

Теория параллелизма

Отчет

Уравнение теплопроводности на CUDA

Выполнил: Лёшин Владимир Александрович, 21933

27.04.2023

## Цели работы:

- Реализовать решение уравнение теплопроводности (пятиточечный шаблон) в двумерной области на равномерных сетках.
- Перенести программу на GPU используя CUDA.
- Операцию редукции (подсчет максимальной ошибки) реализовать с использованием библиотеки CUB.
- Сравнить скорость работы для разных размеров сеток на графическом процессоре с предыдущей реализацией на OpenACC.
- Представить отчет, описывающий реализацию кода, результаты профилирования и сравнения с предыдущими реализациями.

Используемый компилятор: nvcc

Используемый профилировщик: nsys

Замер времен работы программы: производился с помощью профилировщика и функции clock()

# Выполнение на CPU

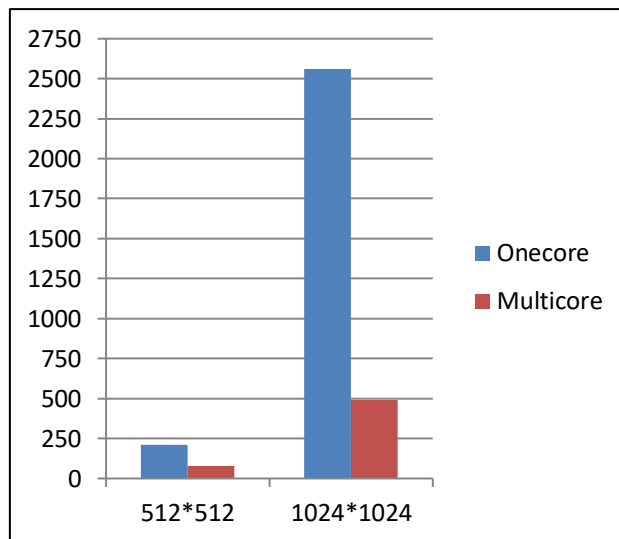
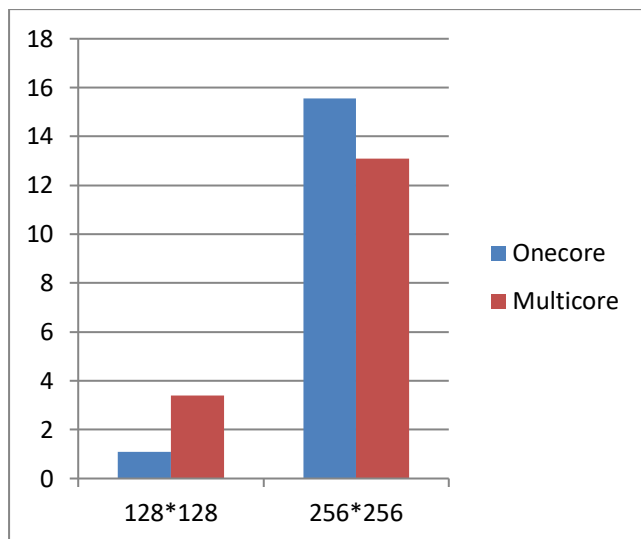
## CPU-onecore

Размер сетки	Время выполнения, с	Точность	Количество итераций
128*128	1.09	$1 \cdot 10^{-6}$	30074
256*256	15.56	$1 \cdot 10^{-6}$	102885
512*512	208.94	$1 \cdot 10^{-6}$	339599

## CPU-multicore

Размер сетки	Время выполнения, с	Точность	Количество итераций
128*128	3.4	$1 \cdot 10^{-6}$	30074
256*256	13.1	$1 \cdot 10^{-6}$	102885
512*512	78.5	$1 \cdot 10^{-6}$	339599
1024*1024	≈492	$1.4 \cdot 10^{-6}$	$10^6$

Диаграмма сравнения время работы CPU-one и CPU-multi



## Выполнение на GPU

### GPU-оптимизированный вариант

Размер сетки	Время выполнения, с	Точность	Количество итераций
128*128	1.01	$1 \cdot 10^{-6}$	30074
256*256	2.98	$1 \cdot 10^{-6}$	102885
512*512	9.65	$1 \cdot 10^{-6}$	339599
1024*1024	≈52	$1.4 \cdot 10^{-6}$	$10^6$

