

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СУПЕРЭВМ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВУХПОТОКОВОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ



А. В. Смирнов, студент
E-mail: aleksandr.smirnov@digital-klgtu.ru
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

И. А. Шикота, студент
E-mail: ilya.shickota@yandex.ru
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»



В. Д. Штерцер, студент
E-mail: vadsterz2.0@gmail.com
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

А. В. Снытников, д-р техн. наук
E-mail: aleksej.snytnikov@klgtu.ru
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

На данный момент существует множество методов тестирования СуперЭВМ, однако абсолютное большинство измеряют только пиковую производительность на основе модифицированного метода решения системы линейных уравнений [1], не учитывая влияние системы ввода-вывода на производительность. Целью нашей работы является доказательство эффективности применения методов вычислительной физики для оценки производительности СуперЭВМ при помощи создания метода тестирования на основе моделирования двухпоточковой неустойчивости физики плазмы.

Ключевые слова: *тестирование, СуперЭВМ, физика плазмы, метод частиц в ячейках.*

ВВЕДЕНИЕ

Со стремительным развитием СуперЭВМ возникает задача точного оценивания вычислительной производительности СуперЭВМ, однако самый популярный метод не отражает реальную производительность, так как основан на методе, который не принимает во внимание производительность системы ввода-вывода и измеряет **только пиковую** производительность СуперЭВМ [1]. Следовательно, существует необходимость создания более точного метода оценивания производительности, включающего в себя несколько различных вычислительных методов.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом данного исследования является *эффективность применения методов вычислительной физики в тестировании производительности СуперЭВМ.*

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данного исследования является создание симуляции двухпоточковой неустойчивости плазмы для доказательства эффективности применения методов вычислительной физики для оценки производительности СуперЭВМ.

Чтобы достичь цель, были поставлены следующие задачи:

- реализовать симуляцию двухпоточковой неустойчивости плазмы для проведения тестирования СуперЭВМ;
- измерить производительность СуперЭВМ с помощью HPLinpack для последующего сравнения;
- сравнить показатели производительности, полученные на основе этих методов.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проведения исследования было решено использовать метод частиц в ячейках [2] – один из самых распространенных методов моделирования заряженных частиц. С использованием данного метода мы моделируем двухпоточковую неустойчивость плазмы [3].

Метод частиц в ячейках был выбран по следующим причинам:

1. Данный метод включает использование в качестве инструментов несколько существенно различающихся вычислительных методов. Таким образом, исходя из тестирования на методе частиц в ячейках, можно достоверно прогнозировать производительность данной ВС на многих других задачах [4].

2. Другим достоинством метода частиц в ячейках как теста является трудность его эффективной реализации на высокопроизводительных ВС, в частности нерегулярный доступ к памяти, недетерминированный объем и частота межпроцессорных пересылок и очень большой объем выданных – проблемы, с которыми не всегда и не в полном объеме удается справиться на уровне прикладного ПО (программного обеспечения) [4].

Моделирование состоит из двух пучков, бесконечно больших в направлениях, проходящих друг через друга. В стандартной установке отношение заряда к массе пучков одинаково. Величины скоростей также равны, но скорости имеют противоположное направление. Эта система неустойчива, и любое малое возмущение растет до тех пор, пока поток не разрушится. Некоторые частицы попадают в вихри в фазовом пространстве «положение – скорость». Другие частицы, напротив, ускоряются примерно в три раза до своей начальной скорости. Моделирование плазмы осложняется наличием внешних и самоиндуцированных электромагнитных полей, межчастичных взаимодействий, присутствием твердых объектов и различными характерными временными масштабами, на которых распространяются ионы и электроны. Чтобы ускорить расчеты, мы предполагаем, что ток, генерируемый плазменной средой, достаточно мал, чтобы самоиндуцированным магнитным полем можно было пренебречь. Кроме того, мы предполагаем, что электроны следуют соотношению Больцмана. Тогда моделирование состоит только из тяжелых частиц, ионов и нейтральных частиц. Это упрощение оказывает огромное влияние на скорость вычислений, поскольку интегрирование по времени может быть выполнено на гораздо более крупном временном масштабе ионов. Наконец, мы предполагаем, что плотность газа достаточно мала, так что столкновениями частиц можно пренебречь.

Краткое описание создания симуляции в нашем коде [2]:

1. Задаем позиции и скорость электронов на основе распределения Максвелла.
2. Вычисляем плотность заряда частиц, распределяя заряд всех частиц по узлам вычислительных ячеек, а затем делим на соответствующий объем узла.
3. Вычисляем электрический потенциал частиц, при помощи быстрого преобразования Фурье для решения уравнения Пуассона в периодическом пространстве.
4. Вычисляем электрическое поле путем дифференцирования электрического потенциала.
5. Интегрируем движение частиц с шагом Δt при помощи метода Leap-Frog. Все вычисления происходят в цикле.

Благодаря наличию нескольких постоянно используемых ресурсоемких методов, а именно: быстрого преобразования Фурье для решения уравнения Пуассона в периодическом пространстве, метода Рунге – Кутты, данная симуляция обеспечивает более точное измерение производительности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для сравнения двух разных методов производительности СуперЭВМ необходимо привести результаты к одной системе измерений. Так как HPLinrak выводит результаты во FLOPS (количество операций с плавающей запятой в секунду), было решено привести результаты созданной нами симуляции к этому виду. Для этого использовалась следующая формула:

$$N_{FLOPS} = \frac{F_p * N_p * P_{core}}{\Delta t},$$

где: F_p – количество операций на одну частицу; N_p – количество частиц на одно ядро; P_{core} – количество ядер; Δt – длительность временного шага, с.

Результаты вычислений представлены на рисунках 1–2 и в таблице 1.

