

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

International Scientific Journal
Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2024 Issue: 12 Volume: 140

Published: 21.12.2024 <http://T-Science.org>

Issue

Article



Anna Timurovna Gubeeva

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University
Bachelor

Anatoliy Sergeev

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University
Candidate of Engineering Sciences, Docent

COMPARING THE SPEED OF PERFORMING ARITHMETIC OPERATIONS WITH INTEGERS AND REAL NUMBERS ON A WINDOWS HOST AND IN A DOCKER CONTAINER

Abstract: This article presents a study of the speed of performing calculations with integers and real numbers in the Windows 11 Home operating system and in the Docker container. The testing was carried out using a developed program that implements arithmetic operations such as addition and multiplication. The features of the representation of integers and real numbers in the Python programming language are described and demonstrated on the test results, as well as the impact of the number of threads on the host and the impact of containerization on performance.

Key words: virtualization, Docker container, Windows 11, integers and real numbers, arithmetic operations.

Language: Russian

Citation: Gubeeva, A.T., & Sergeev, A. (2024). Comparing the speed of performing arithmetic operations with integers and real numbers on a windows host and in a docker container. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 12 (140), 257-266.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-12-140-30>

Doi: <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2024.12.140.30>

Scopus ASCC: 1701.

СРАВНЕНИЕ СКОРОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ АРИФМЕТИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ С ЦЕЛЫМИ И ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫМИ ЧИСЛАМИ НА ХОСТЕ WINDOWS И В КОНТЕЙНЕРЕ DOCKER

Аннотация: В данной статье представлено исследование скорости выполнения вычислений с целыми и действительными числами в операционной системе Windows 11 Home и в контейнере Docker. Тестирование проводилось с помощью разработанной программы, которая реализует такие арифметические операции, как сложение и умножение. Описаны и продемонстрированы на результатах тестирования особенности представления целых и вещественных чисел в языке программирования Python, а также влияние количества потоков на хосте и влияние контейнеризации на производительность.

Ключевые слова: виртуализация, контейнер Docker, Windows 11, целые и действительные числа, арифметические операции.

Введение

В современном мире популярность виртуализации растет с каждым годом, в частности, контейнеризация, которая является неотъемлемой частью облачных вычислений. Docker, в свою очередь, представляет собой облегченную систему виртуализации, основанную на контейнерах Linux, которая может полностью

инкапсулировать приложение и его зависимости в виртуальный контейнер, при этом интегрируясь в операционную систему хоста, уменьшая накладные расходы от виртуализации на программное обеспечение [1, 12].

Сравнение производительности арифметических операций в различных системах является актуальной задачей. Арифметические

Impact Factor:	ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
	ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	ПИИЦ (Russia)	= 0.191	PIF (India)	= 1.940
	GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.100	IBI (India)	= 4.260
	JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

операции лежат в основе многих сложных алгоритмов и структур данных, машинного обучения, цифровой обработки сигналов, а также в криптографии и кибербезопасности и т.д.

В исследовании [2] программа, написанная на языке программирования Python, продемонстрировала превосходство в скорости выполнения арифметических операций с целыми числами в Docker, тогда как с вещественными числами более высокая скорость отмечалась хосте – в Windows 11.

При тестировании программы на языке программирования C арифметические операции с целыми и вещественными числами быстрее выполнялись на хосте (macOS), чем в Docker, даже при увеличении количества параллельно выполняющихся программ и контейнеров [3].

Немаловажным аспектом является операционная система хоста, в которой установлен Docker. Авторы статьи [4] сравнили производительность контейнеров Docker на основе Windows 10, Ubuntu, macOS. Расчет числа π на языке программирования C показал, что Linux и macOS с почти одинаковыми результатами опередили Windows в среднем более чем на одну секунду.

В работе [5] сравниваются Docker, гипервизор KVM и хост с операционной системой Ubuntu Server 20.04 при помощи следующих тестов: последовательные чтение и запись данных, чтение и запись в случайном порядке, отправка и получение данных по сети. В результате Docker показал высокую производительность при работе с хранилищем данных и с сетевыми интерфейсами.

Целью данной работы является сравнение скорости выполнения арифметических операций с целыми и действительными числами на хосте с операционной системой Windows в контейнере Docker.

Подход к тестированию

Тестирование проводилось на хосте со следующими характеристиками:

- тип процессора – Intel(R) Core(TM) i5-8250U CPU @ 1.60GHz 1.80 GHz;
- количество ядер – 4;
- количество потоков – 8;
- объем оперативной памяти – 12,0 ГБ;
- размер дискового хранилища – 476 ГБ;
- тип дискового хранилища – SSD, NVMe;
- тип операционной системы – Windows 11 Home;
- виртуальная машина: Docker версии 4.36.0 с дистрибутивом Ubuntu в WSL 2.