### GPU-с библиотекой cuBLAS

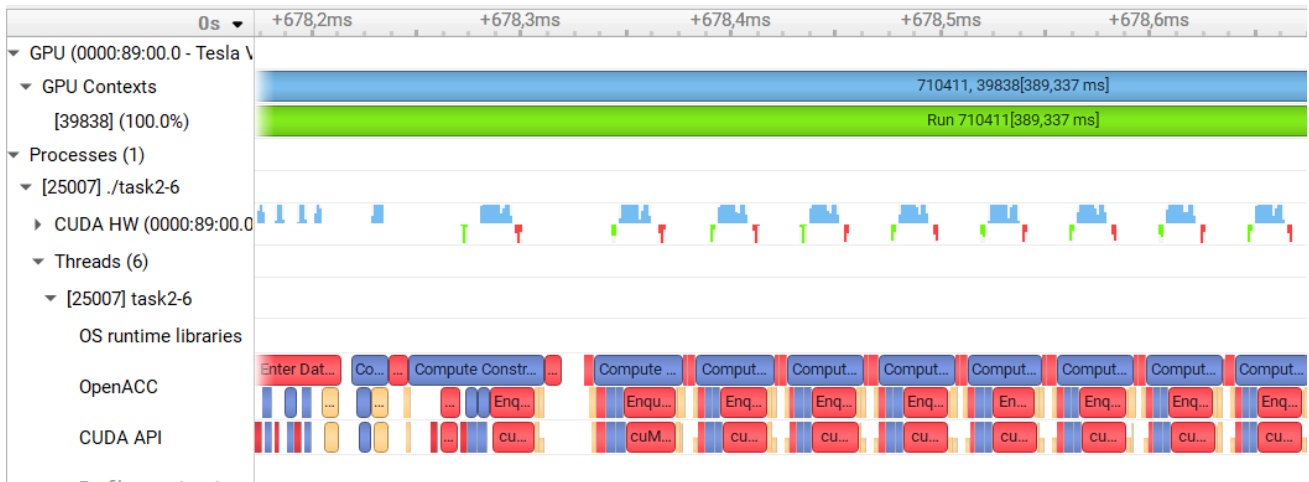
Размер сетки	Время выполнения, с	Точность	Количество итераций
128*128	0.98	$1 \cdot 10^{-6}$	30100
256*256	2.11	$1 \cdot 10^{-6}$	102900
512*512	10	$1 \cdot 10^{-6}$	339600
1024*1024	87	$1.4 \cdot 10^{-6}$	$10^6$

### GPU-на cuda с библиотекой CUB

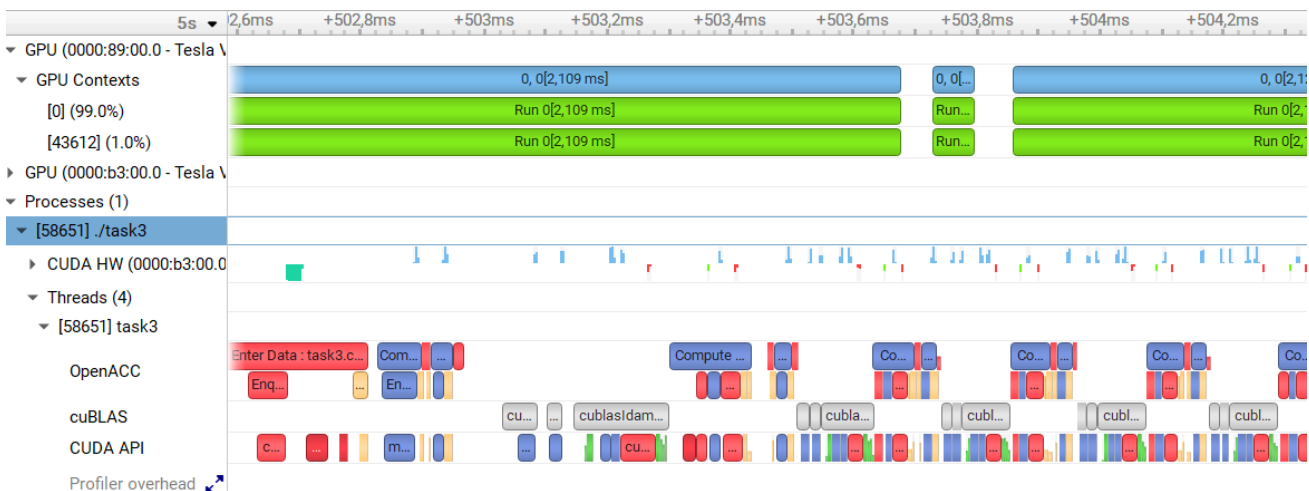
Размер сетки	Время выполнения, с	Точность	Количество итераций
128*128	0.27	$1 \cdot 10^{-6}$	15100
256*256	0.55	$1 \cdot 10^{-6}$	51500
512*512	3.04	$1 \cdot 10^{-6}$	169800
1024*1024	29.8	$1.4 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^5$

