



РФЯЦ
ВНИИЭФ

РОССИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ



Адаптация программы ЭГИДА-ТЕСТ к счету на GPU

Ерофеев А.М., Сизов Е.А.

ПЛАН:

- Особенности ЭГИДА-ТЕСТ и пути адаптации
- Использование нескольких GPU
- Реализация адаптивно-встраиваемой дробной сетки на GPU
- Реализация «типовой схемы» для GPU и использование прямых пересылок данных между GPU
- Результаты тестирования
- Гетерогенный режим загрузки счетного узла

ЭГИДА-ТЕСТ

Особенности:

- 1) Отсутствие «горячих пятен»
- 2) Сложная структура памяти
- 3) Типовая схема + одноточечная реализация процессов,
Etap(..., программа, ...)

Газовая динамика, основные моменты

- 1) Лагранжев этап
 - 1.1) предвычисленные давления
 - 1.2) ускорения сторон
 - 1.3) ускорения и скорости узлов
 - 1.4) уравнения неразрывности и энергии
- 2) Эйлеров этап
 - 2.1) потоки объема
 - 2.2) поток масс, объемные концентрации, плотности
 - 2.3) энергия
 - 2.4) поток импульса
 - 2.5) скорости

$$\frac{d\bar{u}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \text{grad}P;$$

$$\frac{d\rho_i}{dt} = -\rho_i \text{div}\bar{u}_i;$$

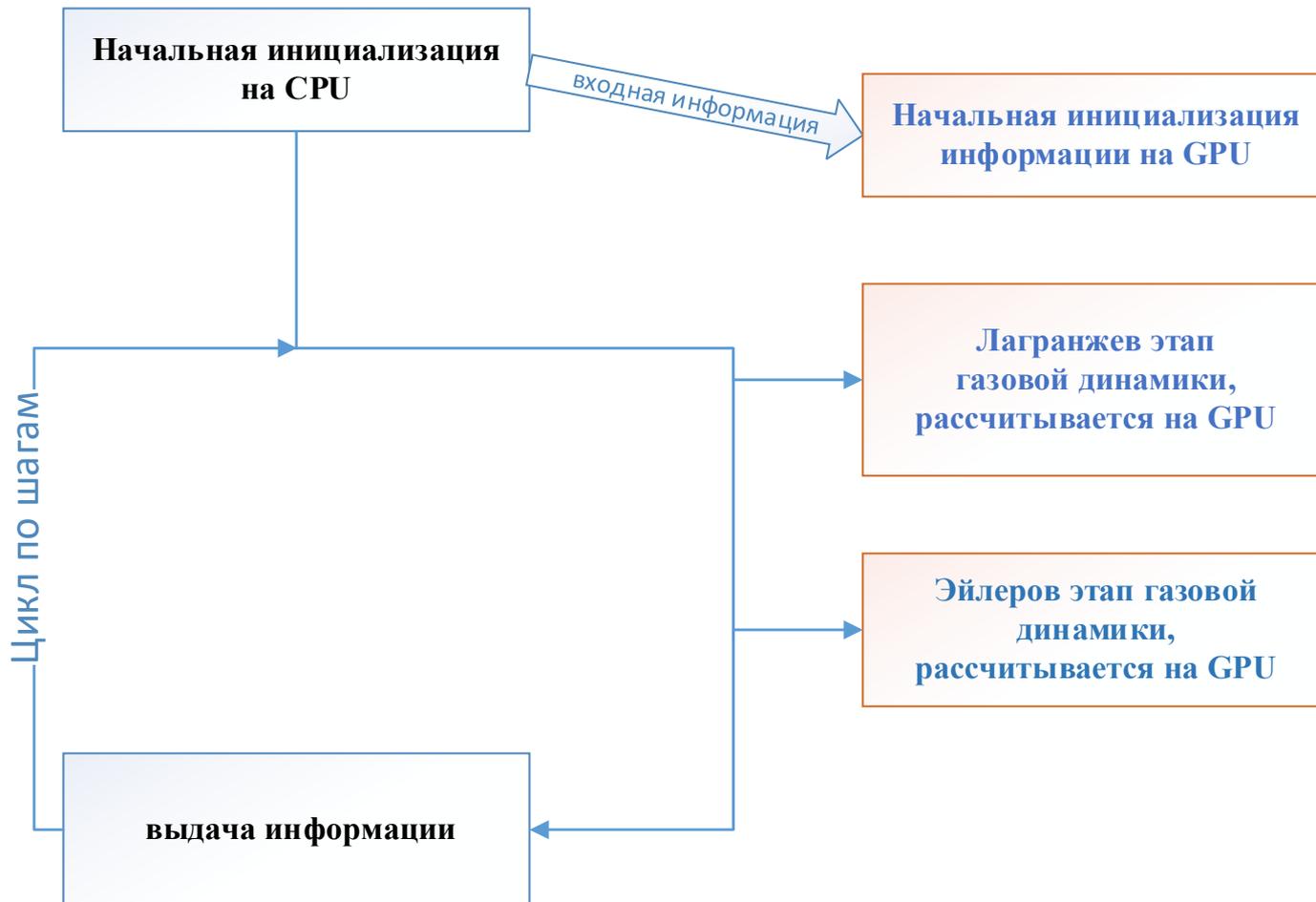
$$\frac{d\beta_i}{dt} = \beta_i (\text{div}\bar{u}_i - \text{div}\bar{u});$$

$$\frac{de_i}{dt} = -\frac{P_i}{\rho_i} \text{div}\bar{u}_i.$$

$$P_i = P_i(\rho_i, e_i).$$

U, r – вектора скорости и расстояния, определены в счётных узлах, остальные величины скалярные и определены в центрах ячеек,
 β – объёмная концентрация,
 i – номер компонента,
 ρ – плотность,
 e – удельная внутренняя энергия,
 P – сумма материального давления и искусственной вязкости.