Стоит отметить, что NVMe обеспечивает чрезвычайно высокую пропускную способность, низкую задержку и большое количество операций

ввода-вывода в секунду по сравнению с интерфейсами SATA или SAS. Например, типичный твердотельный накопитель NVMe может обеспечивать скорость последовательного чтения более 3000 МБ/с и до 1 000 000 операций ввода-вывода в секунду для случайных операций с блоками по 4 КБ. Это как минимум в 4–5 раз выше производительности самых быстрых твердотельных накопителей SATA. Производительность дополнительно повышается в многоядерных и многопоточных средах, поскольку NVMe может эффективно распределять работу между ядрами процессора [6].

Программа для тестирования

Для тестирования скорости выполнения арифметических операций с целыми и действительными числами была написана программа на языке Python. Данный язык был выбран по причине того, что практически во всех контейнерах Docker этот язык предустановлен.

Программа состоит из двух частей: для тестирования арифметических операций с целыми числами и с вещественными. Первым делом создается массив из случайных целых/вещественных чисел от 1 до 100. Затем фиксируется начальное время до выполнения вычислений. В самом цикле выполняются арифметические операции с числами из массива по следующей формуле:

$$X = (X + i) * X * 5 * i, \quad (1)$$

где i – число из массива, начальное значение $X=1$.

После завершения вычислений в цикле вновь фиксируется время для получения итогового времени выполнения программы.

Количество итераций в цикле будет меняться за счет изменения в коде количества генерируемых случайных чисел: 100000, 500000, 1000000.

Для запуска на хосте используется bat-файл с циклом, который позволяет запускать параллельно программу test.py столько раз, сколько необходимо.

Особенности языка программирования Python

Для того, чтобы оценить результаты тестирования арифметических операций, необходимо отметить то, как хранятся и обрабатываются целые и вещественные числа.

Целые числа представлены структурой данных PyLongObject, которая имеет 2 наиболее значимых поля: ob_digit и ob_size. Ob_digit – это массив единичной длины, который является указателем на число, и при необходимости может быть увеличен до любой длины. Ob_size – это количество элементов в ob_digit [9]. Это означает, что целые числа имеют произвольный размер в зависимости от доступной памяти.

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.191
ESJI (KZ) = 8.100
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

Вещественные значения в Python представлены структурой PyFloatObject, которая включает следующие важные поля: ob_fval - фактическое значение с плавающей запятой, хранящееся в формате C double, размер которого обычно составляет 64 бита (8 байт) и ob_type - указатель на объект type, который описывает тип float [8]. Это означает, что вещественные числа имеют фиксированный размер, равный 24 байтам.

Таким образом, арифметические операции с большими целыми числами могут выполняться медленнее, чем эти же операции с вещественными, за счет большего заполнения памяти.

Тестирование

Тестирование выполнялось для разного количества итераций: 100000, 500000 и 1000000. Для каждого количества итераций запускалось параллельно разное количество программ – от 1 до 3. В случае 2-3 программ берется усредненное значение.

Тестирование целых чисел на хосте

В таблице 1 представлено выполненное тестирование с арифметическими операциями над целыми числами на хосте.

Таблица 1. Время выполнения программы с арифметическими операциями над целыми числами на хосте

Количество итераций	1 программа	2 программы	3 программы
100 000	0,01535 с.	0,01617 с.	0,01621 с.
500 000	0,06722 с.	0,08234 с.	0,08729 с.
1 000 000	0,12131 с.	0,12752 с.	0,14198 с.

Стоит отметить, что с увеличением количества итераций линейно растет время выполнения, причем весьма значительно (рис.1). Между 100000 и 500000 разница примерно в 4 раза, а между 500000 и 1000000 – наблюдается увеличение времени почти в 2 раза. Такой рост объясняется тем, что с увеличением количества итераций – увеличивается и целое итоговое число из-за чего дольше выполняется вычисление.

Также при увеличении количества одновременно запущенных программ наблюдается увеличение времени. Более явно наблюдается при больших количествах итераций, за счет операций с большими целыми числами (рис.2).

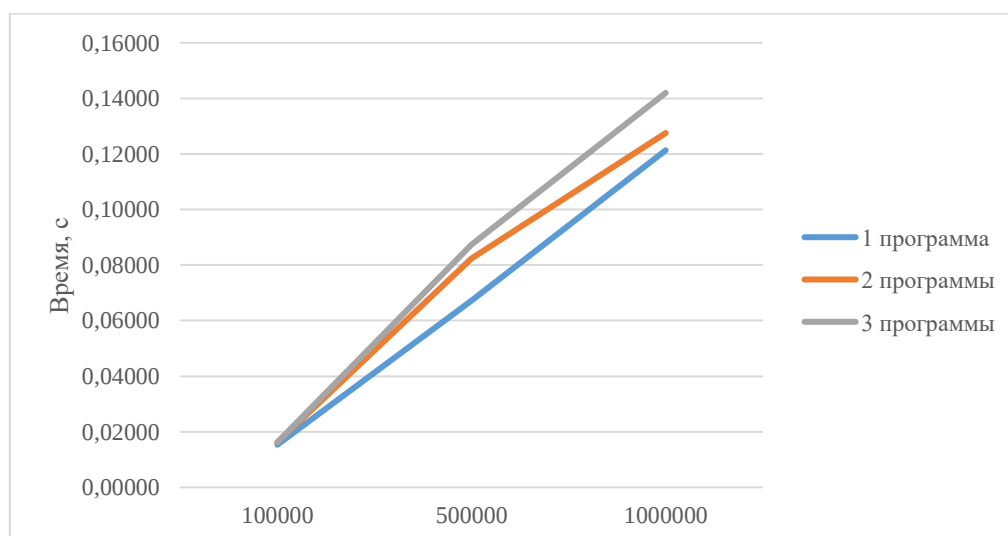


Рисунок 1. Рост времени вычислений арифметических операций с целыми числами при увеличении количества итераций на хосте

