05	0,70
16	2,67	2,39	1,77
32	6,08	5,42	3,53
64	14,07	12,50	8,26
128	29,73	22,87	18,48
256	55,26	45,53	34,42
512	96,18	92,92	70,19
1024	197,52	201,31	114,5
2048	373,87	431,46	223,04
4096	740,90	920,16	447,32
8192	1533,24	1991,13	932,03
16384	3183,96	4249,71	1954,98
32768	6735,10	9110,87	4098,74
65536	14284,21	19693,42	9151,06
131072	30798,32	44017,05	18065,00
262144	68493,11	108833,49	38072,20

Листинг пересчёта оптимального значения GrainSize на языке C++ приведён ниже:

```
int grain = grainsize / butterflyCount;
if (grain < 1)
    grain = 1;
```

Расчет частотно-временной корреляционной функции требует значительных вычислительных мощностей ЭВМ. Возможные пути повышения эффективности расчета частотно-временной корреляционной функции также рассмотрены в [8-10].

Заключение

Исходя из анализа полученных результатов, можно сделать следующий вывод: использование адаптивного подсчёта степени детализации в операциях вычисления БПФ позволяет проводить эти операции быстрее.

Литература

1. Боресков А.В. и др. Основы работы с технологией CUDA. — М.: ДМК Пресс, 2010 — С. 232.

2. Гергель В.П. Высокопроизводительные вычисления многоядерных процессорных систем. — М.: Издательство ННГУ, 2010. — С. 421

3. Теория и практика цифровой обработки сигналов. URL: <http://www.dsplib.ru/index.html> (Дата обращения: 17.09.2013).

4. Cooley, James W.; Tukey, John W. "An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series". Math. Comput. 19: 297–301

5. Сайт компании Microsoft. <http://msdn.microsoft.com/ru-ru/> (Дата обращения: 17.09.2013)

6. 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.

7. Аврамчук В.С., Лунева Е.Е., Карабин В.Л. Визуализация частотно-временной корреляционной функции на основе технологии OpenGL // Си-

стемы управления и информационные технологии, №1.1(51), 2013. – С. 110–113.

8. Лунева Е.Е., Аврамчук В.С. Анализ путей повышения эффективности расчетов частотно-временной корреляционной функции // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322 – № 5. – С. 33–36.

9. Лунева Е.Е., Аврамчук В.С. Технологии параллельных вычислений на многопроцессорных системах в задачах корреляционного анализа // Системы управления и информационные технологии, №3.1(49), 2012. – С. 156–159.

10. 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.

CONTINUOUS CASTING SIMULATION IN COMSOL MULTIPHYSICS SOFTWARE PACKAGE

Cherkashina Y.A.

Scientific advisor: Ass. Prof. A.S. Ogorodnikov
Tomsk Polytechnic University
Lenina Avenue, 30, 634050, Tomsk, Russia
E-mail: cherr999y@mail.ru

Modeling is an essential and inseparable part of scientific work, and many scientific disciplines have their own ideas about specific types of modeling. A scientific model can provide a way to understand elements easily which have been broken down to a simpler form.

The COMSOL Multiphysics simulation environment facilitates all the steps in the modeling process – defining geometry, meshing, specifying physics, solving, and then visualizing results. It also serves as a platform for the application specific modules.

In this work the continuous casting process is simulated using two stationary modes of COMSOL Multiphysics: General Heat Transfer and Weakly Compressible Navier-Stokes.

This work simulates the process of continuous casting of a metal rod from a melted state. To optimize the casting process in terms of casting rate and cooling, it is helpful to model the thermal and fluid dynamic aspects of the process. To get accurate results, you must model the melt flow field in combination with the heat transfer and phase change. The model includes the phase transition from melt to solid, both in terms of latent heat and the varying physical properties.

The model is a two-dimensional axisymmetric model in the rz-plane. Figure 1 shows the dimensions of the 2D geometry. The underlying reference model was originally developed by J. Fjellstedt.

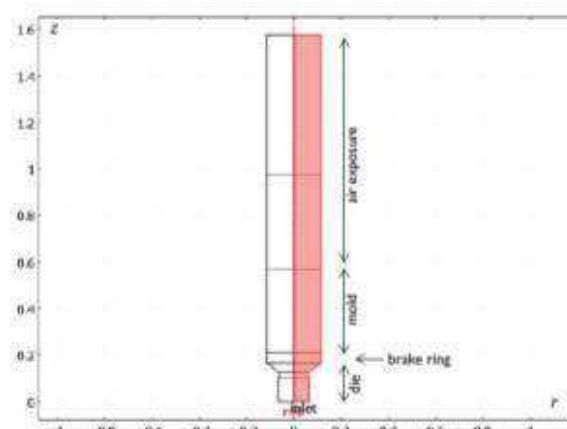


Fig. 1. 2D axisymmetric model of the casting process

As the melt cools down in the mold it solidifies. The phase transition releases latent heat. Furthermore, for metal alloys, the transition is often spread out over a temperature range. As the material solidifies, the material properties change considerably. Finally, the model also includes the “mushy” zone—a mixture of solid and melted material that occurs due to the rather broad transition temperature of the alloy and the solidification kinetics.

The process operates at steady state, because it is a continuous process. The heat transport is described by the equation:

$$\nabla \cdot (-k \nabla T) = Q - (\rho C_p \mathbf{u} \cdot \nabla T) \quad ,$$