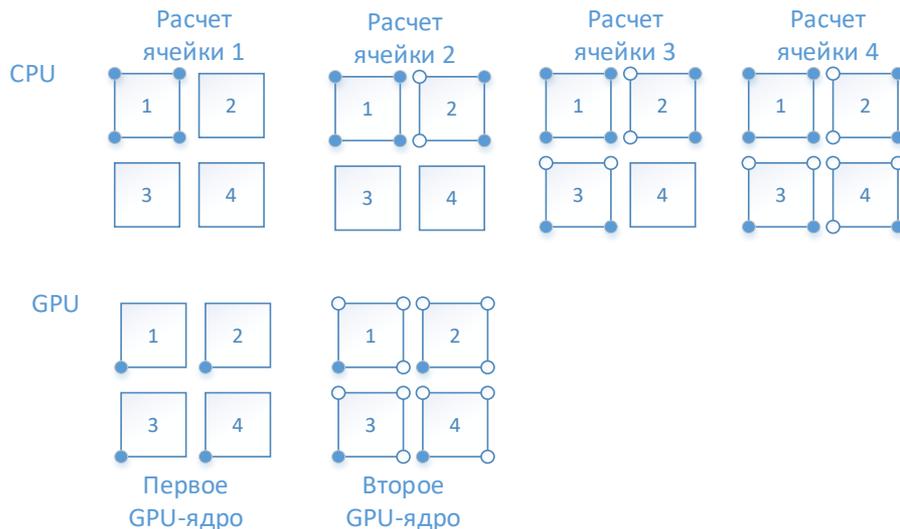
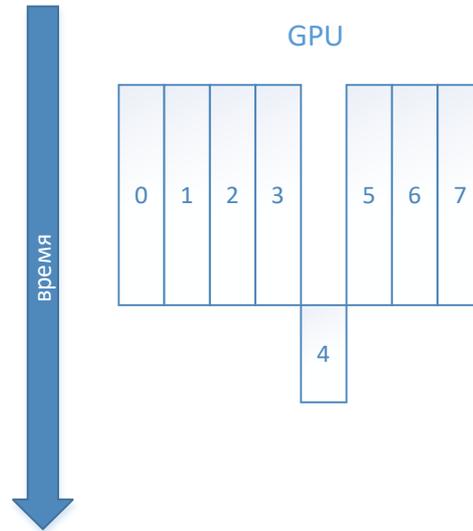
Газовая динамика, схема счета на GPU



Особенности реализации

Дивергентное
ветвление
увеличивает время
исполнения

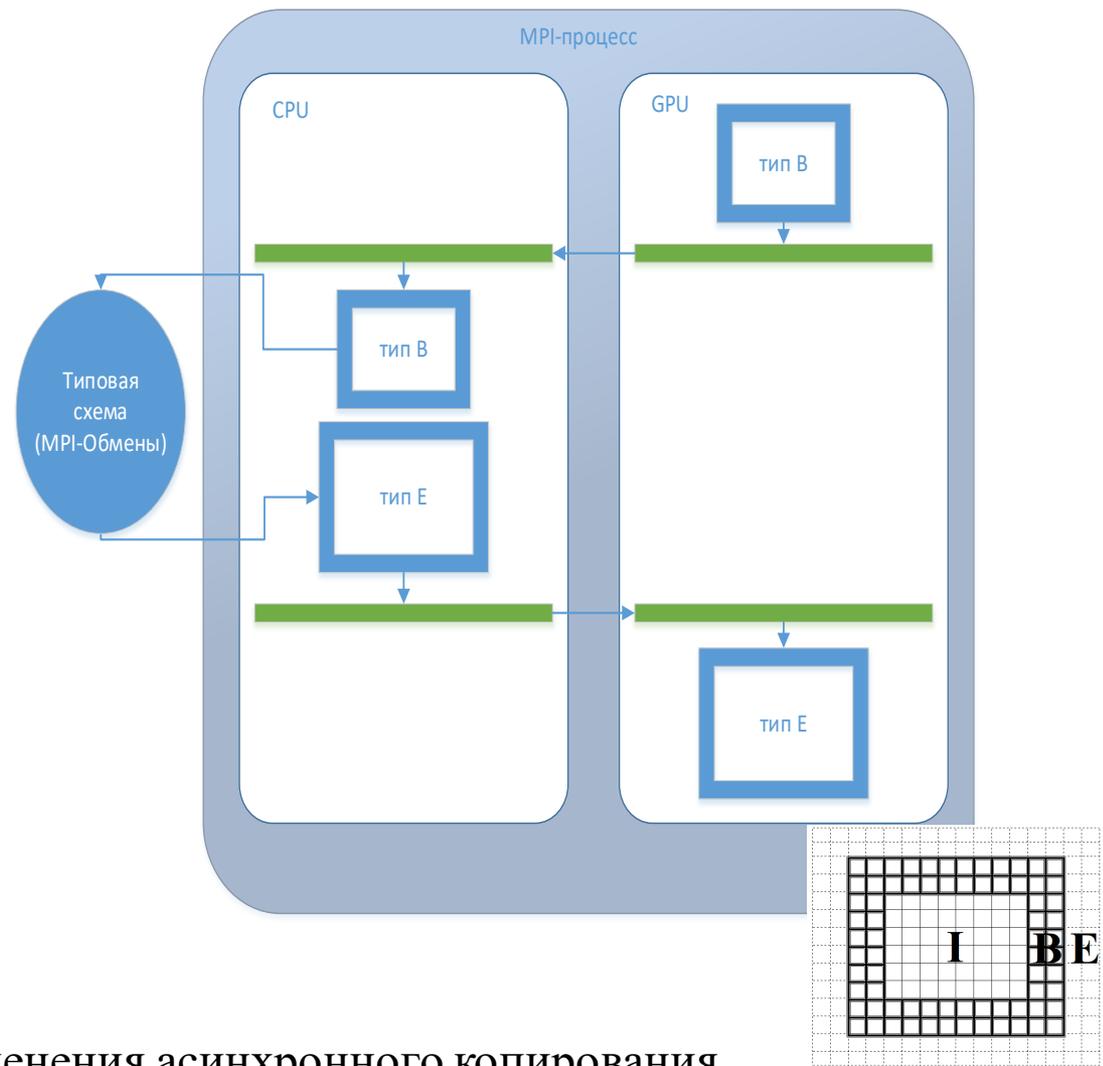
```
If(x!=4)  
{  
  [ ]  
}  
else  
{  
  [ ]  
}
```



Маркировка признаков
счетности, как пример часто
используемого дивергентного
ветвления в ЭГИДА-ТЕСТ

