

Теория параллелизма

Отчёт

Уравнение теплопроводности на нескольких GPU

Выполнил: Лейсле Александр Геннадьевич, группа 21932

17.05.2023

Цели работы:

1. Реализовать решение уравнение теплопроводности (пятиточечный шаблон) в двумерной области на равномерных сетках:
 - 128x128
 - 256x256
 - 512x512
 - 1024x1024
 - 4096x4096
 - 8096x8096
2. Перенести программу на несколько GPU, используя CUDA и MPI
3. Операцию редукции (вычисление максимального значения ошибки) на графическом процессоре реализовать через вызовы функций из библиотеки CUB
4. Подсчет глобального значения ошибки, обмен граничными условиями реализовать с использованием MPI
5. Сравнить скорость работы для разных размеров сеток на разном количестве GPU

6. Произвести профилирование программы с использованием NsightSystems.

Используемый компилятор: `mpic++`

Используемый профилировщик: `nsys`

Как производили замер времени работы:

В начале и в конце программы производилась фиксация текущего времени с использованием команд из `chrono`, разница этого времени выводилась в стандартный поток вывода.

Реализация через OpenAcc без библиотеки cuBLAS

CPU-multicore

Размер сетки	Время выполнения	Точность	Количество итераций
128x128	0.10с	$9.9 * 10^{-7}$	30080
256x256	0.52с	$9.9 * 10^{-7}$	102912
512x512	5.12с	$9.9 * 10^{-7}$	339712
1024x1024	79.77с	$1.37 * 10^{-6}$	1000000

GPU

Размер сетки	Время выполнения	Точность	Количество итераций
128x128	0.68с	$9.9 * 10^{-7}$	30080
256x256	1.72с	$9.9 * 10^{-7}$	102912
512x512	6.08с	$9.9 * 10^{-7}$	339712
1024x1024	39.35с	$1.37 * 10^{-6}$	1000000

Реализация через OpenAcc
с библиотекой cuBLAS

GPU

Размер сетки	Время выполнения	Точность	Количество итераций
128x128	0.92с	$9.9 * 10^{-7}$	30080
256x256	1.82с	$9.9 * 10^{-7}$	102912
512x512	5.89с	$9.9 * 10^{-7}$	339712
1024x1024	37.48с	$1.37 * 10^{-6}$	1000000

