

Санкт-Петербургский государственный университет
Факультет прикладной математики – процессов управления

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
СОБСТВЕННОГО ЗАРЯДА В СИСТЕМАХ
ТРАНСПОРТИРОВКИ С ПОМОЩЬЮ ГРАФИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОРОВ**

Диссертация на соискание академической степени магистра
информационных технологий

ВЫПОЛНИЛ: ГУСМАНОВ РУСЛАН РАМИЛЕВИЧ

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ: АНДРИАНОВ СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ

Санкт-Петербург
2012

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время все большую востребованность приобретают системы компьютерного моделирования динамики пучков заряженных частиц.

Влияющие факторы:

- расширение области применимости;**
- повышение требований к современным ускорительным установкам, вызванное более жесткими требованиями в фундаментальных областях, где они применяются;**
- повышение стоимости установок.**

АКТУАЛЬНОСТЬ

Потребность использования ускорителей частиц постоянно растет (начиная с сельского хозяйства, и заканчивая медициной).

Увеличивается интенсивность пучков частиц, что требует учета влияния собственного заряда пучка.

Необходимо применение эффективных методик проектирования и современных компьютерных технологий для получения наиболее оптимального результата.



ЦЕЛИ

Целью данной работы является проведение компьютерного моделирования эволюции пучков частиц с учетом собственного заряда на графических процессорах.

Эта цель требует формализации алгоритма численного расчета длительной эволюции.

Как следствие, должно быть написано программное обеспечение, учитывающее особенности вычислений на графических устройствах.



ЗАДАЧИ

Рассмотреть физические и аппроксимирующие модели эволюции пучков частиц с собственным зарядом.

На основе выбранной аппроксимирующей модели построить компьютерную модель, учитывающую специфику вычисления на графических процессорах:

- провести исследование технологий распараллеливания и проведения расчетов на графических устройствах;**
- реализовать программное обеспечение на основе оптимальной технологии;**
- провести вычислительный эксперимент на кластере.**

УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ

Уравнение Ньютона-Лоренца:

$$v = \frac{dR}{dt}, \frac{d(mv)}{dt} = q(E + [v \times B]).$$

Решение в случае прямолинейной опорной кривой на плоскости:

$$x'' = \frac{1}{c\beta\gamma} (1 + x'^2 + y'^2)^{\frac{1}{2}} (x'y'B_x - (1 + x'^2)B_y + y'B_s),$$
$$y'' = \frac{1}{c\beta\gamma} (1 + x'^2 + y'^2)^{\frac{1}{2}} (-x'y'B_y - (1 + y'^2)B_x - x'B_s).$$

УПРАВЛЯЮЩИЕ ПОЛЯ

Уравнения Максвелла для внешних и собственных полей:

$$\mathbf{div}E_{ext} = 0, \mathbf{div}B_{ext} = 0, \mathbf{rot}E_{ext} = -\frac{1}{c} \frac{\partial B_{ext}}{\partial t}, \mathbf{rot}B_{ext} = \frac{1}{c} \frac{\partial E_{ext}}{\partial t},$$

$$D_{ext} = E_{ext}, B_{ext} = H_{ext},$$

$$\mathbf{div}E_{self} = 4\pi\rho, \mathbf{div}B_{self} = 0,$$

$$\mathbf{rot}E_{self} = -\frac{1}{c} \frac{\partial B_{self}}{\partial t}, \mathbf{rot}B_{self} = \frac{1}{c} \left(\frac{\partial E_{self}}{\partial t} + 4\pi J \right).$$

МАТРИЧНАЯ ФОРМА

Функция правой части дифференциального уравнения:

$$F(X, t) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\partial^k F(0, t)}{\partial X^k} \frac{X^k}{(k)!}$$

Решение в матричном виде:

$$X(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \mathbb{R}^{1k}(t|t_0) X_0^{[k]}.$$

ВЛИЯНИЕ СОБСТВЕННОГО ЗАРЯДА

Разложение правых частей дифференциальных уравнений движения:

$$\frac{dX}{dt} = F^{ext}(B^{ext}(X, t), E^{ext}(X, t), X, t) + F^{self}(B^{self}(X, t), E^{self}(X, t), X, t).$$

ПОСТРОЕНИЕ ОГИБАЮЩИХ ПУЧКА

Аппроксимирующий вид (эллипсоид):

$$X^*AX = 1.$$

Формула вспомогательных вычислений:

$$\mathfrak{G}_0^{ik} = \sum_{l=i}^{\infty} \sum_{j=k}^{\infty} M_0^{il} \mathfrak{G}_0^{lj} (M_0^{jk})^*$$

ТЕХНОЛОГИИ РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ

Message Passing Interface (MPI) – интерфейс взаимодействия параллельных процессов.