Применение MPI

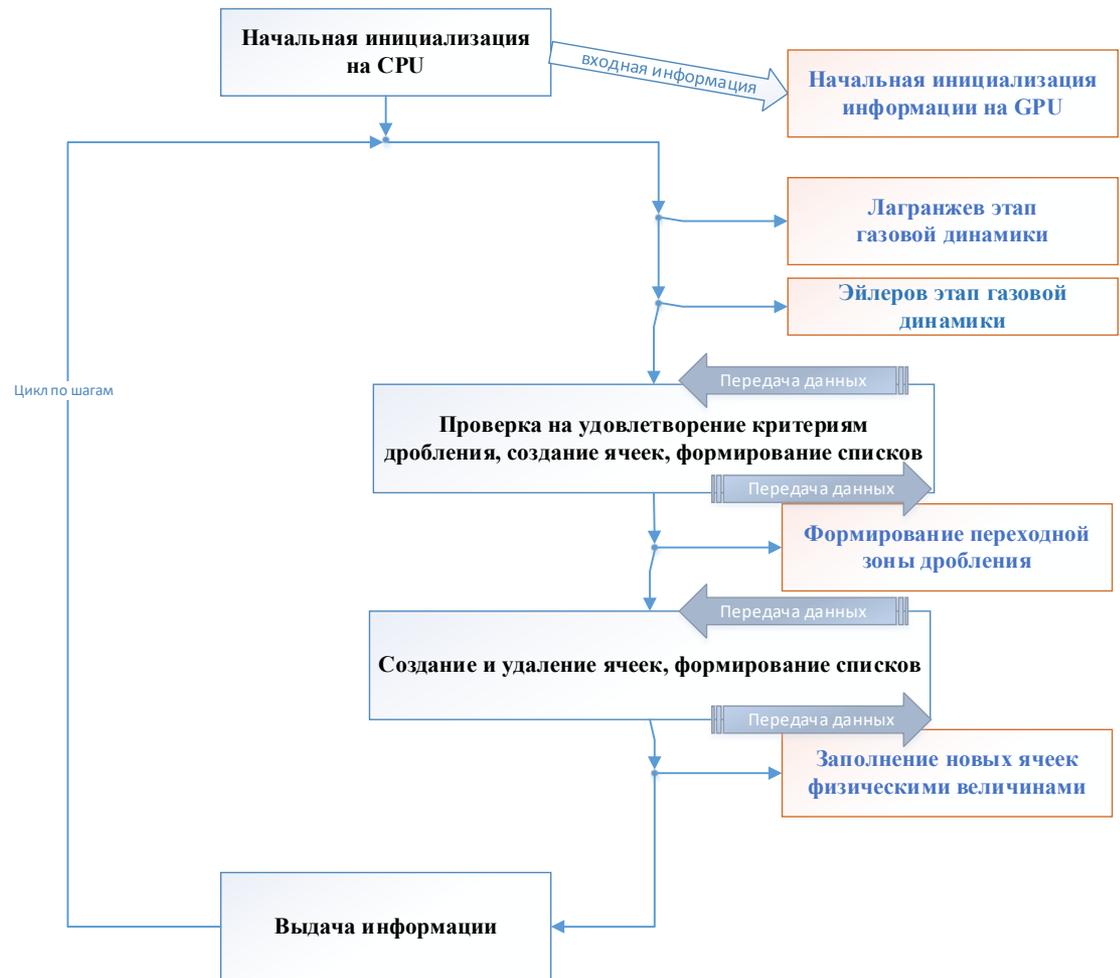
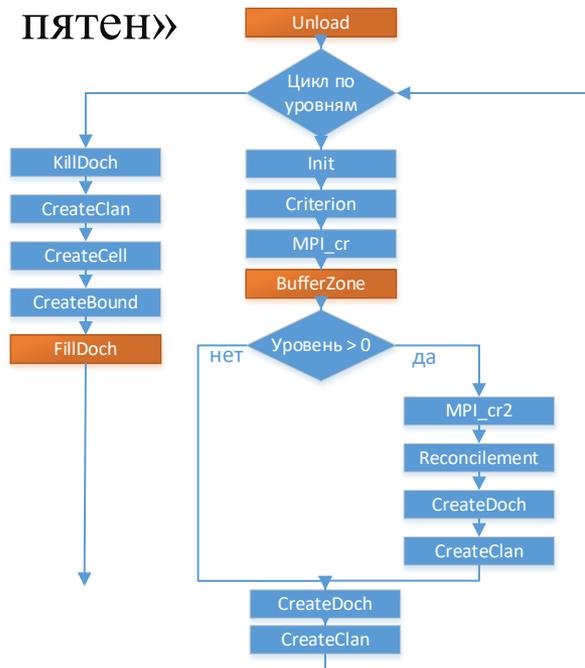
1. Запуск ядра GPU, собирающего информацию из граничных ячеек в промежуточный массив;
2. Передача данных промежуточного массива с GPU на CPU;
3. Работа программы, копирующей данные из промежуточного массива в реальные места хранения этой информации в системе памяти ЭГИДА-ТЕСТ на CPU;
4. Работа типовой схемы по MPI-обмену без вызова расчетных функций;
5. Работа программы, копирующей данные, полученные с других MPI-процессов и находящиеся в системе памяти ЭГИДА-ТЕСТ на CPU в промежуточный массив;
6. Передача данных промежуточного массива с CPU на GPU;
7. Запуск ядра GPU, раскладывающего новые данные из промежуточного массива в граничные точки на GPU.



Появилась возможность применения асинхронного копирования

Реализация адаптивно-встраиваемой дробной сетки на GPU

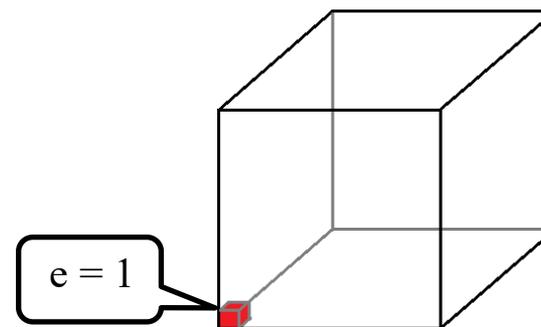
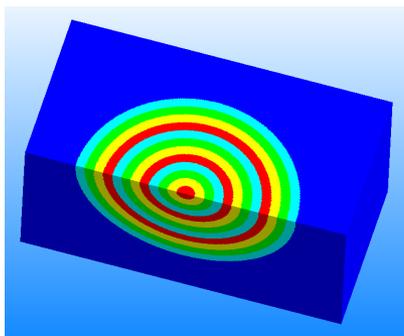
Работа по формированию различных списков плохо адаптируется на GPU. Поэтому, в данном случае, проведен поиск «горячих пятен»