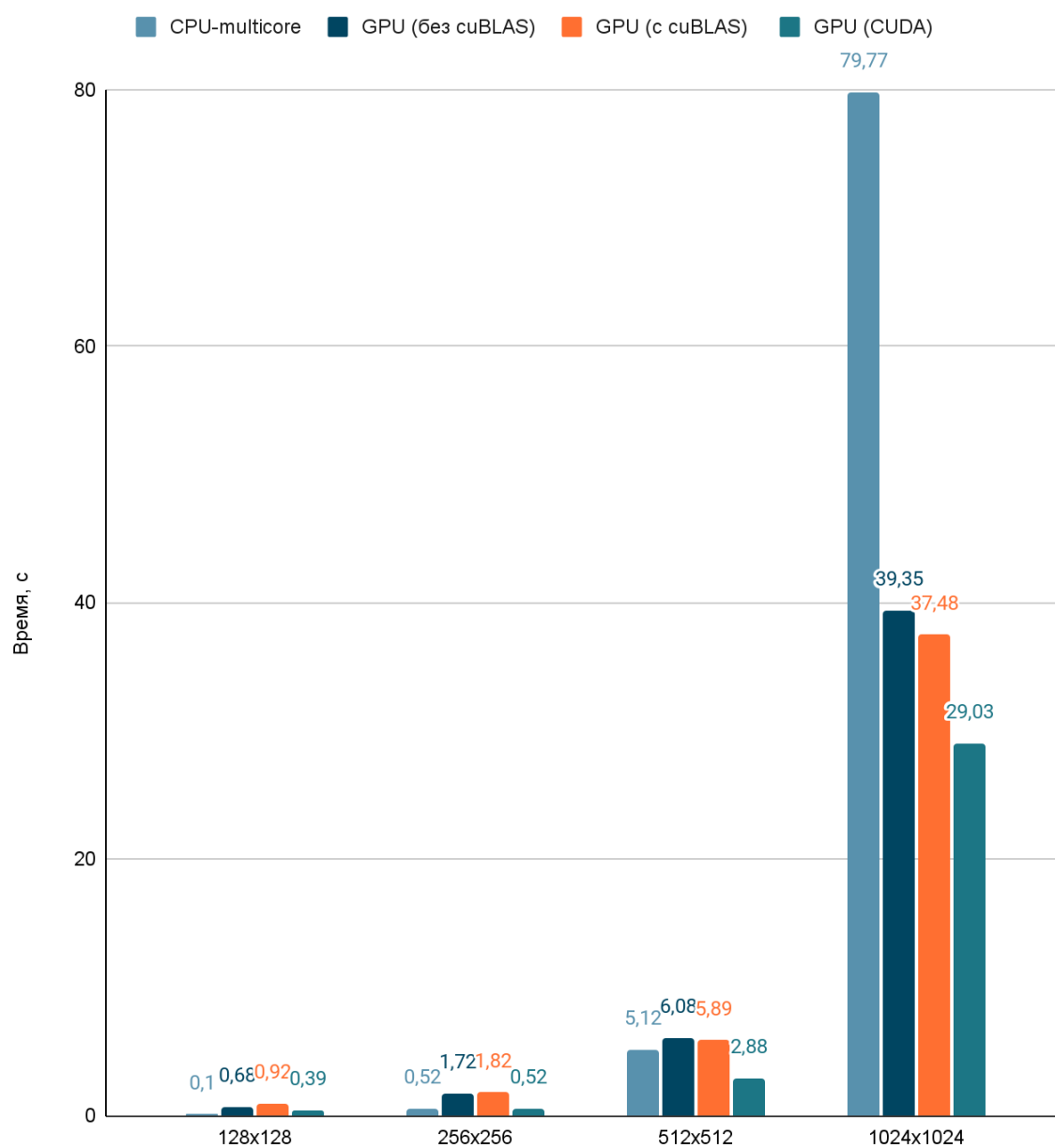
Реализация через CUDA

GPU

Размер сетки	Время выполнения	Точность	Количество итераций
128x128	0.39с	$9.9 * 10^{-7}$	30080
256x256	0.52с	$9.9 * 10^{-7}$	102912
512x512	2.88с	$9.9 * 10^{-7}$	339712
1024x1024	29.03с	$1.37 * 10^{-6}$	1000448

Диаграмма сравнения времени работы CPU-multicore и GPU

Общее время работы



Реализация через MPI

GPU

Количество GPU	Размер сетки	Время выполнения	Точность	Количество итераций
1	128x128	0.39с	$9.9 * 10^{-7}$	30080
	256x256	0.52с	$9.9 * 10^{-7}$	102912
	512x512	2.48с	$9.9 * 10^{-7}$	339712
	1024x1024	29.03с	$1.37 * 10^{-6}$	1000000
	4096x4096	353.47с	$9.71 * 10^{-6}$	1000000
	8192x8192	1376.21с	$1.01 * 10^{-5}$	1000000
2	128x128	1.10с	$9.9 * 10^{-7}$	30080
	256x256	1.82с	$9.9 * 10^{-7}$	102912
	512x512	6.52с	$9.9 * 10^{-7}$	339712
	1024x1024	32.14с	$1.37 * 10^{-6}$	1000000
	4096x4096	204.36с	$9.71 * 10^{-6}$	1000000
	8192x8192	691.19с	$1.01 * 10^{-5}$	1000000
4	128x128	1.95с	$9.9 * 10^{-7}$	30080
	256x256	3.01с	$9.9 * 10^{-7}$	102912
	512x512	7.65с	$9.9 * 10^{-7}$	339712
	1024x1024	23.16с	$1.37 * 10^{-6}$	1000000
	4096x4096	98.33с	$9.71 * 10^{-6}$	1000000
	8192x8192	401.24с	$1.01 * 10^{-5}$	1000000

Диаграмма сравнения времени работы на разном количестве GPU (небольшой размер сеток)