Open Multi-Processing (OpenMP) – интерфейс прикладного программирования для создания многопоточных приложений.

Compute Unified Device Architecture (CUDA) – технология вычислений на графических устройствах (аппаратная и программная реализация).

Open Computing Language (OpenCL) – интерфейс для запуска вычислений на графических устройствах.



ВЫЧИСЛЕНИЯ НА CUDA

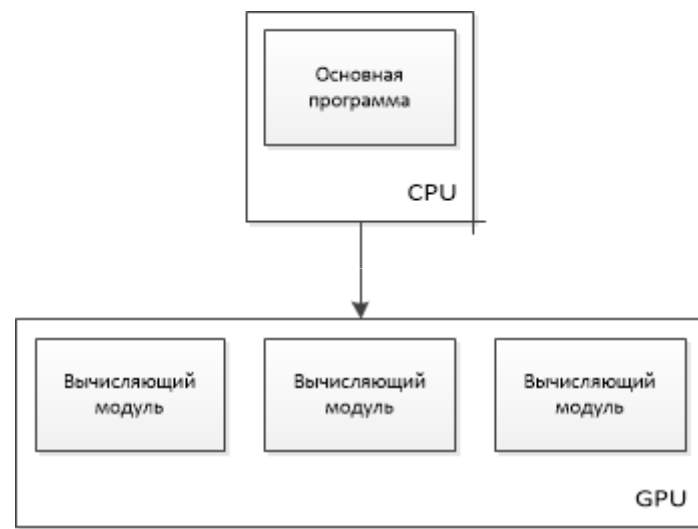
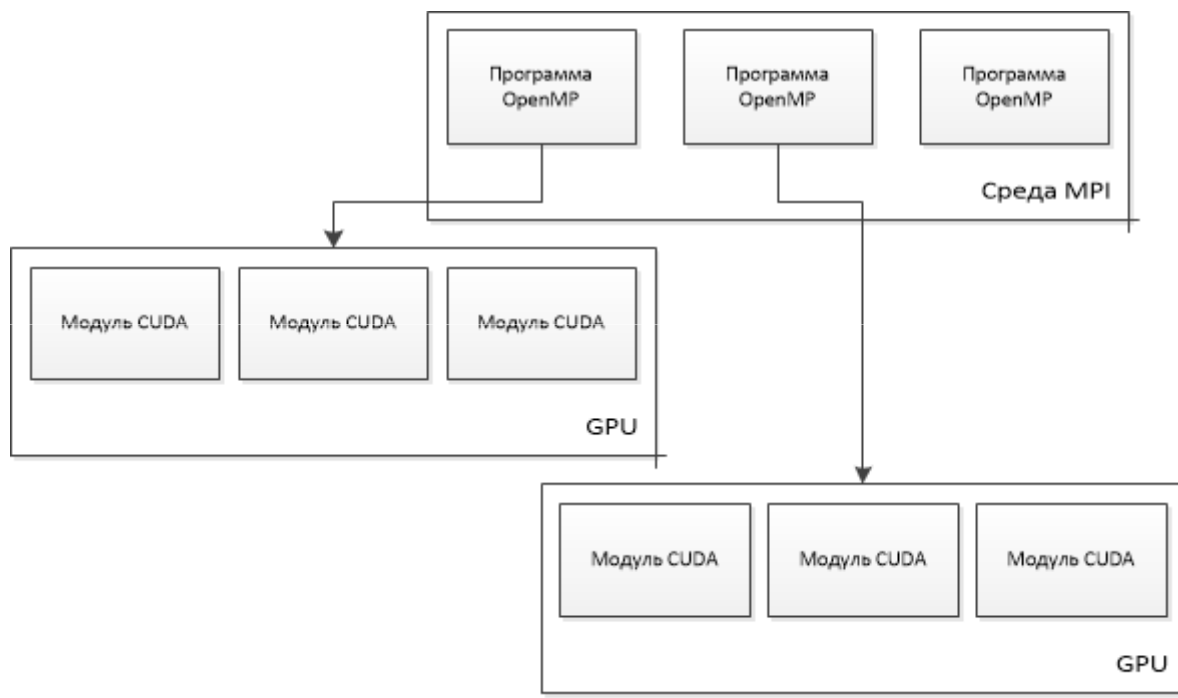
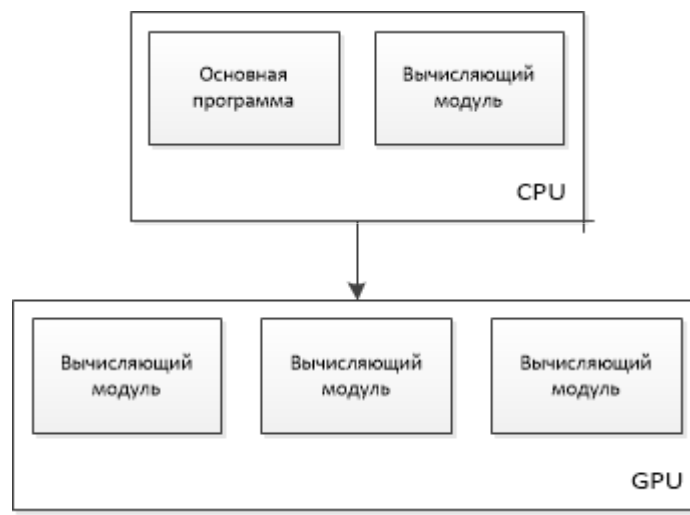