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
 ISI (Dubai, UAE) = 1.582
 GIF (Australia) = 0.564
 JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
 ПИИЦ (Russia) = 0.191
 ESJI (KZ) = 8.100
 SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
 PIF (India) = 1.940
 IBI (India) = 4.260
 OAJI (USA) = 0.350

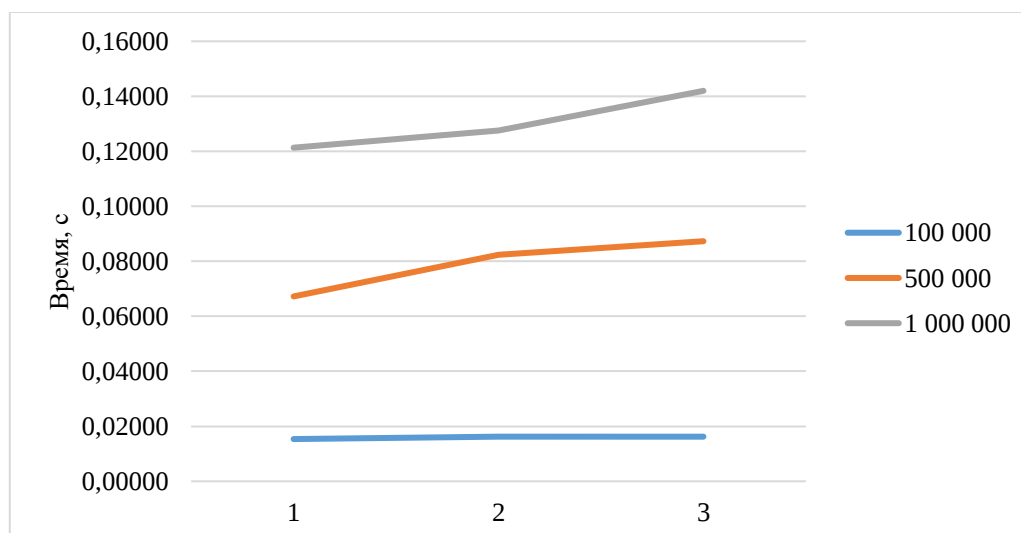


Рисунок 2. Рост времени вычислений при увеличении количества запущенных программ с целыми числами на хосте

Когда несколько программ выполняются параллельно, они конкурируют за ресурсы компьютера, такие как ЦП, ОЗУ и память, что приводит к снижению производительности. Однако на 4-ядерном процессоре с поддержкой 8 потоков влияние параллельных вычислений на производительность остается незначительным. Это связано с тем, что процессор эффективно распределяет нагрузки между ядрами и потоками, минимизируя конкуренцию за ресурсы. При запуске 2-3 программ каждое приложение получает достаточно вычислительного времени,

что позволяет избежать серьезного снижения производительности. Такое небольшое снижение может быть вызвано накладными расходами на управление процессами и переключение контекста, но конкуренция за ресурсы в данном случае не является критической.

Тестирование целых чисел в Docker

В таблице 2 представлено выполненное тестирование с арифметическими операциями над целыми числами в Docker.

Таблица 2. Время выполнения программы с арифметическими операциями над целыми числами в Docker

Количество итераций	1 программа	2 программы	3 программы
100 000	0,02793 с.	0,02786 с.	0,03144 с.
500 000	0,12858 с.	0,14220 с.	0,14753 с.
1 000 000	0,26322 с.	0,42585 с.	0,70362 с.

С увеличением количества итераций время выполнения растет еще быстрее, чем при выполнении на хосте – более чем в 4,5 раза между 100000 и 500000, а между 500000 и 1000000 – наблюдается увеличение более, чем 2 раза. На

рисунке 3 наглядно продемонстрировано увеличение времени выполнения при увеличении количества итераций и количества запускаемых параллельно программ.

Impact Factor:

ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	ПИИЦ (Russia)	= 0.191	PIF (India)	= 1.940
GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.100	IBI (India)	= 4.260
JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

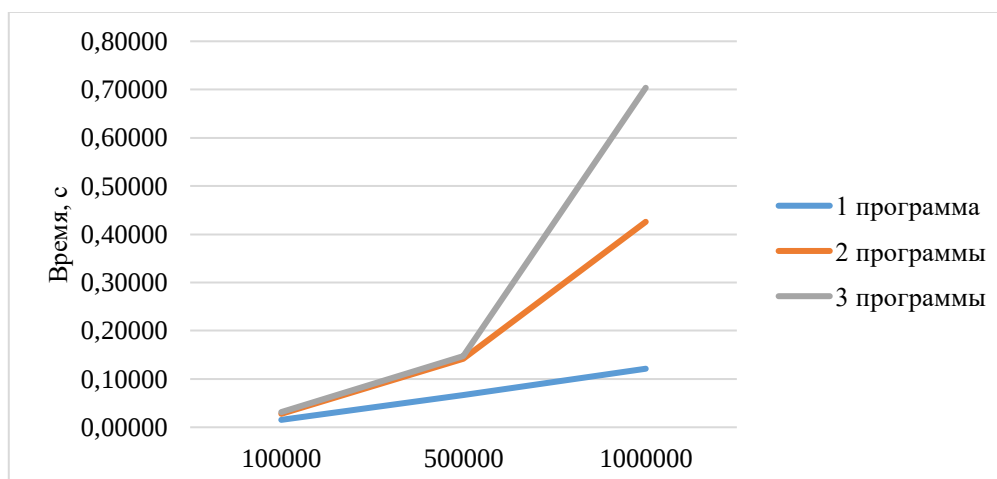


Рисунок 3. Рост времени вычислений арифметических операций с целыми числами при увеличении количества итераций в Docker

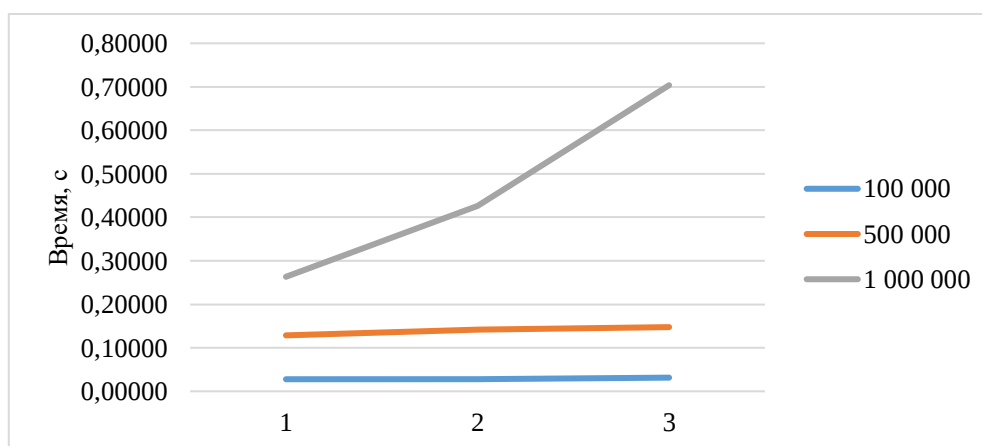


Рисунок 4. Рост времени вычислений арифметических операций с целыми числами при увеличении количества итераций в Docker

Docker-контейнеры работают изолированно от хост-системы, но они все же зависят от ресурсов хоста, таких как ЦП и память. Если хост-система перегружена или имеет ограниченные ресурсы, это может привести к снижению производительности контейнеров. При увеличении количества арифметических операций контейнер может достигать пределов производительности хост-системы, что приводит к резкому росту времени выполнения.

Также при увеличении количества одновременно запущенных программ наблюдается и увеличение времени. Более явно наблюдается при больших количествах итераций (рис.4), за счет особенности представления целых чисел в Python. При большом количестве итераций значительно возрастает целое число X. При этом увеличивается число двоичных разрядов, необходимое для представления X. Python позволяет выполнять арифметические операции с целыми числами, разрядность которых значительно превышает 64, но при этом растут вычислительные затраты. Этот факт отражают

результаты тестирования. По этой причине при запуске 3 программ параллельно не пропорционально увеличивается время выполнения, когда как при 1-2 программах пропорционально.

Сравнение скорости выполнения арифметических операций с целыми числами на хосте и Docker

На рисунке 5 продемонстрирована разница во времени выполнения между хостом и docker с различными кол-вом итераций и запущенных параллельно программ. По графику видно, что для выполнения арифметических операций с целыми числами докеру требуется больше времени, особенно при большом количестве итераций и большом количестве запущенных одновременно программ.

Это обусловлено тем, что Docker использует технологию виртуализации для изоляции контейнеров. Следовательно, может добавиться еще один уровень виртуализации, что повлияет на производительность, особенно при интенсивных

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
 ISI (Dubai, UAE) = 1.582
 GIF (Australia) = 0.564
 JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
 ПИИЦ (Russia) = 0.191
 ESJI (KZ) = 8.100
 SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
 PIF (India) = 1.940
 IBI (India) = 4.260
 OAJI (USA) = 0.350

вычислениях. Эти накладные расходы могут быть более заметны при большом количестве итераций,

когда контейнер выполняет большое количество операций [10, 11].

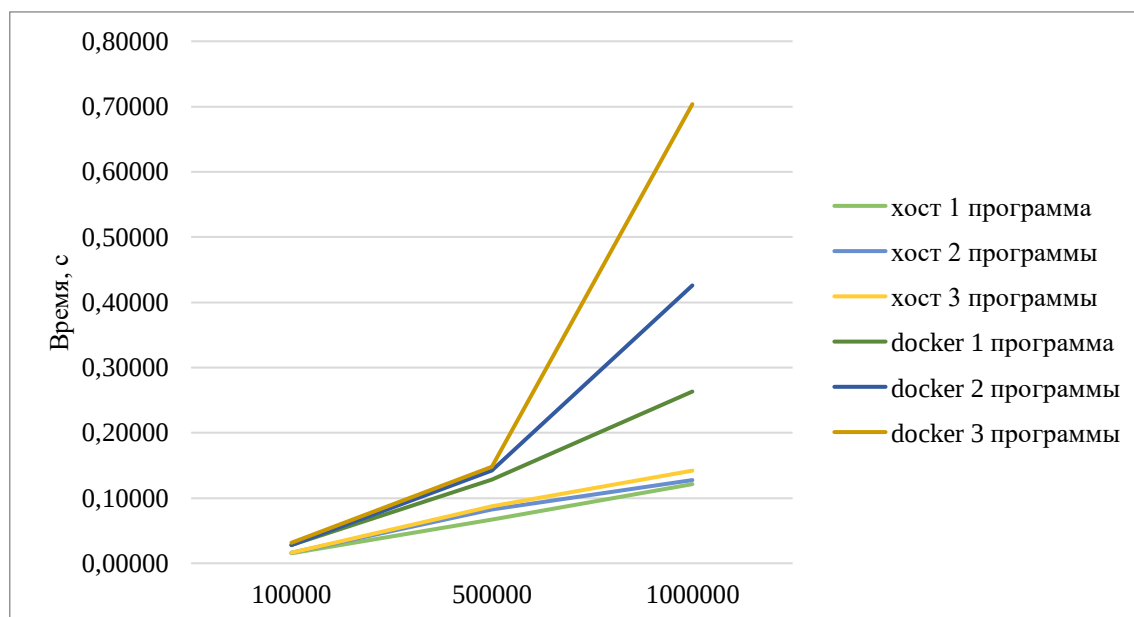


Рисунок 5. Зависимость времени выполнения арифметических операций с целыми числами от количества итераций и количества запущенных программ

Тестирование вещественных чисел на хосте

В таблице представлено выполненное тестирование с арифметическими операциями над вещественными числами на хосте.

Можно сделать вывод, что с увеличением количества итераций линейно растет время

выполнения, причем также весьма значительно (рис.6). На рисунке 13 это наглядно демонстрируется. Между 100000 и 500000 разница примерно в 4,7 раза, а между 500000 и 1000000 – наблюдается увеличение времени в 2 раза.

Таблица 3. Время выполнения программы с арифметическими операциями над целыми числами на хосте

Количество итераций	1 программа	2 программы	3 программы
100 000	0,01654 с.	0,02237 с.	0,02456 с.
500 000	0,07667 с.	0,08623 с.	0,09823 с.
1 000 000	0,15409 с.	0,18009 с.	0,19074 с.

Impact Factor:

ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	ПИИЦ (Russia)	= 0.191	PIF (India)	= 1.940
GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.100	IBI (India)	= 4.260
JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

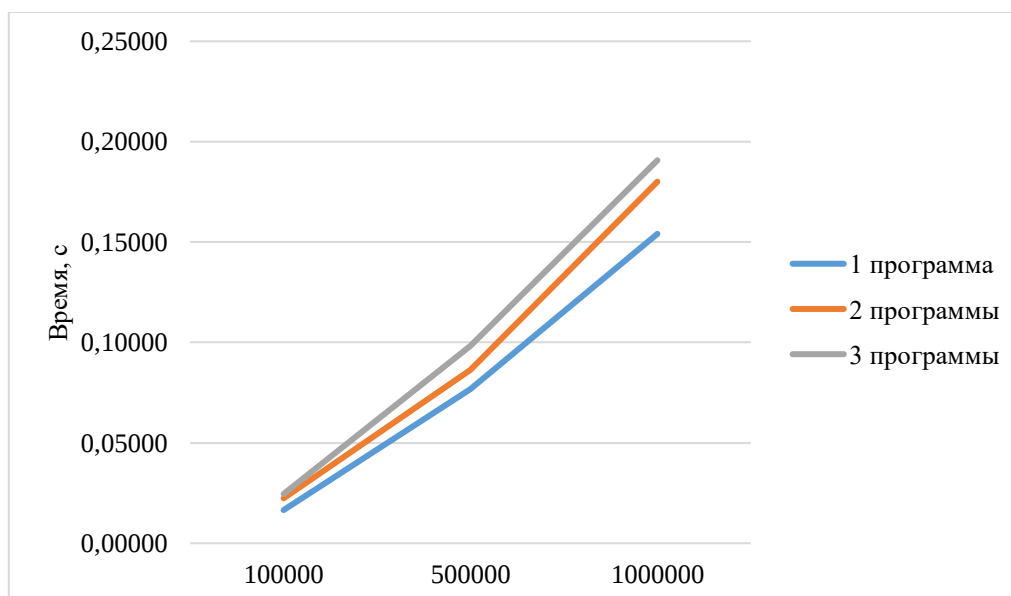


Рисунок 6. Рост времени вычислений арифметических операций с вещественными числами при увеличении количества итераций на хосте

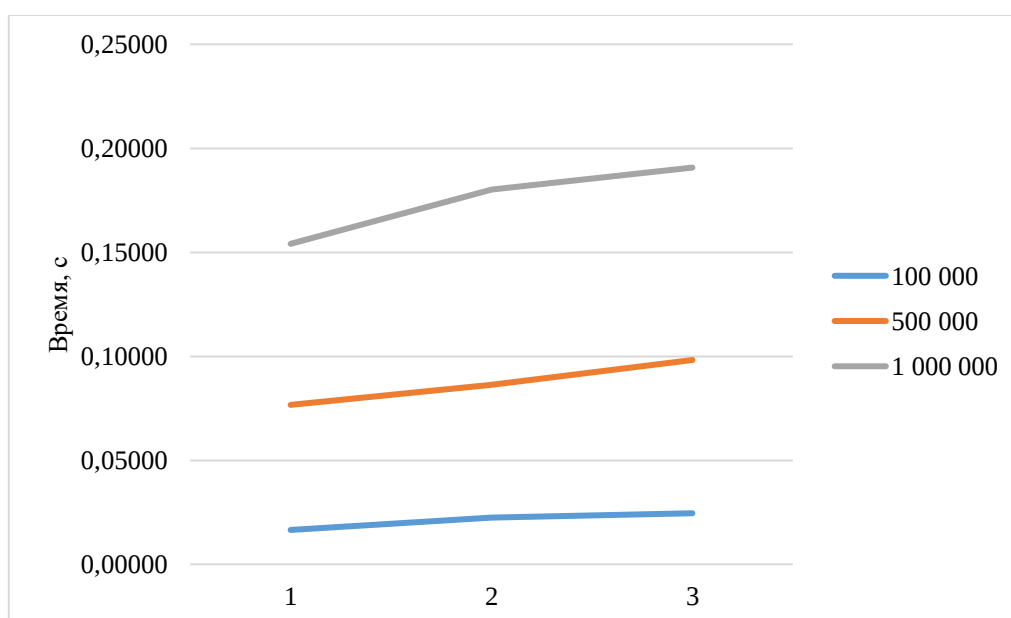


Рисунок 7. Рост времени вычислений при увеличении количества запущенных программ с вещественными числами на хосте

Также при увеличении количества одновременно запущенных программ наблюдается увеличение времени. Более явно наблюдается при больших количествах итераций, за счет операций с большими вещественными числами (рис.7).

Тестирование вещественных чисел в docker

В таблице 4 представлено выполненное тестирование с арифметическими операциями над вещественными числами в docker.

Таблица 4. Время выполнения программы с арифметическими операциями над вещественными числами в Docker

Количество итераций	1 программа	2 программы	3 программы
100000	0,02782	0,02648	0,03034

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 1.582	ПИИЦ (Russia) = 0.191	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.100	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

500000	0,13250	0,15187	0,16377
1000000	0,25302	0,33787	0,35415

Стоит отметить, что с увеличением количества итераций время выполнения растет медленнее, чем при выполнении на хосте – более чем в 4,5 раза между 100000 и 500000, а между 500000 и 1000000 – наблюдается увеличение менее, чем 2 раза. На рисунке 8 наглядно

продемонстрирован увеличение времени выполнения при увеличении количества итераций и количества запускаемых параллельно программ. Причем при 2 и 3 параллельных запусках время выполнения близко друг к другу.

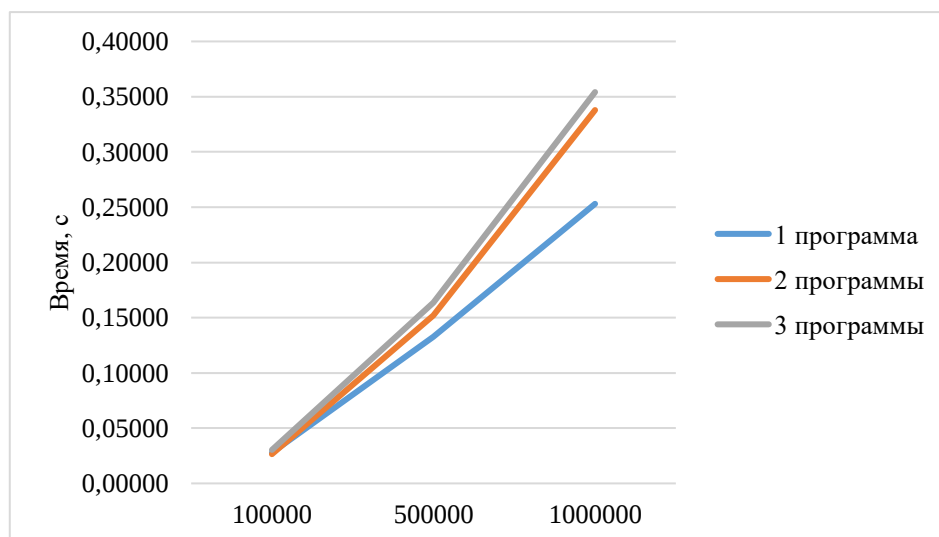


Рисунок 8. Рост времени вычислений арифметических операций с вещественными числами при увеличении количества итераций в Docker

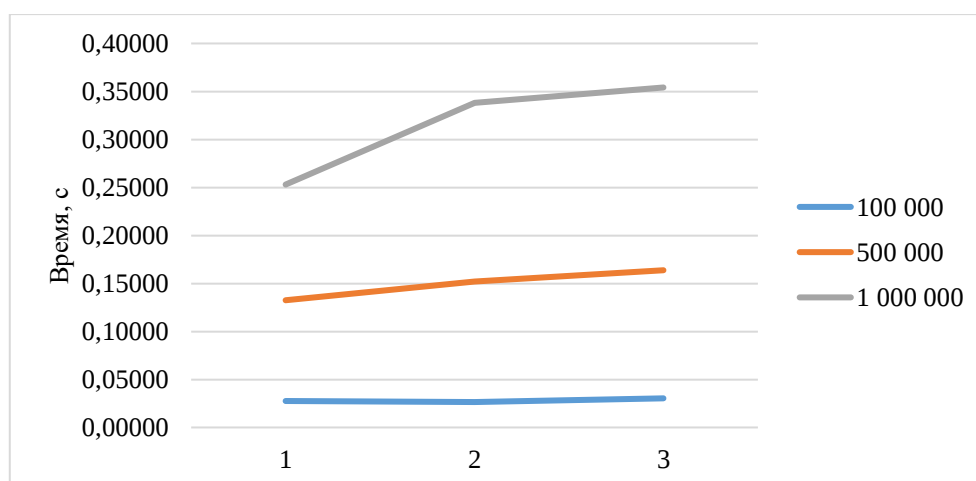


Рисунок 9. Рост времени вычислений при увеличении количества запущенных программ с вещественными числами в Docker

Также при увеличении количества одновременно запущенных программ наблюдается увеличение времени. Более явно наблюдается при больших количествах итераций (рис.9).

Сравнение скорости выполнения арифметических операций с вещественными числами на хосте и Docker

На рисунке 10 продемонстрирована разница во времени выполнения между хостом и Docker с различными кол-вом итераций и запущенных параллельно программ. По графику видно, что для выполнения арифметических операций с вещественными числами в Docker требуется больше времени, особенно при большом количестве итераций и большом количестве запущенных одновременно программ.

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИЦ (Russia) = 0.191
ESJI (KZ) = 8.100
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

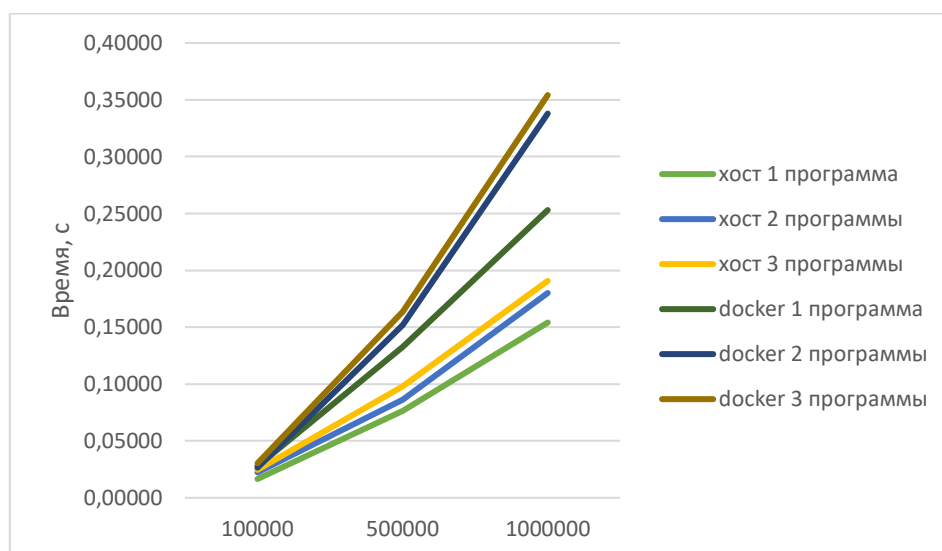


Рисунок 1. Зависимость времени выполнения арифметических операций с вещественными числами от количества итераций и количества запущенных программ

Общие выводы

Результаты показывают, что арифметические операции с целыми числами и вещественными числами выполняются быстрее на хосте, чем в контейнерах Docker, даже с увеличением количества итераций и запущенных параллельно программ. Это связано с тем, Docker использует технологию контейнеризации на уровне операционной системы, которая создает изолированную среду для каждого контейнера. Эта изоляция, хотя и обеспечивает безопасность и переносимость, вносит определенные накладные расходы, которые влияют на производительность.

Также стоит отметить влияние особенности представления целых чисел в Python, так как из-за использования больших чисел растет и занимаемая ими память, что и вызвало непропорциональный рост времени выполнения арифметических операций в контейнерах Docker.

При параллельном запуске 1-3 программ с вещественными и целыми числами на хосте можно отметить пропорциональный

незначительный рост времени выполнения программ. Это обусловлено наличием 4 ядер и 8 потоков, позволяющих системе эффективно распараллеливать вычисления. При небольшом количестве программ (1-3) система легко распределяет нагрузку между доступными ядрами и потоками, минимизируя конкуренцию за ресурсы. Наличие NVMe-накопителя также способствует незначительному росту времени выполнения, поскольку быстрый доступ к данным сводит к минимуму время ожидания ввода-вывода, которое могло бы стать узким местом при более интенсивной нагрузке [13, 14].

Частично схожие результаты прослеживаются в работе [2], где арифметические операции с вещественными числами выполняются быстрее на хосте, даже с увеличением количества итераций и параллельно запущенных программ, однако целые числа вычисляются быстрее в контейнерах Docker, особенно с увеличением числа итераций. Это обусловлено особенностями используемого языка программирования.

References:

1. T. Combe, A. Martin and R. Di Pietro, (2016). "To Docker or Not to Docker: A Security Perspective," in IEEE Cloud Computing, vol. 3, no. 5, pp. 54-62, Sept.-Oct. 2016, doi: 10.1109/MCC.2016.100.
2. L. Borganova, A. Sergeev. (2024). Testirovanie skorosti vypolnenija arifmeticheskikh operacij s

целыми i dejstvitel'nymi chislami v operacionnoj sisteme windows pri vypolnenii vychislenij v kontejnere docker i neposredstvenno na hoste. (Testing the speed of performing arithmetic operations with integers and real numbers in the windows operating system when performing calculations in the docker container and directly

Impact Factor:	ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
	ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	ПИИИ (Russia)	= 0.191	PIF (India)	= 1.940
	GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.100	IBI (India)	= 4.260
	JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

- on the host). Theoretical & Applied Science, № 01 (129), 2024. DOI: Retrieved from <https://dx.doi.org/10.15863/TAS>.
- Lapin I.A., Sergeev A.V., Hahina A.M. (2023). Testirovanie skorosti vypolnenija arifmeticheskikh operacij s celymi i dejstvitel'nymi chislami pri vypolnenii vychislenij v kontejnerah docker i neposredstvenno na hoste. Sovremennaja nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Serija: Estestvennye i tehnicheckie nauki. 2023. № 12. S. 94-98, DOI: 10.37882/2223-2966.2023.12.20.
 - Sobieraj, M.; Kotyński, D. (2024). Docker Performance Evaluation across Operating Systems. Appl. Sci. 2024, 14, 6672. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/app14156672>.
 - I. Aliev, St. Gazul and A. Bobova, (2023). "Virtualization technologies and platforms: Comparative overview and updated performance tests," AIP Conf. Proc. 9 March 2023; 2700 (1): 040048. doi: 10.1063/5.0125249.
 - Dr. A. Shaji George, Dr. P. Balaji Srikanth, Dr. V. Sujatha, & Dr. T. Baskar. (2023). Flash Fast: Unleashing Performance with NVMe Technology. Partners Universal International Research Journal, 2(3), 71-81. Retrieved from <https://doi.org/10.5281/zenodo.8350245>.
 - (2024). dockerdocs: Docker Compose - URL: Retrieved from <https://docs.docker.com/compose/> (data obrashhenija: 10.12.2024).
 - (2024). O tochnosti float v Python - URL: Retrieved from <https://tirinox.ru/float-python/> (data obrashhenija: 10.12.2024).
 - (2024). Kak v Python realizovany ochen`dlinnye chisla tipa integer? - URL: Retrieved from <https://habr.com/ru/companies/otus/articles/489258/> (data obrashhenija: 10.12.2024).
 - (2024). Osnovy virtualizacii (obzor) - URL: Retrieved from <https://habr.com/ru/articles/657677/> (data obrashhenija: 10.12.2024).
 - M.S. Chae, H.M. Lee, and K. Lee. (2019). "A performance comparison of linux containers and virtual machines using Docker and KVM". Cluster Comput. 2019;22:1765-75.
 - R. Morabito, J. Kjällman, and M. Komu. (2015). "Hypervisors vs. lightweight virtualization: A performance comparison," in Proc - 2015 IEEE Int Conf Cloud Eng IC2E 2015. 2015;386-93.
 - Qiumin Xu, Huzefa Siyamwala, Mrinmoy Ghosh, Tameesh Suri, Manu Awasthi, Zvika Guz, Anahita Shayesteh, and Vijay Balakrishnan. (2015). Performance analysis of NVMe SSDs and their implication on real world databases. In Proceedings of the 8th ACM International Systems and Storage Conference (SYSTOR '15). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 6, 1-11. Retrieved from <https://doi.org/10.1145/2757667.2757684>.
 - Dr. A. Shaji George, Dr. P. Balaji Srikanth, Dr. V. Sujatha, & Dr. T. Baskar. (2023). Flash Fast: Unleashing Performance with NVMe Technology. Partners Universal International Research Journal, 2(3), 71-81. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8350245>.