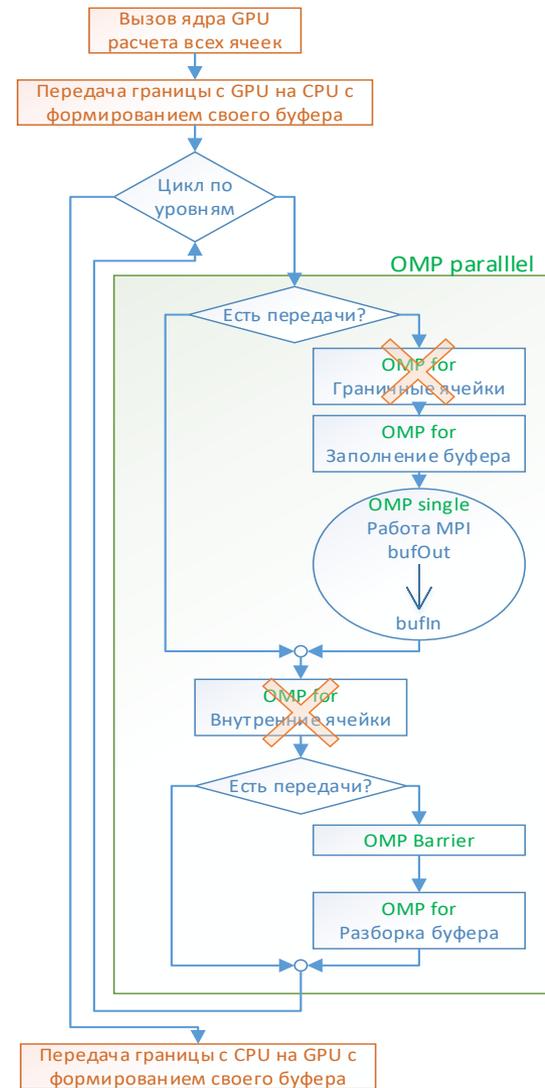
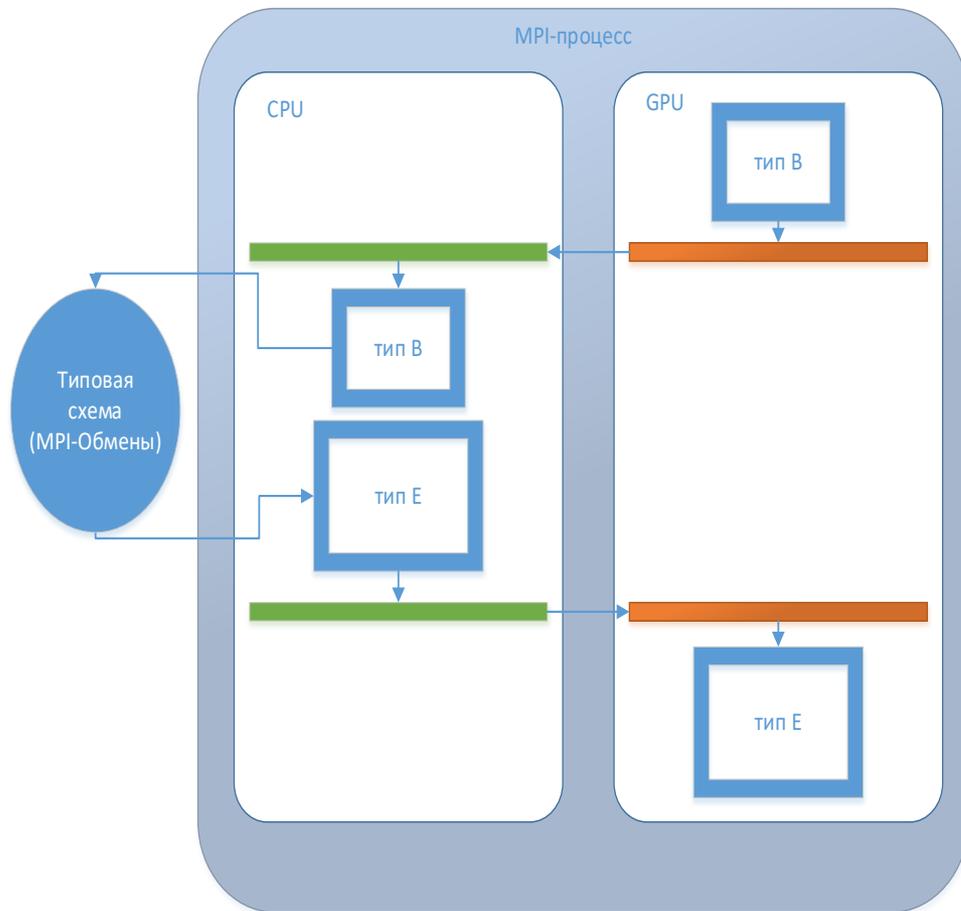
Промежуточный результат тестирования

ТЕСТ 1		2 CPU	1 GPU	2 GPU
		150x100x100		
Gas, мс		160	53	45
Transport, мс		686	277	248
GridDrob, мс		333	194	111
Total, мс		1179	524	404
Size	0 уровень	1 540 000	1 500 000	1 540 000
	1 уровень	111 232	103 664	111 232
Млн ячеек в сек		1,4	3,1	4,1
Ускорение относительно CPU		-	2,2	2,9
Эффективность распараллеливания, %		-	-	66