Общее время работы

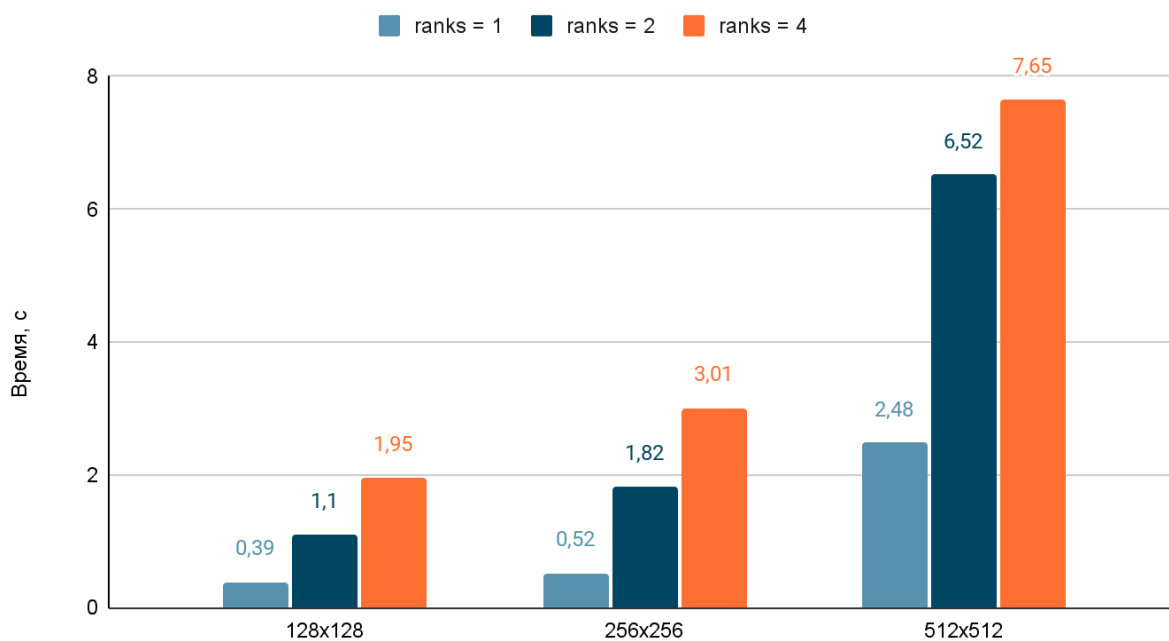
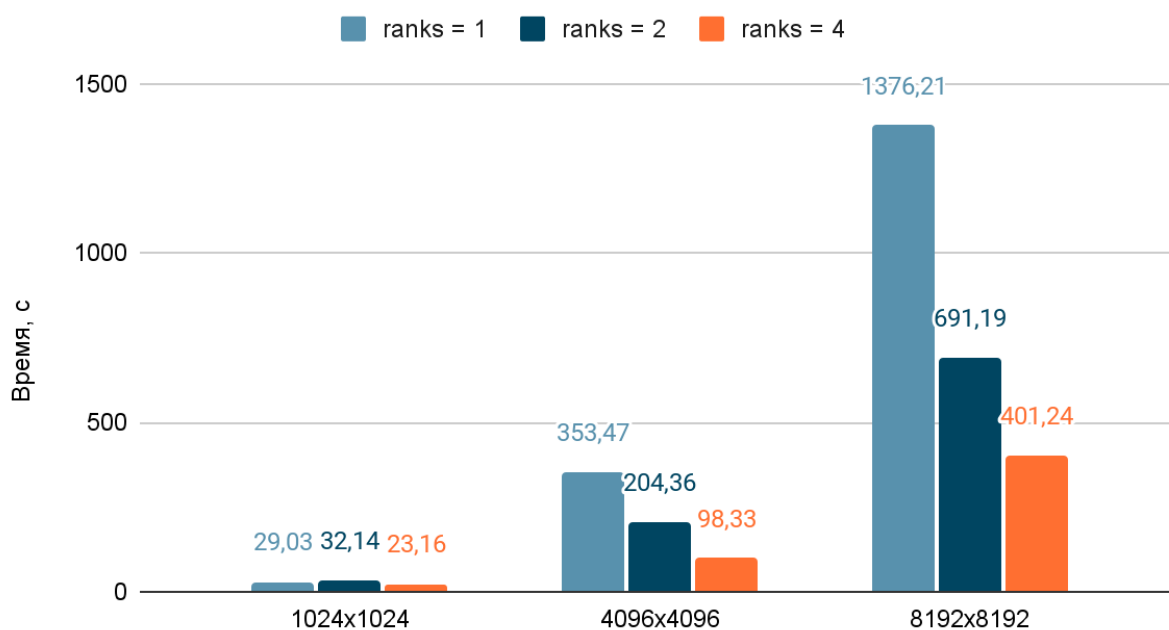