СХЕМА КЛАСТЕРНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ



ПРЕИМУЩЕСТВА OPENCL



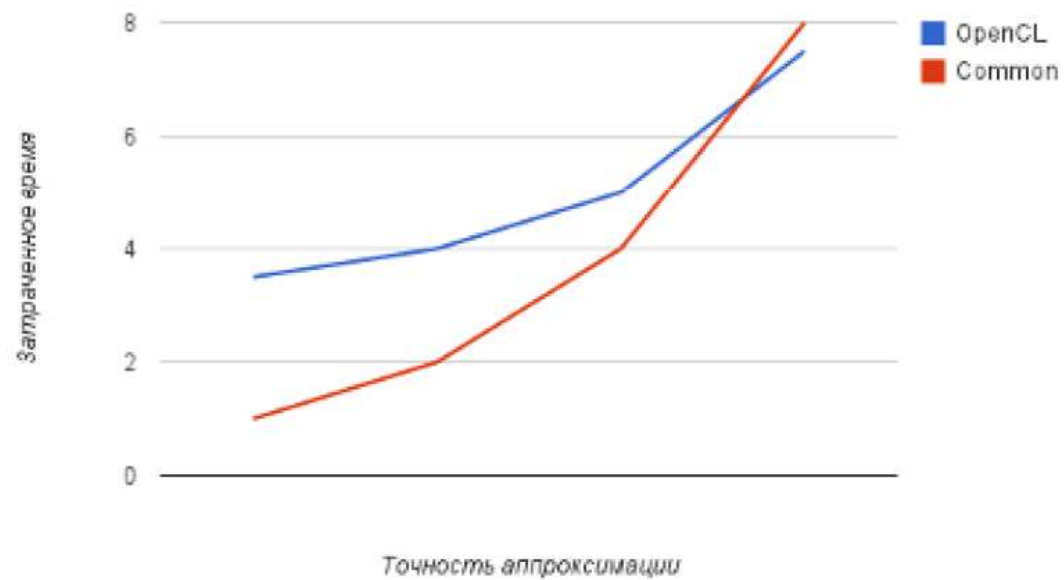
ФОРМАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА



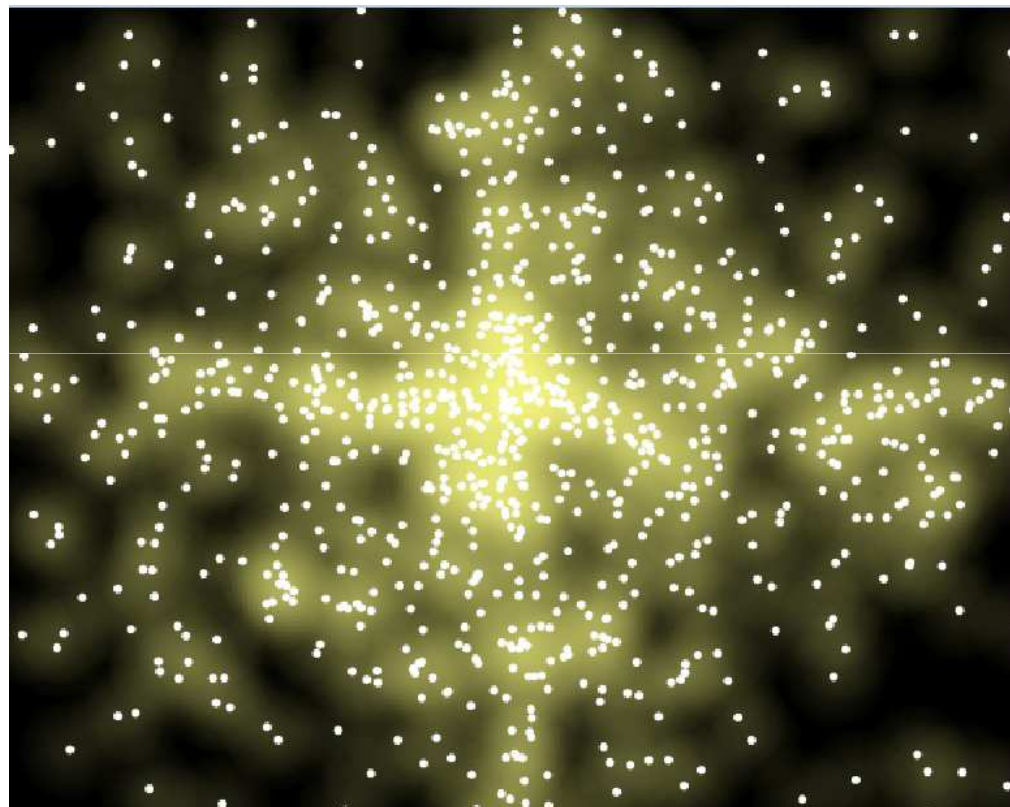
ЗАПУСК ЗАДАЧИ В КЛАСТЕРЕ

```
rgusmanov@v570:~  
login as: rgusmanov  
rgusmanov@v570.apmath.cc.spbu.ru's password:  
Last login: Fri Jun 29 00:29:31 2012 from 195.19.253.141  
[rgusmanov@v570 ~]$ source HPPBS.env  
[rgusmanov@v570 ~]$ qsub -q gpu3 scharge/scharge.sh  
4027.mgmt  
[rgusmanov@v570 ~]$ qstat -n  
mgmt:  
-----  
Job ID      Username Queue   Jobname      SessID NDS TSK Req'd Req'd Elap  
          Memory Time  S Time  
-----  
3993.mgmt   akarpenk gpu3     Tube3DPovo   16146  1  1  --   --  R 299:0  
  tesla09/0  
4021.mgmt   akorolev gpu3     run_8.sh     9230  1 12  --   --  R 31:49  
  tesla12/0*12  
4026.mgmt   rgusmano gpu3     scharge.sh   8257  1  1  --   --  R 00:02  
  tesla09/1  
4027.mgmt   rgusmano gpu3     scharge.sh  10628  1  1  --   --  R 00:00  
  tesla09/2  
[rgusmanov@v570 ~]$ █
```


ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ



ПРИМЕР ВИЗУАЛИЗАЦИИ



ВЫВОДЫ

Использованная технология распараллеливания позволяет упростить процесс моделирования особенно для кластеров графических устройств.

Построенная компьютерная модель позволяет производить расчеты одновременно и на графических, и на центральных процессорах.

Инструментарий моделирования отвечает принципу сквозной адекватности.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