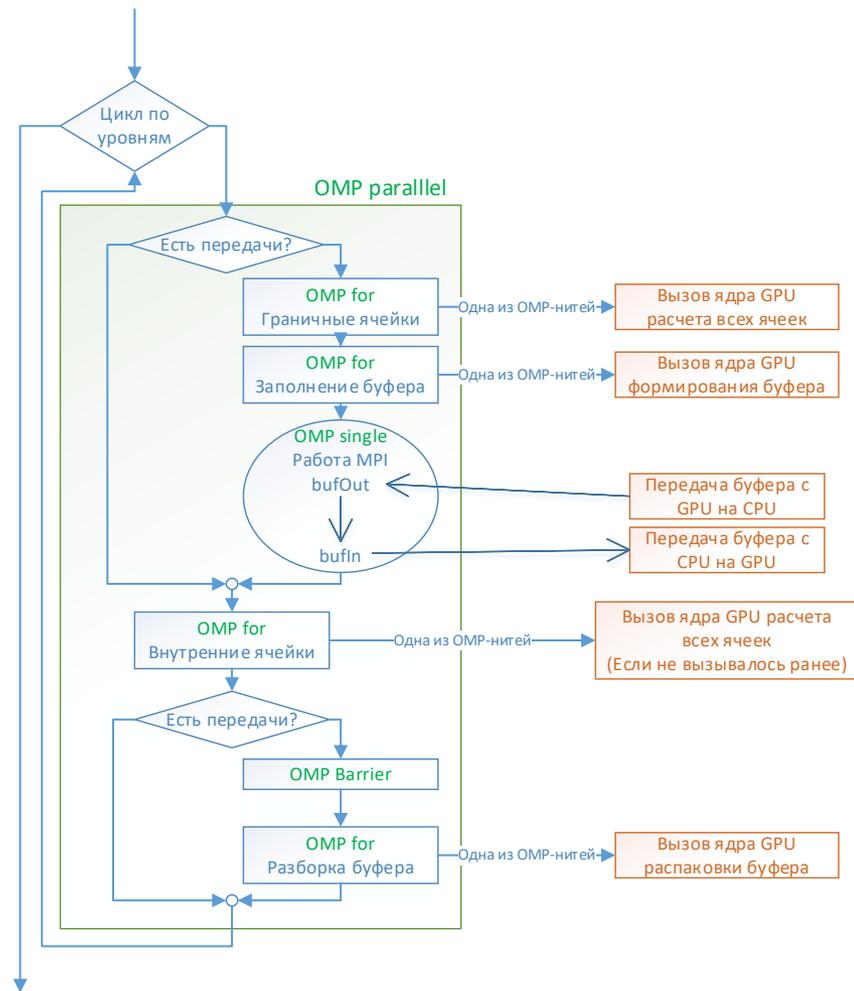
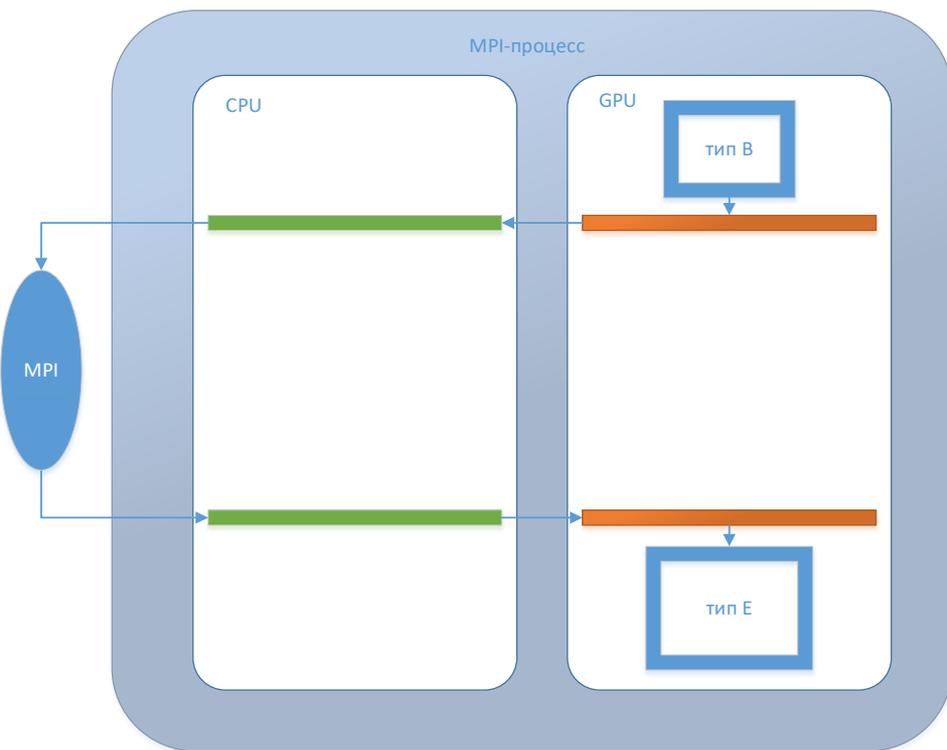
ТЕСТ 2		2 CPU	1 GPU	2 GPU
		150x150x150		
Gas, мс		286	99	78
Transport, мс		689	141	174
GridDrob, мс		761	384	209
Total, мс		1 736	624	461
Size	0 уровень	3 456 000	3 375 000	3 465 000
	1 уровень	2 512	2 512	2 512
Млн ячеек в сек		2	5,4	7,5
Ускорение относительно CPU		-	2,7	3,8
Эффективность распараллеливания, %		-	-	70