Диаграмма сравнения времени работы на разном количестве GPU (большой размер сеток)

Общее время работы



Вывод

В ходе работы было реализовано решение уравнения теплопроводности на сетках размера 128x128, 256x256, 512x512, 1024x1024, 4096x4096, 8192x8192. Реализация была перенесена на несколько GPU с помощью функций CUDA и MPI. Нахождение максимальной ошибки было реализовано с помощью функций библиотек cub и MPI. Было произведено сравнение скорости выполнения на разном количестве GPU и на разных размерах сеток. Для полученной реализации была выполнена профилировка с помощью NsightSystem.

Использование MPI для распараллеливания программы на несколько GPU позволяет добиться существенного выигрыша времени для больших сеток, например, для сетки размером 8192x8192 на 4х GPU удалось ускорить выполнение программы примерно на 71%, что меньше примерно в 3,5 раза. Однако использование данного метода неэффективно для маленьких сеток, так как выделение памяти и синхронизация займут существенное время выполнения.

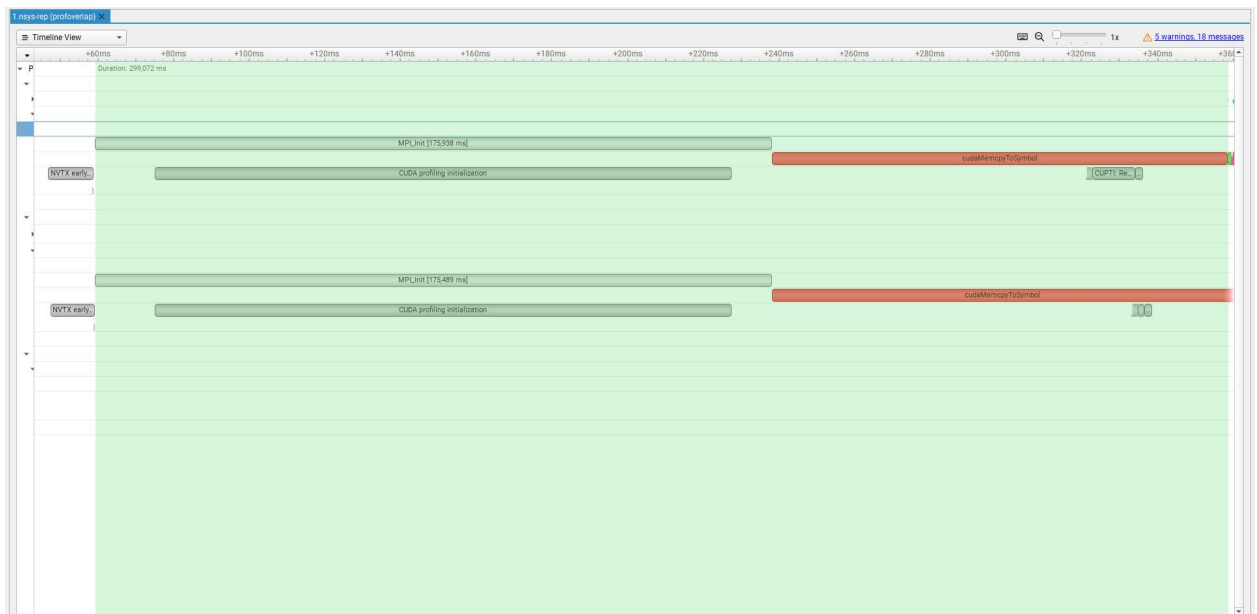
Приложение

https://github.com/HerrPhoton/Parallel_Tasks/tree/main/Lab_5

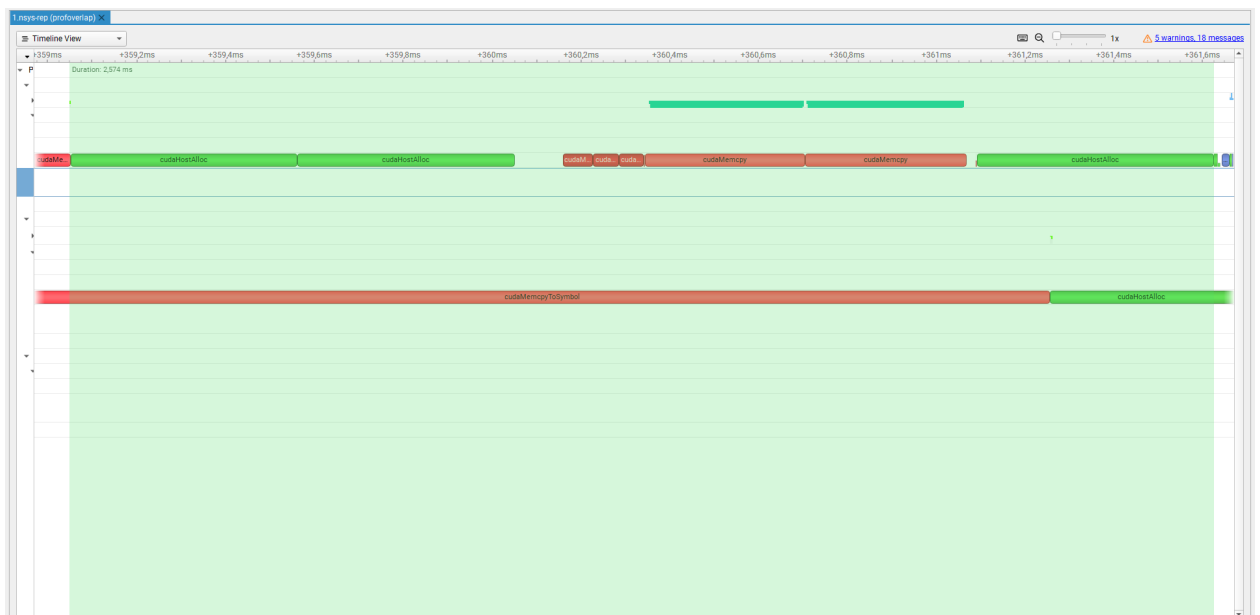
Вывод сетки 15x15 на реализации через MPI

```
● sanya@sanya-desktop:~/Lab5$ mpiexec -n 4 ./out -side 15 -error 0.000001 -iters 1000000 -show
Passed iterations: 539/1000000
Maximum error: 9.52953e-07/1e-06
Total execution time: 754.439 ms
10 10.7143 11.4286 12.1429 12.8571 13.5714 14.2857 15 15.7143 16.4286 17.1429 17.8571 18.5714 19.2857 20