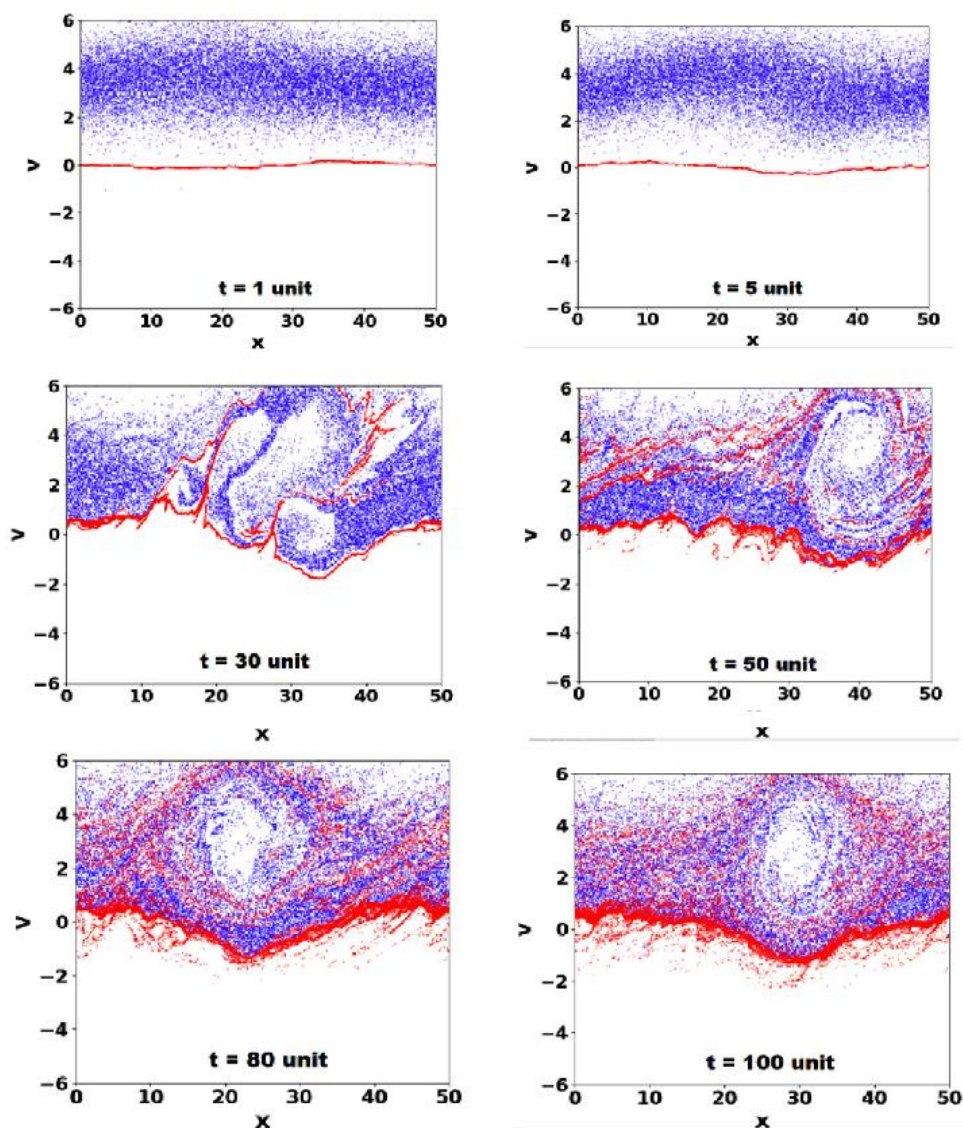


Рисунок 1 – График примера моделирования фазового пространства двухпотоковой неустойчивости плазмы [5]

Таблица 1 – Количество операций с плавающей запятой в секунду

Идентификатор PC	GFLOPS	LinPack GFLOPS
PIOTFKK	3.7355	220.1246
0DT49QN	2.974318	194.5465
OEFG94G	2.7441	178.5465
ARMOT8J	2.673	175.2613
G6HYH6H	2.486479	168.2361
RG0F54Q	2.0234	137.1228
67HMH1I	1.282179	168.5334



Рисунок 2 – График сравнения количества GFLOPS

В результате исследования был сделан вывод о том, что производительность в реальной задаче физики плазмы, для решения которой используются несколько вычислительных методов, более чем в сто раз меньше, чем пиковая производительность, измеренная на основе одного метода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования была создана симуляция двухпоточковой нестабильности плазмы для исследования производительности СуперЭВМ. На основе данной симуляции был получен следующий вывод: реальная производительность в среднем меньше более чем в сто раз, по сравнению с тестом пиковой производительности, основанным на решении системы линейных уравнений. Так как большинство вычислительных задач требуют использования более одного вычислительного метода, использование симуляций физических задач является наиболее точным методом оценивания производительности СуперЭВМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. THE LINPACK BENCHMARK [Электронный ресурс]. URL: <https://www.top500.org/project/linpack> (дата обращения: 09.05.2024).
2. Brieda, L. Plasma Physics via Computer Simulation / L. Brieda. – CRC Press, 2019. – P. 1–44.

3. Birdsall, C. K. Plasma Physics via Computer Simulation / C. K. Birdsall, A. B. Langdon. – CRC Press: Series in Plasma Physics and Fluid Dynamics, 2004. – P. 26–177.
4. Снытников, А. В. Исследование производительности высокопроизводительных вычислительных систем: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.15 / А. В. Снытников; ФГБОУ ВО «СибГУТИ». – Новосибирск, 2019.
5. Yadav, V. K. Two-stream instability generation in the lunar ionosphere / V. K. Yadav, M. Chakraborty, R. Kumar. – Department of Physics: Banaras Hindu University (BHU), 2022.

SUPERCOMPUTER PERFORMANCE STUDY BASED ON SIMULATION OF TWO-STREAM PLASMA INSTABILITY

A. V. Smirnov, 1st year master's student
E-mail: ilya.shickota@yandex.ru
Kaliningrad State Technical University

I. A. Shikota, 1st year master's student
E-mail: ilya.shickota@yandex.ru
Kaliningrad State Technical University

V. D. Shterzer, 1st year master's student
E-mail: ilya.shickota@yandex.ru
Kaliningrad State Technical University

A. V. Snytnikov, Professor of the Department
of Applied Computer Science
E-mail: aleksej.snytnikov@klgtu.ru
Kaliningrad State Technical University

At the moment there are many methods of testing Supercomputers, but the absolute majority measure only peak performance based on the solver of the system of linear equations with LU-decomposition, without considering the impact of the I/O system on performance. The aim of our work is to prove the effectiveness of using computational physics methods to evaluate the performance of Supercomputers by creating a testing method based on the simulation of two-stream plasma instability.

Key words: testing, Supercomputers, plasma physics, particle-in-cell method.