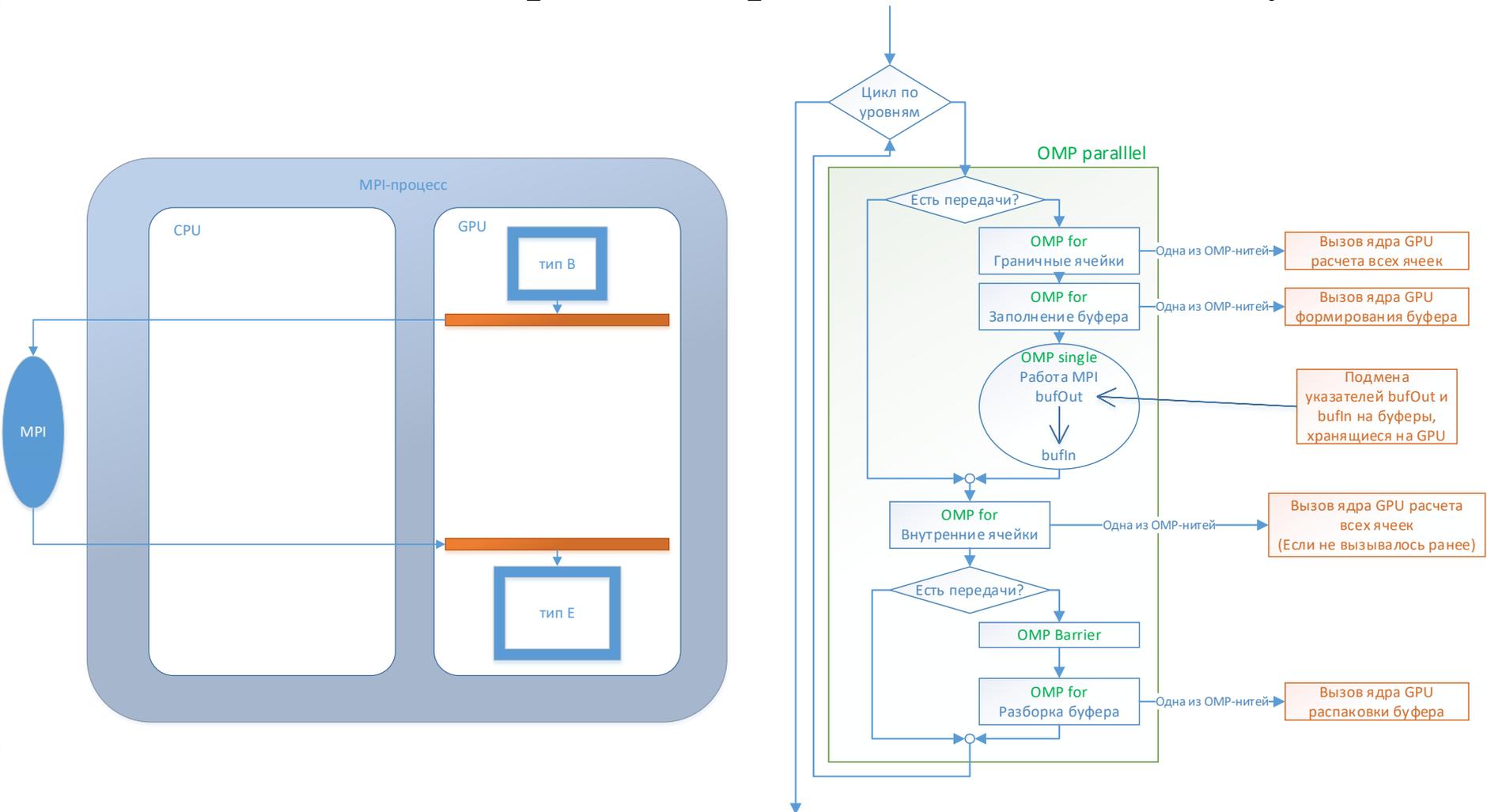
Старое использование «типовой схемы»



Новая единая «типовая схема»



Использование прямых пересылок данных между GPU



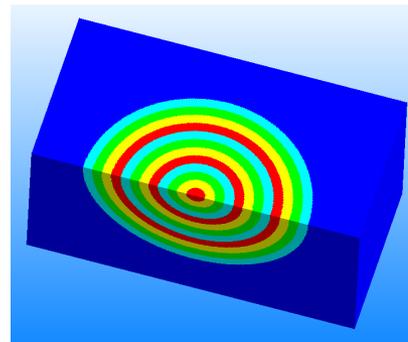
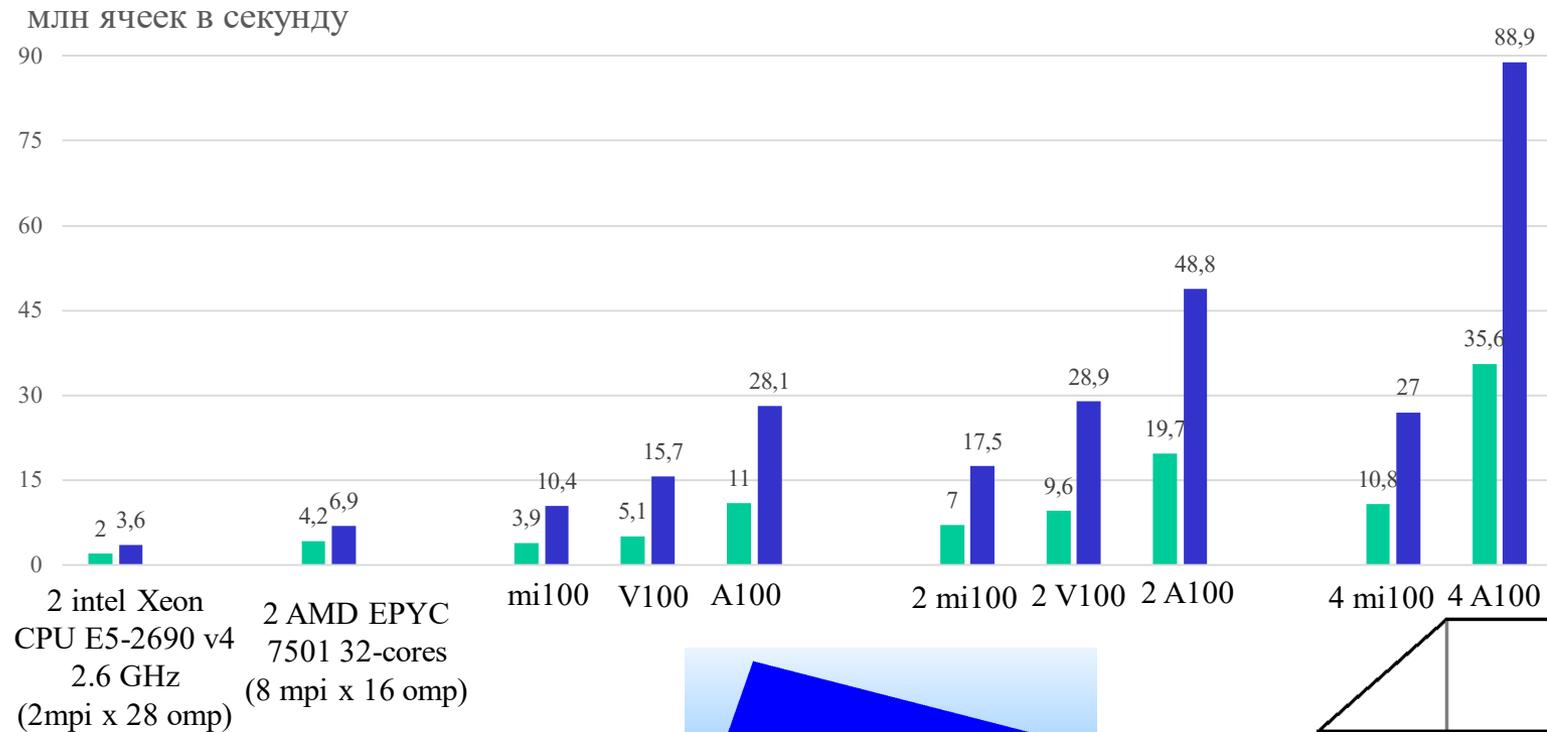
Показатели эффективности при использовании прямых пересылок между GPU