10.7143 11.4286 12.1429 12.8571 13.5714 14.2857 15 15.7143 16.4286 17.1428 17.8571 18.5714 19.2857 20 20.7143
11.4286 12.1429 12.8571 13.5714 14.2857 15 15.7143 16.4286 17.1428 17.8571 18.5714 19.2857 20 20.7143 21.4286
12.1429 12.8571 13.5714 14.2857 15 15.7143 16.4285 17.1428 17.8571 18.5714 19.2857 20 20.7143 21.4286 22.1429
12.8571 13.5714 14.2857 15 15.7143 16.4285 17.1428 17.8571 18.5714 19.2857 20 20.7143 21.4286 22.1429 22.8571
13.5714 14.2857 15 15.7143 16.4285 17.1428 17.8571 18.5714 19.2857 20 20.7143 21.4286 22.1428 22.8571 23.5714
14.2857 15 15.7143 16.4285 17.1428 17.8571 18.5714 19.2857 20 20.7143 21.4285 22.1428 22.8571 23.5714 24.2857
15 15.7143 16.4286 17.1428 17.8571 18.5714 19.2857 20 20.7143 21.4285 22.1428 22.8571 23.5714 24.2857 25
15.7143 16.4286 17.1428 17.8571 18.5714 19.2857 20 20.7143 21.4285 22.1428 22.8571 23.5714 24.2857 25 25.7143
16.4286 17.1428 17.8571 18.5714 19.2857 20 20.7143 21.4285 22.1428 22.8571 23.5714 24.2857 25 25.7143 26.4286
17.1429 17.8571 18.5714 19.2857 20 20.7143 21.4285 22.1428 22.8571 23.5714 24.2857 25 25.7143 26.4286 27.1429
17.8571 18.5714 19.2857 20 20.7143 21.4286 22.1428 22.8571 23.5714 24.2857 25 25.7143 26.4286 27.1429 27.8571
18.5714 19.2857 20 20.7143 21.4286 22.1428 22.8571 23.5714 24.2857 25 25.7143 26.4286 27.1429 27.8571 28.5714
19.2857 20 20.7143 21.4286 22.1429 22.8571 23.5714 24.2857 25 25.7143 26.4286 27.1429 27.8571 28.5714 29.2857
20 20.7143 21.4286 22.1429 22.8571 23.5714 24.2857 25 25.7143 26.4286 27.1429 27.8571 28.5714 29.2857 30
○ sanya@sanya-desktop:~/Lab5$
```

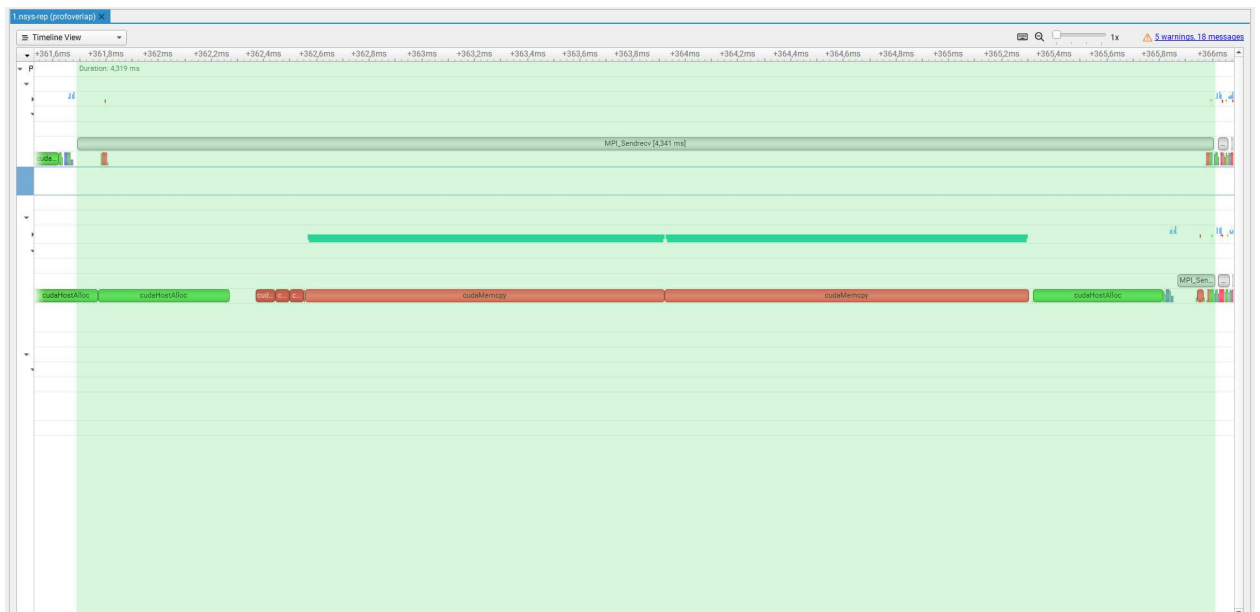
Профилирование реализации через MPI на 2х GPU