# Профилирование

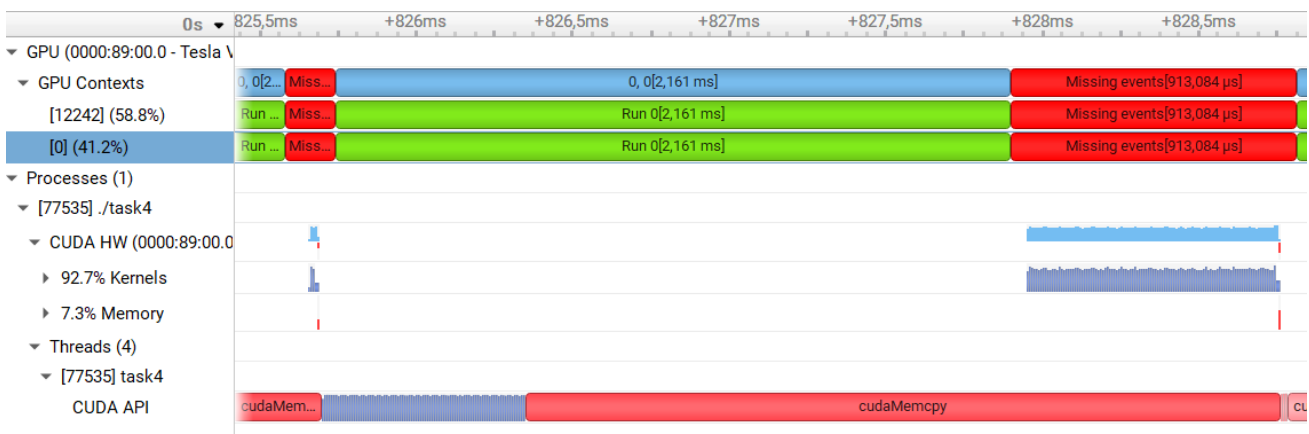
## GPU



## GPU (с библиотекой cuBLAS)

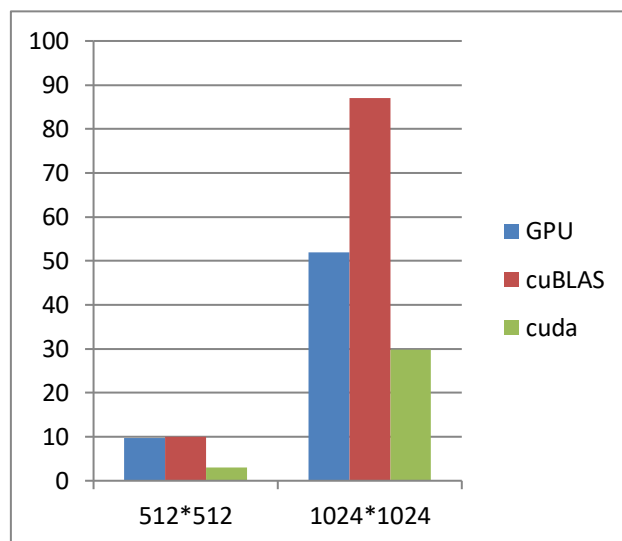
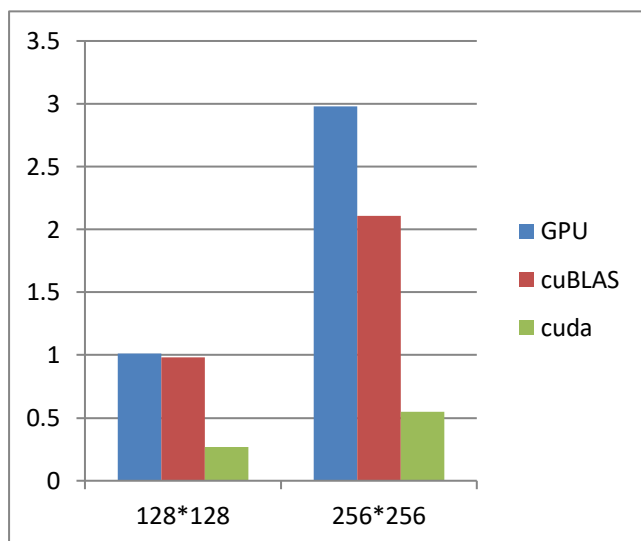


## GPU (на cuda с библиотекой CUB)



## Диаграмма сравнения времени работы

GPU(оптимизированный вариант с openACC), GPU(с библиотекой cuBLAS), GPU(на cuda) для разных размеров сеток



Вывод: Решение уравнения теплопроводности требует большую производительность, что особо ощущается при увеличении размера сетки до  $1024 \times 1024$ . При таком размере на центральном процессоре программа выполняется недопустимо долго, на CPU-multicore этот процесс занимает меньше времени, но действительно быстро эта программа выполняется на графическом процессоре. При выполнении на GPU много тратится на копирование данных на GPU и возврат на хост, но это заметно лишь при малых размерах сетки или малом количестве итераций. После оптимизации кода для GPU уравнение решается меньше минуты, что для нас является очень важным. Использование же библиотеки cuBLAS даёт некоторые преимущества.