ТЕСТ 1				
Размер задачи		150x100x100		
Количество GPU		1	2	4
Gas, мс		47	31	21
Transport, мс		258	146	101
GridDrob, мс		250	120	67
Total, мс		558	299	190
Size	0 уровень	1 500 000	1 540 000	1 601 600
	1 уровень	47 744	52 112	52 112
млн ячеек в сек		2,8	5,3	8,7
Эффективность, %		-	95	78

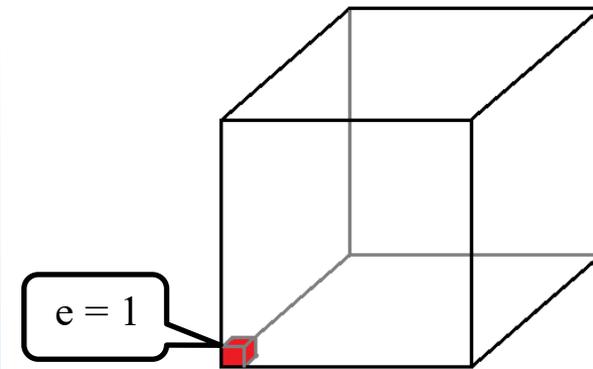
ТЕСТ 2				
Размер задачи		150x150x150		
Количество GPU		1	2	4
Gas, мс		91	60	30
Transport, мс		119	79	45
GridDrob, мс		398	203	123
Total, мс		614	343	199
Size	0 уровень	3 375 000	3 465 000	3 557 400
	1 уровень	2 512	2 512	2 512
млн ячеек в сек		5,5	10,1	17,9
Эффективность, %		-	92	81

Тестирование задач без использования дробности

Метод деления



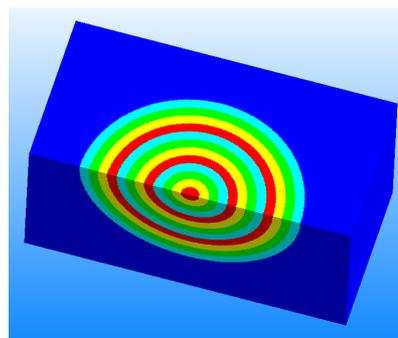
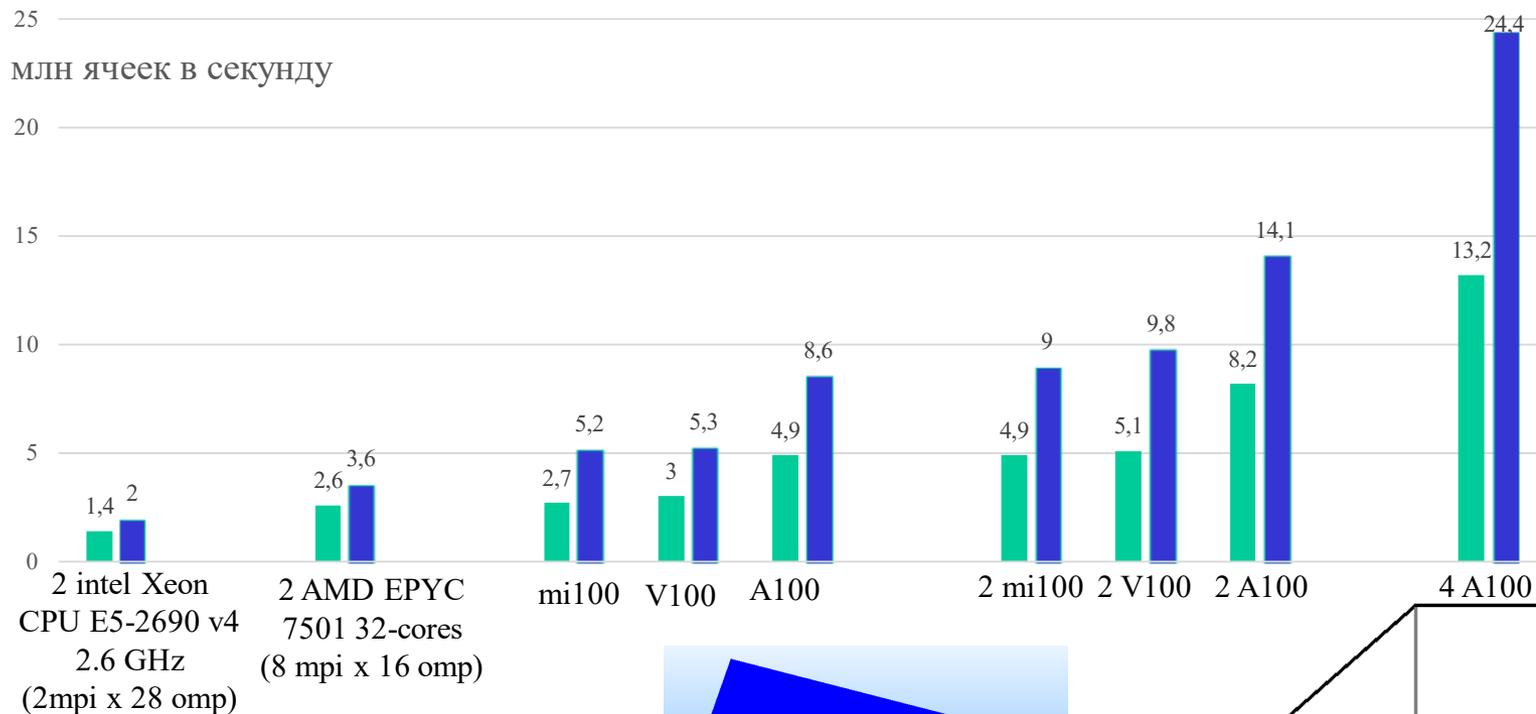
150x100x100