Инициализация MPI + выделение памяти



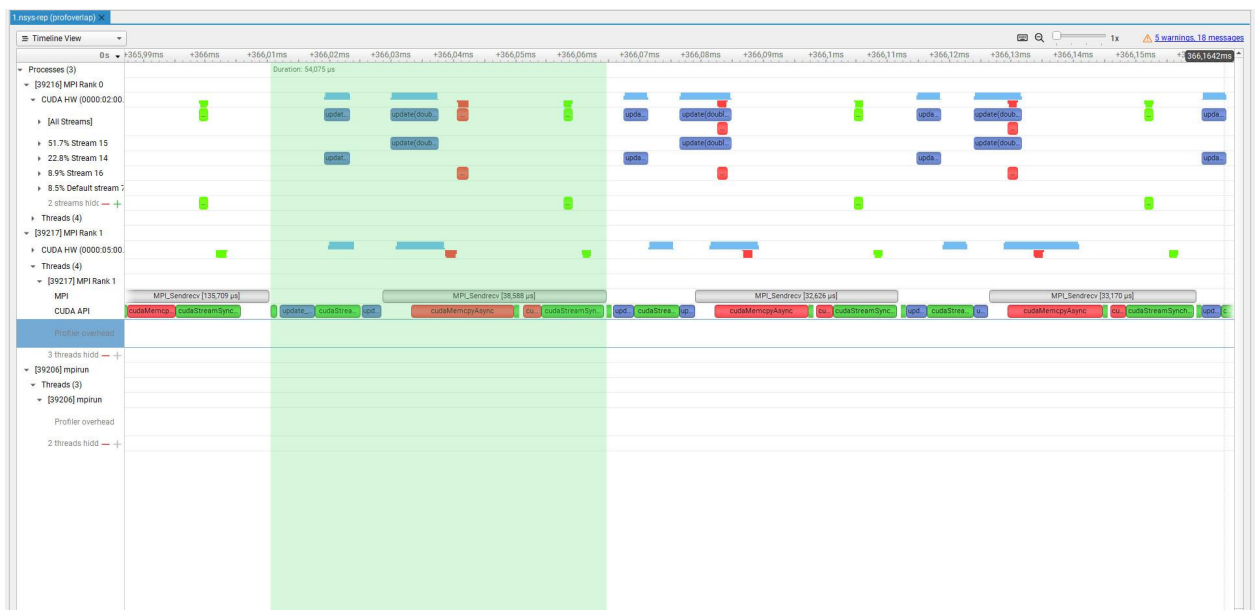
Отправка данных на GPU



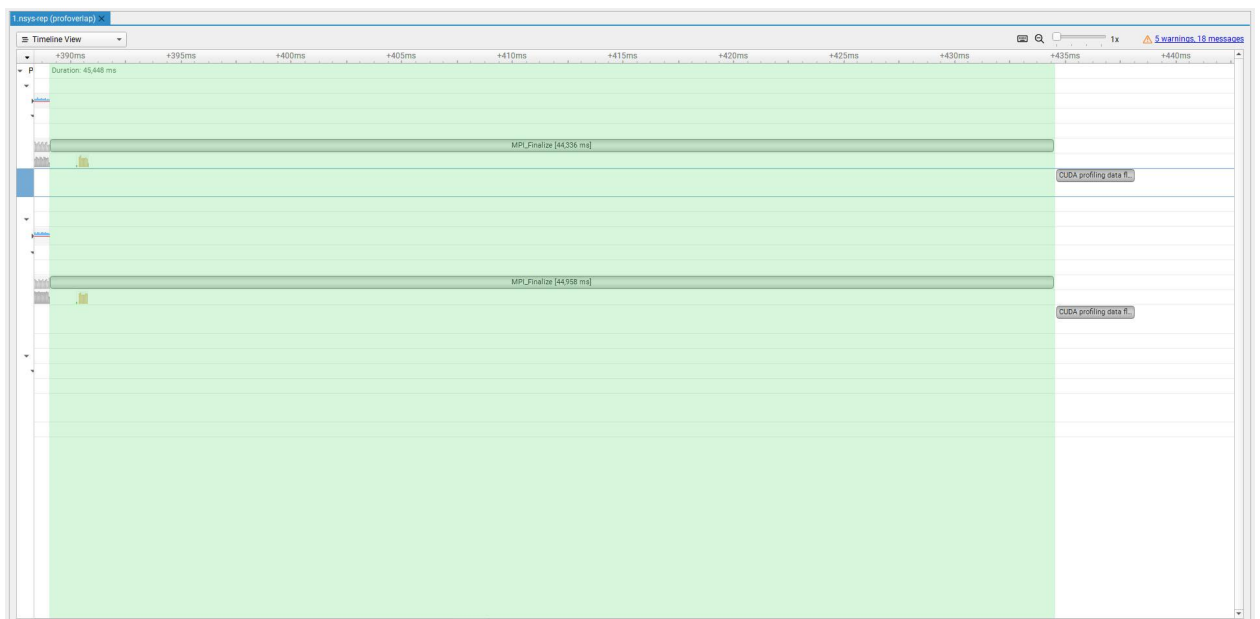
Разделение и отправка частей сеток для разных GPU



Общий вид вычисления сетки



Вид одной итерации вычисления



Очищение памяти MPI