Язык cuda даёт полную свободу в действиях на низком уровне программисту, из-за чего можно подстроить программу под определенную задачу, что дает большое ускорение в работе программы.



# Приложение

Ссылка на Github: <https://github.com/vladimir15l/parallelism>

## Пример работы программы

Массив 15\*15 после заполнения границ и после выполнения всей программы

10.0000	10.7143	11.4286	12.1429	12.8571	13.5714	14.2857	15.0000	15.7143	16.4286	17.1429	17.8571	18.5714	19.2857	20.0000
10.7143	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	20.7143
11.4286	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	21.4286
12.1429	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	22.1429
12.8571	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	22.8571
13.5714	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	23.5714
14.2857	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	24.2857
15.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	25.0000
15.7143	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	25.7143
16.4286	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	26.4286
17.1429	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	27.1429
17.8571	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	27.8571
18.5714	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	28.5714
19.2857	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	29.2857
20.0000	20.7143	21.4286	22.1429	22.8571	23.5714	24.2857	25.0000	25.7143	26.4286	27.1429	27.8571	28.5714	29.2857	30.0000

10.0000	10.7143	11.4286	12.1429	12.8571	13.5714	14.2857	15.0000	15.7143	16.4286	17.1429	17.8571	18.5714	19.2857	20.0000
10.7143	11.4286	12.1429	12.8571	13.5714	14.2857	15.0000	15.7143	16.4286	17.1428	17.8571	18.5714	19.2857	20.0000	20.7143
11.4286	12.1429	12.8571	13.5714	14.2857	15.0000	15.7143	16.4286	17.1428	17.8571	18.5714	19.2857	20.0000	20.7143	21.4286
12.1429	12.8571	13.5714	14.2857	15.0000	15.7143	16.4285	17.1428	17.8571	18.5714	19.2857	20.0000	20.7143	21.4286	22.1429
12.8571	13.5714	14.2857	15.0000	15.7143	16.4285	17.1428	17.8571	18.5714	19.2857	20.0000	20.7143	21.4286	22.1429	22.8571
13.5714	14.2857	15.0000	15.7143	16.4285	17.1428	17.8571	18.5714	19.2857	20.0000	20.7143	21.4285	22.1428	22.8571	23.5714
14.2857	15.0000	15.7143	16.4285	17.1428	17.8571	18.5714	19.2857	20.0000	20.7143	21.4285	22.1428	22.8571	23.5714	24.2857
15.0000	15.7143	16.4286	17.1428	17.8571	18.5714	19.2857	20.0000	20.7142	21.4285	22.1428	22.8571	23.5714	24.2857	25.0000
15.7143	16.4286	17.1428	17.8571	18.5714	19.2857	20.0000	20.7143	21.4285	22.1428	22.8571	23.5714	24.2857	25.0000	25.7143
16.4286	17.1428	17.8571	18.5714	19.2857	20.0000	20.7143	21.4285	22.1428	22.8571	23.5714	24.2857	25.0000	25.7143	26.4286
17.1429	17.8571	18.5714	19.2857	20.0000	20.7143	21.4285	22.1428	22.8571	23.5714	24.2857	25.0000	25.7143	26.4286	27.1429
17.8571	18.5714	19.2857	20.0000	20.7143	21.4285	22.1428	22.8571	23.5714	24.2857	25.0000	25.7143	26.4286	27.1429	27.8571
18.5714	19.2857	20.0000	20.7143	21.4286	22.1428	22.8571	23.5714	24.2857	25.0000	25.7143	26.4286	27.1428	27.8571	28.5714
19.2857	20.0000	20.7143	21.4286	22.1429	22.8571	23.5714	24.2857	25.0000	25.7143	26.4286	27.1429	27.8571	28.5714	29.2857
20.0000	20.7143	21.4286	22.1429	22.8571	23.5714	24.2857	25.0000	25.7143	26.4286	27.1429	27.8571	28.5714	29.2857	30.0000

Number of iterations: 538

Error: 0.000000952952576

Execution time: 0.730079