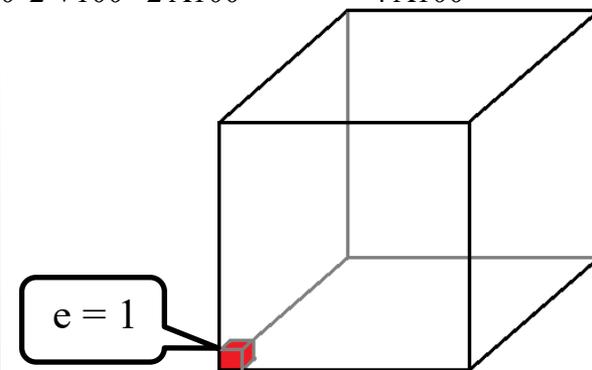
150x150x150

Тестирование задач с использованием дробности

Метод деления



150x100x100

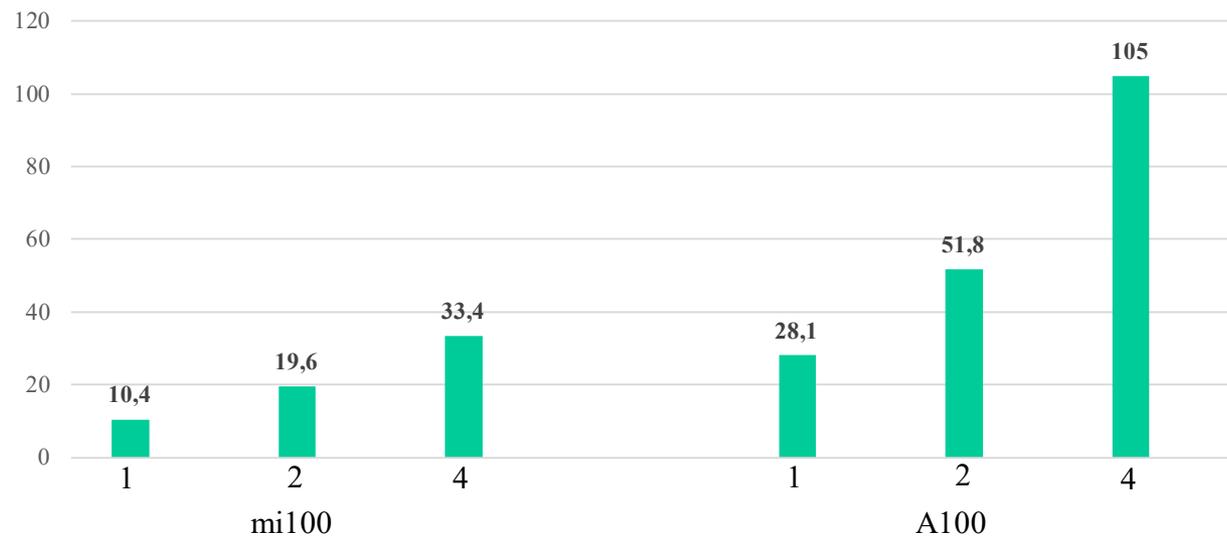


150x150x150

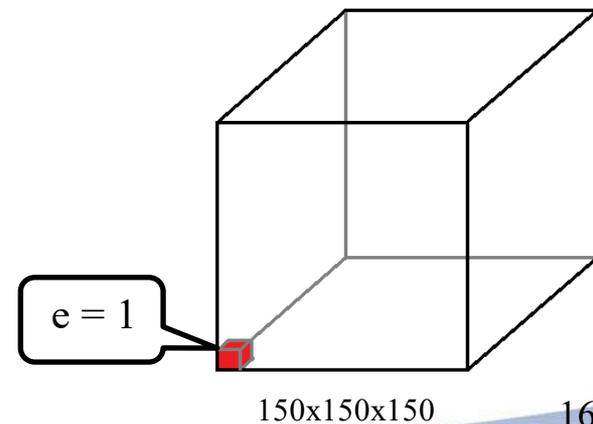
Эффективность без использования дробности

Метод умножения

млн ячеек в секунду



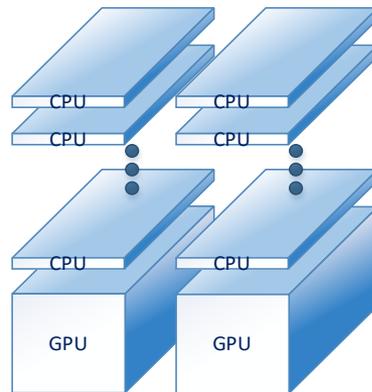
	количество GPU	1	2	4
mi100	млн ячеек в сек	10.4	19.6	33.4
	эффективность, %		94	80
A100	млн ячеек в сек	28.1	51.8	105
	эффективность, %		92	93



Гетерогенный режим загрузки узла

- Раскраска процессов (с/без ГПУ)
- Статическая балансировка по одному пространственному направлению
- OMP на процессах без ГПУ

⇒ (MPIxOMP)+(MPIxCUDA)



2 ГПУ – **906** мс на момент тестирования
Размер теста – 226 x 160 x 160

2 CPU + 2 GPU	Время при использовании N слоев ячеек на ЦПУ, мс					
MPI x OMP	N = 4	N = 6	N = 8	N = 10	N = 12	N = 14
4 x 2	1058	998	1029	1059	1162	-
4 x 3	1036	973	954	957	1036	-
4 x 4	1018	962	948	935	996	-
4 x 5	1019	959	942	934	992	-
4 x 6	1022	957	940	933	989	-
4 x 8	1022	966	937	935	990	-
4 x 9	1018	954	941	931	987	-
4 x 10	1006	978	969	916	972	-
4 x 11	1057	1003	918	913	1018	-
4 x 12	1053	955	962	971	994	-
4 x 13	991	937	948	972	1014	-
4 x 14	1048	989	981	970	1016	-
4 x 24	1498	1556	1401	1135	1757	-
4 x 26	2008	1850	1750	1757	1978	-
6 x 2	991	1040	1011	1089	1108	1207
6 x 4	953	999	926	966	904	952
6 x 5	960	996	926	969	897	961
6 x 6	951	996	993	961	961	945
6 x 7	943	995	924	963	889	982
6 x 8	1013	1045	981	1016	942	980
8 x 2	1041	962	993	1026	1122	-
8 x 3	1020	932	920	909	966	-
8 x 4	1012	932	920	896	947	-
8 x 5	1007	932	907	883	917	-
8 x 6	1059	992	961	939	960	-
16 x 2	1074	1163	1344	1456	-	-
16 x 3	1213	1242	1477	1640	-	-
16 x 4	1592	1562	1848	2000	-	-

СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ!